

ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS EM PORTUGAL CENÁRIOS, IMPACTOS E MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

PROJECTO SIAM II

F. D. Santos e P. Miranda (editores)

gradiva

**ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS
EM PORTUGAL
CENÁRIOS, IMPACTOS
E MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO**

PROJECTO SIAM II

**ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS
EM PORTUGAL
CENÁRIOS, IMPACTOS
E MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO**

PROJECTO SIAM II

F. D. Santos e P. Miranda (editores)

© 2006, Gradiva – Publicações, L.^{da}

Reservados todos os direitos. Não é permitida a reprodução do livro, partes do livro ou figuras sem prévia autorização dos editores

Publicação parcialmente financiada pela Fundação Calouste Gulbenkian e pela BP Portugal

Imagem da capa © Alexandre Vaz, *Phragmites australis*, no estuário do Tejo

Imagem da contracapa © Alexandre Vaz, Pôr do Sol no Parque Natural Sintra-Cascais

Citação recomendada deste livro:

F. D. Santos e P. Miranda (editores)

Alterações Climáticas em Portugal

Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação

Projecto SIAM II, Gradiva, Lisboa, 2006

Revisão: Luís Milheiro

Pré-impressão, impressão e acabamento:

Rolo & Filhos II, S. A.

Publicado por:

Gradiva – Publicações, L.^{da}

R. Almeida e Sousa, 21, r/c, esq. – 1399-041 Lisboa

Telefs. 21 397 40 67/8 – 21 397 13 57 – 21 395 34 70

Fax 21 395 34 71 – Email: geral@gradiva.mail.pt

URL: <http://www.gradiva.pt>

Primeira edição: Janeiro de 2006

Depósito legal: 237231/06

Índice Geral

AUTORES	9
AGRADECIMENTOS	13
PREFÁCIOS	15
CAPÍTULOS	
1 - PROBLEMÁTICA DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NO INÍCIO DO SÉCULO XXI	17
2 - O CLIMA DE PORTUGAL NOS SÉCULOS XX E XXI	45
3 - RECURSOS HÍDRICOS	115
4 - ZONAS COSTEIRAS	169
5 - AGRICULTURA	209
6 - SAÚDE HUMANA E IMPLICAÇÕES PARA O TURISMO	233
7 - ENERGIA	271
8 - FLORESTAS E BIODIVERSIDADE	301
9 - PESCAS	345
10 - ESTUDO DE CASO DA REGIÃO DO SADO	385
11 - CENÁRIOS SOCIOECONÓMICOS	481
12 - DISSEMINAÇÃO E INTERACÇÃO COM A SOCIEDADE – <i>OUTREACH</i>	493

Alterações Climáticas em Portugal

Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação – Projecto SIAM II

Coordenador do Projecto SIAM

Filipe Duarte Santos

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

AUTORES

1 – PROBLEMÁTICA DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NO INÍCIO DO SÉCULO XXI

Filipe Duarte Santos

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

2 – O CLIMA DE PORTUGAL NOS SÉCULOS XX E XXI

Pedro M. A. Miranda (Coordenador)

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa

M. Antónia Valente

Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa

António R. Tomé

Universidade da Beira Interior

Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa

Ricardo Trigo

Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa

Universidade Lusófona

M. Fátima E. S. Coelho

Instituto de Meteorologia

Ana Aguiar

Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa

Eduardo B. Azevedo

Universidade dos Açores

3 – RECURSOS HÍDRICOS

Autores

Luís Veiga da Cunha (Coordenador)

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Universidade Nova de Lisboa

Luís Ribeiro

CVRM – Centro de Geossistemas

Instituto Superior Técnico

Rodrigo Proença de Oliveira

Chiron, Sistemas de Informação, S.A

João Nascimento

SIAM

CVRM – Centro de Geossistemas

Instituto Superior Técnico

Contribuições

José Paulo Monteiro (Aquífero de Escusa)

CVRM – Centro de Geossistemas

Universidade do Algarve

Luís Nunes (Aquífero Superior da Península de Tróia)

CVRM – Centro de Geossistemas

Universidade do Algarve

Amélia Carvalho Dill (Aquífero Superior da Península de Tróia)

CVRM – Centro de Geossistemas

Universidade do Algarve

4 – ZONAS COSTEIRAS

César Andrade (Coordenador)

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Centro de Geologia da Universidade de Lisboa

Henrique Oliveira Pires

Instituto de Meteorologia

Pedro Silva

SIAM

Instituto de Meteorologia

Rui Taborda

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Laboratório de Tectonofísica e Técnica Experimental

Maria da Conceição Freitas

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Centro de Geologia da Universidade de Lisboa

5 – AGRICULTURA

Pedro Aguiar Pinto (Coordenador)

Instituto Superior de Agronomia

Ricardo Braga

Escola Superior Agrária de Elvas

Ana Paiva Brandão

Instituto Superior de Agronomia

6 – SAÚDE HUMANA E IMPLICAÇÕES PARA O TURISMO

Autores

José M. Calheiros (Coordenador)

Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade da Beira Interior

Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da

Universidade do Porto

Elsa Casimiro

SIAM

Contribuições

António Paulo Gouveia de Almeida

Instituto de Higiene e Medicina Tropical, Universidade Nova de Lisboa

Carlos Alves-Pires

Instituto de Higiene e Medicina Tropical, Universidade Nova de Lisboa

Margarida Collares Pereira

Instituto de Higiene e Medicina Tropical, Universidade Nova de Lisboa

Margarida Fonseca Cardoso
Instituto de Ciências Biomédicas de Abel Salazar, Universidade do Porto
Margarida Santos-Silva
Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, Águas de Moura
Maria Odete Afonso
Instituto de Higiene e Medicina Tropical, Universidade Nova de Lisboa
Rita Sousa
Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, Águas de Moura

7 – ENERGIA

Ricardo Aguiar (Coordenador)
*Departamento de Energias Renováveis
do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação*
Marta Oliveira
*Departamento de Energias Renováveis
do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação*
Helder Gonçalves
*Departamento de Energias Renováveis
do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação*

8 – FLORESTAS E BIODIVERSIDADE

João Santos Pereira (Coordenador)
Instituto Superior de Agronomia
Alexandre Vaz Correia
*SIAM
Instituto Superior de Agronomia*
Alexandra Cristina Correia
*SIAM
Instituto Superior de Agronomia*
Maria Teresa Ferreira
Instituto Superior de Agronomia
Nuno Onofre
*Estação Florestal Nacional
Instituto Nacional de Investigação Agrária e Pescas*
Helena Freitas
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
Francisco Godinho
Instituto Superior de Agronomia

9 – PESCAS

Carlos Sousa Reis (Coordenador)
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Ricardo Lemos
SIAM
Diogo Alagador
SIAM

10 – ESTUDO DE CASO DA REGIÃO DO SADO

Coordenação

Pedro M. A. Miranda
*Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa*

Ricardo Moita
*SIAM
Ecoprogresso*

AUTORES

Clima

M. Antónia Valente
Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa

Recursos Hídricos

Autores

Luís Veiga da Cunha
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
Luís Ribeiro
*CVRM – Centro de Geossistemas
Instituto Superior Técnico*
Rodrigo Proença de Oliveira
Chiron, Sistemas de Informação, S.l
João Nascimento
*SIAM
CVRM – Centro de Geossistemas
Instituto Superior Técnico*

Contribuições

José Paulo Monteiro (Aquífero de Escusa)
*Centro de Geossistemas
Universidade do Algarve*
Luís Nunes (Aquífero Superior da Península de Tróia)
*Centro de Geossistemas
Universidade do Algarve*
Amélia Carvalho Dill (Aquífero Superior da Península de Tróia)
*CVRM – Centro de Geossistemas
Universidade do Algarve*

Agricultura

Pedro Aguiar Pinto
Instituto Superior de Agronomia
Ana Paiva Brandão
Instituto Superior de Agronomia
Ricardo Braga
Escola Superior Agrária de Elvas – ESAE

Florestas e Biodiversidade

João Santos Pereira
Instituto Superior de Agronomia
Alexandre Vaz Correia
*SIAM
Instituto Superior de Agronomia*
Alexandra Cristina Correia
*SIAM
Instituto Superior de Agronomia*
Nuno Onofre
Estação Florestal Nacional
Helena Freitas
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Zonas Costeiras

César Andrade
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Centro de Geologia da Universidade de Lisboa

Maria da Conceição Freitas
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Centro de Geologia da Universidade de Lisboa

Pedro Brito
Departamento de Geologia Marinha do Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial

Alexandra Amorim
SIAM

Andreia Barata
HIDROPROJECTO, S.A

Geadas Cabaço
HIDROPROJECTO, S.A

Pescas

Carlos Sousa Reis
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Ricardo Lemos
SIAM

Diogo Alagador
SIAM

Saúde Humana

Autores

José M. Calheiros
Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade da Beira Interior
Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Elsa Casimiro
SIAM

Co-Autores

Carla Sousa
Instituto de Higiene e Medicina Tropical, Lisboa

Carlos Alves-Pires
Instituto de Higiene e Medicina Tropical, Lisboa

Margarida Collares Pereira
Instituto de Higiene e Medicina Tropical, Lisboa

Margarida Cardoso
Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar, Porto

Maria Odete Afonso
Instituto de Higiene e Medicina Tropical, Lisboa

Paulo de Almeida
Instituto de Higiene e Medicina Tropical, Lisboa

Paulo Nogueira
Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, Lisboa

Rita Sousa
Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, Águas de Moura

Energia e Cenários Socioeconómicos

Ricardo Aguiar
Departamento de Energias Renováveis
do Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial

Marta Oliveira
Departamento de Energias Renováveis
do Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial

Helder Gonçalves
Departamento de Energias Renováveis
do Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial

11 – CENÁRIOS SOCIOECONÓMICOS

Ricardo Aguiar
Departamento de Energias Renováveis
do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

12 – DISSEMINAÇÃO E INTERACÇÃO COM A SOCIEDADE – OUTREACH

Autor

Keith Forbes (Coordenador)
SIAM

Contribuições

Ricardo Moita
SIAM

Ecoprogresso

Ângela Antunes
SIAM

Gonçalo Cavalheiro
Ecoprogresso
Environatura

Agradecimentos

A equipa do SIAM agradece o co-financiamento recebido do Instituto do Ambiente do Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente e do FEDER, através de uma candidatura aprovada pelo Programa Ambiente (POA), para a realização da segunda fase do Projecto. Agradece-se à Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa a cedência de infra-estruturas para a instalação e funcionamento do Projecto SIAM e à Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa por ter assegurado a sua gestão financeira.

A publicação sob a forma de livro dos resultados finais da segunda fase do Projecto SIAM só se tornou possível devido ao apoio financeiro concedido pela Fundação Calouste Gulbenkian e pela BP Portugal. As equipas do Projecto SIAM desejam manifestar o seu reconhecido agradecimento por estes apoios.

Desejamos também agradecer às seguintes instituições, centros e projectos os apoios de várias naturezas que foram recebidos ao longo da realização do Projecto SIAM II:

- Administração dos Portos de Setúbal e Sesimbra
- Centro de Estudos de Vectores e Doenças Infecciosas
- Centro de Geossistemas do Instituto Superior Técnico
- CHIRON, Sistemas de Informação, Lda.
- CITAA, Centro de Investigação e Tecnologia do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade dos Açores
- CRU—Climatic Research Unit (University of East Anglia—GB)
- Departamento de Engenharia Florestal do Instituto Superior de Agronomia
- Direcção-Geral de Energia
- Direcção-Geral de Saúde
- Direcção Regional do Ambiente de Lisboa e Vale do Tejo
- Estação Florestal Nacional
- EURONATURA, Centro para o Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentado
- Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade da Beira Interior
- Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
- Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
- Hadley Centre for Climate Prediction and Research (GB)
- IMOAREIA
- Instituto da Água
- Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar da Universidade do Porto

- Instituto de Higiene e Medicina Tropical
- Instituto de Investigação das Pescas e do Mar
- Instituto de Meteorologia
- Instituto Geográfico Português
- Instituto Hidrográfico
- Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
- Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge
- Instituto Superior de Agronomia
- Instituto Superior Técnico
- NCEP—National Center for Environmental Prediction (EUA)
- Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC), Data Distribution Centre
- Projecto CLIMAAT (Clima e Meteorologia dos Arquipélagos Atlânticos), Programa Interreg III B (MAC 2.3/A3) financiado por fundos FEDER e pela Direcção Regional da Ciência e Tecnologia da Região Autónoma dos Açores através do Observatório do Ambiente dos Açores
- Universidade do Algarve

Agradecemos também a todos os participantes das sessões de *Outreach*, em especial às seguintes instituições pela cedência das salas em que as sessões decorreram:

- Instituto Politécnico de Bragança
- Universidade da Beira Interior
- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
- EDIA, Empresa de Desenvolvimento e Infra-Estruturas do Alqueva
- Câmara Municipal de Ílhavo
- FORPESCAS
- IPIMAR, Centro Regional de Investigação das Pescas e do Mar do Sul

Estamos particularmente gratos ao Instituto de Meteorologia, pela cedência de dados de observações do clima em Portugal. O estudo de meteorologia que aqui se apresenta foi realizado em estreita colaboração com este Instituto.

Agradece-se igualmente ao Hadley Centre for Climate Prediction and Research por ter fornecido, através do Projecto LINK, dados mensais e diários dos modelos globais HadCM2 e HadCM3 e dos modelos regionais HadRM2 e HadRM3. Outros dados mensais de modelos globais foram disponibilizados pelo Data Distribution Centre do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Os dados de reanálise dos campos meteorológicos que o National Center for Environmental Prediction (NCEP) disponibiliza foram igualmente utilizados neste trabalho.

Estamos gratos a Vanda Pires do Instituto de Meteorologia por fornecer o índice PDSI apresentado neste trabalho e a Álvaro Silva e Sofia Moita, do mesmo Instituto, o apoio na elaboração dos mapas climatológicos de Portugal Continental e Ilhas.

Queremos agradecer a Sari Kovats da London School of Hygiene and Tropical Medicine e a Bettina Menne da Organização Mundial da Saúde o apoio e orientação técnica; a Andreas Matzarakis da University of Freiburg pela disponibilização do «RayMan model», a Pedro Silva do Instituto de Meteorologia, a Judite Catarino e Teresa Martins da Direcção-Geral de Saúde pela disponibilização de dados essenciais a este estudo; a Manuel Serra da ATLANTISADO e a Reinaldo Mendonça da SAPALSADO; a Sara Guerra (Projecto RIMAR e Instituto Geográfico Português), que digitalizou e validou os maregramas de Cascais e Lagos e a Raquel Silva do Instituto Hidrográfico, que contribuiu para a validação de parte significativa dos elementos maregráficos utilizados, e ainda pela dedicação e entusiasmo com que ambas participaram na troca de informações com a equipa do SIAM II. Agradecemos a Mário Simões Teles da HIDROPROJECTO, SA, pelas horas de computação e possibilidade de acesso ao Sistema de Modelos daquela empresa, cedidas a título gracioso, bem como pelas discussões e sugestões que beneficiaram a metodologia e resultados do estudo de caso do Sado; a Anabela Cruces, da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, agradecemos o auxílio nos trabalhos de campo. Agradecemos ainda a Ana Paula Cruz de Carvalho e Isabel Fernandes da Divisão de Sementes, da Direcção de Serviços de Sementes e Propágulos, da Direcção-Geral de Protecção de Culturas; a Benvindo Magães e José Coutinho da Estação Nacional de Melhoramento de Plantas, a Edgar Sousa da Secção da Ciência do Solo, do Departamento de Ciências do Ambiente, do Instituto Superior de Agronomia; a Maria da Conceição Gonçalves do Departamento da Ciência do Solo, da Estação Agronómica Nacional, do Instituto Nacional de Investigação Agrária e

das Pescas, a Miguel Tristany e Miguel Neto da Secção de Agricultura, do Departamento de Produção Agrícola e Animal, do Instituto Superior de Agronomia.

Agradece-se a Paulo Diogo da Universidade Nova de Lisboa, pela contribuição dada para a reflexão sobre algumas questões relacionadas com os impactos das alterações climáticas sobre a qualidade da água. Agradece-se à IMOAREIA e ao IMAR pela disponibilização dos dados referentes ao estudo do Aquífero Superior da Península de Tróia.

Agradece-se a Sónia Amaro, Elisabete Oliveira e Domingos Leitão do CVRM - Centro de Geossistemas do Instituto Superior Técnico pela colaboração nas tarefas de compilação de dados e informação. Agradece-se a Eduard Plà, Carlos Gracia e Santi Sabaté da Universidade Autònoma de Barcelona - CREAF, pela ajuda na utilização do modelo GOTILWA+.

Agradece-se à EEA (European Environment Agency) a autorização para reproduzir a Figura 1.1 e ao IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) autorização para reproduzir as Figuras 1.2, 1.3, 1.4, 1.6, 1.7, 1.8 e 1.9. Agradece-se à WHO (World Health Organization) a autorização para utilizar a Figura 1.5.

Os autores agradecem ao Tiago Capela Lourenço a sua empenhada colaboração na fase final da edição deste livro.

Finalmente as equipas do Projecto SIAM desejam agradecer a Ângela Antunes o profissionalismo e o empenhamento com os quais prestou um excelente apoio na administração e organização do projecto e na edição deste livro.

Os autores assumem plena responsabilidade por todos os erros, imprecisões e gralhas eventualmente contidas no texto do livro.

Prefácios

A procura de ordem é crucial para o equilíbrio e a coesão das nossas sociedades. A sobrevivência colectiva depende da maneira como são interpretados os padrões relativos às transições observadas, aos desequilíbrios, às mudanças, às instabilidades sentidas. A luta pela preservação da identidade cultural é constante.

Nas nossas comunidades são as regras de organização, os valores colectivos e percepções, os códigos de processamento de informação, a visão do mundo que a rodeia, numa palavra, a sua cultura, que traduzem a sua capacidade para se manter coesa ao longo do tempo, sobrevivendo. Deste modo, pode-se interpretar a desordem que vai impregnando as nossas sociedades como um perigoso sintoma de um sistema que aparentemente só sabe produzir «mais do mesmo».

O alargamento da separação entre as nações do mundo desenvolvido e do terceiro mundo, o reaparecimento brutal dos fenómenos de exclusão social, bem como o campear do terror, das marginalidades e da criminalidade, são disso um indício claro.

Por outro lado, a existência de alterações climáticas deixou de ser uma hipótese teórica a considerar, para ter que estar presente em quaisquer processos de decisão que visem a operação sustentada de actividades económicas em larga escala. Quer isto dizer que as «margens de segurança» no que respeita à coesão interna das nossas comunidades, se estimadas apenas a partir da experiência histórica recente, poderão estar perto dos limites.

Se não aproveitarmos este tempo para gerar uma visão do mundo renovada, que emule como valores últimos não a especulação e a competitividade mas sim a experimentação e a solidariedade, o tempo se encarregará de produzir inexoravelmente mais e mais desordem, até ao colapso da ordem existente. Temos que aproveitar este tempo para introduzir mais e melhor ciência nos processos de decisão. Só assim criaremos reais perspectivas de viver num mundo melhor.

Este livro é um manifesto pela racionalidade do Portugal contemporâneo. Contribui para nos fornecer uma visão essencialmente construtiva da nossa realidade, que se encontra em contínua mudança. A publicação deste livro é também um acto de cidadania. Sabemos bem como só através da sua livre expressão se poderá combater a inacção, o obscurantismo e a arrogância.

João Caração

Director do Serviço de Ciência da Fundação Calouste Gulbenkian

A questão das alterações climáticas como resultado da acção humana, é hoje (quase) universalmente aceite como um dos maiores desafios a enfrentar nas próximas décadas. Acreditamos que há uma base científica suficientemente robusta, que nos deve levar a tomar acções preventivas que permitam inverter as actuais tendências. Doutro modo o desenvolvimento económico, porque não feito de uma forma sustentável, apenas poderá trazer benefícios de curto prazo, hipotecando o futuro e deixando um legado às gerações vindouras de que não nos poderemos orgulhar. Isso exigiria tomadas de decisões drásticas que poderiam ter consequências inimagináveis para o planeta, para todas as formas de vida e, obviamente, para a raça humana.

Sabemos que a utilização da energia, baseada fundamentalmente na utilização de fontes fósseis, é um dos principais factores a ter em conta, face à libertação para a atmosfera de gases causadores do efeito de estufa. Sabemos também que não há no curto prazo alternativas que permitam manter o nível de crescimento económico desejado, nomeadamente nos países mais pobres. Temos, portanto, uma equação de difícil resolução. Nós, contudo, achamos que a solução existe e passa por múltiplos passos, desde a melhoria do rendimento dos equipamentos, à maior disciplina dos utilizadores e à evolução tecnológica que permitirão reduzir significativamente os aspectos negativos associados à utilização dos combustíveis fósseis, ao mesmo tempo que uma bem dirigida investigação permitirá alterar o balanço energético em favor de fontes renováveis e menos poluentes.

A BP mostrou essa evidência ao estabelecer metas internas que permitiram no espaço de alguns anos reduzir as emissões próprias, colocando-as 10% abaixo dos níveis de 1990. E isso foi conseguido não com grandes saltos tecnológicos, mas com milhares de pequenas e médias iniciativas do nosso pessoal em todas as instalações ao redor do mundo. Mas temos consciência que esse desafio só poderá ser ganho se houver uma união de esforços envolvendo as empresas, os governos, a sociedade civil e, muito particularmente a comunidade científica. É nesse contexto que temos todo o prazer em dar o nosso apoio a esta publicação, que vem trazer a público os resultados dum longo e rigoroso trabalho de investigação que nos pode ajudar a antecipar as consequências para Portugal e, consequentemente, trabalhar nas soluções que evitem a ocorrência dos cenários mais pessimistas. É óbvio que sozinhos, enquanto país, não podemos alterar muito, mas a nossa contribuição é importante e necessária.

Esperamos, sinceramente, que trabalhos como este sejam tidos na devida consideração e que sejam fomentadores da tomada de decisões e ações no terreno, que nos deixem de consciência tranquila por tudo termos feito para harmonizar o nosso desenvolvimento e bem-estar com um futuro desanuviado para os nossos filhos e netos.

António Comprido
PCA da BP Portugal

1

Problemática das Alterações Climáticas no Início do Século XXI

Filipe Duarte Santos

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

ÍNDICE

SUMÁRIO EXECUTIVO	19
EXECUTIVE SUMMARY	20
1. PROBLEMÁTICA DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NO INÍCIO DO SÉCULO XXI	21
1.1 ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS: O PASSADO E O FUTURO	21
1.1.1 Forçamento Radiativo e Efeito de Estufa	23
1.1.2 Sinais de Alterações Climáticas Recentes e Projeções para o Século XXI	25
1.1.3 Alterações Climáticas Abruptas	28
1.2 MODELOS CLIMÁTICOS E CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS	28
1.2.1 Modelos de Circulação Geral (GCM) e Modelos Regionais (RCM)	29
1.2.2 Cenários de Emissões de Gases com Efeito de Estufa ...	30
1.3 VULNERABILIDADE E IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS	31

1.3.1 Sensibilidade, Capacidade de Adaptação e Vulnerabilidade às Alterações Climáticas	31
1.3.2 Impactos das Alterações Climáticas	32
1.3.3 Impactos Diferenciados na Europa	32
1.4 RESPOSTAS PARA AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS: MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO	33
1.4.1 Mitigação	34
1.4.2 Como Evitar Uma Interferência Antropogénica Perigosa sobre o Sistema Climático	35
1.4.3 O Pós-Quito	36
1.4.4 Adaptação	37
1.5 INCERTEZAS	38
1.5.1 Interpretação Bayesiana das Probabilidades e Princípio da Precaução	39
1.6 O CASO DE PORTUGAL E O PROJECTO SIAM ...	40
1.6.1 Mitigação e Cumprimento do Protocolo de Quito em Portugal	41
1.7 REFERÊNCIAS	42

SUMÁRIO EXECUTIVO

O Capítulo 1 constitui uma breve introdução à problemática das alterações climáticas antropogénicas, ou seja, de origem humana. Sabemos que, no passado, o clima da Terra variou profundamente devido a causas naturais. Na última época glacial, que terminou há cerca de 20 000 anos, a temperatura média global da atmosfera à superfície era cerca de 5 °C a 7 °C menor do que a actual e o nível médio do mar estava 100 a 120 m abaixo do actual.

As emissões antropogénicas de gases com efeito de estufa (GEE) para a atmosfera, algumas com início na revolução industrial, modificaram ligeiramente a composição da atmosfera. A concentração atmosférica do dióxido de carbono (CO_2), o mais importante GHG em termos de forçamento radiativo e cujas emissões resultam sobretudo da combustão dos combustíveis fósseis – carvão, petróleo e gás natural – mas também da desflorestação, aumentou de 34 % desde o valor pré-industrial de 280 ppmv (partes por milhão em volume) até ao valor de 374 ppmv em 2001.

Os modelos de circulação geral da atmosfera que simulam o sistema climático terrestre, incluindo a atmosfera, os oceanos e a biosfera, indicam que parte das alterações climáticas observadas a nível global, desde meados do século XIX e especialmente nas últimas três décadas, é causada pelas emissões antropogénicas de GEE. Há vários sinais de alterações climáticas recentes. Desde o início do século XX a temperatura média global da atmosfera à superfície aumentou de 0.6 ± 0.2 °C e em algumas regiões continentais o aumento foi maior como, por exemplo, na Europa onde atingiu 0,95 °C. No que respeita à precipitação observou-se, especialmente nas últimas décadas, uma maior frequência de fenómenos extremos: episódios de precipitação intensa, sobretudo nas latitudes médias e altas, e secas nas latitudes médias. Durante o século XX observou-se um recuo da grande maioria dos glaciares de montanha, uma redução da massa de gelo nas grandes altitudes e uma redução significativa na área de gelos permanentes no Ártico.

Quanto ao futuro os modelos climáticos projectam um agravamento destas tendências. Para a temperatura média global a projecção até 2100 é de um aumento entre 1,4 °C e 5,8 °C. Na Europa o aumento projectado é de 2,0 °C a 6,3 °C, um pouco mais elevado do que a média global. Os cenários climáticos futuros indicam também uma maior frequência de fenómenos climáticos extremos: episódios mais frequentes de precipitação muito intensa e secas mais frequentes e severas. De acordo com as projecções o nível médio do mar irá subir até ao século XXI entre 0,09 e 0,88 m, sendo o valor mais provável da ordem de 0,5 m.

As alterações climáticas antropogénicas são já inevitáveis no século XX, têm uma probabilidade elevada de se agravarem e terão impactos, na maior parte negativos, sobre vários sistemas naturais e sociais. Perante estas conclusões é necessário formular e pôr em prática respostas adequadas. Há essencialmente dois tipos de respostas: a mitigação e adaptação. A primeira consiste em estabilizar a concentração atmosférica dos GEE por meio da redução das emissões actuais e futuras. A adaptação tem por objectivo minimizar os efeitos negativos dos impactos das alterações climáticas nos diversos sistemas naturais e sociais.

O tema principal deste livro é o estudo dos impactos e das medidas de adaptação às alterações climáticas em Portugal com base em cenários climáticos futuros obtidos com modelos climáticos de circulação geral e regionais. No presente Capítulo faz-se uma avaliação das incertezas inerentes a estudos deste tipo.

As observações do impacto das recentes alterações climáticas e as projecções para o futuro indicam que a região mediterrânica e o Sul da Europa são mais vulneráveis às alterações climáticas do que o Centro e o Norte da Europa. No caso de Portugal, tanto quanto é do nosso conhecimento, a primeira avaliação de impactos e medidas de adaptação multisectorial e integrada realizou-se no âmbito da primeira fase do Projecto SIAM (Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures) que decorreu de 1999 a 2002. Esta foi também a primeira avaliação deste tipo que se realizou num país do Sul da Europa.

A segunda fase do Projecto SIAM (SIAM II), que decorreu em 2002 e 2003 teve por objectivo aprofundar e alargar o âmbito das investigações realizadas no SIAM I, alargar o âmbito do estudo às Regiões Autónomas dos Açores e Madeira, realizar um estudo de caso na região da bacia hidrográfica do rio Sado e iniciar um processo organizado de divulgação e discussão dos resultados junto dos agentes (empresas, administração central e local e organizações não governamentais) afectados pela problemática das alterações climáticas. No presente trabalho foram avaliados os impactos e medidas de adaptação em vários sectores socioeconómicos e sistemas biofísicos de Portugal, designadamente, recursos hídricos, zonas costeiras, agricultura, saúde, energia, florestas, biodiversidade e pescas.

EXECUTIVE SUMMARY

Chapter 1 is a brief introduction to the subject of anthropogenic climate change, its challenges and responses. In the past the Earth's climate suffered profound changes due to natural causes. For instance in the last ice age, that came to an end about 20 000 years ago, the global average temperature of the atmosphere was 5° to 7 °C lower.

The anthropogenic emissions of greenhouse gases (GHG) to the atmosphere, since the industrial revolution, have induced slight changes in the composition of the atmosphere. In particular the emissions of carbon dioxide (CO₂), the most important GHG in terms of radiative forcing, results mainly from the combustion of fossil fuels – coal, oil and natural gas – and from deforestation. Its atmospheric concentration increased by 35 % from a pre-industrial value of 280 ppmv (parts per million in volume) to 374 ppmv in 2004.

The interpretation of the recent climate using general circulation models that simulate the behaviour of the climate system, including the atmosphere, the oceans and the biosphere, has shown that part of the climate changes observed since the middle of the XIX century and specially in the last three decades are the result of anthropogenic emissions of GHG. Various signs of recent climate changes have been identified. Since the beginning of the XX century the average global temperature of the atmosphere increased 0.6 ± 0.2 °C and in certain regions the increase was larger as, for instance, in Europe with a value of 0.95 °C. As regards precipitation more frequent events have been observed: events of intense precipitation, specially in medium and high latitudes and droughts in medium latitudes. During the XX century the large majority of mountain glaciers have receded, the snow mass at high altitudes has decreased and the area of permanent ice in the Arctic has been substantially reduced.

Climate models project that these tendencies will intensify in the future. The global average temperature of the atmosphere is projected to increase from 1.4 °C to 5.8 °C until 2100. The increase in Europe is projected to be slightly larger, from 2.0 °C to 6.5 °C. The future climate scenarios also indicate a higher frequency of extreme climate events: more frequent events of intense precipitation and more frequent and severe droughts. Until the end of the XXI century the sea-level is projected to rise from 0.09 m to 0.88 m with a more probable value around 0.5 m.

Anthropogenic climate changes are already inevitable during the XX century. They are likely to intensify and in most cases they will have negative impacts in various natural and social systems. In view of these conclusions we need to develop and implement adequate responses. There are essentially two types of responses: mitigation and adaptation. The objective of the first is to stabilize the atmospheric concentrations of GHG through the reduction of the present and future emissions of these gases to the atmosphere. Adaptation aims at minimizing the negative impacts of climate change on the various natural and social systems.

The main subject of this book is the study of the impacts and adaptation measures to climate change in Portugal using future climate scenarios obtained from general circulation models and regional models. The present Chapter contains a description and an assessment of the various types of uncertainties involved in this type of study.

The observation of the impact of recent climate changes and the study of climate changes projected in future scenarios indicate that the South of Europe and the Mediterranean region are more vulnerable than Central and Northern Europe. In the case of Portugal, as far as we know, the first multi-sectorial and integrated assessment of climate change impacts and adaptation measures was performed in the first phase of the SIAM (Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures) Project, that took place from 1999 to 2002. This type of assessment was also the first for a Southern European Country.

The main objectives of the SIAM Project (SIAM II) second phase in 2002 and 2003, were to enlarge the scope of the previous research, to fill some of the research gaps identified in the first phase, to extend the study to the Autonomous Regions of Azores and Madeira Islands, to conduct a focused and integrated case study in the region of the Sado river basin and to initiate an organized process of outreach and discussion of the SIAM I results with the agents (business, central and local administrations and non-governmental organizations) potentially affected by climate change impacts. The present work contains an assessment of the impacts and adaptation measures on various socio-economic and biophysical systems in Portugal, namely, water resources, coastal zones, agriculture, health, energy, forests, biodiversity and fisheries.

1. Problemática das Alterações Climáticas no Início do Século XXI

Filipe Duarte Santos

1.1 ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS: O PASSADO E O FUTURO

A atmosfera da Terra, desde a sua formação, há mais de 4000 milhões de anos, foi e é essencial para a evolução e preservação da vida. Ao longo deste imenso intervalo de tempo o clima¹, ou seja, o «tempo médio» ou «estado médio» da atmosfera, tem variado significativamente. Houve ciclos de glaciação com formação de extensas camadas de gelo nas regiões polares e subsequente fusão. A última época glaciária teve início há aproximadamente 120 000 anos e terminou há cerca de 20 000 anos. Nessa época a temperatura média global da atmosfera à superfície era 5 ° a 7 °C menor do que a actual e o nível médio do mar estava cerca de 100 a 120 m abaixo do actual.

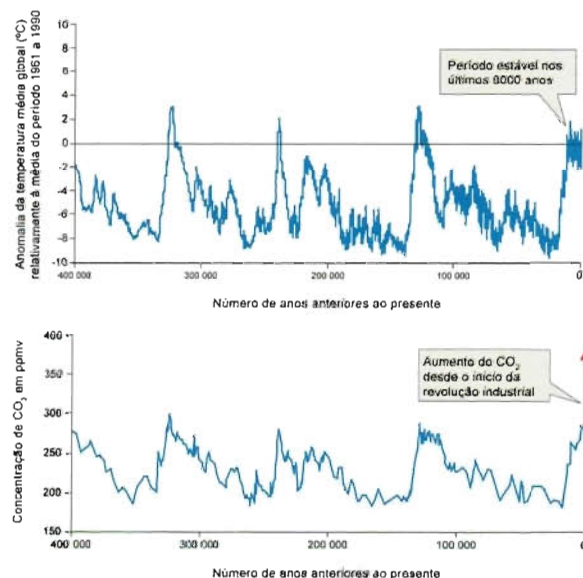


Figura 1.1 – Reconstituição da evolução da temperatura média global da baixa atmosfera, representada por meio da anomalia relativamente à média do período de 1961 a 1990, e da concentração atmosférica do CO₂ nos últimos 400 000 anos (Petit, 1999). Figura adaptada de EEA, 2004. Repare-se na correlação que se observa entre os dois registos. O aumento da concentração do CO₂ a partir da revolução industrial e até ao presente está indicado por um vector aproximadamente vertical devido à escala de tempo utilizada na Figura

A reconstituição da história do clima da Terra revela frequentes variações climáticas. Algumas manifestam-se com uma forte regularidade temporal em ciclos relativamente bem definidos. A maioria das variações climáticas dão-se em períodos de centenas, milhares ou milhões de anos e todas têm causas naturais. As principais causas conhecidas são pequenas variações na órbita que a Terra descreve em torno do Sol, variações na posição do eixo de rotação da Terra, flutuações na actividade solar e períodos de maior actividade vulcânica. Nos últimos 400 000 anos o clima da Terra apresentou uma alternância entre períodos glaciares frios, com uma duração aproximada de 80 000 a 100 000 anos, e períodos interglaciares relativamente quentes, com uma duração típica de 10 000 a 20 000 anos (Figura 1.1). Presentemente estamos num período interglaciário que podemos caracterizar como um «longo Verão» (Fagan, 2004): o clima nos últimos 8000 anos tem sido muito estável relativamente aos períodos glaciares, com pequenas flutuações de menos de 1 °C por século. A estabilidade do clima e o valor relativamente elevado da temperatura média, durante aquele intervalo de tempo, criou condições especialmente favoráveis ao desenvolvimento das várias civilizações e da actual sociedade humana globalizante.

Desde o início do século XX a temperatura média global da atmosfera à superfície aumentou de $0,6 \pm 0,2$ °C (IPCC, 2001a) (Figura 1.2). Em algumas regiões continentais o aumento foi maior, como, por exemplo, na Europa onde o valor médio atingiu 0,95 °C (CRU, 2003). As temperaturas no Inverno tiveram um aumento maior do que no Verão e na Europa o aumento de temperatura foi mais acentuado no Noroeste da Federação da Rússia e na Península Ibérica (EEA, 2004). Estes aumentos são anormais, tanto no valor como na rapidez com que ocorreram. Efectivamente, a variação observada na temperatura nos últimos 100 anos excede largamente as variações climáticas naturais dos últimos 1000 anos, conforme se conclui da análise da Figura 1.3 (IPCC, 2001a). A Figura 1.2 mostra que a maior parte do aumento da temperatura média global desde os finais do século XIX deu-se em dois períodos distintos: de 1910 a 1945 e a partir de 1976. Durante estes intervalos de tempo a taxa de aumento da temperatura média global foi cerca de 0,15 °C por década

¹ O clima de um determinado local ou região é definido pela descrição estatística em termos da média e variabilidade, das variáveis meteorológicas que caracterizam o estado da atmosfera nesse local ou região, durante um período de tempo no mínimo de alguns meses e até milhares ou milhões de anos. A Organização Meteorológica Mundial utiliza um período mínimo de 30 anos para definir um clima, ou mais precisamente uma «normal climática».

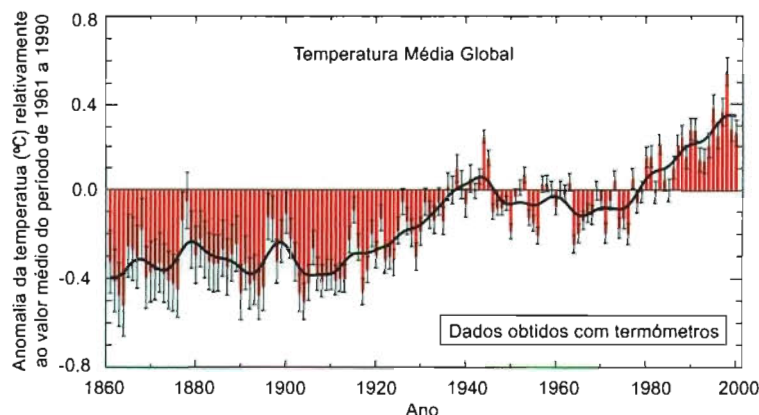


Figura 1.2 – Temperatura anual média global da atmosfera à superfície, representada em termos da anomalia relativamente ao valor médio do período de 1961 a 1990 (IPCC, 2001a). O intervalo de erro está representado por uma barra

e actualmente é de $0,17 \pm 0,05$ °C por década (IPCC, 2001a). A década de 1990 foi a mais quente e o ano de 1998 o mais quente desde 1861. Seguem-se por ordem decrescente de temperatura média global os anos de 2002, 2003 e 2004.

De acordo com as conclusões do Terceiro Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC), publicado em 2001 (IPCC, 2001a), a maior parte do aquecimento global observado nos últimos 50 anos resulta provavelmente das emissões para a atmosfera de gases com efeito de estufa (GEE) provocados pelas actividades humanas, especialmente a queima de combustíveis fósseis e as alterações no uso dos solos, em particular a desflorestação. O mesmo relatório conclui também ser muito provável que o aumento da temperatura média global da atmosfera, desde meados do século XIX, tenha contribuído significativamente para o aumento observado do nível médio do mar durante o século XX, por meio da expansão térmica das camadas superficiais do oceano e da fusão dos gelos das regiões montanhosas. A plausibilidade destas conclusões tem sido reforçada nos últimos anos, desde 2001, por inúmeras publicações relatando novas observações e estudos.

Existe ainda uma incerteza considerável na quantificação da contribuição antropogénica para o aquecimento global, que é necessário reduzir. Há porém um consenso nos meios científicos, cada vez mais generalizado, de que as emissões antropogénicas para a atmosfera de GEE têm contribuído para as alterações climáticas que se observaram no último século e especialmente nos últimos 50 anos.

Não é apenas o IPCC que reconhece esta relação causal mas também muitas organizações científicas nacionais e internacionais como, por exemplo, a National Academy of Sciences dos Estados Unidos da América (NASC SCC, 2001). Num estudo recente (Oreskes, 2004), em que se analisaram 928 artigos sobre alterações climáticas publicados em revistas científicas com sistema de arbitragem e referenciadas na base de dados do ISI entre 1993 e 2003, conclui-se que em nenhum deles se contraria a tese de o homem estar a interferir com o sistema climático e a provocar alterações climáticas. Em 75 % desses artigos defende-se explicitamente a posição consensual de que as emissões antropogénicas de GEE estão a provocar alterações climáticas. No entanto, apesar deste acordo quanto

à natureza do problema, há ainda muito desconhecimento e incerteza sobre o funcionamento detalhado do sistema climático e sobre as consequências futuras da interferência humana sobre esse sistema. O consenso é muitíssimo menor acerca do que se deve ou não fazer para combater as alterações climáticas antropogénicas.

Na Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas, as alterações climáticas definem-se como sendo resultantes de acções humanas directas ou indirectas e a variabilidade climática como sendo resultante apenas de processos naturais. Neste estudo adoptamos a definição do

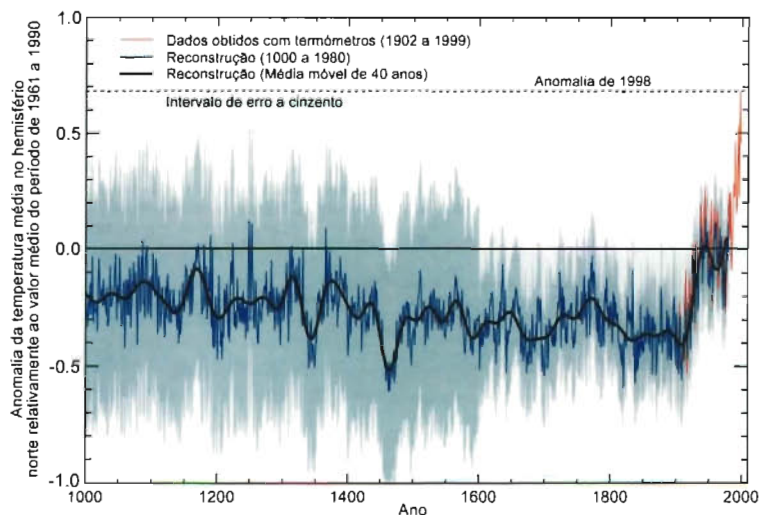


Figura 1.3 – Temperatura anual média da atmosfera à superfície no hemisfério Norte desde o ano 1000 (IPCC, 2001a), representada por meio da anomalia relativamente à média do período de 1961 a 1990. Reconstrução de 1000 a 1980 representada a azul e obtida com base na análise dos anéis das árvores, corais, cilindros de gelo obtidos em furos nos gelos polares e dados históricos. Série instrumental representada a vermelho e intervalo de erro a cinzento

IPCC (IPCC, 2001a), na qual uma alteração climática consiste numa variação estatisticamente significativa da média e/ou da variabilidade das variáveis que definem o clima e que persiste durante um período longo, tipicamente da ordem de décadas ou maior, sem identificar especificamente a causa daquela alteração. De acordo com esta definição, uma alteração climática poderá ter causas naturais, antropogénicas ou resultar de ambas.

1.1.1 Forçamento Radiativo e Efeito de Estufa

Os GEE têm a propriedade de absorverem e emitirem radiação infravermelha. Quando se aumenta a concentração de GEE na atmosfera há uma maior parte da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra que é absorvida. Este forçamento radiativo implica que a radiação infravermelha emitida no sentido ascendente pela atmosfera tem a sua origem, em média, a uma maior altitude, onde a temperatura é menor. Dado que a quantidade de energia emitida diminui com a temperatura, estabelece-se um desequilíbrio entre a quantidade total de energia radiativa recebida do Sol e a quantidade total de energia radiativa emitida pela Terra. O equilíbrio restabelece-se naturalmente por meio de um ligeiro aumento da temperatura da baixa atmosfera, chamada troposfera. O processo de aumento de temperatura da baixa atmosfera provocado pelo aumento da concentração dos GEE chama-se efeito de estufa.

Os principais gases com efeito de estufa presentes na atmosfera são o vapor de água, cuja concentração é muito variável, o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), o ozono (O_3), os clorofluorcarbonetos (CFC), os hidroclorofluorcarbonetos (HCFC) e ainda outros de menor importância. Os GEE desempenham um papel crucial no equilíbrio radiativo da atmosfera. A superfície esférica da Terra recebe em média 343 Wm^{-2} de radiação solar, sobretudo no visível, dos quais cerca de 103 Wm^{-2} são reflectidos para o espaço pelas nuvens e superfície e nesta sobretudo pela neve, gelos e desertos. Os restantes 240 Wm^{-2} são absorvidos e aquecem o sistema Terra-atmosfera mas voltam a ser irradiados para o espaço sob a forma de radiação infravermelha para manter o equilíbrio radiativo. Destes 240 Wm^{-2} , cerca de 40 Wm^{-2} são emitidos pela superfície, 35 Wm^{-2} pelas nuvens e 165 Wm^{-2} pela atmosfera, principalmente pelos GEE. Na ausência de GEE a superfície terrestre irradiaria directamente para o espaço: a radiação infravermelha não seria absorvida pela atmosfera e esta não emitiria energia para a superfície. Nesta situação hipotética a temperatura média global da atmosfera à superfície seria próxima dos -18°C em lugar dos actuais 15°C . Esta diferença de 33°C resulta de um efeito de estufa natural que favorece decisivamente as condições de habitabilidade do planeta.

Desde o início da revolução industrial, em meados do século XVIII, até 2004 as emissões antropogénicas de CO_2 aumentaram a concentração atmosférica deste gás em 35 %, desde o valor pré-industrial de 280 ppmv (partes por milhão em volume) até ao valor de 379 ppmv em 2004. Este valor excede em cerca de 70 ppmv o máximo da concentração atmosférica do CO_2 durante os últimos 120 000 anos (Figura 1.1) e provavelmente não foi excedido nos últimos 20 milhões de anos (IPCC, 2001a). Note-se porém que em eras geológicas mais recuadas, designadamente no Cretácico, a concentração de CO_2 foi provavelmente várias vezes superior ao valor actual. Nessa época geológica a temperatura média global da atmosfera era muito mais elevada do que actualmente e não existiam calotes polares de gelos nos hemisférios Norte e Sul (Huber, 2000). O que há de verdadeiramente inédito na situação presente é a elevada taxa de variação da concentração de CO_2 . Durante as duas últimas décadas do século XX a taxa média anual do aumento da concentração de CO_2 foi de 1,5 ppmv, valor que é mais de cem vezes superior àquele que se registou nas transições recentes dos períodos glaciares para os períodos interglaciares (Figura 1.1).

O aumento da concentração do CO_2 atmosférico resulta predominantemente da queima de combustíveis fósseis – carvão, petróleo e gás natural – e, em menor grau, da desflorestação e outras alterações no uso dos solos. Em média cerca de 75 % das emissões antropogénicas de CO_2 nos últimos 20 anos resultaram da combustão de combustíveis fósseis. O restante resultou principalmente de alterações no uso dos solos, em especial a desflorestação. A proveniência fóssil do carbono nas moléculas do acréscimo de CO_2 pode estabelecer-se inequivocamente por meio da medição das abundâncias relativas dos isótopos ^{13}C e ^{12}C , relativamente ao ^{12}C , no CO_2 atmosférico (Harvey, 2000). Outros GEE com emissões antropogénicas importantes são: o CH_4 proveniente da agricultura, em especial da pecuária e dos arrozais, o N_2O proveniente da agricultura e da indústria e os CFCs e HCFCs utilizados em várias indústrias. A Figura 1.4 mostra a evolução da concentração atmosférica dos principais GEE com emissões antropogénicas – CO_2 , CH_4 e N_2O – nos últimos 1000 anos.

Foi já referido que o aumento da concentração atmosférica de GEE provoca um forçamento radiativo que tende a aumentar a temperatura da atmosfera. O forçamento radiativo de um GEE é a variação média do fluxo radiativo na tropopausa (Harvey, 2000) (zona de transição entre a troposfera e a estratosfera) provocada pelo aumento da sua concentração. Actualmente as emissões antropogénicas de CO_2 produzem um forçamento radiativo médio de $1,5 \text{ Wm}^{-2}$ (Figura 1.4) correspondente a cerca de 60 % do forçamento radiativo médio global do conjunto das emissões antropogénicas de GEE. É pois conveniente exprimir a concentração atmosférica

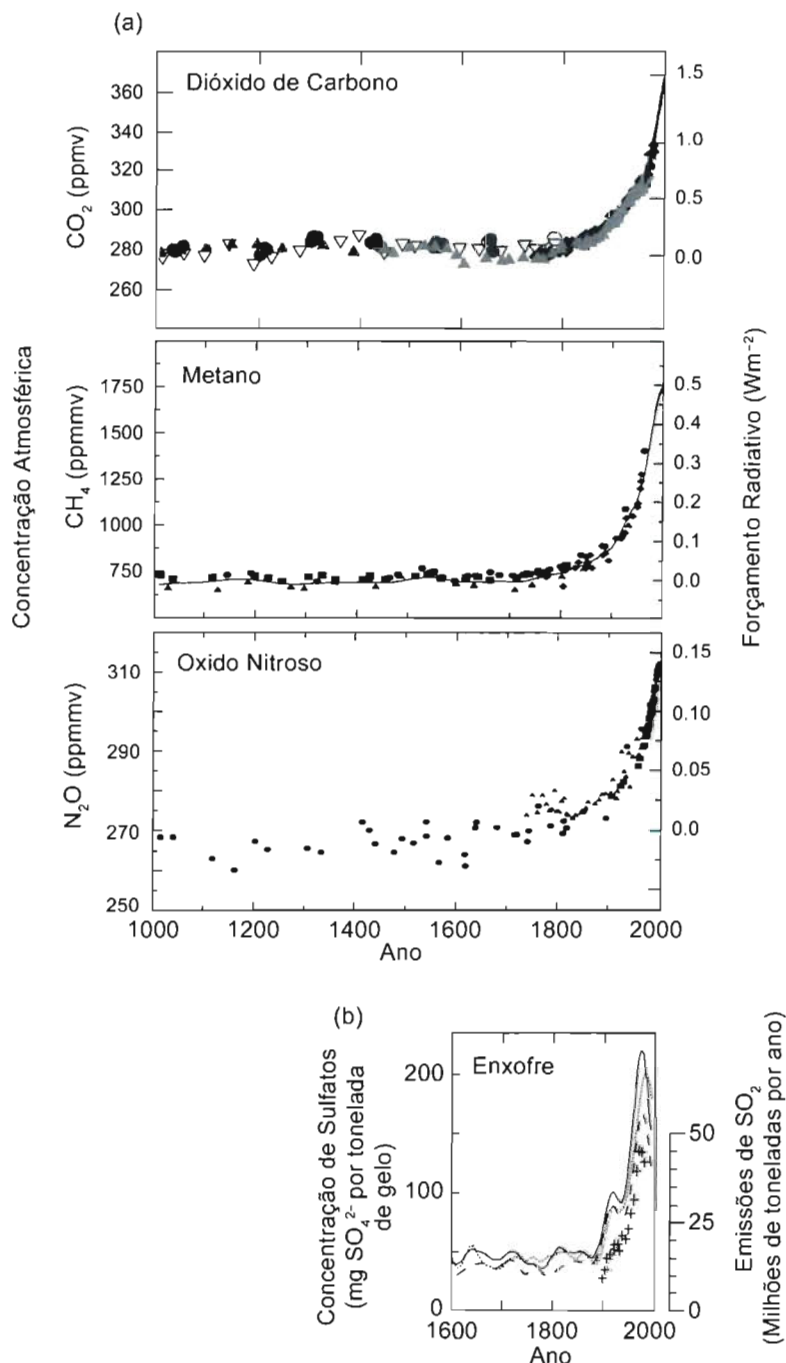


Figura 1.4 – Evolução das concentrações de vários componentes da atmosfera (IPCC, 2001a). (a) Concentrações de três dos principais gases com efeito de estufa (GEE), com emissões antropogénicas – CO_2 , CH_4 e N_2O – nos últimos 1000 anos. Dados obtidos a partir de furos nos gelos da Antártida e Gronelândia e de observações directas nas últimas décadas (indicada por uma linha no caso do CO_2). No gráfico relativo ao CH_4 , a curva representa a média global. O forçamento radiativo provocado pela presença destes gases na atmosfera está representado à direita. No caso do CH_4 e N_2O a concentração está representada em partes por milhão de volume (ppmv). (b) Concentrações de sulfatos obtidas a partir de furos nos gelos da Gronelândia em três locais (curvas) e emissões totais de SO_2 na Europa e nos Estados Unidos da América (indicadas com +)

rica de uma dada mistura de GEE em termos de CO_2 equivalente, ou seja, da concentração de CO_2 que produziria o mesmo forçamento radiativo do que a referida mistura.

As actividades humanas também interferem com o balanço radiativo da atmosfera por meio da produção e emissão de aerossóis. Algumas actividades industriais e agrícolas produzem, directamente ou por meio de reacções químicas secundárias, aerossóis, isto é, partículas em suspensão, que reflectem ou absorvem a radiação solar. Na maioria dos casos há reflexão, pelo que contribuem para um forçamento radiativo negativo que tende a arrefecer a atmosfera. Por exemplo a queima de carvão em centrais térmicas, especialmente quando contém teores elevados de enxofre, produz dióxido de enxofre (SO_2) que, por via de reacções químicas, origina aerossóis de sulfatos que reflectem a radiação solar (Figura 1.4). Por outro lado, os motores a diesel e a queima de biomassa produzem aerossóis negros, como a fuligem, que tendem a absorver a radiação solar, pelo que produzem um forçamento radiativo positivo. As estimativas (IPCC, 2001a) indicam que o conjunto de aerossóis antropogénicos produz um forçamento radiativo médio global negativo de cerca de -1 Wm^{-2} , mas é ainda grande a incerteza associada a este valor.

O Sol é o principal factor de forçamento externo do clima da Terra. A sua luminosidade – potência radiativa total emitida pela estrela – pode determinar-se através do fluxo total de energia radiativa à distância média da Terra ao Sol, chamado irradiância solar total ou constante solar. A constante solar, cujo valor aproximado é de 1368 Wm^{-2} (Hoyt, 1997), pode medir-se com elevada precisão desde os finais da década de 1970 com radiómetros colocados em satélites. Os modelos climáticos indicam claramente que o

ciclo de 11 anos da actividade solar, que provoca variações na constante solar de poucas décimas de 1%, tem impactos mensuráveis na estratosfera mas um efeito praticamente nulo sobre o clima na troposfera (Benestad, 2002). Embora haja indicações de que variações de período longo da constante solar influenciam o clima não existe base científica credível para aceitar que essas variações constituam uma antítese do aquecimento global provocado pelo aumento da concentração de GEE na atmosfera.

Para além dos aerossóis antropogénicos é necessário também considerar os aerossóis naturais como, por exemplo, os que resultam das erupções vulcânicas, da erosão dos solos pelo vento e dos vários processos de formação de aerossóis de sais marinhos, provenientes dos oceanos. Repare-se, finalmente, que os aerossóis produzem um efeito indirecto sobre o clima ao actuarem como núcleos de condensação para a formação das gotas de água que constituem as nuvens. A intervenção dos aerossóis no sistema climático, em especial dos que têm origem em actividades humanas, é ainda pouco conhecida e constitui uma fonte adicional de incerteza no esforço de separação do sinal das alterações climáticas antropogénicas do ruído da variabilidade climática natural.

A profunda dependência da economia mundial nos combustíveis fósseis indica que as emissões antropogénicas de CO_2 para a atmosfera vão continuar a aumentar nas próximas décadas. No início do século XXI os combustíveis fósseis totalizavam cerca de 80 % das fontes primárias de energia mundial e de acordo com o último relatório da Agência Internacional de Energia (IEA, 2004) as emissões globais anuais de CO_2 para a atmosfera vão aumentar 60 % até 2030 se não houver mudanças significativas nas políticas energéticas. Mais de dois terços do aumento das emissões terá origem nos países em desenvolvimento, que, de acordo com as projecções, irão continuar a usar o carvão de forma intensiva. Quanto às emissões de CO_2 provenientes da desflorestação e de outras alterações no uso dos solos é plausível que continuem sem sofrer reduções significativas. É pois provável que a concentração atmosférica de CO_2 continuará a aumentar, possivelmente até ao final do século XXI. Neste contexto é importante salientar que a resposta da concentração atmosférica de CO_2 às variações nas emissões é muito lenta porque, em média, as moléculas de CO_2 permanecem cerca de 100 anos na atmosfera, antes de desaparecerem por meio de vários processos - a dissolução nos oceanos, a fotossíntese e a meteorização das rochas, são os mais importantes. Se fosse possível reduzir até ao zero as emissões antropogénicas de CO_2 de forma repentina, digamos em um ano, só passados cerca de 100 anos é que a concentração atmosférica desse gás

sofreria a correspondente redução. Finalmente, as emissões antropogénicas de outros GEE não têm também tendência de redução devido à importância económica dos processos responsáveis por essas emissões.

Em conclusão é muito provável que as emissões antropogénicas de GEE continuem a aumentar nas próximas décadas. Consequentemente, é também muito provável que as alterações climáticas se irão agravar ao longo do século XXI. Compreende-se pois a importância de construir modelos do sistema climático que nos permitam fazer cenários do clima futuro, tanto quanto possível fiáveis. A questão dos modelos climáticos e da incerteza nas projecções do clima será retomada mais tarde. Contudo, importa desde já referir que a severidade das alterações climáticas futuras depende do comportamento das emissões de GEE ao longo do tempo e especialmente nos próximos 100 anos. Há pois uma incerteza significativa sobre o clima futuro que resulta dos diferentes cenários possíveis para o desenvolvimento socioeconómico e correspondentes emissões de GEE até ao final do século.

1.1.2 Sinais de Alterações Climáticas Recentes e Projecções para o Século XXI

O Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 2001a) conclui que um conjunto de 35 cenários de emissões de GEE (que não incluem medidas específicas de redução destas emissões [IPCC, 2001c]), utilizados em vários modelos climáticos, projecta² para 2100 um aumento da temperatura média global situado no intervalo de 1,4 °C a 5,8 °C relativamente à média de 1961 a 1990. A Figura 1.5 procura comparar este aumento num período de aproximadamente 100 anos com as variações da temperatura média durante os últimos 20 000 anos. Após o início da presente época glacial houve um período quente há cerca de 8000 anos no qual o actual deserto do Sahara tinha maior precipitação e estava parcialmente coberto por savanas. Foi nesse período que surgiu a civilização suméria na Mesopotâmia com as primeiras cidades-estado. Mais tarde, na Idade Média, houve novamente um período relativamente quente entre 1100 e 1300 seguido da «pequena idade do gelo» entre cerca de 1400 e 1800 que contribuiu decisivamente para os Vikings terem abandonado a Gronelândia. Os estudos arqueológicos permitem actualmente concluir que as variações do clima influenciaram profundamente as civilizações por vezes de forma positiva, outras de forma negativa, contribuindo até, em alguns casos, para o seu colapso, como aconteceu com o império da Acádia, na Síria, há cerca de 1170 anos e com o

² Utiliza-se a palavra projecção e não previsão porque uma previsão implica normalmente que se conhece a lei de probabilidades que lhe está associada o que, actualmente, não é possível fazer para o clima futuro.

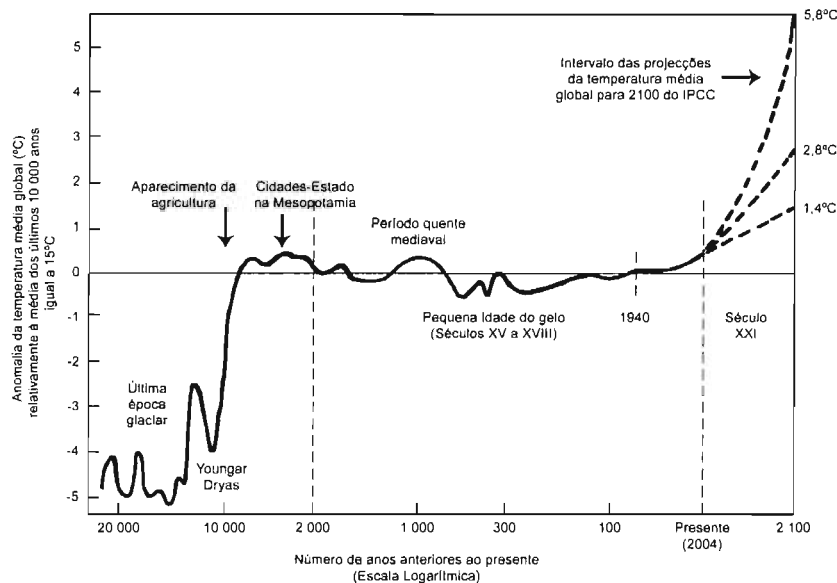


Figura 1.5 – Evolução da anomalia da temperatura média global da baixa atmosfera desde há 20 000 anos, relativamente à média dos últimos 10 000 anos (15 °C), representada numa escala logarítmica do tempo. A partir do presente (2004) representam-se a tracejado três cenários possíveis para a evolução da anomalia da temperatura média global até 2100 obtidos com os cenários do IPCC (IPCC, 2001a; IPCC, 2001c). Os cenários mais alto e mais baixo conduzem a 5,8 °C e 1,4 °C, respectivamente, correspondentes aos valores extremos do intervalo de incerteza da anomalia. A Figura apresenta ainda uma projecção intermédia que conduz a uma anomalia de 2,8 °C em 2100. Figura adaptada de Kovats, 2003

império Maia Clássico, na América Central, entre os anos 750 e 900 da nossa era (deMenocal, 2001). A causa destas variações climáticas naturais não está ainda completamente esclarecida. Podem resultar em parte de forçamentos externos tais como períodos de intensa actividade vulcânica ou variações na irradiância do Sol ou de forçamentos internos ao sistema climático resultantes da interacção entre a atmosfera e os oceanos.

O aumento da temperatura média global da atmosfera projectado até ao final do século XXI é maior nas regiões continentais do que nos oceanos, perturbando o actual regime de monções e as chuvas que lhe estão associadas e são vitais para grande parte das populações do Sul e Sueste da Ásia. Na Europa o aumento projectado da temperatura até 2100 (sem medidas efectivas de redução das emissões de GEE) é de 2,0 °C a 6,3 °C (EEA, 2004), um pouco mais elevado do que a média global. O aquecimento tende também a ser maior nas latitudes elevadas, especialmente no Inverno. Nos próximos 100 anos projecta-se um aumento da temperatura média do Ártico de 4 a 7 °C (ACIA, 2004). A amplitude térmica diurna tende a diminuir, sobretudo nas regiões continentais, devido a um maior aumento da temperatura mínima relativamente à máxima. As ondas de calor, caracterizadas, por exemplo, por uma temperatura máxima superior a 35 °C, irão aumentar tanto em frequência como em intensidade.

Estas projecções climáticas correspondem a tendências que têm sido observadas nas últimas décadas.

No que respeita ao ciclo da água os modelos indicam que a concentração do vapor de água na atmosfera e a precipitação global irão aumentar. Haverá também mudanças significativas na distribuição espacial da precipitação: aumento nas latitudes mais elevadas, em algumas regiões equatoriais e no Sueste da Ásia. Nas latitudes médias, incluindo o Sul da Europa, a região mediterrânica e a Amazónia a generalidade dos modelos projectam uma diminuição da precipitação. Na Europa as projecções dos modelos climáticos indicam, para o período até 2100, que a precipitação irá aumentar no Norte e diminuir no Sul (ACIA-CIA, 2000).

No que respeita à precipitação, observou-se nas últimas décadas do século XX, especialmente nas latitudes médias e altas do hemisfério Norte (IPCC,

2001a), uma maior frequência de episódios de precipitação intensa. Por outras palavras, a fracção da precipitação anual que ocorre de forma intensa em intervalos de tempo curtos tem aumentado, embora a precipitação média anual não tenha variado significativamente. No extremo oposto observa-se também em várias regiões da África, Ásia e Europa uma tendência para uma maior frequência e intensidade de situações de seca. Estas tendências recentes para uma maior frequência de fenómenos climáticos extremos são semelhantes às que são projectadas pelos cenários climáticos futuros. É pois muito provável que se irão agravar durante os próximos 100 anos.

Durante o século XX e especialmente nos últimos 50 anos observou-se um recuo da grande maioria dos glaciares de montanha e uma redução da massa de gelo nas grandes altitudes que é compatível com as observações do aumento da temperatura média global da atmosfera à superfície durante esse intervalo de tempo (Oerlemans, 2005). Apenas alguns glaciares, sobretudo em regiões costeiras, não estão a recuar e essas situações resultam provavelmente de um aumento da precipitação nessas regiões (IPCC, 2001a). Na Europa oito em cada nove glaciares estão a recuar e de 1850 a 1980 os glaciares dos Alpes perderam aproximadamente um terço da sua área e cerca de metade da sua massa. Após 1980 perderam mais 20 a 30 % da restante massa de gelo (EEA, 2004).

Nas calotes polares a situação é também preocupante embora mais fácil de interpretar no Ártico do que na Antártida. De acordo com um relatório recente (ACIA, 2004) a área de gelos marítimos estivais no Ártico reduziu-se de 16 a 20 % nos últimos 30 anos. Na Gronelândia a área da camada de gelo, anualmente sujeita à fusão durante o Verão, aumentou de 16 % de 1979 a 2002. Nas águas do oceano Atlântico Norte também se observam alterações. Há uma redução significativa da salinidade e da densidade no Atlântico Norte resultante de um maior afluxo de água doce causada pela fusão dos gelos oceânicos, do degelo dos glaciares e de um maior escoamento nos rios. O eventual agravamento futuro desta tendência poderá alterar as correntes oceânicas, especialmente a corrente termo-halina, responsável pela incursão da corrente quente do Golfo até às latitudes elevadas do Atlântico Norte, com consequências graves para o clima regional. Em conclusão, o Ártico está a sofrer alterações climáticas muito rápidas e intensas relativamente a outras regiões do globo e por outro lado as transformações que daí resultam têm impactos profundos à escala global. Modelos climáticos recentes (Gregory, 2004) indicam que um aumento da temperatura média global da atmosfera superior a 3 °C poderá conduzir à fusão integral da camada de gelo sobre a Gronelândia num intervalo de tempo superior a 1000 anos. Esta fusão elevaria o nível médio do mar em cerca de 7 m.

O Terceiro Relatório do IPCC (IPCC, 2001a) conclui que as observações sistemáticas realizadas por meio de satélites desde 1978 não revelaram alterações significativas na área dos gelos oceânicos da Antártida. Na região Leste da Antártida há indicações de um aumento da precipitação e, consequentemente, da massa de gelo no período de 1950 a 1991 (Smith, 1998). Porém, no Oeste da Antártida a camada de gelo é mais vulnerável às alterações climáticas porque, em muitos locais, a sua base encontra-se abaixo do nível médio do mar. Levantamentos recentes indicam que os glaciares na região Oeste estão a perder massa e alguns deles a fluir mais rapidamente para o oceano, provavelmente devido ao efeito do aumento da temperatura superficial do oceano na base do glaciário. As observações indicam que a perda de massa na camada de gelo na região do mar de Amundsen é superior à acumulação resultante da queda de neve. Estas instabilidades na região Oeste da Antártida começam a ser motivo de preocupação. Note-se que a fusão da camada de gelo naquela região corresponderia a um aumento

do nível médio do mar da ordem de 5 m. A fusão da totalidade da actual calote polar antártica produziria um aumento do nível médio do mar da ordem de 60 m (IPCC, 2001a). Consequentemente, a fusão total dos gelos da Gronelândia e da Antártida produziria um aumento do nível médio do mar de cerca de 67 m.

Uma outra conclusão de carácter geral é o aumento do nível médio do mar, observado na rede mundial de marégrafos, durante o século XX. O aumento observado situou-se entre 1,0 e 2,0 mm/ano e é cerca de 10 vezes superior ao valor médio estimado por meio de observações indirectas para os últimos 3000 anos (IPCC, 2001a). Sabe-se que o nível médio do mar tem uma variação significativa e rápida nas transições entre épocas glaciares e interglaciares (Lambeck, 2001). No final da última época glaciária, entre 15 000 e 6000 anos atrás, a subida do nível médio do mar foi de 10 mm/ano (IPCC, 2001a).

O aumento do nível médio do mar nos últimos 100 anos é, na sua maior parte, devido à dilatação térmica da camada superficial dos oceanos, provocada pelo aumento da temperatura média global da atmosfera à superfície, e ao degelo dos glaciares das montanhas. Esta conclusão resulta da interpretação, por meio de modelos, da variação da temperatura superficial dos oceanos observada durante aquele intervalo de tempo (IPCC, 2001a). A continuação da expansão térmica da camada superficial dos oceanos e a propagação do acréscimo de calor às camadas mais profundas irão, muito provavelmente, acelerar o aumento do nível médio do mar durante o século corrente. É importante ter presente que o tempo de resposta dos oceanos ao aumento da concentração de GEE

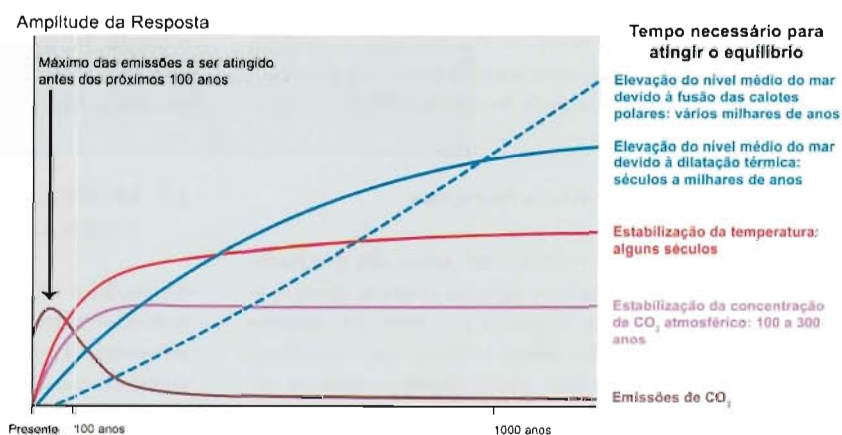


Figura 1.6 – Evolução da concentração do CO₂ atmosférico, da temperatura média global da baixa atmosfera e do nível médio do mar induzida por uma evolução das emissões antropogénicas de CO₂ que atinge um máximo nos próximos 100 anos. Neste cenário a estabilização da concentração do CO₂ dá-se passados 100 a 300 anos e a estabilização da temperatura média global passados alguns séculos. No que respeita ao nível médio do mar a estabilização do seu aumento, provocado pela dilatação térmica e pelo degelo das calotes polares, dá-se passadas várias centenas de anos a mais de um milhar e passados vários milhares de anos, respectivamente. Figura adaptada de IPCC, 2003

na atmosfera é muito maior do que o tempo de resposta da atmosfera. Foi referido que a atmosfera, no que respeita à evolução da concentração de CO_2 , tem um tempo de resposta da ordem de 100 anos; o tempo de resposta dos oceanos ao aumento do efeito de estufa é superior a 500 anos devido à sua maior inércia térmica. A Figura 1.6 representa o tempo de resposta da atmosfera e dos oceanos, ou seja, o tempo necessário para o sistema atingir o equilíbrio, perante o forçamento de uma determinada evolução das emissões antropogénicas de CO_2 . Se fosse possível interromper total e imediatamente as emissões antropogénicas de GEE, o nível médio do mar continuaria a subir durante pelo menos 500 anos. Observações recentes (Barnett, 2001; Kerr, 2005) confirmam que o aquecimento da camada superficial dos oceanos está a propagar-se às camadas mais profundas até profundidades da ordem de milhares de metros. A concordância entre o perfil térmico observado e o que se obtém por meio de modelos climáticos é actualmente interpretada como uma das provas mais robustas do aquecimento global antropogénico.

O aumento do nível médio do mar projectado até ao final deste século pelo Terceiro Relatório do IPCC (IPCC, 2001a), com base num conjunto de modelos climáticos e de cenários socioeconómicos futuros, está compreendido entre 0,09 e 0,88 m. Este aumento resulta principalmente da expansão térmica da camada superficial dos oceanos e do degelo dos glaciares das montanhas. De acordo com os modelos utilizados, a contribuição da fusão dos gelos da Gronelândia e da Antárctida para o aumento do nível do mar nos próximos 100 anos não será muito significativa. Note-se que o aumento do nível médio do mar não é o mesmo para todos os oceanos e para todas as regiões de um dado oceano devido à variação geográfica da expansão térmica, às variações de salinidade, aos ventos e à circulação oceânica. Por exemplo, os modelos projectam um aumento superior à média no oceano Ártico e inferior nos oceanos em torno da Antárctida (IPCC, 2001a).

1.1.3 Alterações Climáticas Abruptas

As alterações climáticas referidas até agora são gradualistas no sentido de que resultam de uma resposta aproximadamente linear do sistema climático aos novos forçamentos a que está sujeito. Porém, temos também que considerar alterações climáticas abruptas (ACC, 2002) resultantes, em geral, de forçamentos relativamente rápidos que obrigam o sistema climático a transitar bruscamente para novas situações de equilíbrio muito diferentes das anteriores. O sistema climático envolve uma grande multiplicidade de interações e mecanismos de retroacção, muitos deles não lineares. Estes processos criam limiares de resposta às perturbações a partir dos quais o comportamento do sistema é profundamente alterado. Estudos de paleoclimatologia revelam claramente

vários exemplos de alterações climáticas abruptas nos últimos 100 000 anos, especialmente nos períodos de transição para a última época glacial e desta para a actual época interglacial. Há indícios de variações abruptas da temperatura média global, de cerca de 5 °C, em intervalos de tempo curtos da ordem das poucas décadas. Um dos exemplos mais conhecidos, chamado Younger Dryas, deu-se no final da época glacial há cerca de 12 800 a 11 500 anos e resultou provavelmente da interrupção e reposição da corrente termo-halina no Atlântico Norte. Outro exemplo registado nos gelos da Gronelândia foi um arrefecimento local de cerca de 6 °C, durante um pequeno intervalo de tempo, há cerca de 8200 anos, provocado, provavelmente, pela fusão da camada de gelo na baía de Hudson no Canadá (Barber, 1999).

As alterações climáticas abruptas são mais difíceis de simular e de prever porque resultam de processos não lineares em situações particularmente instáveis, embora os seus efeitos possam ser mais graves. Uma das situações que tem sido amplamente analisada é a eventualidade da corrente do Golfo, que faz parte da corrente termo-halina (IPCC, 2001a), deixar de atingir as latitudes elevadas no Atlântico Norte devido ao aumento do afluxo de água doce nessas regiões provocado pelo degelo e por uma maior precipitação. Esta interrupção iria alterar o clima do Atlântico Norte e em particular da Europa Ocidental tornando-o mais frio, muito embora a temperatura média global continuasse a aumentar. Presentemente, os modelos indicam ser muito provável que no Atlântico Norte a corrente termo-halina enfraqueça durante este século, mas improvável que seja interrompida (ACC, 2002).

Em conclusão, importa ter presente que quanto mais rápida e intensa for a interferência antropogénica sobre o sistema climático mais prováveis se tornarão as suas respostas inesperadas e súbitas.

1.2 MODELOS CLIMÁTICOS E CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS

Os modelos climáticos são instrumentos de grande importância no estudo das alterações climáticas porque permitem, por meio da simulação do sistema climático, interpretar o comportamento recente do clima e obter cenários do clima futuro. A estimativa de -18 °C para a temperatura média global da atmosfera na ausência do efeito de estufa natural resulta da aplicação de um modelo climático extremamente simples que se reduz a uma equação de balanço radiativo no planeta Terra. Os actuais modelos climáticos mais realistas e fiáveis são muito mais complexos: incluem os subsistemas atmosfera e oceano, as suas interações e a descrição dos vários processos físicos, químicos e biológicos que determi-

nam o clima. O modelo climático ideal deveria descrever todos os processos com relevância para o clima e todos os fenómenos até às mais pequenas escalas temporal e espacial. Evidentemente que tal não é possível; os modelos climáticos são necessariamente incompletos e envolvem vários tipos de aproximações. Por exemplo, é necessário estabelecer compromissos entre as resoluções temporal e espacial do modelo climático devido a limitações computacionais.

É importante referir que não existe contradição entre a impossibilidade de os modelos meteorológicos produzirem previsões do tempo fiáveis para além de 10 dias e a viabilidade de se obterem cenários do clima futuro para os próximos 100 anos. Nos modelos de previsão do tempo pretende-se uma grande resolução espacial e nas escalas pequenas a dinâmica da atmosfera tem um comportamento caótico. Qualquer pequena perturbação atmosférica num determinado local e instante é susceptível de provocar uma perturbação significativa a grandes distâncias, da ordem de milhares de quilómetros, passado um intervalo de tempo curto, da ordem de poucas semanas. Será que o sistema climático tem características caóticas que impedem a previsão do clima futuro? Uma boa forma de procurar responder a esta pergunta é através da análise e interpretação dos climas do passado. Sabemos que a alternância entre os períodos glaciares e interglaciares durante os últimos 500 000 anos tem na sua origem variações cíclicas nos parâmetros orbitais da Terra (Benn, 1998). Esta hipótese, proposta por Milutin Milankovitch, é confirmada pelo facto de que 60 ± 10 % da variância observada nos registos paleoclimáticos da temperatura média global ocorre próximo das frequências dos ciclos das variações orbitais identificadas na teoria de Milankovitch (Houghton, 1997). Esta regularidade sugere que o sistema climático tem uma tendência fraca para ter um comportamento caótico, sobretudo nas grandes escalas espaciais e temporais, e responde de forma determinista a certo tipo de forçamentos tais como variações na luminosidade do Sol, alterações na distribuição da radiação solar recebida à superfície da Terra com a latitude e as estações do ano, provocadas por variações nos parâmetros dos movimentos de rotação e translação da Terra, e alterações na composição da atmosfera. Esta propriedade permite-nos avaliar o efeito sobre o clima do aumento da concentração de GEE por meio de modelos climáticos.

1.2.1 Modelos de Circulação Geral (GCM) e Modelos Regionais (RCM)

Os actuais modelos climáticos, chamados de circulação geral, GCM (General Circulation Models) simulam o sistema climático terrestre, incluindo a atmosfera e os oceanos, por meio de uma malha tridimensional com uma resolução horizontal de cerca de 300 km e com 10 a 40 níveis verticais

(Harvey, 2000). Para cada célula da malha o modelo, através da resolução de equações que descrevem a conservação da energia, do momento linear e da massa, calcula os valores das variáveis meteorológicas, tais como, temperatura, pressão, humidade e nebulosidade. Fenómenos que se processam em escalas mais pequenas do que a dimensão da malha elementar, tais como a formação de nuvens, são representados por meio de parametrizações. A fiabilidade de um GCM depende em grande parte do desenvolvimento, teste e validação de parametrizações adequadas para aqueles fenómenos.

Qual é o grau de confiança que poderemos atribuir aos cenários climáticos futuros? Como se podem validar os modelos climáticos que os produzem? Uma das provas da robustez dos GCMs é a capacidade de reproduzirem satisfatoriamente o comportamento do clima durante os últimos 150 anos em que há registos de medições directas de várias variáveis meteorológicas. Outras técnicas de validação consistem em reproduzir a resposta da atmosfera a forçamentos transientes, como os que ocorrem após uma forte erupção vulcânica que, ao injectar grandes quantidades de SO_2 e poeiras para a atmosfera, provocam um forçamento radiativo negativo. A erupção do vulcão do monte Pinatubo nas Filipinas em 12 de Junho de 1991 provocou uma anomalia negativa da temperatura média global durante cerca de 5 anos com um valor médio de $-0,25$ °C que foi bem reproduzida pelos modelos climáticos (Hansen, 1992). Uma outra forma de validar os modelos climáticos é testar a sua capacidade de reproduzir o ciclo sazonal das variáveis meteorológicas. As observações revelam que o Inverno tem uma temperatura média inferior à do Verão de 15 °C no hemisfério Norte e de 5 °C no hemisfério Sul. Esta diferença resulta de os oceanos ocuparem mais área no hemisfério Sul pelo que a sua maior capacidade calorífica modera as variações da temperatura da atmosfera. Os GCMs reproduzem muito bem estas variações sazonais da temperatura e a assimetria entre os dois hemisférios.

Um dos conceitos mais importantes associados aos modelos climáticos é o da sensibilidade climática: de forma simplificada define-se como a razão entre um aumento da temperatura média global da atmosfera à superfície e o forçamento radiativo positivo que o provocou (Harvey, 2000). Porém, para calcular e comparar as sensibilidades climáticas dos GCMs, a prática usual é considerar uma duplicação do CO_2 atmosférico. De acordo com esta definição, a sensibilidade climática é o aumento da temperatura média global da atmosfera à superfície quando a atmosfera se ajusta a uma concentração fixa de CO_2 com o valor de 560 ppmv, duplo do valor pré-industrial de 280 ppmv. O valor da sensibilidade climática é aproximadamente independente do valor inicial da concentração de CO_2 , dado que a temperatura média global tem uma variação quase logarítmica com o aumento daquela concentração (Houghton, 1997). Note-se

ser bastante provável que a concentração do CO_2 atmosférico atinja 560 ppmv antes do final do século corrente.

A maioria dos GCMs têm uma sensibilidade climática entre 2 e 4 °C. Contudo, algumas simulações apontam para valores mais elevados como é o caso de um estudo recente (Stainforth, 2005) em que se atingem valores superiores a 7 °C.

Até há relativamente pouco tempo, devido a limitações computacionais, os modelos climáticos produziam apenas simulações de equilíbrio, nas quais a concentração de CO_2 não varia no tempo. As actuais simulações transientes, em que a concentração de CO_2 evolui no tempo, são obviamente mais realistas. A sensibilidade climática numa simulação transiente é tipicamente metade da que se obtém, com o mesmo modelo climático, numa simulação de equilíbrio, devido ao atraso no aumento de temperatura da atmosfera associado ao aquecimento dos oceanos. O menor aumento da temperatura num processo transiente, resultante da duplicação da concentração de CO_2 , é apenas temporário dado que o valor da sensibilidade climática de equilíbrio será inevitavelmente atingido após algumas décadas. A interpretação das causas do comportamento recente, nos últimos 150 anos, da temperatura média global da atmosfera e, em especial, a identificação de sinais de uma alteração climática antropogénica, só foi possível por meio da utilização de simulações transientes nas quais é possível variar no tempo os forçamentos naturais e antropogénicos sobre o sistema climático (Stott, 2000).

Para um dado cenário de evolução das emissões de GEE existe ainda uma incerteza significativa nos cenários climáticos futuros projectados pelos GCMs e, em particular, no valor projectado para o aumento da temperatura média global no final do século. Esta incerteza resulta essencialmente da nossa incapacidade actual de simular nos GCMs os fenómenos meteorológicos à escala do km e das horas, em especial os processos associados à formação de nuvens. Porém, esta resolução espacial e temporal requer uma capacidade de supercomputação que ainda não existe. Será necessário aumentar a velocidade de computação de 20 Teraflops (10^{12} operações de vírgula flutuante por segundo) dos mais rápidos supercomputadores actuais para os Petaflop (10^{15}) o que irá provavelmente exigir um forte investimento específico à escala internacional (Palmer, 2005).

A actual resolução espacial dos GCMs (tipicamente da ordem dos 300 km) gera grandes dificuldades na utilização dos respectivos cenários climáticos futuros no estudo dos impactos das alterações climáticas em áreas de dimensões menores do que a malha e em particular em países com áreas relativamente pequenas, como é o caso de Portugal. As dificuldades são particularmente notórias no estudo dos impactos em sectores muito sensíveis à geografia a nível local, tipicamente da

ordem de ou inferior a 50 km, como é o caso dos recursos hídricos, agricultura, florestas e biodiversidade. Uma das possíveis soluções para o problema é utilizar modelos de elevada resolução espacial numa determinada área limitada, designados modelos regionais ou abreviadamente RCM (Regional Climate Model). Os RCMs têm tipicamente uma resolução de 30 a 50 km e são forçados pelas condições de fronteira gerados por um GCM. Note-se que este processo de regionalização dos modelos tem a grande vantagem de permitir obter cenários numa escala com maior detalhe espacial mas incorpora as incertezas do GCM bem como as que resultam do processo de regionalização dinâmica a partir desse GCM. Existem também metodologias de regionalização estatística nas quais se utilizam modelos estatísticos para relacionar as variáveis climáticas de larga escala, chamados preditores (*predictors*), com as variáveis a nível regional ou local, designadas predicandos (*predictands*) (IPCC, 2001a). Os preditores obtidos com um GCM, ao serem introduzidos no modelo estatístico, permitem fazer uma estimativa das características do clima a nível regional ou local. A principal fraqueza da regionalização estatística na construção de cenários climáticos é pressupor que as relações estatísticas encontradas no clima actual se mantêm no clima futuro. Há ainda metodologias de regionalização mistas que envolvem técnicas dinâmicas e estatísticas. No presente estudo utilizaram-se GCMs e RCMs obtidos por regionalização dinâmica e desenvolveu-se um modelo de regionalização para ilhas de pequenas dimensões (com uma dimensão máxima da ordem dos 70 km) que se aplicou a algumas ilhas dos arquipélagos dos Açores e da Madeira.

O clima de uma região é determinado pelos forçamentos e circulações atmosféricas que ocorrem nas escalas planetária (áreas maiores que 10^7 km^2), regionais (tipicamente 10^4 km^2) e locais (menores do que 10^3 km^2), em escalas de tempo muito variadas, desde as horas até muitas décadas (IPCC, 2001a). Os forçamentos à escala planetária determinam a circulação geral da atmosfera que influenciam os climas regionais. Contudo, os forçamentos à escala regional e local além de influenciarem os climas regionais têm também efeitos sobre os regimes de circulação global. A orografia, características da superfície terrestre, lagos e albufeiras interiores, campos de neve, gelos e correntes oceânicas constituem alguns exemplos importantes de forçamentos à escala regional. A variabilidade climática de uma região é também influenciada por anomalias cíclicas em regiões mais ou menos próximas, como El Niño e a Oscilação do Atlântico Norte.

1.2.2 Cenários de Emissões de Gases com Efeito de Estufa

Importa referir que para obter uma simulação transiente do clima futuro com um GCM é necessário escolher um cenário

de evolução das concentrações de GEE. A construção destes cenários foi iniciada pelo IPCC no *Special Report on Emission Scenarios* (SRES) (Nakicenovic, 2000). Os cenários SRES são baseados em quatro famílias de possíveis narrativas do desenvolvimento socioeconómico futuro – A1, A2, B1, B2 – que incluem de forma coerente os factores demográficos, sociais, económicos e tecnológicos (IPCC, 2001c).

O cenário A1 descreve um mundo com um desenvolvimento económico e tecnológico rápido e uma população global que atinge um máximo em meados do século XXI. O cenário A2 corresponde a um mundo profundamente heterogêneo com um desenvolvimento socioeconómico e tecnológico fragmentado em que a população mundial cresce durante todo o século XXI. O cenário B1 descreve um mundo convergente que privilegia o desenvolvimento sustentável e as soluções globais para os problemas sociais e económicos. Finalmente, o cenário B2 descreve um mundo centrado na procura de soluções locais para os problemas sociais, económicos e ambientais e no qual a população cresce até ao final do século XXI, mas a um ritmo inferior ao do cenário A2.

Cada um destes cenários SRES permite construir um cenário de evolução das emissões de GEE até ao final do século. Nenhum deles inclui medidas específicas de redução das emissões acordadas no âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas ou do Protocolo de Quioto. De um modo geral as famílias de cenários A1 e A2 projectam uma maior quantidade de emissões de GEE até 2100 do que as famílias de cenários B1 e B2. Consequentemente, os cenários de emissões do tipo A1 e A2 conduzem em geral a um maior aumento da temperatura média global do que os cenários do tipo B1 e B2.

1.3 VULNERABILIDADE E IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

A interferência humana sobre o sistema climático está já a provocar alterações climáticas que se irão agravar ao longo do presente século. Face a esta situação torna-se necessário avaliar a vulnerabilidade dos vários sistemas naturais e sociais às alterações climáticas, bem como os potenciais impactos, positivos e negativos, sobre esses sistemas. Um dos principais objectivos deste tipo de estudo é identificar, avaliar e propor medidas de adaptação que minimizem os impactos negativos das alterações climáticas e potenciem os aspectos positivos. Foi já referido que as principais características das alterações climáticas antropogénicas projectadas para este século incluem a continuação do aumento da temperatura média global da atmosfera à superfície, alterações na distribuição espacial e temporal, ao longo do ano, da precipitação, alterações na frequência e intensidade de alguns

fenómenos climáticos extremos e o aumento do nível médio do mar. Estes efeitos irão ter impactos mais ou menos significativos em vários sistemas naturais e sociais tais como: recursos hídricos, zonas costeiras, agricultura, saúde humana, florestas, biodiversidade, pescas, energia, zonas urbanas, turismo e seguros. As alterações climáticas antropogénicas irão muito provavelmente dificultar de forma desigual o desenvolvimento sustentável em diferentes regiões no mundo e contribuir para um agravamento da pobreza, da degradação ambiental e das actuais desigualdades profundas de desenvolvimento entre países.

1.3.1 Sensibilidade, Capacidade de Adaptação e Vulnerabilidade às Alterações Climáticas

O grau com que um determinado sistema natural ou social é afectado de forma positiva ou negativa pelos estímulos climáticos caracteriza a sua sensibilidade às alterações climáticas. A capacidade de adaptação de um sistema às alterações climáticas traduz a sua capacidade de se adaptar às variações da média e da variabilidade das variáveis que caracterizam o clima, de moderar os estragos potenciais e tirar vantagem das novas situações (IPCC, 2001b). Finalmente, a vulnerabilidade descreve o grau com que um sistema natural ou social é susceptível de suportar ou não os efeitos adversos das alterações climáticas, considerando o seu nível de exposição às alterações climáticas, a sua sensibilidade e a sua capacidade de adaptação.

A vulnerabilidade às alterações climáticas dos sistemas naturais e sociais varia conforme a localização geográfica e as condições sociais, económicas e ambientais em que se inserem. Os impactos negativos serão particularmente graves nas regiões e países em desenvolvimento, que, por essa razão, têm menor capacidade para adoptar medidas de adaptação capazes de os minimizar. Um exemplo claro consiste em comparar a capacidade de resposta em diferentes regiões do mundo vulneráveis à subida do nível do mar. Actualmente há cerca de 100 milhões de pessoas que vivem numa faixa de zonas costeiras com uma elevação máxima de 1 m em relação ao nível médio do mar. No Bangladesh são cerca de 6 milhões. Admitindo que até ao final do século há uma subida do nível médio do mar da ordem de 0,5 m, é notório que os países em desenvolvimento, com maior risco de inundação como, por exemplo, o Bangladesh, Moçambique e a região do delta do Nilo no Egipto são mais vulneráveis porque têm menor capacidade de adaptação do que os países desenvolvidos sujeitos ao mesmo tipo de risco, como, por exemplo, a Holanda. A aceleração da subida do nível do mar será particularmente grave nos Estados formados por pequenas ilhas especialmente quando de muito baixa altitude, como é o caso das Maldivas no oceano Índico e das ilhas Marshall no Pacífico.

Dado que praticamente todos os sistemas naturais e sociais são sensíveis ao clima e interactuam entre si e com o sistema climático de forma mais ou menos complexa, torna-se extremamente difícil fazer uma avaliação completa dos impactos das alterações climáticas. Para obviar esta dificuldade é conveniente seleccionar um conjunto de sistemas nos quais os impactos são já suficientemente perceptíveis e mensuráveis para servirem de indicadores dos impactos no sistema global. Os indicadores do clima e dos impactos das alterações climáticas podem também servir para estabelecer objectivos de controlo da interferência antropogénica sobre o sistema climático e das suas consequências. Num relatório recente da Agência Europeia do Ambiente (EEA, 2004) agruparam-se os indicadores nas seguintes oito categorias: atmosfera e clima, glaciares, neve e gelos, sistemas marinhos, ecossistemas terrestres e biodiversidade, água, agricultura, economia e saúde humana.

1.3.2 Impactos das Alterações Climáticas

Consideram-se agora de forma muito sucinta os principais impactos nos vários continentes para depois focar a nossa atenção sobre a Europa e finalmente sobre Portugal.

A África tem uma vulnerabilidade elevada às alterações climáticas devido: à dependência duma agricultura pouco desenvolvida; às secas e cheias frequentes; à pobreza e, de um modo geral, à muito limitada capacidade de adaptação que resulta do seu fraco desenvolvimento económico e tecnológico. É provável que a desertificação se acelere no Sul, Norte e Oeste de África devido à diminuição da precipitação anual projectada pelos cenários climáticos. Haverá também uma perda significativa de biodiversidade com impactos adversos nas comunidades rurais e no turismo.

Na Ásia os países em desenvolvimento apresentam uma vulnerabilidade muito maior do que os países desenvolvidos. O degelo dos glaciares e a maior frequência de cheias e secas irão ter impactos negativos nos recursos hídricos, agricultura, florestas e biodiversidade, especialmente nos países em desenvolvimento. O aumento do nível médio do mar e um possível aumento da intensidade e frequência dos ciclones tropicais irá afectar e deslocar muitas dezenas de milhões de pessoas das zonas costeiras baixas, nas regiões temperadas e tropicais da Ásia. Na Austrália a capacidade de adaptação é em geral elevada, exceptuando alguns povos indígenas.

Na América do Sul a capacidade de adaptação às alterações climáticas é relativamente baixa. Tal como em outras regiões a maior frequência de cheias e secas e o recuo dos glaciares irá ter impactos negativos sobre os recursos hídricos, a agricultura, as florestas e a biodiversidade. Os modelos

climáticos projectam uma diminuição da precipitação anual na região da floresta do Amazonas. Esta redução poderá agravar-se devido à desflorestação da Amazónia que, por meio do decréscimo da evapotranspiração, provoca também uma diminuição da precipitação (Henderson-Sellers, 1993; Lean, 1996). A combinação destas duas tendências poderá revelar-se muito gravosa tanto para o sector da agricultura como das florestas, no Brasil. Na América do Norte a vulnerabilidade é relativamente baixa devido à maior capacidade de adaptação. Algumas regiões do Norte do Canadá poderão tornar-se produtivas para a agricultura e a área de floresta tenderá a aumentar em zonas anteriormente ocupadas por tundra.

1.3.3 Impactos Diferenciados na Europa

Finalmente, na Europa a capacidade de adaptação é geralmente elevada. As regiões do Sul, do Mediterrâneo e da Europa do Ártico são mais vulneráveis do que as restantes. A maior vulnerabilidade no Sul resulta sobretudo de que nessa região há uma diminuição da precipitação anual enquanto que no Norte há um aumento, de acordo com os modelos climáticos. Cenários climáticos recentes projectam um aumento da precipitação anual no Norte da Europa da ordem de 1-2 % por década e uma diminuição no Sul de cerca de 1 % por década (ACACIA, 2000; IPCC, 2001b). No que respeita à distribuição sazonal projecta-se uma tendência para o aumento da precipitação no Verão de 2 % por década no Norte e diminuição de 5 % por década no Sul (ACACIA, 2000; IPCC, 2001b). A redução da precipitação no Sul será acompanhada por períodos de seca mais frequentes com impactos muito graves em vários sectores, especialmente na agricultura e nos recursos hídricos. O escoamento dos rios tenderá a aumentar no Norte da Europa e a diminuir fortemente no Sul com consequências graves para a disponibilidade de recursos hídricos e para a qualidade da água. De um modo geral, ao longo do século actual, a agricultura e as culturas na Europa tenderão a deslocar-se para norte. No Sul o impacto na agricultura das alterações climáticas será em geral negativo e obrigará a recorrer a medidas de adaptação. As ondas de calor irão tornar-se mais frequentes e intensas na Europa mas no Sul os valores mais elevados da temperatura tenderão a torná-las mais graves para a saúde humana. Em contrapartida os períodos muito frios tenderão a tornar-se menos frequentes, reduzindo o impacto na mortalidade especialmente no Norte da Europa.

A taxa anual de subida do nível médio do mar na Europa durante o século XX observada em marégrafos variou entre 0,8 mm/ano em Brest, França, e 3 mm/ano em Narvik, na Noruega (Liebsch, 2002). Este último valor está corrigido do efeito de ajustamento isostático provocado pela fusão dos

gelos da última glaciação. Em geral, na Escandinávia, o nível médio do mar está a descer relativamente à costa, devido àquele efeito (Douglas, 2001). Os cenários futuros projectam uma taxa de aumento do nível do mar na Europa até 2100 que é 2,2 a 4,4 vezes superior ao observado no século xx (EEA, 2004). É muito provável que, para além de 2100, o nível médio do mar continuará a subir durante várias centenas de anos.

Desde o final do século XIX observou-se uma subida da temperatura média global do mar à superfície de $0,6 \pm 0,1$ °C, compatível com o aumento observado da temperatura média global da atmosfera à superfície (IPCC, 2001a). Até 2100 o aumento projectado para a temperatura média global do mar à superfície, relativamente a 1990, é de 1,1 a 1,4 °C. Este aumento, embora inferior àquele que se projecta para a baixa atmosfera, irá provocar um deslocamento das espécies marinhas para as altitudes mais elevadas e uma profunda reorganização dos ecossistemas planctónicos.

No que respeita aos ecossistemas terrestres e à sua biodiversidade projecta-se em geral um deslocamento para Norte e para maiores altitudes dos ecossistemas e uma perda de biodiversidade mais acentuada no Sul do que no Norte da Europa. A perda e fragmentação dos *habitats* e a proliferação das espécies invasoras limitam a capacidade de migração e adaptação dos ecossistemas às alterações climáticas pelo que a extinção de espécies se tornará mais frequente na última metade do século XXI. A capacidade potencial da biosfera terrestre, no continente europeu, para sequestrar o CO₂ atmosférico por meio da fotossíntese irá provavelmente diminuir de forma significativa devido principalmente ao aumento da temperatura média.

O projectado aumento da frequência dos fenómenos climáticos extremos irá ter um impacto crescente nas economias europeias ao longo do século XXI. Os prejuízos na Europa resultantes de fenómenos meteorológicos e climáticos extremos – cheias, tempestades, secas e ondas de calor – aumentaram nos últimos 20 anos desde valores médios anuais de 5000 milhões até 11 000 milhões de dólares americanos (Munich, 2000). A nível global observa-se a mesma tendência (Figura 1.7). Durante a década de 1990, na Europa, o número de desastres originados por situações meteorológicas

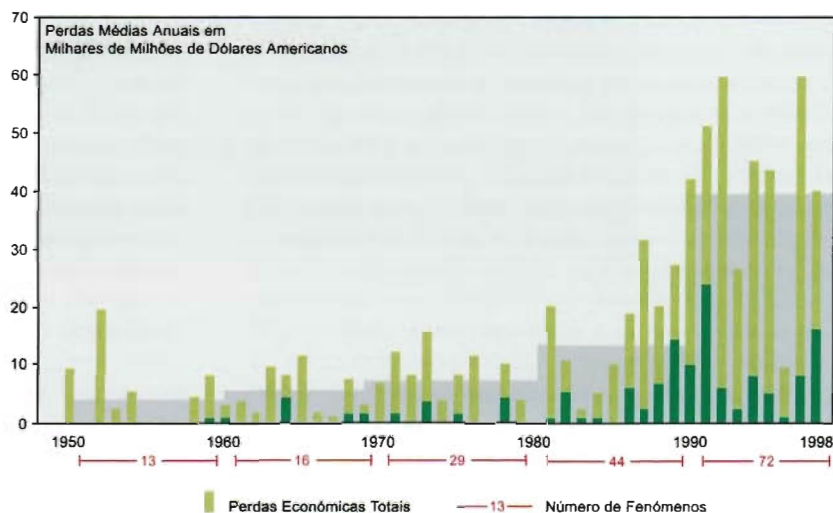


Figura 1.7 – Custos económicos globais dos fenómenos climáticos extremos entre 1950 e 1998 ajustados à inflação e expressos em dólares americanos (US\$) de 1999. Os custos anuais à escala global provocados por fenómenos climáticos catastróficos aumentaram desde cerca de 4 mil milhões de US\$, na década de 1950, para 40 mil milhões de US\$ na década de 1990. A percentagem das perdas cobertas pelos seguros aumentou desde um nível insignificante até um valor médio de cerca de 33 % na década de 1990. Os custos associados aos fenómenos climáticos não catastróficos seguem uma tendência análoga. A tendência de subida dos custos das perdas, nos últimos 50 anos, resulta em parte de factores socioeconómicos (crescimento demográfico, aumento dos rendimentos, urbanização de zonas vulneráveis) e em parte do aumento da frequência dos fenómenos climáticos extremos. Figura adaptada do IPCC, 2001b

ou climáticas extremas duplicou enquanto que o número de desastres de origem não climática, como, por exemplo, sismos violentos, manteve-se constante. É muito provável que esta tendência se agrave durante o presente século.

Os principais impactos das alterações climáticas na saúde resultam das ondas de calor, cheias, doenças originadas pela qualidade deficiente da água e dos alimentos, poluição atmosférica e doenças transmitidas por vectores e roedores. A onda de calor do Verão de 2003 provocou um excesso de cerca de 20 000 mortos na Europa, especialmente nas faixas etárias mais elevadas. De acordo com os cenários climáticos futuros estas ondas de calor irão tornar-se mais frequentes e intensas obrigando à adopção de medidas de adaptação adequadas. De um modo geral projecta-se que os impactos das alterações climáticas na saúde serão mais graves no Sul do que no Norte da Europa.

1.4 RESPOSTAS PARA AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS: MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO

As alterações climáticas antropogénicas são já inevitáveis no século XXI, têm uma probabilidade elevada de se agravarem e terão impactos, na maior parte negativos, sobre vários sistemas naturais e sociais. Perante estas conclusões torna-se

necessário formular respostas adequadas. Há essencialmente dois tipos de respostas: a mitigação e a adaptação. A primeira consiste em combater as causas das alterações climáticas antropogénicas e traduz-se em acções que visam estabilizar a concentração atmosférica dos GEE por meio da limitação das emissões actuais e futuras e do desenvolvimento de sumidouros potenciais desses gases. A adaptação é um processo de resposta em que se procuram minimizar os efeitos negativos e potenciar os efeitos positivos dos impactos actuais e futuros das alterações climáticas nos diversos sistemas naturais e sociais. A adaptação pode ser autónoma, tal como num organismo que se adapta espontaneamente a um ambiente alterado, ou planeada quando resulta de acções planeadas e executadas com o objectivo da adaptação (Parry, 1998). Os dois tipos de respostas complementam-se, não se excluem e, conforme a política para as alterações climáticas, poder-se-á dar maior ênfase a uma ou a outra, nos diversos níveis, nacional, regional ou internacional.

A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (CQNUAC) apresentada para assinatura na Cimeira da Terra do Rio de Janeiro em 1992, e que entrou em vigor a 21 de Março de 1994, constituiu o primeiro passo, concertado a nível internacional, no sentido de evitar uma interferência perigosa da humanidade no sistema climático da Terra, por meio de medidas de mitigação. Em 2001 tinham já ratificado a CQNUAC 189 Estados, ou seja, praticamente a totalidade do mundo. Na terceira Conferência das Partes (COP – 3) da CQNUAC, realizada no ano de 1997, adoptou-se o Protocolo de Quioto (PQ) que estabelece uma redução obrigatória das emissões de GEE, para o conjunto dos países desenvolvidos, de 5 % no período de cumprimento 2008-2012, relativamente a 1990. Após longas negociações o PQ entrou em vigor a 16 de Fevereiro de 2005. Tanto a CQNUAC como o PQ contêm determinações sobre adaptação às alterações climáticas mas a sua principal ênfase centra-se nos processos de mitigação.

Importa ter presente que os dois tipos de resposta às alterações climáticas – mitigação e adaptação – envolvem custos significativos para a economia que, porém, têm uma dependência muito distinta no quantitativo global de redução das emissões de GEE (CC, 1996). Dito de outra forma, é necessário comparar os custos das acções de mitigação com os custos das consequências da inacção. Os custos da mitigação são tanto maiores quanto maior for o quantitativo de redução global das emissões de GEE a curto e médio prazos, enquanto que os custos dos prejuízos e das medidas de adaptação às alterações climáticas são tanto maiores quanto menor for aquele quantitativo. Por outras palavras, ao evitar ou adiar a redução das emissões ou ainda ao reduzir pouco as emissões, diminuímos os custos de mitigação mas aumentamos os custos de adaptação a futuras alterações climáti-

cas mais pronunciadas e gravosas. O problema é global na medida em que, cada país, isoladamente, não pode controlar nem as alterações climáticas nem os impactos que têm e irão ter sobre ele. O controlo das alterações climáticas só é possível mediante a redução das emissões globais de GEE para as quais todos os países contribuem, embora de forma muito diferenciada. Os países em desenvolvimento, apesar de serem geralmente mais vulneráveis às alterações climáticas, são os que têm menores emissões *per capita* de GEE. Esta a razão pela qual a CQNUAC estabelece que os processos de mitigação devem realizar-se numa base equitativa e de acordo com as responsabilidades comuns mas diferenciadas de cada país nas alterações climáticas e tendo em conta as suas respectivas capacidades.

1.4.1 Mitigação

Uma das principais dificuldades em desenvolver medidas de mitigação efectivas encontra-se no actual paradigma energético mundial no qual os combustíveis fósseis – carvão, petróleo e gás natural – constituem a maior parte das fontes primárias de energia. Em 2000 os combustíveis fósseis constituíam cerca de 80 % das fontes primárias de energia a nível mundial (petróleo 34,8 %, carvão 23,5 % e gás natural 21,1 %) (IEA, 2002). A energia nuclear correspondia a 6,8 % e nas energias renováveis, os resíduos e os combustíveis renováveis representavam 11 %, enquanto que as restantes – hidroelectricidade, geotérmica, solar, marés e ondas – correspondiam apenas a 2,8 %.

Outra dificuldade muito importante é a enorme disparidade de acesso ao consumo de energia e de consumo de energia *per capita* entre os países desenvolvidos e os países em desenvolvimento. Nos países desenvolvidos persiste o paradigma de um consumo elevado de energia *per capita*, com tendência para aumentar e com um valor médio anual cerca de 10 vezes superior à média do consumo de energia *per capita* nos países em desenvolvimento, cujo valor médio anual em 1999 era de 0,64 tep (1 tep = 1 tonelada de equivalente de petróleo = 10^{10} cal = $4,1868 \times 10^9$ J). Nesse mesmo ano o consumo anual de energia *per capita* nos Estados Unidos da América foi de 7,86 tep enquanto que no conjunto de África teve o valor médio de 0,32 tep. Cerca de 2500 milhões de pessoas não têm acesso aos serviços modernos de distribuição de energia – electricidade e gás. Geralmente são comunidades pobres vivendo em zonas rurais onde o principal ou único recurso energético é a biomassa.

Mais de metade da população mundial pretende ter acesso a um maior consumo de energia que os aproxime dos padrões actuais de qualidade de vida dos países desenvolvidos. Existe pois uma enorme apetência para o consumo

de energia que se agravará tanto mais quanto maior for o crescimento da população mundial. Actualmente o aumento do consumo anual de energia a nível mundial é de cerca de 2 %. Se esta tendência se mantiver, o consumo global de energia duplica em 2035 relativamente a 1998 e triplica em 2055. Onde estão as fontes primárias de energia capazes de suportar este consumo de energia? Não é este o local para procurar responder a esta pergunta. Contudo é importante referir que a energia é a questão dominante na problemática das alterações climáticas no século XXI e uma das questões centrais na problemática do desenvolvimento sustentável.

O grande desafio para a mitigação é pois diminuir o consumo a nível mundial dos combustíveis fósseis por meio da poupança de energia, utilização mais eficiente da energia primária, desenvolvimento das energias renováveis, de novas tecnologias de produção de energia e inovação. É provável que estas medidas se irão revelar insuficientes e que será necessário recorrer ao sequestro do CO_2 produzido por combustão e ao seu armazenamento em reservatórios naturais subterrâneos (IPCC, 2001c). A descarbonização da economia mundial poderá ser acelerada pelo aumento do preço do barril de petróleo que, de acordo com alguns autores, resulta já, em parte, de estarmos próximo do máximo do consumo global anual de petróleo, chamado máximo de Hubbert (Deffeyes, 2001).

1.4.2 Como Evitar Uma Interferência Antropogénica Perigosa sobre o Sistema Climático

O objectivo principal da CQNUAC, expresso no seu artigo 2.º, é estabilizar a concentração atmosférica dos GEE a um nível que evite uma interferência antropogénica perigosa no sistema climático da Terra. Admitamos que se pretende estabilizar o CO_2 atmosférico - o mais importante GEE em termos de forçamento radiativo - no valor de 560 ppmv, duplo da concentração pré-industrial. Há várias evoluções possíveis das emissões antropogénicas de CO_2 que permitem chegar àquele objectivo. Os modelos climáticos (IPCC, 2001a; Joos, 1996; Jain, 2000) construídos especificamente com o objectivo de determinar a evolução temporal da concentração do CO_2 atmosférico e da temperatura média global da atmosfera, em função de diferentes cenários de emissões de CO_2 indicam que para estabilizar a concentração do CO_2 num determinado valor, ou seja 560 ppmv, é necessário primeiro reduzir as emissões de CO_2 para níveis inferiores aos que tiveram lugar há 10 ou 20 anos. Geralmente escolhe-se para ano de referência, 1990, dado que este ano é também o ano de referência para os compromissos de redução de emissões de GEE dos países desenvolvidos no PQ.

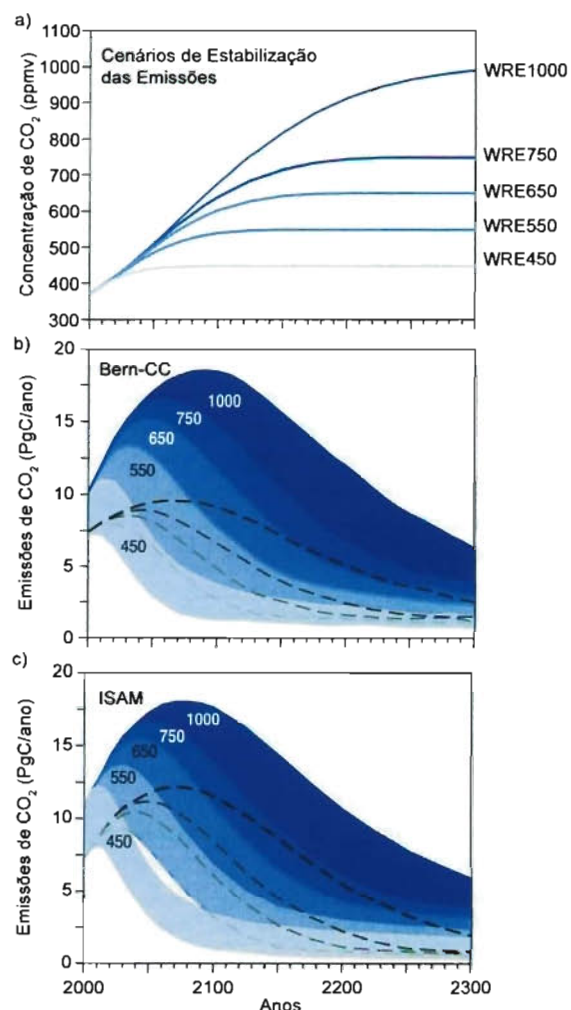


Figura 1.8 – Projecções da evolução das emissões antropogénicas de CO_2 conducentes a diferentes níveis de estabilização da concentração atmosférica de CO_2 (IPCC, 2001a). A Figura a) mostra cenários da evolução da concentração do CO_2 correspondentes a vários valores de estabilização (450, 550, 650, 750 e 1000 ppmv) obtidos por Wigley, Richels e Edmonds (WRE) (Wigley, 1996). Em b) e c) estão representadas as evoluções das emissões antropogénicas de CO_2 , que conduzem às trajectórias das emissões representadas em a), obtidas por meio de dois modelos do ciclo do carbono, Bern-CC (Joos, 1996) e ISAM (Jain, 2000). As faixas em várias tonalidades de azul correspondem a diferentes parametrizações dos modelos e a diferentes hipóteses sobre o efeito de fertilização das plantas provocado pelo aumento da concentração do CO_2 , a resposta da respiração heterotrófica ao aumento da temperatura e a variação da taxa de dissolução do CO_2 nos oceanos. A faixa relativa a cada valor de estabilização do CO_2 e a cada modelo é delimitada pelas trajectórias extremas correspondentes aos valores mais elevados e mais baixos das emissões de CO_2 . A trajectória inferior é representada por uma linha a tracejado quando ocultada por uma outra faixa de incerteza (as emissões anuais de CO_2 estão representadas em $\text{PgC}=10^{15}$ g de carbono)

A Figura 1.8 mostra projecções da evolução das emissões antropogénicas de CO_2 correspondentes a vários valores

para o nível de estabilização da concentração atmosférica de CO_2 , obtidas com os referidos modelos. Para se conseguir a estabilização da concentração do CO_2 a 450, 650 ou 1000 ppmv é necessário reduzir as emissões globais de CO_2 abaixo do valor de 1990 em poucas décadas, cerca de um século ou cerca de dois séculos (IPCC, 2001a). Em qualquer caso, as emissões globais têm primeiro de atingir um máximo, reduzir-se até valores inferiores aos de 1990 e só depois é que a concentração de CO_2 estabiliza. Quanto menor for o valor escolhido para a concentração de estabilização do CO_2 mais depressa se terá que iniciar o processo de redução das emissões globais até valores inferiores a 1990, ou seja, mais fortes e imediatas terão que ser as medidas de mitigação. Estabilizar a concentração do CO_2 atmosférico em valores da ordem de 400 a 550 ppmv é pois um desafio tremendo porque exige medidas muito difíceis e com custos elevados no contexto do actual paradigma de consumo mundial de energia baseado predominantemente nos combustíveis fósseis.

Várias instituições a nível governamental e não governamental, incluindo o IPCC, têm procurado quantificar o objectivo da CQNUAC, determinando o nível de estabilização da concentração do CO_2 acima do qual a interferência humana no sistema climático se deve considerar perigosa. Na Europa, nos últimos anos, está a gerar-se um relativo consenso em considerar interferência perigosa aquela que conduzir a um aumento da temperatura média global da atmosfera à superfície superior a 2°C , relativamente ao valor pré-industrial dessa temperatura (GACGC, 2003; ICCT, 2005; EEAC, 2004). O Conselho Europeu na sua reunião de 25-26 de Março (CE, 2004) reconheceu também que aumentos da temperatura média global superiores a 2°C constituiriam uma interferência perigosa no clima que teria consequências graves a nível mundial, tais como: acentuada diminuição da produtividade agrícola, um aumento significativo do número de pessoas em situação de grande escassez de recursos hídricos, impactos adversos generalizados na saúde humana e prejuízos irreversíveis em vários ecossistemas terrestres com elevadas perdas de biodiversidade. Importa contudo salientar que a meta dos 2°C é apenas uma proposta que reúne algum consenso na Europa mas não há nenhum compromisso estabelecido nesse sentido que envolva os Estados Unidos da América, outros países desenvolvidos ou os países em desenvolvimento.

Qual o valor da concentração de estabilização do CO_2 que garante um aumento da temperatura média global inferior a 2°C relativamente ao valor pré-industrial? A resposta a esta pergunta depende da sensibilidade climática do modelo utilizado. Consequentemente é apenas possível estabelecer um intervalo de probabilidades de atingir aquela variação de temperatura para uma dada concentração de estabilização. A Figura 1.9 mostra projecções da variação da temperatura

média global a partir de 1990 obtidas para vários valores da concentração de estabilização do CO_2 atmosférico. Num cenário de estabilização do CO_2 em 450 ppmv, correspondente aproximadamente a 550 ppmv de GEE em CO_2 – equivalente, o aumento de temperatura projectado, relativamente ao valor pré-industrial, é de $2,3^\circ\text{C}$, ainda acima dos referidos 2°C (Criqui, 2003). Uma concentração de estabilização dos GEE de 450 ppmv em CO_2 – equivalente tem uma probabilidade maior, da ordem de 20 % a 70 %, de conduzir a um aumento de temperatura inferior a 2°C (EEAC, 2004). Tendo presente que em 2004 a concentração do CO_2 era já de 379 ppmv, conclui-se que há uma enorme dificuldade, quase impossibilidade, de limitar o aquecimento global a 2°C .

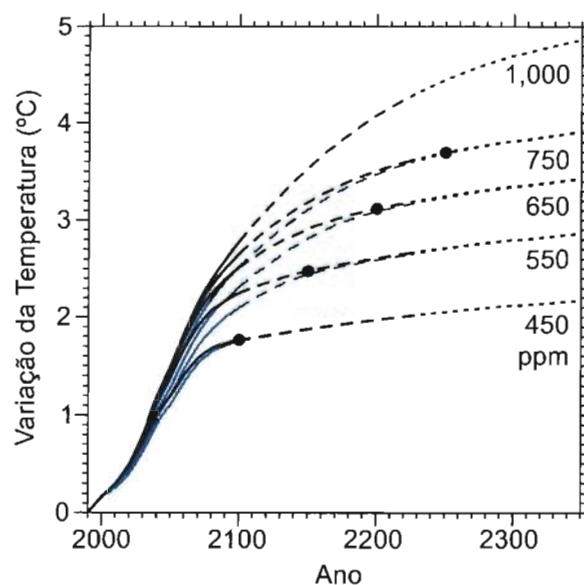


Figura 1.9 – Projecções da variação da temperatura média global desde 1990 obtidas quando a concentração atmosférica de CO_2 é estabilizada de acordo com os perfis WRE (Wigley, 1996) da Figura 1.8 (IPCC, 2001a). As trajectórias a azul representam cálculos anteriores utilizados no Segundo Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 1996a). Os resultados correspondem aos valores indicados para o nível de estabilização do CO_2 e constituem médias de conjuntos de projecções obtidas com modelos climáticos. O cenário de base para as emissões de GEE até 2100 (exceptuando o CO_2) é o A1B. Admite-se que depois de 2100 as emissões destes gases se mantêm constantes com os valores do cenário A1B em 2100. Os pontos a negro indicam a data em que se dá a estabilização do CO_2 . Para o perfil correspondente 1000 ppmv a estabilização dá-se no ano de 2375. Repare-se que, para cada curva, a estabilização da temperatura dá-se muito depois da estabilização do CO_2 .

1.4.3 O Pós-Quioto

É evidente que o cumprimento dos compromissos de redução das emissões de GEE estabelecidos no PQ não permite estabilizar a concentração atmosférica desses gases. A redução das

emissões, admitindo que as metas são cumpridas, é cerca de 5 % em 2012 relativamente a 1990, mas apenas para o conjunto de países desenvolvidos que ratificaram o PQ. Entretanto outros países desenvolvidos, como os Estados Unidos da América e a Austrália e os países em desenvolvimento, em especial os países de economia em transição, como o Brasil, China, Índia e Indonésia, irão provavelmente continuar a aumentar as emissões de GEE até 2012 e para lá de 2012. O PQ prevê que pelo menos 7 anos antes do final do 1.º período de cumprimento (2008-2012) as partes iniciem o processo de definição dos compromissos de redução de emissões de cada país para um 2.º período de cumprimento. É o chamado pós-Quito cuja negociação teve início no ano de 2005. Apenas a União Europeia tem demonstrado publicamente o seu empenho em procurar negociar e estabelecer metas de redução de emissões para o período pós-Quito. Numa reunião realizada em Março de 2005 os ministros do Ambiente da UE concordaram em reduzir as emissões de GEE de 15 % a 30 % até 2020 e de 60 % a 80 % até 2050, relativamente a 1990. Contudo, não existe ainda qualquer esboço de acordo com os outros países desenvolvidos ou com os países em desenvolvimento. As medidas de mitigação pós-Quito estão ainda profundamente indefinidas, poderão adoptar modelos muito diversos e são objecto de intensa investigação e discussão (Meyer, 2000; Michaelowa, 2003; Pershing, 2003; Yohe, 2004). Recentemente alguns autores têm salientado a necessidade de considerar simultaneamente políticas de mitigação das alterações climáticas no médio e longo prazos numa escala de tempo de várias décadas a um século de modo a poder planear e assegurar a transição para uma economia tendencialmente livre de emissões de GEE daqui a cerca de um século (Hasselmann, 2003).

1.4.4 Adaptação

Os processos de adaptação às alterações climáticas são essenciais para minimizar os impactos negativos que começam já a ter sobre alguns sistemas naturais e sociais e que muito provavelmente se irão agravar durante as próximas décadas. Temos de nos preparar e adaptar às consequências das alterações climáticas antropogénicas para além de procurar combatê-las por meio de medidas de mitigação. É pois necessário desenvolver estratégias de adaptação para evitar ou minimizar os prejuízos nos sistemas naturais e sociais vulneráveis às alterações climáticas e para procurar garantir um desenvolvimento sustentável num contexto de mudança climática. A adaptação requer a participação activa dos agentes, públicos e privados, envolvidos nos diversos sectores socioeconómicos que são ou serão afectados pelas alterações climáticas.

Uma estratégia de adaptação representa um conjunto de políticas e medidas concebidas e planeadas para minimizar

um determinado risco ou um conjunto de riscos resultantes dos impactos das alterações climáticas. O primeiro passo num processo de adaptação consiste pois em fazer uma avaliação dos impactos das alterações climáticas. A forma habitual de realizar este tipo estudo, para uma dada região, país ou a nível global, consiste em considerar cenários climáticos futuros gerados por GCMs e avaliar os diversos impactos das alterações climáticas descritas por aqueles cenários. A avaliação é multisectorial quando se avaliam os impactos em vários sistemas naturais e sociais sensíveis às alterações climáticas. A avaliação de impactos é multisectorial e integrada quando envolve a investigação da dinâmica interna e das interacções entre os vários sistemas naturais e sociais expostos à mudança climática, utilizando as metodologias e os conhecimentos das várias disciplinas científicas relevantes para o estudo desses sistemas e se baseia nos mesmos conjuntos de cenários climáticos futuros para avaliar aqueles impactos. Fica assim garantida a coerência das avaliações o que permite identificar sinergias entre os impactos sectoriais. Vários autores e instituições têm desenvolvido directrizes e modelos para este tipo de avaliação de impactos conhecido pelas designações de *directo*, *top-down* ou *scenario-based* (Carter, 1994; Feenstra 1998; Parry, 1998). Um outro tipo de avaliação de impactos, mais recente e conhecido pelas designações de *bottom-up* ou *vulnerability-based* consiste em analisar a vulnerabilidade climática actual dos sistemas naturais e sociais de uma dada região, estudar o modo como as comunidades populacionais se estão a adaptar e depois usar os resultados para projectar o que se irá passar no futuro face às projecções para as alterações climáticas, ambientais e socioeconómicas. Esta metodologia incorpora desde o início os processos de adaptação pelo que é mais adequada para desenvolver estratégias de adaptação. Os dois tipos de avaliação de impactos são complementares e têm sido utilizados simultaneamente.

As avaliações *scenario-based*, multisectoriais, integradas e globais dos impactos das alterações climáticas foram realizadas pelo IPCC (IPCC, 1996b; IPCC, 2001b). No terceiro relatório de avaliação (IPCC, 2001b) foram considerados os seguintes sectores: recursos hídricos; ecossistemas e os seus bens e serviços, incluindo a agricultura e as florestas; zonas costeiras e ecossistemas marinhos; aglomerados populacionais urbanos e rurais; energia e indústria, seguros e outros serviços financeiros e saúde humana. As avaliações multisectoriais e integradas a nível nacional são ainda em número limitado. Segundo Kovats *et al.* (Kovats, 2003) na Europa, em meados de 2002, existiam apenas duas avaliações multisectoriais nacionais que incluíam o sector da saúde (CCIRG, 1996; SIAM, 2002).

As avaliações de impactos das alterações climáticas à escala regional, nacional ou global são instrumentos importantes

para informar e sensibilizar o público, sobretudo os agentes envolvidos na problemática das alterações climáticas, em especial os decisores políticos. Servem também para incentivar a participação daqueles agentes e do público em geral no planeamento e execução de estratégias de adaptação. Na vertente económica e financeira são importantes para fundamentar estudos de avaliação dos custos dos prejuízos potenciais provocados pelos impactos adversos das alterações climáticas e das medidas de adaptação, destinadas a minimizar esses impactos. Os resultados deste tipo de estudos são essenciais para efectuar análises de custo-benefício que permitam otimizar o peso relativo das componentes de adaptação e mitigação das políticas de combate às alterações climáticas. As avaliações multisectoriais e integradas constituem naturalmente o fundamento conceptual científico e político das medidas de mitigação, pelo que desempenham um papel importante na racionalização e justificação dessas medidas.

1.5 INCERTEZAS

Em ciência não existem verdades absolutas, apenas conclusões que têm maior ou menor probabilidade de descrever e prever os fenómenos com precisão. No caso de teorias bem estabelecidas como a termodinâmica, a mecânica quântica, a teoria da evolução das espécies ou o efeito de estufa, a probabilidade de nos conduzirem a conclusões que representam uma excelente aproximação para a descrição e previsão dos fenómenos é muito elevada pelo que as podemos considerar praticamente como certas. A incerteza torna-se muito maior quando pretendemos efectuar a descrição do comportamento e evolução futura de um sistema complexo tal como, por exemplo, o sistema climático. As razões desta incerteza são muitas e incluem as incertezas nos dados de base, resultantes da observação do sistema, incertezas na descrição e no conhecimento dos processos de natureza física, química, biológica, ou outros, que intervêm no sistema, e finalmente incertezas resultantes das aproximações necessárias para simular o seu comportamento por meio de modelos matemáticos.

No estudo do clima e dos cenários climáticos futuros há várias fontes de incerteza: conhecimento imperfeito do comportamento passado das variáveis que descrevem o clima, em particular a temperatura média global, devido principalmente ao número reduzido e à distribuição pouco homogénea das estações meteorológicas a nível mundial, às mudanças na instrumentação usada e no ambiente urbano ou rural onde essas estações se encontram; conhecimento limitado dos fenómenos físicos, químicos, biológicos e geológicos que se processam no sistema climático; necessidade de utilizar aproximações para simular o comportamento e

as interações das várias componentes do sistema climático nos modelos climáticos, em especial, parametrizações para representar fenómenos, como por exemplo a formação de nuvens, que se processam em escalas espaciais de dimensão inferior à malha dos modelos computacionais. Estas incertezas dificultam a identificação quantitativa da componente antropogénica nas alterações climáticas observadas nas últimas décadas e estão na origem de parte da incerteza inerente aos cenários climáticos futuros.

Os cenários climáticos futuros contêm também a incerteza associada à evolução das emissões globais de GEE durante o século XXI. A avaliação das consequências desta incerteza no clima futuro pode fazer-se por meio da utilização de vários cenários de emissões construídos com base nos cenários socioeconómicos do IPCC (IPCC, 2001c). Esta metodologia permite avaliar o efeito de aumentar ou diminuir o ritmo actual das emissões globais de GEE sobre o sistema climático e em particular sobre a temperatura média global da atmosfera.

A avaliação do impacto das alterações climáticas nos vários sistemas naturais e sociais envolve também incertezas resultantes da dificuldade em separar os efeitos provenientes de transformações sociais, económicas, tecnológicas ou ambientais dos que provêm especificamente da mudança climática. Por exemplo, a perda de biodiversidade resulta em grande parte da perturbação, perda e fragmentação dos *habitats* devido às actividades que neles se realizam e às alterações no uso dos solos. As alterações climáticas constituem apenas mais um factor de pressão negativa sobre a biodiversidade que se adiciona aos restantes e cujo impacto específico se deve procurar identificar claramente, para efeitos de avaliação de impactos e de selecção e implementação de medidas de adaptação.

Uma das principais fontes de incerteza nas avaliações de impactos das alterações climáticas resulta da escassez de dados de base relativos aos indicadores do clima e dos impactos das alterações climáticas nos vários sistemas naturais e sociais. Frequentemente os dados existem apenas para alguns países ou para algumas regiões de um dado país. Há pois uma grande necessidade de melhorar e amplificar os processos de recolha de dados através de programas mais intensivos de monitorização, que é reconhecida por vários países, instituições internacionais e pelas Nações Unidas (GCOS, 2003). Os oceanos são um dos sistemas onde é necessário intensificar a monitorização, especialmente devido à importância desta componente do sistema climático na evolução do clima futuro, desenvolvendo tecnologias de observação mais eficientes do ponto de vista do custo-benefício. No conjunto dos indicadores das alterações climáticas há vários onde é notória a escassez de dados.

Um exemplo claro consiste na dificuldade em identificar os efeitos específicos das alterações climáticas nos ecossistemas terrestres e na biodiversidade devido à inexistência de programas adequados de observação, monitorização e modelização à escala regional, especialmente nos países em desenvolvimento.

1.5.1 Interpretação Bayesiana das Probabilidades e Princípio da Precaução

Os cenários do clima futuro e os impactos das projectadas alterações climáticas nos vários sistemas naturais e sociais não se podem testar de modo empírico, tal como numa experiência laboratorial. Não podemos realizar experiências nos sistemas complexos naturais ou sociais para determinar a frequência relativa da ocorrência de determinada manifestação ou evento significativo do ponto de vista ambiental, social ou económico. Consequentemente não é possível desenvolver a habitual metodologia estatística «objectiva» da ciência em que a validade de uma determinada hipótese é testada por meio de uma série de experiências na qual se regista a frequência relativa com que a hipótese se verifica e se procura assim determinar a sua probabilidade. Consideremos um exemplo concreto. Os cenários climáticos futuros não se podem determinar empiricamente porque é obviamente impossível fazer «experiências» com a atmosfera da Terra. Podemos apenas simular «experiências» em modelos computacionais do sistema climático e experimentar vários tipos de interferências como, por exemplo, alterar a composição da atmosfera, aumentar a actividade vulcânica ou alterar a distribuição da radiação solar recebida ao longo do ano na superfície da Terra em função da latitude, provocada pelas variações nos parâmetros dos movimentos de rotação e translação da Terra que caracterizam os ciclos Milankovitch. O confronto dos resultados destas experiências com as observações e outros testes sobre a fiabilidade das simulações dos vários subsistemas do sistema climático conduzem os cientistas a estabelecer o seu grau de confiança nos cenários climáticos futuros. Estes níveis de confiança, apesar de não serem necessariamente os mesmos para todos os cientistas, permitem avaliar as incertezas com base numa caracterização «subjectiva» ou bayesiana (Edwards, 1992; Leonard, 1999; IPCC, 2001b) das probabilidades. Nesta interpretação a probabilidade de ocorrência de determinado fenómeno num sistema complexo é medida pelo grau de confiança com que um conjunto de especialistas acredita nessa ocorrência de modo fundamentado nas observações, no conhecimento dos processos que determinam o comportamento do sistema e nos modelos que simulam esse comportamento. Fica assim caracterizada uma probabilidade *a priori*. À medida que surgem novos dados, novos conhecimentos sobre os processos e novos modelos de simulação, mais fiáveis, a probabilidade subjectiva é revista e substituída por uma nova probabilidade

a posteriori que pode ser obtida por meio das metodologias do teorema de Bayes (Tol, 1998).

Esta metodologia é especialmente útil para avaliar o nível relativo de confiança nas conclusões obtidas numa avaliação multisectorial dos impactos das alterações climáticas. Foi utilizada no Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 2001a, 2001b, 2001c) recorrendo a escalas quantitativas de níveis de confiança correspondentes a cinco e sete intervalos de probabilidade. No primeiro caso níveis de confiança designados por muito elevado, elevado, médio, baixo e muito baixo, correspondem, respectivamente, aos seguintes intervalos de probabilidade: maior do que 95 %, entre 67 % e 95 %, entre 33 % e 67 %, entre 5 % e 33 % e menor do que 5 %.

Frequentemente não é sequer possível caracterizar a incerteza nestes intervalos de probabilidade e recorre-se a uma avaliação qualitativa baseada no nível de conhecimento científico, caracterizado pela robustez da fundamentação científica (observações, simulação através de modelos e teoria) e no grau de acordo entre especialistas. Assim, temos conclusões «bem estabelecidas» quando a fundamentação científica é robusta e as observações são consistentes com os modelos. As conclusões podem considerar-se «bem estabelecidas embora com conhecimento incompleto» quando os modelos incorporam a maioria dos processos e as observações são consistentes com os modelos, mas incompletas. Os dois outros elementos desta matriz são «explicações competitivas» quando diferentes modelos ao explicar apenas aspectos distintos das observações conduzem a representações competitivas e finalmente «especulativas» quando a fundamentação científica é frágil e conduz a incertezas significativas que não é possível diminuir.

A caracterização bayesiana das incertezas e das probabilidades das várias projecções futuras das alterações climáticas antropogénicas e dos seus impactos coloca a sociedade e em especial os decisores políticos perante a incontornável necessidade de procederem a um juízo de valor que os leve a acreditar ou não na ocorrência dessas projecções e a adotar políticas e medidas de resposta. Este processo decisório é profundamente complexo e envolve avaliações de naturezas diversas. A decisão implica avaliações do processo científico, da caracterização subjectiva das incertezas, do risco envolvido naquilo que se projecta para o futuro e sobretudo das suas eventuais consequências a nível pessoal, familiar, da comunidade local, nacional, internacional de âmbito regional e global.

O principal fundamento para este tipo de processos de decisão é o princípio da precaução (Harremões, 2002), um dos princípios básicos mais importantes do desenvolvimento

sustentável, incluído em vários Tratados, Convenções e Protocolos, tais como a Declaração do Rio sobre Ambiente e Desenvolvimento (1992), o Tratado de Maastricht da União Europeia (1992) e a CQNUAC. Neste último caso o art.º 3.3 afirma: «As partes devem tomar medidas cautelares para antecipar, evitar ou minimizar as causas das alterações climáticas e mitigar os seus efeitos prejudiciais. Quando haja ameaças de danos graves ou irreversíveis, a falta de certeza científica não deve ser utilizada para justificar o adiamento da tomada de tais medidas, tendo em conta, no entanto, que as políticas e as medidas relacionadas com as alterações climáticas devem ser eficazes relativamente ao seu custo, de tal modo que garantam a obtenção de benefícios globais ao menor custo possível.»

1.6 O CASO DE PORTUGAL E O PROJECTO SIAM

Múltiplas observações e projecções indicam que, conforme foi já referido, a região mediterrânica e o Sul da Europa, são mais vulneráveis às alterações climáticas antropogénicas do que o Norte da Europa. É pois particularmente relevante e urgente proceder à avaliação dos impactos das alterações climáticas e à identificação e implementação de estratégias de adaptação nos países do Sul da Europa. No caso de Portugal, tanto quanto é do nosso conhecimento, a primeira avaliação de impactos e medidas de adaptação multisectorial e integrada realizou-se no âmbito da primeira fase do Projecto SIAM (SIAM I), que decorreu de meados de 1999 até ao início de 2002 (SIAM, 2002). Segundo Kovats *et al.* (Kovats, 2003) esta foi também a primeira avaliação deste tipo que se realizou num país do Sul da Europa. Em Espanha as principais conclusões da primeira avaliação de impactos multisectorial e integrada (OECC, 2005) foram apresentadas em Fevereiro de 2005. Os resultados deste estudo, que incidiu sobre os sectores dos recursos hídricos, zonas costeiras, agricultura, solos, energia, florestas, ecossistemas terrestres e marinhos, pescas, turismo e seguros são semelhantes aos do Projecto SIAM (SIAM, 2002). Face à severidade dos impactos negativos das alterações climáticas projectadas para Espanha os autores concluem que não há mais tempo a perder e que se deve iniciar de imediato um processo de adaptação às alterações climáticas de modo a minimizar as suas consequências adversas (OECC, 2005).

A segunda fase do Projecto SIAM, que decorreu nos anos de 2002 e 2003, teve por objectivo aprofundar e alargar o âmbito das investigações iniciadas anteriormente, procurar preencher várias lacunas de conhecimento que foram identificadas, alargar o estudo às Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira, realizar um estudo de caso mais focado

e integrado para uma região especialmente vulnerável do Continente e iniciar um processo organizado de divulgação e discussão dos resultados obtidos junto de agentes cujas actividades são afectadas pelas alterações climáticas. O presente livro contém a síntese dos resultados do trabalho realizado na segunda fase do Projecto SIAM (SIAM II). Muitos dos resultados originais obtidos no âmbito do Projecto foram entretanto divulgados em conferências nacionais e internacionais e/ou publicados em revistas científicas.

O SIAM II manteve a mesma metodologia e estrutura de funcionamento por equipas sectoriais do SIAM I (SIAM, 2002) e envolveu cerca de 61 investigadores distribuídos por 11 equipas. Os sectores socioeconómicos e sistemas biofísicos sobre os quais incidiu o presente trabalho são os mesmos do SIAM I, designadamente, recursos hídricos, zonas costeiras, agricultura, saúde, energia, florestas e biodiversidade e pescas, embora se tenha alargado consideravelmente o âmbito e a profundidade do estudo. Em cada um dos capítulos dedicados a estes sectores faz-se um resumo breve dos resultados obtidos no SIAM I (SIAM, 2002). Há vários sectores importantes que não foram especificamente considerados, nomeadamente, turismo, solos, pecuária, áreas urbanas, seguros e outros serviços financeiros. Foram construídos cenários climáticos futuros para várias ilhas dos arquipélagos dos Açores e Madeira mas não foi possível, no tempo disponível, fazer a avaliação de impactos e medidas de adaptação às alterações climáticas nessas ilhas.

No SIAM II, para estudo de caso, foi escolhida a região da bacia hidrográfica do rio Sado devido à maior vulnerabilidade do Sul do país às alterações climáticas (especialmente nos sectores dos recursos hídricos, agricultura, florestas e biodiversidade) e ainda ao facto de incluir uma larga área estuarina potencialmente vulnerável à subida do nível médio do mar. Este trabalho constituiu um estudo-piloto para uma abordagem regional. É desejável, no futuro, poder dispor de avaliações dos impactos e medidas de adaptação para as grandes regiões do país que permitam fazer uma identificação dos sectores mais vulneráveis, e dos principais impactos e das estratégias de adaptação mais adequadas nessas regiões. Esta regionalização da avaliação de impactos é um instrumento muito útil para a política das alterações climáticas, tanto na vertente da adaptação como na vertente da mitigação, que está a ser desenvolvida e usada em vários países da U.E. A maior ênfase nos impactos e medidas de adaptação a nível local e regional facilita o processo de divulgação e sensibilização junto do público e especialmente junto dos agentes mais directamente envolvidos na problemática das alterações climáticas. Importa salientar que a mitigação e a adaptação são duas respostas complementares e sinérgicas para combater os riscos envolvidos nas alterações climáticas, que deverão desenvolver-se simultaneamente e de forma integrada.

1.6.1 Mitigação e Cumprimento do Protocolo de Quioto em Portugal

A UE ao ratificar o PQ assumiu o compromisso de reduzir as emissões antropogénicas de seis GEE – CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC, PFC e SF_6 – em 8 % no primeiro período de cumprimento, 2008-2012, relativamente a 1990. Pelo acordo de partilha de responsabilidades na UE, Portugal pode aumentar as suas emissões de GEE em 27 % até ao final do primeiro período de cumprimento. É porém muito difícil atingir este objectivo apenas com políticas e medidas de mitigação de âmbito nacional, ou seja, sem recorrer aos chamados mecanismos de Quioto – comércio de emissões, implementação conjunta e mecanismo de desenvolvimento limpo. De acordo com a Terceira Comunicação Nacional à CQNUAC (TCN, 2003) as emissões de GEE de Portugal em 2000 atingiram 84,7 Mton (milhões de toneladas) de CO_2 – equivalente (excluindo o sector de actividade das florestas e alterações de uso do solo), valor que corresponde a um aumento de 30 % relativamente a 1990. Em 2003 o aumento atingiu 38,6 % (IA, 2005). Note-se que há vários países da UE cujas emissões também ultrapassaram já largamente os compromissos de redução para o primeiro período de cumprimento. É o caso, entre outros, da Espanha, Irlanda e Itália que atingiram aumentos em 2001 de 32,1 %, 31,1 % e 7,1 % quando os compromissos são de 15 %, 13 % e -6,5 %, respectivamente (EEA, 2004a). As projecções das emissões nacionais de GEE

apontam para um aumento no ano de 2010, face a 1990, que se situa no intervalo de 46,5 % a 53,5 % (ICN, 2003). De acordo com estas estimativas Portugal terá que reduzir as emissões entre 12,6 e 17,2 Mton de CO_2 – equivalente para cumprir o PQ.

As políticas e medidas nacionais elaboradas com o principal objectivo de Portugal cumprir o PQ estão contidas no Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) cuja primeira versão foi apresentada para discussão pública em Dezembro de 2001 e cuja última versão foi aprovada em Conselho de Ministros em Junho de 2004 (RCM, 2004). O PNAC contém essencialmente medidas de mitigação e procura identificar de forma equilibrada e equitativa as responsabilidades de redução de emissões de GEE nos sectores da energia, indústria, transportes, agricultura, floresta, doméstico, serviços e resíduos para atingir o objectivo integrado de cumprimento do PQ. Em conjugação com este esforço é necessário definir e executar um plano nacional de adaptação que procure minimizar os efeitos prejudiciais das alterações climáticas nos vários sectores socioeconómicos e sistemas biofísicos. Para atingir este objectivo é necessário primeiro ter conhecimento detalhado dos impactos das alterações climáticas projectados com base nos modelos climáticos. Este conhecimento é também essencial para justificar e racionalizar a adopção de políticas e medidas de mitigação eficazes tanto a nível nacional, da UE como global.

1.7 REFERÊNCIAS

- ACACIA, 2000, M.L. Parry (editor), Assessment of the Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe: The Europe ACACIA Project, Jackson Environment Institute, University of East Anglia, UK.
- ACC, Abrupt Climate Change, 2002, National Research Council, National Academy of Sciences, USA.
- ACIA, 2004, Impacts of a Warming Arctic, Arctic Climate Impact Assessment, Cambridge University Press (<http://www.acia.uaf.edu>).
- Barber, D.C., A. Dike, C. Hillaire-Marcel, A.E. Jennings, J.T. Andrews, M.W. Kerwin, G. Bilodeau, R. McNeely, J. Southon, M.D. Morehead and G. Gagnon, 1999, Forcing of the Cold Event of 8200 Years Ago by Catastrophic Drainage of Laurentide Lakes, *Nature* 400: 344-348.
- Barnett, T.P., D.W. Pierce and R. Schnur, 2001, Detection of Anthropogenic Climate Change in the World's Oceans, *Science* 292: 270-274.
- Benestad, R.E., 2002, Solar Activity and Earth's Climate, Springer-Verlag, Berlin.
- Benn, D.I. and D.A.J. Evans, 1998, Glaciers and Glaciation, Edward Arnold, London.
- Carter, T.R. *et al.*, 1994, IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations, University College, London.
- CC – Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change, 1996, J. Bruce, H. Lee and E. Haites (eds), CUP.
- CCIRG, Climate Change Impacts Review Group, 1996, Review of the Potential effects of Climate Change in the United Kingdom, HMSO, London.
- CE, Conselho Europeu, 2004, Reunião de 25-26 de Março de 2004, Doc. 7631/04 (Annex), p. 29.
- Criqui, P., A. Kitous, M. Berk, M. den Elzen, B. Eickhout, P. Lucas, D. van Vuuren, N. Kouvaritakis and D. Vanregemorter, 2003, Greenhouse Gas Reduction Pathways in the UNFCCC Process up to 2025, Study Contract: B4-3040/2001/325703/MAR/E.I for the D G Environment, EU.
- CRU, Climate Research Unit, 2003, University of East Anglia, UK, Global Average Temperature Change 1856-2003 (<http://cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>).
- Doffeyes, K.S., 2001, Hubbert's Peak: The Impending World Oil Shortage, Princeton University Press.
- deMenocal, P. B., 2001, Cultural Responses to Climate Change During the Late Holocene, *Science* 292: 667-673.
- Douglas, B.C, M.S. Kearney and S.P. Leatherman, 2001, Sea Level Rise, *International Geophysics Series N.º 75*, Academic Press.
- Edwards, A.W.F., 1992, Likelihood, The John Hopkins University Press, Baltimore, USA.
- EEA, European Environmental Agency, 2004, Impacts of Europe's Changing Climate, Report N.º 2/2004.
- EEA, European Environmental Agency, 2004a, Analysis of Greenhouse Gas Emission Trends and Projections in Europe in 2003, Copenhagen (http://reports.eea.eu.int/technical_report_2004_4/en).
- EEAC, European Environment and Sustainable Development Advisory Councils, 2004, Towards European Targets for Greenhouse Gas Reduction 2050 and 2020, Den Haag.
- Fagan, Brian, 2004, The Long summer, Basic Books, New York.
- Feenstra, J.F., I. Burton, J.B. Smith and R.S.J. Tol, 1998, Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies, United Nations Environment Programme and Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- GACGC, German Advisory Council on Global Change, 2003, Climate Protection Strategies for the 21st Century: Kyoto and Beyond (http://www.wbgu.de/wbgu_home_engl.html).
- GCOS, Global Climate Observation System, 2003, The 2nd Report on the Adequacy of Global Observing Systems for Climate in Support of the UNFCCC, report n.º GCOS-82.
- Gregory, J.M., P. Huybrechts and S.C.B. Raper, 2004, Threatened Loss of the Greenland Ice-Sheet, *Nature* 428: 616.
- Hansen, J., A. Lacis, R. Ruedy and M. Sato, 1992, Potential Climate Impact of Mount Pinatubo Eruption, *Geophysical Research Letters* 19: 215.
- Harremöes, P., D. Gee, M. MacGarvin, A. Stirling, J. Keyes, B. Wynne and S.G. Vaz (eds), 2002, The Precautionary Principle in the 20th Century, Earthscan, London.
- Harvey, L. D. Danny, 2000, Global Warming, The Hard Science, Prentice Hall.
- Hasselmann, K., M. Latif, G. Hoos, C. Azar, O. Edenhofer, C.G. Jaeger, O.M. Johannessen, C. Kemfert, M. Welp and A. Wokam, 2003, The Challenge of Long-Term Climate Change, *Science* 303: 1923-1925.
- Henderson-Sellers, A. *et al.*, 1993, Tropical Deforestation: Modelling Local to Regional Scale Climate Change, *J. Geophysical Research* 98: 7289-7315.
- Houghton, J., 1997, Global Warming: the Complete Briefing, Cambridge University Press.
- Hoyt, D.V. and K.H. Schatten, 1997, The Role of the Sun in Climate Change, Oxford University Press.
- Huber, B. T., K. G. Macleod and S. L. Wing (eds), Warm Climates in Earth History, Cambridge University Press, 2000.
- IA, Instituto do Ambiente, 2005, Comunicação à UE dos dados das emissões de GEE de Portugal relativos a 2003.
- ICCT, The International Climate Change Taskforce, 2005; Recommendations of the ICCT, January 2005 (<http://www.ippr.org/>).
- ICN, Terceira Comunicação Nacional à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas, 2003, Instituto do Ambiente, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente.
- IEA, International Energy Agency, World Energy Outlook, 2002.
- IEA, International Energy Agency, World Energy Outlook, 2004.
- IPCC, 1996a, Climate Change 1995: The Science of Climate Change, Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the IPCC, J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callender, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (eds), Cambridge University Press.
- IPCC, 1996b, Climate Change 1995, Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analysis. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press.
- IPCC, 2003, Synthesis of the Third Assessment Report of Working Groups I, II and III, R. T. Watson (eds), IPCC.
- IPCC, 2001a, Third Assessment Report of the Working Group I: The Science of Climate Change, J. T. Houghton *et al.* (eds), Cambridge University Press.
- IPCC, 2001b, Third Assessment Report of the Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability, J. J. McCarthy *et al.* (eds), Cambridge University Press.
- IPCC, 2001c, Third Assessment Report of the Working Group III: Mitigation, B. Metz *et al.* (eds), Cambridge University Press.
- Jain, A. K., 2000, The Web Interface of Integrated Science Assessment Model (ISAM), (<http://Frodo.atmos.uiuc.edu/isam>).
- Joos, F., M. Bruno, R. Fink, U. Siegenthaler, T. F. Stocker and C. Le Quééré, 1996, An Efficient and Accurate Representation of Complex Oceanic and Biospheric Models of Anthropogenic Carbon Uptake, *Tellus Series B*, 48: 397-417.
- Kerr, R. A., 2005, Ocean Warming Model Again Points to a Human Touch, *Science*, 307: 1190.

- Kovats, R. S., B. Menne, M.J. Aherm and J.A. Patz, 2003, in Climate Change and Human Health, A.J. McMichael *et al.* (eds.), World Health Organization, Geneva.
- Lambeck, K. and J. Chappel, 2001, Sea Level Change Through the Last Glacial Cycle, *Science* 292: 679-686.
- Lean, J., C.B. Buntun, C.A. Nobre and P.R. Rowntree, 1996, The Simulated Impact of Amazonian Deforestation on Climate Using Measured ABRACOS Vegetation Characteristics, in Amazonian Deforestation and Climate, J.H.C. Gash, C.A. Nobre, J.M. Roberts and R.L. Victoria (eds), John Wiley, U.K.
- Leonard, T. and J.S.J. Hsu, 1999, Bayesian Methods, Cambridge University Press.
- Liebsch, G., K. Novotny and R. Dietrich, 2002, Untersuchung von Pegelreihen Zur Bestimmung der Änderung des Mittleren Meeresspiegels an den Europäischen Küsten, Technische Universität Dresden, Deutschland.
- Meyer, A., 2000, Contraction and Convergence – The Global Solution to Climate Change – Schumacher Briefing N.º 5, Green Books, Bristol.
- Michaelowa, A., S. Butzengeiger and M. Young, 2003, Graduation and Deepening – An Ambitious Post-2012 Climate Policy Scenario, Hamburg Institute in International Economics, Hamburg.
- Munich, 2000, Topics-Annual Review of Natural Disasters 1999, Munich Reinsurance Group, Munich, Germany.
- Nakicenovic, N. *et al.*, 2000, Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the IPCC, Cambridge University Press, Cambridge.
- NASD SCC, National Academy of Sciences Committee on the Science of Climate Change, Climate Change Science: An Analysis of some Key Questions, 2001, National Academy Press, Washington, DC.
- OECC, Oficina Española de Cambio Climático, 2005, Principales Conclusiones de la Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático, Ministério de Medio Ambiente, Madrid (<http://www.mma.es/oecc>).
- Oerlemans, J., 2005, Extracting a Climate Signal from 169 Glacier Records, *Science* 308: 675-677.
- Oreskes, N., 2004, The Scientific Consensus on Climate Change, *Science* 306: 1686.
- Palmer, T., 2005, Global Warming in a Nonlinear Climate – Can we be Sure? *Europhysics News*, European Physical Society, March/April: 42-16.
- Parry, M. and T. Carter, 1998, Climate Impact and Adaptation Assessment, Earthscan, London.
- Pershing, J. and F. Tudela, 2003, A Long Term Target – Framing the Climate Effort, in Beyond Kyoto – Advancing the International Effort Against Climate Change, Pew Center on Climate Change, Arlington, USA.
- Petit, J. R., J. Jouzel, D. Raynaud, N. I. Barkov, J.-M. Barnola, I. Basile, M. Benders, J. Chappellaz, M. Davis, G. Delayque, M. Delmotte, V. M. Kotlyakov, M. Legrand, V. Y. Lipenkov, C. Lorius, L. Pépin, C. Ritz, E. Saltzman and M. Stievenard, 1999, Climate and Atmospheric History of the Past 420 000 years from the Vostok Ice Core, Antarctica, *Nature* 399: 429-436.
- RCM, Resolução do Conselho de Ministros n.º 119/2004.
- SIAM, Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project, 2002, F.D. Santos, K. Forbes and R. Moita (eds), Gradiva, Lisboa, (<http://www.siam.fc.ul.pt>).
- Smith, L.N., W.F. Budd and P. Reid, 1998, Model Estimates of Antarctic Accumulations Rates and Their Relationship to Temperature Changes, *Annals of Glaciology* 27: 246-250.
- Stainforth, D.A., T. Aina, C. Christensen, M. Collins, N. Faull, D.J. Frame, J.A. Kettleborough, S. Knight, A. Martin, J.M. Murphy, C. Plani, D. Sexton, L.A. Smith, R.A. Spicer, A.J. Thorpe and M.R. Allen, 2005, Uncertainty in Predictions of the Climate Response to Rising Levels of Greenhouse Gases, *Nature* 433: 403-406.
- Stott, P.A., S.F.B. Tett, G.S. Jones, M.R. Allen, J.F.B. Mitchell and G.J. Jenkins, 2000, External Control of Twentieth Century Temperature Variations by Natural and Anthropogenic Forcings, *Science* 290: 2133-2137.
- TCN, Terceira Comunicação Nacional à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas, 2003, Instituto do Ambiente, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente.
- Tol, R.S.J and A.F. de Vos, 1998, A Bayesian Statistical Analysis of the Enhanced Greenhouse Effect, *Climate Change* 38: 87-112.
- Wigley, T. M. L., R. Richels and J. A. Edmonds, 1996, Economic and Environmental Choices in the Stabilization of CO₂ Concentrations: Choosing the «Right» Emissions Pathway, *Nature* 379: 240-243.
- Yohe, G., N. Andronova and M. Schlesinger, 2004, To Hedge or Not Against an Uncertain Climate Future, *Science* 306: 416-417.



Com a publicação deste volume fica concluída a segunda parte do Projecto Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação (SIAM II), iniciado em 1999 sob a esclarecida coordenação de Filipe Duarte Santos, e que conheceu em 2002 a edição dos primeiros resultados, num volume dado à estampa em língua inglesa.

Através deste projecto, Portugal torna-se num dos raros países do mundo que foi capaz de aplicar à sua escala geográfica as sofisticadas metodologias de análise e prospectiva desenvolvidas no âmbito do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC), e que conduziram aos importantes relatórios apresentados por esta rede planetária em 1995 e 2001.

Neste estudo projectam-se diferentes cenários de alterações climáticas em Portugal, envolvendo domínios tão diversos como o dos recursos hídricos, zonas costeiras, agricultura, saúde humana, energia, biodiversidade, pescas, não esquecendo as regiões atlânticas da Madeira e Açores, ou estudos de caso como o do estuário do Sado.

Este volume consagra ao mesmo tempo um gesto cientificamente pioneiro e uma interpelação radical tanto à consciência dos actores sociais, como à responsabilidade dos agentes e instituições públicos. A mensagem é forte e clara: nas próximas décadas Portugal vai sofrer as consequências do mais rápido e arriscado processo de mudança climática global em que a humanidade se viu envolvida ao longo da sua história, pelo menos nos últimos dez mil anos.

O tempo escasseia para encontrarmos e implementarmos as medidas de mitigação e adaptação que permitam ao país atravessar esta longa crise sem fracturas sociais e clivagens regionais insustentáveis. Precisamos de inovação nos nossos sistemas económicos, nos nossos hábitos de consumo, nas nossas opções de investimento público e privado. Precisamos de um espírito ousado e pioneiro no desenho de novas políticas públicas à altura deste desafio de grandiosa dimensão.

Eis as tarefas em aberto que o Projecto SIAM ajuda a identificar para o futuro sustentável de Portugal.

Viriato Soromenho-Marques

Vice-Presidente da Rede Europeia de Conselhos do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (EEAC)

ISBN 989-616-081-3



FUNDAÇÃO
CALOUSTE
GULBENKIAN

PROGRAMA AMBIENTE



Co-financiado pela
União Europeia - FEDER



Instituto do Ambiente

MINISTÉRIO DAS CIDADES, ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E AMBIENTE



A BOMBA DO PETRÓLEO COM FULGOR

2

O Clima de Portugal nos Séculos XX e XXI

Pedro M. A. Miranda (Coordenador)
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa

M. Antónia Valente
Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa

António R. Tomé
Universidade da Beira Interior
Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa

Ricardo Trigo
Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa
Universidade Lusófona

M. Fátima E. S. Coelho
Instituto de Meteorologia

Ana Aguiar
Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa

Eduardo B. Azevedo
Universidade dos Açores

ÍNDICE

SUMÁRIO EXECUTIVO	17	2.3.5 Evolução Climática dos Sectores dos Açores e da Madeira nos Cenários SRES	80
EXECUTIVE SUMMARY	18	2.4 CENÁRIOS CLIMÁTICOS OBTIDOS COM MODELOS REGIONAIS EM PORTUGAL CONTINENTAL	81
2. O CLIMA DE PORTUGAL NOS SÉCULOS XX E XXI	49	2.4.1 Modelo Regional de Clima HadRM2-3	81
2.1 INTRODUÇÃO	49	2.4.2 Comparação entre Simulações de Controlo e a Normal Climática Observada	84
2.2 CLIMA OBSERVADO	49	2.4.3 Cenários de Temperatura	86
2.2.1 Portugal Continental	49	2.4.4 Cenários de Precipitação	94
2.2.1.1 Climatologia 1961-1990	50	2.5 CENÁRIOS DE MUDANÇA CLIMÁTICA NAS ILHAS	98
2.2.1.2 Tendências Climáticas Observadas	51	2.5.1 Modelo CIELO	98
2.2.2 Açores	60	2.5.1.1 Validação do Modelo CIELO na Ilha Terceira	99
2.2.2.1 Climatologia 1961-1990 da Ilha de S. Miguel	60	2.5.1.2 Teste do Modelo CIELO na Ilha de São Miguel	100
2.2.2.2 Tendências Climáticas na Ilha de S. Miguel	62	2.5.1.3 Calibração do Modelo CIELO na Ilha da Madeira ...	100
2.2.2.3 Climatologia 1961-1990 da Ilha Terceira	65	2.6 CENÁRIOS CLIMÁTICOS NOS AÇORES	101
2.2.2.4 Tendências Climáticas na Ilha Terceira	67	2.6.1 Comparação entre as Normais Climáticas e os Cenários de Controlo	101
2.2.3 Madeira	68	2.6.2 Regionalização dos Cenários SRES	103
2.2.3.1 Climatologia 1961-1990	69	2.7 CENÁRIOS CLIMÁTICOS NA MADEIRA	106
2.2.3.2 Tendências Climáticas	70	2.7.1 Comparação entre as Normais Climáticas e os Cenários de Controlo	106
2.3 CENÁRIOS CLIMÁTICOS GLOBAIS	73	2.7.2 Regionalização dos Cenários SRES	107
2.3.1 Cenários de Emissões	73	2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
2.3.2 Modelos de Circulação Global	71	2.9 REFERÊNCIAS	111
2.3.3 Evolução Climática da Península Ibérica no Cenário IS92a	74		
2.3.4 Evolução Climática da Península Ibérica nos Cenários SRES	76		

SUMÁRIO EXECUTIVO

A evolução do clima da Terra nas três últimas décadas colocou o problema da mudança climática na agenda internacional. Especialmente a partir da última década do século XX, tornou-se clara uma tendência de aquecimento, ainda moderada mas já acima do nível usual de variabilidade interanual. De facto, os 5 anos mais quentes dos últimos 150 anos (1998, 2003, 2002, 2001 e 1997, por ordem decrescente de anomalia) foram observados na última década. O Verão de 2003 foi classificado como o mais quente da Europa nos últimos 500 anos, tendo-se traduzido em graves impactos na saúde pública e, no caso de Portugal, também na ocorrência da maior vaga de incêndios florestais. A quebra sucessiva de recordes para a temperatura em diferentes regiões e a ocorrência de situações extremas de calor, com grande impacto económico e social, obrigou a generalidade da sociedade a olhar para o aquecimento global como um problema premente, a requerer estudo, monitorização e planeamento.

Observações meteorológicas realizadas em Portugal Continental e nas Regiões Autónomas dos Açores e Madeira indicam que o clima português sofreu, ao longo do século XX, uma evolução caracterizada por dois períodos de aquecimento, intercalados por um período de arrefecimento. Desde a década de 1970, a temperatura média subiu em todas as regiões de Portugal, a uma taxa de cerca de 0,5 °C/década, mais do dobro da taxa de aquecimento observada para a temperatura média mundial. Na generalidade das regiões portuguesas, observou-se uma subida mais intensa das temperaturas mínimas traduzida numa redução da amplitude térmica diária. Outras variáveis climáticas apresentam variações importantes, como é o caso da nebulosidade, da insolação e da humidade relativa, mostrando que o processo de aquecimento global é complexo na sua interacção com o ciclo da água.

No que se refere à precipitação, a evolução observada apresenta grande irregularidade e não se verificam tendências significativas no seu valor médio anual. No entanto, tanto no Continente como nos Açores, observou-se nas últimas décadas uma importante correlação entre a evolução da precipitação média de Inverno e o valor da Oscilação do Atlântico Norte (NAO), índice climático que caracteriza a circulação atmosférica numa vasta área do hemisfério Norte. A subida sistemática deste índice entre a década de 1960 e a década de 1990 foi acompanhada por uma redução muito significativa da precipitação no fim do Inverno e início da Primavera, especialmente no mês de Março, em Portugal Continental. A evolução recente parece, no entanto, ser no sentido de uma redução da NAO, sendo clara a necessidade de acompanhar atentamente estudos sobre este indicador.

Os cenários climáticos considerados neste estudo constituem uma estimativa da provável evolução do clima global ao longo do século XXI. Para o efeito, consideram-se três cenários de emissão de gases com efeito de estufa e recorre-se a dados climáticos provenientes de diversos modelos globais e regionais. A diferença entre os diferentes resultados, no conjunto de cenários considerado, permite avaliar a incerteza associada às projecções climáticas analisadas.

Todos os modelos, em todos os cenários, prevêem um aumento significativo da temperatura média em todas as regiões de Portugal até ao fim do século XXI. No Continente são estimados aumentos da temperatura máxima no Verão entre 3 °C na zona costeira e 7 °C no interior, acompanhados por um grande incremento da frequência e intensidade de ondas de calor. Nas regiões insulares os aumentos da temperatura máxima deverão ser mais moderados, entre os 2 °C e os 3 °C na Madeira, enquanto para os Açores se estimam aumentos entre 1 °C e 2 °C.

No que se refere à precipitação, a incerteza do clima futuro é substancialmente maior. No entanto, quase todos os modelos prevêem redução da precipitação em Portugal Continental durante a Primavera, Verão e Outono. O modelo regional de clima utilizado prevê reduções da precipitação no Continente que podem atingir valores correspondentes a 20 % a 10 % da precipitação anual, com as maiores perdas a ocorrerem na região Sul. Nas Ilhas as estimativas de variação da precipitação são muito diferentes das estimadas para o Continente. Resultados do modelo global seleccionado para a Madeira indicam uma forte redução da precipitação de Inverno, especialmente nas zonas altas, acompanhada por reduções na Primavera e Outono e só parcialmente compensada por um incremento da precipitação de Verão. Em termos anuais, a precipitação na Madeira poderá ser reduzida em 20 a 30 %. Nos Açores, os resultados indicam variações relativamente pequenas na precipitação anual, apesar de sugerirem um aumento da precipitação de Inverno, compensado por uma redução nas outras estações.

A mudança climática é um problema global. A sua mitigação só é possível com medidas globais, afectando e mobilizando a generalidade dos países, especialmente os grandes emissores de gases com efeito de estufa. Os impactos, no entanto, são locais e podem variar qualitativamente de região para região e de sector para sector. A resposta tem, por isso, uma forte componente local e sectorial e o seu planeamento depende de uma avaliação regional dos impactos. Este trabalho pretende contribuir, com base no estado actual da ciência, para essa avaliação. A incerteza associada a este processo é elevada, sendo claro que se trata de um estudo a requerer actualização periódica.

EXECUTIVE SUMMARY

The evolution of the world climate in the three last decades pushed the climate change issues into the international agenda. The trend towards global warming became more evident in the 1990s, when observed temperature tendencies went well above the levels of interannual variability. Indeed, the 5 warmest of last 150 years (1998, 2003, 2002, 2001 and 1997, in decreasing order of the anomaly) were observed in the last decade, while 2003 was classified as the warmest in Europe in five centuries and was characterized by major impacts in public health and, in the case of Portugal, by the most damaging forest fires in recent history. The occurrence, in successive years, of record breaking conditions for high temperature in many regions with accompanying heat waves of large economic and social impact, has convinced many sectors of our society to consider global warming as an urgent problem, requiring scientific study, monitoring and planning.

Meteorological observations made in mainland Portugal and in the Autonomous Regions of the Azores and Madeira, indicate that the Portuguese climate experienced, during the 20th century, an evolution characterized by two distinct periods of warming, separated by a period of cooling. From the 1970s onwards, there was an increase in the average temperature of all Portuguese regions, at a rate of 0.5 °C/decade, more than twice what was observed for the mean world temperature. In most regions, the minimum temperature increased faster than maximum temperature leading to a reduction in the diurnal temperature range. Other variables revealed important trends, as are the cases of cloud cover, sunshine duration and relative humidity, suggesting relevant changes in the water cycle.

The evolution of precipitation is obscured by large interannual variability, and there are no clear trends in its annual values. However, both in mainland Portugal and in the Azores, the last decades have been characterized by a significant correlation between the mean winter precipitation and the corresponding mean value of the North Atlantic Oscillation (NAO) index, which has been found to be related with the slow evolution of the atmospheric circulation in a large area of the Northern Hemisphere. The upward trend experienced by the NAO index between the 1960s and the 1990s has been accompanied by a significant reduction of precipitation in late winter and early spring, especially in March, in mainland Portugal. However, NAO's recent evolution seems to be occurring in the opposite direction. Current research in the NAO dynamics must be followed with much interest by anyone interested in the climate of our region.

The climate change scenarios considered in this study offer a range of possible outcomes by the end of the 21st century. They include 3 greenhouse gases emission scenarios used by many global and two regional climate models. Uncertainty in those scenarios may be assessed by comparison of the different results.

All models, in all scenarios, predict a significant increase in the mean temperature, in all Portuguese regions, by the end of the 21st century. In mainland Portugal, increases in the maximum summer temperature are estimated at 3 °C in the coastal areas, and above 7 °C in the interior, accompanied by a major increase in the frequency and intensity of heat waves. In the Atlantic islands the increase of maximum summer temperature is expected to be more moderate, between 2 and 3 °C in Madeira, whereas in the Azores results indicate even less warming, between 1 and 2 °C.

Precipitation scenarios are much more uncertain. However, almost all models predict a reduction in precipitation over mainland Portugal during spring, summer and autumn. The latest generation of regional model projects reductions in the annual precipitation in mainland Portugal within the range of 20 to 40 % of its current values, with the greatest losses occurring in the South. In Madeira, results from global models lead to a strong reduction in winter precipitation, especially in the high grounds, accompanied by losses of precipitation in spring and autumn, and only partially compensated by an increase in the summer. In terms of the annual average, Madeira's precipitation may suffer a reduction between 20 and 30 %. In the Azores, results indicate small changes in the annual values, but suggest some change in the annual cycle, with a stronger winter precipitation being compensated by decreases in the other seasons.

Climate change is a global problem. Its mitigation requires global action, mobilizing most countries, especially those responsible for large emissions. However, impacts are local and may vary between regions and sectors. The response has, for that reason, a strong local component and its planning requires a regional assessment of climate impacts. This study aims to contribute for that assessment, as allowed by our current scientific knowledge. Uncertainty is necessarily high, and this is a study requiring periodic reevaluation.

2. O Clima de Portugal nos Séculos XX e XXI

Pedro M. A. Miranda (Coordenador), M. Antónia Valente, António R. Tomé, Ricardo Trigo, M. Fátima E. S. Coelho, Ana Aguiar, Eduardo B. Azevedo

2.1 INTRODUÇÃO

O primeiro estudo integrado da evolução do clima de Portugal Continental no século XX foi recentemente publicado em *língua inglesa* (Miranda *et al.*, 2002), reunindo parte significativa das observações disponíveis na rede climatológica nacional e fazendo o enquadramento da evolução das diferentes variáveis climáticas no contexto da mudança climática observada à escala global. No presente trabalho resumem-se e actualizam-se as conclusões principais do estudo referido, no que se refere à evolução das variáveis climáticas mais relevantes, sugerindo-se uma consulta ao trabalho anterior, que, nalguns aspectos, é mais completo. Por outro lado, este trabalho vem preencher uma importante lacuna no estudo da evolução climática de Portugal, fazendo, pela primeira vez, um estudo da mudança climática observada em todo o território, incluindo os arquipélagos dos Açores e da Madeira.

A análise de diferentes cenários de evolução climática constitui o segundo objectivo deste estudo. Na região de Portugal Continental, analisam-se cenários produzidos por diversos modelos de circulação global e por dois modelos regionais de clima, utilizando diferentes hipóteses para a evolução previsível das emissões de gases com efeito de estufa. Nas ilhas dos Açores e da Madeira procede-se a uma regionalização dos cenários de mudança global, desenvolvendo uma nova metodologia apropriada para ilhas montanhosas. O conjunto de resultados fornecidos pelos diferentes modelos, em diferentes cenários de emissão de gases de estufa, oferece-nos uma estimativa da evolução provável do nosso clima, mas também das grandes incertezas que ainda existem acerca do futuro.

2.2 CLIMA OBSERVADO

2.2.1 Portugal Continental

Portugal Continental, localizado aproximadamente entre as latitudes de 37°N e 42°N e

as longitudes de 9,5°W e 6,5°W, no extremo Sudoeste da Europa (Figura 2.1), situa-se na zona de transição entre o anticiclone subtropical (anticiclone dos Açores) e a zona das depressões subpolares, sendo o clima fortemente influenciado pela proximidade ao oceano Atlântico. Portugal Continental é uma região que se estende mais latitudinalmente do que longitudinalmente, distando as regiões mais interiores apenas cerca de 220 km do oceano Atlântico, o que não obsta a que algumas dessas regiões apresentem características climáticas do tipo continental. Outro dos factores determinantes do clima é a orografia da região, com áreas significativas das zonas Norte e Centro a ultrapassarem os 1000 m de altitude.

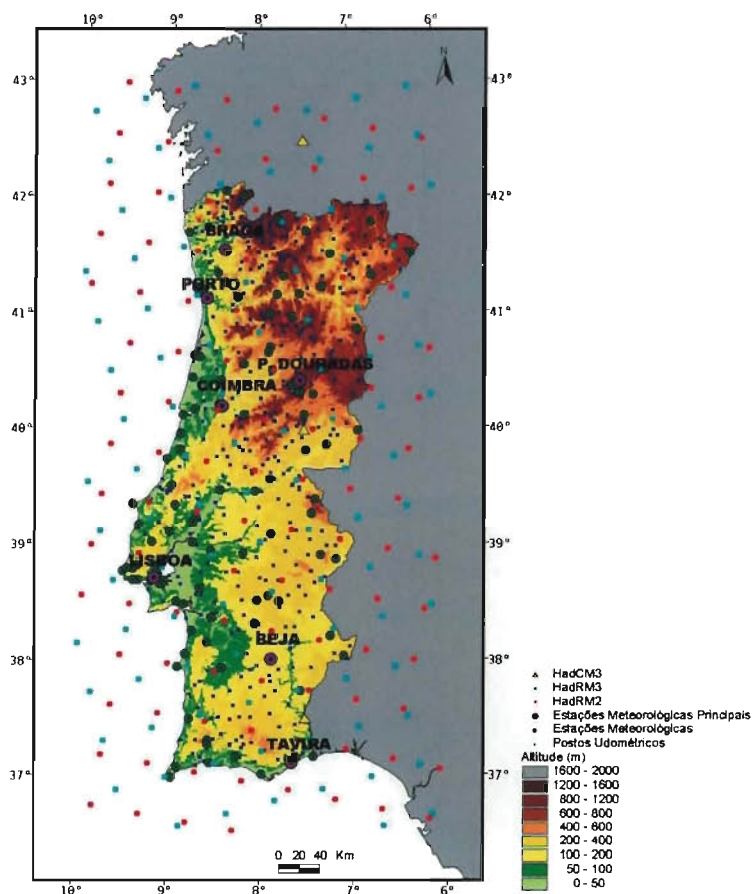


Figura 2.1 – Mapa topográfico de Portugal Continental, com a localização das estações meteorológicas e postos udométricos do Instituto de Meteorologia (IM) e dos pontos de grelha dos modelos utilizados

A variação dos factores climáticos referidos (latitude, proximidade ao oceano e orografia), embora pequena, é suficiente para induzir variações significativas na temperatura e, principalmente, na precipitação observadas em Portugal Continental. Com efeito, a região Noroeste (Minho) é uma das zonas da Europa que regista valores mais elevados de precipitação, atingindo a média da precipitação anual acumulada nalguns locais valores superiores a 3000 mm. Por outro lado, em várias zonas do interior do Alentejo, a precipitação anual acumulada não ultrapassa, em média, os 500 mm. A precipitação apresenta variações interanuais muito acentuadas, tornando a região vulnerável a fenómenos extremos associados à falta (secas) ou ao excesso de precipitação (cheias).

2.2.1.1 Climatologia 1961-1990

Temperatura do Ar

Na Figura 2.2a apresenta-se a temperatura média do ar à superfície observada no período 1961-1990. Nesse período, a temperatura média à superfície variou entre um mínimo

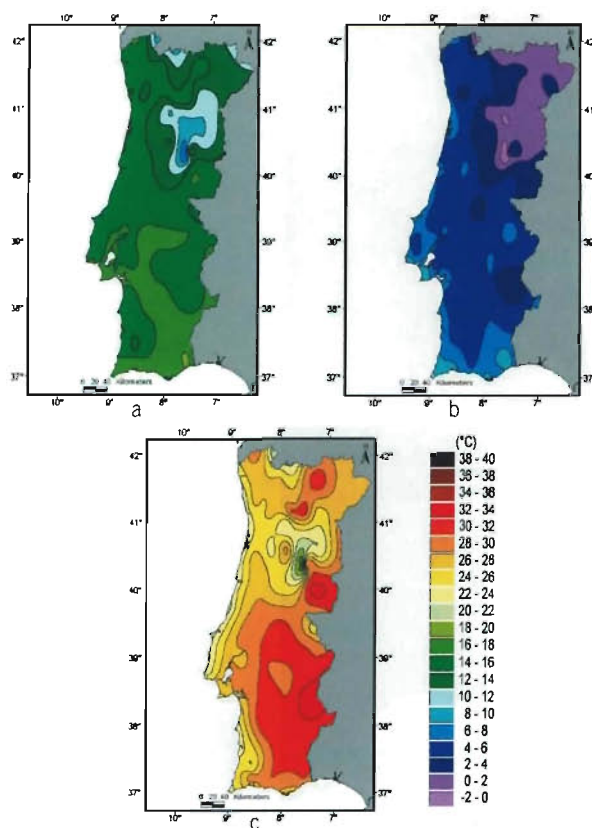


Figura 2.2 – Temperatura do ar: (a) Média anual; (b) Mínima no Inverno (Dezembro, Janeiro, Fevereiro); (c) Máxima no Verão (Junho, Julho, Agosto). Dados de observações no período 1961-1990

de 7 °C nas zonas altas da serra da Estrela, e um máximo de 18 °C na costa algarvia. A distribuição espacial da temperatura média evidencia o efeito conjugado de três factores principais: a latitude, a proximidade da costa e a altitude. A importância relativa destes factores varia no ciclo anual, sendo evidente a existência de um gradiente significativo da temperatura, na direcção Norte-Sul, durante o Inverno e um forte gradiente na zona costeira, durante o Verão.

As médias da temperatura mínima no Inverno (meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro – DJF) e da temperatura máxima no Verão (Junho, Julho e Agosto – JJA) são apresentadas na Figura 2.2b,c. A temperatura mínima no Inverno (Figura 2.2b) é inferior aos 0 °C na parte mais alta da serra da Estrela, observando-se valores inferiores a 2 °C em certas zonas do interior Norte e Centro. Os valores mais elevados da média da temperatura mínima no Inverno (cerca de 10 °C) ocorrem na costa Sul e na península de Setúbal. No Verão (Figura 2.2c), a média da temperatura máxima varia entre 16-18 °C, na serra da Estrela, e valores superiores a 32 °C na zona de Castelo Branco (interior Centro) e na região de Mourão-Amareleja (interior Sul). Em Trás-os-Montes (interior Norte) a média da temperatura máxima atinge valores superiores a 30 °C.

A distribuição espacial do número médio de dias por ano com temperatura máxima acima de 35 °C, designados por «dias muito quentes», é apresentada na Figura 2.3. O máximo absoluto ocorre na região de Mourão-Amareleja, com valores superiores a 30 dias, e os máximos relativos acontecem nas mesmas posições da Figura 2.2c. Nas zonas costeiras, e em praticamente toda a região Norte, o número de «dias muito quentes» é inferior a 5 por ano. Este parâmetro, apesar de não ser um indicador climático muito utilizado, sendo raramente relevante no clima actual, foi introduzido neste

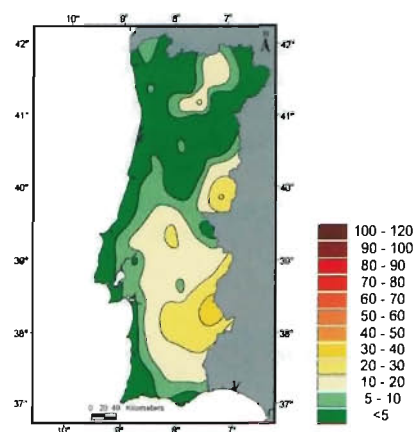


Figura 2.3 – Número médio anual de dias muito quentes (com temperatura máxima superior a 35 °C). Dados de observações no período 1961-1990

trabalho devido ao facto de os cenários climáticos futuros projectarem um aumento substancial da temperatura em Portugal Continental, com o consequente aumento da frequência e intensidade das ondas de calor. Outros indicadores relevantes incluem o número anual de dias de geada (com temperatura mínima inferior a 0 °C), noites tropicais (dias com temperatura mínima superior a 20 °C) e dias de Verão (temperatura máxima superior a 25 °C). Estes três últimos indicadores são normalmente usados como parâmetros estatísticos na caracterização de situações anómalas de calor e de frio. A sua distribuição média no período 1961-1990 é apresentada na secção 2.4.3.

Precipitação

A precipitação anual média em Portugal Continental é de cerca de 900 mm, apresentando uma variação espacial muito significativa. Tal como foi referido anteriormente, os valores mais elevados são observados no Minho, onde em algumas zonas a precipitação anual acumulada é superior a 3000 mm (Figura 2.4). Os valores mais baixos, inferiores a 400 mm/ano, ocorrem numa região restrita da Beira Interior (a sul do Douro) e mais extensivamente no interior do Alentejo, com valores inferiores a 600 mm/ano.

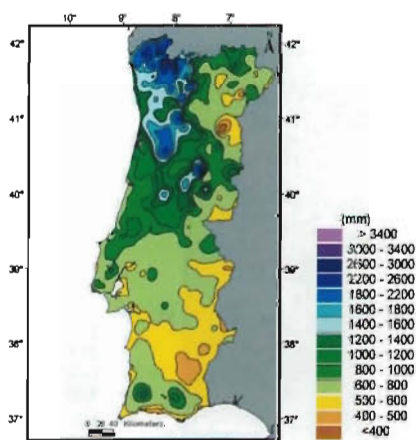


Figura 2.4 Média da precipitação anual acumulada. Dados de observações no período 1961-1990

A análise da distribuição da precipitação pelas estações do ano (Figura 2.5) permite concluir que aproximadamente 42 % da precipitação anual ocorre no Inverno (DJF), enquanto o Verão (JJA) é a estação menos chuvosa, com cerca de 6 % da precipitação anual. As estações de transição, Primavera (Março, Abril, Maio – MAM) e Outono (Setembro, Outubro, Novembro – SON), contribuem com os restantes 52 % da precipitação anual acumulada, com uma distribuição interanual muito variável.

2.2.1.2 Tendências Climáticas Observadas

Temperatura

Uma das principais motivações dos estudos de mudança climática é o aumento da temperatura média global à superfície observado durante o último século, particularmente nos últimos 30 anos. Com efeito, a temperatura média à superfície aumentou aproximadamente 0,6 °C desde o fim do século XIX até ao presente (IPCC WGI, 2001), tendo sido identificados neste intervalo de tempo, por Jones *et al.* (1999) e Karl *et al.* (2000), dois períodos de aquecimento, entre 1910-1945 e desde 1976. Saliente-se que cerca de dois terços do aumento verificado no século XX (0,4 °C) ocorreram desde a década de 1970. Na Europa, os maiores aumentos da temperatura coincidem com os períodos de aumento a nível global (Klein Tank *et al.*, 2002). As temperaturas mínimas, em particular, sofreram um aumento significativo, que se atribui a uma redução da frequência de ocorrência de temperaturas extremamente baixas.

Em Portugal Continental, as séries temporais (1931-2000) de temperatura máxima e mínima apresentam tendências com o mesmo sinal das observadas a nível global. Em particular, no último quarto de século registou-se um aumento significativo das temperaturas máxima e mínima médias, com os valores das tendências de ambas as temperaturas a serem da mesma ordem de grandeza. No entanto, nos últimos anos o valor da tendência da temperatura mínima é superior ao da temperatura máxima, o que implica uma diminuição da amplitude térmica. Observou-se ainda que os 6 anos mais quentes do período 1931-2000 ocorreram nos últimos 12 anos do século XX, com 1997 a ser o ano mais quente (Miranda *et al.*, 2002).

A nível global, nas séries analisadas por diversos autores incluindo dados até 2003, verifica-se que 1998 se destaca como o ano mais quente desde que os registos começaram em 1860, sendo 2002, 2003 e 2001 respectivamente os segundo, terceiro e quarto anos mais quentes, no que se refere à temperatura média global à superfície (WMO, 2004). Nas latitudes médias e altas do hemisfério Norte (30 °N-90 °N), 2002 foi o ano mais quente do período 1860-2002 (Walpe e Lawrimore, 2003). Na Europa, o ano de 2003 foi classificado como o mais quente dos últimos 5 séculos (Luterbacher *et al.*, 2004).

Na Figura 2.6 apresenta-se a evolução das temperaturas mínima e máxima de Portugal Continental entre 1930 e 2002, incluindo uma análise da sua tendência parcial nos períodos de aquecimento (1910-1945, 1975-2002) e arrefecimento (1945-1975) da temperatura média global. O bom ajuste entre os segmentos de recta e as curvas das observações indica que a temperatura média do território continental

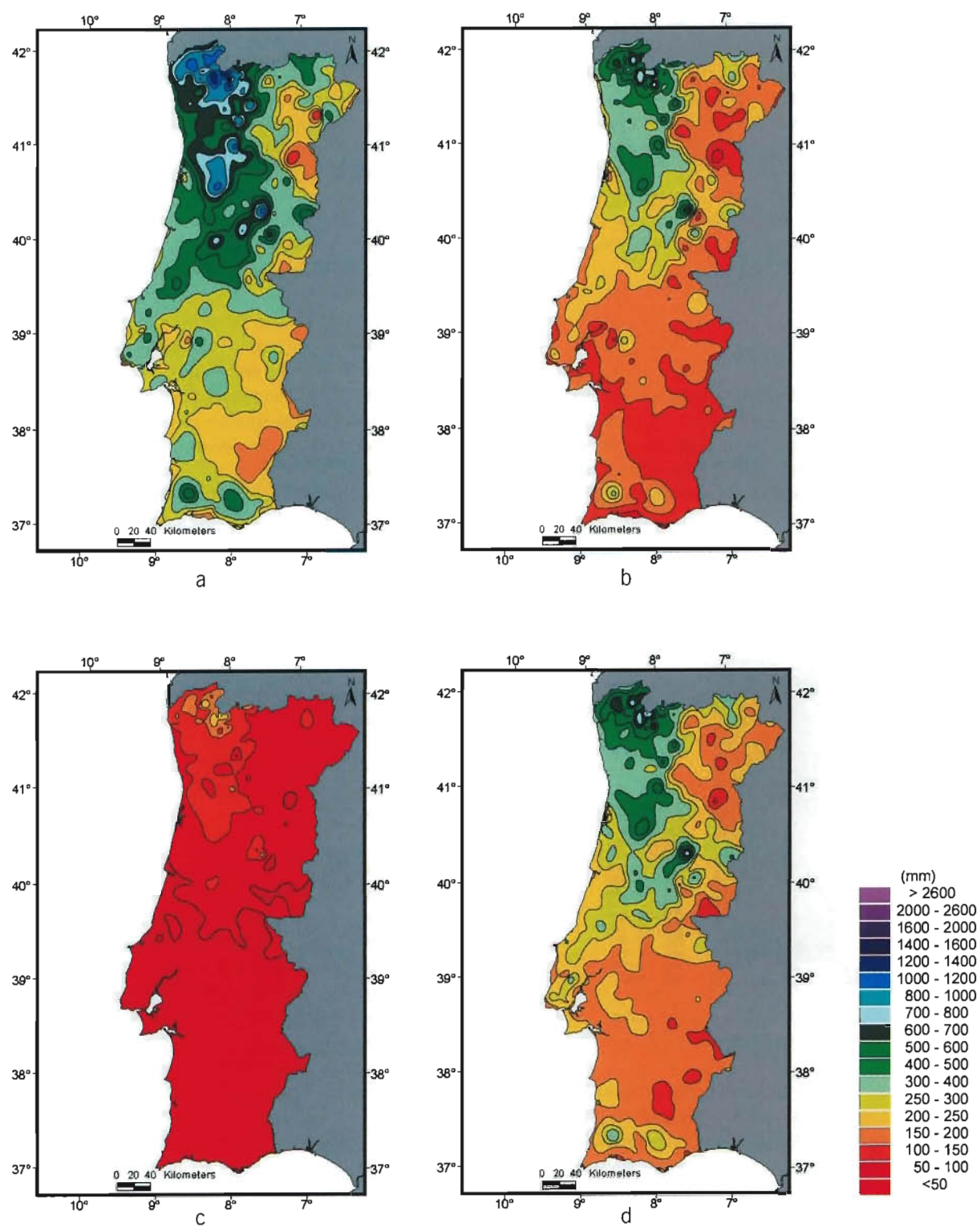


Figura 2.5 - Média da precipitação sazonal acumulada: (a) Inverno (DJF); (b) Primavera (MAM); (c) Verão (JJA) e (d) Outono (SON).
Dados de observações no período 1961-1990

português acompanhou o comportamento global, registando dois períodos de aquecimento significativo, intercalados por um período de arrefecimento moderado. Nos últimos 27 anos a temperatura máxima apresenta uma tendência positiva ($+0,47\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$) ligeiramente inferior à da temperatura mínima ($+0,48\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$). Verifica-se ainda que, embora nos anos de 2001 e 2002 não se tenham observado temperaturas tão elevadas em Portugal Continental como nos anos mais quentes da década de 1990, estes dois anos estão nos 10 % de anos mais quentes em relação à média climatológica de 1961-1990 (Walpe e Lawrimore, 2003).

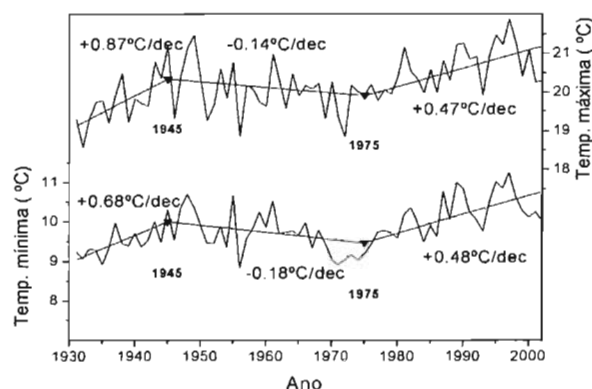


Figura 2.6 – Evolução temporal das médias das temperaturas máxima (curva de cima) e mínima (curva de baixo) em Portugal Continental. Sobrepostos estão os ajustes lineares às curvas calculados com os anos de mudança das tendências de Karl *et al.* (2000) (1945 e 1975 – rectas a cheio). Os valores das tendências para os períodos 1930-1945, 1946-1975 e 1976-2002 estão assinalados em $^{\circ}\text{C}$ por década

Para ultrapassar os casos em que os valores globais obtidos por Karl *et al.* (2000) não são adequados, desenvolveu-se, no âmbito deste trabalho, um novo método que permite identificar, para cada série, os anos que evidenciam uma mudança de tendência (Tomé e Miranda, 2004). O novo método consiste em encontrar a curva composta por troços de recta contínuos que melhor se ajusta às séries, em termos da minimização da soma dos desvios quadráticos, com as condições do período abarcado por cada segmento de recta ser igual ou superior a um dado limite, e de dois segmentos de recta consecutivos terem declives de sinal contrário. De facto, quando se aplica esse método de ajuste de segmentos de recta às séries centenárias de temperatura máxima (corrigida em $+0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ nos anos anteriores a 1942, Tomé *et al.*, 2002) e mínima da estação de Lisboa/Geofísico (Figura 2.7), verifica-se que o comportamento lento dessas séries é melhor ajustado por uma escolha diferente de anos de mudança de tendência. Assim, no caso da temperatura mínima nesta estação, o período entre 1910 e 1945 apresenta uma tendência negativa quase nula e o mesmo acontece com o período entre 1945 e 1975. No caso da temperatura máxima a série apresenta diferenças

significativas em relação à série média de Portugal Continental. Salienta-se, no entanto, que as séries correspondentes a estações individuais têm maior variabilidade interanual, e podem ser afectadas por mudanças ocorridas na estação.

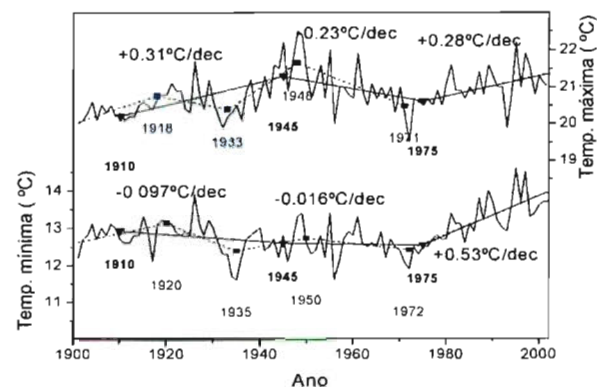


Figura 2.7 – Tal como a Figura 2.6 mas para a estação de Lisboa/Geofísico. Representam-se igualmente os ajustes lineares calculados com anos móveis, segundo o método de Tomé e Miranda (2004) (rectas a tracejado)

Na série de Lisboa da temperatura mínima, a característica mais acentuada é o elevado valor da tendência no último período de aquecimento ($+0,53\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$ a partir de 1975). Este valor é consideravelmente superior à tendência da temperatura máxima no mesmo período ($+0,28\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$). Contrariamente ao que acontece à temperatura média global, em meados da década de 1940 não se observa uma inversão de tendência da temperatura mínima de Lisboa. A diminuição da amplitude térmica em Lisboa, que ocorre desde o último quarto do século xx, está em sintonia com o que aconteceu a nível global. A diminuição da amplitude térmica não é exclusiva deste período, tendo também ocorrido entre meados da década de 1940 e inícios da década de 1970. Porém, neste caso, a diminuição da amplitude térmica deveu-se à diminuição observada da temperatura máxima, que se seguiu a um aumento significativo da mesma e, simultaneamente, à fraca variação da temperatura mínima entre meados da década de 1930 e o começo da década de 1970. Conclui-se que a amplitude térmica de Lisboa tem vindo a decrescer desde meados da década de 1940, embora por motivos diferentes nos períodos anterior e posterior a 1975.

Humidade, Nebulosidade e Insolação

A humidade relativa constitui uma variável importante na análise do clima de uma região. Na Figura 2.8 apresentam-se séries temporais da humidade relativa média sazonal e anual para a estação de Lisboa/Geofísico às 9 h. Note-se que a curva representada na Figura 2.8b vem substituir a série de

humidade relativa apresentada em Miranda *et al.* (2002) que não está correcta. Com efeito, devido a um erro de cálculo nas humidades relativa e específica apresentadas no trabalho anterior, os valores encontram-se sobrestimados até 15 %, apesar de a tendência ser qualitativamente idêntica. As séries de humidade relativa são neste trabalho devidamente corrigidas e actualizadas com dados até 2002.

Foram feitos ajustes lineares simples às séries de humidade relativa de Lisboa e as tendências encontram-se igualmente representadas na Figura 2.8. Verificou-se que em todas as estações do ano a tendência encontrada é positiva, sendo maior no Verão e no Outono (+1,3 %/década) e menor no Inverno e Primavera (+0,7 %/década e +0,6 %/década respectivamente). A humidade relativa anual em Lisboa cresceu em média a uma taxa de +1 %/década no período considerado, sendo 2002 o ano com a maior humidade relativa da série (80 %). O persistente aumento da humidade relativa durante o século XX ocorreu igualmente noutros pontos do país.

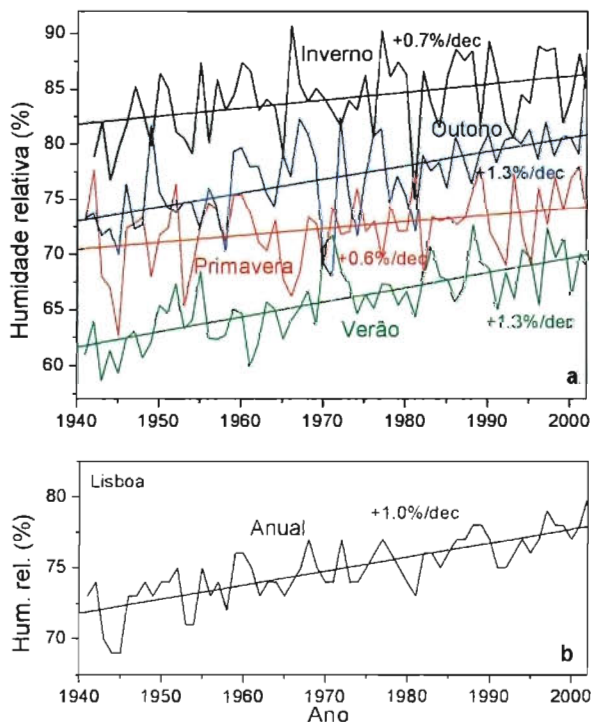


Figura 2.8 Evolução temporal da humidade relativa sazonal e anual às 9 h na estação de Lisboa/Geofísico e sua tendência linear. Os números indicam as tendências no período total considerado

É importante relacionar o comportamento da humidade relativa com a nebulosidade e insolação observadas no século XX em Lisboa (Figura 2.9). Com efeito, a nebulosidade média

anual aumentou claramente entre 1940 e finais da década de 1980, atingindo 5,16 oitavos em 1987. Desde esta altura, o comportamento da nebulosidade torna-se mais irregular, tendo ocorrido valores inferiores aos atingidos até ao final da década de 1980, observando-se um valor relativamente baixo em 1992 (3,89 oitavos). A insolação anual observada em Lisboa está em oposição de fase com a nebulosidade, verificando-se um decréscimo acentuado até ao final da década de 1980, seguido de uma variação sem sinal claro até 2002.

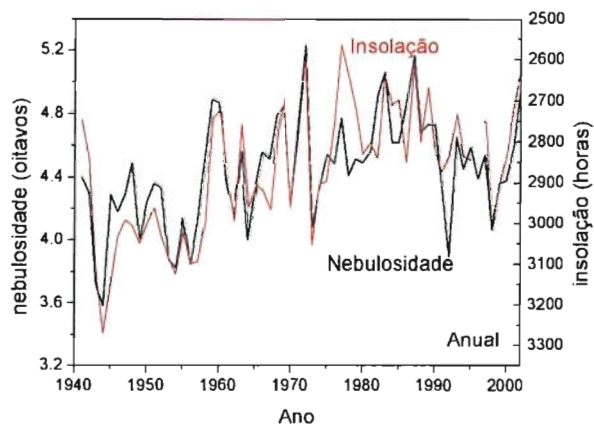


Figura 2.9 Evolução da nebulosidade média às 9 h e da insolação na estação de Lisboa/Geofísico (valores anuais). Notar que a escala da insolação está invertida

No comportamento das séries sazonais da nebulosidade média registada em Lisboa (não apresentadas) são igualmente identificáveis tendências crescentes em todas as estações do ano até à década de 1980, que são acompanhadas por decréscimos da insolação sazonal. Embora as observações de nebulosidade e insolação não sejam totalmente fiáveis – as primeiras devido ao seu carácter qualitativo, as segundas devido ao método de medida – os comportamentos em fase das séries e das tendências da nebulosidade, insolação e humidade relativa tornam os resultados apresentados na Figura 2.9 mais robustos. Um aumento da nebulosidade devida a nuvens baixas é consistente com um acréscimo na humidade relativa perto da superfície e com um decréscimo do número de horas de sol, o que provoca uma diminuição da amplitude térmica diária.

Precipitação

Os últimos 20 anos do século XX foram particularmente pouco chuvosos em Portugal Continental em comparação com os valores médios registados no período 1961-1990. Com efeito, apenas em 6 dos últimos 20 anos do século passado foi a precipitação anual superior à média de 1961-1990. No entanto, deve realçar-se que nos anos de 2001 e 2002 ocor-

reram precipitações anuais superiores à média de 1961-1990. As séries sazonais actualizadas de precipitação média em Portugal Continental são apresentadas na Figura 2.10.

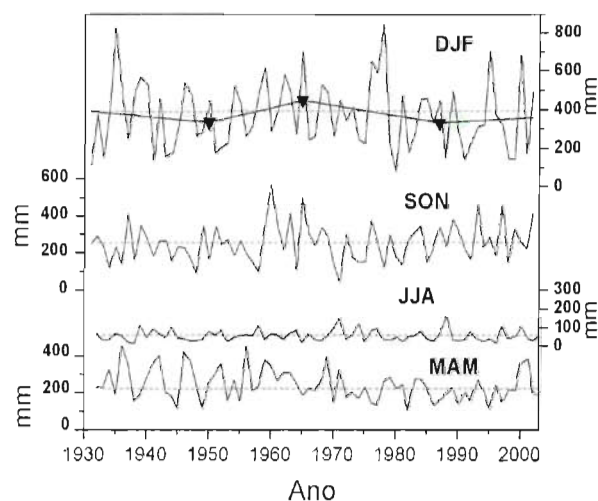


Figura 2.10 – Evolução temporal da precipitação sazonal média em Portugal Continental. Rectas a tracejado indicam a média no período 1961-1990. Ajustes lineares para a série de Inverno calculados segundo Tomé e Miranda (2004)

A característica mais significativa que se observa na Figura 2.10 é a redução de precipitação na Primavera nas últimas três décadas do século XX, acompanhada por aumentos muito ligeiros nas outras estações. Devido à variabilidade interanual da precipitação ser muito grande, apenas a diminuição da precipitação na Primavera é estatisticamente significativa. Novamente, deve referir-se que nos anos de 2000 e 2001 a precipitação na Primavera atingiu valores elevados que não eram observados desde o final da década de 1960. O Inverno de 2000 foi particularmente chuvoso (o 3.º mais chuvoso dos últimos 30 anos), sendo o Inverno seguinte (2001) o 5.º mais seco dos últimos 30 anos da série representada na Figura 2.10. A variação da precipitação na Primavera está associada a variações da NAO, adiante referidas.

A Figura 2.11 apresenta as anomalias médias mensais de precipitação entre os períodos 1971-2000 e 1941-1970. Esta figura permite uma leitura mais simples da evolução a longo prazo do clima médio da precipitação. No período de 1971-2000 detecta-se claramente uma perda de precipitação na Primavera em relação ao anterior período de 30 anos. Esta perda ocorreu principalmente no mês de Março, que apresenta uma anomalia (negativa) de -66 mm. O decréscimo acentuado de precipitação em Março, em diversas estações climáticas situadas em Portugal Continental, foi identificado inicialmente por Mendes e Coelho (1993). Verifica-se ainda que os ganhos moderados de precipitação em

Outubro e Dezembro apresentados na Figura 2.11 foram compensados pelas perdas registadas em Janeiro, Fevereiro e Novembro, enquanto que as variações acumuladas entre Abril e Setembro são irrelevantes. No que se refere à precipitação acumulada anual, ocorreram menos 80 mm no período 1971-2000 do que no período 1941-1970, valor comparável ao da perda de precipitação em Março. Estes números podem ser interpretados como traduzindo uma redução do período de Inverno e antecipação da Primavera, efeitos encontrados em diversos ambientes no hemisfério Norte e patentes em cenários de aquecimento global.

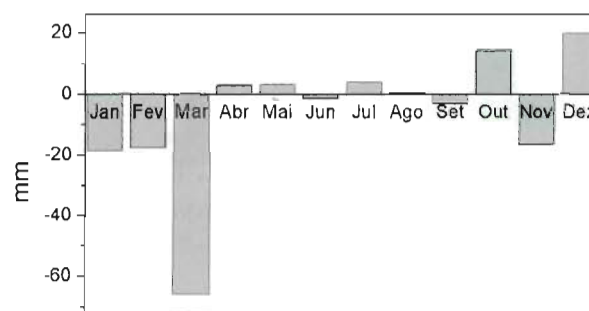


Figura 2.11 – Variação da precipitação média mensal em Portugal Continental. Anomalia entre os períodos 1971-2000 e 1941-1970

Distribuindo a precipitação de cada uma das estações do ano nos períodos 1941-1970 e 1971-2000 por classes, é possível calcular a frequência com que essas classes ocorreram nos dois períodos (Figura 2.12). No caso do Inverno, no período 1971-2000, a precipitação é distribuída por mais classes, aparecendo duas classes adicionais (superior a 700 mm e inferior a 100 mm) em relação ao período 1941-1970. Isto significa que no Inverno a variabilidade interanual da precipitação aumentou no último período, com a ocorrência tanto de Invernos mais secos como mais chuvosos. Na Primavera observou-se um decréscimo acentuado das classes mais elevadas de precipitação (acima de 300 mm) no período mais recente, com uma concentração da distribuição num pequeno número de classes. Por outro lado, no fim do século XX, as classes de menor precipitação sofreram um aumento significativo de frequência, o que vem pôr em relevo, novamente, a perda substancial de precipitação que tem vindo a ocorrer na Primavera. Os histogramas de Verão também apresentam variações importantes entre os dois períodos considerados. Embora a precipitação total não varie significativamente entre os dois períodos, observa-se um aumento da frequência de Verões muito secos e a ocorrência de alguns Verões relativamente húmidos (com precipitação acima dos 150 mm), o que implica um aumento da variabilidade interanual do Verão. No Outono, os histogramas para os períodos 1941-1970 e 1971-2000 não apresentam diferenças significa-

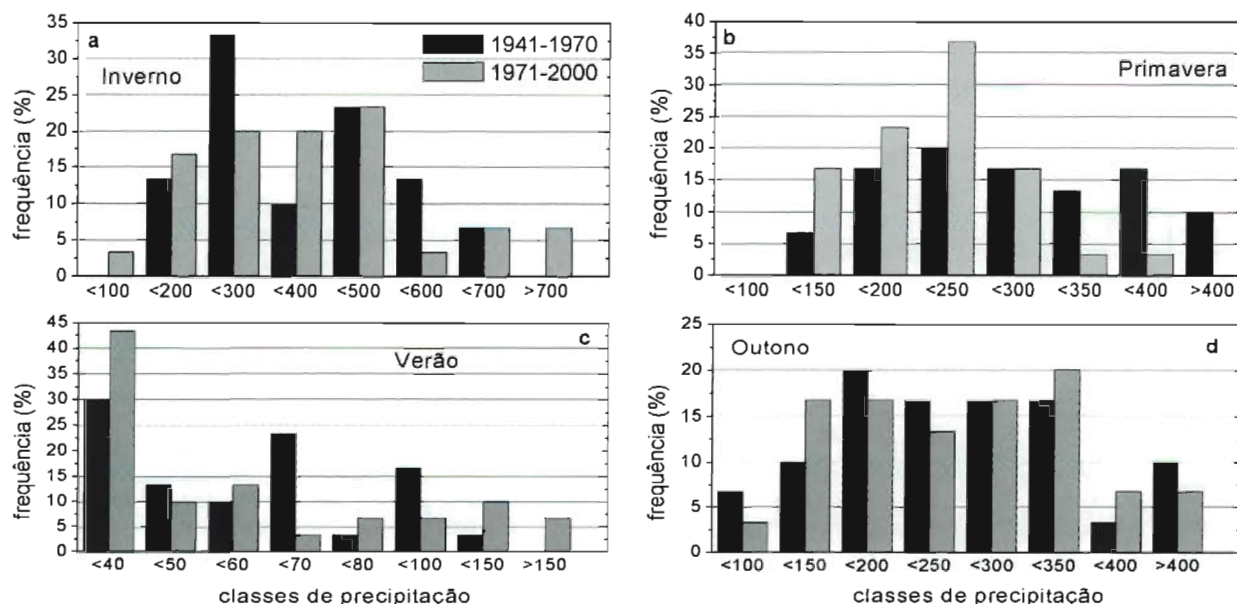


Figura 2.12 Histogramas da precipitação sazonal em Portugal Continental nos períodos 1941-1970 e 1971-2000. Classes de precipitação em mm

tivas, ocorrendo uma redistribuição da precipitação entre as diferentes classes.

A Oscilação do Atlântico Norte

A oscilação do Atlântico Norte, designada por NAO (North Atlantic Oscillation), constitui um dos modos principais de variabilidade lenta da atmosfera que afecta o clima de Portugal. O índice NAO foi inicialmente proposto por Walker (1924) como a diferença de pressão entre os Açores e a Islândia. Recentemente, outros autores (Jones *et al.*, 1997a; Osborn *et al.*, 1999) têm vindo igualmente a utilizar como índice NAO a diferença de pressão entre Lisboa e a Islândia ou entre Gibraltar e a Islândia. O índice NAO está relacionado com a intensidade do vento de oeste no Atlântico Norte. A NAO pode ser interpretada em termos de uma troca meridional, em larga escala, de massa atmosférica (van Loon e Rogers, 1978) ou como a oscilação, de larga escala, de uma configuração do campo da anomalia da pressão (Wallace e Gutzler, 1981), e nas últimas décadas tem estado fortemente correlacionada com a precipitação e temperatura médias de certas regiões da Europa (Hurrell, 1995; Hurrell e van Loon, 1997; Trigo *et al.*, 2002). No caso da Península Ibérica, a tendência da NAO no mês de Março encontra-se negativamente correlacionada com a tendência da precipitação observada nesse mês (Zhang *et al.*, 1997).

A correlação entre o índice NAO e a precipitação de Inverno, na parte Oeste da Península, pode ser entendida como uma consequência da precipitação nesta zona ser, em grande

parte, de origem frontal e depender fortemente da trajectória das depressões no Atlântico Norte. As observações indicam que, a valores baixos do índice NAO estão associadas quantidades de precipitação acima da média em Portugal, enquanto valores elevados deste índice correspondem a quantidades de precipitação abaixo da média (Trigo *et al.*, 2002).

O impacto da NAO sobre regiões oceânicas e continentais é claramente identificado nos campos da reanálise do NCEP/NCAR (National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research). A distribuição espacial da correlação da NAO (calculada como a diferença de pressão entre Gibraltar e a Islândia) com a precipitação e o campo da pressão pode ser inferida da análise da Figura 2.13. Para a construção da Figura 2.13 definiram-se os compósitos sazonais com NAO elevada (NAO baixa) como contendo todos os Invernos (com Março incluído, média dos valores em DJFM) com índice NAO > 0,5 (< -0,5), sendo o índice NAO normalizado da forma tradicional (a série temporal da NAO normalizada possui média zero e desvio-padrão unitário). As diferenças entre as taxas de precipitação de compósitos com NAO elevada e NAO baixa que são significativas ao nível de 5 % estão representadas através de uma escala de cores, tendo a significância estatística dos compósitos sido calculada utilizando um teste *t-student* para a hipótese nula de médias iguais. A anomalia do campo de pressão entre os dois compósitos, NAO elevada e NAO baixa, foi representada usando isolinhas.

Da observação da Figura 2.13 conclui-se que as anomalias positivas de precipitação se concentram nas latitudes mais

a norte, estendendo-se desde o Sul da Gronelândia até à Finlândia e atingindo valores máximos ao sul da Islândia e a oeste da Escócia. Nas latitudes mais a sul, uma banda extensa de anomalias negativas está situada entre a zona a oeste dos Açores e a região do mar Negro, com os valores mais elevados localizados entre o arquipélago dos Açores e a parte Oeste da Península Ibérica.

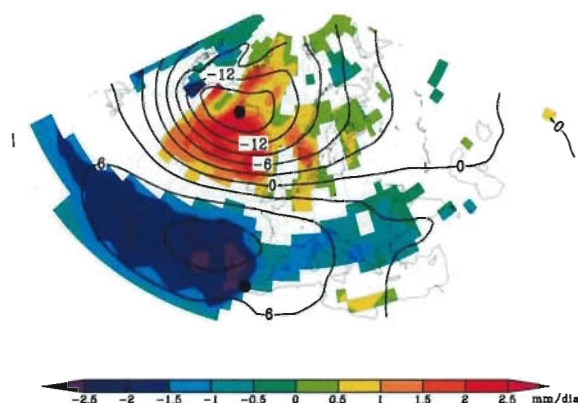


Figura 2.13 Anomalia da precipitação (a cores) e anomalia da pressão ao nível do mar (hPa – isolinhas) em DJFM entre compósitos com $NAO > 0.5$ e $NAO < -0.5$. Dados NCEP (1958-1997). NAO calculada entre a Islândia e Gibraltar (círculos pretos)

Na Figura 2.14 apresenta-se a evolução do índice NAO no Inverno alargado (DJFM) desde 1880 até 2003. A partir dos valores do índice calcularam-se tendências parciais, para períodos mínimos de 20 anos, tendo-se determinado três pontos de mudança do sinal da tendência (1914, 1969 e 1988). Esta curva é importante na análise da evolução da precipitação nalguns pontos de Portugal, nomeadamente nos Açores.

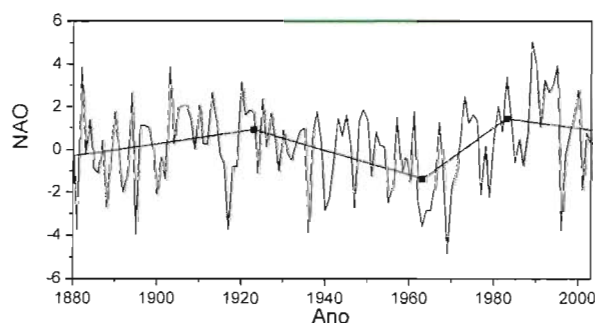


Figura 2.14 – Evolução do índice NAO desde 1880. Índice calculado por J. Hurrell (1995), tendências parciais calculadas por Tomé e Miranda (2004)

Na Figura 2.15a apresentam-se séries temporais da precipitação mensal nos meses de Inverno (DJFM) para Portugal Continental e do índice NAO. As séries foram normalizadas

e o índice NAO multiplicado por (-1) para facilitar comparações visuais. O coeficiente de correlação entre as curvas é de $r = -0,66$ (estatisticamente significativo ao nível 1 %). Entre 1939 e 2001, que abarca 63 Invernos, a distribuição de Invernos com NAO elevada (20), com NAO baixa (24) e com NAO média (26) é quase homogênea. Comparando os histogramas da precipitação de Inverno para os compósitos de NAO elevada (Figura 2.15b) e baixa (Figura 2.15c), conclui-se que, em condições de NAO elevada, se observa uma redução muito significativa da frequência das classes de precipitação mais abundante. Contudo, ambos os histogramas indicam que este aumento não está relacionado com uma simples translação entre as classes. De facto, quando se observa uma redução da NAO, tanto o desvio-padrão como a gama *inter quartis* (IQR – diferença entre o percentil 75 e o percentil 25) sofrem um aumento, ou seja: a distribuição da precipitação, associada ao compósito com NAO baixa, engloba uma gama mais larga de classes de precipitação que o compósito com NAO elevada.

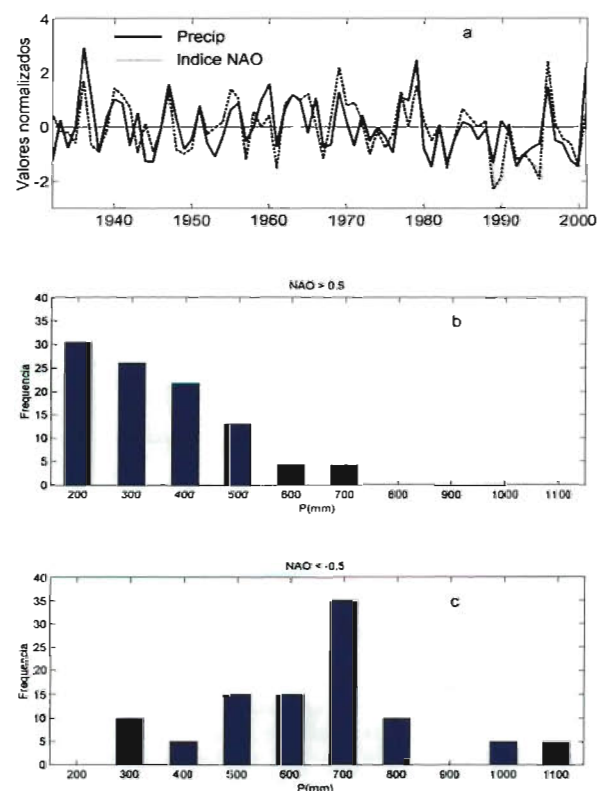


Figura 2.15 – (a) Índice NAO vs Precipitação em DJFM em Portugal Continental, valores normalizados, índice NAO multiplicado por -1; (b) Histograma da precipitação mensal de Inverno (DJFM) para o compósito com $NAO > 0,5$; (c) Histograma da precipitação mensal de Inverno (DJFM) para o compósito com $NAO < -0,5$. NAO calculada entre Gibraltar e Islândia

Índices Climáticos

É usual caracterizar os fenómenos climáticos extremos e a variabilidade climática por meio de diversos índices climáticos (Nicholls e Murray, 1999; Folland *et al.*, 1999), geralmente calculados a partir de observações diárias de temperatura e precipitação. Alguns destes índices, calculados para Portugal Continental, possuem nas últimas décadas tendências significativas na direcção do aumento ou de diminuição (Miranda *et al.*, 2002). Entre estes salienta-se o número anual de noites tropicais (Tr), o número anual de dias de Verão (Su), o índice de duração de ondas de calor (HWDI) e o número anual de dias de geada (Fd). As noites tropicais são definidas como dias (noites) em que a temperatura mínima é superior a 20 °C, enquanto dias de Verão correspondem a dias em que a temperatura máxima ultrapassa 25 °C. O índice HWDI (*Heat Wave Duration Index*) é definido como o número de dias, em intervalos de pelo menos 6 dias consecutivos, em que a temperatura máxima é superior em 5 °C ao valor médio diário, no período 1961-1990 e por sua vez dias de geada são dias em que a temperatura mínima é inferior a 0 °C.

Na Figura 2.16 apresentam-se as séries anuais de noites tropicais e de dias de Verão para o período 1911-2002 observadas em Lisboa/Geofísico e o resultado de ajustar segmentos de recta contínuos às séries através da minimização da soma dos desvios quadráticos, utilizando 1915 e 1975 como anos de mudança da tendência.

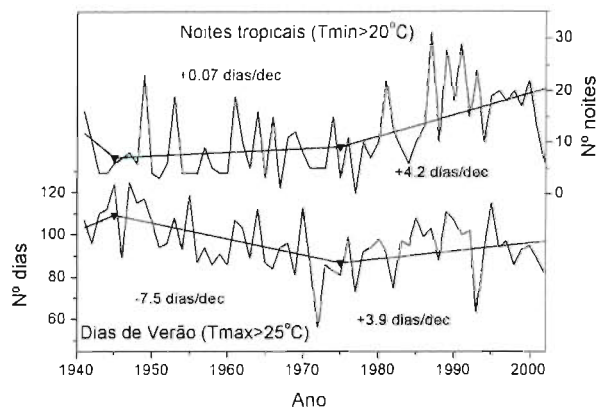


Figura 2.16 – Evolução do número anual de noites tropicais ($T_{\min} > 20^{\circ}\text{C}$) (escala da direita) e número de dias de Verão ($T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$) (escala da esquerda) em Lisboa/Geofísico e respectivos ajustes lineares utilizando os anos propostos por Karl *et al.* (2000). Tendências apresentadas em dias por década

A série anual de noites tropicais apresenta uma tendência quase nula até 1975, altura a partir da qual experimenta um aumento a uma taxa de +4,2 dias/década, em consonância com o aumento observado da temperatura mínima neste

período, neste caso essencialmente da temperatura mínima de Verão. Este indicador passou em Lisboa de uma média de 7 noites/ano na década de 1970, para aproximadamente 20 noites/ano no fim da década de 1990. No entanto, os dois últimos anos da série apresentam menos noites tropicais que os anos anteriores e 2002 possuiu o menor número de noites tropicais em Lisboa (6); dos últimos 25 anos, verificando-se que a série anual de noites tropicais deixou de ter uma tendência crescente a partir da década de 1990. De facto, um ajustamento de segmentos contínuos de recta, impondo apenas a condição de um intervalo mínimo de 15 anos e a obrigatoriedade de mudança de sinal de declive (não representado na Figura 2.16), faz aparecer a partir de 1987 uma tendência negativa de -1,2 dias/década. Em contrapartida, a tendência entre 1972 e 1987 passaria a ser de +7,3 dias/década, muito superior aos +1,2 dias/década representados na Figura 2.16.

A série anual de dias de Verão em Lisboa tem um comportamento diferente da série de noites tropicais, apresentando os valores mais elevados na década de 1940 (acima de 120 dias/ano). A tendência desta série é negativa desde 1945 até 1975 (-7,5 dias/década), período após o qual o número de dias de Verão começou a aumentar a uma taxa de +3,9 dias/década, atingindo um máximo de 115 dias em 1995. Os valores extremos de temperatura observados no Verão de 2003 não estão incluídos na série estudada. O valor mais elevado da tendência do número de noites tropicais a partir de 1975, quando comparado com o valor da tendência do número de dias de Verão, é uma consequência directa de, em Lisboa, a tendência da temperatura mínima neste período ser maior do que a tendência da temperatura máxima (Figura 2.7).

No que se refere ao índice de duração de ondas de calor para Lisboa (apresentado em Miranda *et al.*, 2002), detecta-se uma ligeira subida a partir de meados da década de 1970. O fraco crescimento deste índice é devido à localização litoral da estação de Lisboa, visto que nas estações interiores de Bragança e Beja, a tendência do HWDI é claramente positiva a partir da década de 1970, atingindo nalguns anos da década de 1990 valores superiores a 30 dias/ano.

Uma análise de séries anuais dos 3 índices de precipitação CDD, R10 e R5D, em que CDD é o número máximo de dias secos consecutivos (precipitação < 1 mm), R10 é o número de dias com precipitação superior ou igual a 10 mm e R5D corresponde à precipitação máxima acumulada em 5 dias consecutivos, permitiu concluir que estes índices de precipitação para as estações de Bragança, Beja e Lisboa não apresentam tendências claras no período 1941-1999. No entanto, o índice de seca PDSI (*Palmer Drought Severity Index* – Palmer, 1965), que combina os efeitos da temperatura e precipitação,

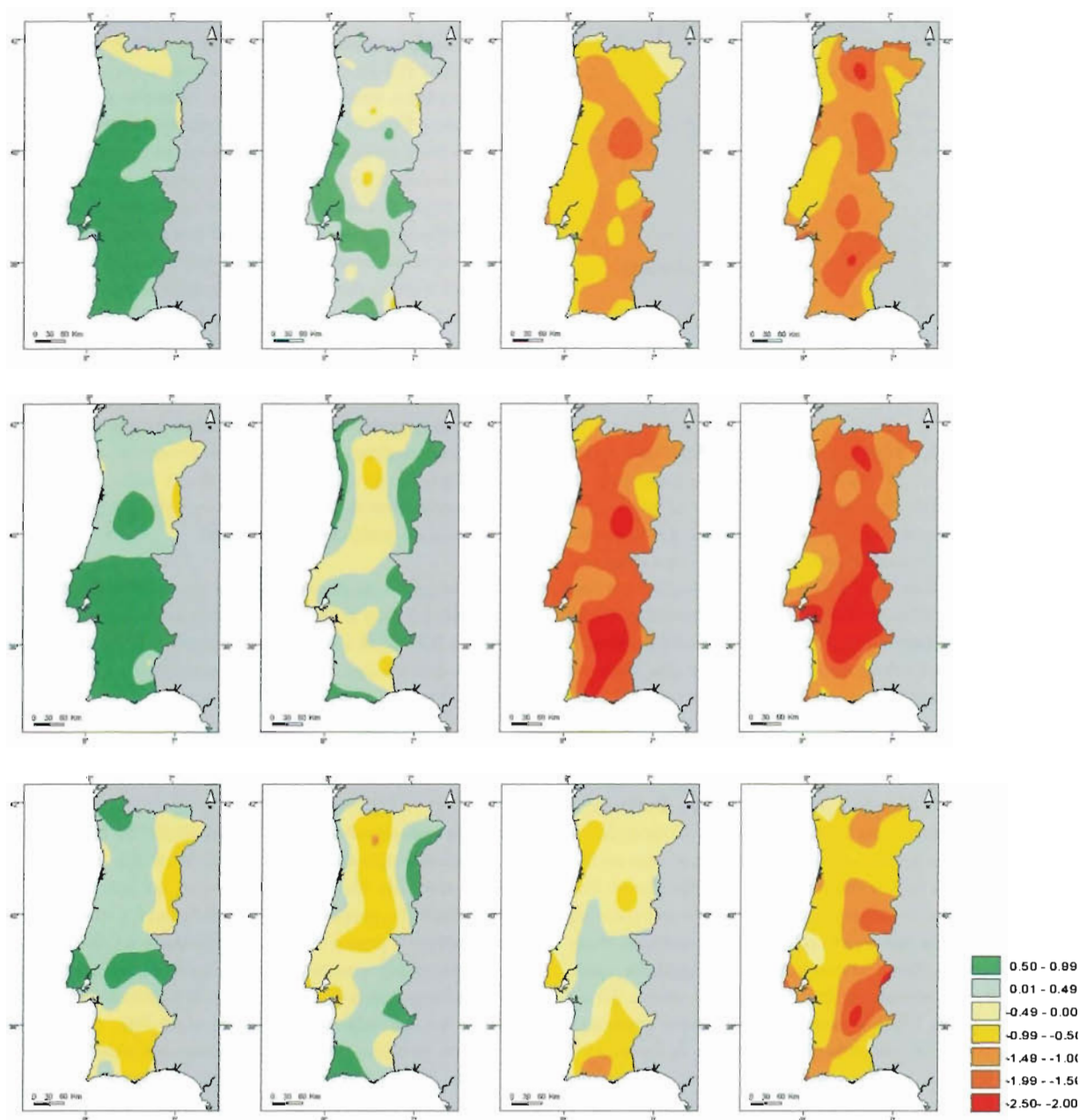


Figura 2.17 – Distribuição do PDSI em Portugal. Médias das décadas de 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 (da esquerda para a direita), para os meses de Fevereiro, Março e Abril (de cima para baixo). Cálculo efectuado por Pires (2004)

sofre alterações significativas no século XX, principalmente nas estações do Sul de Portugal Continental (Pires, 2004). O PDSI mede o efeito acumulado da anomalia da chuva mensal em relação à chuva média climatológica que seria apropriada para manter um crescimento normal das plantas. Séries mensais deste índice revelam que, nas estações de Lisboa, Évora e Beja, os episódios de seca foram mais frequentes e mais severos desde a década de 1980. Por outro lado, é

igualmente nas décadas de 1980 e 1990 que, de acordo com a definição do PDSI, ocorreram os episódios de chuva mais intensa em Lisboa, Évora e Beja. A Figura 2.17 apresenta a evolução decadal (entre 1961 e 2000) da distribuição do índice PDSI (ver Tabela 2.1) em Portugal Continental, nos meses de Fevereiro a Abril, em que se observou, nas duas últimas décadas do século XX, uma intensificação da frequência de secas.

Tabela 2.1 – Índice de seca PDSI

PDSI	Descrição
0,5 – 1	Chuva ligeira
0 – 0,5	Normal (chuva)
-0,5 – 0	Normal (seca)
-1 – -0,5	Seca ligeira
-1,5 – -1	Seca fraca
-2 – -1,5	Seca fraca a moderada
-2,5 – -2	Seca moderada

2.2.2 Açores

O arquipélago dos Açores localiza-se no Atlântico Norte entre as latitudes de 36° 45'N e 39° 43'N e as longitudes de 24° 45'W e 31° 17'W, distando o extremo mais oriental cerca de 1400 km da costa ocidental de Portugal Continental. O arquipélago é constituído por 9 ilhas, que, no seu conjunto, ocupam uma área de 2352 km² e estão distribuídas por três grupos: Oriental (ilhas de S. Miguel e Santa Maria), Central (ilhas Terceira, Graciosa, S. Jorge, Pico e Faial) e Ocidental (ilhas das Flores e Corvo). As ilhas estão dispostas, mais em longitude do que em latitude, ao longo de cerca de 700 km.

Encontra-se um largo espectro de áreas entre as ilhas dos Açores, variando entre os 759 km² de S. Miguel e apenas 17 km² no caso da ilha do Corvo. Em relação à altitude, a ilha mais baixa (Graciosa) tem um máximo de elevação de 402 m, enquanto o ponto mais alto dos Açores se situa na ilha do Pico com 2351 m, constituindo o ponto mais alto de Portugal. Como ilhas de origem vulcânica que fazem parte da dorsal Atlântica, os Açores são relativamente recentes, tendo a ilha mais antiga (Santa Maria) 6 milhões de anos, enquanto que a parte mais recente da ilha do Pico tem apenas 40 mil anos (Féraud *et al.*, 1980). Presentemente regista-se ainda actividade vulcânica, manifestada pela existência de fumarolas e nascentes de água quente em várias ilhas do arquipélago e pela presença de diversos vulcões activos. A origem vulcânica das ilhas influencia fortemente a forma da topografia, observando-se, com frequência, grandes cones vulcânicos e caldeiras resultantes do desabamento do topo de antigos cones.

Um dos factores primordiais que determina o clima dos Açores é a sua localização geográfica no centro do Atlântico Norte, na zona de altas pressões subtropicais (anticiclone dos Açores). Situando-se numa zona de transição entre massas de ar tropical e polar, os Açores estão frequentemente na trajectória de sistemas depressionários associados a superfícies frontais que atravessam o Atlântico. Como o arquipélago se situa longe das zonas continentais, o clima é fortemente

moderado pelo oceano em termos de temperatura, sendo o território atravessado por massas de ar com grande teor de humidade. Há ainda que referir a importância que a corrente oceânica quente do Golfo tem na moderação do clima dos Açores. Embora o seu trajecto principal atravessasse regiões a norte dos Açores, os meandros desta corrente que atingem a latitude dos Açores impedem a incursão de águas mais frias provenientes de norte, para além de constituírem uma fonte de energia que o oceano transfere para a atmosfera sob a forma de calor latente e sensível (Azevedo, 1996). À escala regional o clima dos Açores é influenciado pela orografia e orientação do relevo de cada ilha, para além da influência recíproca entre ilhas mais próximas, como no caso do Pico, S. Jorge e Faial (Azevedo, 1996). O clima dos Açores classifica-se como um clima temperado húmido, com uma estação predominantemente chuvosa entre Setembro e Março, que é caracterizada pela passagem frequente de perturbações depressionárias associadas à frente polar, e uma estação menos chuvosa nos restantes meses em que predomina a influência do anticiclone dos Açores.

Neste trabalho escolheram-se para casos de estudo a ilha de S. Miguel, a mais populosa e com maior área, localizada no grupo Oriental, e a ilha Terceira localizada no grupo Central. A escolha destas ilhas foi condicionada pelo facto de serem as que têm uma rede observacional mais densa.

2.2.2.1 Climatologia 1961-1990 da Ilha de S. Miguel

Situada aproximadamente à latitude de 37° 50'N, e centrada na longitude aproximada de 25° 30'W, a ilha de S. Miguel está a norte da ilha de S. Maria que, conjuntamente com ela, constitui o grupo Oriental. S. Miguel é a maior ilha do arquipélago e possui uma forma alongada na direcção longitudinal, sendo constituída por dois conjuntos montanhosos separados por uma faixa de terreno de baixa altitude (Figura 2.18). A zona montanhosa ocidental da ilha, com altitude máxima próxima dos 800 m, contém a Caldeira das Sete Cidades. O maciço montanhoso que se estende ao longo da zona central e oriental da ilha tem como ponto mais alto o pico da Vara com uma elevação de 1108 m. No lado Sul deste maciço encontram-se as Caldeiras das Furnas e da Povoação. S. Miguel tem uma extensão longitudinal de 63 km e uma largura máxima de 15,5 km.

Devido ao reduzido número de estações de observação meteorológica e à complexidade do relevo das ilhas dos Açores e Madeira, optou-se por apresentar uma distribuição espacial da temperatura e da precipitação obtida com a normal climática 1961-1990, que não resulta apenas da interpolação espacial entre os dados das observações nas diversas estações, mas que inclui o efeito da topografia. Assim, o campo

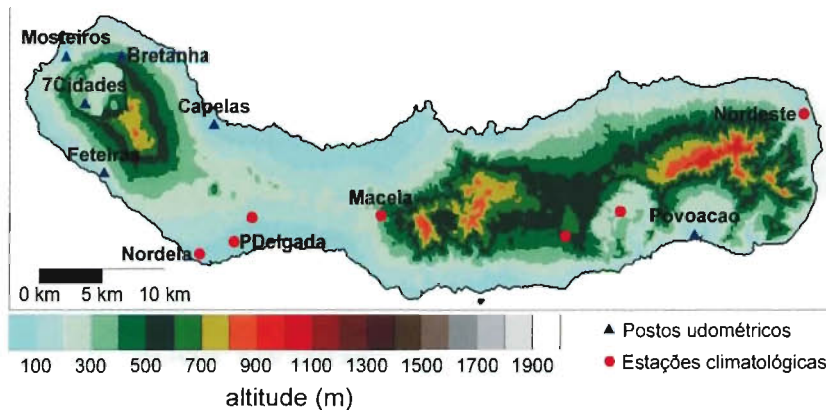


Figura 2.18 – Orografia da ilha de S. Miguel e localização das estações climatológicas e postos udométricos (IM)

da temperatura e da precipitação, num qualquer ponto do domínio espacial que não coincida com um ponto de observação, foi calculado por regressão linear, entre a altitude e a variável climatológica em questão, temperatura ou precipitação, ao qual se adicionou um campo residual que resulta da interpolação da diferença entre os valores observados e os resultados da regressão linear, nos pontos de observação. Os diversos mapas climatológicos das ilhas no período 1961-1990 apresentados neste trabalho foram produzidos usando o Sistema de Informação Geográfica ArcView 8.1. Esta metodologia é actualmente utilizada no Instituto de Meteorologia.

Na Figura 2.19 apresentam-se três distribuições espaciais de temperatura: média anual, mínima no Inverno e máxima no Verão no período 1961-1990 em S. Miguel. Observa-se que a temperatura média anual varia entre 9 °C no pico da Vara e 17 °C junto à orla costeira. A média da temperatura mínima no Inverno desce abaixo dos 5 °C nas zonas mais elevadas, e ultrapassa os 11 °C nas zonas litorais de menor elevação. Quanto à média das temperaturas máximas no Verão, o valor mínimo (16 °C) é novamente atingido nos pontos mais altos da ilha, enquanto o valor máximo (24 °C) ocorre na região litoral.

As distribuições da precipitação anual e da precipitação nos meses de Inverno e Verão são apresentadas na Figura 2.20. Nas zonas de altitude mais elevada, a precipitação anual é superior a 3000 mm, podendo atingir valores próximos dos 3800 mm no pico da Vara. Na costa litoral de menor elevação a precipi-

tação anual acumulada desce abaixo dos 1000 mm. No Inverno a precipitação acumulada varia entre 300 mm e 1200 mm, enquanto no Verão a gama de variação é entre 100 e 400 mm. O clima de S. Miguel é, em geral, mais chuvoso do que o de Portugal Continental (Figuras 2.4 e 2.5), sendo as quantidades de precipitação comparáveis às que ocorrem no Minho.

Em relação a outros indicadores de temperatura (não apresentados), os «dias de Verão» (com temperatura máxima superior a 25 °C) só ocorrem, em média, nas zonas costeiras com altitude baixa, onde podem ultrapassar 20

dias/ano. O interior da ilha encontra-se a altitudes demasiado elevadas para a ocorrência de «dias de Verão». Do mesmo modo, devido à influência moderadora do oceano à altitude, só ocorrem «noites tropicais» (temperatura mínima superior a 20 °C) nas zonas costeiras, especialmente na parte Oeste da ilha, com um máximo de cerca de 10 noites/ano.

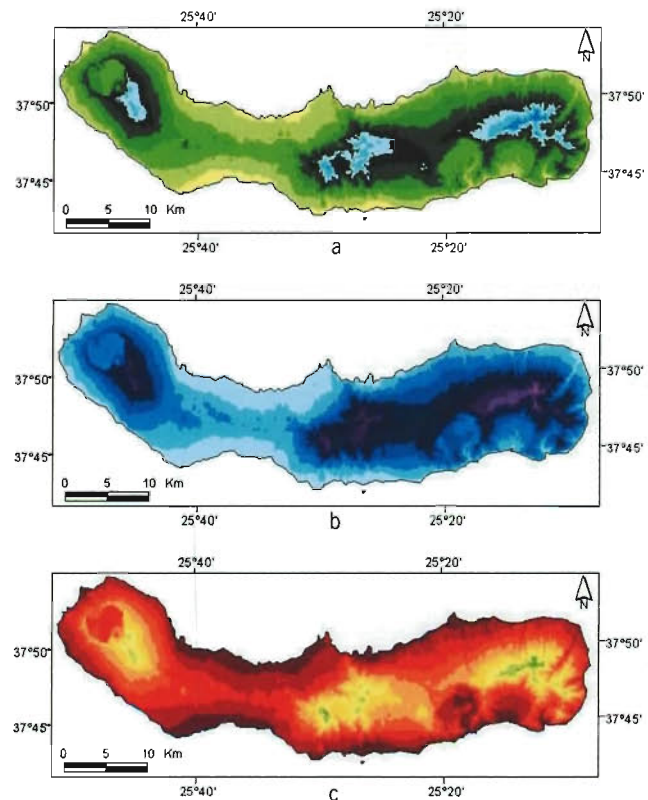


Figura 2.19 - Distribuição de temperatura na Ilha de S. Miguel: (a) Média anual; (b) Média da temperatura mínima em DJF; (c) Média da temperatura máxima em JJA. Dados de observações 1961-1990

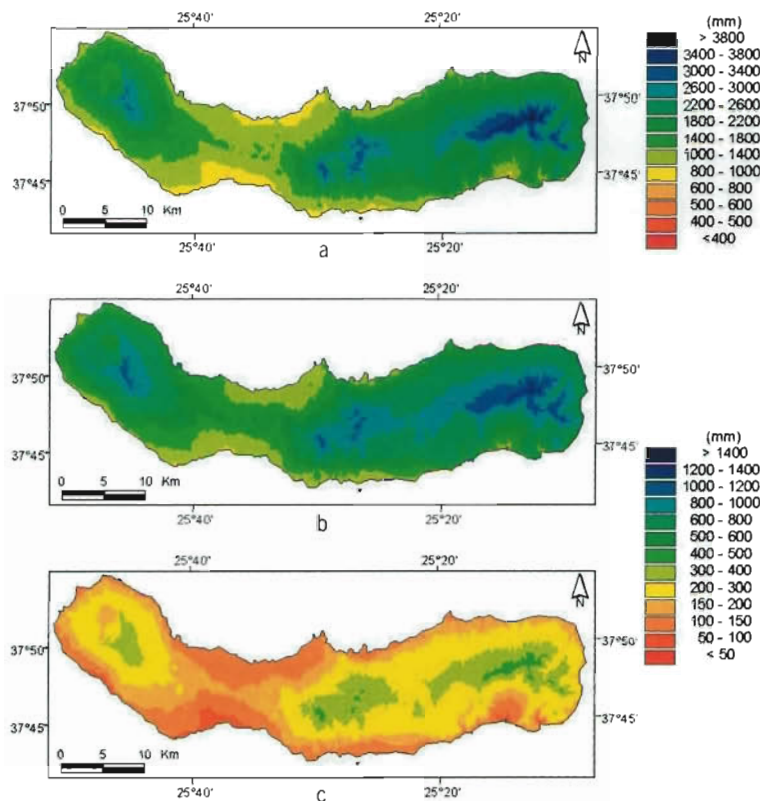


Figura 2.20 – Precipitação média acumulada na ilha de S. Miguel: (a) Amal; (b) DJF; (c) JJA. Dados de observações 1961-1990

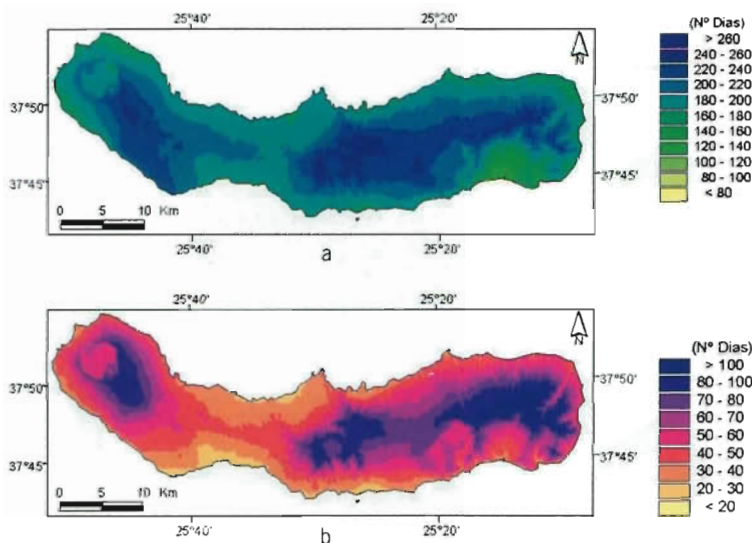


Figura 2.21 – Número de dias por ano com: (a) Precipitação superior a 0.1 mm; (b) Precipitação superior a 10 mm. Dados de observações 1961-1990

A distribuição do número médio anual de dias com precipitação e de dias com precipitação intensa (acima de 10 mm/dia) (Figura 2.21) é muito condicionada pelo relevo. Em

praticamente toda a ilha o número de dias por ano com precipitação é superior a 180, valor que sobe até aos 240 nas regiões altas. Nas regiões onde chove mais de 220 dias por ano, mais de 70 são com precipitação acima de 10 mm. Apenas na costa Sul e Norte de S. Miguel ocorrem menos de 30 dias por ano com precipitação intensa.

2.2.2.2 Tendências Climáticas na Ilha de S. Miguel

A estação meteorológica de Ponta Delgada (S. Miguel), actualmente situada no Observatório Afonso Chaves, funcionou entre 1865 e 1936 no terraço do Licu de Ponta Delgada, com uma elevação em relação ao solo de 21.5 m, tendo sido mudada no último ano desse período para as actuais instalações onde ficou com a elevação padrão de 1.5 m. Os efeitos dessa mudança de local, com a consequente descida de 20 m na distância ao solo, traduziram-se num salto dos valores da temperatura, facilmente reconhecível na série das médias anuais da temperatura máxima mensal (Figura 2.22). Situações semelhantes foram observadas nas estações de Lisboa e de Beja, em 1941, tendo sido proposto, com base numa comparação com as observações em outras estações de Portugal Continental, efectuar correcções da temperatura máxima anterior ao ano em causa de +0,9 e +0,5 °C, respectivamente (Miranda *et al.*, 2002).

No caso das observações em Ponta Delgada, não é possível recorrer a estações próximas para otimizar o valor da correcção a aplicar. Assim, usando as séries originais e os pontos de inversão das tendências obtidos para as séries anteriores a 1937, procurou-se o valor do salto em 1937 que minimizasse a soma dos resíduos quadráticos, à semelhança do método utilizado para os casos de Lisboa e Beja (Tomé *et al.*, 2002). O valor obtido foi de +1,5 °C para a temperatura máxima e de +0,4 °C para a temperatura mínima (igualmente representada na Figura 2.22) de Ponta Delgada, traduzindo-se em reduções de 12,5 % e de 1,8 % nos correspondentes

resíduos médios quadráticos. Uma análise com séries aleatórias mostra, no entanto, que melhorias do residuo médio quadrático inferiores a 10 % têm pouco significado esta-

tístico. Assim estima-se que a correcção a fazer aos dados da temperatura máxima em Ponta Delgada anteriores a 1937 se situa no intervalo de $+0,9^{\circ}\text{C}$ (melhoria de 11 %) a $+1,5^{\circ}\text{C}$ (melhoria de 42,5 %). Na falta de melhor informação, optou-se pela correcção intermédia de $+1,2^{\circ}\text{C}$. No caso da temperatura mínima, pelas razões apontadas, não se propõe qualquer correcção. A série corrigida da temperatura máxima de Ponta Delgada, obtida pela adição de $+1,2^{\circ}\text{C}$ nos anos anteriores a 1937, e os segmentos de recta ajustados a esta série estão representados na Figura 2.22. Nesta figura apresentam-se ainda os ajustes lineares à curva da temperatura mínima, que não foi corrigida. Os ajustes lineares foram calculados para os anos de 1910, 1945 e 1975 propostos por Karl *et al.* (2000), para os quais se apresentam os valores das tendências. Foram ainda ajustados segmentos de recta às temperaturas máxima corrigida e mínima utilizando o método de Tomé e Miranda (2004) que determina, de forma optimizada, os pontos de inversão das tendências adequados para estas séries.

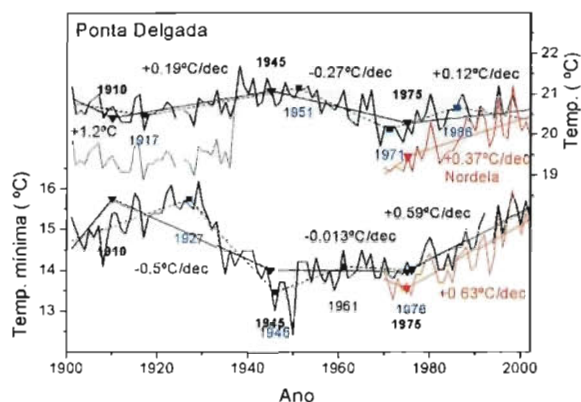


Figura 2.22 – Evolução da média anual das temperaturas máxima e mínima em Ponta Delgada (preto) e Nordela (vermelho) situadas na ilha de S. Miguel. Gráfico superior: temperatura máxima observada não corrigida (curva preta a tracejado) e corrigida em $+1,2^{\circ}\text{C}$ (curva preta a cheio) em Ponta Delgada. Em ambos os gráficos representam-se para Ponta Delgada os ajustes lineares calculados com os anos 1910, 1945 e 1975 propostos por Karl *et al.* (2000) (segmentos de recta a cheio) e com anos móveis (Tomé e Miranda, 2004) (segmentos de recta a tracejado). Para a estação da Nordela apresentam-se apenas os ajustes lineares com o ano fixo de 1975. Os valores das tendências correspondem aos ajustes lineares calculados com os anos 1910, 1945 e 1975

Utilizando os anos de 1910, 1945 e 1975 como anos de inversão das tendências, na temperatura máxima corrigida, detectam-se a partir de 1910, tal como no Continente, dois períodos de aquecimento separados por um de arrefecimento. No entanto, no último período de aquecimento (a partir de 1975) a tendência encontrada para Ponta Delgada é apenas de $+0,12^{\circ}\text{C}/\text{década}$. De facto, o mesmo método de ajuste

por segmentos móveis indica a possibilidade de um período final de diminuição da temperatura máxima, desde 1986, na estação de Ponta Delgada, ser responsável pela baixa taxa de aquecimento médio no período 1975-2002. Para verificar se este comportamento era representativo da ilha de S. Miguel, analisaram-se as séries de temperaturas da Nordela (igualmente representadas na Figura 2.22, a vermelho) e verificou-se que nesta estação meteorológica a temperatura máxima tem vindo a aumentar a uma taxa de $+0,37^{\circ}\text{C}/\text{década}$ desde 1975, valor bastante superior ao encontrado para Ponta Delgada ($+0,12^{\circ}\text{C}$), não se observando uma inversão da tendência em 1986. Foram igualmente inspeccionados os registos de temperatura da ilha de Santa Maria a partir do ano de 1949, não se tendo obtido uma tendência negativa da temperatura máxima no fim do século xx. Sugere-se que estes resultados evidenciam uma perda de representatividade da estação de Ponta Delgada, devida à alteração observada no seu enquadramento urbano próximo.

No que se refere à temperatura mínima, o ajuste por segmentos entre os anos de mudança de tendência à escala global não parece apropriado na primeira metade do século. Este desajuste não parece ser resultado da mudança da estação em 1937, pois o método de ajuste de tendências por troços localiza um ponto de mudança para a temperatura mínima em 1927. No período 1976-2002, a tendência da temperatura mínima encontrada com o método dos anos móveis ($+0,60^{\circ}\text{C}/\text{década}$) é praticamente igual à calculada com anos fixos ($+0,59^{\circ}\text{C}/\text{década}$) e é também muito próxima da obtida para a estação da Nordela ($+0,63^{\circ}\text{C}/\text{década}$). A tendência média para todo o período (1900-2002) da temperatura mínima de Ponta Delgada foi de $+0,082^{\circ}\text{C}/\text{década}$.

O campo da precipitação apresenta, devido à sua natureza, um comportamento mais irregular do que os campos da temperatura. Essa irregularidade rápida não impede a existência de variações de longo período, traduzidas por períodos relativamente prolongados de aumento e diminuição da precipitação.

Assim, para a estação de Inverno observa-se um aumento de precipitação entre 1915 e 1963 ($+43,7\text{ mm}/\text{década}$) seguida de um decréscimo até 1982 de $-49,7\text{ mm}/\text{década}$ e de uma ligeira recuperação de $+9,2\text{ mm}/\text{década}$ até 2001. Na totalidade do período considerado, a precipitação de Inverno sofreu um aumento de $+17\text{ mm}/\text{década}$. No cômputo de todo o período da série, a tendência da precipitação anual é ainda positiva ($+6,1\text{ mm}/\text{década}$), graças ao valor elevado da tendência no período 1923-1952. A evolução da precipitação no Inverno está claramente correlacionada com a tendência do índice NAO (Figura 2.11), observando-se diminuição da precipitação quando ocorre aumento da intensidade da NAO.

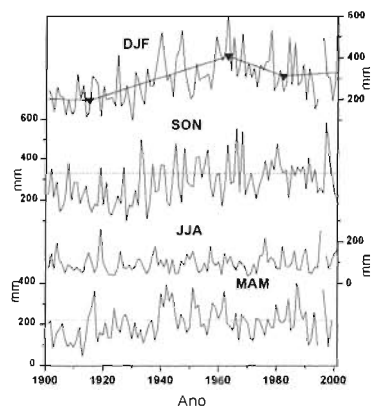


Figura 2.23 – Evolução da precipitação sazonal em Ponta Delgada (S. Miguel). Rectas a tracejado indicam a média no período 1961-1990

Quando se comparam os valores médios mensais entre dois dos últimos períodos de 30 anos, 1941-1970 e 1971-2000 (Figura 2.24), verifica-se que o último destes períodos é menos chuvoso que o primeiro nos três primeiros meses do ano, mas é mais chuvoso nos meses de Agosto, Setembro e Dezembro. Na média anual, o último destes dois períodos de 30 anos é ligeiramente menos chuvoso do que o primeiro.

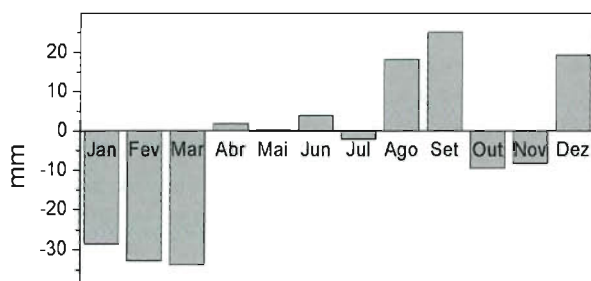


Figura 2.24 – Variação da precipitação média mensal em Ponta Delgada (S. Miguel). Anomalia da precipitação mensal entre os períodos (1971-2000) e (1941-1970)

Na Figura 2.25 apresentam-se os valores médios da precipitação anual e respectivos desvios-padrão para os dois períodos de trinta anos em estudo, assim como os valores médios da precipitação sazonal e os respectivos desvios-padrão, não se revelando diferenças significativas entre os valores da normal 1941-1970 e da normal 1971-2000. Em média, observa-se uma pequena diminuição da precipitação anual, resultado já obtido através da análise da figura anterior, e um aumento insignificante do desvio-padrão. Em termos sazonais as diferenças mais notórias são uma menor precipitação no Inverno e Primavera na normal 1971-2000 e um maior desvio-padrão durante o Outono na normal 1941-1970.

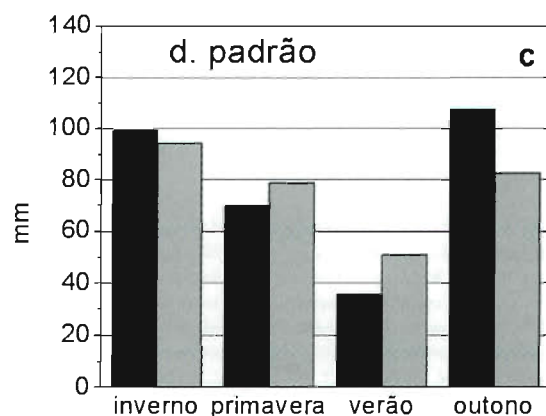
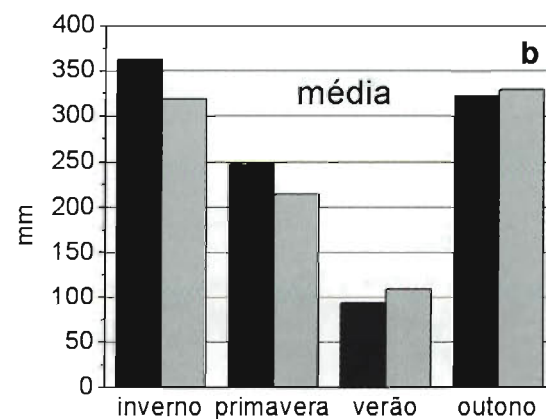
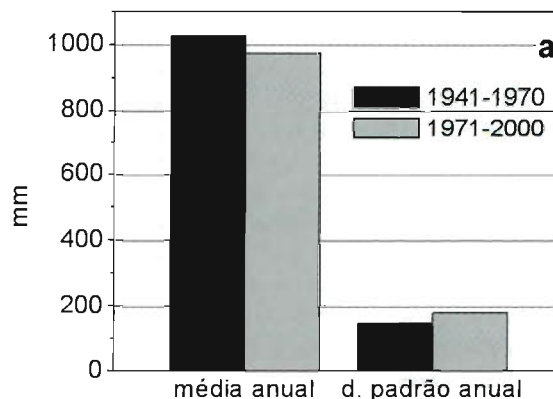


Figura 2.25 – (a) Média e desvio-padrão da precipitação anual; (b) Média sazonal da precipitação; (c) Desvio-padrão sazonal da precipitação em Ponta Delgada (S. Miguel) nos períodos (1971-2000) e (1941-1970)

Nos quatro painéis da Figura 2.26 apresentam-se histogramas da precipitação sazonal distribuída por oito classes de precipitação acumulada. As diferenças entre a normal 1941-1970 e a normal 1971-2000 são mais salientes do que na Figura 2.25. As maiores diferenças ocorrem, como seria de esperar pelo resultado do desvio-padrão (Figura 2.25c), no Outono. Nos anos entre 1941 e 1970 ocorreram Outo-

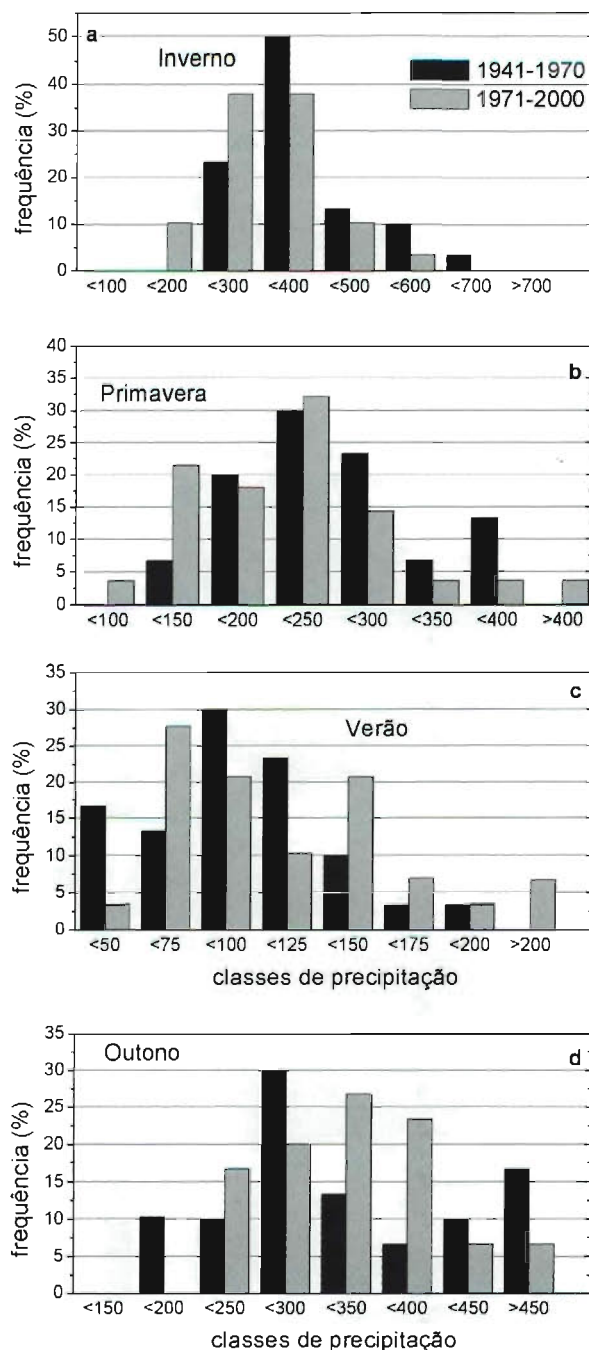


Figura 2.26 – Histogramas da precipitação sazonal em Ponta Delgada (S. Miguel) nos períodos 1941-1970 e 1971-2000. Classes de precipitação em mm

nos muito secos com precipitações acumuladas inferiores a 200 mm o que não aconteceu entre 1971 e 2000. Por outro lado, o número de Outonos mais chuvosos, com precipitação acumulada entre os 350 e os 450 mm, foi também muito superior na normal 1941-1970. Nas outras estações

do ano a diferença mais relevante é a existência no período 1971-2000 de algumas Primaveras e alguns Verões muito chuvosos, com precipitações acumuladas superiores a 400 mm e a 200 mm, respectivamente, o que não aconteceu no período 1941-1970.

A Figura 2.27 apresenta a evolução do número de noites tropicais e de dias de Verão em Ponta Delgada no período 1970-2002. Observa-se em ambas as séries uma tendência uniforme de aumento, apesar da variabilidade interanual que apresentam. As noites tropicais têm uma tendência de aumento de +10,7 dias/década, enquanto os dias de Verão aumentaram a uma taxa semelhante de +11 dias/década.

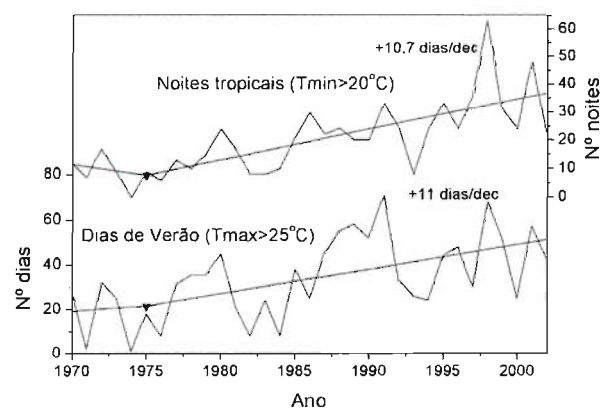


Figura 2.27 – Evolução do número anual de noites tropicais ($T_{min} > 20^{\circ}\text{C}$) e do número de dias de Verão ($T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$) em Ponta Delgada (S. Miguel) e respectivos ajustes lineares utilizando os anos propostos por Karl *et al.* (2000)

2.2.2.3 Climatologia 1961-1990 da Ilha Terceira

A ilha Terceira, com uma área de 401,6 km², tem uma forma aproximadamente elíptica e encontra-se centrada na longitude de 27° 10'W e latitude de 38° 40'N, sendo a ilha mais oriental do grupo Central. O ponto mais alto da ilha (1021 m) situa-se no cume da serra de Santa Bárbara (Figura 2.28). A ilha tem cerca de 29 km de comprimento e 17 km de largura.

As distribuições da temperatura média anual, mínima no Inverno e máxima no Verão são apresentadas na Figura 2.29. A temperatura média anual na ilha Terceira varia entre 9-10 °C no cume da serra de Santa Bárbara e cerca de 17 °C junto à costa. Por seu lado, a temperatura mínima de Inverno varia entre 4 °C e 12 °C, enquanto a temperatura máxima de Verão não desce abaixo dos 14 °C e atinge um máximo de 23 °C. Estes valores são comparáveis aos observados em S. Miguel.

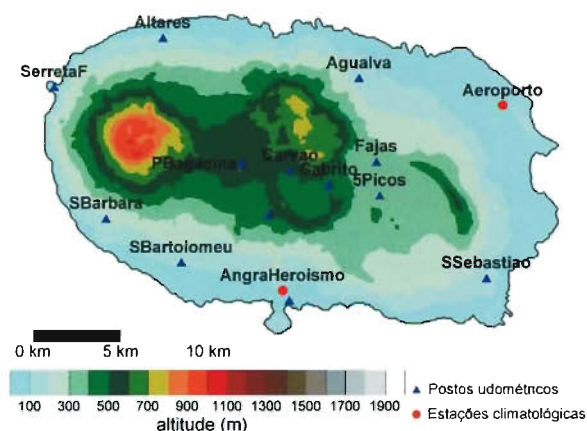


Figura 2.28 – Orografia da ilha Terceira e localização das estações climatológicas e postos udométricos (IM)

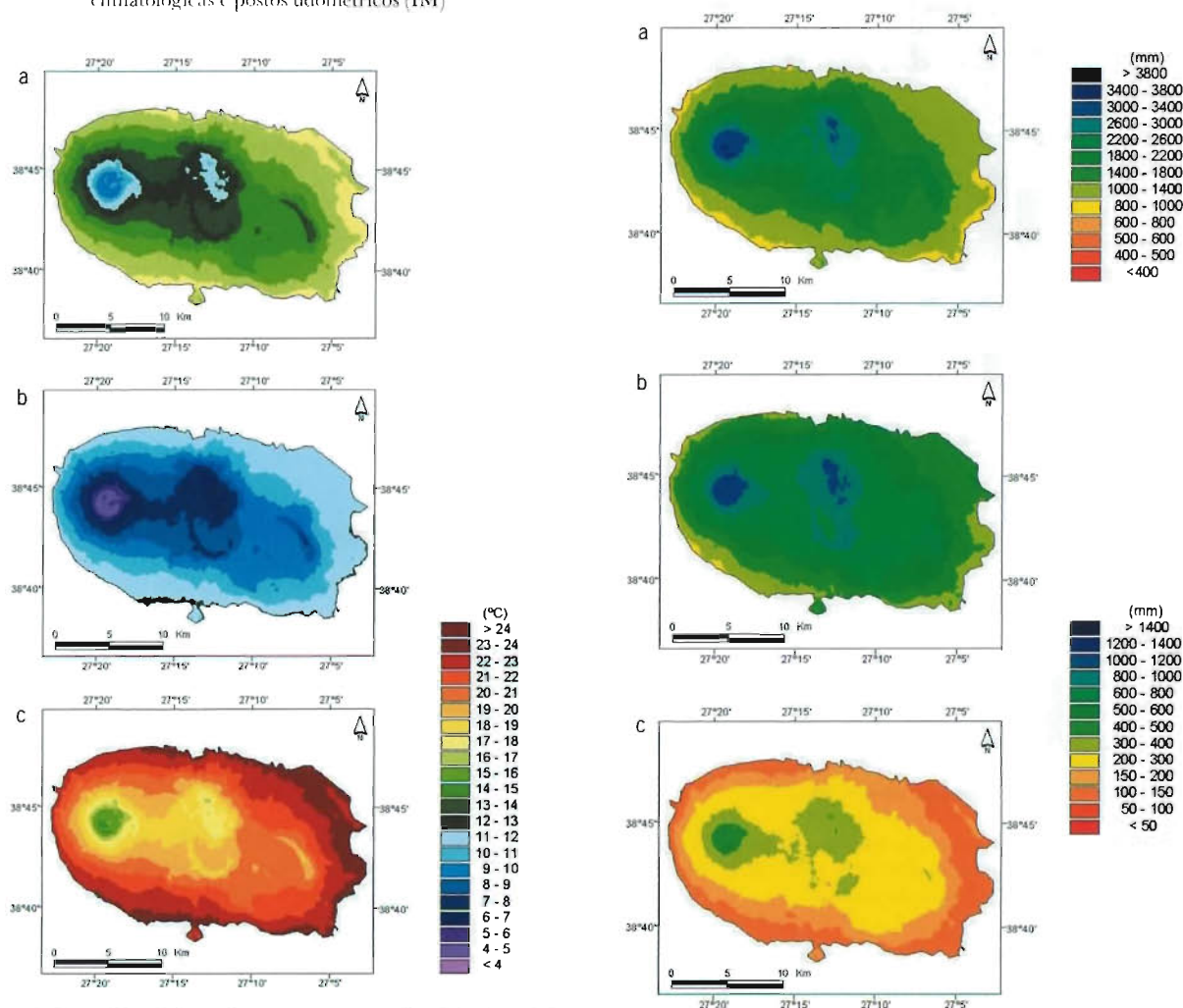


Figura 2.29 – Distribuição de temperatura na ilha Terceira: (a) Média anual; (b) Média da temperatura mínima em DJF; (c) Média da temperatura máxima em JJA. Dados de observações 1961-1990

A ilha Terceira é no entanto um pouco menos chuvosa que S. Miguel, visto que a precipitação média anual (Figura 2.30a) não ultrapassa 3400 mm no cume da serra de Santa Bárbara, embora na quase totalidade da ilha a precipitação seja superior a 1000 mm/ano (tal como em S. Miguel). No Inverno a precipitação acumulada (Figura 2.30b) é superior a 300 mm em toda a ilha e chega aos 1000 mm nos pontos mais altos. O Verão (Figura 2.30c) é caracterizado por precipitações acumuladas entre 100 mm junto à costa e valores superiores a 400 mm no cume de Santa Bárbara.

Na ilha Terceira ocorrem até 30 «dias de Verão» e até 15 «noites tropicais» por ano (mapas não apresentados), novamente valores comparáveis aos observados para S. Miguel, abrangendo, no entanto, uma área mais significativa, dada a maior área de baixa altitude, junto à costa.

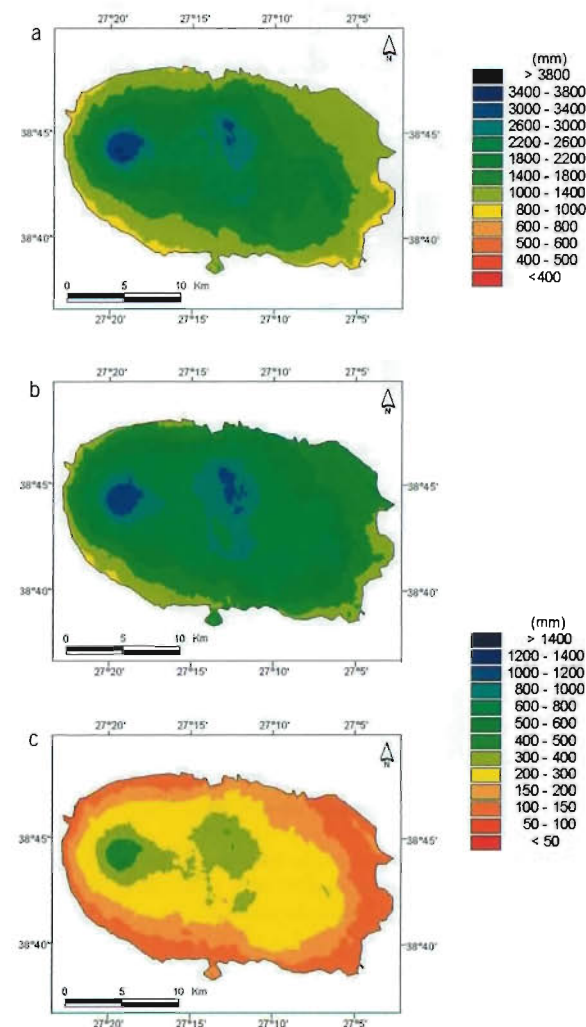


Figura 2.30 – Precipitação média acumulada na ilha Terceira: (a) Anual; (b) DJF; (c) JJA. Dados de observações 1961-1990

A distribuição espacial do número de dias com precipitação é apresentada na Figura 2.31a. Da observação desta figura constata-se que se registaram em média entre 140 a 240 dias com precipitação na Terceira, sendo o Sul da ilha a zona que tem menos dias com precipitação. Nas zonas costeiras, as Lajes destacam-se com 220 dias/ano de precipitação, valor superior às demais regiões costeiras. Este número mais elevado de dias com precipitação não implica uma maior precipitação acumulada, porque apenas 20 ou menos dias por ano são de precipitação intensa (Figura 2.31b). Como termo de comparação deve realçar-se que nas zonas mais elevadas do interior da ilha ocorrem mais de 100 dias por ano com precipitação superior a 10 mm.

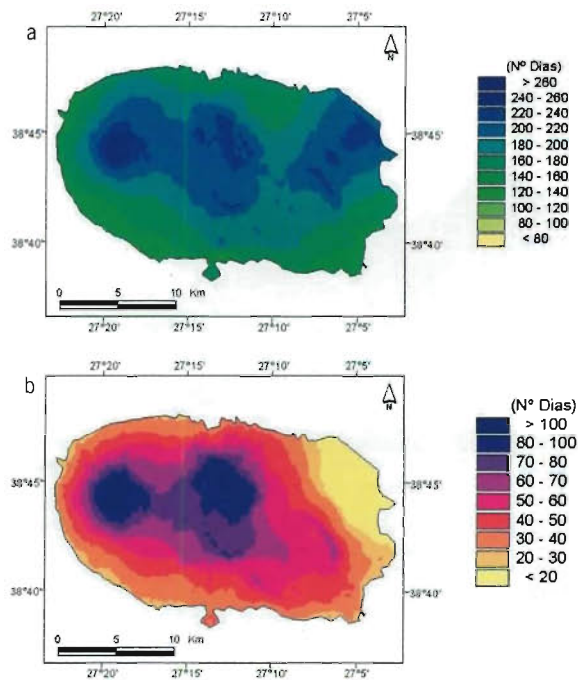


Figura 2.31 – Número de dias por ano com: (a) Precipitação superior a 10.1 mm/dia; (b) Precipitação superior a 10 mm/dia. Dados de observações 1961-1990

2.2.2.4 Tendências Climáticas na Ilha Terceira

Na Figura 2.32 estão representadas as séries de temperatura máxima e mínima em Angra do Heroísmo para o período 1900-2002. Estão ainda representados os ajustes lineares calculados utilizando os anos de 1910, 1945 e 1975 (Karl *et al.*, 2000), e calculados pelo método de Tomé e Miranda (2004) com anos móveis. Segundo este método, a temperatura máxima de Angra do Heroísmo apresenta dois anos de mudança de tendência, 1932 e 1963. Com os anos propostos por Karl *et al.* (2000), os ajustes não parecem tão adequados,

obtendo-se após 1975 uma tendência de $+0,46$ °C/década, um pouco mais elevada do que a obtida considerando 1963 como o último ano de inversão da tendência da temperatura máxima. A tendência média desta grandeza para todo o período foi de $+0,019$ °C/década. No caso da temperatura mínima, observou-se uma tendência de $+0,36$ °C/década no período após 1975. Apesar da amplitude térmica sofrer variações ao longo dos 102 anos das séries apresentadas, a tendência média é praticamente nula.

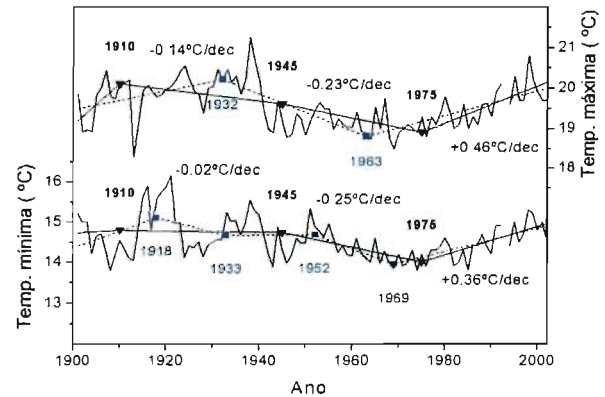


Figura 2.32 – Evolução da média anual das temperaturas máxima e mínima em Angra do Heroísmo (Terceira). Sobrepostos estão os ajustes lineares às curvas calculados com os anos de mudança das tendências de Karl *et al.* (2000) (1910, 1945 e 1975 – rectas a cheio) e com anos móveis calculados segundo o método de Tomé e Miranda (2004) (rectas a tracejado). Apresentam-se ainda os valores das tendências para os períodos 1910-1945, 1946-1975 e 1976-2002

As séries sazonais da precipitação acumulada em Angra do Heroísmo para o período 1901-1994 são apresentadas na Figura 2.33. A série da precipitação acumulada na Primavera apresenta comportamentos diferentes antes e depois do ano de 1941, com a amplitude da variação interanual a ser claramente maior após 1941. A precipitação no Inverno e, de modo menos claro, a do Outono apresentam indícios de oscilações interdecadais, que podem ser analisadas pelo método do ajuste de segmentos contínuos. A tendência média para todo o período da precipitação de Inverno foi negativa e igual a $-7,3$ mm/década. O resultado mais relevante parece ser o decréscimo consistente da precipitação acumulada, de 1968 a 1993, a uma taxa média de -52 mm/década. Esta tendência negativa da precipitação de Inverno está claramente correlacionada com o aumento sistemático da NAO no mesmo período (Figura 2.11).

Uma comparação entre as normais climáticas 1961-1990 e 1931-1960 (não apresentada) permite concluir que não existem diferenças assinaláveis entre os valores médios sazonais da precipitação nesses períodos. No que diz respeito ao desvio-padrão, observa-se para a estação de Inverno um maior desvio-padrão nos anos 1961-1990, enquanto que no Outono

o desvio-padrão é superior no período 1931-1960. Esse facto está essencialmente associado a um incremento do número de Invernos muito húmidos (600-700 mm), e a uma diminuição da frequência de Outonos mais chuvosos (>450 mm).

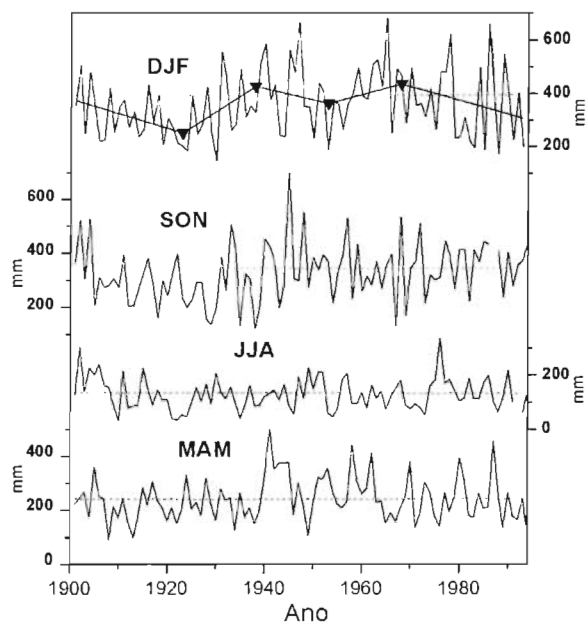


Figura 2.33 – Evolução da precipitação sazonal em Angra do Heroísmo (Terceira). Rectas a tracejado indicam a média no período 1961-1990

A Figura 2.34 apresenta a evolução do número de noites tropicais e de dias de Verão em Angra do Heroísmo no período 1970-2002. Observa-se uma tendência uniforme de aumento nestes dois índices. As noites tropicais apresentaram uma tendência de aumento de +8,2 dias/década e os dias de Verão aumentaram a uma taxa semelhante de +8,3 dias/década.

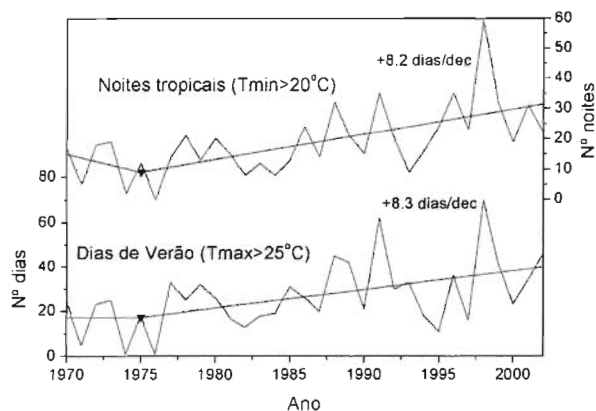


Figura 2.34 – Evolução do número anual de noites tropicais e do número de dias de Verão em Angra do Heroísmo (Terceira)

2.2.3 Madeira

A cerca de 1000 km a sudoeste de Lisboa, no oceano Atlântico, encontra-se o arquipélago da Madeira, de origem vulcânica e constituído pelas ilhas da Madeira, Porto Santo, Desertas e Selvagens. As ilhas da Madeira, com 740 km² de área, e de Porto Santo (43 km²) são as maiores ilhas do arquipélago. A ilha da Madeira, centrada na latitude de 32° 45'N e na longitude 17° 00'W, possui uma orografia bastante acidentada (Figura 2.35), dominada no centro da ilha por montanhas de grande elevação, separadas por ravinas profundas. Na parte Oriental das formações de maior altitude encontram-se os pontos mais altos da ilha, pico Ruivo (1862 m) e pico do Arreiro (1818 m), enquanto na parte Ocidental se ergue o planalto do Paul acima dos 1400 m. Localizada a cerca de 40 km a nordeste da Madeira, a ilha de Porto Santo apresenta uma orografia bastante mais suave, tendo o ponto mais alto pouco mais que 500 m de altitude.

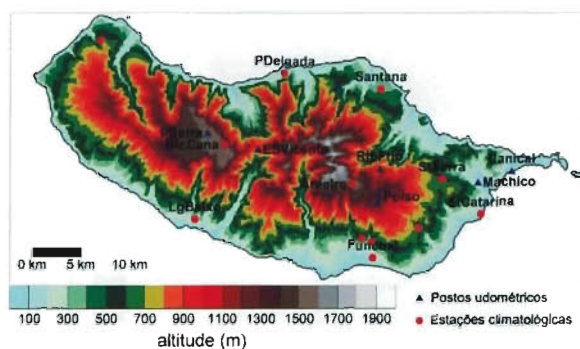


Figura 2.35 – Orografia da ilha da Madeira e localização das estações climatológicas e postos udométricos (IM)

O arquipélago da Madeira situa-se na região subtropical, sendo caracterizado por um clima ameno, tanto no Inverno como no Verão, excepto nas zonas mais elevadas onde se observam temperaturas mais baixas. No Inverno, alguns sistemas depressionários que atravessam o Atlântico descem até à latitude da Madeira, observando-se igualmente a formação de depressões entre o arquipélago e Portugal Continental, que podem provocar precipitação abundante. No Verão verifica-se uma predominância de ventos do quadrante norte que estão associados ao ramo leste do anticiclone dos Açores. O clima da Madeira foi descrito detalhadamente por Machado (1970).

O relevo complexo da ilha da Madeira está na origem da existência de muitos microclimas. Com efeito, em muitos pontos da ilha as encostas apresentam uma grande inclinação, o que origina uma alternância entre zonas de sombra e zonas com exposição solar elevada. A topografia com altitudes muito elevadas favorece a ocorrência de precipitação

orográfica, tornando algumas zonas da ilha muito húmidas e permitindo a existência de recursos hídricos significativos. Em contraste, a ilha do Porto Santo, afectada pelos mesmos sistemas meteorológicos, é muitíssimo mais seca.

2.2.3.1 Climatologia 1961-1990

Na Figura 2.36 apresentam-se as temperaturas média anual, mínima no Inverno e máxima no Verão observadas na ilha da Madeira. A temperatura média anual na Madeira varia entre um mínimo de 8 °C nos picos mais elevados e 18-19 °C nas zonas costeiras. A região do Funchal, situada numa bacia da costa Sul, é a zona mais quente da ilha. No Inverno a média das temperaturas mínimas desce abaixo dos 4 °C nas regiões elevadas. Junto da costa, a temperatura mínima no Inverno é superior a 13 °C. No Verão observam-se em média 16 °C de temperatura máxima nos picos mais elevados e a média das temperaturas máximas é superior a 23 °C nas zonas costeiras.

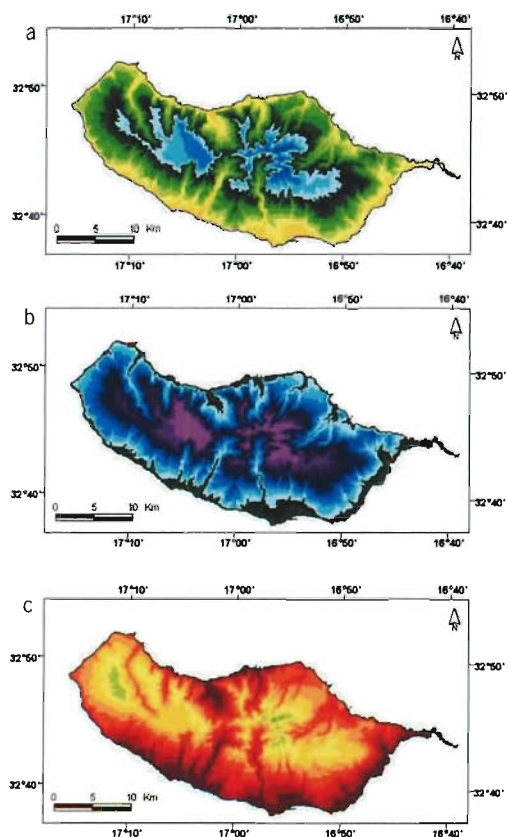


Figura 2.36 – Distribuição de temperatura na ilha da Madeira: (a) Média anual; (b) Média da temperatura mínima em DJF; (c) Média da temperatura máxima em JJA. Dados de observações 1961-1990

A precipitação anual acumulada na Madeira (Figura 2.37a) atinge um máximo próximo dos 3400 mm nos picos mais elevados e é mínima na bacia do Funchal (500 mm). Observa-se na distribuição da precipitação anual uma assimetria Norte-Sul, com bastante mais precipitação, à mesma altitude na costa Norte.

A assimetria Norte-Sul da distribuição da precipitação acumulada não é tão acentuada no Inverno (Figura 2.37b) como no mapa anual, embora continue a ser uma das características significativas da distribuição espacial. Nas zonas mais altas, a precipitação de Inverno ultrapassa 1200 mm, enquanto nas regiões do Funchal e do vale do Machico é cerca de 300 mm. Nos meses de Verão (Figura 2.37c) são observados cerca de 150 mm de precipitação nas zonas elevadas (mas não no Arceiro) e menos de 50 mm na costa Sul da ilha, sendo mais evidente a assimetria Norte-Sul na distribuição da precipitação nesta estação. O facto de chover mais na parte Norte da Madeira durante o Verão está claramente associado à direcção dominante do vento (Norte) nesta estação e ao facto de a precipitação ser essencialmente orográfica.

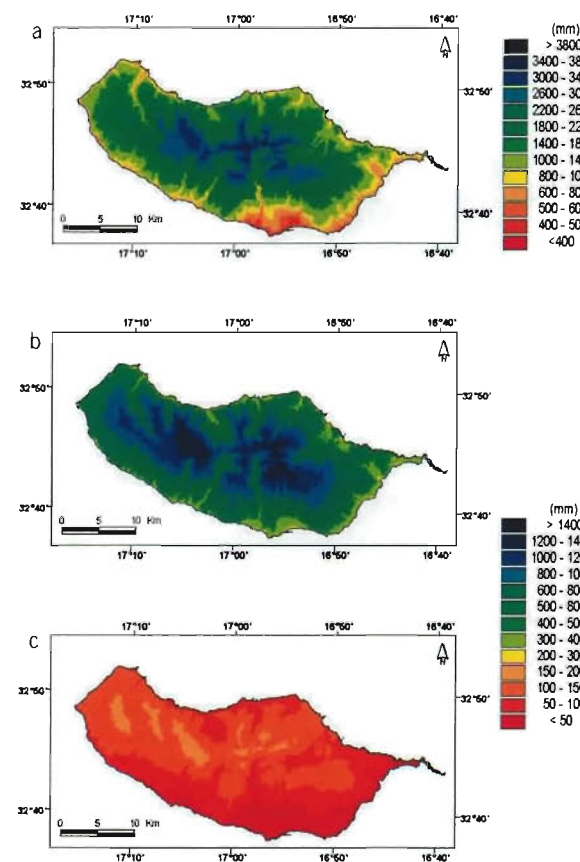


Figura 2.37 – Média da precipitação acumulada na Madeira: (a) Anual; (b) DJF; (c) JJA. Dados de observações 1961-1990.

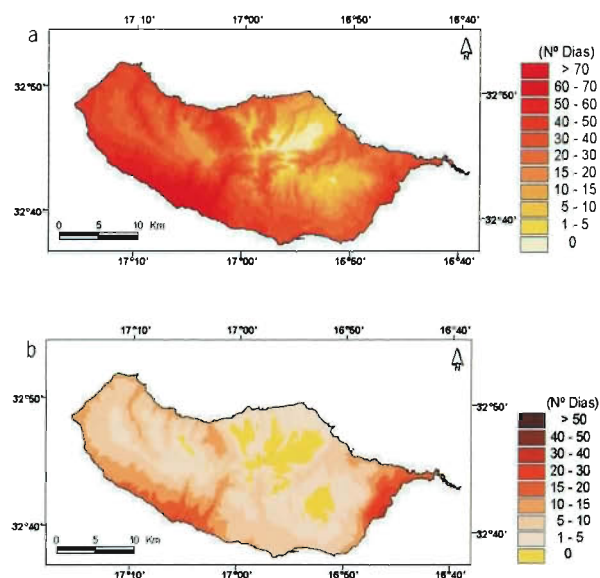


Figura 2.38 – Número de dias por ano na Madeira com (a) temperatura máxima superior a 25°C (dias de Verão), (b) temperatura mínima superior a 20°C (noites tropicais). Dados de observações 1961-1990

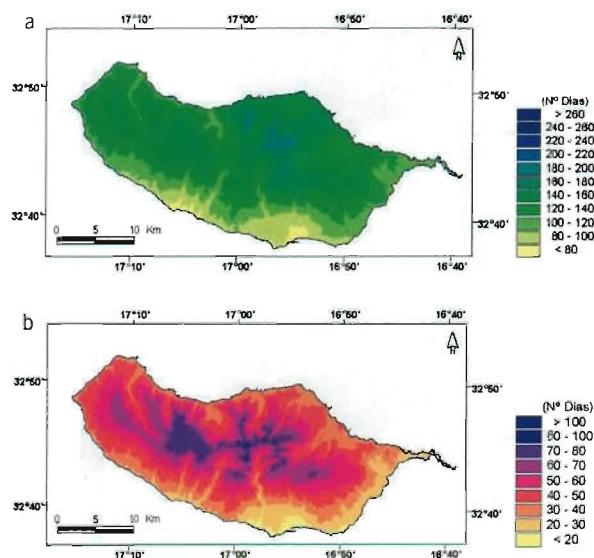


Figura 2.39 – Número de dias por ano na Madeira com (a) precipitação superior a 10.1 mm/dia (b), precipitação superior a 10 mm/dia. Dados de observações 1961-1990

Os números anuais de dias de Verão e de noites tropicais estão representados na Figura 2.38. Apenas na encosta a norte do pico do Azeiro e pico Ruivo não se observaram dias de Verão. Na costa Sul, por outro lado, registam-se mais de 70 dias de Verão por ano. Tal como os dias de Verão, as noites tropicais

ocorrem em praticamente toda a ilha da Madeira, atingindo valores superiores a 20 dias por ano na costa Leste.

A assimetria Norte-Sul do número anual de dias com precipitação é bem visível na Figura 2.39a. Com efeito, na região do Funchal e noutros pontos da costa Sul ocorrem menos de 80 dias com precipitação por ano, enquanto na costa Norte se observam mais de 120 dias/ano. Por outro lado, na encosta Norte da ilha registam-se mais de 180 dias por ano com precipitação, dos quais mais de 60 são dias com precipitação elevada (superior a 10 mm – Figura 2.39b). O número mínimo de dias com precipitação elevada (20) ocorre na costa Sul.

2.2.3.2 Tendências Climáticas

As séries das temperaturas máximas e mínimas do Funchal e do Porto Santo são apresentadas na Figura 2.40, juntamente com os melhores ajustes lineares. Estes foram obtidos com os anos de inversão da tendência global (1945 e 1975) e também pelo método dos anos móveis, obtendo-se valores muito semelhantes no período mais recente. As séries apresentadas iniciam-se em 1921 no caso do Funchal e em 1940 no caso de Porto Santo.

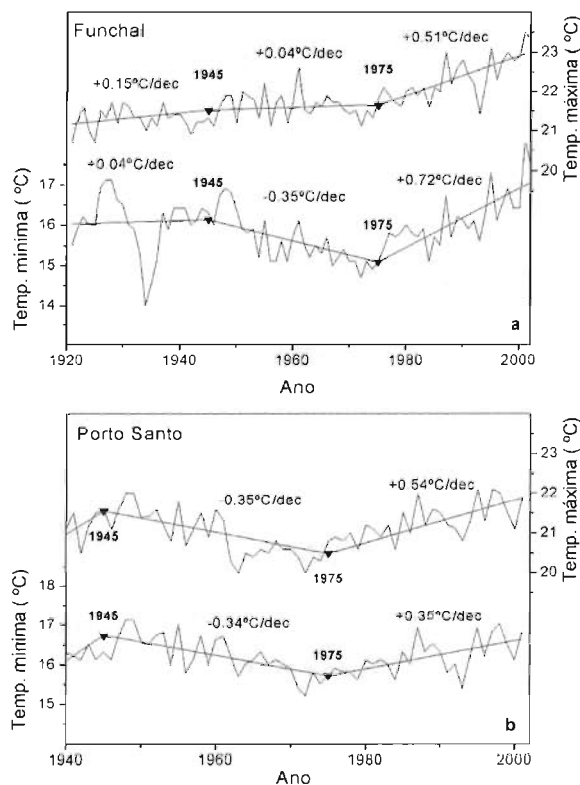


Figura 2.40 – Evolução da média anual das temperaturas máximas e mínimas: (a) Funchal; (b) Porto Santo

Considerando os anos de inversão da tendência de 1945 e 1975 na série da temperatura máxima do Funchal, obtêm-se tendências positivas em todos os períodos, com especial destaque para o último período que apresenta um aquecimento de $+0,51$ °C/década. A temperatura mínima no Funchal apresenta um comportamento mais irregular. A partir de 1975 a tendência é muito significativa $+0,72$ °C/década), implicando uma diminuição da amplitude térmica diária. A tendência média da temperatura mínima no Funchal para todo o período foi de $+0,070$ °C/década.

Contrariamente ao Funchal, verifica-se no Porto Santo que os comportamentos das temperaturas mínima e máxima foram quase paralelos. No entanto, no período desde 1975 a temperatura máxima aumentou a uma taxa de $+0,54$ °C/década, enquanto a temperatura mínima cresceu a uma taxa mais baixa de $+0,35$ °C/década. De entre todas as estações analisadas por Miranda *et al.* (2002) (apenas no Continente) e no presente trabalho, Porto Santo e Évora são as únicas cujo aumento da temperatura mínima no último quartel do século XX é inferior ao aumento da temperatura máxima, com um consequente aumento da amplitude térmica.

Na Figura 2.41 apresentam-se as séries sazonais da precipitação acumulada no Funchal de 1901 a 2000 e no Porto Santo de 1940 a 2000. Estas séries não parecem apresentar uma **tendência** significativa de longo prazo, distribuindo-se em torno do valor médio em 1961-1990. Contudo, uma análise visual das séries, corroborada com a técnica de análise por troços já descrita, permite concluir que existe estrutura na variação interdecadal da precipitação, com períodos de menor intensidade de precipitação média e/ou de menor variabilidade interanual, especialmente no que se refere à precipitação de Inverno. Contrariamente ao que se observa nos Açores e no Continente, não parece existir uma conexão tão evidente entre a tendência da precipitação média observada e a tendência do índice NAO (Figura 2.14).

Na Figura 2.42 estão representadas as diferenças entre as precipitações médias mensais no período 1971-2000 e no período 1941-1970, para o Funchal e para o Porto Santo. Da análise destas figuras constata-se que o sinal da anomalia nos meses em que há precipitação significativa é o mesmo no Funchal e no Porto Santo, excepto nos meses de Janeiro e Outubro. De facto, em Janeiro a precipitação no Porto Santo foi menor no período 1971-2000, enquanto no Funchal choveu ligeiramente mais neste período, do que em 1941-1970. Contudo, esta menor precipitação em Janeiro no Porto Santo em relação ao Funchal é, em parte, compensada por uma diminuição menor em Fevereiro. Saliente-se ainda que no mês de Dezembro se observa a maior anomalia positiva da precipitação, tanto no Funchal como no Porto Santo.

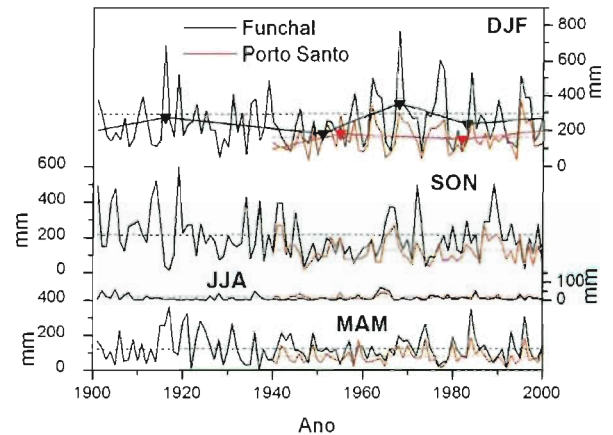


Figura 2.41 – Evolução da precipitação sazonal no Funchal (curvas a preto) e no Porto Santo (curvas a vermelho). Rectas a tracejado indicam a média no período 1961-1990

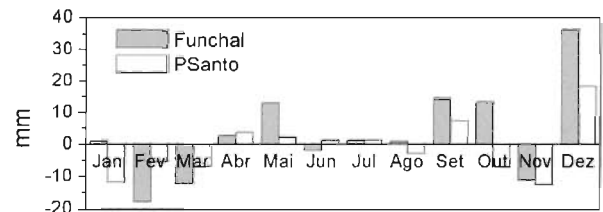


Figura 2.42 – Variação da precipitação média mensal no Funchal e no Porto Santo. Anomalia da precipitação média entre os períodos 1971-2000 e 1941-1970

Sazonalmente não se observam grandes diferenças entre Funchal e Porto Santo, como atestam as Figuras 2.43 e 2.44 que apresentam os valores médios da precipitação anual e sazonal, juntamente com os respectivos desvios-padrão para estes locais de observações. Da observação destas figuras facilmente se conclui que a variação da precipitação acumulada entre os anos 1941-1970 e 1971-2000, quer anual quer sazonal, para o Funchal e Porto Santo, não é muito relevante. Apesar da pouca relevância da variação, é curioso observar que no Funchal a precipitação anual e sazonal aumentou no último período, enquanto a precipitação no Porto Santo diminuiu ligeiramente. O desvio-padrão na Primavera no Funchal em 1971-2000 é muito superior ao desvio-padrão nos anos 1941-1970. Tal deve-se, essencialmente, ao facto de nos últimos anos se terem observado no Funchal Primaveras mais chuvosas, com precipitação acumulada superior a 250 mm, 300 mm e 350 mm, o que não aconteceu no período 1941-1970. No Outono do Funchal também se observaram precipitações acumuladas superiores a 400 mm no período 1971-2000, o que também não aconteceu nos anos 1941-1970. No entanto, o aumento do desvio-padrão não foi tão acentuado como na Primavera porque, simultaneamente, não se observaram, em 1971-2000, Outo-

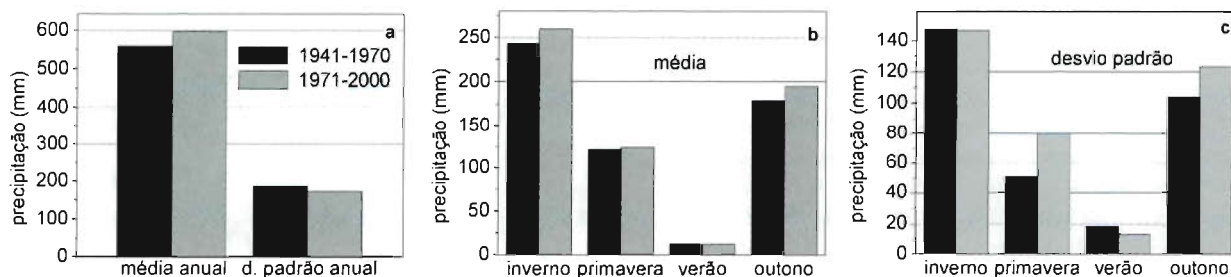


Figura 2.43 - (a) Média e desvio-padrão da precipitação anual; (b) Média sazonal da precipitação; (c) Desvio-padrão sazonal da precipitação no Funchal nos períodos 1971-2000 e 1941-1970

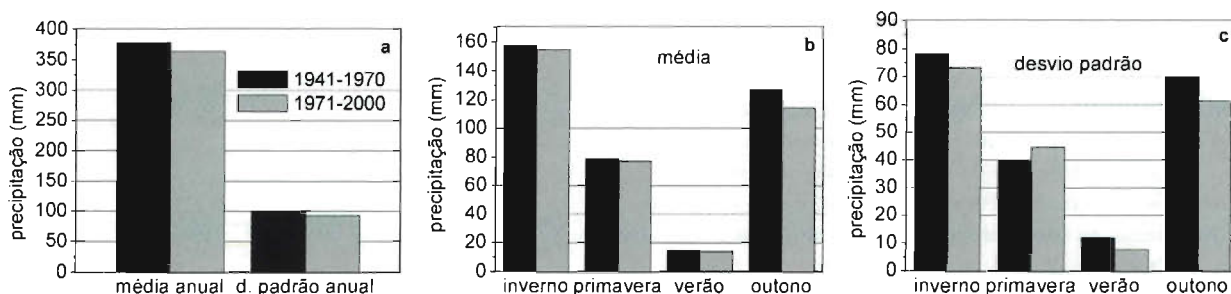


Figura 2.44 - Tal como a Figura 2.43 mas para o Porto Santo

nos com precipitação acumulada entre 350 e 400 mm. Uma característica a salientar ainda na distribuição por classes da precipitação sazonal do Funchal é o aumento significativo do número de Verões sem chuva no último período em relação ao anterior. Na distribuição da precipitação por classes no Porto Santo, o único facto relevante é a existência de Outonos com precipitações acumuladas superiores a 350 mm no período 1971-2000 e um número significativamente mais elevado de Verões com precipitação compreendida entre 10 e 20 mm durante os anos 1941-1970.

Na Figura 2.45 apresenta-se a evolução temporal das noites tropicais e dias de Verão para o Funchal (painel da esquerda)

e para Porto Santo (painel da direita). São também apresentados na mesma figura os segmentos de recta contínuos ajustados considerando 1975 como ano de mudança da tendência. As noites tropicais do Funchal decrescem muito ligeiramente (-2,9 dias/década) até 1975, altura em que começam a aumentar a uma taxa elevada de +18,7 dias/década. Por outro lado, os dias de Verão no Funchal decrescem a uma taxa de -4,2 dias/década até 1975, a que se segue um aumento a uma taxa, notável, de +23,2 dias/década. No Porto Santo as noites tropicais decrescem a uma taxa de -3,4 dias/década até 1975, passando a aumentar a uma taxa de +11,4 dias/década a partir de 1975, enquanto os dias de Verão crescem em todo o período con-

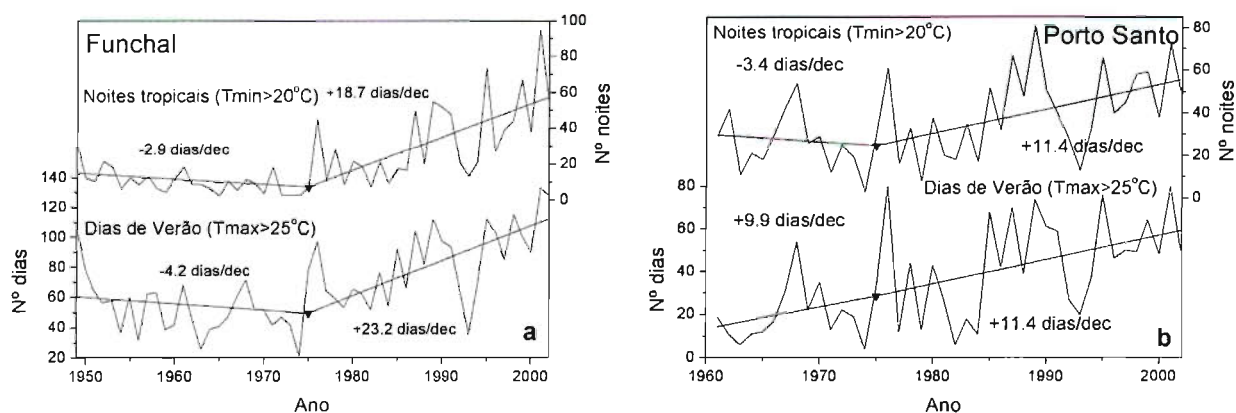


Figura 2.45 - Evolução do número anual de noites tropicais e do número de dias de Verão: (a) Funchal; (b) Porto Santo

siderado a uma taxa praticamente uniforme, que é de +11,4 dias/década a partir de 1975. Como facilmente se conclui, o aumento destes dois indicadores, observados nas últimas três décadas, é muito mais acentuado no Funchal do que no Porto Santo.

2.3 CENÁRIOS CLIMÁTICOS GLOBAIS

2.3.1 Cenários de Emissões

A concentração atmosférica de CO_2 , principal responsável pelo aumento do efeito de estufa, cresceu cerca de 34 % desde 1750 até ao presente (IPCC: WGI, 2001). A taxa de crescimento da concentração de CO_2 tem sido, em média, 0,4 %/ano nas últimas duas décadas. No início da revolução industrial, a concentração de CO_2 era de 280 ppm (partes por milhão em volume), tendo-se mantido aproximadamente constante nos séculos anteriores. A presente concentração de CO_2 (cerca de 375 ppm) não foi excedida nos últimos 420 000 anos e provavelmente também não foi excedida nos últimos 20 milhões de anos (IPCC: WGI, 2001).

Simultaneamente, a concentração de metano (CH_4), o segundo gás com maior contribuição para o efeito de estufa, aumentou 151 % desde 1750 e continua a aumentar, embora a uma taxa menor do que a registada na década de 1980. As concentrações de outros gases responsáveis pelo efeito de estufa, óxido nitroso (N_2O), ozono troposférico (O_3) e halocarbonetos ainda autorizados, continuam igualmente a aumentar. O forçamento radiativo devido ao crescimento da concentração destes gases desde 1750 até 2000 estima-se em +2,43 Wm^{-2} , dos quais +1,46 Wm^{-2} provém directamente do aumento do CO_2 .

O rápido incremento da concentração dos gases com efeito de estufa, e a incerteza na sua evolução futura, motivaram o IPCC (2001) a construir um leque de cenários de emissão para as próximas décadas, tendo como base pressupostos demográficos, económicos, tecnológicos e sociais. Estes cenários, designados por SRES (*Special Report on Emission Scenarios*), foram muito recentemente utilizados em diversos modelos climáticos acoplados (atmosfera-oceano) globais, para obter cenários climáticos para o século XXI. Os cenários climáticos servem, por sua vez, como dados de entrada para diversos estudos de impactos sectoriais, como é o caso do presente trabalho.

Os cenários de emissões SRES vieram substituir os cenários IS92, igualmente elaborados pelo IPCC (Leggett *et al.*, 1992), que serviram de base a vários estudos climáticos e de impactos sectoriais, nos quais se incluiu a primeira fase do projecto SIAM (Santos *et al.*, 2002). A primeira fase do SIAM utilizou

o cenário de emissões IS92a, que projectava uma duplicação da concentração do CO_2 no fim do século XXI (em relação aos valores de 1990). Os novos cenários SRES pretendem ser mais abrangentes em relação à possível evolução das emissões do que os cenários IS92, considerando para tal diversas combinações dos principais factores que entram na sua elaboração. Existem quatro famílias de cenários SRES, A1, A2, B1, B2, sendo a família A1 subdividida em três grupos, A1FI, A1T e A1B (ver Capítulo 11).

As concentrações de CO_2 nos diversos cenários SRES e no cenário IS92a são apresentadas na Figura 2.46. Em relação ao fim do período considerado (ano 2100), as concentrações nos diversos cenários variam entre 540 ppm (cenário B1) e 970 ppm (A1FI), o que corresponde a aumentos entre 90 % e 250 % em relação aos valores de 1750 (280 ppm). O cenário IS92a é um cenário intermédio em relação aos cenários SRES, atingindo concentrações de 705 ppm em 2100.

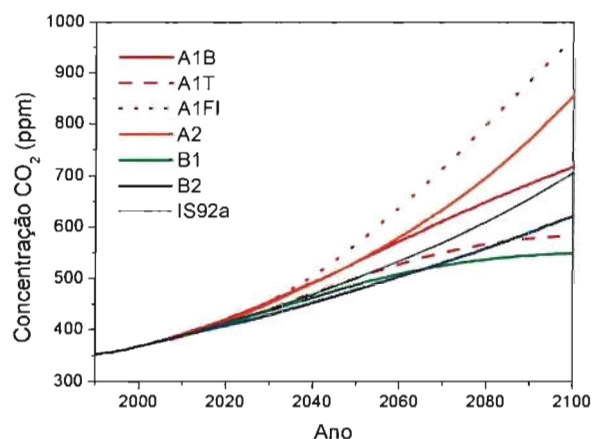


Figura 2.46 - Cenários SRES da concentração de CO_2 (A1B, A1T, A1FI, A2, B1 e B2) e cenário IS92a

Os cenários SRES incluem projecções da evolução das emissões de aerossóis. A maior parte dos cenários projecta aumentos nas emissões de aerossóis de origem antropogénica (como, por exemplo, os que resultam da formação de sulfatos a partir das emissões de SO_2) até meados do século XXI, seguidos de uma diminuição até valores inferiores aos de 1990. Apenas os cenários B2 e A1T prevêem uma diminuição contínua durante todo o século XXI. As emissões de aerossóis nos cenários SRES são substancialmente mais baixas do que no cenário IS92a.

As partículas de aerossol têm um tempo de residência na atmosfera da ordem de alguns anos, bastante inferior ao dos gases com efeito de estufa, tipicamente da ordem da centena de anos. Estas partículas, de origem antropogénica (agricultura, indústria e transportes) e natural (erupções vulcânicas),

funcionam principalmente como dispersores da radiação solar incidente, alterando o balanço radiativo terrestre. No entanto, enquanto certos aerossóis contribuem para diminuir o efeito de aquecimento global, dispersando a radiação, outras partículas, tais como a fuligem (IPCC WGI, 1996), contribuem para o aumento do efeito de estufa. Na maior parte dos casos, o efeito dos aerossóis parece ser o de contrariar o efeito de estufa.

No forçamento dos modelos climáticos, desde 1860 até 1990 são usadas as concentrações de gases com efeito de estufa e aerossóis observadas neste período, incluindo os efeitos das emissões humanas e vulcânicas e as variações observadas na radiação solar. A partir de 1990, os modelos utilizam as emissões dos cenários SRES (gases com efeito de estufa e aerossóis), mas não fazem qualquer previsão para a evolução dos forçamentos naturais. A grande maioria das simulações para Portugal, apresentadas na primeira fase do Projecto SIAM (Miranda *et al.*, 2002), foram produzidas com o cenário de emissões IS92a, sem contabilizar o efeito dos aerossóis. Apenas algumas das experiências apresentadas com os modelos globais do Hadley Centre, HadCM2 e HadCM3, incluíam este efeito, que se supõe estar sobrestimado no cenário IS92a (IPCC WGI, 2001).

Não foi projectada nenhuma distribuição de probabilidades para os cenários SRES e, consequentemente, nenhum dos cenários deve ser considerado mais provável do que os outros. Segundo o IPCC WGI (2001), estes cenários de emissões cobrem uma vasta gama de cenários prováveis para o futuro. No entanto, poderão ocorrer outros cenários de evolução ao longo do século XXI, com níveis de concentração fora do alcance considerado nos cenários do IPCC, actualmente considerados menos prováveis.

2.3.2 Modelos de Circulação Global

Os modelos numéricos acoplados (atmosfera-oceano) de circulação global constituem actualmente a melhor forma, e possivelmente a única cientificamente credível, de simular cenários de mudança climática. Os modelos climáticos de circulação global são elaborados a partir de equações que representam os processos físicos que ocorrem na atmosfera e nos oceanos e têm em conta interações com a litosfera, biosfera e criosfera. As equações são discretizadas no espaço e no tempo, em redes que cobrem todo o globo, com resoluções horizontais da ordem de centenas de quilómetros, e são integradas com passos de tempo de cerca de 30 minutos. Os processos físicos de escala menor do que o espaçamento das malhas têm que ser parametrizados. Entre estes estão processos muito importantes no estabelecimento do estado da atmosfera, como sejam todos os processos relacionados

com nuvens (termodinâmicos e dinâmicos), ondas gravíticas orográficas e processos de camada limite atmosférica.

Com a implementação de modelos globais cada vez mais sofisticados e com o aumento da capacidade computacional, é possível reproduzir com precisão crescente os padrões de larga escala das distribuições sazonais de temperatura e pressão. Deste modo, diversos modelos globais de clima têm sido capazes de reproduzir satisfatoriamente as principais características das tendências do clima passado, quando se tem em consideração as concentrações observadas de gases com efeito de estufa, as emissões de aerossóis (naturais e antropogénicas) e a variabilidade solar. Por exemplo, o modelo do Hadley Centre HadCM3, um dos modelos utilizados mais extensivamente neste trabalho, é capaz de reproduzir, de forma aproximada, as tendências da temperatura média global observadas desde 1860 (Stott *et al.*, 2000).

A confiança nos resultados dos modelos globais de clima tem vindo a crescer gradualmente, aumentando igualmente a confiança na representatividade dos cenários climáticos produzidos por estes modelos. No entanto, existem sempre incertezas associadas às simulações de modelos. Estas incertezas provêm quer dos próprios cenários de emissões de gases com efeito de estufa, sendo ilustrada pelo conjunto dos cenários SRES, quer por diferenças nas formulações dos diversos modelos globais. Além disso, alguns processos, como as nuvens, são particularmente difíceis de representar. A somar a todas estas dificuldades, a resolução espacial dos modelos não é suficiente para que, quer a orografia e as linhas de costa, quer os próprios sistemas meteorológicos, sejam representados com o detalhe necessário.

2.3.3 Evolução Climática da Península Ibérica no Cenário IS92a

Nesta secção apresentam-se cenários climáticos para Portugal Continental e para a Península Ibérica, obtidos com diversos modelos globais de clima utilizando o cenário de emissões IS92a. Os cenários são construídos a partir de dados mensais fornecidos pelo IPCC-Data Distribution Centre, anteriores a Abril de 2001. Os modelos utilizados pertencem à última ou penúltima geração, anterior aos modelos utilizados com os cenários SRES (ver Tabela 2.2). A maioria das simulações com o cenário de emissões IS92a abrange o período 1860-2100. Entre 1860 e 1990 foram introduzidas nos modelos as concentrações históricas observadas de gases com efeito de estufa. A partir de 1990, considerou-se um aumento aproximado de 1 %/ano da concentração de CO₂ equivalente (inclui outros gases para além do CO₂), que é semelhante em termos de forçamento radiativo ao cenário IS92a (IPCC WGI, 1996).

Para cada simulação com o cenário IS92a, calculou-se a anomalia da temperatura média na Península Ibérica (Figura 2.47), subtraindo ao cenário a temperatura média de uma simulação de controlo obtida com uma concentração constante de CO_2 (próxima da média observada no período 1961-1990). Na Figura 2.47 estão incluídas duas simulações com aerossóis (HadCM2-GSa2 e HadCM3-GSa1). As restantes simulações foram realizadas apenas com gases com efeito de estufa. Com o modelo de 2.ª geração do Hadley Centre (HadCM2) (Johns *et al.*, 1997; Mitchell e Johns, 1997) foram realizados conjuntos de quatro simulações (GGa1-a4) com condições iniciais diferentes, iniciando cada uma das simulações a partir da simulação de controlo, com intervalos sucessivos de 150 anos. Às anomalias anuais da temperatura média foi aplicada uma média móvel de 10 anos para suavizar a variabilidade interanual.

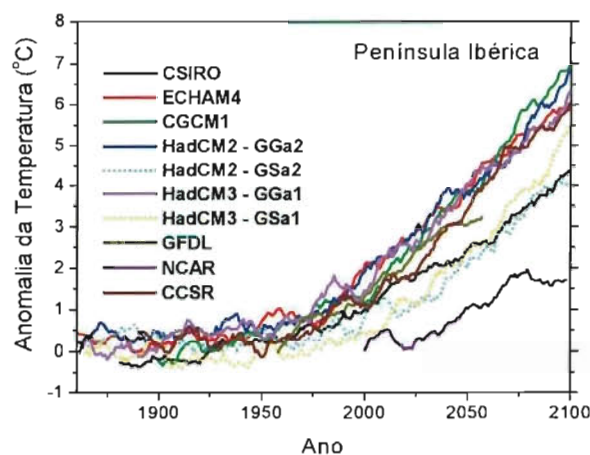


Figura 2.47 – Evolução da anomalia da temperatura média na Península Ibérica em diversos modelos globais (GCMs), calculada como a diferença entre as simulações com aumento de CO_2 (cenário IS92a) e as simulações de controlo. Média móvel de 10 anos aplicada às séries anuais

Todas as simulações da Figura 2.47 apresentam uma tendência positiva da temperatura média na Península Ibérica, no século XXI. Em 2100 as anomalias variam entre 1,7 °C e 7 °C em relação às simulações de controlo. Ao longo do século XX os modelos já indicam uma pequena subida da temperatura média, que se torna mais pronunciada no último quarto de século, o que coincide aproximadamente com o último período de aquecimento global e local observado.

Note-se que os cenários de emissões são ligeiramente diferentes de modelo para modelo. Alguns modelos consideram um aumento de 0,9 %/ano da concentração de CO_2 , enquanto a maioria utiliza 1 %/ano. No entanto, a amplitude de resultados da Figura 2.47 provém essencialmente das diferenças entre as formulações dos modelos, e constitui parte da

incerteza associada a cenários climáticos. As simulações sem aerossóis do HadCM2 (GGa2) e HadCM3 (GGa1) projectam em 2100 anomalias de 6,9 °C e 6,4 °C respectivamente. Quando o efeito dos aerossóis é introduzido nestes modelos (HadCM2-GSa2 e HadCM3-GSa1), o aumento gradual de temperatura é menor (entre 1 °C e 2,5 °C em 2100) do que nos casos sem aerossóis.

Na malha horizontal dos modelos globais, a parte Oeste da Península Ibérica é representada no máximo por três pontos, adiante designados por pontos Norte, Centro e Sul. Note-se que as redes horizontais dos modelos não são coincidentes. No caso dos modelos HadCM2 e HadCM3, que partilham a mesma rede, os três pontos estão representados na Figura 2.1 (triângulos amarelos). Nestes modelos, o ponto Norte centra-se na Galiza e os restantes dois em Portugal Continental. As anomalias da temperatura média nestes três pontos no período 2070-2099, em relação à simulação de controlo estão representadas na Figura 2.48, em abcissas. Nestes gráficos, as anomalias da precipitação anual, em percentagem da precipitação de controlo, são representadas em ordenadas. Deve notar-se que cada um destes pontos pretende representar a situação média observada numa região envolvente, com dimensão igual ao espaçamento entre pontos, e não valores locais.

Em qualquer dos três pontos apresentados na Figura 2.48 a projecção dos vários modelos para 2070-2099 é de um aumento de temperatura, acompanhado de uma diminuição da precipitação anual, excepto no caso da simulação HadCM2-GSa2 (que inclui o efeito dos aerossóis) nos pontos Centro e Sul onde se regista um aumento de precipitação, inferior a 10 %. No ponto Norte, as anomalias de precipitação anual estão concentradas entre -5 % e -25 %, enquanto que nos pontos Centro e Sul se registam perdas de precipitação substancialmente mais elevadas, atingindo os 40 % em alguns modelos. Da análise da Figura 2.48 facilmente se conclui que existe grande disparidade nos resultados dos diversos modelos. Na generalidade dos modelos, na parte Oeste da Península Ibérica, as anomalias de temperatura variam entre +3 e +7 °C, sendo o ponto Norte o que apresenta as anomalias mais baixas. Em geral pode dizer-se que os modelos projectam para as zonas Centro e Sul de Portugal maiores perdas de precipitação anual e maiores aumentos de temperatura do que na zona Norte do país.

Da análise das séries temporais de precipitação anual acumulada para as simulações HadCM2-GGa2 e HadCM3-GGa1 nos três pontos considerados na Figura 2.48 (curvas não apresentadas) concluiu-se que a precipitação tem uma variabilidade interanual acentuada (Miranda *et al.*, 2002). É evidente nessas simulações uma tendência decrescente da precipitação no século XXI, associada às anomalias negativas de precipita-

ção apresentadas na Figura 2.48. O cenário HadCM2-GSa2, que inclui o efeito dos aerossóis, não reproduz a tendência decrescente da precipitação, apresentando contudo, uma variação interdecadal elevada. No entanto, na simulação HadCM3-GSa1, igualmente realizada com o efeito dos aerossóis, a redução da precipitação volta a ser reproduzida.

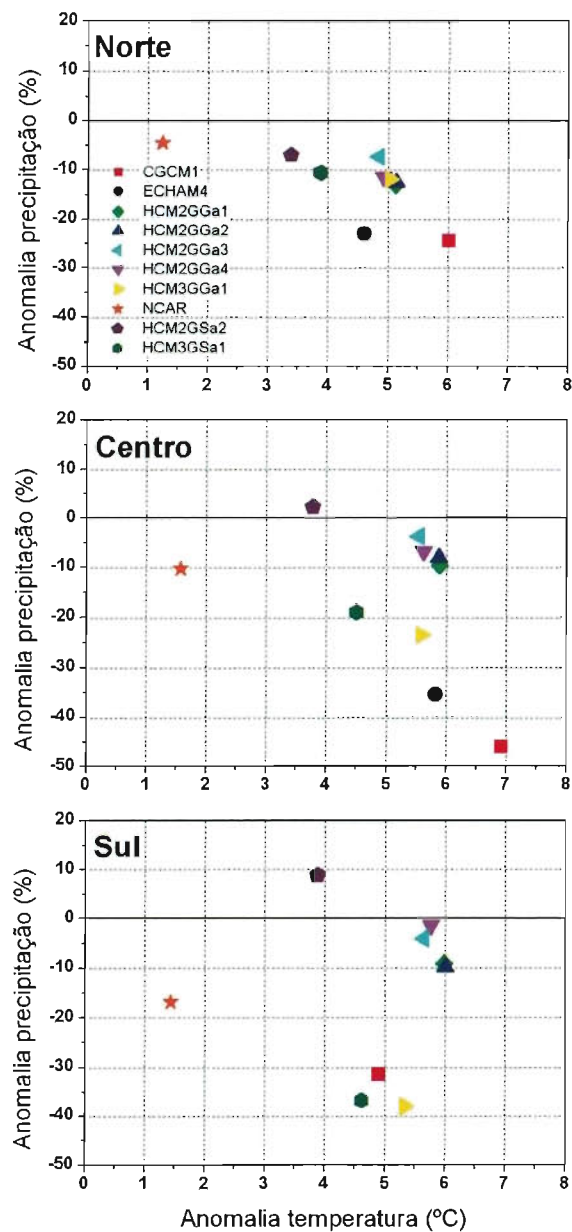


Figura 2.13 - Anomalias da temperatura média e precipitação anual acumulada em percentagem da precipitação de controlo nos três pontos dos modelos globais situados na zona Oeste da Península Ibérica. Anomalias calculadas considerando a diferença entre as simulações com aumento de CO_2 (cenário IS92a, período 2070-2099) e as simulações de controlo

No que se refere ao ciclo anual de precipitação, a maioria dos modelos projecta para os meses de Inverno um aumento ligeiro da precipitação acumulada no ponto Norte no período 2070-2099 em relação ao período 1961-1990, tomado aqui como período de referência. Nos pontos Centro e Sul, no Inverno o comportamento dos modelos é muito diverso. Nas restantes estações do ano, os modelos prevêem em geral uma diminuição da precipitação nos três pontos considerados, especialmente na Primavera e no Outono, embora com valores diferentes de modelo para modelo.

2.3.4 Evolução Climática da Península Ibérica nos Cenários SRES

Os cenários climáticos para o século XXI na Península Ibérica decorrentes dos cenários de emissões SRES foram obtidos com os GCMs enumerados na Tabela 2.2. Nem todos os modelos utilizaram a totalidade dos cenários SRES, sendo comuns a todos os modelos apenas os cenários A2 e B2. Uma vez mais, os dados mensais das simulações foram fornecidos pelo IPCC-Data Distribution Centre, em Junho de 2003. Ao conjunto de dados obtido através do IPCC foram adicionados dados mensais das simulações do HadCM3 realizadas com os cenários A1F1 e B1 obtidos através do Projecto LINK (Viner, 1996). Note-se que, neste estudo é incluída a incerteza devida à existência de diversos cenários de emissões de gases com efeito de estufa, para além da incerteza, resultante dos diversos modelos globais utilizados. Os GCMs apresentados na Tabela 2.2 correspondem à última versão operacional de modelos de clima construídos por cada um dos centros de investigação referidos.

Na Figura 2.49 estão representadas as anomalias da temperatura média anual nos pontos de cálculo sobre a Península Ibérica, calculadas como a diferença entre as séries de temperatura das simulações com os cenários SRES e a temperatura média das mesmas simulações nos períodos de controlo (1961-1990, para a maior parte dos modelos). Tal como no caso da Figura 2.47, foi aplicada uma média móvel de 10 anos a cada uma das séries da Figura 2.49, para suavizar a variabilidade interanual.

Nos cenários SRES os modelos projectam um aumento da temperatura na Península Ibérica em 2100 entre +2 e +8,6 °C em relação ao período de controlo. Nas primeiras décadas do século XXI, as anomalias da temperatura média das simulações não divergem muito. Dada a inércia do sistema climático, associada em particular à resposta relativamente lenta do oceano a alterações da composição atmosférica, uma parte substancial das alterações climáticas que vão ocorrer nas próximas décadas resulta de emissões já realizadas (Hadley Centre, 2002). A partir de 2020 as ano-

Tabela 2.2 – Modelos de Circulação Global (CGMs)

Modelo	Entidade	Referência	Cenário
CSIRO Mk2	Commonwealth Scientific Industrial Research Organisation (Australia)	Hirst <i>et al.</i> (1996), Gordon e O'Farrell (1997), Hirst <i>et al.</i> (2000)	A1,A2,B1,B2
ECHAM4/OPYC3	European Centre/ Hamburg/ Deutsches Klimarechenzentrum (Germany)	Roeckner <i>et al.</i> (1996), Zhang <i>et al.</i> (1998)	A2,B2
HadCM3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research (UK)	Gordon <i>et al.</i> (2000)	A1FI,A2,B1,B2
CGCM2	Canadian Center for Climate Modelling and Analysis (Canada)	Reader e Boer (1998), Boer <i>et al.</i> (2000)	A2,B2
GFDL-R30	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (USA)	Manabe e Stouffer (1996), Haywood <i>et al.</i> (1997)	A2,B2
NCAR CSM	National Center for Atmospheric Research (USA)	Boville e Gent (1998)	A2
NCAR DOE-PCM	National Center for Atmospheric Research (USA)	Washington <i>et al.</i> (2000), Meehl <i>et al.</i> (2000)	A2,B2
CCSR/NIES2	Center for Climate Research Studies/ National Institute for Environmental Studies (Japan)	Emori <i>et al.</i> (1999)	A1,A1B,A1FI,A2,B1,B2

malias de temperatura na Figura 2.49 começam a divergir significativamente, devido ao aumento da concentração dos gases com efeito de estufa previsto nos cenários SRES para o século XXI (Hulme *et al.*, 2002).

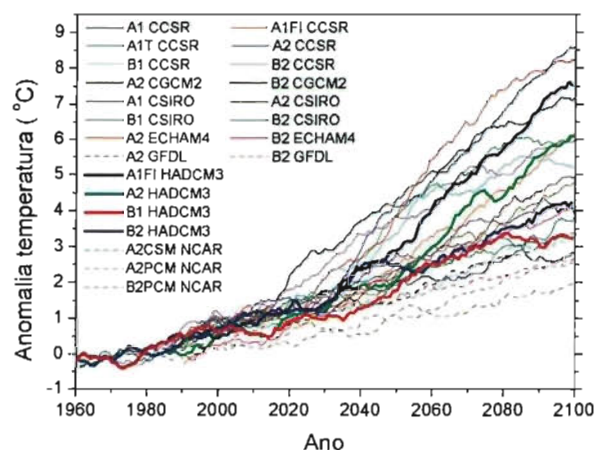


Figura 2.19 Evolução da anomalia da temperatura média anual na Península Ibérica para diversos modelos globais (GCMs), calculada como a diferença entre as simulações com aumento de CO_2 (cenários SRES) e a média no período de controlo. Média móvel de 10 anos aplicada às séries anuais

Tal como seria de esperar, a gama de anomalias da temperatura média na Península Ibérica obtida em 2100 com os cenários SRES (entre $+2^\circ\text{C}$ e $+8,6^\circ\text{C}$), é maior do que a gama de anomalias projectada com o cenário IS92a ($+1,7^\circ\text{C}$ – $+7^\circ\text{C}$). Registe-se que certos modelos (principalmente

os modelos CCSR/NIES e HadCM3) reagem fortemente aos cenários de emissões mais extremos (A1FI e A2), projectando anomalias superiores a $+7^\circ\text{C}$. O modelo CCSR/NIES é o que prevê maior aquecimento, com o cenário de menores emissões (B1) a produzir uma anomalia de $+5,4^\circ\text{C}$ em 2100.

O cenário A2 gera anomalias da temperatura média entre $+2,5^\circ\text{C}$ e $+8,6^\circ\text{C}$ em 2100, enquanto que no cenário B2 as anomalias variam entre $+2^\circ\text{C}$ e $+6^\circ\text{C}$. Conclui-se, portanto, que os cenários mais extremos, com maior crescimento de emissões de gases com efeito de estufa, apresentam uma maior incerteza na projecção da temperatura média. Para cada modelo, o cenário A2 conduz a aquecimentos mais elevados do que o cenário B2. Aliás, para cada um dos modelos, e para o HadCM3 em particular (curvas marcadas a traço mais grosso na Figura 2.49), a ordem de grandeza das anomalias de temperatura em 2100 cresce monotonicamente com os valores da concentração de CO_2 em 2100. Saliente-se que na simulação B1 do HadCM3, a anomalia de temperatura cresce significativamente até 2080, ano após o qual se mantém aproximadamente constante até ao fim do século XXI. Esse resultado traduz uma resposta com algum atraso à evolução da concentração de CO_2 , revelando uma inércia do sistema climático no estabelecimento de condições de equilíbrio radiativo. O modelo regional HadRM3, cujos resultados serão extensivamente discutidos na secção 2.4, foi forçado pelas simulações do HadCM3 com os cenários A2 e B2.

Na Figura 2.50 estão representadas as séries temporais de precipitação anual na parte Oeste da Península previstas

por cada um dos cenários do HadCM3. As séries de precipitação foram suavizadas com uma média móvel de 10 anos. A série de precipitação do HadCM3 relativa ao cenário A1FI, o que tem a maior emissão de gases com efeito de estufa, mostra uma tendência decrescente desde o fim do século xx até 2100. Nos cenários A2 e B2 do HadCM3 a diminuição da precipitação anual não é tão marcada, e no cenário B2 não se detecta um sinal claro na tendência da precipitação. As tendências da precipitação têm o mesmo sinal nos três pontos na zona Oeste da Península.

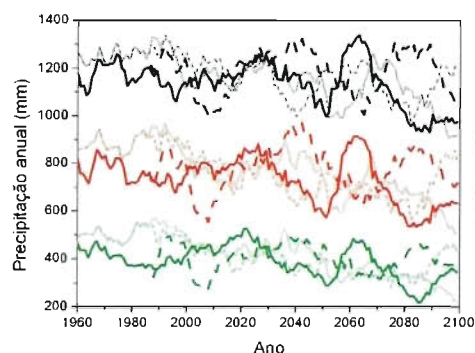


Figura 2.50 – Séries temporais de precipitação anual nos três pontos Norte, Centro e Sul da zona Oeste da Península Ibérica para o HadCM3 (ver Figura 2.1) forçado com os cenários SRES-A1FI, A2, B1 e B2. Média móvel de 10 anos aplicada às séries anuais

A anomalia da precipitação anual entre 2070-2099 e o período de controlo 1961-1990 para os três pontos Norte, Centro e Sul, utilizando todos os modelos que têm pontos nesta zona, está representada na Figura 2.51. Nesta figura, os símbolos a preto representam as simulações com o cenário B2, enquanto os símbolos vermelhos indicam simulações com o cenário A2. A azul e laranja estão as simulações com os cenários B1 e A1FI, respectivamente.

Da observação desta figura conclui-se que o modelo HadCM3 (triângulos invertidos), nos cenários A1FI, B2 e B1, é o que projecta maiores perdas de precipitação para a área portuguesa. Nas simulações com o cenário A2, predominam as situações em que há perda de precipitação anual. Por outro lado, nas simulações com o cenário B2 existe um predomínio ligeiro dos casos com diminuição de precipitação, sendo o decréscimo em geral mais pequeno do que no cenário A2. A dispersão das anomalias nos pontos Norte, Centro e Sul é relativamente semelhante, com o ponto Centro a registar as maiores anomalias negativas. Em termos relativos, as perdas de precipitação são mais significativas no ponto Sul, visto que é o ponto com menos precipitação anual. A magnitude das perdas de precipitação obtidas com os cenários SRES é semelhante à registada com o cenário IS92a (Figura 2.41 de Miranda *et al.* [2002]). Os ciclos anuais das anomalias da

precipitação (em percentagem da precipitação no período de referência) e da temperatura (em °C) estão representados na Figura 2.52 (para os cenários A2 e A1FI) e na Figura 2.53 (cenários B2 e B1).

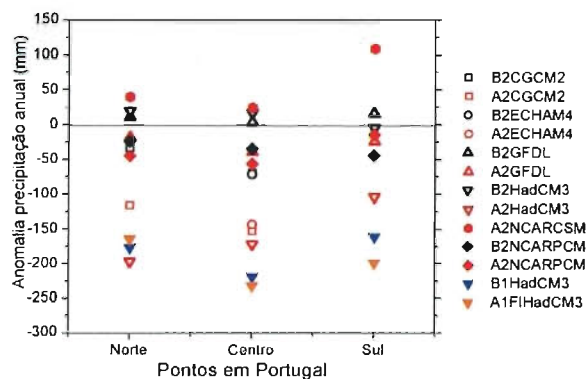


Figura 2.51 – Anomalia da precipitação anual entre 2070-2099 e 1961-1990 dada pelos GCMs, nos três pontos da zona Oeste da Península Ibérica

No Inverno, para os cenários A2 e A1FI, as anomalias de temperatura variam entre +1,5 °C e +4 °C e as anomalias de precipitação entre -25 % e +20 %. A maioria dos modelos prevê um aumento da precipitação de Inverno em Portugal Continental, principalmente na região Norte. Nas outras estações do ano as anomalias dos vários modelos, representadas na Figura 2.52, apresentam uma maior amplitude de variação. O Verão apresenta as maiores anomalias de temperatura em todos os modelos (por exemplo entre +4,5 e +9 °C para a simulação HadCM3-A2 e entre +7 e +11,5 °C na simulação HadCM3-A1FI) e maiores perdas de precipitação relativa (cerca de -60 % na simulação ECHAM4-A2 e no ponto Norte da simulação HadCM3-A1FI), resultado de importância menor devido à pouca precipitação observada no Verão. Exceptua-se a simulação NCAR/CSMA2 que prevê um aumento de precipitação superior a 10 % nesta estação. No Outono quase todos os modelos prevêem uma diminuição da precipitação futura em Portugal Continental (até -55 %) e aumentos de temperatura entre +2 °C e +7 °C, nos cenários A2 e A1FI. Finalmente para a Primavera, e para os mesmos cenários de emissões, os modelos projectam essencialmente perda de precipitação (em certos modelos superior à perda relativa no Outono) e aumentos de temperatura compreendidos entre +1 °C e +5,5 °C.

Analisando mais detalhadamente os resultados do modelo HadCM3, uma vez que é este o modelo que força o modelo regional a usar na secção 2.4, constata-se que as anomalias obtidas para o cenário A2 estão entre as mais elevadas, e que no cenário mais extremo de emissões, A1FI, as anomalias de temperatura do HadCM3 são superiores às encontradas

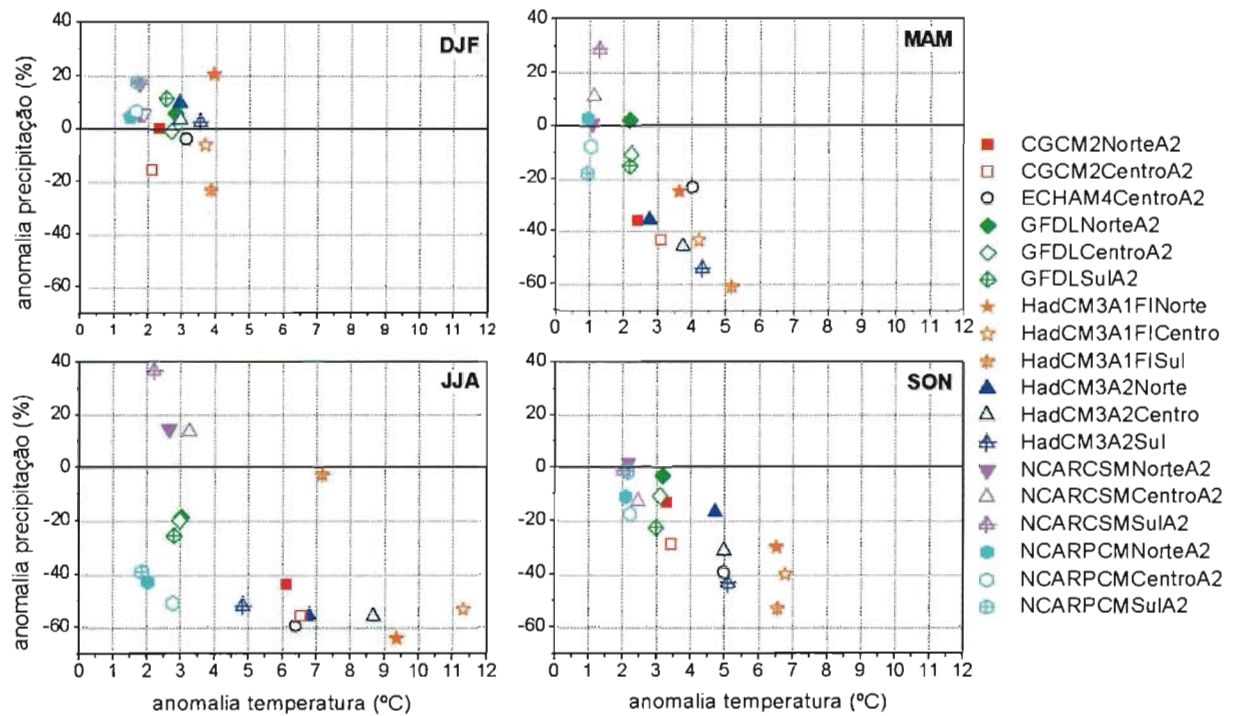


Figura 2.52 – Ciclo anual das anomalias da temperatura média e precipitação (diferença entre valores médios em 2070-2099 e 1961-1990) para os pontos dos GCMs correspondentes à área portuguesa, cenários A2 e A1FI

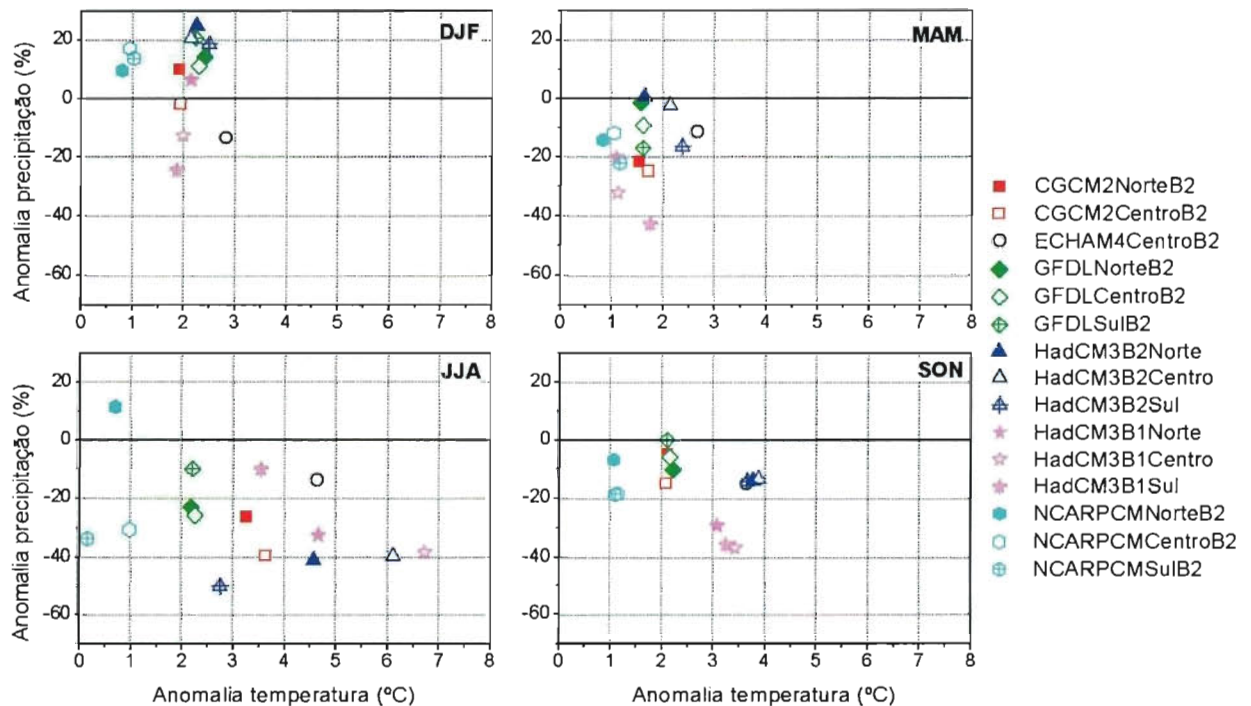


Figura 2.53 – Tal como a Figura 2.52, mas para os cenários B2 e B1

para o cenário A2. Consta-se, ainda, que na Primavera e Outono, e para certos modelos no Verão, se detecta uma correlação entre as anomalias de temperatura e as anomalias relativas da precipitação (Figura 2.52). Ou seja, as maiores anomalias de temperatura estão associadas às maiores perdas de precipitação. Este resultado foi igualmente verificado para as anomalias anuais nos pontos Norte e Centro da zona Oeste da Península Ibérica (Figura 2.48), com o cenário IS92a.

Nos cenários com menores emissões B2 e B1 (Figura 2.53), as anomalias de temperatura obtidas em Portugal Continental são, em todas as estações, inferiores a +7 °C e inferiores às obtidas nos cenários A2 e A1FI. Nos cenários B2 e B1, em todas as estações, excepto no Inverno, os modelos projectam perdas de precipitação. No Inverno, a maioria das simulações apontam para um aumento relativo da precipitação, superior a 20 % no caso do HadCM3 (cenário B2). No entanto, a simulação do HadCM3 realizada com o cenário B1 prevê uma perda entre 10 e 25 % da precipitação de Inverno no Centro e Sul. Note-se que no cenário B1 a concentração de CO₂ no período 2070-2099 é inferior à do cenário B2 (Figura 2.46), embora entre 2020 e 2060 a concentração de CO₂ no cenário B1 esteja acima da de B2. No Verão, contrariamente ao previsto para as outras estações, a perda de precipitação na simulação HadCM3-B2 é maior do que na simulação HadCM3-B1. Por outro lado, as anomalias de temperatura da simulação HadCM3-B2 são superiores às de HadCM3-B1 em todas as estações excepto no Verão.

2.3.5 Evolução Climática dos Sectores dos Açores e da Madeira nos Cenários SRES

Neste trabalho são discutidos, nas secções 2.6 e 2.7, cenários climáticos para os arquipélagos dos Açores e da Madeira, elaborados com um modelo físico simples (Azevedo, 1996; Azevedo *et al.*, 1999) que permite, a partir de grandezas calculadas com modelos de larga escala, estimar valores de temperatura e precipitação médias em ilhas montanhosas. Foram utilizados como valores de entrada neste modelo dados diários e mensais do modelo HadCM3 extraídos para os pontos de grelha mais próximos das ilhas em estudo (S. Miguel e Terceira nos Açores e a ilha da Madeira). Para enquadrar estes cenários climáticos, apresenta-se nesta secção a evolução climática do HadCM3 no sector do Atlântico Nordeste onde se situam ambos os arquipélagos.

A média da temperatura máxima de Verão no período de controlo 1961-1990 é apresentada na Figura 2.54a. Na região dos Açores, a temperatura máxima do período de controlo ronda os 19-20 °C, enquanto na Madeira se ultrapassam os

20 °C. No cenário A2 (Figura 2.54b) projectam-se anomalias da temperatura máxima no Verão de +2 °C na região da Madeira no período 2070-2099, enquanto que nos Açores a anomalia projectada é ligeiramente inferior (entre +1 °C e +2 °C). No cenário menos extremo B2 (Figura 2.54c), tanto a zona da Madeira como a dos Açores sofrem aumentos entre +1 °C e +2 °C na temperatura máxima de Verão. É de salientar que as maiores anomalias dos cenários se verificam sobre regiões terrestres, designadamente sobre a Península Ibérica, observando-se anomalias de temperatura mais baixas nas regiões oceânicas.

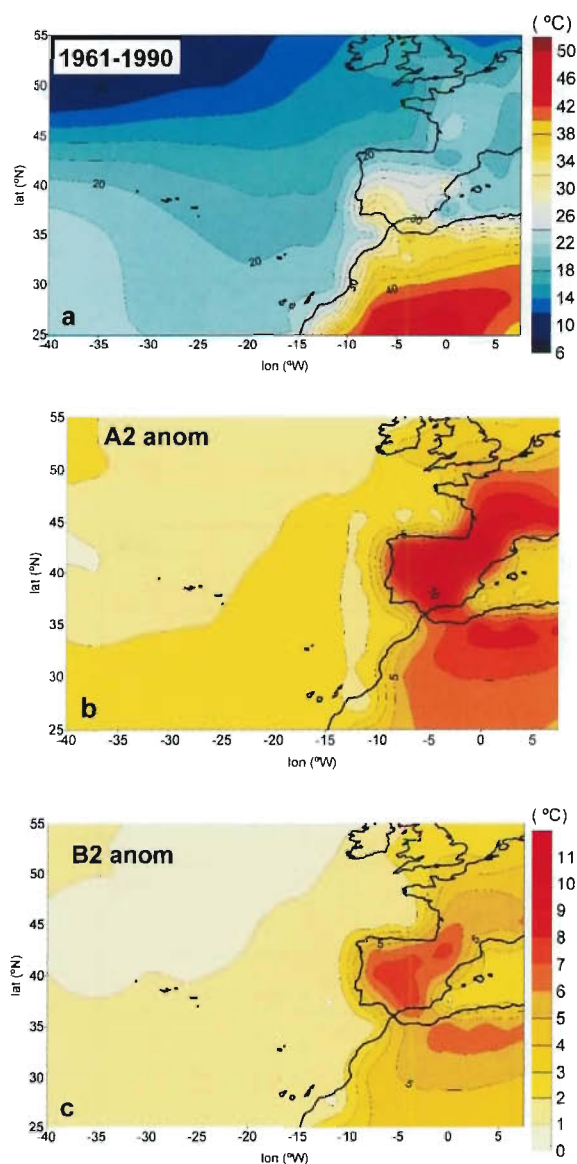


Figura 2.54 – Temperatura máxima no Verão (JJA) no Atlântico Norte obtida com o HadCM3: (a) controlo (1961-1990); (b) anomalia (A2); (c) anomalia (B2). Anomalias calculadas entre o período 2070-2099 e o período de controlo

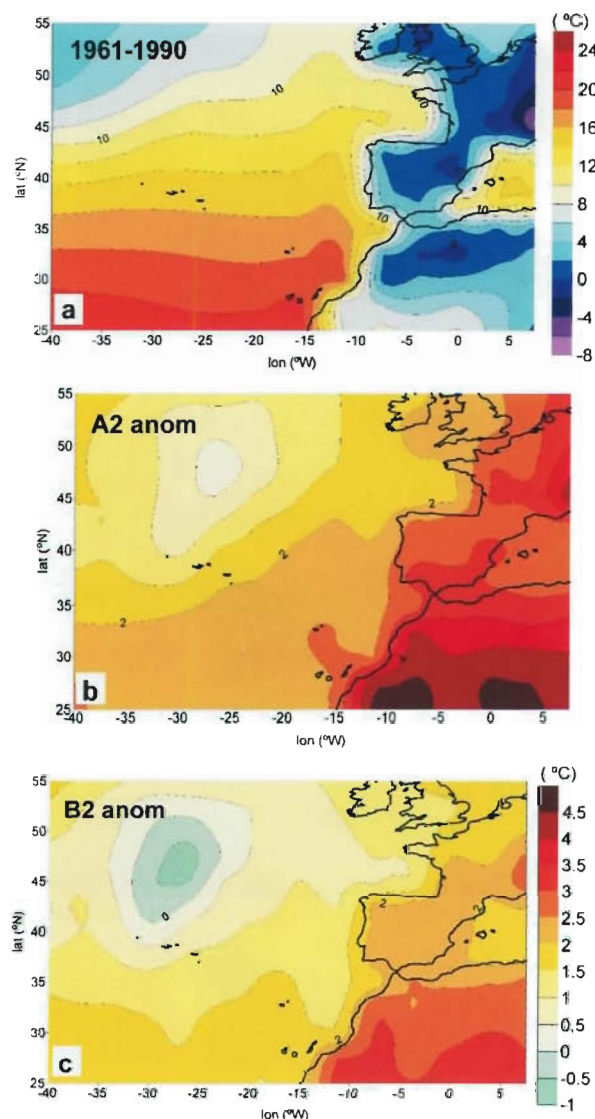


Figura 2.55 – Temperatura mínima no Inverno (DJF) no Atlântico Norte obtida com o HadCM3: (a) controlo (1961-1990); (b) anomalia (A2); (c) anomalia (B2). Anomalias calculadas entre o período 2070-2099 e o período de controlo

No Inverno, a temperatura mínima no período de controlo (Figura 2.55a) ronda os 18 °C na região da Madeira, descendo para cerca de 15 °C nas ilhas açorianas. O aumento da temperatura mínima no Inverno no cenário A2 é de cerca de +2,5 °C na Madeira e varia entre +1,5 °C e +2 °C nos Açores (Figura 2.55b). No cenário B2 o aumento da temperatura mínima é ligeiramente superior a +1,5 °C na Madeira e é da ordem de +1 °C nos Açores (Figura 2.55c). Nesta estação do ano, as maiores anomalias de temperatura são projectadas sobre o continente africano e não sobre a Península Ibérica, como era o caso das anomalias de temperatura máxima no

Verão (Figura 2.54b,c). Note-se ainda que no cenário B2 o modelo HadCM3 prevê a existência de uma região no centro do Atlântico Norte, a norte dos Açores, onde as anomalias da temperatura mínima de Inverno são negativas (ver Figura 2.55c).

Na Figura 2.56a,b apresenta-se a precipitação de Inverno e de Verão do HadCM3 no período de controlo. No Inverno, a precipitação na região da Madeira é inferior a 150 mm, enquanto entre S. Miguel e a Terceira varia entre 350 e 400 mm. No Verão, e no mesmo período de controlo, o modelo HadCM3 regista menos de 20 mm de precipitação na Madeira e cerca de 50-60 mm nas ilhas de S. Miguel e Terceira.

As projecções para 2070-2099 da anomalia da precipitação de Inverno no cenário A2 (Figura 2.56c) revelam uma zona de aumento ligeiro da precipitação nas latitudes a norte de 35 °N, que inclui os Açores, enquanto a sul desta latitude se observa um decréscimo da precipitação. Assim, na Madeira o modelo projecta perdas na precipitação de Inverno de -20 %, e para os Açores um aumento da ordem de +10 %. No Verão o campo da anomalia da precipitação no cenário A2 (Figura 2.56d) tem valores predominantemente negativos no Atlântico Nordeste, excepto na região oceânica junto à costa do Norte de África e do Sul de Portugal Continental, onde se verifica um aumento significativo de precipitação que atinge um máximo de +90 %, e no Mediterrâneo Ocidental, junto à costa espanhola. A Madeira situa-se na região em que a anomalia de precipitação de Verão é positiva, sendo da ordem dos +40 %. Por sua vez para os Açores o modelo projecta uma perda da precipitação de Verão superior a 20 % neste cenário.

No cenário B2, a anomalia de precipitação no Inverno (Figura 2.56e) na Madeira é negativa e ligeiramente superior à encontrada no cenário A2, e nos Açores é praticamente igual (positiva) à projectada para o cenário A2. O aumento da precipitação de Verão na Madeira é menor no cenário B2 (+20 % – Figura 2.56f) do que no cenário A2, enquanto a perda de precipitação na região dos Açores está compreendida entre -10 e -20 %, inferior aos valores projectados para o cenário A2.

2.4 CENÁRIOS CLIMÁTICOS OBTIDOS COM MODELOS REGIONAIS EM PORTUGAL CONTINENTAL

2.4.1 Modelo Regional de Clima HadRM2-3

A maior parte dos estudos de impacto ambiental das alterações climáticas requerem informação de parâmetros meteo-

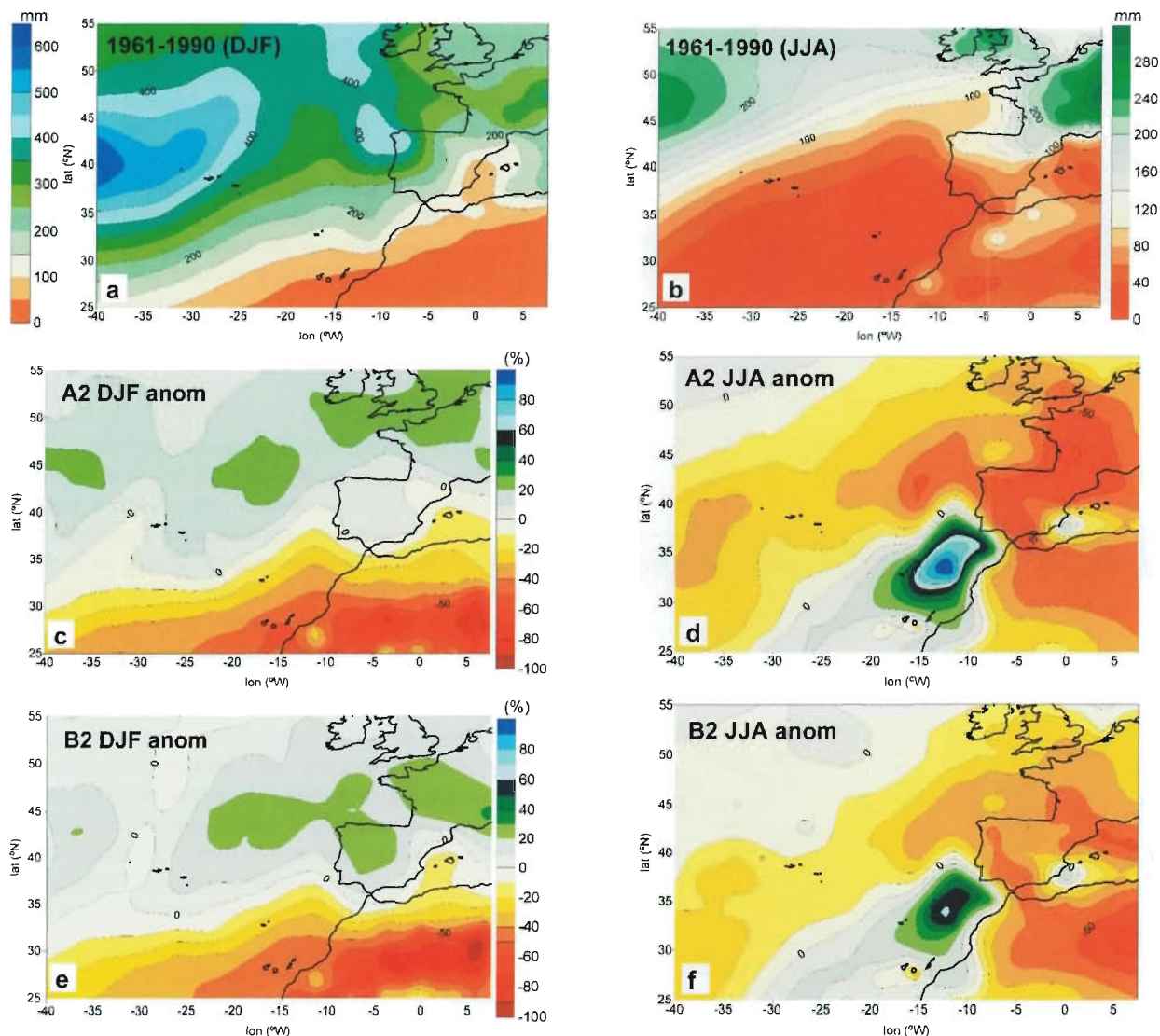


Figura 2.56 - Precipitação acumulada no Atlântico Norte obtida com o HadCM3 (simulação de controlo) em (a) DJF e (b) JJA. Anomalias relativas da precipitação nos cenários A2: (c) DJF; (d) JJA; e B2: (e) DJF; (f) JJA. Anomalias calculadas entre o período 2070-2099 e o período de controlo

rológicos (*e.g.* precipitação ou temperatura máxima) com elevada resolução spatiotemporal, totalmente incompatíveis com as baixas resoluções fornecidas pelos GCMs (Shubert e Henderson-Sellers, 1997). Ao longo das últimas duas décadas foram desenvolvidas inúmeras técnicas para «ligar» as baixas escalas fornecidas pelos GCMs às escalas requeridas pelas diversas comunidades que estudam os impactos a jusante. Estas metodologias ficaram conhecidas na comunidade científica por técnicas de regionalização e podem ser globalmente divididas em duas grandes classes:

Regionalização dinâmica. Técnica usualmente baseada na utilização de modelos regionais de menor escala espacial

(25-50 km) e que são forçados na sua fronteira por GCMs (Giorgi, 1990). Para além destes, existem os modelos globais, em que a resolução pode ser aumentada em zonas limitadas, como por exemplo o modelo ARPEGE-IFS com resolução aumentada na zona do Mediterrâneo (Gibelin e Déqué, 2003). No último caso existe realimentação dos fenómenos à escala local para os fenómenos à escala global, o que não acontece nos modelos regionais forçados nas fronteiras pelos modelos globais. Outra técnica baseada em modelos dinâmicos consiste em aumentar a resolução espacial e temporal de um GCM normal só nos subperíodos que interessa estudar, permanecendo o resto da integração numérica em baixa resolução (*e.g.* Cubash *et al.*, 1996).

Regionalização estatística. Estas técnicas identificam as relações existentes entre padrões de circulação de larga escala e variáveis climáticas observadas à escala local. Estas relações são depois utilizadas nas saídas de GCMs de forma a traduzir as alterações futuras da circulação geral em anomalias de parâmetros meteorológicos à escala local (von Storch *et al.*, 1993). As técnicas de regionalização estatística têm sido aplicadas de uma forma generalizada devido à sua simplicidade e baixo custo computacional quando comparadas com os métodos dinâmicos (Goodess e Palutikof, 1998). Em particular, diversos estudos de cenários climáticos para Portugal e para a Península Ibérica foram realizados com algumas variantes deste tipo de técnicas estatísticas (*e.g.* Corte-Real *et al.*, 1995; Trigo e Palutikof, 1999; Trigo e Palutikof, 2001; Sumner *et al.*, 2003).

O valor relativo das diversas metodologias de regionalização tem sido objecto de discussão (Wilby e Wigley, 1997; Murphy, 1999; Gihelin e Déqué, 2003), parecendo existir vantagem na utilização de modelos dinâmicos regionais ou globais, com resolução aumentada, em relação às técnicas estatísticas, visto que estas assentam no pressuposto de que as relações estatísticas que ocorrem no clima presente se manterão inalteradas no clima futuro, mesmo com forçamentos diferentes dos que ocorrem no presente, o que pode ser fisicamente inconsistente.

De facto, o uso de modelos regionais de clima está a tornar-se numa das principais formas de elaborar estudos de mudança climática (Christensen *et al.*, 1997; Jones e Reid, 2001). A maior definição espacial dos modelos regionais de clima é uma das grandes vantagens do seu uso em relação aos modelos globais. Nos modelos regionais a topografia tem bastante mais definição, permitindo captar detalhes importantes das linhas de costa e da orografia, que não são passíveis de serem incluídos nos modelos globais. Esta característica dos modelos regionais permite modelar com mais precisão os processos atmosféricos, como os decorrentes dos contrastes entre oceanos e continentes e os associados à topografia (chuva orográfica por exemplo). Desta forma, os modelos regionais são capazes de modelar, localmente, com maior fiabilidade do que os GCMs, fenómenos climáticos extremos (Jones e Reid, 2001; Hadley Centre, 2000), tais como episódios extremos de precipitação. Um estudo recente sobre a distribuição diária de precipitação extrema obtida com o HadRM2 (Durman *et al.*, 2001), indica que os resultados obtidos com este modelo representam uma melhoria em relação às simulações de controlo dos GCMs. No entanto, a resolução dos modelos regionais (da ordem de 50 km) não permite ainda representar explicitamente os processos de formação de nuvens, para além de outros processos de pequena escala associados à camada atmosférica junto ao solo (camada limite), que continuam a ter

que ser parametrizados. Tal como nos modelos globais, as parametrizações dos processos relacionados com nuvens e precipitação necessitam ainda de ser aperfeiçoadas e podem constituir uma fonte de erros para os modelos regionais. Por outro lado, as incertezas de larga escala que afectam os modelos globais reflectem-se nos modelos regionais, uma vez que são forçados por aqueles, podendo fazer propagar erros sistemáticos das maiores para as menores escalas, como parece ser o caso verificado no campo da precipitação na Europa (Christensen *et al.*, 1997).

Para obter cenários climáticos em Portugal Continental com maior definição espacial do que os fornecidos pelos GCMs, foi utilizado neste trabalho o modelo regional do Hadley Centre HadRM nas versões 2 e 3. O HadRM2 (Murphy, 1999; Jones *et al.*, 1995; Jones *et al.*, 1997b; Noguer *et al.*, 1998) é um modelo atmosférico, forçado nas suas fronteiras pelo HadCM2. Por sua vez, a versão mais recente do modelo regional HadRM3 é forçada lateralmente pelo HadAM3H (Pope *et al.*, 2000), que é um modelo atmosférico intermédio entre o modelo regional e o modelo global acoplado (oceano-atmosfera) HadCM3 e que tem uma resolução horizontal de 150 km. O forçamento da fronteira inferior do HadAM3H é realizado através da imposição de valores da temperatura da superfície do mar e da camada de gelo oceânico modeladas pelo HadCM3. Tanto o HadRM2 como o HadRM3 têm redes horizontais com um espaçamento aproximado de 50 km (Figura 2.1). O domínio horizontal do HadRM3 engloba a zona Leste do Atlântico Norte (sem incluir os arquipélagos da Madeira e Açores) e o continente europeu. Ambos os modelos são executados com um passo temporal de 5 minutos.

Os dados diários e mensais de diversas variáveis climáticas simuladas com os modelos HadRM2-3 serviram de base à construção dos cenários climáticos apresentados nesta secção. Para o modelo HadRM2 foram obtidos dados referentes ao cenário IS92a, enquanto para o HadRM3 os dados fornecidos correspondem aos cenários SRES A2 e B2 (Figura 2.46). No caso do cenário IS92a foram utilizados dados de duas simulações: uma simulação de controlo com um valor constante da concentração do CO₂ equivalente (323 ppmv), comparável à climatologia do período 1961-1990, e uma simulação com concentração crescente do CO₂ equivalente a uma taxa de 1% ao ano a partir de 1990, forçada com a simulação GGA2 do HadCM2. A simulação do HadRM2 com o cenário IS92a cobre o período 2080-2100 (dados mensais e diários). Do HadRM3 foram utilizados dados de três corridas de controlo, correspondentes às simulações do HadCM3 A2c, B2a e B2b, que foram realizadas com emissões históricas dos gases com efeito de estufa, incluindo as emissões provenientes de erupções vulcânicas e efeitos da variação da potência solar, no período 1960-1990. Ou

seja, o forçamento radiativo em cada uma das simulações de controlo é o mesmo, variando as condições iniciais. Para 2070-2100 foram obtidos dados do HadRM3 correspondentes a quatro simulações, três com o cenário A2 (A2a, A2b, A2c) e apenas uma com o cenário B2 (B2a). A simulação de controlo do HadRM3 analisada neste trabalho é a A2c. Nos cenários futuros fez-se uma média das simulações A2a-c. As anomalias são calculadas entre simulações equivalentes. Por exemplo, a anomalia do cenário B2 é calculada entre as simulações B2a no período futuro e no período de controlo.

2.4.2 Comparação entre Simulações de Controlo e a Normal Climática Observada

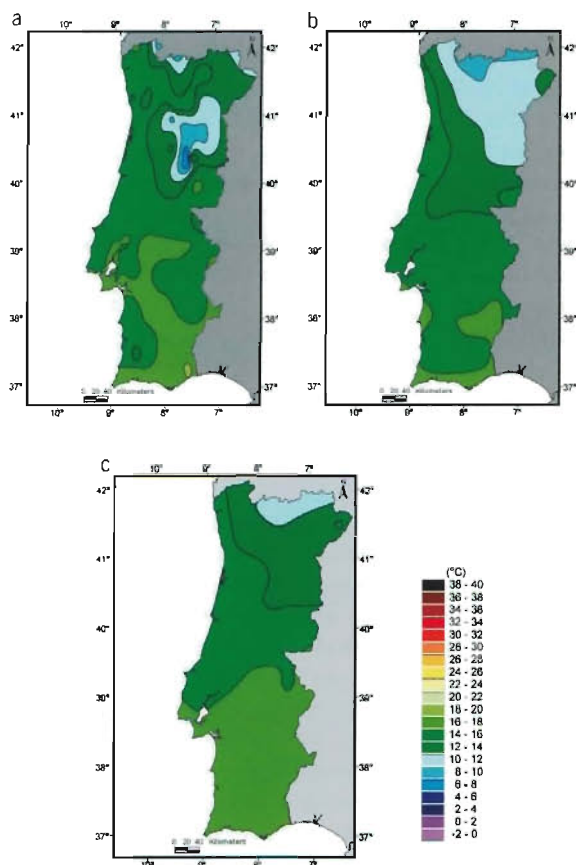


Figura 2.57 – Temperatura média: (a) observações 1961-1990; (b) controlo HadRM2; (c) controlo HadRM3

Para verificar a capacidade dos modelos HadRM2-3 em reproduzir o clima presente de Portugal Continental, compararam-se os resultados das simulações de controlo com os mapas das normais climáticas observadas para o período 1961-1990. Na Figura 2.57 apresentam-se os mapas da tem-

peratura média e na Figura 2.58 os mapas da precipitação anual.

Ambas as simulações de controlo dos modelos HadRM2-3 conseguem representar aproximadamente as características principais do campo da temperatura média em 1961-1990, tais como a magnitude dos valores do campo e a intensidade do gradiente Norte-Sul. Notam-se, no entanto, algumas diferenças importantes entre a climatologia e o campo simulado. Os modelos HadRM2-3 não representam correctamente as baixas temperaturas que ocorreram em zonas montanhosas do Norte e Centro do país (serra da Estrela por exemplo). Este facto deve-se à suavização da topografia que um modelo, com resolução de 50 km tem em relação à topografia real. Outras diferenças são inerentes a cada uma das versões do HadRM e estão relacionadas com as parametrizações utilizadas. O HadRM2 tem um viés entre 0,5-2 °C para temperaturas mais baixas em relação à climatologia, mais acentuado no Norte do país, enquanto o HadRM3 é mais quente do que as observações entre 0,5-2 °C no litoral alentejano e no Alto Alentejo.

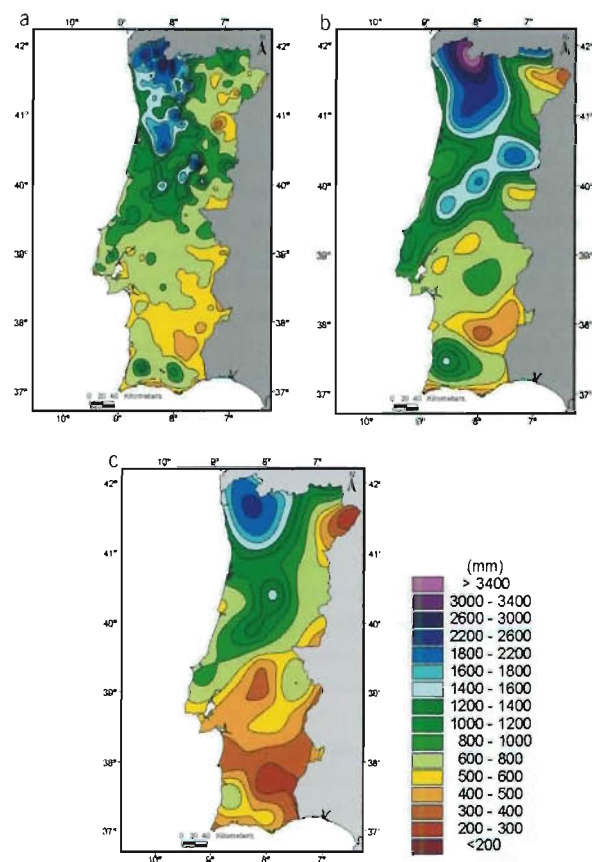


Figura 2.58 – Precipitação média anual: (a) observações 1961-1990; (b) controlo HadRM2; (c) controlo HadRM3

Em relação à precipitação anual (Figura 2.58), que apresenta mais detalhe na variação espacial do que a temperatura, verifica-se que a simulação de controlo do HadRM2 tem resultados mais próximos da climatologia 1961-1990 do que os resultados obtidos na simulação do HadRM3. Na metade Sul de Portugal Continental o HadRM3 subestima claramente a precipitação anual, embora no sistema montanhoso Montejuento-Estrela este modelo seja mais próximo das observações do que o HadRM2 que, de forma geral, tende a sobrestimar a precipitação nas zonas montanhosas. No interior transmontano o HadRM3, e em menor escala o HadRM2, subestimam os valores da precipitação anual.

No caso da simulação de controlo do HadRM3, os erros sistemáticos apresentados impedem a sua utilização directa em estudos de impacto. Por essa razão, procedeu-se à correcção do viés do campo da precipitação obtido com o HadRM3, utilizando observações mensais médias no período 1961-1990, interpoladas para a malha do HadRM3 (Figura 2.1), para o cálculo de factores multiplicativos de correcção. O campo corrigido da precipitação anual de controlo do HadRM3 é apresentado na Figura 2.59 e é bastante mais próximo da normal climática apresentada na Figura 2.58a do que a Figura 2.58c. A precipitação sazonal dada pelo HadRM3 no período de controlo foi igualmente corrigida, sendo apresentada na Figura 2.60.

O viés acentuado da precipitação do HadRM3 revelou-se um resultado inesperado, não constituindo uma melhoria em relação aos resultados obtidos anteriormente com o HadRM2 e analisados em Miranda *et al.* (2002). Apesar da precipitação anual em Portugal Continental ser relativamente bem representada pelo HadRM2, verifica-se que este modelo sobrestima largamente a precipitação em diversos

países da Europa (Murphy, 1999). Por sua vez, o HadRM3 tem-se revelado como um modelo com um viés seco em todo o Sul da Europa, enquanto no Norte do continente a representação da precipitação é mais próxima da observada (Hulme, 2002). Deve notar-se que a correcção aplicada aos resultados do HadRM3 não foi utilizada no cálculo de anomalias relativas (percentuais) da precipitação, apresentadas nas secções seguintes, mas é indispensável para a utilização destes dados em modelos sectoriais.

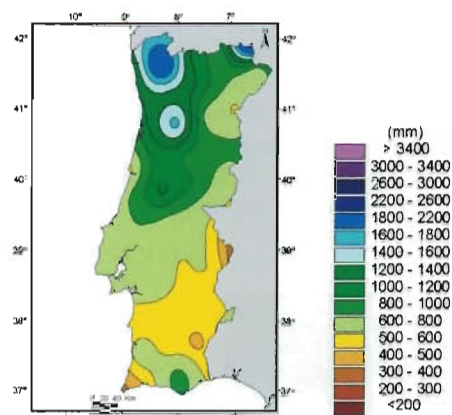


Figura 2.59 - Precipitação média anual no período de controlo do HadRM3 corrigida com observações 1961-1990

Gibelin e Déqué (2003) realizaram uma simulação de controlo com o modelo global ARPEGE-IFS com resolução aumentada na bacia do Mediterrâneo. Este modelo também subestima a precipitação acumulada de Inverno no Sul de Portugal Continental em mais de 90 mm, o que é comparável com os resultados do HadRM3 aqui apresentados. No entanto, a simulação de controlo do ARPEGE-IFS não

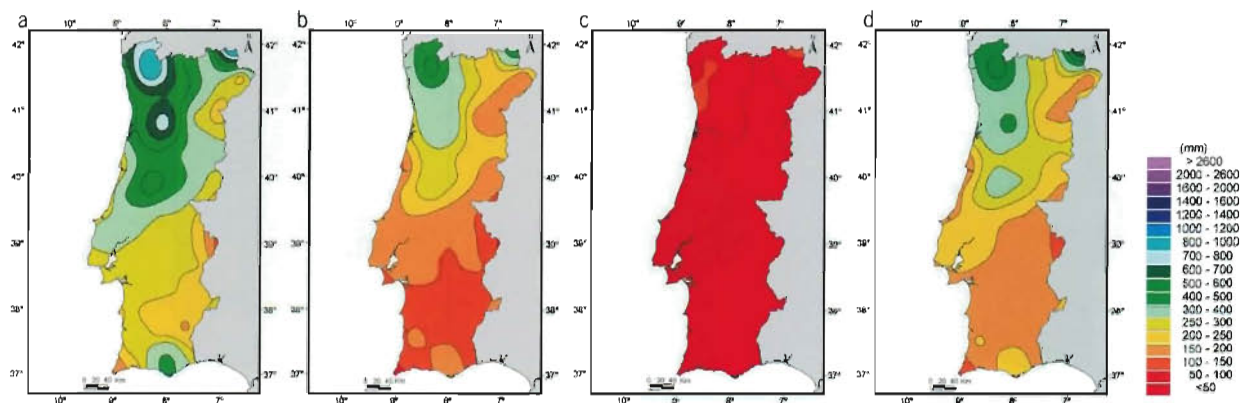


Figura 2.60 - Precipitação média sazonal no período de controlo do HadRM3 corrigida com observações 1961-1990: (a) DJF; (b) MAM; (c) JJA; (d) SON

apresenta um viés positivo na temperatura de Verão tão acentuado como o HadRM3 (Figura 2.62). Note-se que os resultados das simulações do HadRM3, apesar de terem desvios importantes nalgumas variáveis em relação às observações, foram considerados pelo Hadley Centre como aptos a serem usados, com o cuidado necessário (Moberg e Jones, 2003), em estudos de mudança climática.

2.4.3 Cenários de Temperatura

Os modelos globais projectam aumentos substanciais de temperatura e alterações significativas da precipitação, na região portuguesa, até ao fim do século XXI. Nesta secção são apresentados cenários regionais para Portugal Continental tendo por objectivo principal o estudo com mais detalhe espacial das características destas mudanças climáticas projectadas para os próximos 100 anos.

Na Figura 2.61 apresenta-se a temperatura mínima de Inverno nas simulações de controlo e cenários dos modelos HadRM2 (cenário IS92a) e HadRM3 (cenários A2 e B2), bem como a normal climática 1961-1990 observada. Ambas as simulações de controlo (Figura 2.61b,c) conseguem reproduzir satisfatoriamente o campo observado da temperatura mínima de Inverno (Figura 2.61a), com o HadRM3 (Figura 2.61c) a apresentar melhores resultados do que o HadRM2 (Figura 2.61b).

Curiosamente, no cenário IS92a (Figura 2.61d) os valores da temperatura mínima são superiores aos obtidos nos cenários A2 (Figura 2.61e) e B2 (Figura 2.61f). No cenário IS92a, a temperatura mínima em todo o território nacional varia entre os 6 °C (Nordeste Transmontano) e os 18 °C (Algarve). Por sua vez, no cenário A2, a temperatura varia entre os 4 °C e os 14 °C, enquanto no cenário B2 varia entre 2 °C e 12 °C.

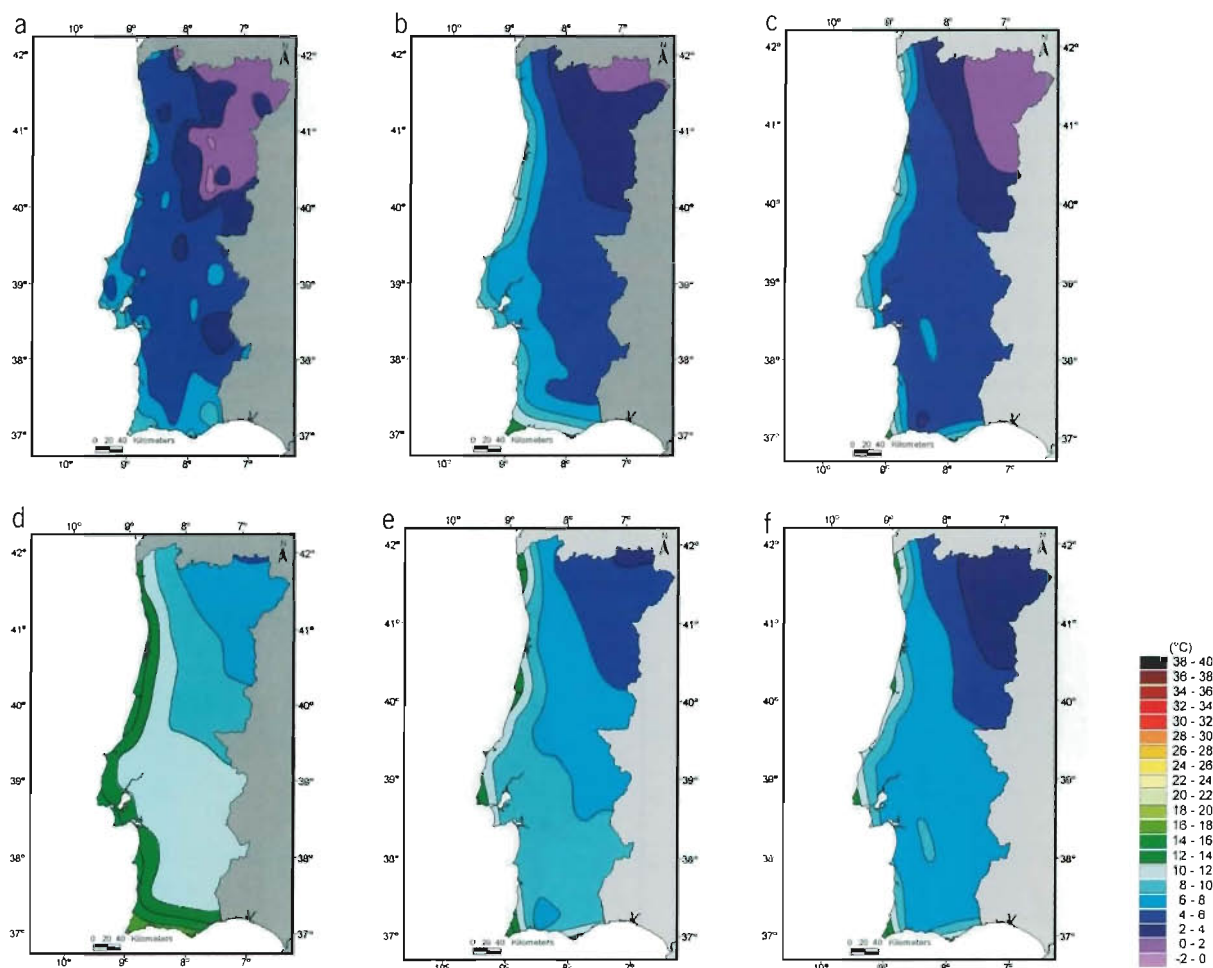


Figura 2.61 – Média da temperatura mínima no Inverno: (a) observações 1961-1990; (b) controlo HadRM2; (c) controlo HadRM3; (d) cenário IS92a HadRM2; (e) cenário A2 HadRM3; (f) cenário B2 HadRM3

Ambas as versões do modelo regional apresentam maiores erros para o campo da temperatura no Verão. A temperatura máxima para esta estação obtida nas simulações de controlo e nos cenários é apresentada na Figura 2.62. Enquanto o modelo HadRM2 (Figura 2.62b) tem um viés para as temperaturas mais frias que ultrapassa 4 °C no Norte do país, o modelo HadRM3 (Figura 2.62c) sobrestima a temperatura máxima nas regiões do Sul e do interior em quase 4 °C. No Sul do país o HadRM2 simula melhor a temperatura máxima de Verão. Foi igualmente verificado que na Primavera e no Outono tanto o HadRM2 como o HadRM3 representam satisfatoriamente o campo da temperatura observada (mapas não apresentados).

Nos cenários IS92a, A2 e B2 a temperatura máxima de Verão sofre um substancial aumento em relação às simulações de controlo, com valores superiores a 30 °C em todo o Continente excepto na faixa litoral. O forte gradiente de

temperatura entre o litoral e o interior (característico da época estival) intensifica-se nos cenários, principalmente no cenário A2, que prevê temperaturas máximas superiores a 38 °C numa vasta região do Alentejo interior e valores superiores a 34 °C no Minho e Trás-os-Montes.

É possível detectar mais claramente o impacto do aumento da concentração dos gases com efeito de estufa analisando as anomalias da temperatura mínima e máxima nos três cenários de emissões. Qualquer dos três cenários projecta um aumento da temperatura mínima e máxima em todas as estações do ano e em qualquer ponto de Portugal Continental. No entanto, é de realçar que os aumentos mais elevados ocorrem de forma consistente no Verão no interior Norte e Centro, e as menores anomalias surgem no Inverno e Primavera. A magnitude das anomalias projectadas pelo HadRM2 é claramente superior à obtida com o HadRM3, mesmo no cenário A2, que tem as maiores emissões dos três cenários

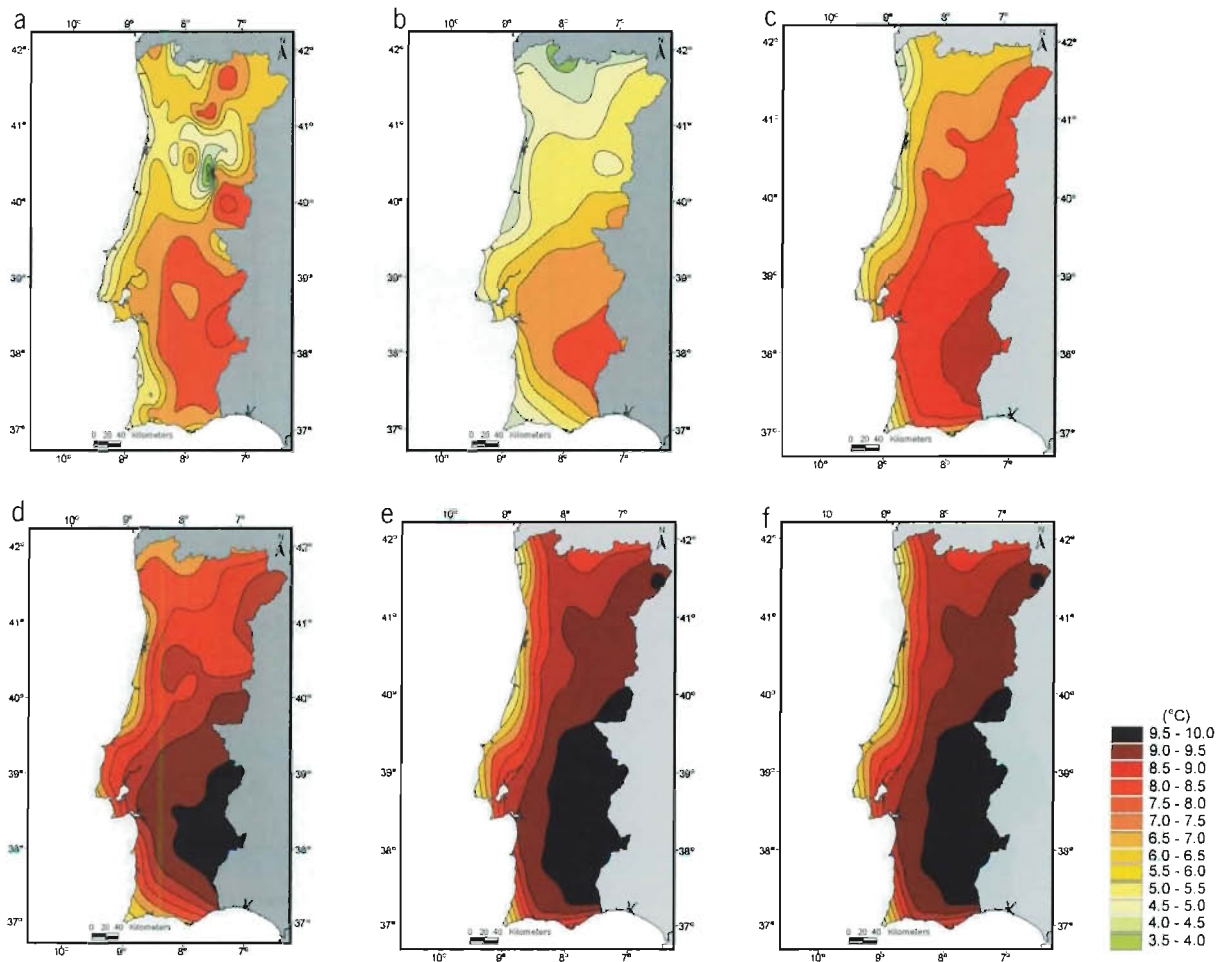


Figura 2.62 – Média da temperatura máxima no Verão: (a) observações 1961-1990; (b) controlo HadRM2; (c) controlo HadRM3; (d) cenário IS92a HadRM2; (e) cenário A2 HadRM3; (f) cenário B2 HadRM3

considerados. Nas Figuras 2.63 e 2.64 apresentam-se, respectivamente, as anomalias da temperatura mínima no Inverno e máxima no Verão.

No caso da temperatura mínima, o modelo HadRM2 projecta com o cenário IS92a aumentos da ordem de 5 °C no Inverno (Figura 2.63a) e 6-7 °C no Verão. Neste cenário, a estação com menor aumento da temperatura mínima é a Primavera (4,5-5 °C). A localização da anomalia máxima depende da estação considerada. Assim, no Inverno, Primavera e Outono, o máximo localiza-se no interior Sul de Portugal Continental, enquanto no Verão se desloca para o interior Norte e Centro.

A configuração do campo da anomalia da temperatura mínima dada pelo HadRM3 nos cenários A2 e B2 tem algumas diferenças em relação à configuração obtida com o HadRM2. No Outono a anomalia máxima situa-se no interior Norte e Centro, o que sugere que o ciclo anual dos dois modelos não é idêntico e que situações de tempo características do Verão se prolongam mais pelo Outono no

HadRM3 do que no HadRM2. Por outro lado, nos cenários A2 e B2 as menores anomalias são projectadas para o Inverno (Figura 2.63b,c, 3 °C no cenário A2 e 1,5 °C no cenário B2). No Verão o aumento projectado nestes cenários varia aproximadamente entre 2,5 e 5,5 °C no cenário A2 e entre 2 e 4,5 °C no cenário B2. Numa estreita faixa da costa ocidental o aumento da temperatura mínima no Verão no cenário A2 é menor do que nas outras estações do ano. Tem-se portanto uma intensificação significativa no Verão do gradiente da temperatura mínima entre o litoral e o interior nos cenários A2 e B2, como acontecia no cenário IS92a. Nas outras estações o gradiente de temperatura é também intensificado, embora bastante menos do que no Verão.

No cenário IS92a a temperatura máxima sofre um grande aumento no Verão (Figura 2.64a), atingindo 9 °C no interior Norte e Centro de Portugal, mas valores bastante menores nas zonas costeiras. No Outono o aquecimento continua a ser muito significativo (da ordem dos 7 °C) e diferenciado do litoral para o interior, localizando-se o máximo nas regiões

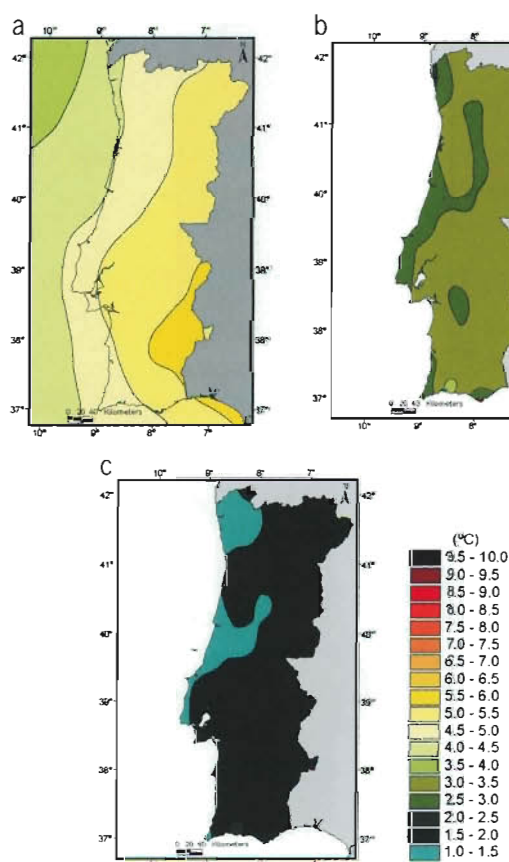


Figura 2.63 - Anomalia da temperatura mínima no Inverno: (a) HadRM2, cenário IS92a; (b) HadRM3, cenário A2; (c) HadRM3, cenário B2

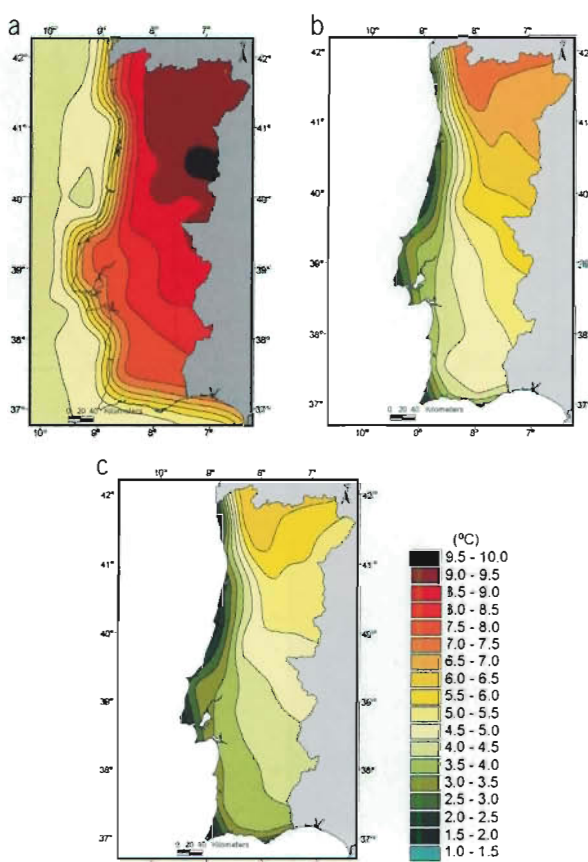


Figura 2.64 - Anomalia da temperatura máxima no Verão: (a) HadRM2, cenário IS92a; (b) HadRM3, cenário A2; (c) HadRM3, cenário B2

interiores. O Inverno apresenta um aumento relativamente uniforme da temperatura máxima no território que ronda os 4 °C, embora seja maior na zona Sul.

Nos cenários A2 e B2 a anomalia da temperatura máxima de Verão (Figura 2.6-b,c) atinge respectivamente 7 °C e 6 °C no Norte do país, valores mais elevados do que a anomalia da temperatura mínima. No Inverno a temperatura máxima sobe 2,5-3,5 °C no cenário A2 e 1,5-2,5 °C no cenário B2. Mais uma vez se verifica que com o HadRM3 no Outono o máximo da anomalia da temperatura máxima se localiza no Norte e Centro interior, encontrando-se a zona com maiores anomalias na Primavera deslocada para norte em relação ao HadRM2, o que reforça a ideia de que o HadRM3 projecta um alargamento temporal mais acentuado da estação mais quente e seca do que o HadRM2. Este facto pode estar relacionado com o viés quente e seco do modelo HadRM3.

Na tentativa de explicar a razão de as anomalias de temperatura obtidas com o HadRM2 (IS92a) serem superiores às do HadRM3, é oportuno relembrar que a simulação do HadRM2 aqui apresentada, ao contrário das corridas efectuadas com o HadRM3, não inclui o efeito dos aerossóis, que tendem a moderar o aquecimento global. Por outro lado, a diferença pode igualmente dever-se às distintas parametrizações aplicadas nos dois modelos.

A anomalia da amplitude térmica (não apresentada) para as simulações discutidas anteriormente foi igualmente analisada. Mais uma vez a simulação do HadRM2 projecta anomalias maiores do que as do HadRM3. No cenário IS92a o Inverno é a única estação em que a amplitude térmica decresce em Portugal Continental no fim do século XXI, diminuição essa que pode dever-se ao aumento da nebulosidade devida à passagem mais frequente de sistemas frontais. Com efeito, os aumentos de nebulosidade afectam mais a

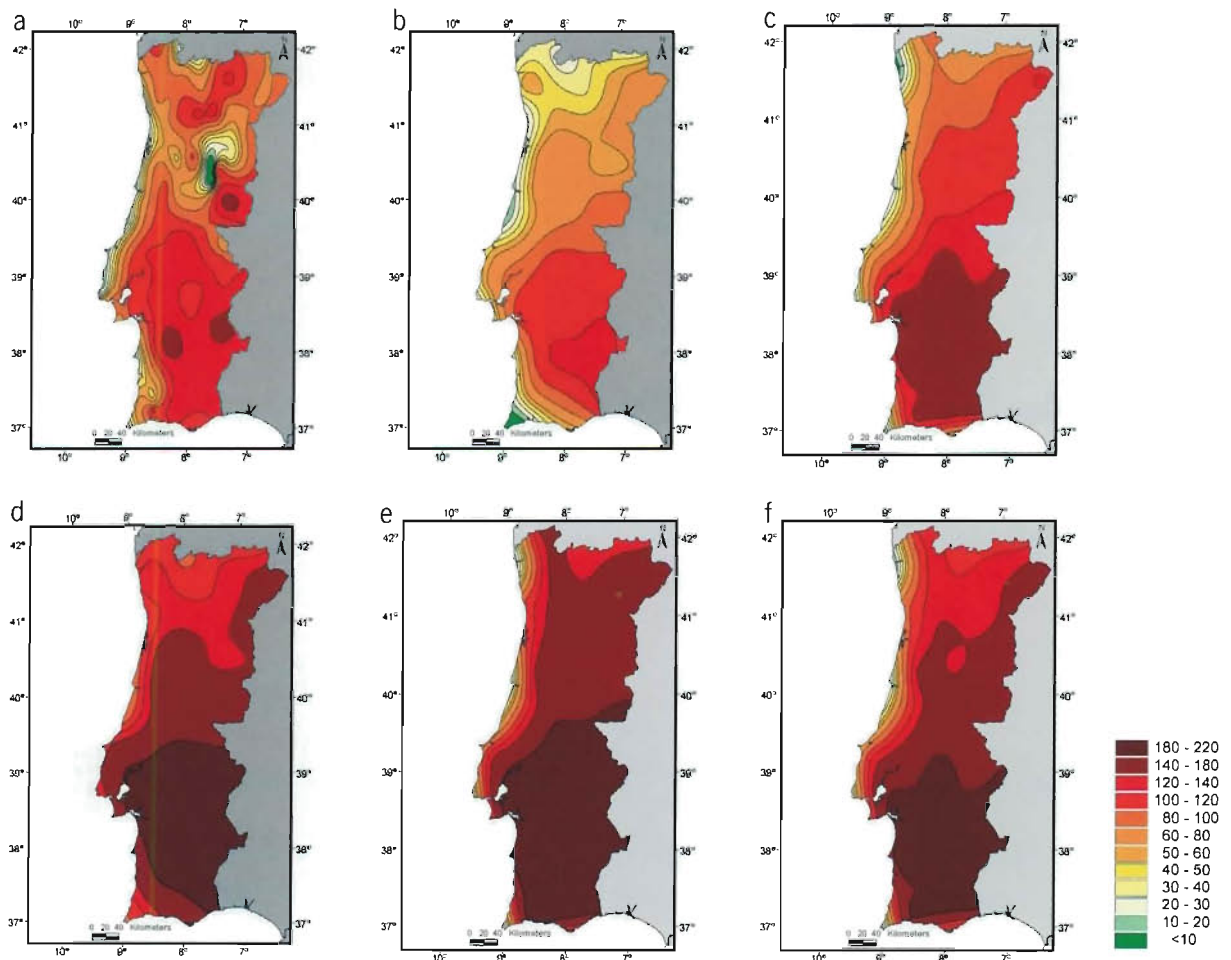


Figura 2.65 – Número de «dias de Verão» por ano: (a) observações 1961-1990; (b) controlo HadRM2; (c) controlo HadRM3; (d) cenário IS92a HadRM2; (e) cenário A2 HadRM3; (f) cenário B2 HadRM3

temperatura mínima do que a temperatura máxima. Nas restantes estações a amplitude térmica cresce devido ao maior aumento da temperatura máxima no cenário IS92a em relação à temperatura mínima. No entanto, este aumento da amplitude térmica entre a Primavera e o Outono não é espacialmente uniforme ao longo de todo o território nacional. Nas zonas costeiras a amplitude térmica varia menos do que no interior, devido ao efeito moderador do oceano. Verifica-se ainda que as anomalias mais elevadas se situam novamente na região interior Norte, que aparece como a mais afectada em termos de temperatura no cenário IS92a.

Ao contrário do que acontece no cenário IS92a, nos cenários A2 e B2 a anomalia da amplitude térmica de Inverno é predominantemente positiva, mas com valores baixos, sendo fracamente negativa no cenário A2 apenas no Norte e litoral do país. Tal comportamento pode indicar que não se verifica um aumento da cobertura nebulosa nos cenários do

HadRM3, com a passagem mais a norte dos sistemas frontais que afectam o estado do tempo no Inverno em Portugal Continental. No cenário A2 as anomalias mais significativas do ciclo anual ocorrem na Primavera no Centro e Sul. O Verão é a estação que tem maior variação da amplitude térmica no cenário B2, com as maiores anomalias localizadas no Norte. Verifica-se, ainda, que os mapas de anomalias no Verão são muito semelhantes nos cenários A2 e B2. No Outono, na faixa costeira, aparecem zonas onde a amplitude térmica decresce nos cenários A2 e B2.

O sinal do aquecimento global é igualmente detectável nas variações que diversos indicadores de temperatura sofrem nos cenários futuros obtidos com os modelos regionais. Na Figura 2.65 apresenta-se o número médio de «dias de Verão» por ano (com temperatura máxima superior a 25 °C) registado na normal observada 1961-1990 e obtido nas simulações de controlo e nos cenários. Os valores observados

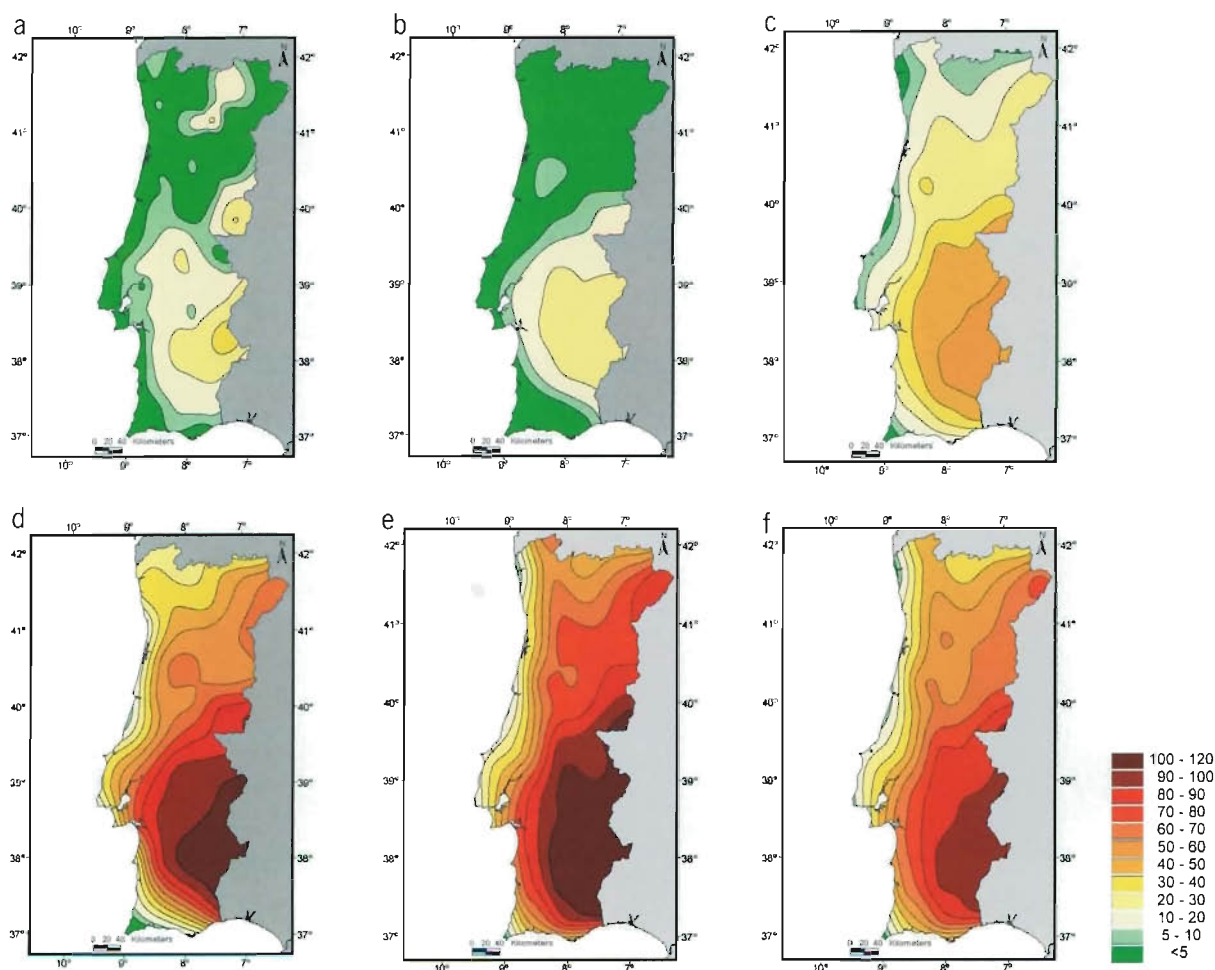


Figura 2.66 – Número de «dias muito quentes» por ano (temperatura superior a 35 °C): (a) observações 1961-1990; (b) controlo HadRM2; (c) controlo HadRM3; (d) cenário IS92a HadRM2; (e) cenário A2 HadRM3; (f) cenário B2 HadRM3

(Figura 2.65a) variam entre 100-140 dias de Verão por ano a sul do Tejo e menos de 10 dias na serra da Estrela. Tal como anteriormente para os campos da temperatura, a simulação de controlo do HadRM2 subestima os valores observados, enquanto o HadRM3 sobrestima claramente este indicador nas regiões interiores e do Sul. Nos cenários IS92a, A2 e B2 o número de dias de Verão aumenta substancialmente em todo o país, sendo superior a 140 dias em quase todo o território e superior a 180 (metade do ano) no Sul de Portugal Continental (Figura 2.65d-f).

Na normal climática 1961-1990 tinha-se já observado que os «dias muito quentes», definidos como tendo a temperatura máxima superior a 35 °C (Figura 2.66a), ocorriam essencialmente no Sul de Portugal, onde se registam entre 10 e 30 dias. A simulação de controlo do HadRM2 dá resultados muito bons (Figura 2.66b) para este indicador, ao contrário da simulação de controlo do HadRM3

(Figura 2.66c) que apresenta uma elevada sobrestimação deste parâmetro.

Para o fim do século XXI, os modelos HadRM2-3 projectam um aumento substancial da frequência de «dias muito quentes». Para o Sul de Portugal Continental os cenários IS92a e A2 são relativamente semelhantes, sendo o interior mais afectado com mais de 100 dias por ano com temperatura máxima acima dos 35 °C. No Norte e Centro do país, os cenários IS92a e B2 são os mais semelhantes, sendo o cenário A2 o que prevê maior frequência de dias muito quentes, com a isolinha dos 60 dias a cobrir praticamente todo o território. Qualquer dos cenários indica que possam vir a ocorrer mais de 10 dias muito quentes por ano em todo o território, excepto na faixa costeira, enquanto na normal de 1961-1990 apenas são observados em média 30 dias muito quentes por ano na zona da Amareleja. Este índice climático aparece como um dos que tem potencialmente mais impacto

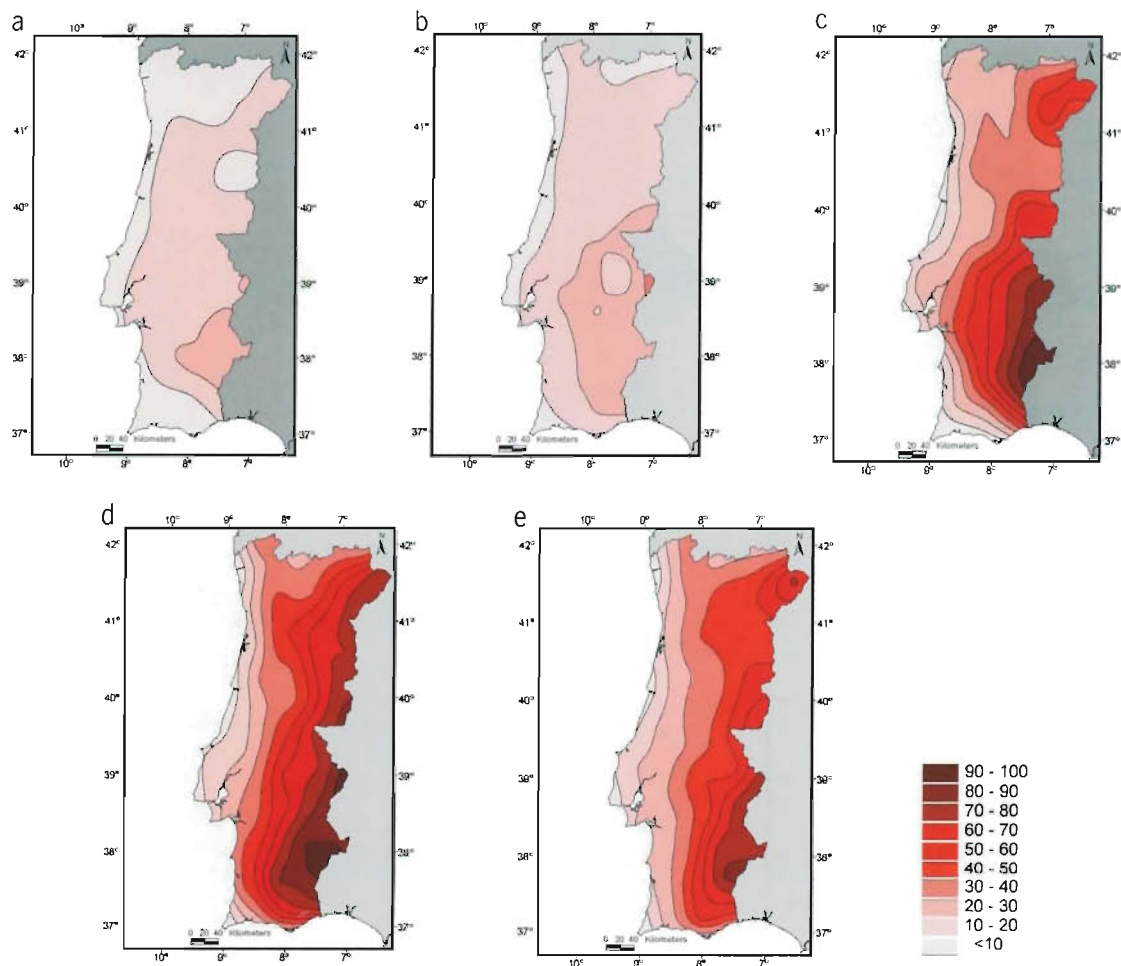


Figura 2.67 Número máximo de dias consecutivos com temperatura máxima superior a 35 °C (dias muito quentes): (a) controlo HadRM2; (b) controlo HadRM3; (c) cenário IS92a HadRM2; (d) cenário A2 HadRM3; (e) cenário B2 HadRM3

na saúde humana, visto que temperaturas acima dos 35 °C podem prejudicar o estado de saúde das populações (Dessai, 2002). O aumento significativo deste indicador nos cenários futuros em Portugal Continental é portanto um dos mais importantes impactos climáticos na região.

A ocorrência de vários dias consecutivos com temperatura máxima acima dos 35 °C constitui uma onda de calor. Este fenómeno ocorre em Portugal Continental principalmente no Verão e está essencialmente ligado a situações sinóticas prolongadas em que se estabelece uma corrente atmosférica do quadrante Leste transportando ar quente e seco sobre o território, proveniente do Norte de África (Garcia-Herrera *et al.*, 2001). Na Figura 2.67 representa-se o número máximo de dias muito quentes consecutivos nos períodos das simulações de controlo e nos períodos cobertos pelas simulações realizadas com os cenários habituais. Este parâmetro não é uma grandeza média, mas um extremo calculado nos perío-

dos considerados. Nas simulações de controlo são observados no máximo 20-30 dias muito quentes consecutivos no interior Sul, tendo a faixa litoral menos de 10 dias consecutivos. Note-se que o HadRM3 simula ondas de calor mais prolongadas do que o HadRM2, o que está em sintonia com a sobrestimação do número de dias muito quentes encontrada na Figura 2.66c.

Nos cenários futuros, obtidos com os modelos HadRM2-3, este índice climático apresenta um gradiente muito forte do interior para a zona litoral com os valores mais elevados a atingirem 70-90 dias consecutivos em toda a região interior do país no cenário A2 e apenas no interior Sul nos cenários IS92a e B2. Na zona litoral os valores mantêm-se abaixo dos 30 dias consecutivos.

O número de noites tropicais por ano, em que a temperatura mínima é superior a 20 °C, encontra-se representado

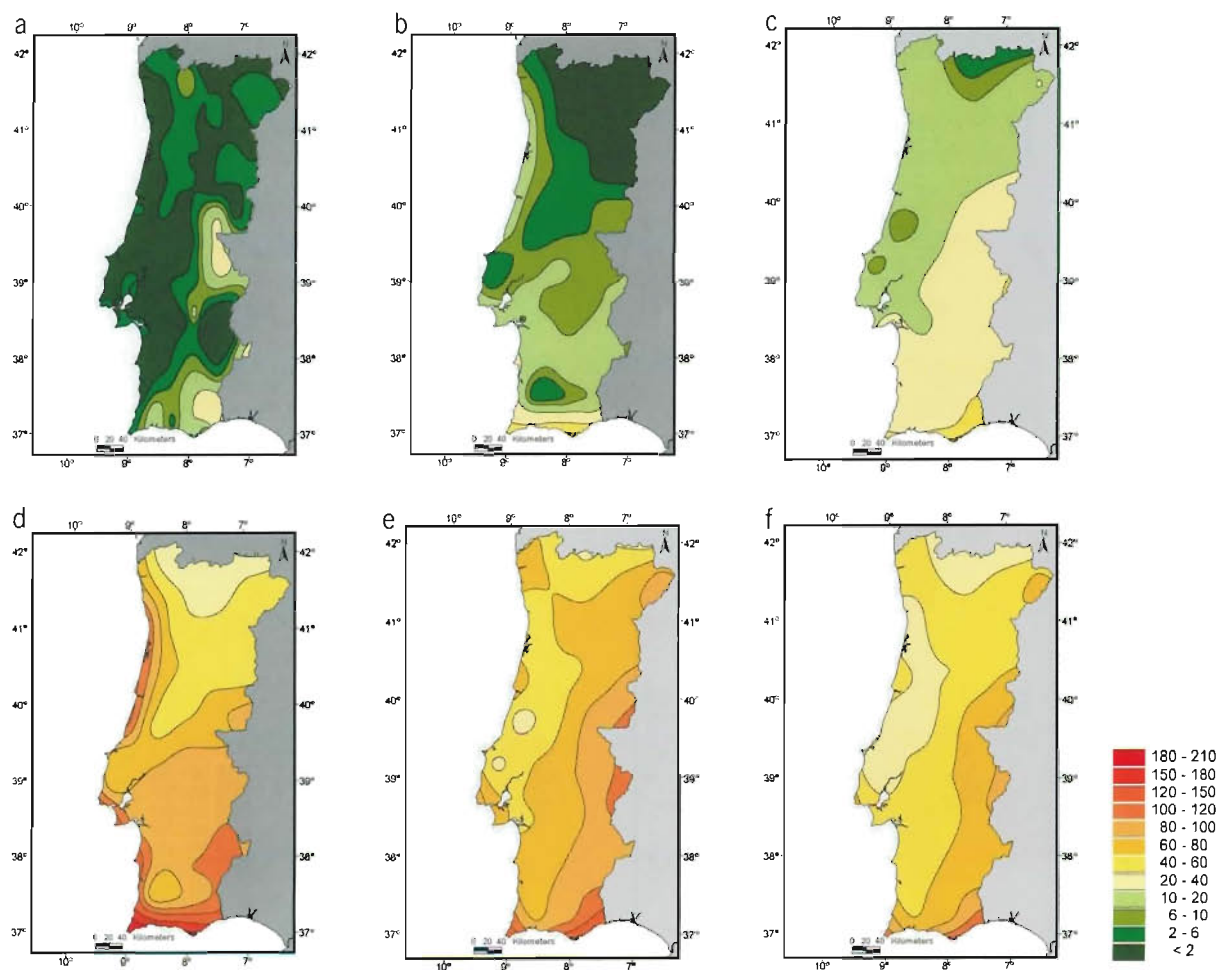


Figura 2.68 - Número de «noites tropicais» por ano: (a) observações 1961-1990; (b) controlo HadRM2; (c) controlo HadRM3; (d) cenário IS92a HadRM2; (e) cenário A2 HadRM3; (f) cenário B2 HadRM3

na Figura 2.68 para a normal 1961-1990, simulações de controlo e cenários. Na normal observada, o número de noites tropicais por ano varia entre menos de duas e cerca de 20, com uma parte significativa do território a apresentar menos de duas noites tropicais por ano. Os valores mais elevados observados situam-se no interior Centro e Sul e na costa algarvia. Tanto o HadRM2 como o HadRM3 não conseguem reproduzir as observações, falhando na distribuição espacial deste parâmetro e no caso do HadRM3 sobrestimando claramente os valores em todo o país. A simulação de controlo do HadRM2 coloca os valores mais elevados junto às zonas costeiras.

Tal como os outros índices de temperatura, o número de noites tropicais por ano aumenta substancialmente nos cenários futuros, passando a variar entre 20 e 180 no cenário IS92a e entre 40 e 120 no cenário A2. Embora este cenário de emissões tenha maior concentração de CO_2 do que os restantes

cenários, origina um menor número de noites tropicais do que o cenário IS92a no Centro e Sul do país, assim como na zona litoral. Estando as noites tropicais muitas vezes associadas a dias muito quentes, o aumento simultâneo destes dois índices contribui para o desconforto que é sentido durante a ocorrência de ondas de calor.

O número de dias de geada, com temperatura mínima inferior a 0°C , é apresentado na Figura 2.69. Na normal observada 1961-1990 ocorreram em média entre 0 e 90 dias de geada por ano, registando-se os valores mais elevados nas zonas montanhosas do interior Norte e Centro. Este campo é relativamente bem simulado tanto pelo HadRM2 como pelo HadRM3, excepto nas zonas de maior altitude como a serra da Estrela.

Nos cenários futuros os dias de geada tendem a desaparecer na maior parte do território, principalmente nas zonas

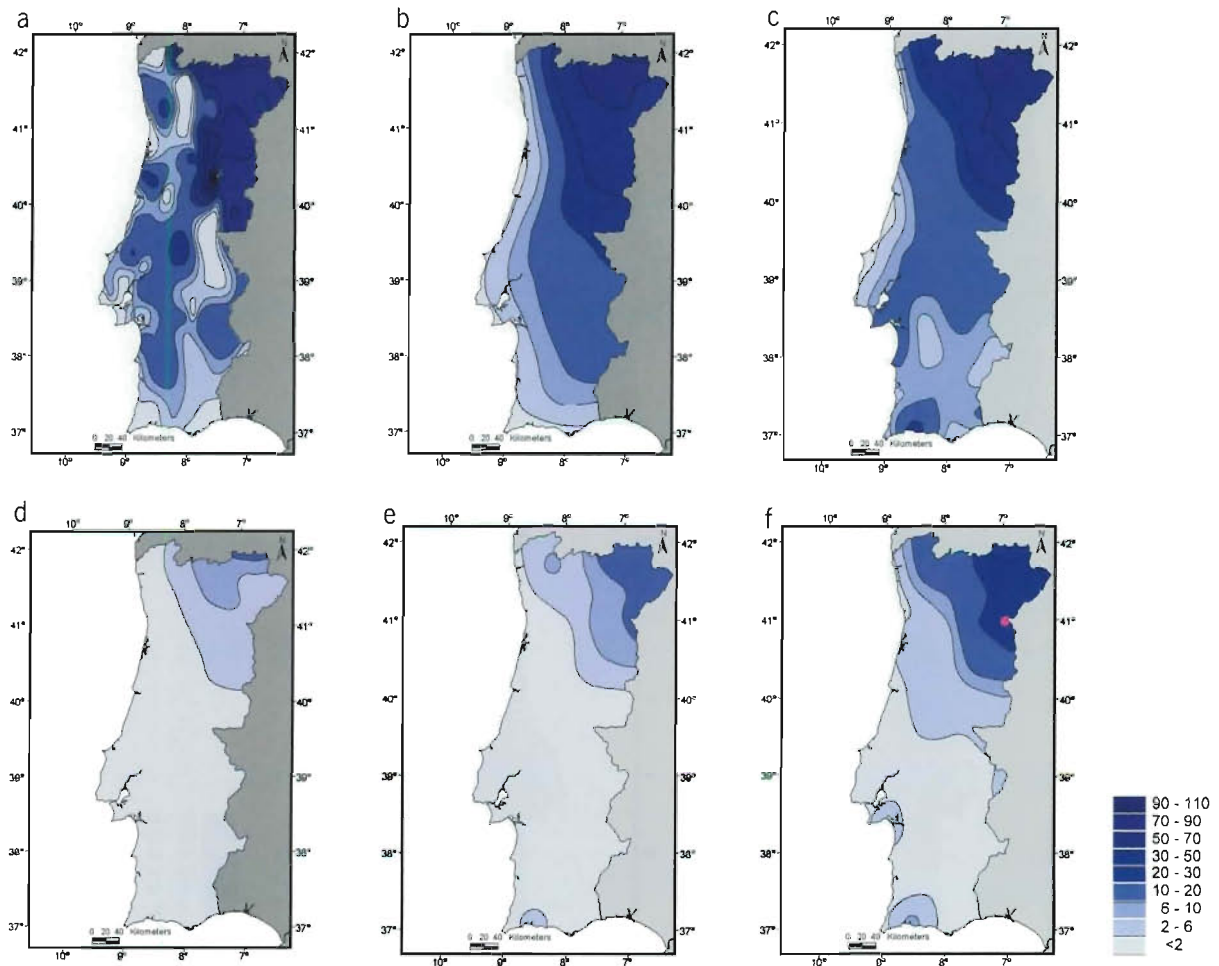


Figura 2.69 – Número de «dias de geada» por ano: (a) observações 1961-1990; (b) controlo HadRM2; (c) controlo HadRM3; (d) cenário IS92a HadRM2; (e) cenário A2 HadRM3; (f) cenário B2 HadRM3

litorais e do Sul. O cenário que, apesar desta diminuição, projecta maior número de dias de geada é o B2, com um máximo inferior a 30 dias na fronteira entre Trás-os-Montes e Espanha. Nos restantes cenários o máximo número de dias de geada é próximo dos 20, sendo o IS92a o cenário que prevê a maior diminuição deste indicador para o fim do século XXI.

Consequentemente, as ondas de frio, com dias de geada consecutivos, tendem a diminuir nos cenários futuros, tal como é representado na Figura 2.70 (número máximo de dias de geada consecutivos). Nas simulações de controlo quase todo o país tem no máximo entre 6 e 28 dias de geada consecutivos, tendo as regiões do litoral menos do que 6 dias. Nos cenários IS92a e A2 este índice de ondas de frio é reduzido para valores inferiores a 10 dias consecutivos, tendo o cenário B2 valores inferiores a 14.

2.4.4 Cenários de Precipitação

Na Figura 2.71a encontra-se representada a precipitação anual dada pelo HadRM3 no cenário A2. Este campo, e também a precipitação no cenário B2 (não apresentada), foram corrigidos, tal como a simulação de controlo do HadRM3 (Figuras 2.58c e 2.59), por forma a remover o viés seco encontrado na simulação de controlo. O factor de correcção mensal aplicado é o mesmo que no caso da simulação de controlo, pelo que se supõe que as relações estatísticas entre a precipitação e os outros parâmetros se mantêm constantes no tempo, embora não seja possível determinar se o factor de correcção deve ser ou não constante ao longo do ano. A precipitação anual corrigida no cenário A2 é apresentada na Figura 2.71b.

A precipitação anual não corrigida no cenário A2 varia entre valores menores do que 200 mm no Sul do país e valores

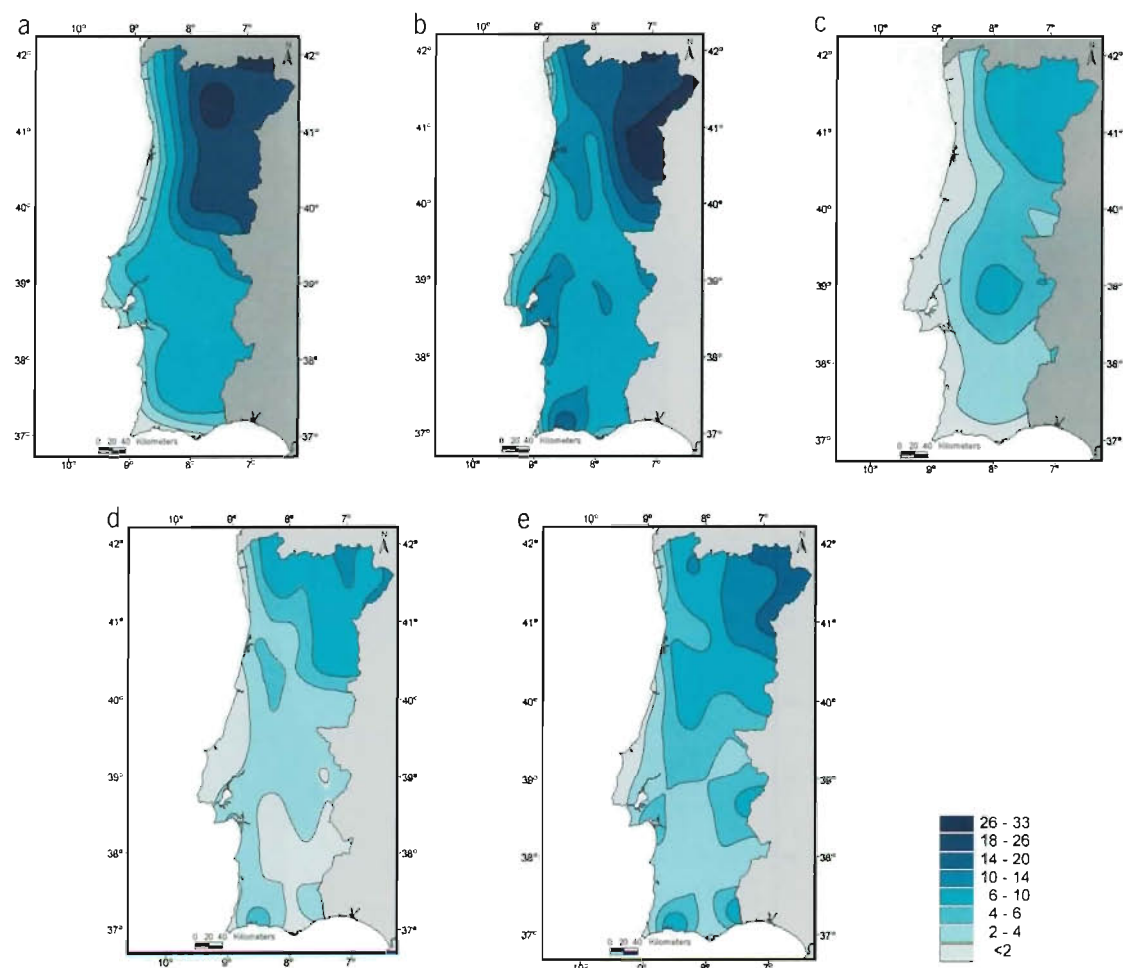


Figura 2.70 Número máximo de dias consecutivos com temperatura mínima inferior a 0 °C (dias de geada): (a) controlo HadRM2; (b) controlo HadRM3; (c) cenário IS92a HadRM2; (d) cenário A2 HadRM3; (e) cenário B2 HadRM3

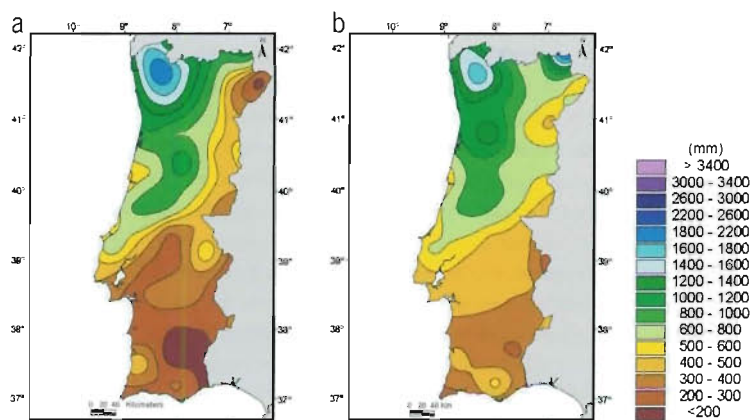


Figura 2.71 - Precipitação média anual no modelo HadRM3: (a) cenário A2; (b) A2 corrigido com observações 1961-1990

superiores a 1800 mm no Minho. Quando a correção é aplicada aos resultados deste cenário a precipitação anual varia entre aproximadamente 300 mm e valores ligeiramente superiores a 1600 mm, enquanto no cenário B2 a variação é entre 300 mm e 1800 mm. Corrigiram-se igualmente as precipitações sazonais obtidas com o HadRM3 para os cenários A2 e B2 (mapas não apresentados).

É possível observar com maior clareza a variação da precipitação entre os períodos de controlo e os cenários futuros calculando as anomalias entre os dois períodos. Nas Figuras 2.72-2.74 são representadas as anomalias relativas da precipitação anual e sazonal, em

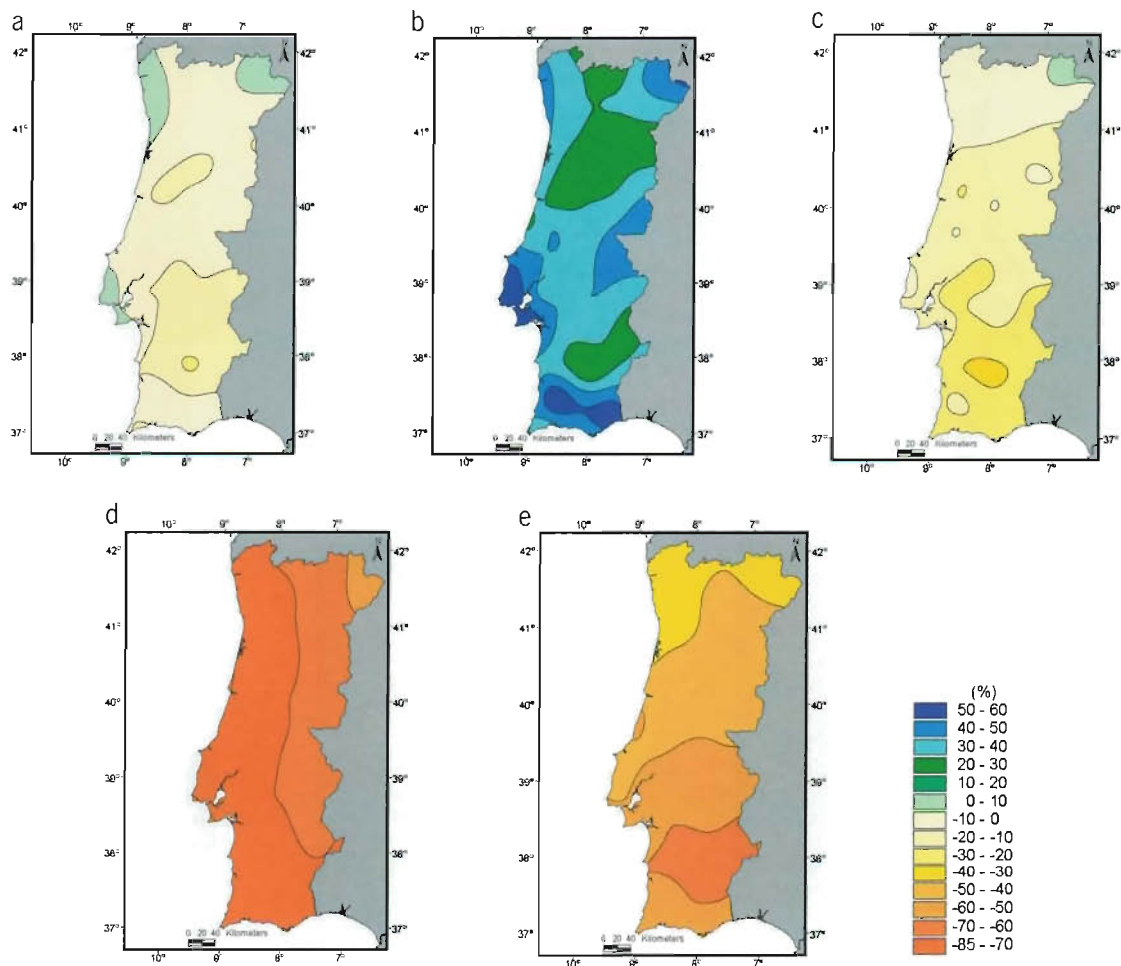


Figura 2.72 - Anomalia da precipitação no modelo HadRM2 (IS92a) em percentagem da simulação de controlo: (a) Anual; (b) Inverno; (c) Primavera; (d) Verão; (e) Outono

relação à precipitação de controlo, para cada um dos cenários IS92a, A2 e B2.

No cenário IS92a (Figura 2.72) a precipitação anual decresce em praticamente todo o país em relação ao período de controlo, excepto junto às zonas litorais do Minho, Douro, Lisboa e Setúbal e no interior transmontano, onde aumenta menos de 10 %. Os maiores decréscimos da precipitação anual localizam-se no Alentejo onde o modelo HadRM2 projecta reduções da ordem de 10-20 %. No entanto, no Inverno as anomalias são positivas em todo o território com valores entre 30 % e 60 %, com o litoral Centro e Sul a ser a região com maior aumento relativo de precipitação. Nas restantes estações do ano a precipitação no cenário futuro decresce, sendo as perdas mais importantes em termos absolutos na Primavera e Outono do que no Verão. Assim, na Primavera, mais uma vez, a região Sul é a que sofre maior perda de precipitação, com valores superiores a 20 %, enquanto no Outono

tudo o território perde mais de 30 % da precipitação, sendo a anomalia maior registada no Baixo Alentejo, com mais de 60 % de decréscimo em relação ao controlo. No Verão a precipitação do cenário IS92a é 70-85 % inferior à do período de controlo. O aumento significativo de precipitação que é projectado para o Inverno compensa, em grande parte, as perdas que ocorrem nas outras estações por forma a que na média anual a perda de precipitação seja relativamente pequena em termos percentuais. Em Miranda *et al.* (2002) verificou-se que o aumento da precipitação de Inverno no cenário IS92a era devido ao aumento da precipitação superior a 10 mm/dia. Neste cenário aumentava não só o número de dias nesta classe de precipitação, como a quantidade de precipitação por dia, o que poderia fazer crescer o número e intensidade dos episódios de cheia no Inverno.

Nos cenários A2 e B2, obtidos com o HadRM3, a situação de Inverno relativamente a mudanças na precipitação é oposta

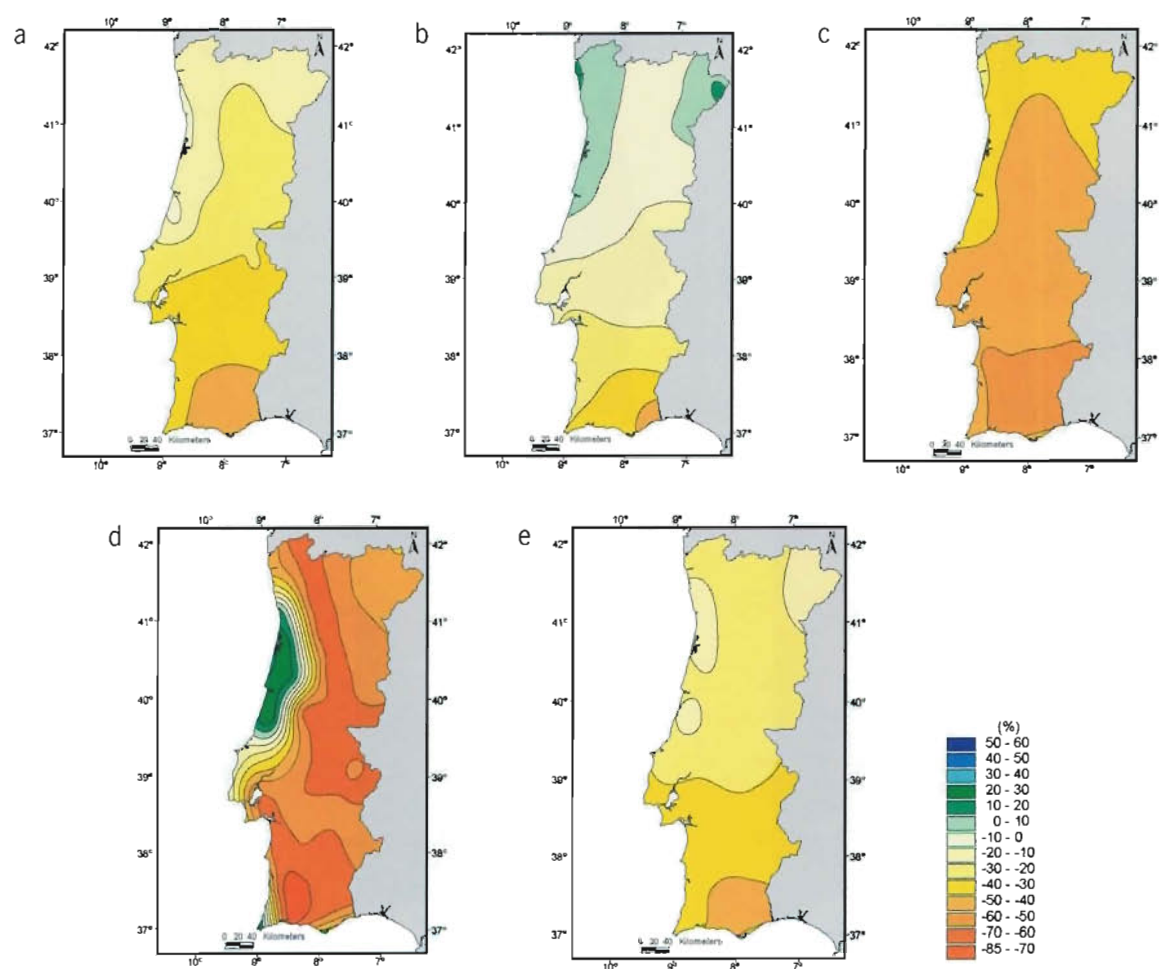


Figura 2.73 Anomalia relativa da precipitação no modelo HadRM3 (A2): (a) Anual; (b) Inverno; (c) Primavera; (d) Verão; (e) Outono

à encontrada no cenário IS92a. Com efeito, no cenário A2 (Figura 2.73) a precipitação de Inverno no fim do século XXI é inferior à precipitação de controlo em praticamente todo o país, com decréscimos que variam entre 0 % na região Norte e Centro e cerca de 40 % no Algarve. Apenas no litoral Norte e Centro e no interior transmontano é projectado um ligeiro aumento da precipitação de Inverno que não ultrapassa 10 %. Também no cenário B2 (Figura 2.74) o Inverno perde precipitação em todo o território, sendo o decréscimo pequeno no Norte e Centro, e superior a 20 % no Sul.

Os cenários climáticos para Portugal Continental obtidos com o HadRM3 não vão, portanto, no sentido do aumento de episódios de precipitação extrema nos Invernos do fim do século XXI. Contudo, as anomalias de precipitação obtidas com o HadCM3, modelo global a que está acoplado o HadRM3, para os mesmos cenários de emissões (Figura 2.56), indicam um aumento da quantidade de precipita-

ção em Portugal Continental no Inverno, especialmente no cenário B2. Esta discrepância pode significar que o viés seco do HadRM3 em 2070-2100 é maior do que no período de controlo.

Na Primavera e Outono os cenários A2 e B2 apresentam perdas acentuadas da quantidade de precipitação, que são mais elevadas na Primavera (ao contrário do cenário IS92a) variando entre -30 e -60 % no cenário A2 e entre cerca de -10 e -35 % no cenário B2. No Outono a anomalia negativa da precipitação situa-se entre -20 % e pouco mais de -40 % no cenário A2, diminuindo para percentagens inferiores a -30 % no cenário B2. Nestas duas estações de transição as perdas mais acentuadas de precipitação ocorrem novamente no Sul do país. Embora seja para o Verão que o HadRM3 projecta as maiores perdas percentuais de precipitação (tal como se verificava no cenário IS92a), prevê-se em ambos os cenários A2 e B2, um aumento de precipitação de Verão

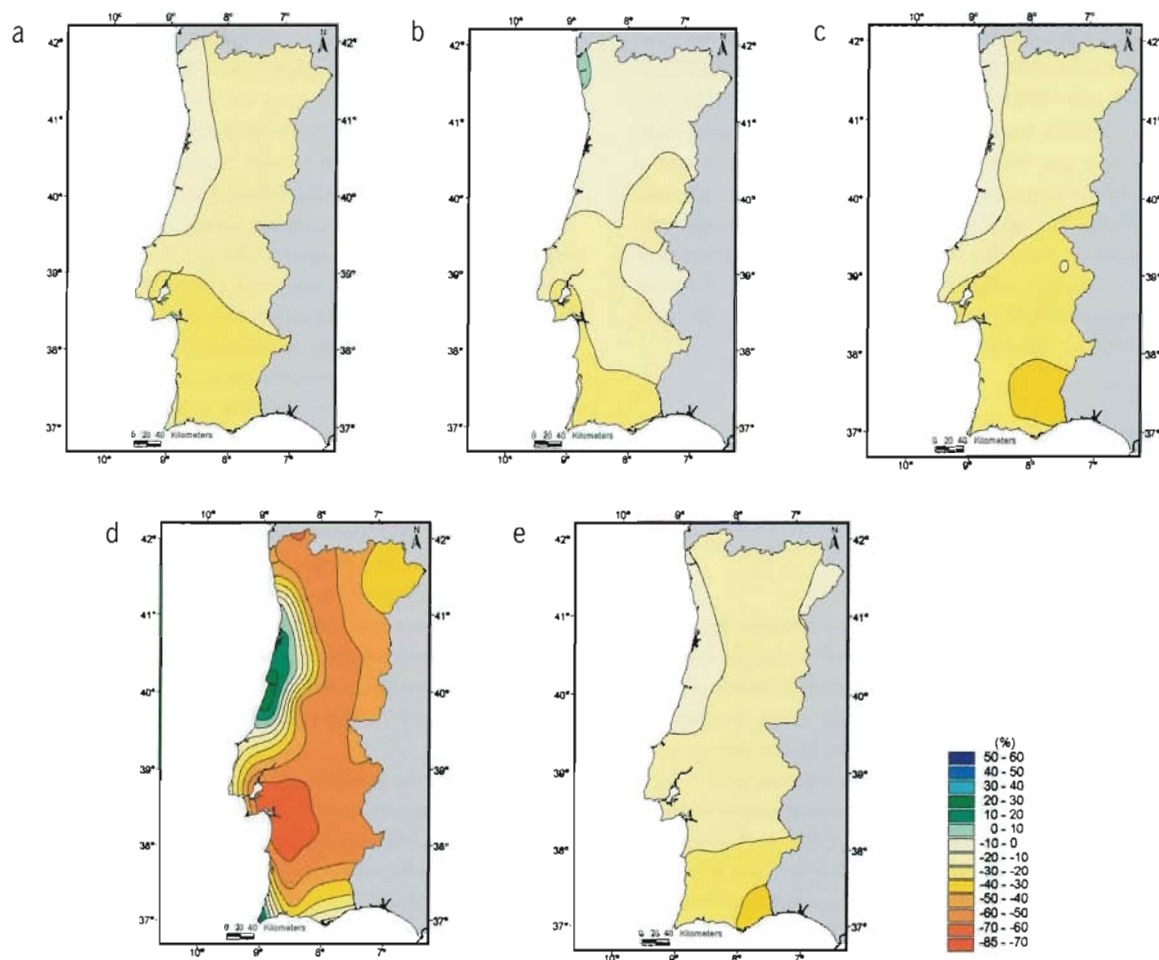


Figura 2.74 - Anomalia da precipitação no modelo HadRM3 (B2) em percentagem da simulação de controlo: (a) Anual; (b) Inverno; (c) Primavera; (d) Verão; (e) Outono

no litoral Centro, atingindo os +30 % no cenário A2. Em consonância com esta distribuição da anomalia de precipitação, na Figura 2.56 verifica-se a existência no Verão de uma região oceânica entre a costa Sudoeste de Portugal Continental e a Madeira com forte aumento de precipitação nas simulações do HadCM3.

No cômputo anual, os cenários climáticos obtidos com o HadRM3 indicam uma diminuição da precipitação no fim do século XXI que é mais significativa no cenário A2, sendo superior a 30 % no Sul do país, com o Algarve a perder mais de 40 % da precipitação, e variando entre 10 e 30 % no Norte e Centro. No cenário B2 a diminuição em percentagem da precipitação anual é mais uniforme, com as anomalias a variarem entre pouco menos de -10 % e -30 %, encontrando-se as maiores perdas no Sul de Portugal Continental.

A diferença substancial entre os cenários de precipitação obtidos com o HadRM2 (cenário IS92a) e os cenários obtidos com o HadRM3 (A2 e B2) evidencia a grande incerteza associada a projecções futuras de precipitação. Um dos problemas dos cenários de precipitação obtidos com o HadRM3 consiste na coincidência espacial entre a localização das maiores anomalias negativas de precipitação e a região onde o modelo tem um viés seco maior. Pode acontecer que o modelo esteja a amplificar a perda de precipitação de uma forma espúria, na região onde já tem défice de precipitação na simulação de controlo. Por outro lado, é igualmente possível que o aumento substancial de precipitação no Inverno obtido com o HadRM2 seja também um fenómeno de realimentação de um viés húmido.

2.5 CENÁRIOS DE MUDANÇA CLIMÁTICA NAS ILHAS

2.5.1 Modelo CIELO

A determinação de campos climáticos, de temperatura e precipitação, em ilhas montanhosas, como é o caso da Madeira e dos Açores, apresenta dificuldades, mesmo quando se trata de utilizar dados observados. A grande variação daquelas variáveis com a altitude, com as características das encostas e sua posição em relação ao vento dominante, não é facilmente reproduzível mesmo por sofisticados sistemas de informação geográfica, sendo os resultados muito dependentes das opções tomadas nesses sistemas. Acresce que a rede de observações é sempre muito pouco densa, especialmente em face da variabilidade topográfica das ilhas.

Azevedo (1996) e Azevedo *et al.* (1999) desenvolveram um modelo físico simples para efectuar a regionalização de obser-

vações em ilhas montanhosas. O modelo CIELO (Clima Insular à Escala LOcal) foi inicialmente desenvolvido num sistema de informação geográfica, calibrado e validado com dados observados na ilha Terceira, nos Açores. Esses dados incluíram observações disponíveis na rede climatológica e uma campanha de observações em pontos altos, efectuada especificamente para esse fim. No âmbito do presente trabalho, o modelo foi reescrito, tornado independente do sistema de informação geográfica e adaptado para sua utilização nas ilhas Terceira, S. Miguel e Madeira.

O CIELO é um modelo estacionário simples, que estima a transformação sofrida por uma massa de ar no seu percurso sobre uma montanha, calculando a variação da sua temperatura e humidade e a precipitação por ela produzida. Essencialmente, o modelo utiliza os valores da temperatura, da pressão, da precipitação e do vento, observados numa estação de referência, perto do nível do mar. Esses valores, após correcção altimétrica, são tomados como representativos do estado termodinâmico de uma partícula de ar sobre o oceano, que se admite encontrar-se quase saturada. O modelo pretende estimar unicamente médias climatológicas à escala mensal, podendo utilizar, quer valores diários de observação, quer valores mensais, necessitando neste caso de uma distribuição do vento por rumos, incluindo a frequência e a velocidade média de cada rumo. Assim, para cada rumo, o modelo calcula a evolução do estado termodinâmico de uma parcela de ar que segue ao longo da encosta, paralela à superfície, calculando, em cada ponto, a temperatura, a humidade específica e a água líquida condensada. O modelo admite que parte da água condensada (representada pelo factor α) é directamente convertida em água de chuva, sendo a restante transportada na parcela, e ainda que a precipitação total da coluna de ar é proporcional ao produto da precipitação na estação de referência pela água de chuva da parcela e pela velocidade do vento, sendo a constante de proporcionalidade β . Existem, assim, no modelo CIELO dois parâmetros livres (α e β) que podem ser ajustados de forma a aproximar a precipitação observada numa rede de estações. É possível mostrar que, em boa aproximação, o parâmetro α controla a assimetria do processo de precipitação enquanto que o parâmetro β controla a eficiência do mecanismo de reforço orográfico da precipitação.

O processo físico representado no modelo CIELO é um processo termodinâmico bem conhecido. A subida da parcela de ar ao longo da encosta a barlavento origina arrefecimento, que se traduz em condensação. Se ocorrer precipitação, o processo na encosta a sotavento não vai ser simétrico do da encosta a barlavento, pois a água condensada já não se encontra na parcela para evaporar, visto ter precipitado. Em consequência, a precipitação vai ser assimétrica, afectando mais a encosta a barlavento. Do mesmo modo a tempera-

tura vai ser igualmente assimétrica, com valores mais baixos a barlavento e mais altos a sotavento. Quando o vento sopra predominantemente numa dada direcção, a assimetria vai aparecer muito claramente no clima da ilha, como é o caso muito evidente da ilha da Madeira.

O modelo CIELO é, pois, extremamente simples, mas fisicamente bem condicionado. Por um lado, ele não considera as múltiplas complicações da circulação atmosférica em torno de uma montanha, admitindo a situação irrealista de que o ar se desloca mantendo o seu rumo e uma distância constante à superfície. Por outro lado, o modelo não pretende descrever a complexidade termodinâmica de uma nuvem orográfica, possivelmente dependente da estabilidade atmosférica de larga escala e da distribuição vertical de diversas variáveis, admitindo que a disponibilidade de água dessa coluna pode ser calculada a partir de valores pontuais de precipitação na estação de referência e da temperatura e humidade na parcela transportada. Apesar disso, os resultados que se apresentam de seguida mostram que é possível obter campos de precipitação com boa correlação com as observações. O modelo pode incluir elementos adicionais que tenham em conta alguns aspectos não considerados anteriormente. Pode, por exemplo, admitir-se que a precipitação produzida numa dada coluna demora algum tempo a atingir a superfície, sendo transportada horizontalmente durante a descida. Por outro lado, o movimento de uma parcela de ar junto da superfície não é exactamente representativo do movimento que ocorre ao nível das nuvens orográficas, sendo de esperar que a esse nível o escoamento seja afectado pela topografia da área envolvente e não só do ponto de grelha subjacente. Por esta razão, utilizar-se-á nas simulações uma versão suavizada da orografia.

No restante desta secção, vai-se proceder a um exercício de validação do modelo nas três ilhas em estudo, usando observações registadas em vários postos udométricos, bem como em estações do Instituto de Meteorologia. Posteriormente, utilizar-se-á o modelo CIELO, usando como valores de entrada séries de dados mensais do HadCM3, extraídas para o ponto de grelha mais próximo das ilhas Terceira, S. Miguel e Madeira. Tomou-se para período de controlo a série de dados do cenário B2 relativa a 1961-1990, com o objectivo de comparar as observações regionalizadas com os campos correspondentes produzidos a partir de valores do modelo HadCM3. Finalmente, repetir-se-á o processo de regionalização com os cenários A2 e B2 em 2070-2099.

2.5.1.1 Validação do Modelo CIELO na Ilha Terceira

Para avaliar o desempenho do modelo CIELO, compararam-se os resultados do modelo obtidos com dados

de entrada constituídos por observações nas estações de Angra do Heroísmo e do Aeroporto das Lajes, no período 1980-1994, com os valores observados nas estações existentes na ilha para as quais está assinalado o nome na Figura 2.28. Este estudo apenas pôde ser feito para a precipitação, visto que só para esta variável se dispunha de uma razoável rede de observações. Assim, foram realizadas simulações utilizando dados mensais e diários em cada uma das estações de referência, com uma orografia de alta resolução (100×100 m) e com uma orografia suavizada, também a 100×100 m mas filtrada com uma média móvel de 15×15 pontos. O desempenho de cada simulação foi verificado no que se refere à distribuição dos coeficientes de correlação e dos declives das rectas de regressão (apresentados na Tabela 2.3 apenas para a simulação efectuada com a orografia suavizada e dados mensais em Angra) e à comparação com a climatologia do IM (Figura 2.30). Verificou-se que os resultados médios, nas estações, são pouco sensíveis a estas alterações de parâmetros, apesar de se notarem alterações pontuais dos valores, especialmente nos pontos altos. Em resultado da comparação exaustiva realizada, optou-se por

Tabela 2.3 – Validação do modelo CIELO na ilha Terceira

Modelo Cielo (orografia suavizada 15 pontos)		Mensal Angra	
Altitudes (m)	Estações	Parâmetros	
		B	r
160	Agualva	0,71	0,85
130	Altares	0,81	0,73
400	Cabrito	0,81	0,90
520	Carvão	0,83	0,82
370	Cinco Picos	0,96	0,89
335	Fajãs	0,81	0,88
550	Pico da Bagacina	0,83	0,89
200	Santa Bárbara	1,34	0,87
110	São Bartolomeu	1,00	0,96
85	Serreta	0,90	0,81
150	São Sebastião	1,02	0,91
53	Aeroporto	0,90	0,90
74	Angra do Heroísmo	1,00	1,00
Valores médios		0,92	0,88

B = declive da regressão linear

$P_{Mod} = B \times P_{Obs}$

r = correlação entre os dados

escolher a orografia suavizada e a meteorologia mensal em Angra para efeitos de análise neste trabalho. Deve salientar-se que quando se passa ao cálculo de anomalias em cenários futuros não existe diferença significativa entre as várias opções no modelo CIELO.

Na Tabela 2.3 apresentam-se as estações utilizadas, a sua altitude, e os parâmetros determinados com base na análise acima descrita. É possível verificar que quer os valores do declive da recta de regressão, quer os valores da correlação, se aproximam bastante de 1, demonstrando o bom desempenho do modelo CIELO para a aplicação considerada. Estes resultados foram obtidos com os parâmetros α e β calculados por Azevedo (1996).

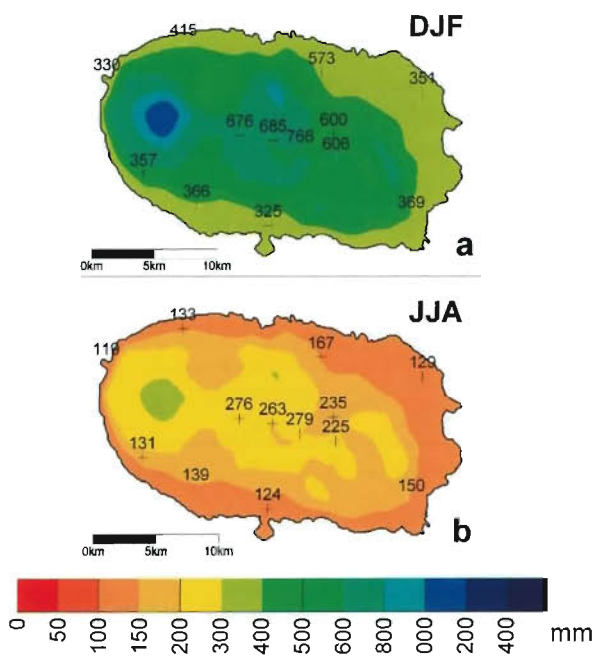


Figura 2.75 - Precipitação sazonal acumulada simulada pelo modelo CIELO com base em dados mensais (1980-1994) observados em Angra do Heroísmo: (a) Período de Inverno, DJF; (b) Período de Verão, JJA

Os mapas da precipitação acumulada nos períodos de Inverno (DJF) e de Verão (JJA) são apresentados na Figura 2.75, juntamente com os valores médios de precipitação acumulada observados em cada posto, nos períodos correspondentes. Os resultados indicam uma concordância satisfatória, como seria de esperar em face dos valores estatísticos já apresentados. Os resultados obtidos permitem concluir que o modelo CIELO reproduz as principais características da distribuição da precipitação média sazonal, em estações com diferente altitude e localização.

2.5.1.2 Teste do Modelo CIELO na Ilha de São Miguel

Na construção de cenários climáticos para a ilha de S. Miguel recorreu-se aos parâmetros α e β utilizados na ilha Terceira, visto tratar-se de ilhas com clima muito semelhante. O conjunto de dados observacionais que serviram de base à validação do modelo, e que foram obtidos nas estações e postos para os quais se assinalou o nome na Figura 2.18, abrangeram o período 1973-1994. Nesta validação, utilizaram-se os dados mensais da estação da Nordela como dados de entrada.

Uma análise estatística dos resultados obtidos para S. Miguel traduz-se num desempenho comparável ao obtido na Terceira, apesar de não se terem ajustado os parâmetros do modelo especificamente para esta ilha. A correlação média obtida entre valores mensais observados e simulados foi de 83 % e a média dos declives da recta de regressão é igual a 1,0. Na Figura 2.76 apresentam-se os mapas da precipitação acumulada em DJF e JJA obtidos com o modelo CIELO. As semelhanças entre estes mapas e os da climatologia 1961-1990 (Figura 2.20b,c) são notórios, pelo que se considerou o CIELO como validado para S. Miguel.

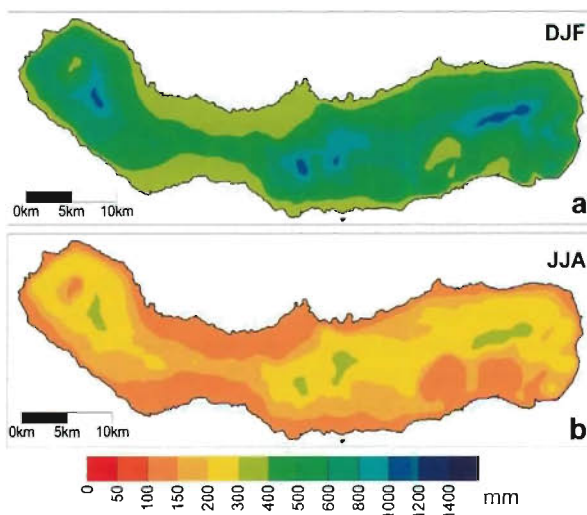


Figura 2.76 - Precipitação sazonal acumulada em S. Miguel, obtida na simulação com dados mensais (1973-1994) observados na Nordela: (a) Período de Inverno, DJF, (b) Período de Verão, JJA

2.5.1.3 Calibração do Modelo CIELO na Ilha da Madeira

Na ilha da Madeira os dados observacionais utilizados para calibrar e validar o modelo CIELO correspondem ao período 1980-1994 e foram obtidos nas estações para as

quais está indicado o nome na Figura 2.35. Como dados de entrada no modelo utilizaram-se dados mensais da estação de Porto Santo.

No caso da ilha da Madeira, foi necessário proceder ao ajuste dos parâmetros α e β devido à necessidade de produzir padrões de precipitação com uma importante assimetria Norte-Sul, aparentemente bem suportada pelas observações (Figura 2.37). Para tal foi desenvolvida uma metodologia que permitiu calcular os valores de α e β que minimizavam os desvios quadráticos entre a precipitação mensal observada e simulada nas estações. Com este procedimento, a correlação média entre a precipitação observada e modelada pelo CIELO é de 77 % e a média dos declives 0.88. Ressalte-se no entanto que, no caso da precipitação da Madeira, os declives das rectas de regressão apresentam uma variabilidade espacial superior à encontrada em S. Miguel e na Terceira. Como na Madeira estavam disponíveis dados mensais de temperatura máxima e mínima nas diversas estações, foi possível verificar que para estas variáveis o CIELO dá correlações muito elevadas (próximas de 90 %) e declives praticamente iguais a 1.0.

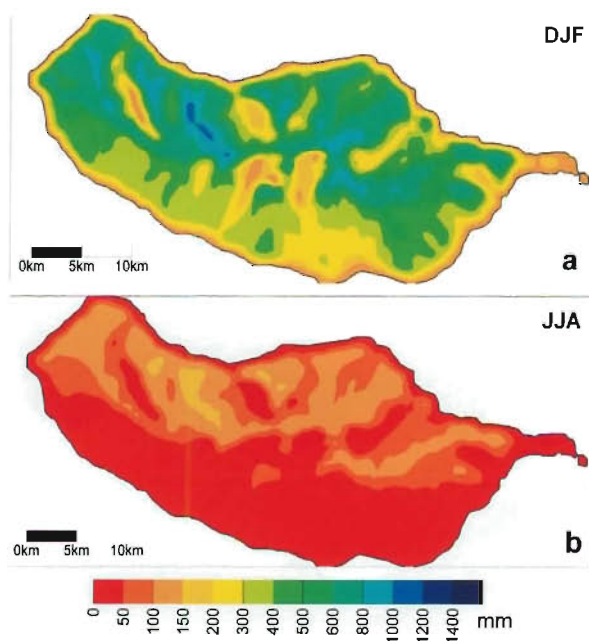


Figura 2.77 – Precipitação sazonal acumulada na Madeira, simulada com base em dados mensais (1980-1994) observados no Porto Santo: (a) Período de Inverno, DJF; (b) Período de Verão, JJA

Na Figura 2.77 apresentam-se os mapas da precipitação sazonal na Madeira (DJF e JJA) obtidos com o modelo CIELO. É bem visível em ambos os mapas uma assimetria Norte-Sul no campo da precipitação. Esta assimetria é mais acentuada

ada do que a encontrada nos mapas da climatologia (Figura 2.37b, c) verificando-se igualmente valores de precipitação muito baixos nos vales do interior da ilha. No entanto, deve notar-se que a climatologia poderá não fazer justiça à distribuição da precipitação, devido à falta de pontos de observação. Por outro lado, o ajuste de parâmetros do modelo CIELO foi limitado aos poucos pontos de observação disponíveis, localizados na zona costeira e em alguns pontos altos, sem informação sobre as encostas e os vales.

2.6 CENÁRIOS CLIMÁTICOS NOS AÇORES

2.6.1 Comparação entre as Normais Climáticas e os Cenários de Controlo

Terceira

Os mapas da precipitação média anual obtidos com as observações como dados de entrada, e os mapas produzidos com a simulação de controlo do HadCM3 (Figura 2.78), permitem uma comparação qualitativa entre os dois conjuntos de resultados, que pode ser utilizada para aferir a validade da metodologia de regionalização aqui desenvolvida. De facto, utilizando como entrada os dados de controlo do HadCM3, obtém-se um gradiente no campo da precipitação anual (Figura 2.78b), entre a base e o topo da ilha, mais acentuado que na simulação efectuada com os dados das observações

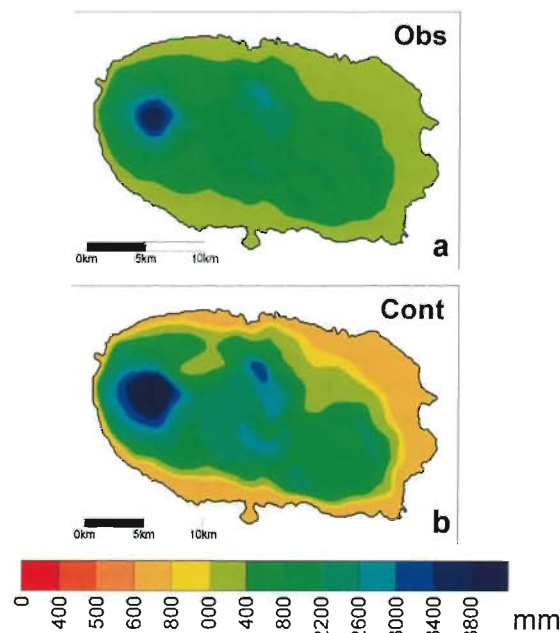


Figura 2.78 – Precipitação anual simulada pelo CIELO na Terceira a partir de: (a) dados observacionais mensais em Angra (1980-1994); (b) dados mensais de controlo do HadCM3 (1961-1990)

(Figura 2.78a). Note-se ainda que a distribuição da precipitação da Figura 2.78a é mais próxima da precipitação anual da normal 1961-1990 (tal como é interpolada pelo sistema de informação geográfica na Figura 2.30a) que a distribuição representada na Figura 2.78b.

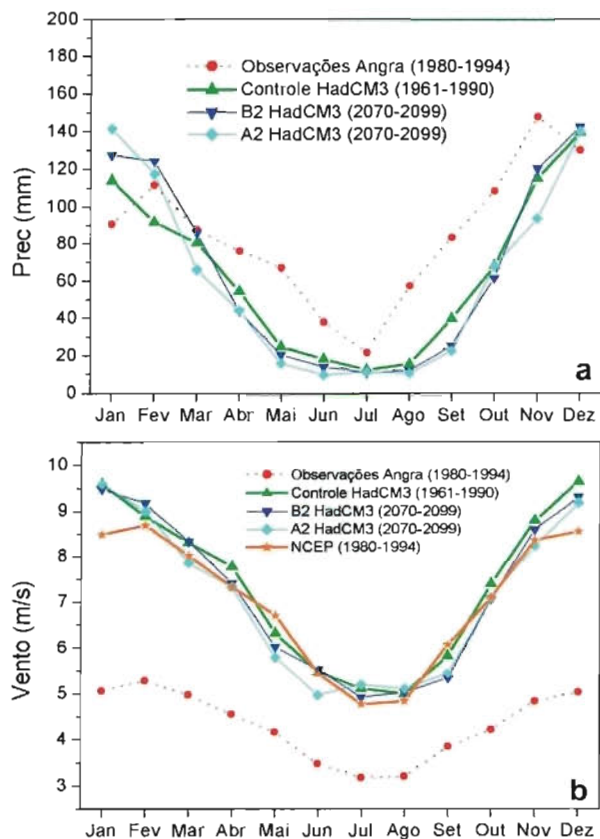


Figura 2.79 – Ciclo anual médio (a) da precipitação e (b) da intensidade do vento, na ilha Terceira dado pelas observações em Angra, pelas simulações de controlo e de cenários do HadCM3 e pelos dados do NCEP

Uma análise do ciclo médio anual das variáveis de entrada, relativo aos dados observacionais da estação de referência e relativo aos dados do HadCM3, permite concluir que a diferença entre as duas distribuições de precipitação anual representadas na Figura 2.78 tem origem num défice de precipitação, conjugado com um excesso de intensidade do vento, detectado nos dados do HadCM3 (1961-1990) relativamente aos valores observados (Figura 2.79). Assim, admitiu-se que os dados do HadCM3 para o período futuro seriam afectados pelo mesmo efeito, sendo necessário ter em conta esse fenómeno na análise dos cenários obtidos. Na realidade, o ponto de grelha do HadCM3 escolhido para forçar o CIELO localiza-se sobre o oceano, onde o efeito do atrito é menor do que sobre terra, o que explica os maiores

valores da intensidade do vento no HadCM3. Nos processos de precipitação orográfica modelados pelo CIELO, a subestimação da precipitação no HadCM3 é compensada pelos valores mais elevados do vento, o que origina uma distribuição da precipitação anual (Figura 2.78b) apesar de tudo aceitável em comparação com a normal climática (Figura 2.30a). Quando se calculam as anomalias entre os cenários obtidos com o CIELO para o período (2070-2099) e de controlo, o viés entre o forçamento da precipitação e do vento deverá ser mais reduzido.

No gráfico do vento médio mensal da Figura 2.79b estão igualmente representados os dados de reanálise do NCEP, construídos numa malha horizontal de 2,5°Lon × 2,5°Lat, para o ponto mais próximo da ilha Terceira. O vento dado pelo NCEP está bastante mais próximo do calculado pelo modelo HadCM3 do que o vento observado, o que é consistente com a interpretação anteriormente avançada.

São Miguel

Tal como para a Terceira, elaboraram-se os mapas da precipitação acumulada anual em S. Miguel, utilizando como dados de entrada observações e dados mensais do HadCM3 no período de controlo 1961-1990 (Figura 2.80). Os dados do HadCM3 utilizados para S. Miguel são os mesmos que foram utilizados para a Terceira, visto que ambas as ilhas estão muito próximas do mesmo ponto de grelha do HadCM3.

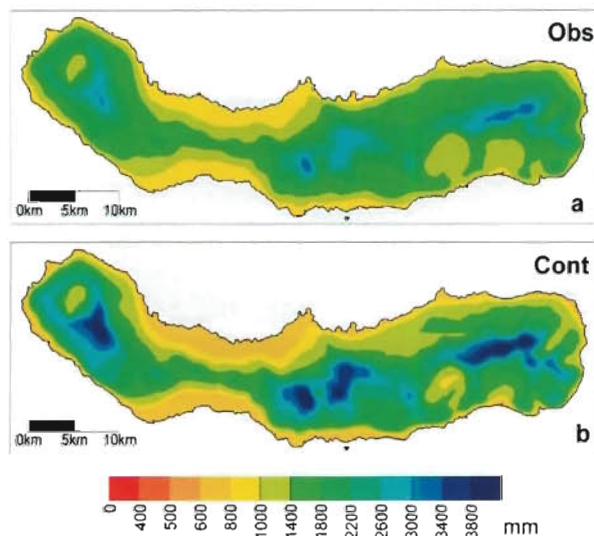


Figura 2.80 – Precipitação anual simulada pelo CIELO em S. Miguel a partir de: (a) dados observacionais mensais na Noroeste (1973-1994); (b) dados mensais de controlo do HadCM3 (1961-1990)

Mais uma vez se verifica que o modelo CIELO produz com os dados do HadCM3 um gradiente de precipitação, entre a base e os pontos mais altos da ilha, mais acentuado do que com os dados das observações. A simulação com os dados de controlo do HadCM3 produz uma maior quantidade de precipitação nos pontos mais elevados da ilha do que a observada na normal climática 1961-1990 (Figura 2.20a), o que não se verifica na simulação efectuada com as observações. Junto da costa, ambas as simulações do CIELO apresentam valores de precipitação inferiores à normal climática, com a simulação efectuada com o controlo do HadCM3 a ser a que apresenta os valores mais baixos. O forte gradiente de precipitação entre a base e os pontos mais elevados deve-se novamente a um défice de precipitação, conjugado com um excesso de intensidade do vento, detectado nos dados do HadCM3 (1961-1990) relativamente aos valores observados.

2.6.2 Regionalização dos Cenários SRES

Nesta secção analisam-se as anomalias de precipitação e temperatura na Terceira e S. Miguel entre as simulações do

CIELO para o período 2070-2099 corridas com os cenários SRES A2 e B2 e as simulações de controlo. As anomalias de precipitação são apresentadas em percentagem da precipitação de controlo.

Terceira

Na Figura 2.81 pode observar-se a anomalia da precipitação simulada no Inverno e no Verão, para cada um dos cenários, enquanto na Figura 2.82 se encontram os mapas da anomalia da precipitação anual. No Inverno ambos os cenários projectam um aumento de precipitação que é maior no caso do cenário A2 (entre 15 % e 27 %). Por sua vez, o cenário B2 prevê um aumento da ordem de 10 % a 22 %. A precipitação de Verão sofre um decréscimo substancial no cenário A2 (aproximadamente 20 % a 42 %), e uma diminuição mais moderada no cenário B2 (de cerca de 15 % a 27 %). A diminuição da precipitação de Verão é mais acentuada na parte Sul da ilha. Durante a Primavera e o Outono, no período 2070-2099, ambos os cenários para a Terceira apresentam um decréscimo de precipitação, que, combinado com o aumento de Inverno, resulta numa variação anual inferior a 10 % (Figura 2.82). No cenário A2, que tem as maiores

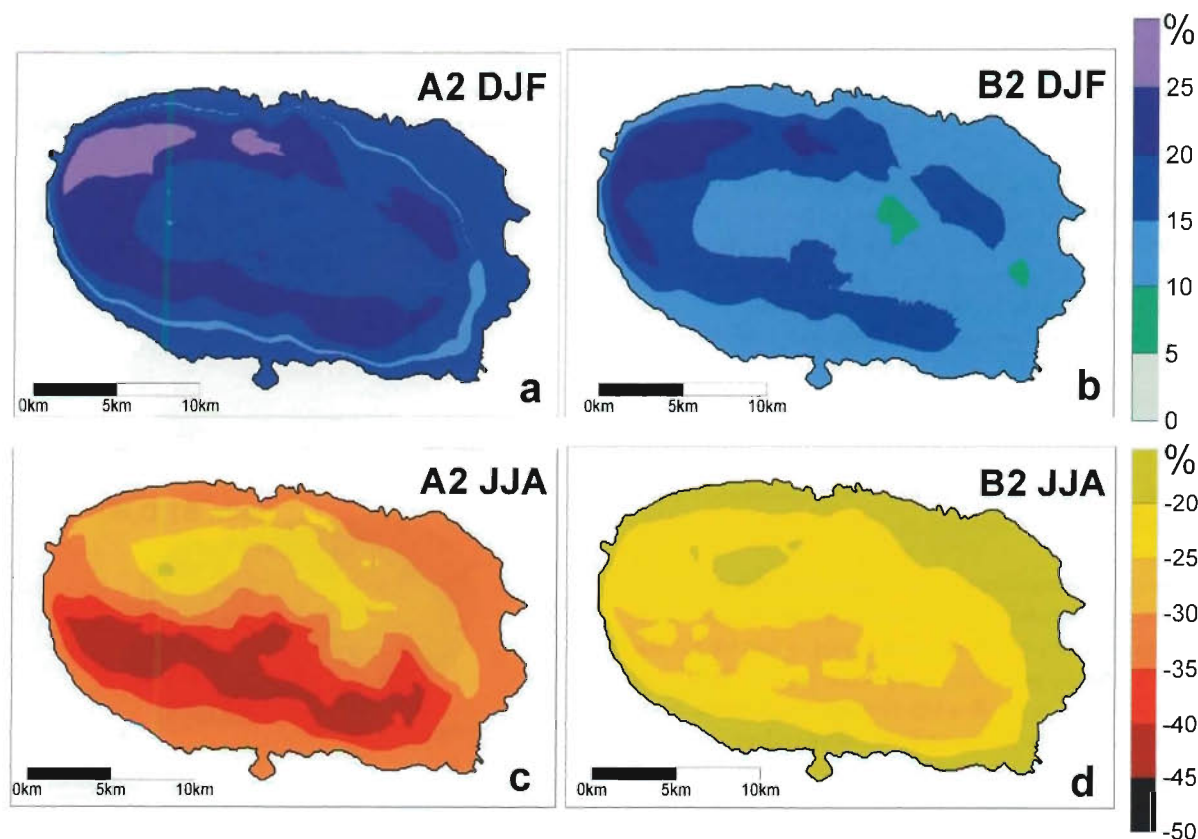


Figura 2.81 – Anomalia da precipitação sazonal na Terceira (SRES – Controlo): (a) Inverno (cenário A2); (b) Inverno (cenário B2); (c) Verão (A2); (d) Verão (B2)

emissões de CO_2 , a maior parte das anomalias de precipitação anual na Terceira são negativas, enquanto no cenário B2 as anomalias são em geral positivas.

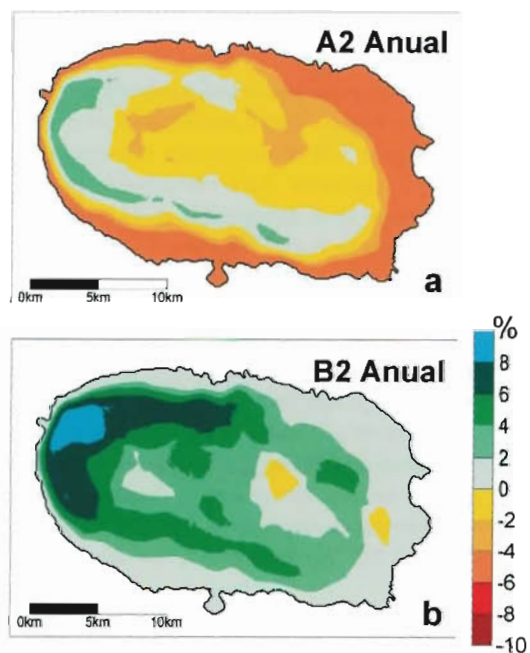


Figura 2.82 - Anomalia da precipitação anual na Terceira: (a) cenário A2; (b) cenário B2

Nas Figuras 2.83 e 2.84 encontram-se as anomalias obtidas com o CIELO para as temperaturas máxima no Verão e mínima no Inverno, respectivamente, para cada um dos cenários A2 e B2. No cenário A2 a temperatura máxima sofre um aumento de 1,7 °C a 2,3 °C, enquanto no cenário B2 as anomalias positivas projectadas estão no intervalo 1,2-1,3 °C. As regiões da Terceira que têm maiores aumentos da temperatura máxima no Verão situam-se na zona Sudoeste da ilha. Por sua vez, no caso da temperatura mínima de Inverno, os aumentos são da ordem de 1,8-2 °C no cenário A2 e de 1-1,2 °C no cenário B2, sendo aproximadamente constantes por toda a ilha.

Em geral, verificou-se que as alterações de temperatura na ilha Terceira não são tão significativas quanto as que tipicamente se associam às massas continentais, o que em grande parte é explicado pelo efeito moderador do mar. Porém, ao contrário do que se verifica em Portugal Continental, onde a técnica de regionalização utilizada neste trabalho (modelo regional HadRM3) conduz a uma diminuição de precipitação em todas as estações do ano no período 2070-2099, na ilha Terceira regista-se um aumento da precipitação acumulada no período de Inverno (Figura 2.81a, b). Note-se no entanto que o modelo HadCM3, que força o CIELO, também prevê

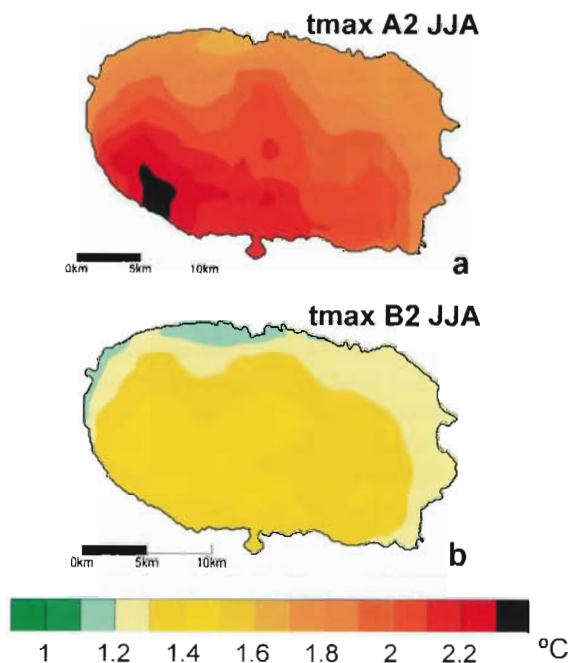


Figura 2.83 - Anomalia da temperatura máxima no Verão (Terceira): (a) cenário A2; (b) cenário B2

um aumento da precipitação de Inverno em Portugal Continental (Figuras 2.52 e 2.53), que, no entanto, não se observa no modelo regional HadRM3. O ganho de precipitação no

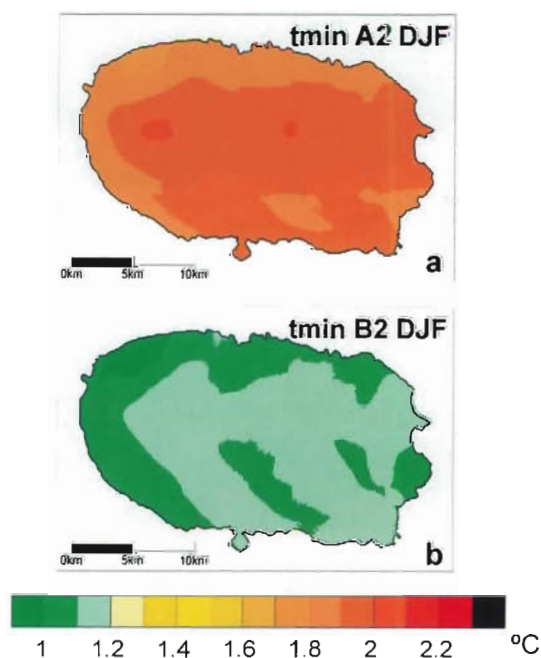


Figura 2.84 - Anomalia da temperatura mínima no Inverno (Terceira): (a) cenário A2; (b) cenário B2

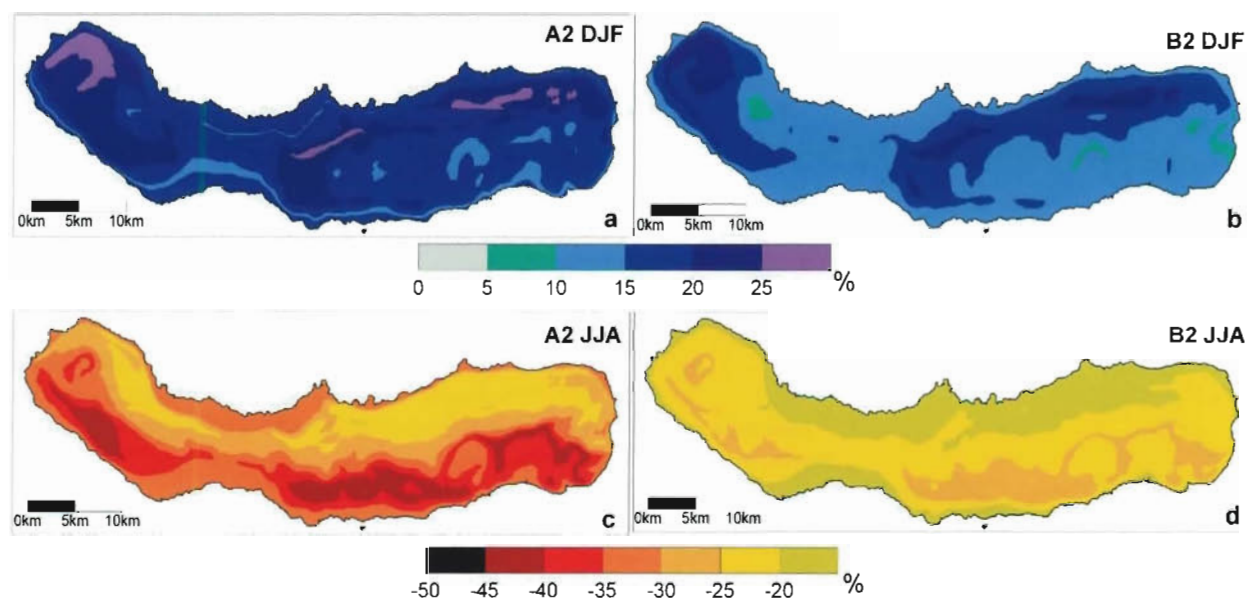


Figura 2.85 – Anomalia da precipitação sazonal em S. Miguel (SRES – Controlo): (a) Inverno (cenário A2); (b) Inverno (cenário B2); (c) Verão (A2); (d) Verão (B2)

Inverno na Terceira, combinado com a perda de precipitação nas outras estações do ano pode agravar a susceptibilidade da ilha a fenómenos extremos associados à precipitação. Nomeadamente, podem tornar-se mais frequentes fenómenos de deslizamento de terras no Inverno e o ciclo de desenvolvimento da vegetação pode ser alterado devido à perda de precipitação na Primavera. Em resumo, pode dizer-se que, o clima futuro da Terceira, tal como é modelado pelo CIELO, usado como uma técnica de regionalização dos cenários obtidos com o HadCM3, pode ser mais quente em cerca de 1-2 °C do que o clima presente e ter uma estação chuvosa mais curta, concentrada no Inverno.

São Miguel

Os cenários obtidos para a ilha de S. Miguel com o CIELO são muito semelhantes aos obtidos para a Terceira. As anomalias da precipitação sazonal e anual são apresentadas nas Figuras 2.85 e 2.86, respectivamente, novamente para os dois cenários A2 e B2. O Inverno torna-se mais chuvoso nos cenários elaborados para 2070-2099 do que no presente, com aumentos de precipitação entre 15 % e 27 % no cenário A2 e entre 10 % e 22 % no cenário B2. O Verão é consideravelmente mais seco no período futuro em cerca de 20 %-12 % no cenário A2, e entre 15 %-27 % no cenário B2. Primavera e Outono sofrem em média uma perda de precipitação. Assim, tal como acontece na Terceira, a precipitação anual em S. Miguel, no período futuro, mantém-se praticamente igual à do período de controlo, com anomalias na gama dos

± 10 %. No cenário A2 a precipitação anual diminui ligeiramente na maior parte da ilha, aumentando ligeiramente no cenário B2.

Nas Figuras 2.87 e 2.88 encontram-se as anomalias obtidas para as temperaturas máxima de Verão e mínima de Inverno, respectivamente, com os cenários A2 e B2. Estas anomalias têm praticamente a mesma gama de variação que a encontrada na Terceira. Na temperatura máxima de Verão, o aumento é de 1,6-2,3 °C no cenário A2 e de 1,2-1,5 °C no

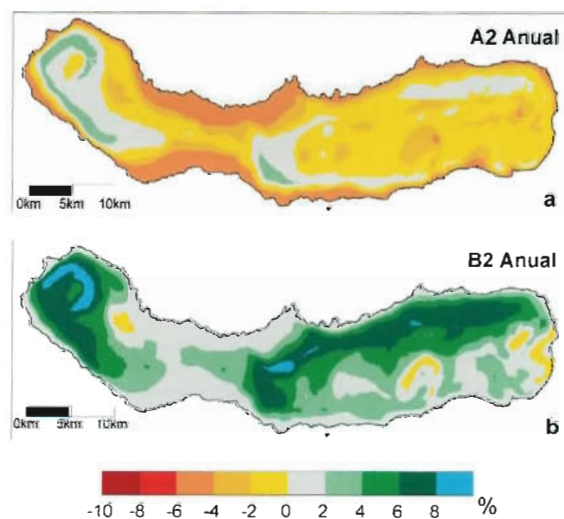


Figura 2.86 – Anomalia da precipitação anual em S. Miguel: (a) cenário A2; (b) cenário B2

cenário B2, ocorrendo os maiores aumentos junto à costa Sul da ilha. No Inverno são projectados aumentos da temperatura mínima da ordem de 1,8-2 °C no cenário A2 e de 1-1,2 °C no cenário B2.

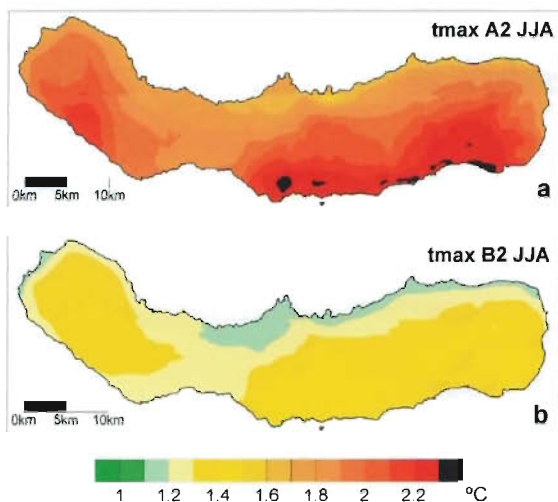


Figura 2.87 Anomalia da temperatura máxima no Verão (S. Miguel): a) cenário A2; b) cenário B2

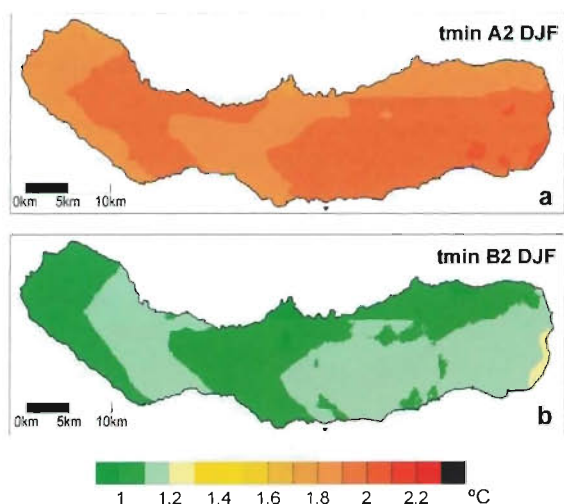


Figura 2.88 Anomalia da temperatura mínima no Inverno (S. Miguel): a) cenário A2; b) cenário B2

O clima de S. Miguel tende portanto a tornar-se mais quente em cerca de 1-2 °C no fim do século XXI em relação ao presente e a ter uma estação chuvosa mais concentrada no Inverno, com quantidades de precipitação maiores do que actualmente. Portanto, as mesmas vulnerabilidades ao clima futuro que foram encontradas para a Terceira são aplicáveis a S. Miguel.

2.7 CENÁRIOS CLIMÁTICOS NA MADEIRA

2.7.1 Comparação entre as Normais Climáticas e os Cenários de Controlo

Na Figura 2.89 apresentam-se os mapas da precipitação média anual dada pelo CIELO com dados de entrada de observações mensais no Porto Santo e com dados da simulação de controlo do HadCM3 para um ponto de grelha próximo de Porto Santo. A assimetria Norte-Sul da distribuição da precipitação é a característica mais visível na Figura 2.89. Comparando esta figura com a climatologia 1961-1990 (Figura 2.37a), conclui-se que o CIELO reproduz razoavelmente bem a distribuição de precipitação anual na Madeira.

Tal como na Terceira e em S. Miguel, a precipitação entre a base e o topo da Madeira obtida com os dados do HadCM3 (Figura 2.89b) tem um gradiente maior do que a precipitação obtida com as observações (Figura 2.89a). Esta diferença deve-se, tal como nos casos anteriores, a um défice de precipitação, conjugado com um excesso de intensidade do vento, detectado nos dados do HadCM3 relativamente aos valores observados (Figura 2.90). Ao contrário do que acontecia nos Açores, a intensidade do vento do NCEP (1980-1994), extraída para um ponto próximo do Porto Santo, está mais próxima das observações do que dos valores do controlo do HadCM3 no período de Verão. No entanto, o vento do

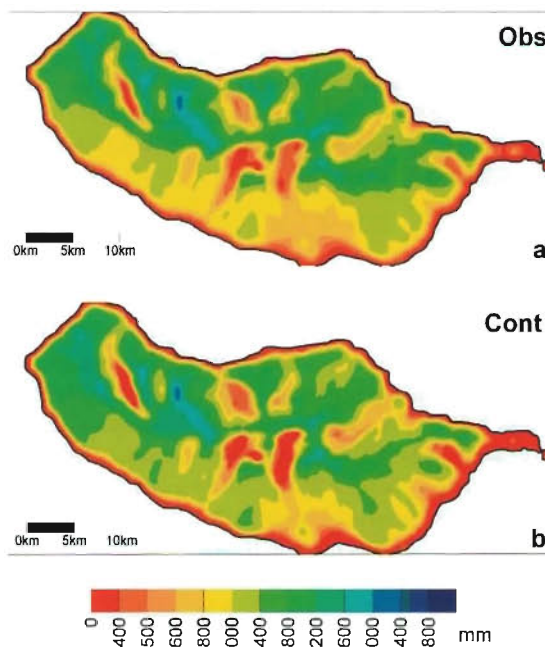


Figura 2.89 – Precipitação anual simulada pelo CIELO na Madeira a partir de: (a) dados observacionais mensais no Porto Santo (1980-1994); (b) dados mensais de controlo do HadCM3 (1961-1990)

NCEP volta a ser comparável ao vento do HadCM3 nos meses de Inverno.

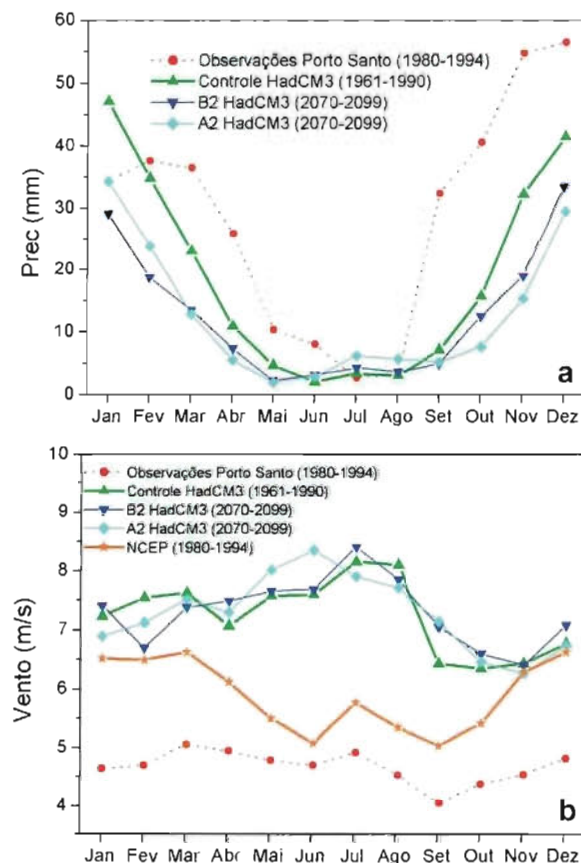


Figura 2.90 – Ciclo anual médio (a) da precipitação e (b) da intensidade do vento na Madeira, dado pelas observações em Porto Santo, pelas simulações de controlo e de cenários do HadCM3 e pelos dados do NCEP

2.7.2 Regionalização dos Cenários SRES

Os cenários climáticos para a Madeira apresentados nesta secção foram, tal como no caso da Terceira e S. Miguel, produzidos para o período futuro 2070-2099 utilizando o modelo CIELO como técnica de regionalização dos cenários A2 e B2 de larga escala obtidos com o HadCM3. Na Figura 2.91 pode observar-se a anomalia, normalizada em relação ao período de controlo, da precipitação no Inverno e no Verão para os dois cenários de emissões A2 e B2. Na Figura 2.92 encontra-se a distribuição da anomalia relativa da precipitação anual. Verifica-se que a precipitação de Inverno na Madeira decresce nos cenários futuros, com uma perda de 15 % a 35 % no caso do cenário A2 e 20 % a 40 % no cenário B2. As maiores perdas de precipitação situam-se na encosta Norte da ilha. Durante o Inverno a direcção predominante do vento é do quadrante Sudoeste, ocorrendo o maior decré-

cimo relativo da precipitação a jusante do máximo topográfico. Saliente-se ainda o facto de para a Madeira ser o cenário B2 o que projecta maiores anomalias negativas de precipitação de Inverno, apesar do cenário A2 ser o mais extremo em termos de emissões SRES. Por outro lado, a precipitação sofre um aumento substancial no Verão, particularmente no cenário A2 (20 %-100 %), situando-se os maiores aumentos na metade Norte da Madeira. Como o vento sopra com muita frequência de Norte nesta estação do ano, o aumento da precipitação no Verão dá-se a montante da orografia.

As estações da Primavera e Outono na Madeira são igualmente mais secas no período 2070-2099 do que no período de controlo, com os maiores decréscimos a ocorrerem neste caso na encosta Sul da ilha, ao contrário do Inverno. Desta forma, a precipitação anual em ambos os cenários A2 e B2 (Figura 2.92) decresce em relação ao período de controlo, e a distribuição das anomalias da precipitação anual revela que as maiores perdas relativas ocorrem na região Sul da ilha. O decréscimo de precipitação anual é muito semelhante em ambos os cenários, variando entre 20 % e 35 %. A mudança climática tem portanto muito mais impacto na precipitação futura da Madeira do que nos Açores.

Analisando a distribuição das anomalias absolutas (em mm) da precipitação anual (Figura 2.93), verifica-se que são as regiões com maior altitude, onde a precipitação é mais elevada, as que sofrem os maiores decréscimos nos cenários futuros (até -800 mm). Dado que estas regiões funcionam como reservatórios de água que alimentam o escoamento na Madeira, uma perda significativa da água disponível nestas zonas, juntamente com perdas significativas de precipitação por toda a ilha na estação chuvosa, pode tornar a Madeira vulnerável a episódios de seca, e ter impactos importantes nos recursos hídricos da ilha e consequentemente na flora e agricultura locais.

Nas Figuras 2.94 e 2.95 estão representadas, respectivamente, as anomalias das temperaturas máxima no Verão e mínima no Inverno, para os cenários A2 e B2. Enquanto no cenário A2 as anomalias positivas da temperatura máxima no Verão estão na gama 2,4-3 °C, no cenário B2 o aumento é entre 1,6 °C e 2,2 °C. Estas anomalias são superiores em cerca de 1 °C às obtidas nos Açores. As maiores anomalias da temperatura máxima situam-se, tal como nos Açores, junto à costa Sul, região a jusante da ilha tendo em conta o escoamento dominante de Norte nesta estação do ano. A temperatura mínima de Inverno sofre aumentos entre 2,5 e 2,9 °C no cenário A2 e de 1,5-1,8 °C no cenário B2, com o maior impacto a ser sentido nas regiões mais elevadas.

De acordo com os cenários aqui analisados, referentes ao fim do século XXI, o clima da Madeira poderá tornar-se mais

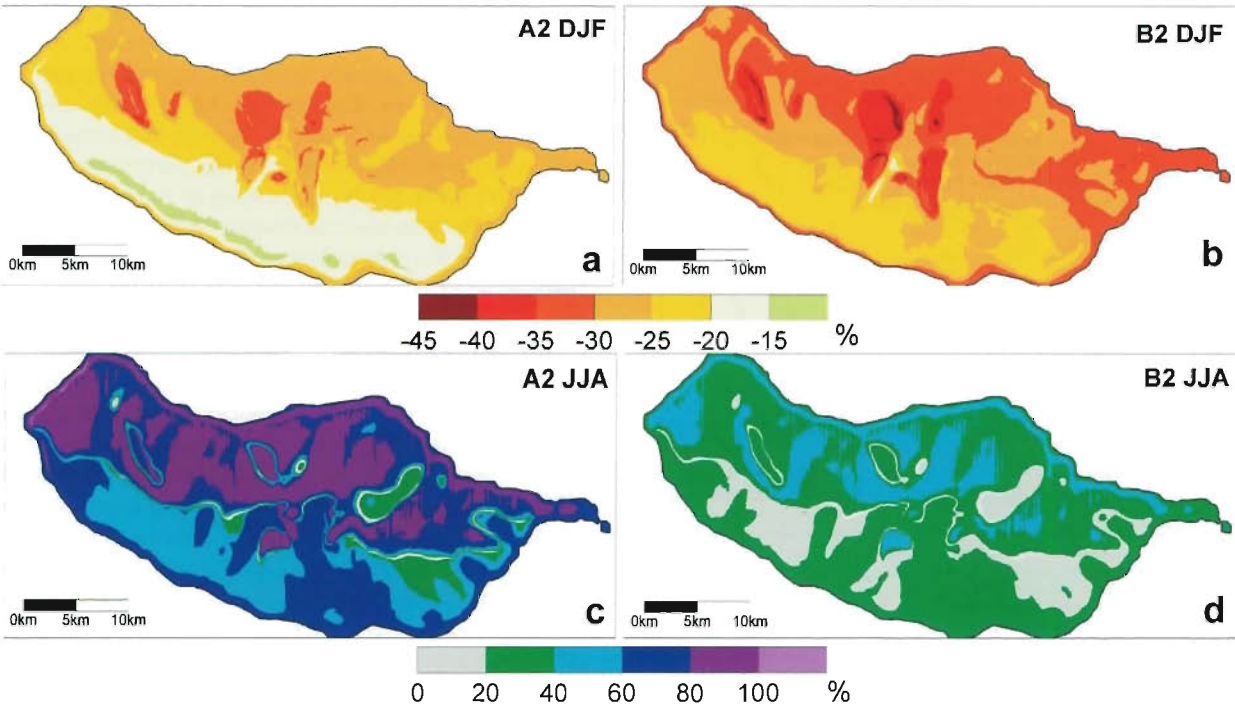


Figura 2.91 – Anomalia relativa (em percentagem) da precipitação sazonal na Madeira (SRES – Controlo): (a) Inverno (cenário A2); (b) Inverno (cenário B2); (c) Verão (A2); (d) Verão (B2)

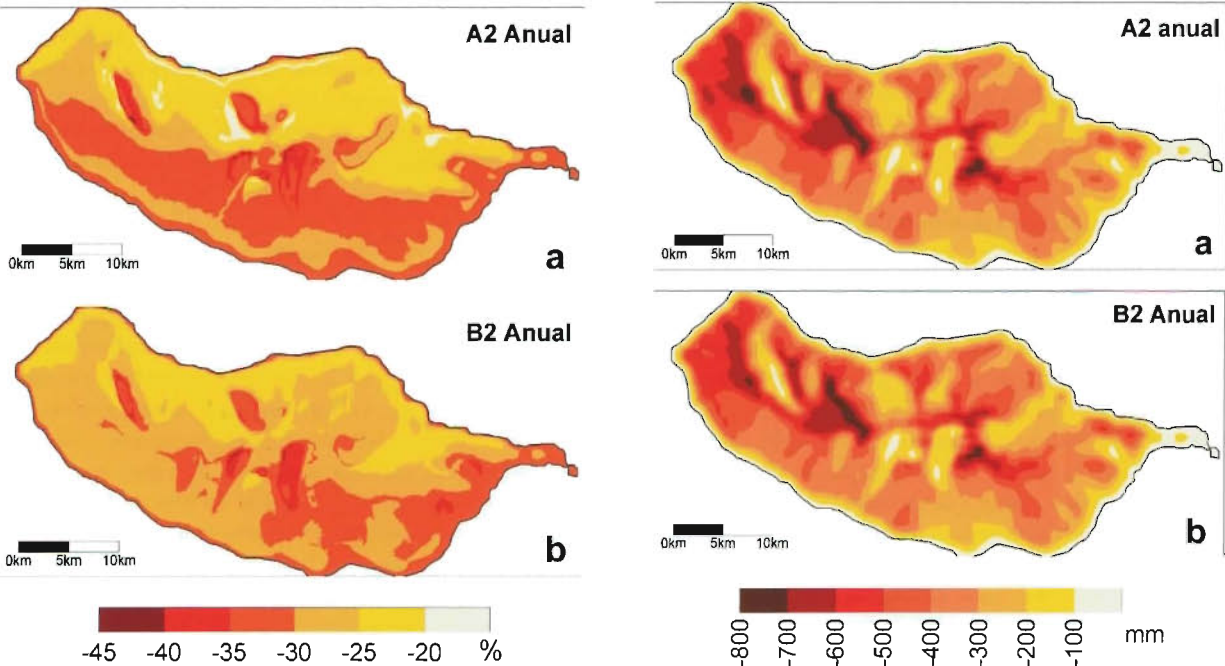


Figura 2.92 – Anomalia relativa da precipitação anual na Madeira: (a) cenário A2; (b) cenário B2

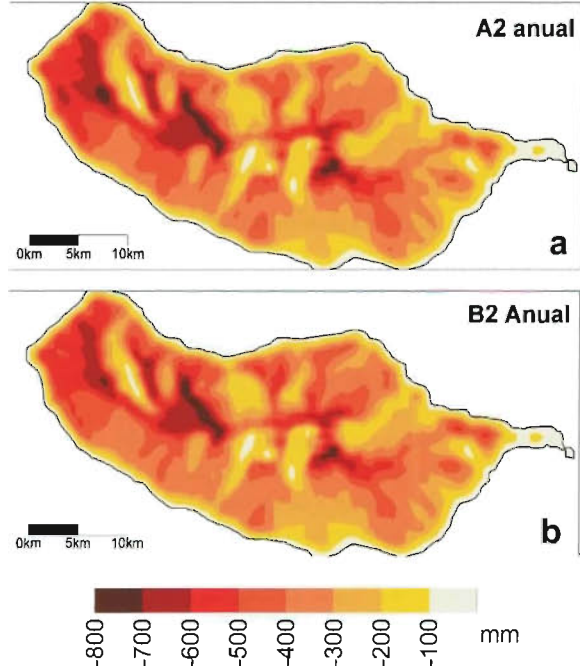


Figura 2.93 – Anomalia absoluta (em mm) da precipitação anual na Madeira: (a) cenário A2; (b) cenário B2

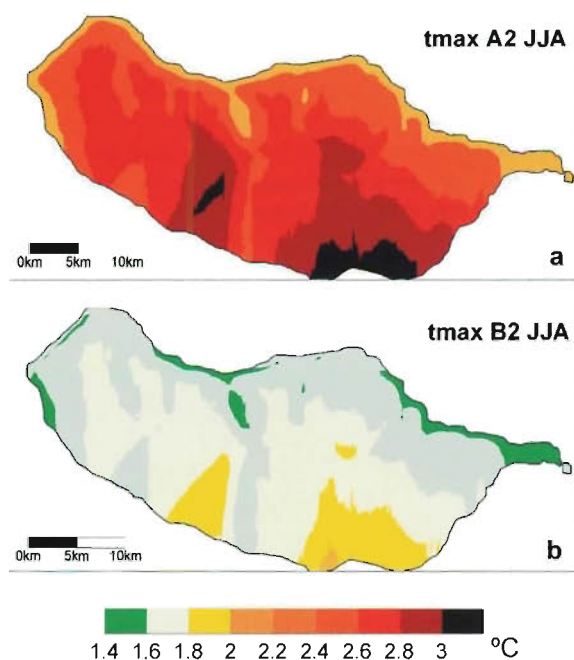


Figura 2.91 – Anomalia da temperatura máxima no Verão na Madeira: a) cenário A2; b) cenário B2

quente (+1,5" a +3 °C) e mais seco do que o actual, com redução significativa da precipitação na estação chuvosa. Os impactos negativos deverão essencialmente dever-se à perda

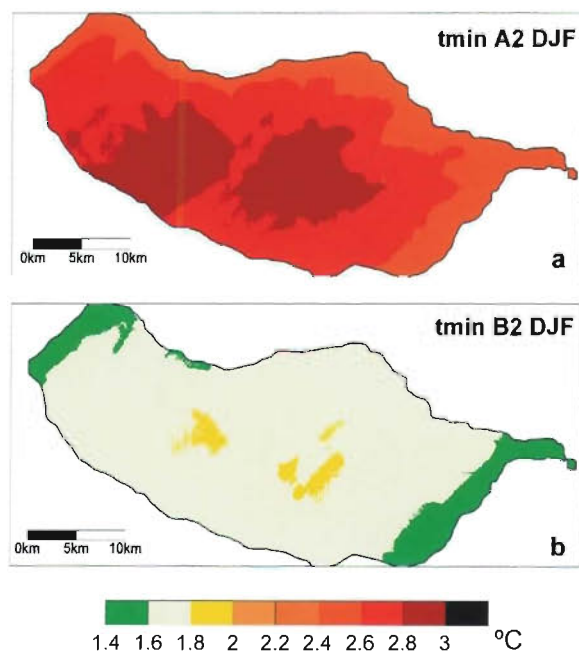


Figura 2.95 – Anomalia da temperatura mínima no Inverno na Madeira: (a) cenário A2; (b) cenário B2

de precipitação anual, o que pode originar situações de *stress* nos recursos hídricos da ilha. Finalmente, é de salientar que, tal como nos Açores, as alterações de temperatura na Madeira não são tão significativas como as encontradas nas regiões continentais, designadamente em Portugal Continental. O efeito moderador do mar protege a ilha de variações de temperatura maiores à escala de um século. Porém, a Madeira apresenta temperaturas mais elevadas do que os Açores, por se situar à latitude da costa Norte de África, pelo que os índices de temperatura relacionados com ondas de calor têm valores significativos (Figuras 2.38 e 2.45). Um aumento de temperatura da ordem de 2-3 °C nas temperaturas máximas de Verão pode ter impacto nos índices de desconforto da ilha. Sendo a Madeira uma região com densidade populacional assinalável, os impactos do aquecimento global podem ser mais importantes nesta ilha do que nos Açores.

2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo fez-se, pela primeira vez, uma análise integrada da evolução climática observada em Portugal Continental e nas ilhas dos Açores e Madeira, durante o século XX. Os resultados apresentados, integrando a informação disponível na rede de observação nacional, indicam uma clara tendência de aumento da temperatura ao longo do século, de forma mais acentuada desde a década de 1970, a uma taxa de quase 0,5 °C/década. Esta taxa de aquecimento é mais do dobro da taxa estimada para a média da temperatura mundial à superfície. Outras variáveis climáticas apresentam variações importantes, como é o caso da nebulosidade, da insolação e da humidade relativa. A precipitação é caracterizada por grande variabilidade interanual, apresentando, no entanto, uma correlação significativa com o índice da Oscilação do Atlântico Norte, cuja evolução recente esteve associada a uma redução da precipitação no fim do Inverno em Portugal Continental e nos Açores.

Os diferentes cenários de mudança climática projectam modificações importantes do clima em Portugal. No Continente são estimados aumentos sistemáticos da temperatura, que podem atingir 3 a 7 °C no Verão, com aquecimento mais forte do interior Norte e Centro e um forte incremento da frequência e intensidade das ondas de calor. Nas ilhas, o aquecimento estimado é mais moderado, da ordem dos 1 a 2 °C nos Açores e de 2 a 3 °C na Madeira. No que se refere à precipitação, os diferentes cenários sugerem uma redução da precipitação anual no Continente que pode atingir os 20 e 40 % da precipitação actual, devida a uma redução da duração da estação chuvosa. Na Madeira, estima-se igual-

mente uma importante redução da precipitação anual, até cerca de 30 %. Nos Açores prevêem-se alterações do ciclo anual da precipitação sem grande impacto nos valores totais.

Os estudos sobre cenários de mudança climática são, por natureza, provisórios, estando limitados pela incerteza nos

cenários de emissão de gases de estufa e pelas deficiências dos modelos utilizados. A grande importância social, económica e política da mudança climática inevitável no próximo século, obriga-nos, no entanto, a recorrer, em cada momento, às melhores estimativas que a Ciência nos pode fornecer e a utilizá-las para prever os seus potenciais impactos e planear medidas de mitigação e adaptação.

2.9 REFERÊNCIAS

- Azevedo, E.B., 1996, Modelação do Clima Insular à Escala Local. Modelo CIELO aplicado à Ilha Terceira. Tese de Doutoramento, Universidade dos Açores, 247 pp.
- Azevedo, E.B., L.S. Pereira e B. Itier., 1999, Modeling the local Climate in island environments: Water Balance Applications, *Agricultural Water Management* 40:393-403.
- Boer, G.J., G. Flato, M.C. Reader e D. Ramsden, 2000, A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: experimental design and comparison with the instrumental record for the twentieth century, *Climate Dynamics* 16:405-425.
- Boville, B.A. e P.R. Gent, 1998, The NCAR Climate System Model, version one, *Journal of Climate* 11:1115-1130.
- Christensen J.H., B. Machenhauer, R.G. Jones, C. Schär, P.M. Ruti, M. Castro e G. Visconti, 1997, Validation of present-day regional climate simulations over Europe: LAM simulations with observed boundary conditions, *Climate Dynamics* 13:489-506.
- Corte-Real J., X. Zhang e X. Wang, 1995, Downscaling GCM information to regional scales: a non-parametric multivariate approach, *Climate Dynamics* 11:413-424.
- Cubasch, U., H. von Storch, J. Wasekewitz e E. Zorita, 1996, Estimates of climate change in Southern Europe using different downscaling techniques, *Climate Research* 7:129-149.
- Dessai S., 2002, Heat stress and mortality in Lisbon. Part I: model construction and validation, *International Journal of Biometeorology* 47:6-12.
- Durman, C.F., J.M. Gregory, D.C. Hassel, R.G. Jones e J.M. Murphy, 2001, A comparison of extreme European daily precipitation simulated by a global and a regional climate model for present and future climates, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 127:1005-1015.
- Emori, S., T. Nozawa, A. Abe-Ouchi, A. Numaguti, M. Kimoto e T. Nakajima, 1999, Coupled ocean-atmosphere model experiments of future climate change with an explicit representation of sulfate aerosol scattering, *Journal of the Meteorological Society of Japan* 77:1299-1307.
- Féraud, G., I. Kaneoka e C.J. Allègre, 1980, K/Ar ages and stress pattern in the Azores: geodynamic implications, *Earth and Planetary Science Letters* 46:275-286.
- Folland, C.K., C. Miller, D. Bader, M. Crowe, P. Jones, N. Plummer, M. Richman, D.E. Parker, J. Rogers e P. Scholefield, 1999, Workshop on indices and indicators for climate extremes: Asheville, NC, USA, 3-6 June 1997 Breakout group C: Temperature indices for climate extremes, *Climatic Change* 42:31-43.
- García-Herrera R., J. Díaz, R.M. Trigo e E. Hernandez, 2004, Extreme summer temperatures in Iberia: health impacts and associated synoptic conditions, Submetido a *Annales Geophysicae*.
- Gibelin, A.-L. e M. Déqué, 2003, Anthropogenic climate change over the Mediterranean region simulated by a global variable resolution model, *Climate Dynamics* 20:327.
- Giorgi F., 1990, Simulation of regional climate using a limited area model in a general circulation model, *Journal of Climate* 3:941-963.
- Goodess C.M. e J.P. Palutikof, 1998, Development of daily rainfall scenarios for Southeast Spain using a circulation type approach to downscaling, *International Journal of Climatology* 18:1051-1081.
- Gordon, C., C. Cooper, C. Senior, H. Banks, J. Gregory, T. Johns, J. Mitchell e R. Wood, 2000, The simulation of SST, sea-ice extents and ocean heat transport in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments, *Climate Dynamics* 16:147-168.
- Gordon, H. B. e S. P. O'Farrell, 1997, Transient climate change in the CSIRO coupled model with dynamic sea ice, *Monthly Weather Review* 125:875-907.
- Hadley Centre, 2000, Online em www.met-office.gov.uk/research/hadleycentre/pubs/brochures/B2000/index.html.
- Hadley Centre, 2002, Online em www.met-office.gov.uk/research/hadleycentre/pubs/B2002/global.pdf
- Haywood, J.M., R.J. Stouffer, S. Wetherald, S. Manabe e V. Ramanaswamy, 1997, Transient response of a coupled model to estimated changes in greenhouse gas and sulphate concentrations, *Geophysical Research Letters* 24:1335-1338.
- Hirst, A.C., H.B. Gordon e S.P. O'Farrell, 1996, Global warming in a coupled climate model including oceanic eddy-induced advection, *Geophysical Research Letters* 23:3361-3364.
- Hirst, A.C., S.P. O'Farrell e H.B. Gordon, 2000, Comparison of a coupled ocean-atmosphere model with and without oceanic eddy-induced advection. Part I: Ocean spin-up and control integrations, *Journal of Climate* 13:139-163.
- Hulme, M., G.J. Jenkins, X. Lu, J.R. Turnpenny, T.D. Mitchell, R.G. Jones, J. Lowe, J.M. Murphy, D. Hassel, P. Boorman, R. McDonald e S. Hill, 2002, Climate Change Scenarios for the United Kingdom: The UKCIP02 Scientific Report. Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental Sciences, Un. East Anglia, UK, 120 pp.
- Hurrell, J.W., 1995, Decadal trends in the North Atlantic Oscillation and relationships to regional temperature and precipitation, *Science* 269:676-679.
- Hurrell, J.W. e H. van Loon, 1997, Decadal variations in climate associated with the North Atlantic oscillation, *Climatic Change* 36:301-326.
- IPCC WGI, 1996, Climate Change 1995: The Science of Climate Change, Contribution of the WGI to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Eds. Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg e K. Maskell) Cambridge University Press, UK.
- IPCC WGI, 2001, Climate Change 2001: The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (Eds. Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden e D. Xiaosu). Cambridge University Press, UK, pp. 944.
- Johns, T.C., R.E. Carnell, J.F. Crossley, J.M. Gregory, J.F.B. Mitchell, C.A. Senior, S.F.B. Tett e R.A. Wood, 1997, The Second Hadley Centre coupled ocean-atmosphere GCM: Model description, spinup and validation, *Climate Dynamics* 13:103-134.
- Jones, P.D., M. New, D.E. Parker, S. Martin e I.G. Rigor, 1999, Surface air temperature and its change over the past 150 years, *Review of Geophysics* 37:173-199.
- Jones, P.D. e P.A. Reid, 2001, Assessing future changes in extreme precipitation over Britain using regional climate model integrations, *International Journal of Climatology* 21:1337-1356.
- Jones, P.D., T. Jonsson e D. Wheeler, 1997a, Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland, *International Journal of Climatology* 17:1433-1450.
- Jones, R.G., J.M. Murphy e M. Noguer, 1995, Simulation of climate change over Europe using a nested regional-climate model. I: Assessment of control climate, including sensitivity to location of lateral boundaries, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 121:1413-1449.
- Jones, R.G., J.M. Murphy, M. Noguer e A.B. Keen, 1997b, Simulation of climate change over Europe using a nested regional-climate model. II: Comparison of driving and regional model responses to a doubling of carbon dioxide, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 123:265-292.

- Karl, T.R., R.W. Knight e B. Baker, 2000, The record breaking global temperature of 1997 and 1998: evidence for an increase in the rate of global warming?, *Geophysical Research Letters* 27:719-722.
- Klein Tank, A.M.G., J.B. Wijngaard, G.P. Können, R. Böhm, G. Demarée, A. Gocheva, M. Miletta, S. Pashiardis, L. Hejkrlik, C. Kern-Hansen, R. Heino, P. Bessemoulin, G. Müller-Westmeier, M. Tzanakou, S. Szalai, T. Pálsdóttir, D. Fitzgerald, S. Rubin, M. Capaldo, M. Maugeri, A. Leitass, A. Bukantis, R. Aberfeld, A.F.V. van Engelen, E. Forland, M. Mielus, F. Coelho, C. Mares, V. Razuvaev, E. Nieplova, T. Cegnar, J.A. López, B. Dahlström, A. Moberg, W. Kirchhofer, A. Ceylan, O. Pachaliuk, L.V. Alexander e P. Petrovic, 2002, Daily dataset of 20th century surface air temperature and precipitation series for European Climate Assessment (ECA), *International Journal of Climatology* 22:1441-1453.
- Leggett, J., W.J. Pepper e R.J. Swart, 1992, 'Emissions scenarios for the IPCC: an update'. P. 69-96 in *Climate Change 1992: The supplementary report to the IPCC scientific assessment*, Eds J.T. Houghton, B.A. Callander e S.K. Varney. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Luterbacher, J., D. Dietrich, E. Xoplaki, M. Grosjean e H. Wanner, 2004, European seasonal and annual temperature variability, trends and extremes since 1500 A.D., *Science* 3:1499-1503.
- Machado, M.J.S.S., 1970, Balanço Hídrico e Clima da Ilha da Madeira, Serviço Meteorológico Nacional, 19 pp.
- Manabe, S. e R.J. Stouffer, 1996, Low frequency variability of surface air temperature in a 1,000-year integration of a coupled atmosphere-ocean-land surface model, *Journal of Climate* 9:376-393.
- Meehl, G.A., W.M. Washington, J.M. Arblaster, T.W. Bettge e W.G. Strand Jr., 2000, Anthropogenic forcing and decadal climate variability in sensitivity experiments of twentieth and twenty-first century climate, *Journal of Climate* 13:3728-3744.
- Mendes, J.C. e M.F. Coelho, 1993, Variabilidade climática em Portugal Continental – Quantidade de precipitação; índice regional de anomalia; tendência; variabilidade por décadas e triénios. *Monografia N.º 43, INMIG*, Lisboa, Portugal.
- Miranda, P.M.A., F.E.S. Coelho, A.R. Tomé e M.A. Valente, 2002, 20th Century Portuguese Climate and Climate Scenarios, in *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures - SIAM Project*, Santos, F.D., K. Forbes e R. Moita (eds.), Gradiva, Lisboa, Portugal, 454 pp.
- Mitchell, J.F.B. e T.C. Johns, 1997, On modification of global warming by sulphate aerosols, *Journal of Climate* 10:245-267.
- Moberg, A. e P.D. Jones, 2003, Regional climate Model: simulations of daily maximum and minimum near-surface temperatures across Europe 1961-1990, comparisons with observed station data. CRU, University of East Anglia, UK. Online em <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/posters/#2003-03-AM-HadRM3>.
- Murphy, J., 1999, An evaluation of statistical and dynamical techniques for downscaling local climate, *Journal of Climate* 12:2256-2281.
- Nicholls, N. e W. Murray, 1999, Workshop on indices and indicators for climate extremes: Asheville, NC, USA, 3-6 June 1997 Break-out group B: Precipitation, *Climatic Change* 42:23-29.
- Noguera, M., R.G. Jones e J. Murphy, 1998, Sources of systematic errors in the climatology of a nested Regional Climate Model (RCM) over Europe, *Climate Dynamics* 11:691-712.
- Osborn, T.J., K.R. Briffa, S.F.B. Tett, P.D. Jones e R.M. Trigo, 1999, Evaluation of the North Atlantic Oscillation as simulated by a coupled climate model, *Climate Dynamics* 15:683-702.
- Palmer, W.C., 1965, Meteorological Drought, *US Weather Bureau Research Paper N.º 15*, 58 pp. Washington DC.
- Pires, V., 2004, Evolução histórica do Índice Palmer (PDSI) em Portugal Continental. Monografia N.º 47, Instituto de Meteorologia (in press).
- Pope, V.D., M. L. Gallani, P. R. Rowntree e R. A. Stratton, 2000, The impact of new physical parametrizations in the Hadley Centre climate model – HadAM3, *Climate Dynamics* 16:123-146.
- Reader, M.C. e G.J. Boer, 1998, The modification of greenhouse gas warming by the direct effect of sulphate aerosols, *Climate Dynamics* 14:593-607.
- Roeckner, E., K. Arpe, L. Bengtsson, M. Christoph, M. Claussen, L. Dumenil, M. Esch, M. Giorgietta, U. Schlese e U. Schulzweida, 1996, The atmospheric general circulation model ECHAM-4: model description and simulation of present-day climate. *Max-Planck Institute for Meteorology*, Report Nr. 218, Hamburg, Germany.
- Santos, F.D., K. Forbes e R. Moita (eds.), 2002, *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures - SIAM Project*. Gradiva, Lisboa, Portugal, 454 pp.
- Shubert S. e A. Henderson Sellers, 1997, A statistical model to downscale local daily temperature extremes from synoptic-scale atmospheric circulation patterns in the Australian region, *Climate Dynamics* 13:223-234.
- Stott P.A., S.F.B. Tett, G.S. Jones, M.R. Allen, J.F.B. Mitchell e G.J. Jenkins, 2000, External control of twentieth century temperature by natural and anthropogenic forcings, *Science* 290:2133-2137.
- Sumner, G.N., R. Romero, V. Homar, C. Ramis, S. Alonso e E. Zorita, 2003, An estimate of the effects of climate change on the rainfall of Mediterranean Spain by the late twenty first century, *Climate Dynamics* 20:789-805.
- Tomé, A., P.M.A. Miranda, F. Coelho e A. Carvalho, 2002, Joint fitting of piecewise linear trends and instrumental shifts in Portuguese maximum temperature observations, *Proceedings of the 3rd Hispano-Portuguese Assembly in Geodesy and Geophysics*, Valencia.
- Tomé, A.R. e P.M.A. Miranda, 2004, Piecewise linear fitting and trend changing points of climate parameters, *Geophysical Research Letters* 31:L02207, doi:10.1029/2003G019100.
- Trigo R.M. e J.P. Palutikof, 1999, Simulation of daily temperatures for climate change scenarios over Portugal: a Neural Network Model approach, *Climate Research* 13:45-59.
- Trigo R.M. e J.P. Palutikof, 2001, Precipitation scenarios over Iberia: a comparison between direct GCM output and different downscaling techniques, *Journal of Climate* 14:4422-4446.
- Trigo, R.M., T.J. Osborn e J. Corte-Real, 2002, The North Atlantic Oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms, *Climate Research* 20:9-17.
- van Loon, H. e J.C. Rogers, 1978, The seesaw in winter temperatures between Greenland and northern Europe. Part I: General description, *Monthly Weather Review* 106:296-310.
- Viner, D., 1996, The Climate Impacts LINK Project, *Climate Monitor* 23: N.º 3-5.
- Von Storch, H., E. Zorita e U. Cusbash, 1993, Downscaling of global climate change estimates to regional scales: an application to Iberian rainfall in wintertime, *Journal of Climate* 6:1161-1171.
- Walker, G.T., 1924, Correlations in seasonal variations of weather, *IV Mon. Ind. Meteorol. Dept.* 24:275-332.
- Wallace, J.M. e D.S. Gutzler, 1981, Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter, *Monthly Weather Review* 109:784-812.
- Walpe, A.M. e J.H. Lawrimore (Eds), 2003, State of the Climate in 2002, *Bulletin of the American Meteorological Society* 84: N.º 6, S1-S68

- Washington, W.M., J.W. Weatherly, G.A. Mehl, A.J. Semner, Jr., T.W. Betge, A.P. Craig, W.G. Strand, Jr., J.M. Arblaster, V.B. Wayland, R. James e Y. Zhang, 2000, Parallel Climate Model (PCM) control and transient simulations, *Climate Dynamics* 16:755-774.
- Wilby R.L. e T.M.L. Wigley, 1997, Downscaling General Circulation model output: a review of methods and limitations, *Prog. Phys. Geography* 21:530-548.
- WMO, World Meteorological Organization, 2004, WMO statement on the status of the global climate in 2003, WMO Pub. 966, 12 pp.
- Zhang, X-H., J.M. Oberhuber, A. Bacher e E. Roechner, 1998, Interpretation of interbasin exchange in an isopycnal ocean, *Climate Dynamics* 14:725-740.
- Zhang, X., X.L. Wang e J. Corte-Real, 1997, On the relationships between daily circulation patterns and precipitation in Portugal, *Journal of Geophysical Research* 102:13495-13507.

3

Recursos Hídricos

Autores

Luís Veiga da Cunha (Coordenador)
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade Nova de Lisboa

Luís Ribeiro
CVRM – Centro de Geossistemas
Instituto Superior Técnico

Rodrigo Proença de Oliveira
Chiron, Sistemas de Informação, SA

João Nascimento
SIAM
CVRM – Centro de Geossistemas
Instituto Superior Técnico

Contribuições

José Paulo Monteiro (Aquífero de Escusa)
CVRM – Centro de Geossistemas
Universidade do Algarve

Luís Nunes (Aquífero Superior da Península de Tróia)
CVRM – Centro de Geossistemas
Universidade do Algarve

Amélia Carvalho Dill (Aquífero Superior da Península de Tróia)
CVRM – Centro de Geossistemas
Universidade do Algarve

ÍNDICE

SUMÁRIO EXECUTIVO	117
EXECUTIVE SUMMARY	118
3. RECURSOS HÍDRICOS	119
3.1 INTRODUÇÃO	119
3.2 BREVE CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DE PORTUGAL CONTINENTAL	122
3.2.1 Introdução	122
3.2.2 Unidades Hidrológicas	123
3.2.2.1 Bacias Hidrográficas	123
3.2.2.2 Unidades Hidrogeológicas	124
3.2.3 Ciclo Hidrológico	127
3.2.3.1 Precipitação	127
3.2.3.2 Escoamento Superficial	127
3.2.3.3 Recarga de Aquíferos	127
3.2.3.4 Produtividade dos Sistemas Aquíferos	127
3.2.4 Disponibilidades Hídricas	128
3.2.4.1 Disponibilidades Hídricas Superficiais	128
3.2.4.2 Disponibilidades Hídricas Subterrâneas	130
3.2.5 Necessidades e Consumos de Água	131
3.2.5.1 Introdução	131
3.2.5.2 Abastecimento Público	131
3.2.5.3 Indústria	132
3.2.5.4 Agricultura	133
3.2.5.5 Turismo	133
3.2.5.6 Produção de Energia Eléctrica	133
3.3 METODOLOGIAS DE ANÁLISE	133
3.3.1 Introdução	133
3.3.2 Escoamento, Recarga e Piezometria	134
3.3.2.1 Modelo Hidrológico	134
3.3.2.2 Análise de Tendências	135
3.3.2.3 Modelos Numéricos	136
3.3.3 Modelos Analíticos	136
3.3.4 Índice de Susceptibilidade	136
3.3.5 Risco de Cheias	137
3.4 CENÁRIOS CLIMÁTICOS	137
3.4.1 Modelos Globais e Modelos Regionais	137
3.4.2 Selecção de Modelos	138
3.4.3 Cenários Climáticos Considerados	138
3.5 IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NOS RECURSOS HÍDRICOS	140
3.5.1 Disponibilidade de Água	140
3.5.1.1 Recursos Hídricos Superficiais	140
3.5.1.2 Recarga	141
3.5.2 Piezometria	147
3.5.2.1 Introdução	147
3.5.2.2 Perspectiva Nacional	147
3.5.2.3 Caso de Estudo: Sistema Aquífero Quaternário de Aveiro	148
3.5.2.4 Caso de Estudo: Sistema Aquífero de Querença-Silves	150
3.5.3 Interação entre Sistemas Hídricos Superficiais e Subterrâneos	152
3.5.3.1 Sistemas Fluviais Interiores	152
3.5.3.2 Sistemas Estuarinos e Costeiros	155
3.5.4 Qualidade da Água Subterrânea de Aquíferos Sujeitos a Agricultura Intensiva	158
3.5.4.1 Contaminação Agrícola	158
3.5.4.2 Caso de Estudo: Sistema Aquífero dos Galbros de Beja	159
3.5.5 Risco de Cheias	160
3.6 ESTUDOS A DESENVOLVER NO FUTURO	162
3.6.1 Impactos sobre a Ocorrência de Cheias e Secas	162
3.6.2 Impactos sobre a Qualidade da Água	163
3.6.3 Impactos sobre a Procura de Água	163
3.6.4 Estudo Integrado dos Impactos das Alterações Climáticas sobre os Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas Luso-Espanholas	163
3.7 CONCLUSÕES	164
3.8 REFERÊNCIAS	166

SUMÁRIO EXECUTIVO

O estudo apresentado neste capítulo aborda, com diferente pormenor, os impactos directos das alterações climáticas nos recursos hídricos portugueses. São avaliados, em particular, os impactos no regime do escoamento superficial e na recarga de aquíferos e, ainda, na piezometria e posição das interfaces em aquíferos localizados em zonas costeiras e estuarinas. São também estimados os efeitos no regime de ocorrência de situações de cheia.

Os cenários para o século XXI propostos pelos diferentes modelos climáticos sugerem um pequeno aumento da precipitação anual para a região Norte de Portugal e um decréscimo para o Centro e Sul. Estes modelos prevêem também um aumento da assimetria sazonal da precipitação, com decréscimos relevantes no período de Verão. Os modelos climáticos sugerem também uma subida da temperatura média anual, sendo esta mais significativa a sul do país.

Os diferentes resultados obtidos não permitem concluir com clareza qual o sentido da variação do escoamento anual e da recarga anual durante o século XXI, mas a magnitude das estimativas de aumento destas variáveis é menor que a magnitude das estimativas de redução. A tendência para redução da disponibilidade de água é mais evidente nos recursos correspondentes aos aquíferos superficiais, em resultado da redução da recarga e do aumento da evapotranspiração que conduzem a um rebaixamento dos níveis freáticos.

É, no entanto, clara a tendência de aumento da assimetria regional da disponibilidade de água, tendo em conta a redução mais acentuada do escoamento e da recarga no Centro e no Sul de Portugal. Acresce o provável aumento da assimetria sazonal em consequência da concentração do escoamento e da recarga nos meses de Inverno e da redução destas variáveis na Primavera, Verão e Outono, seguindo uma tendência similar do regime da precipitação.

É ainda provável uma redução dos caudais de descarga dos aquíferos para os rios, tendo como consequência uma possível degradação dos ecossistemas fluviais dependentes das águas subterrâneas. Nos aquíferos costeiros é esperada uma diminuição da espessura da lente de água doce e um aumento da contaminação salina devido ao avanço da interface salina.

A existência de grandes bacias hidrográficas partilhadas por Portugal e Espanha implica que o regime hidrológico português seja também dependente das condições climáticas que ocorrem em Espanha. Os resultados da modelação mostram que as modificações da temperatura e da precipitação são semelhantes em ambos os países; o que conduzirá a uma redução do escoamento em ambos os lados da fronteira, acentuando ainda mais a diminuição expectável da disponibilidade hídrica na parte portuguesa das bacias hidrográficas transfronteiriças.

Estima-se ainda um aumento generalizado da frequência de chuvadas intensas, aumentando a magnitude e a frequência dos episódios de cheia, particularmente no Norte do país.

Referem-se ainda outros impactos das alterações climáticas sobre os recursos hídricos que, não tendo sido ainda objecto de avaliação específica para Portugal, são merecedores de estudo aprofundado em trabalhos posteriores. De destacar a provável degradação da qualidade da água dos cursos de água e albufeiras, em resultado da redução do escoamento no Verão e da subida da temperatura, e da consequente diminuição da concentração do oxigénio dissolvido. A avaliação dos impactos indirectos das alterações climáticas, resultantes nomeadamente da alteração do uso da água e do uso do solo é outra vertente deste problema que urge estudar.

Conclui-se com a discussão das possíveis respostas e medidas de adaptação ao desafio colocado pelas alterações climáticas. É evidente que o provável aumento das assimetrias regionais e sazonais da disponibilidade dos recursos hídricos vem aumentar as dificuldades de gestão dos recursos hídricos em Portugal. Os impactos no mesmo sentido sobre as disponibilidades hídricas geradas em Espanha vêm reforçar estas dificuldades.

Este desafio deverá ser objecto de uma atenção crescente na definição das estratégias e políticas de gestão de recursos hídricos. O argumento de que os impactos das alterações climáticas não são completamente conhecidos e que há ainda muitas incertezas não deve ser uma razão para adiar a acção. Os resultados dos diversos estudos já realizados permitiram identificar algumas tendências com uma elevada probabilidade de ocorrência, as quais deverão ser consideradas desde já nas estratégias e nas políticas de gestão da água em Portugal.

EXECUTIVE SUMMARY

The study presented in this chapter addresses, in varying detail, the direct impacts of climate change on the Portuguese water resources. In particular, the study estimates the impacts on runoff, aquifer recharge, groundwater levels, saltwater intrusion and groundwater quality aspects, as well as on the flood frequency and magnitude in response to changes in the precipitation and temperature regimes.

The climate scenarios for the 21st century presented by the various models indicate a small increase of annual precipitation for the northern region of Portugal and a decrease for the central and southern regions. The models also estimate an increase of the precipitation seasonal asymmetry, with relevant decreases in summer precipitation. The annual average temperature appears to increase, particularly in southern Portugal.

These climatic scenarios will lead to a progressive reduction in the annual river runoff and aquifer recharge during the 21st century. Piezometric levels of shallow aquifers are also likely to decrease in response to the decrease of precipitation and to the increase of evapotranspiration. This water availability reduction is particularly evident towards the south of Portugal and, if confirmed, will increase the current spatial asymmetry of water resources in the country.

Moreover, the apparent systematic trend towards a concentration of the river runoff and aquifer recharge in winter, induced by a similar pattern of change in the precipitation distribution, if confirmed, will increase the current seasonal asymmetry of water availability in Portugal.

The results also suggest a probable reduction of aquifer discharge to streams, which may affect river ecosystems, heavily dependent on groundwater sources. Coastal aquifers will probably suffer a reduction of the fresh water lens depth and an increase of salt concentration due the advance of the fresh/saltwater interface.

The existence of large river basins shared by both Portugal and Spain implies that Spanish climate also affects the Portuguese hydrological regime. Model results show that temperature and precipitation changes are expected to be similar in both sides of the border. The likely decrease of precipitation will lead to a reduction of the runoff generated in both sides of the border, which will accentuate even further the expected decrease of water availability in the Portuguese part of the transboundary river basins.

The concentration of precipitation in winter and the estimated general increase in the frequency of heavy precipitation events is also likely to increase the magnitude and frequency of flood events, particularly in the northern part of the country.

The chapter also briefly discusses other climate change impacts on water resources which have not yet been evaluated in Portugal. These impacts include the probable decrease of the quality of water bodies as a consequence of changes in runoff and recharge, changes in land use, changes in the pattern of transport of agricultural, industrial or domestic pollutants or modification of the assimilation capacity of pollution by the water bodies related to changes in water temperature. In addition, the changes in temperature will also affect water demand, especially for agriculture, as a result from changes of evapotranspiration and soil moisture.

The chapter concludes with a discussion on the future water management policies that are needed to cope with climate change impacts on water resources. To face the challenge of climate change, the authors call for a renewed interest on water resources studies and for the consideration of the impacts of climate change in water resources planning and management strategies and policies. A cause of major concern is the probable decrease of water availability in southern Portugal, during the next century, associated with an increase in the spatial and temporal asymmetry of water resources distribution.

Given the importance of the transboundary river basins for the Portuguese water resources it is of paramount importance to develop joint projects in cooperation between Portugal and Spain on this topic. This question should be considered with particular relevance in the general framework of bilateral scientific and technological cooperation.

3. Recursos Hídricos

Autores: Luís Veiga da Cunha (Coordenador), Luís Ribeiro, Rodrigo Proença de Oliveira, João Nascimento

Contribuições: José Paulo Monteiro, Luis Nunes, Amélia Carvalho Dill

3.1 INTRODUÇÃO

No volume que foi publicado em resultado da fase inicial do Projecto SIAM (Santos *et al.*, 2002) apresentou-se, no Capítulo 5, a primeira análise relativa a Portugal Continental dos impactos das alterações climáticas sobre os recursos hídricos (Cunha *et al.*, 2002a). Esta análise, publicada em língua inglesa, centrou-se sobre os aspectos ligados à quantidade dos recursos hídricos superficiais. No presente capítulo, em que se apresentam os resultados da segunda fase do Projecto SIAM, expande-se e actualiza-se o trabalho apresentado na primeira fase (que agora é também apresentado, pela primeira vez, em língua portuguesa) e estende-se a análise ao estudo dos impactos sobre os recursos hídricos subterrâneos, analisando-se não só os aspectos relacionados com a quantidade destes recursos, mas também, em certos casos, com a sua qualidade. O desenvolvimento desta segunda fase do Projecto SIAM no âmbito dos recursos hídricos constitui, tal como já tinha acontecido com a primeira fase, um estudo pioneiro.

Os estudos até agora realizados correspondem, pois, à análise dos impactos das alterações climáticas sobre a oferta de águas superficiais e subterrâneas, ficando por concretizar o estudo completo dos impactos das alterações climáticas sobre a qualidade dos recursos hídricos e também o estudo dos impactos sobre a procura dos recursos hídricos.

É unanimemente reconhecido que os recursos hídricos constituem um domínio fundamental para a avaliação dos impactos das alterações climáticas nas actividades humanas. Esta relevância resulta da circunstância de as alterações climáticas terem impactos directos no regime de ocorrência e disponibilidade dos recursos hídricos, e também do facto de este regime condicionar, por sua vez e de forma importante, uma multiplicidade de sectores da actividade económica e social. A água é utilizada não só para satisfazer diversas actividades humanas, como, por exemplo, as domésticas, industriais, agrícolas, energéticas, piscícolas, recreativas, de navegação e de depuração de efluentes, mas também para assegurar uma boa qualidade ambiental e uma boa saúde dos ecossistemas. Na realidade, a disponibilidade de água de qualidade adequada e a ocorrência dos fenómenos extremos relacionados com a água – as cheias e as secas – condicionam a localização dos aglomerados urbanos, das áreas industriais

e agrícolas, dos centros de produção de energia e das actividades comerciais.

Os recursos hídricos têm, em algumas regiões, uma distribuição bastante irregular, tanto no tempo como no espaço. Portugal Continental constitui um bom exemplo desta irregularidade, com a precipitação anual a variar na proporção de cerca de 1 para 3, entre os anos mais secos e os anos mais húmidos, e a distribuição regional da precipitação anual a variar de cerca de 1 para 10 entre as regiões mais secas e as mais húmidas do Continente português, apesar da pequena extensão do território. Esta irregularidade é a causa de muitos dos problemas que se levantam na gestão dos recursos hídricos e é responsável por muitas das situações de *stress* hídrico que são susceptíveis de ocorrer. As alterações climáticas poderão contribuir para um agravamento ou para uma atenuação destas situações, afectando tanto a oferta como a procura de água.

Os impactos das alterações climáticas sobre os recursos hídricos podem ser directos, quando resultam directamente das alterações climáticas, ou indirectos, quando resultam de modificações do sistema económico-social induzidas pelas alterações climáticas. Percebe-se pois a complexidade dos problemas em discussão que, por isso, requerem uma abordagem interdisciplinar.

Uma das primeiras descrições dos impactos das alterações climáticas sobre os recursos hídricos foi apresentada por um dos autores (Cunha, 1989) que analisa a incidência dos diversos tipos de impactos sobre:

- a quantidade total de águas superficiais e subterrâneas disponíveis e a sua distribuição no espaço e no tempo;
- a humidade do solo;
- as condições de ocorrência de cheias e de secas;
- a qualidade da água;
- os regimes de erosão, transporte e deposição de sedimentos associados ao escoamento;
- as condições ecológicas dos rios e estuários;
- a procura de água.

O estudo das alterações climáticas tem vindo a ser objecto de várias iniciativas internacionais e nacionais que procuram quantificar cenários climáticos, estudar os seus impactos e propor medidas de mitigação e de adaptação. São de des-

taçar os trabalhos do Painel Internacional sobre Alterações Climáticas (IPCC), levados a cabo por um grupo de cerca de setecentos cientistas de muitos países, na sequência de uma iniciativa das Nações Unidas. No seu terceiro relatório (IPCC, 2001), o IPCC prevê um aumento da temperatura média do ar entre 0,8 °C e 2,6 °C em 2050, e entre 1,4 °C e 5,8 °C em 2100. O estudo prevê ainda um aumento da precipitação média anual nas regiões correspondentes a latitudes mais elevadas, assim como nas regiões equatoriais, em oposição a uma diminuição da precipitação nas regiões subtropicais. A frequência e magnitude de situações de cheia irá, provavelmente, aumentar devido à concentração da precipitação no Inverno na maioria das regiões do mundo. Por outro lado, a diminuição do escoamento irá também contribuir para um aumento dos problemas ocasionados pelas secas.

O Projecto ACACIA (Parry, 2000), que correspondeu à contribuição europeia para a preparação do Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC, indica que a temperatura média anual continuará a aumentar, em particular na costa atlântica da Europa Meridional, onde o aumento será, pelo menos, de 0,4 °C por década. Este aumento será particularmente pronunciado no Verão, esperando-se um aquecimento com uma taxa de crescimento dupla da do Norte da Europa. A precipitação média anual na Europa Meridional pode decrescer ligeiramente a uma taxa máxima de 1 % por década. Além disso, esperam-se alterações sazonais importantes. Os Invernos deverão tornar-se mais húmidos, com um aumento de precipitação de 1 % a 4 % por década, enquanto os Verões deverão tornar-se mais secos, com uma redução de cerca de 5 % por década.

Uma consequência destes cenários será um decréscimo do escoamento anual na Europa do Sul. Como a precipitação tende a concentrar-se no Inverno, a variabilidade sazonal do escoamento tenderá a aumentar. O risco de secas estivais tenderá, também, a aumentar na Europa Meridional e a possibilidade de o reduzir estará condicionada pela capacidade de armazenamento do escoamento invernal. A frequência e intensidade dos episódios de precipitação intensa tenderão a aumentar, especialmente no Inverno, aumentando o risco de inundação. É igualmente expectável que a frequência e a intensidade das vagas de calor estivais tendam a aumentar. Outras conclusões apontam para modificações negativas da qualidade da água.

As águas subterrâneas são um recurso natural imprescindível para a vida e para a integridade dos ecossistemas, representando mais de 95 % das reservas de água doce exploráveis do globo. Delas dependem, em larga medida, as actividades agrícolas e industriais, constituindo ainda as águas subterrâneas uma componente fundamental no abastecimento público. Na realidade, mais de metade da população mun-

dial depende das águas subterrâneas. Na Europa as águas subterrâneas fornecem cerca de 65 % da água destinada ao consumo humano.

As águas subterrâneas têm características que as diferenciam das águas superficiais, tais como os maiores tempos de residência e as muito menores velocidades de circulação, de que resulta uma maior interacção água-rocha. São, por esse motivo, consideradas geologicamente dependentes.

Apesar de invisíveis, as águas subterrâneas fazem parte integrante do ciclo hidrológico e, por esse facto, estão obviamente sujeitas aos impactos das alterações climáticas. Os impactos far-se-ão sentir quer directa quer indirectamente na quantidade e na qualidade desses recursos.

São praticamente inexistentes em Portugal trabalhos sobre o efeito das alterações climáticas nos recursos hídricos subterrâneos. A excepção é um trabalho desenvolvido pelo LNEC que realizou uma análise dos impactos nos recursos hídricos subterrâneos nas ilhas dos Açores (LNEC, 2003, Novo, 2003).

O Plano Nacional da Água, apesar de incluir um capítulo sobre o impacto das alterações climáticas é omissivo quanto à influência nas águas subterrâneas, limitando-se a referir muito genericamente que «as verificações observadas da temperatura e precipitação... vão reflectir-se no escoamento superficial e na recarga dos aquíferos subterrâneos» (INAG, 2001).

Consciente da importância que esta componente do ciclo hidrológico tem nas actividades socioeconómicas e na influência directa ou indirecta sobre o funcionamento de diversos ecossistemas, a primeira fase do Projecto SIAM (Cunha *et al.*, 2002a) aponta como desenvolvimento de investigação prioritário, na sua segunda fase, o estudo dos impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos subterrâneos, nomeadamente no domínio da avaliação da recarga, tendo em conta as tendências previstas da variação da pluviometria para os diferentes cenários climáticos e o risco de intrusão salina em aquíferos costeiros, devido à prevista subida do nível do mar. Igualmente devem ser considerados, para vários cenários climáticos, os riscos de salinização, que poderá ocorrer nos aquíferos em consequência das altas temperaturas e dos valores elevados de evapotranspiração.

Estes prováveis efeitos já tinham sido referidos no estudo do IPCC anteriormente referido quando chama a atenção para o facto de «apesar da água subterrânea ser a principal origem de água no mundo, tem havido pouca investigação sobre os potenciais efeitos das alterações climáticas neste recurso» (IPCC, 2001). E nesse sentido o IPCC preconiza que «é necessário intensificar a investigação nos domínios

da modelação, das características dos aquíferos, das taxas de recarga, da intrusão salina assim como da monitorização das extracções», indicando que «estes estudos servirão de base para uma avaliação correcta dos impactos das alterações climáticas e da subida do nível médio da água do mar na recarga e nos recursos hídricos subterrâneos» (IPCC, 2001).

O interesse da comunidade científica internacional pelo impacto das alterações climáticas nas águas subterrâneas tem vindo a crescer, tendo a Associação Internacional de Hidrogeólogos (AIH) criado, em Setembro de 2003, um grupo de trabalho específico (Working Group on Groundwater and Climate Change) com o fim de dinamizar a investigação hidrogeológica no domínio das diversas interacções entre águas subterrâneas e mudanças climáticas e de promover o intercâmbio de conhecimento e de experiências entre hidrogeólogos e outros especialistas.

Devido à estreita relação entre os fenómenos climáticos e o ciclo hidrológico são previsíveis os seguintes impactos directos e indirectos das alterações climáticas nas águas subterrâneas:

- alterações no regime de precipitação e de evapotranspiração que irão influenciar a recarga;
- aumento da intensidade da precipitação que poderá conduzir a maior escoamento superficial e menor recarga efectiva;
- alterações dos padrões de vegetação natural e de culturas que irão influenciar a recarga;
- subida do nível médio do mar que irá provocar intrusão salina em aquíferos costeiros e ilhas;
- aumento de fenómenos de cheias que afectará a qualidade da água subterrânea em aquíferos aluvionares;
- alterações da concentração de CO_2 que irão influenciar os processos de dissolução dos carbonatos, aumentando a carsificação;
- alteração das concentrações de carbono orgânico no solo que deverá afectar as propriedades de infiltração dos aquíferos.

No que respeita aos impactos das alterações climáticas sobre a qualidade da água, deve ter-se presente que esta pode vir a degradar-se em consequência de uma subida de temperatura que provocará alterações dos processos bioquímicos nos meios hídricos e um decréscimo do teor de oxigénio dissolvido na água. No entanto, a redução do volume do escoamento onde são rejeitadas as cargas poluentes, igualmente decorrente das alterações climáticas pode, eventualmente, constituir o factor mais importante, ampliando o efeito directo do aumento da temperatura na qualidade da água.

Os problemas de qualidade da água relacionados com a concentração de nutrientes são frequentemente agravados pelas

condições térmicas das albufeiras, geralmente caracterizadas por forte estratificação térmica durante os meses mais quentes do ano, alternando com períodos de mistura total nos meses mais frios. Os gradientes verticais de temperatura são geralmente mais intensos na região meridional de Portugal, onde os períodos de estratificação são também mais longos do que nas regiões do Centro e Norte, em resultado não só das mais elevadas temperaturas do ar, mas também de períodos mais extensos de escoamento muito reduzido. O aumento de temperatura poderá afectar determinados factores relacionados com o crescimento algal ou os ciclos do azoto e do fósforo.

A afluência de poluentes aos cursos de água ou aos aquíferos pode também ser condicionada pelas alterações do regime de precipitação e da respectiva capacidade erosiva. A erosão e o transporte de sedimentos desempenham um papel crucial na afluência de poluentes aos cursos de água, correspondendo a uma parte importante da poluição total da água. Em face das mudanças previstas nos regimes de temperatura e precipitação, é expectável um aumento da erosão dos solos, em resultado não só de períodos estivais mais secos, mas também do incremento da frequência das secas e dos episódios de precipitação intensa. Este aumento da erosão e do transporte de sedimentos conduz a uma maior afluência de poluentes às massas de águas e contribui para o agravamento dos problemas de contaminação e de eutrofização. O resultado final não é, no entanto, evidente, pois um acréscimo de intensidade dos episódios de precipitações extremas pode ser compensado por um decréscimo de precipitação anual.

As cargas poluentes com origem difusa podem também ser afectadas por alterações das práticas agrícolas e dos factores que a estas estão associados: tipos de culturas, tecnologias de irrigação, práticas de controlo de erosão dos solos, tipo e quantidades de pesticidas e nutrientes aplicados nas culturas. Em conjunto, estes factores podem produzir um impacto mais significativo na poluição difusa do que o impacto directo das alterações climáticas. De acordo com Schmidt (2000), na maior parte das situações o problema da erosão é mais sensível às práticas de uso do solo do que às alterações climáticas.

Acresce que, de acordo com Gleick (2000), algumas investigações sugerem que as alterações climáticas podem conduzir a modificações a longo prazo na distribuição e saúde de florestas, dependendo parcialmente da forma como os padrões de temperatura e de escoamento se irão alterar. Ainda de acordo com o mesmo autor, as alterações nas florestas terão impactos significativos a nível local e regional sobre o escoamento superficial, a erosão e salinização do solo e a qualidade das águas subterrâneas, impactos estes que ainda não estão adequadamente avaliados. No caso de Portugal este

tipo de impactos assume particular importância, tendo em conta a elevada área florestal existente e a importância económica deste recurso.

No que se refere aos impactos das alterações climáticas sobre a procura de água, é pouco provável que estas condições de forma importante as necessidades de água para fins domésticos e industriais, mas as necessidades de água para a irrigação poderão ser significativamente afectadas. A previsão da evolução da procura de água no sector agrícola é, no entanto, difícil, pois ela está também ligada à evolução das áreas irrigadas e tipos de culturas adoptados, aspectos que não são apenas condicionados por factores climáticos.

A quantidade de água necessária para a irrigação depende da disponibilidade de água no solo, a qual é fortemente condicionada pela intensidade da precipitação. O acréscimo da evapotranspiração, associado a uma elevação da temperatura, conduz a um aumento da procura de água para a irrigação, mas tendo em conta que um aumento da concentração de CO_2 afecta os mecanismos de utilização de água pelas plantas, o resultado final é difícil de prever. A elevação dos níveis de CO_2 conduz, por um lado, à redução da transpiração das plantas, mas, por outro lado, aumenta o crescimento das plantas e, consequentemente, a dimensão das folhas ou seja a área de transpiração. O resultado final destes efeitos opostos também não é claro.

Acresce que as alterações climáticas podem conduzir à substituição de certas culturas por outras melhor adaptadas às novas condições. Porém, o clima não é o único factor que influencia as opções relativamente às culturas e, uma vez mais, não é claro qual será o resultado final.

Existe, contudo, uma crescente convicção de que as alterações climáticas conduzirão a um acréscimo de procura de água para a irrigação. Este problema foi estudado, por exemplo em Espanha por Ayala-Carcedo (2000) que estimou, para 2060, um aumento do consumo de água entre 5 e 10 % nas bacias do Douro, Tejo e Guadiana, se as actuais culturas fossem mantidas.

No que se refere aos impactos sobre os ecossistemas, devem destacar-se os efeitos da alteração da qualidade da água, incluindo a elevação da sua temperatura. Os ecossistemas das regiões costeiras tenderão, além disso, a ser afectados pela intrusão salina que pode ocorrer devido à provável subida do nível médio do mar.

Em resultado do que se referiu, é forçoso reconhecer que as alterações climáticas vêm condicionar as práticas prevalentes de gestão de recursos hídricos, introduzindo incertezas adicionais e impondo a necessidade do reforço da capaci-

dade de adaptação dos sistemas hídricos às alterações climáticas. O presente estudo insere-se no esforço de investigação que é necessário realizar para promover e suportar esta nova atitude na gestão dos recursos hídricos em Portugal.

Com efeito, a escala adoptada nos estudos do IPCC (IPCC, 2001) e do Projecto ACACIA (Parry, 2000), a que atrás se fez referência, não assegura uma resolução suficiente para avaliar os impactos das alterações climáticas sobre os recursos hídricos à escala nacional ou da bacia hidrográfica. O presente estudo procura ultrapassar esta limitação apresentando previsões de escoamento superficial para várias regiões de Portugal, das variações de recarga, das modificações dos níveis piezométricos e das posições das interfaces em aquíferos localizados em zonas costeiras e estuarinas e da alteração dos graus de vulnerabilidade dos aquíferos à poluição provocada por actividades antropogénicas. Uma análise dos cenários de precipitação permitiu a identificação de algumas tendências gerais relativamente à ocorrência de cheias.

3.2 BREVE CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DE PORTUGAL CONTINENTAL

3.2.1 Introdução

Portugal não é um país pobre em recursos hídricos como provam vários estudos comparativos que o colocam numa posição confortável no que respeita a valores médios da disponibilidade de água. Quando comparado com outros países europeus ou com os países da bacia mediterrânica, Portugal apresenta valores de escoamento médio anual, global ou *per capita*, superiores aos valores, por exemplo, da França, Itália, Espanha e Grécia (Cunha, 2003).

As características climáticas, geomorfológicas, geológicas e socioeconómicas do país colocam, no entanto, um conjunto de desafios.

A disponibilidade do recurso água varia significativamente no espaço e no tempo. A precipitação anual média é cerca de cinco vezes maior na região Norte-Atlântica do país que no interior Sul e a precipitação anual pode variar cerca de três vezes de ano para ano. Esta variabilidade exige soluções de armazenamento de água para fazer face às frequentes situações de escassez hídrica e a promoção de políticas de gestão da água que compatibilizem a necessidade de água com a sua disponibilidade.

No que respeita à disponibilidade de água, é ainda necessário ter em conta que 65 % do território continental é abrangido

pelas grandes bacias hidrográficas luso-espanholas que têm as suas regiões de montante em Espanha. Em consequência, cerca de 60 % do escoamento anual tem origem no país vizinho, o que obriga Portugal a encontrar formas de cooperação que salvaguardem os seus interesses nesta área.

A concentração da população no litoral do país e, em particular, em torno dos grandes pólos urbanos de Lisboa e Porto coloca problemas adicionais de desequilíbrio entre a necessidade e a disponibilidade de água, assim como de tratamento e depuração dos efluentes domésticos e industriais.

Aliás, a falta de preocupação com as questões da qualidade da água que tem subsistido em Portugal durante muitos anos, conduziu a várias situações de degradação dos recursos superficiais e subterrâneos, tornando-os indisponíveis para a sua utilização.

As alterações climáticas podem vir a contribuir para um agravamento de todas estas situações e para um incremento das dificuldades de gestão da água em Portugal. Sem um conhecimento profundo da realidade actual e da sua possível evolução, este desafio não poderá ser ultrapassado.

3.2.2 Unidades Hidrológicas

3.2.2.1 Bacias Hidrográficas

O território português é dominado pelas bacias hidrográficas dos seus três grandes rios internacionais: o Douro, o Tejo e o Guadiana (Figura 3.1). Com uma área agregada de 54 360 km² em Portugal, estas bacias abrangem cerca de 60 % do território continental. No entanto, apenas 22 % da área total destas bacias se situa em Portugal (Tabela 3.1).

As características destas três bacias internacionais são bem distintas. O rio Douro, com os seus vales encaixados e caudal elevado, proporciona condições que ao longo dos anos têm sido aproveitadas para a instalação de barragens para fins de produção de energia eléctrica e que actualmente asseguram uma percentagem significativa da produção eléctrica nacional.

A bacia do rio Tejo é a maior bacia do país e marca a transição entre o Norte mais húmido e o Sul mais seco. O rio Tejo entra em Portugal logo a jusante das albufeiras espanholas de Alcantara e Cedillo, a primeira das quais com uma grande capacidade de armazenamento. Desenvolve-se num vale cada vez mais largo que a jusante de Santarém é inundado em situações de cheia. Junto à sua foz, e em redor do estuário, está instalada uma das mais importantes áreas industriais do país.

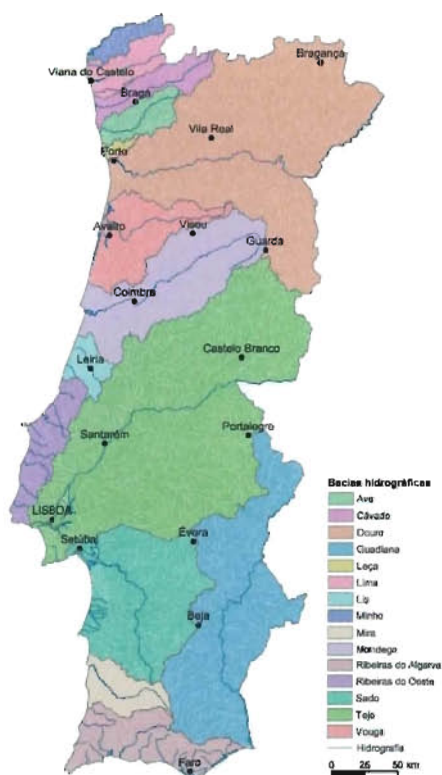


Figura 3.1 Principais bacias hidrográficas de Portugal Continental

A bacia do Guadiana apresenta um dos valores mais baixos de precipitação média e uma forte variabilidade sazonal e interanual de escoamento. Para fazer face a esta variabilidade e para promover a actividade agrícola, Espanha e Portugal optaram por construir grandes barragens que artificializaram de forma significativa o regime de escoamento deste rio. Com a recente construção da barragem de Alqueva, o volume de armazenamento existente nesta bacia ascende a 14 500 hm³, distribuídos por 4500 hm³ em Portugal e 10 000 hm³ em Espanha.

As duas outras bacias internacionais são as do Minho e a do Lima. A primeira desenvolve-se sobretudo em Espanha, enquanto a segunda se situa quase exclusivamente em Portugal. Estas bacias, em conjunto com as bacias do Cávado, Lima, Ave e Leça, são aquelas que apresentam os valores mais elevados de precipitação média. Aproveitando o escoamento resultante desta pluviosidade e as características montanhosas desta região, foram instaladas diversas unidades de produção hidroeléctrica que garantem uma percentagem importante das necessidades energéticas nacionais.

A bacia do Mondego é a maior bacia inteiramente nacional. Com as suas origens na serra da Estrela, o rio Mondego é controlado por um aproveitamento de fins múltiplos cons-

Tabela 3.1 – Características das principais bacias hidrográficas de Portugal Continental (INAG, 2001)

Bacia	Área total (km ²)	Área em Portugal (km ²)	Precipitação em Portugal (mm)	População em Portugal (1998)	Densidade populacional (hab/km ²)
Minho	17 080	850	1954	82 760	101
Lima	2 480	1 180	2208	167 740	107
Cávado	1 699	1 699	2172	450 890	265
Ave	1 459	1 459	1830	551 550	378
Leça	236	236	1334	271 100	1151
Douro	97 600	18 600	1016	1 932 700	103
Vouga	3 706	3 706	1533	702 260	190
Mondego	6 878	6 878	1124	693 690	101
Lis	1 009	1 009	964	180 060	178
Tejo	80 600	25 161	884	803 970	112
Ribeiras do Oeste	2 395	2 395	821	2 812 850	336
Sado	8 295	8 295	622	292 960	35
Mira	1 767	1 767	689	23 950	14
Guadiana	66 800	11 600	568	182 950	16
Ribeiras do Algarve	2 837	2 837	840	324 100	84

truído na década de 1970 para garantir o abastecimento urbano, industrial e agrícola da região, mitigar o problema das cheias do Baixo Mondego entre Coimbra e Figueira da Foz e produzir energia.

O rio Vouga desenvolve-se em vale encaixado até à foz do rio Caima, espalhando-se a jusante em redor da ria de Aveiro, numa planície onde está instalada a zona industrial de Estarreja, que inclui várias unidades industriais poluentes.

A bacia do Lis é uma pequena bacia com um regime de escoamento controlado pelo maciço cársico da serra dos Candeeiros. Apresenta graves problemas de qualidade da água devido à instalação de um conjunto de unidades de suinicultura.

As bacias do Sado e do Mira apresentam valores muito baixos de precipitação média. A partir do final da década de 1940 foram construídos alguns aproveitamentos hidro-agrícolas que actualmente asseguram cerca de 800 hm³ de armazenamento e beneficiam uma área de 36 500 ha.

As ribeiras costeiras do Oeste abrangem a zona de Torres Vedras e Caldas da Rainha e as bacias dos rios Sisandro e Lisandro.

As bacias das ribeiras do Algarve abrangem todo o Algarve, com excepção de parte da zona Leste (Sotavento) que faz parte da bacia do Guadiana. Nesta região é de destacar a bacia do rio Arade e a ria Formosa.

3.2.2.2 Unidades Hidrogeológicas

Do ponto de vista hidrogeológico, ocorrem em Portugal sistemas geológicos de vários tipos (poroso, fissurado e cársico) que condicionam o armazenamento e a transmissão da água subterrânea. Existem observatórios singulares de interacção com outros meios aquáticos em diversos ambientes climáticos como sejam os rios, os estuários e os oceanos e manifestações significativas de fenómenos de características hidrominerais e hidrotermais.

Portugal Continental está dividido em quatro grandes unidades hidrogeológicas – o Maciço Antigo, a Orla Ocidental, a Orla Meridional e a Bacia do Tejo-Sado (Figura 3.2), que se analisam a seguir, e onde se incluem os sistemas aquíferos representados na Figura 3.3.

Maciço Antigo

No Maciço Antigo predominam as rochas ígneas e metamórficas. Embora consideradas como impermeáveis estas formações têm uma capacidade de armazenamento não desprezável, quer nas zonas de alteração superficial quer no sistema de fracturas que as afectam, e que se traduz pela regularização do escoamento dos cursos de água que as atravessam, garantindo um caudal mínimo em rios que fluam em regiões semiáridas como o Alentejo durante os períodos de estiagem (Alves *et al.*, 2002).

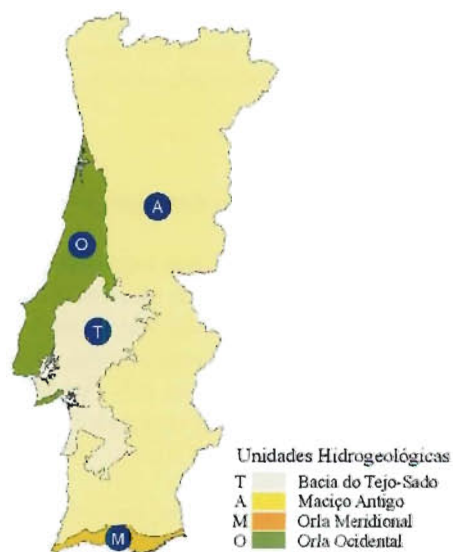


Figura 3. 2 – Unidades hidrogeológicas

A água que circula por esses sistemas de fracturas dá origem muitas vezes a numerosas nascentes que debitam durante todo o ano pequenos caudais. Claramente associado a estes acidentes estruturais está ainda o surgimento de importantes nascentes termais. Dada a elevada complexidade dessas formações, que se traduz em geral pela extrema dificuldade em estabelecer modelos conceptuais de circulação de água minimamente credíveis, o conhecimento desses meios hidrogeológicos é ainda muito limitado. No seio dessas formações surgem, contudo, unidades aquíferas com um interesse hidrogeológico relevante, associadas a rochas calcárias, a gabros, a terraços e a cascalheiras que ocupam depressões do soco antigo e a outras formações jurássicas e terciárias. O aquífero de Veiga de Chaves é um desses exemplos.

Uma intensa campanha de investigação, inventariação, recolha e análise de dados hidrogeológicos, realizada no âmbito do Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo (ERHSA, 2001), permitiu identificar no Maciço Antigo da região alentejana novas formações aquíferas em áreas constituídas por rochas metamórficas e ígneas que modificaram significativamente a paisagem hidrogeológica desta área.

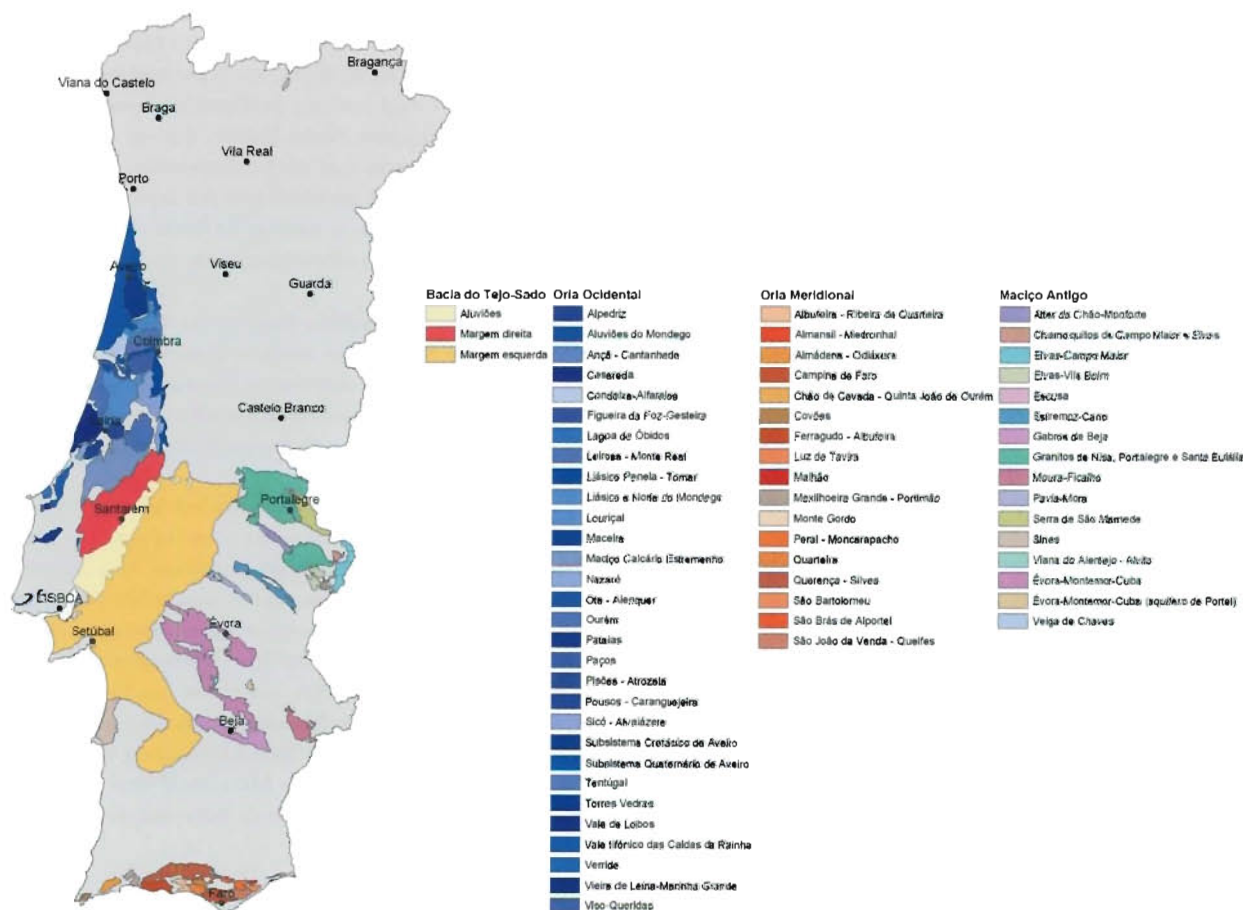


Figura 3.3 – Sistemas aquíferos de Portugal Continental (INAG, 1997)

Orla Ocidental

Na Orla Ocidental existe uma grande variedade de formações que constituem o suporte de 28 sistemas aquíferos: unidades detriticas de idade terciária e quaternária; arenitos e calcários cretácicos e calcários do jurássico. Esta diversidade hidrogeológica é responsável pela grande heterogeneidade das formações aquíferas e por uma paleta hidrodinâmica muito rica, com óbvios reflexos nos funcionamentos hidráulicos dos sistemas aquíferos que aí se situam. Estas circunstâncias tornam a Orla Ocidental uma paisagem hidrogeológica impar no país.

Orla Meridional

A Orla Meridional é constituída por formações detriticas e carbonatadas de um modo geral muito produtivas na qual foram delimitados 17 sistemas aquíferos. Contrariamente ao que se passa na Orla Ocidental esta unidade hidrogeológica é caracterizada pela sua grande homogeneidade litológica: 16 dos 17 sistemas aquíferos possuem características cársicas ou parcialmente cársicas.

Bacia do Tejo-Sado

A bacia do Tejo-Sado é constituída por formações detriticas de idade terciária e quaternária. É aqui que se situa o mais extenso sistema aquífero da Península Ibérica: o sistema da bacia do Tejo-Sado. Para além deste foram identificados mais quatro sistemas aquíferos todos eles de características porosas, contribuindo pela sua extensão, espessura e produtividade para tornar a bacia do Tejo-Sado a mais importante unidade hidrogeológica do país.

Tabela 3.2 – Percentagem da área total coberta pelos sistemas aquíferos agrupados por tipos litológicos (INAG, 1972)

Tipo litológico	%
Cársico	11
Poroso-Cársico	22
Poroso	60
Poroso-Fissurado	2
Cársico-Fissurado	5

Dos 62 sistemas aquíferos já identificados 21 são sistemas cársicos, 22 são porosos, 13 têm comportamento misto poroso-cársico, cinco são cársico-fissurados e um é poroso-fissu-

rado. Em termos de extensão geográfica, a Tabela 3.2 mostra que os aquíferos porosos são os que ocupam uma maior parcela (60 %) da área coberta pela totalidade dos sistemas (cerca de 18 000 km²).

Funcionamento Hidráulico dos Aquíferos

A diversidade hidrogeológica do país, representada na variedade das formações litológicas onde ocorrem os aquíferos, é seguramente responsável pela existência de vários tipos de funcionamento hidráulico, pela multiplicidade de conexões hidráulicas com outros subsistemas, pela variabilidade das produtividades observadas e pela variedade dos sentidos de fluxo.

Da totalidade dos sistemas aquíferos, cerca de metade funcionam como aquíferos monocamada em regime livre ou confinado, enquanto os restantes são sistemas multicamada, apresentando muitos deles importantes conexões hidráulicas entre as unidades aquíferas que os compõem.

Como é óbvio, os mecanismos de drenância (intercâmbio de água entre camadas) desempenham um papel fulcral no escoamento da água subterrânea, sendo por esse motivo uma componente de modo nenhum negligenciável nos balanços hídricos desses sistemas. Nesse âmbito, deve-se enfatizar o papel que a drenância tem no funcionamento hidráulico, quer em regime natural quer induzida por exploração intensiva, em aquíferos como o sistema da bacia do Tejo-Sado (margem esquerda) ou o subsistema cretácico de Aveiro.

Algumas unidades aquíferas com carácter confinante ou semiconfinante apresentam ainda artesianismo repuxante, um indicador que esses sistemas se encontram subexplorados. Em períodos que antecederam o início da sua exploração estes fenómenos eram mais frequentemente visíveis.

Pela sua importância no funcionamento hidráulico, há a referir alguns aspectos hidrodinâmicos relativamente aos sistemas cársicos e aluvionares. No primeiro caso, há a salientar o papel relevante das nascentes no funcionamento hidráulico daqueles sistemas que debitam em média caudais apreciáveis. É na unidade hidrogeológica da Orla Ocidental que ocorrem as nascentes mais importantes, associadas aos sistemas cársicos do Liásico, a norte do Mondego, de Ançã-Cantanheide, do Liásico Penela-Tomar, de Sicó-Alvaiázere e do Maciço Calcário Estremenho. Na Orla Meridional deve referir-se, pela sua importância, o conjunto de nascentes de Estômbar do sistema Querença-Silves.

Quanto aos sistemas aluvionares, há a referir a sua interdependência com os cursos de água com os quais estão

conectados, revelando características efuentes ou influentes conforme o funcionamento hidráulico sazonal daqueles sistemas hidrológicos. De entre estes salientam-se o sistema das aluviões do Mondego e o sistema aluvionar do rio Tejo.

3.2.3 Ciclo Hidrológico

3.2.3.1 Precipitação

A precipitação anual média em Portugal é cerca de 960 mm, mas apresenta uma **variação espacial** muito acentuada, entre cerca de 2200 mm na bacia do Lima e Cávado e 550 mm na bacia do Guadiana e no interior da bacia do Douro. A bacia do rio Tejo marca a transição entre o Norte húmido e o Sul seco.

A esta variabilidade espacial junta-se a variabilidade temporal, quer sazonal quer interanual. O semestre húmido, que decorre entre Novembro e Abril, regista 70 % do valor da precipitação anual. A precipitação mensal média apresenta o seu valor mais elevado em Dezembro ou Janeiro, sendo o mínimo observado em Julho ou Agosto.

A variabilidade interanual da precipitação também é significativa. A precipitação anual sobre o território continental variou entre 550 mm e 1450 mm no período de 1941-1942 a 1990-1991 e cerca de 25 % dos valores de precipitação anual situaram-se abaixo de 800 mm ou acima de 1100 mm. Em termos relativos, a variabilidade aumenta de norte para sul.

3.2.3.2 Escoamento Superficial

De acordo com o Plano Nacional da Água (PNA), os 960 mm de precipitação sobre Portugal Continental dão origem a cerca de 385 mm de escoamento superficial (INAG, 2001). Este valor resulta da soma do escoamento superficial que ocorre imediatamente após os períodos pluviosos e da contribuição retardada dos aquíferos subterrâneos.

A **variabilidade espacial** do escoamento superficial acompanha a **variação de precipitação**, com o Noroeste do país a apresentar valores de escoamento superiores a 1000 mm e a região do Alentejo a apresentar valores inferiores a 200 mm.

Estes valores anuais estão associados a uma forte sazonalidade. Cerca de 70 % do valor anual está concentrado nos quatro meses do período de Dezembro a Março e cerca de 85 % nos seis meses de Novembro a Abril.

No que respeita à variabilidade interanual do escoamento, esta é mais acentuada do que a variabilidade da precipitação anual. A relação entre o escoamento dos anos mais húmidos (percentil 90 %) e o dos anos mais secos (percentil 10 %) varia entre cerca de 3, no Noroeste de Portugal, e valores superiores a 10, a sul do Tejo.

Nas bacias internacionais, aos valores de escoamento gerado em Portugal é necessário adicionar a contribuição proveniente de Espanha. Em termos de volume, afluem a Portugal, em regime natural, cerca de 53 km³ de água, que se adicionam a cerca de 30 km³ gerados em Portugal. Os rios que mais contribuem são o Douro, o Minho e o Tejo, respectivamente com 14, 11 e 11 km³ (MMA, 1998).

3.2.3.3 Recarga de Aquíferos

A recarga pode-se definir como a água infiltrada que, escoando verticalmente, vai atingir a superfície freática. Trata-se da parcela de água infiltrada que resta depois de deduzida a quantidade evapotranspirada.

A estimação da recarga revela-se no entanto de grande dificuldade já que não existe uma metodologia segura para a sua correcta avaliação. Identificam-se em geral as seguintes fontes de recarga num sistema hidrogeológico:

- precipitação directa;
- cursos de água e lagos;
- fluxos interaquíferos incluindo fenómenos de drenância;
- retornos de regas;
- infiltrações de águas residuais urbanas e industriais.

Em virtude da escassez de dados só é possível estimar valores médios de recarga efectiva por precipitação, nomeadamente através da decomposição de hidrogramas, de balanços hídricos a nível do solo, de balanços geoquímicos como o de cloretos, ou, ainda, através métodos expeditos baseados em critérios puramente litológicos.

Os valores de recarga estimados para Portugal Continental oscilam entre os 5 % para os xistos até valores superiores a 50 % para as formações cársicas. Na Figura 3.4 estão representados diagramas de extremos e de quartis dos valores da taxa de recarga estimados nas quatro unidades hidrogeológicas. Nota-se que a maior dispersão ocorre nas Orlas Ocidental e Meridional.

3.2.3.4 Produtividade dos Sistemas Aquíferos

Entende-se por produtividade de um sistema aquífero a sua capacidade de fornecer um determinado caudal por unidade

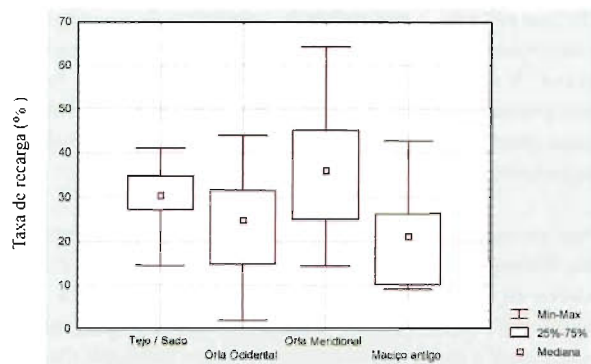


Figura 3.4 – Diagramas de extremos e de quartis construídos com base em taxas de recarga estimadas para as quatro unidades hidrogeológicas

de tempo, e é calculada, na prática, com base nos caudais de exploração das captações existentes no aquífero.

A Figura 3.5 apresenta um conjunto de valores de caudais de exploração sugeridos em relatórios de sondagens. É patente que os sistemas de características porosas são, em média, os mais produtivos, com um valor de mediana de 13,3 l/s, seguindo-se os sistemas mistos cársico-porosos com 7,2 l/s e os cársicos com 6,3 l/s.

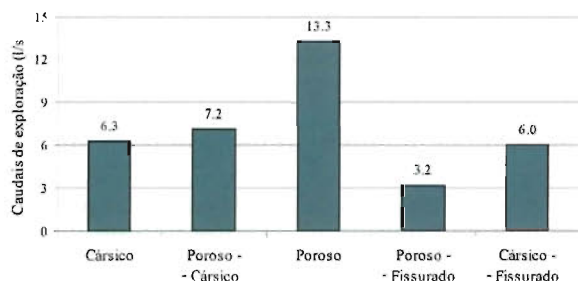


Figura 3.5 – Mediana dos valores de caudais de exploração dos sistemas aquíferos agrupados por tipos litológicos

Na unidade do Maciço Antigo, os valores mais elevados de produtividade ocorrem nos sistemas aquíferos cársicos alentejanos de Escusa e de Moura Ficalho, com cerca de 15 l/s, e no sistema poroso da Veiga de Chaves, com caudais de exploração que atingem os 30 l/s.

Na Orla Meridional algarvia deve realçar-se, pela sua extensão geográfica (aprox. 300 km²) e pelo seu grau de produtividade, o sistema aquífero de Querença-Silves, com uma mediana de valores da ordem dos 12 l/s.

Na Orla Ocidental, os maiores valores de produtividade ocorrem nos sistemas aluviões do Mondego (mediana de 30

l/s), Vicira de Leiria-Monte Real (20 l/s), Leirosa-Monte Real (15 l/s), vale tifónico das Caldas da Rainha (13 l/s) e da Nazaré (10 l/s).

A bacia do Tejo-Sado abrange os sistemas aquíferos mais produtivos do país, com valores médios de produtividade da ordem dos 40 l/s que ocorrem sobretudo na unidade aquífera confinada do Miocénico.

3.2.4 Disponibilidades Hídricas

3.2.4.1 Disponibilidades Hídricas Superficiais

Dada a grande variabilidade temporal das variáveis hidro-lógicas, o conceito de disponibilidades hídricas superficiais deve ser sempre associado ao conceito de garantia, isto é, ao valor da probabilidade de existirem condições para satisfazer um determinado volume de necessidades de água.

Nas bacias em que não houve intervenção humana sobre o sistema de recursos hídricos, este valor de garantia resulta directamente da análise estatística das séries de escoamento natural. O valor de disponibilidade anual associado a uma garantia de 90 % corresponde ao percentil 10 % da curva de distribuição do escoamento anual. Nos anos em que o escoamento é inferior ao valor daquele percentil não é possível garantir aquele valor das disponibilidades hídricas.

No entanto, a satisfação de um determinado volume anual não significa que sejam satisfeitas as necessidades ao longo de todo o ano, uma vez que a variação sazonal do escoamento em geral não coincide com a distribuição das necessidades. Antes pelo contrário: é na Primavera e no Verão, quando o escoamento é mais baixo, que a necessidade de água é mais elevada.

A construção de barragens permite aumentar o valor da disponibilidade hídrica associado a determinados valores de garantia e garantir a satisfação das necessidades de água ao longo de todo o ano. A gestão criteriosa das albufeiras criadas por estas infra-estruturas permite armazenar os excedentes de água nos períodos mais húmidos para os libertar nos períodos mais secos e complementar as disponibilidades naturais na satisfação das necessidades de água.

A capacidade de armazenamento em albufeiras existente em Portugal Continental é cerca de 12 000 hm³. As albufeiras de Alqueva (4100 hm³) e de Castelo de Bode (1000 hm³) representam por si só uma percentagem significativa deste valor global. As bacias do Guadiana, Tejo, Cávado e Mondego são aquelas onde existe a maior capacidade de armazenamento (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 – Capacidade de armazenamento instalada (INAG, 2001)

Bacia	Capacidade armazenamento das albufeiras (hm ³)		Escoamento na foz (hm ³)	Coeficiente de regularização
	Portugal	Espanha		
Minho	0	2 810	12 109	0,2
Lima	400	150	3 529	0,2
Cávado	1 180	-	2 099	0,6
Ave	100	-	1 228	0,1
Leça	0	-	104	0,0
Douro	1 078	6672	22 852	0,3
Vouga	1	-	1 908	0,0
Mondego	540	-	4 330	0,1
Lis	0	-	260	0,0
Ribeiras do Oeste	1	-	300	0,0
Tejo	2 750	11 140	17 044	0,8
Sado	771	-	972	0,8
Mira	486	-	196	2,5
Guadiana	4 560	9 920	7 357	2,0
Ribeiras do Algarve	63	-	348	0,2
Continente	11 930		74 636	

O aumento das disponibilidades hídricas superficiais em bacias com um elevado grau de artificialização, decorrente da capacidade de armazenamento instalada, depende da relação entre essa capacidade, a média do escoamento em regime natural e a variabilidade em torno da média do escoamento em regime natural. Quanto maior for a relação entre a capacidade de armazenamento e o valor médio do escoamento (coeficiente de regularização), assim como entre a capacidade de armazenamento e a variação em torno da

média do escoamento, maior será o aumento da disponibilidade hídrica.

O cálculo deste aumento exige a simulação de todo o sistema de recursos hídricos, incluindo a operação das albufeiras existentes na bacia. Para isso é necessário estimar o escoamento natural gerado nas principais sub-bacias, adoptar determinadas políticas de operação das albufeiras e estimar as perdas por evaporação. Nas bacias internacionais este tra-

Tabela 3.4 – Disponibilidades hídricas superficiais (INAG, 2001)

Bacia	Escoamento anual na foz com garantia de 90 % (hm ³)		Escoamento anual na foz com garantia de 80 % (hm ³)	
	Regime natural	Regime regularizado	Regime natural	Regime regularizado
Minho	5 938	n.d.	7 276	n.d.
Lima	1 605	2110	1 947	2462
Cávado	1 089	1769	1 432	1960
Ave	546	612	722	794
Leça	37	38	56	60
Douro	12 471	n.d.	16 278	n.d.
Vouga	675	721	1 092	1108
Mondego	911	1452	2 166	2342
Lis	49	63	93	121
Ribeiras do Oeste	113	131	154	163
Tejo	10 004	n.d.	11 845	n.d.
Sado	19	612	182	716
Mira	0	268	60	289
Guadiana	1 051	n.d.	1 744	n.d.
Ribeiras do Algarve	25	105	104	160

balho é prejudicado pela dificuldade de obtenção de dados relativos a Espanha, designadamente de consumos de água.

No âmbito dos trabalhos do PNA, foram realizados esforços no sentido de quantificar este aumento, adoptando uma metodologia simplificada que assume que toda a capacidade de armazenamento está instalada na foz da bacia. A Tabela 3.4 apresenta os resultados desse esforço, sendo de reforçar o carácter aproximado dos resultados.

A análise da Tabela 3.4 revela que as bacias com maiores disponibilidades hídricas são as bacias do Douro, Tejo e Minho. A bacia do Sado é aquela que apresenta um maior aumento relativo das disponibilidades hídricas em resultado da capacidade de armazenamento instalada.

3.2.4.2 Disponibilidades Hídricas Subterrâneas

Entende-se por disponibilidades hídricas subterrâneas o volume de água subterrânea que o aquífero ou a formação hidrogeológica pode fornecer em condições naturais, em resultado da recarga por infiltração da precipitação.

A Figura 3.6 apresenta a distribuição das disponibilidades hídricas subterrâneas em Portugal Continental, por classes de valores. Na sua estimação não foram contemplados os volumes provenientes de fenómenos de recarga induzida dos cursos de água, lagos, ou através de aquíferos (formações de permeabilidade reduzida). Apresentam-se os valores em $\text{hm}^3/\text{ano}/\text{km}^2$, tendo-se utilizado para o efeito um valor de recarga média anual e a área de afloramento do aquífero

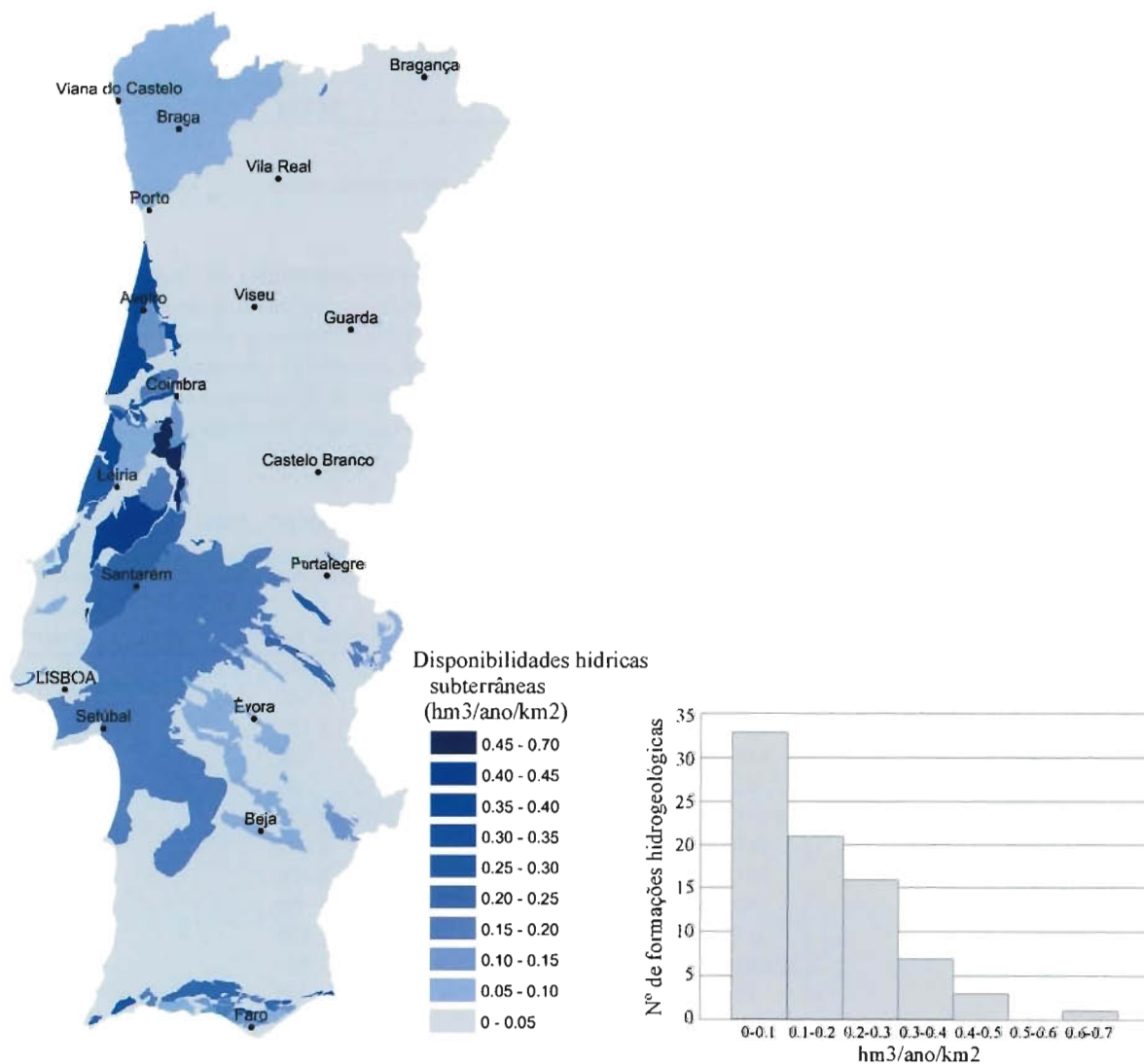


Figura 3.6 - Disponibilidades hídricas subterrâneas de Portugal Continental

ou formação hidrogeológica. Note-se que esta área pode ser diferente da área preferencial de recarga.

Como era de esperar os maiores valores estão associados a aquíferos cársicos e os menores às formações cristalinas que constituem maioritariamente o Maciço Antigo. O histograma de disponibilidade hídrica subterrânea mostra uma distribuição claramente assimétrica com uma mediana de 0,15 hm³/ano/km².

3.2.5 Necessidades e Consumos de Água

3.2.5.1 Introdução

As utilizações de água mais importantes são o abastecimento humano, o abastecimento industrial, o regadio, o turismo, a produção de energia eléctrica, a aquacultura, a navegação e as actividades recreativas. Para além destas utilizações é ainda necessário referir a manutenção de um regime de escoamento que proporcione condições para um desenvolvimento saudável e sustentável dos ecossistemas aquícolas e ribeirinhos.

O termo «utilização» é aqui usado em sentido genérico, englobando todas as actividades que necessitam do meio hídrico, quer para captar água quer para aproveitar de alguma forma a área inundada, a cota da superfície livre ou a profundidade de água. A maioria das utilizações referidas são consumptivas, no sentido em que utilizam o meio hídrico para captar água, devolvendo apenas uma pequena parcela do volume de água captado. As excepções são a produção de

energia eléctrica, a aquacultura, a navegação e as actividades recreativas.

O PNA estima que as necessidades de água para utilizações consumptivas em Portugal Continental ascendem a cerca de 10 000 hm³/ano. Neste valor global destaca-se o regadio, responsável por cerca 87 % das necessidades de água, muito embora este volume não seja inteiramente satisfeito (Tabela 3.5).

3.2.5.2 Abastecimento Público

As necessidades de água para abastecimento urbano incluem as necessidades da população, comércio e serviços satisfeitas pelas redes públicas de distribuição de água, assim como as perdas de águas da rede.

De acordo com o PNA, cerca de 85 % da população residente no Continente é abastecida por água potável, o que corresponde a um valor de consumo de cerca de 560 hm³/ano. O valor da captação varia entre 130 l/hab/dia e 530 l/hab/dia.

Os Planos de Bacia Hidrográfica identificaram 4384 captações no Continente, 267 das quais em águas superficiais e 3394 em águas subterrâneas. Para as restantes 723 captações não foi possível caracterizar o tipo de origem. É evidente o peso significativo dos recursos hídricos subterrâneos na satisfação das necessidades de abastecimento público, quando medido em termos de número de utilizadores.

Tabela 3.5 – Necessidades de água (hm³/ano) (INAG, 2001)

Bacia	Abastecimento urbano	Abastecimento industrial	Regadio	Turismo	Total
Minho	4	< 1	107	< 1	112
Lima	10	10	214	< 1	235
Cávado	18	3	316	< 1	337
Ave	34	8	364	< 1	407
Leça	26	16	39	< 1	81
Douro	102	34	1793	1	1930
Vouga	39	28	475	< 1	543
Mondego	41	71	832	< 1	944
Lis	10	< 1	69	< 1	79
Oeste	47	4	207	2	260
Tejo	223	147	2655	3	3028
Sado	25	58	588	< 1	672
Mira	1	< 1	126	< 1	128
Guadiana	16	3	536	1	557
Algarve	26	2	410	11	449
Total	623	385	8732	20	9760

No que respeita a volume de água, segundo o último inquérito realizado em 2001-2002 pela Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas (APDA), junto de todas as entidades gestoras de sistema de abastecimento de água de Portugal Continental (APDA, 2002), a componente de água subterrânea utilizada para o abastecimento público corresponde a 44 % do total de água consumida.

A Figura 3.7 mostra que os concelhos onde o abastecimento público é maioritariamente de origem subterrânea se localizam nos distritos de Setúbal, Leiria, Santarém, Coimbra e Aveiro, isto é, em zonas onde se situam aquíferos de elevada produtividade, como é o caso dos sistemas que integram a Unidade Hidrogeológica da bacia Tejo-Sado e a Orla Ocidental.

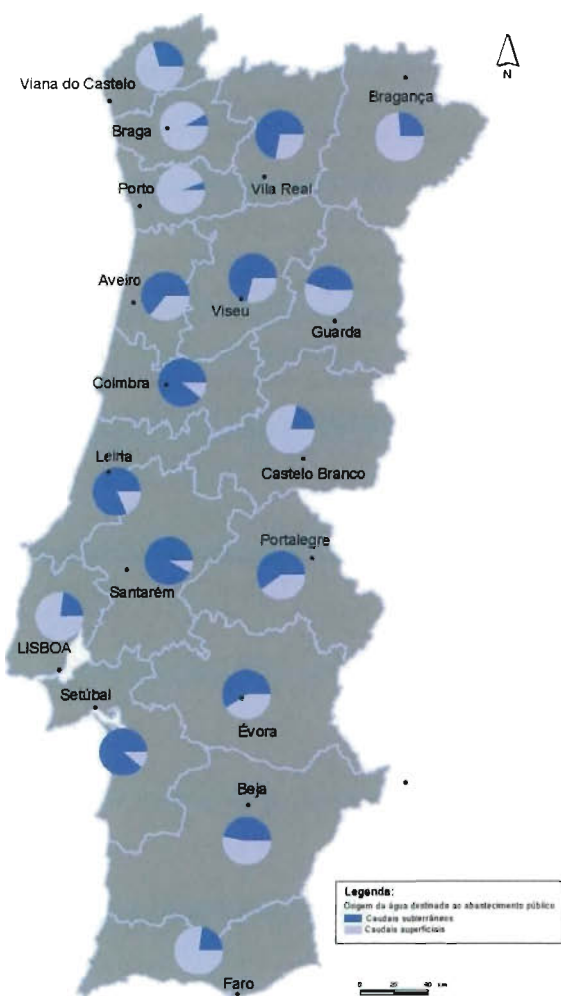


Figura 3.7 – Distribuição por distritos do volume de água para abastecimento público proveniente de captações superficiais ou subterrâneas (APDA, 2002)

3.2.5.3 Indústria

O PNA estima que as necessidades actuais da indústria em Portugal Continental rondam os 385 hm³/ano. Cerca de 80 % deste valor decorre de apenas quatro sectores: fabrico da pasta de papel, indústria alimentar e de bebidas, indústrias metalúrgicas de base e, ainda, fabricação de produtos químicos.

A Figura 3.8 mostra a distribuição por bacias hidrográficas do volume de água para a indústria proveniente de captações superficiais ou subterrâneas. Os maiores consumos de água subterrânea situam-se nas bacias do Tejo, do Sado e do Douro com valores da ordem dos 132 hm³/ano.

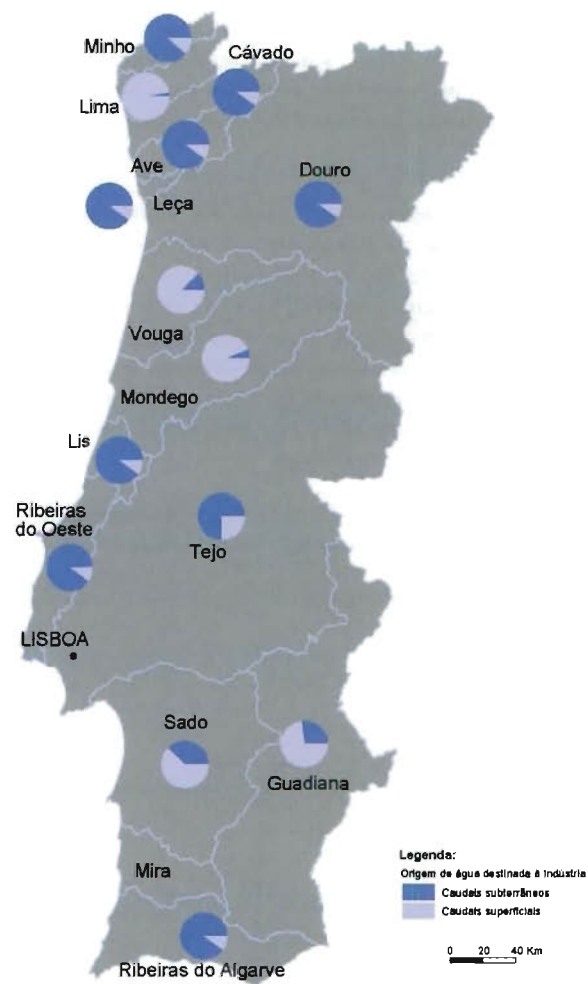


Figura 3.8 – Distribuição por bacias hidrográficas do volume de água para a indústria proveniente de captações superficiais ou subterrâneas (INAG, 2001)

3.2.5.4 Agricultura

A agricultura é a actividade que mais consome água em Portugal Continental. O PNA estima que as necessidades de água para a agricultura sejam cerca de 3730 hm³/ano, um peso significativo das necessidades globais de água.

A eficiência de rega é em geral baixa, menor que 65 %, e estima-se que apenas 20 % do volume captado é devolvido ao meio hídrico. As bacias do Tejo e do Douro são aquelas com valores mais elevados de necessidades de água.

Note-se que cerca de 65 % da água utilizada tem origem subterrânea (Figura 3.9). Os volumes mais elevados de consumo de água subterrânea situam-se nas bacias hidrográficas dos rios Tejo, Douro e Mondego.

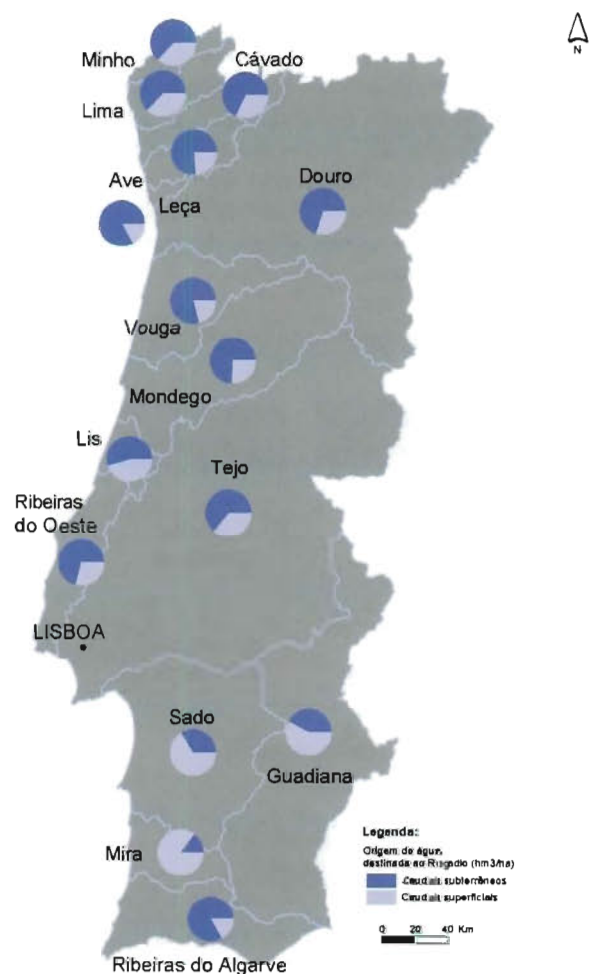


Figura 3.9 – Distribuição por bacias hidrográficas do volume de água para irrigação proveniente de captações superficiais ou subterrâneas (INAG, 2001)

3.2.5.5 Turismo

As necessidades de água para o turismo incluem o abastecimento de água a infra-estruturas hoteleiras e a campos de golfe. Estas duas parcelas apresentam valores de necessidade semelhantes, sendo as necessidades, em geral, satisfeitas a partir das redes públicas de abastecimento, enquanto o abastecimento a campos de golfe é satisfeito a partir de captações próprias, superficiais ou subterrâneas.

3.2.5.6 Produção de Energia Eléctrica

A indústria de produção de energia eléctrica é um dos maiores utilizadores de água em termos de volume, não obstante o consumo líquido final associado a esta utilização não ser elevado. O consumo de água em centrais hidroeléctricas e nos sistemas de refrigeração de centrais térmicas resulta apenas das perdas por evaporação que ocorrem nestes processos.

Os impactos mais significativos desta actividade no meio hídrico são a modificação do regime de escoamento, a diminuição da qualidade de água resultante das descargas de camadas profundas de albufeiras ou de água aquecida dos sistemas de refrigeração e, ainda, a modificação do regime de transporte sólido fluvial.

3.3 METODOLOGIAS DE ANÁLISE

3.3.1 Introdução

Na avaliação dos impactos das alterações climáticas sobre os recursos hídricos torna-se necessário comparar dois cenários climáticos distintos: um cenário de referência, estável, que se pretende estatisticamente semelhante à situação histórica, e um outro que resulta de uma dada hipótese de aumento da emissão de gases com efeito de estufa.

O cenário de referência adopta a concentração média histórica de CO₂ atmosférico, produzindo assim um cenário climático estacionário, onde cada variável assume diferentes valores durante a simulação, mas em que os parâmetros estatísticos se mantêm inalterados. O outro cenário, designado por cenário perturbado, simula as tendências climáticas associadas a uma dada evolução da concentração de gases com efeito de estufa e, eventualmente, de aerossóis.

Os actuais modelos climáticos são capazes de simular a evolução de um conjunto de variáveis climáticas e hidrológicas em função de alguns factores, em que se inclui a concentração na atmosfera dos gases com efeito de estufa. Permitem,

por isso, gerar cenários climáticos distintos para diferentes hipóteses de evolução da concentração de gases com efeito de estufa, resultantes de diferentes opções políticas e de consequentes cenários de desenvolvimento socioeconómico.

Os modelos climáticos avaliam os impactos das alterações climáticas sobre um conjunto de variáveis hidrometeorológicas, mas a escala espacial usada é pouco pormenorizada para permitir estimar os efeitos sobre os recursos hídricos das principais bacias hidrográficas.

Para superar essa dificuldade, os cenários climáticos usados pelas diferentes metodologias neste capítulo resultam da afectação das anomalias climáticas previstas pelos modelos às séries históricas observadas. Deste modo, preserva-se a estrutura espacial do clima, a qual, em caso contrário, seria esbatida pelos modelos climáticos.

3.3.2 Escoamento, Recarga e Piezometria

3.3.2.1 Modelo Hidrológico

Para a avaliação do impacto das alterações climáticas na disponibilidade dos recursos hídricos, aplicou-se um modelo hidrológico para simular os processos hidrológicos e estimar o escoamento fluvial de uma bacia em função das variáveis de saída dos modelos climáticos.

O modelo denomina-se Temez e constitui uma simplificação do Stanford Watershed Model (SWM) (Linsley e Crawford, 1960; Crawford e Linsley, 1966). É um modelo agregado que simula à escala mensal os processos hidrológicos que ocorrem numa bacia hidrográfica, tendo como dados de entrada as séries de precipitação mensal e de evapotranspiração potencial mensal da bacia. Os dados de saída do modelo compreendem valores mensais de escoamento, infiltração e evapotranspiração real.

Não obstante ser vocacionado para o escoamento superficial, o modelo estima também a recarga dos sistemas aquíferos, pelo que foi utilizado para uma primeira estimativa dos impactos das alterações climáticas nesta variável.

O modelo tem quatro parâmetros de calibração: coeficiente de excedente, capacidade de campo, taxa máxima de infiltração e taxa de esgotamento do aquífero. Estes quatro parâmetros foram calibrados de modo a obter o melhor ajustamento possível entre a série de escoamento observada e a série calculada, tentando ainda assegurar que o valor médio da taxa de recarga era consentâneo com as condições hidrogeológicas da bacia. Tendo em consideração a litologia de cada uma das sub-bacias estudadas, assim como os sistemas aquíferos

que as integram, definiu-se o parâmetro taxa máxima de infiltração de modo a obter uma maior aproximação entre os resultados do modelo e a recarga real. Deste exercício de calibração resultaram os valores dos parâmetros do modelo para cada uma das bacias consideradas.

Após a calibração, utilizou-se o modelo para simular o ciclo hidrológico de cada bacia para vários cenários climáticos futuros. Estes cenários resultam das séries históricas perturbadas com as anomalias médias previstas pelos modelos climáticos para os diferentes cenários socioeconómicos. Os valores de anomalia são calculados comparando as séries para diferentes cenários com o cenário de referência. No caso da temperatura, a anomalia é a diferença, medida em °C, entre os valores das duas séries, sendo somada aos valores observados. No caso da precipitação, a anomalia é medida em percentagem de aumento, sendo multiplicada pelos valores observados.

Através desta metodologia mantém-se a estrutura espacial do clima, minimizando o erro dos modelos climáticos. Assume-se, no entanto, que a variabilidade interanual das diferentes variáveis climáticas se mantém nos níveis actuais, o que se trata de uma simplificação importante. Com efeito, o eventual aumento desta variabilidade pode condicionar de forma significativa a capacidade dos sistemas em satisfazer as necessidades de água.

Na Figura 3.10 esquematiza-se a metodologia abordada.

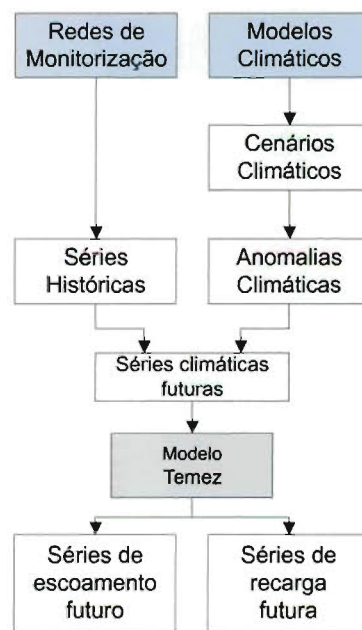


Figura 3.10 – Metodologia utilizada para a avaliação do impacto das alterações climáticas na disponibilidade dos recursos hídricos

Para caracterizar o clima de referência consideraram-se as séries históricas de precipitação e temperatura mensal observadas em mais de 500 estações udométricas e 200 estações climáticas distribuídas por Portugal e Espanha (nas regiões envolventes do território português) relativamente ao período de 1961 a 1990.

Foram estudadas 62 bacias hidrográficas com áreas compreendidas entre 15 e 2000 km² distribuídas pelo país, abrangendo vários regimes de escoamento. Todas as bacias estão situadas integralmente em território português e foram agrupadas por regiões mais ou menos homogêneas do ponto de vista hidrológico (Figura 3.11).

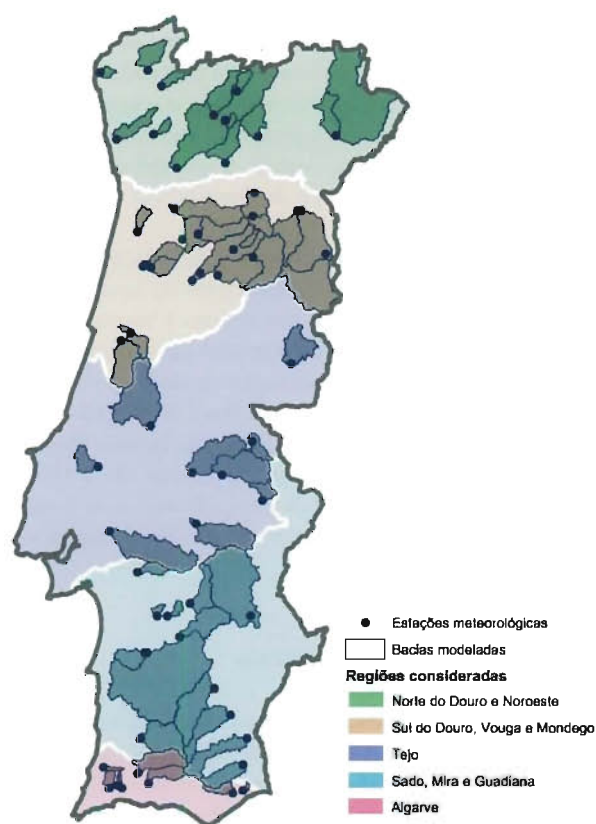


Figura 3.11 – Bacias hidrográficas e regiões consideradas para o estudo

3.3.2.2 Análise de Tendências

Para detectar e analisar as tendências de evolução da variável piezometria foram aplicadas ferramentas estatísticas não paramétricas, designadamente os testes de Mann-Kendall, na versão sazonal (Kendall, 1975 e Mann, 1945), e os testes de regressão robusta de Theil e Sen (Theil, 1959 e Sen, 1968).

Esta metodologia possui capacidade suficiente para analisar situações que ocorrem frequentemente nas variáveis hídricas, tais como distribuições estatísticas livres, presença de valores anormais, ausência de valores, ciclicidades, etc. (Hirsch *et al.*, 1982).

O teste de Mann-Kendall permite detectar as tendências, de forma robusta e com correção de sazonalidade, e inferir do grau de significância do acréscimo ou do decréscimo de cada parâmetro. Por sua vez, o método de Theil e Sen permite calcular de modo robusto um valor para o declive da tendência detectada, ou seja, a magnitude da mudança por unidade de tempo, correspondendo esse valor à mediana de todos os declives. O declive assim calculado é resistente a valores extremos e representa tão-somente uma mera indicação, não se devendo concluir daí uma rígida linearidade na alteração dos valores da variável.

Neste trabalho aplicou-se esta metodologia para estimar a resposta dos níveis piezométricos a uma eventual variação das taxas de precipitação. Para tal, calcularam-se os declives mensais das séries históricas de precipitação e de piezometria. Após a análise de tendências, submeteram-se os declives a um estudo de correlação cruzada para se conhecer o tempo de resposta do aquífero às variações pluviométricas, resultando daí uma relação linear entre as variáveis. Conhecendo-se a relação entre a variação da precipitação e a variação da piezometria, foi possível inferir qual a variação futura tendo em conta a modificação dos regimes de precipitação. A metodologia está esquematizada na Figura 3.12.

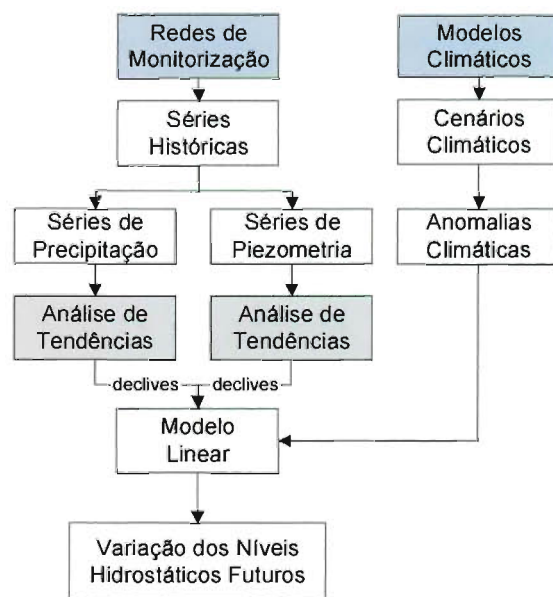


Figura 3.12 – Metodologia utilizada para a avaliação do impacto das alterações climáticas na piezometria

Todas estas técnicas têm sido amplamente aplicadas a casos de estudo portugueses envolvendo diversos tipos de variáveis hidrológicas, hidrogeológicas e hidroquímicas. Podem ser encontradas algumas dessas aplicações nas seguintes referências: Ribeiro e Macedo (1995), Lopes e Ribeiro (1996), Ribeiro e Lourenço (1999), Ribeiro *et al.* (1999), Ribeiro e Benoliel (2000) e Lourenço e Ribeiro (2003).

3.3.2.3 Modelos Numéricos

Para simular o escoamento de águas subterrâneas em meios cársicos, utilizou-se um modelo em elementos finitos que permite a simulação em domínios uni, bi e tridimensionais. Esta potencialidade permite a simulação da dualidade dos processos de escoamento observados em meios carbonatados cársicos que se reflecte nos processos de recarga (ocorrência de infiltração difusa e concentrada), no campo vectorial de escoamento no interior do aquífero (rápido em condutas e falhas e lento na massa rochosa) e, finalmente, na ocorrência de descarga concentrada, sobretudo em nascentes cársicas, e difusa no contacto com áreas húmidas e/ou no contacto com unidades hidrogeológicas porosas em conexão hidráulica com o meio cársico.

O escoamento de água subterrânea num meio poroso saturado é descrito por uma equação em derivadas parciais que está baseada na conjugação da lei de Darcy, que exprime a conservação do momento, e a equação da continuidade, que exprime a conservação da massa do fluido.

A técnica de discretização utilizada para simular um aquífero do tipo cársico recorre à utilização de elementos finitos unidimensionais com três nós, elementos bidimensionais com oito nós e elementos tridimensionais hexaédricos com vinte nós (Figura 3.13).

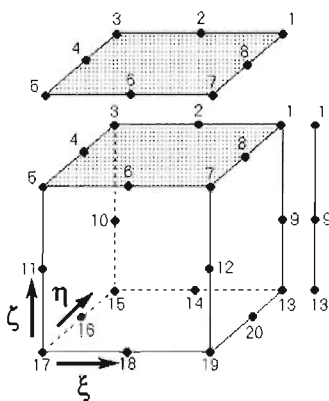


Figura 3.13 Geometria dos elementos finitos quadráticos utilizados na modelação de um aquífero cársico (Monteiro, 2001)

A modelação de aquíferos cársicos pela combinação da análise do escoamento em canais de dissolução discretos unidimensionais e/ou fracturas bidimensionais, simultaneamente com a representação conceptual de um meio contínuo simples 3-D, exige a reformulação dos modelos matemáticos usualmente empregues para simulação do escoamento subterrâneo. Um método matemático que faculta a possibilidade de efectuar este tipo de simulação, recorrendo à técnica dos elementos finitos, é descrito em Perrochet (1995).

3.3.3 Modelos Analíticos

A simulação da interface água doce-água salgada em aquíferos costeiros foi realizada utilizando a aproximação de Ghyben-Herzberg que afirma que num aquífero livre, a profundidade da interface varia linearmente com a altura da água doce acima do nível médio do mar considerando a diferença de densidades entre a água doce e a água salgada. Segundo aquela abordagem a profundidade da interface será igual a 40 vezes a cota piezométrica. A aproximação é válida desde que se cumpra a hipótese de Dupuit (Bear *et al.*, 1999).

No caso dos subsistemas estuarinos, a modelação analítica permitiu estimar a profundidade da lente da água doce em todo o domínio. Assumiu-se que o fluxo é essencialmente horizontal, isto é, as linhas de potencial são verticais (hipótese de Dupuit), tendo sido utilizados os modelos propostos para ilhas oceânicas por Zoppou e Reed (2001), Johnson e Rogers (2000) e Wang e Zheng (1998). Na área do domínio de modelação onde o pressuposto de Dupuit não é válido, nomeadamente na estreita faixa em contacto com o mar, utilizou-se uma alteração simples do modelo proposta por Popov e He (2000).

3.3.4 Índice de Susceptibilidade

Para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos sujeitos a poluição difusa, originada por actividades agrícolas, foi utilizado o índice de susceptibilidade (IS), desenvolvido no âmbito do Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo por Ribeiro (2000). Na sua génese esteve a necessidade de munir os decisores com um novo instrumento que fosse uma alternativa mais realista aos índices de vulnerabilidade correntemente em uso.

O IS consiste numa adaptação do índice de vulnerabilidade DRASTIC (Aller *et al.*, 1987). A principal alteração no IS face ao DRASTIC é o acréscimo de um parâmetro de ocupação do solo, abandonando assim o conceito de um índice puramente intrínseco (baseado unicamente nas condições naturais). Por outras palavras, o IS foi desenvolvido com o

objectivo de avaliar a vulnerabilidade específica, definida segundo Vrba e Zoporozec (1994) pelos impactos potenciais do uso específico dos solos e dos contaminantes associados a esse uso.

O IS é calculado pela soma ponderada de cinco parâmetros. Os primeiros quatro parâmetros (profundidade do nível freático, recarga, material do aquífero e topografia) são extraídos directamente do DRASTIC. O quinto e novo parâmetro LU (Land Use) define a ocupação do solo. Esta é definida conforme a classificação dada pela carta CORINE Land Cover.

Finalmente, os pesos atribuídos a cada parâmetro são distintos dos do método DRASTIC já que provém dum novo painel DELPHI constituído por técnicos e especialistas portugueses na área de hidrogeologia.

O IS tem sido aplicado com sucesso em Portugal em vários estudos: para avaliar o grau de susceptibilidade à contaminação agrícola no sistema aquífero dos gabros de Beja (Francês *et al.*, 2002, Serra *et al.*, 2003), nos aquíferos da zona do Ribatejo (Paralta *et al.*, 2001), na identificação das áreas mais susceptíveis à implantação de campos de golfe no concelho de Albufeira, localizado no Algarve, Portugal (Stigter *et al.*, 2002), nos aquíferos da Campina de Faro e de Luz de Tavira (Stigter *et al.*, 2004).

A Figura 3.14 esquematiza a metodologia abordada.

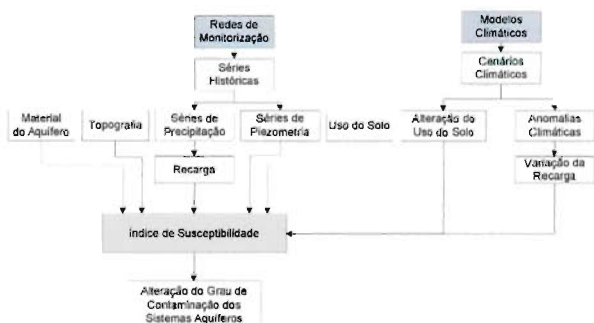


Figura 3.14 – Metodologia utilizada para a avaliação do impacto das alterações climáticas na vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação agrícola

3.3.5 Risco de Cheias

No território de Portugal Continental ocorrem com alguma regularidade situações de cheia que provocam elevados danos materiais e, por vezes, perda de vidas humanas. Na origem destas situações estão fenómenos de pluviosi-

dade intensa que ocorrem por umas horas sobre bacias de pequena dimensão ou fenómenos de pluviosidade continuada que perduram por vários dias sobre bacias de maior dimensão. As cheias que ocorrem, por exemplo, nas bacias hidrográficas da região de Lisboa com áreas de cerca de 50 a 200 km² são o resultado de fenómenos de precipitação de algumas horas que dão origem a caudais específicos da ordem dos 5 a 10 m³/s/km². Em contraste, as cheias do vale do Tejo e do Douro são o resultado de períodos mais longos de precipitação que dão origem a caudais de cheia da ordem dos 10 000 a 15 000 m³/s, o que corresponde a caudais específicos da ordem dos 0,15 m³/s/km².

A ocorrência de situações de cheia resulta de um processo complexo, condicionado por diversos factores, de que se destaca o regime de precipitação, mas que abrange factores locais como as características fisiográficas da bacia, as características físicas e geométricas do canal fluvial e, ainda, a proximidade de zonas com influência de maré.

Na impossibilidade de estudar em pormenor todos estes factores, optou-se por focar a análise nos impactos das alterações climáticas no regime de precipitação, em particular na ocorrência de fenómenos de pluviosidade intensa. O impacto da subida expectável do nível médio do mar sobre a capacidade de vazão dos troços fluviais junto à foz e, consequentemente, sobre a ocorrência de situações de cheia não foi estudado.

O impacto das alterações climáticas sobre a probabilidade de fenómenos de precipitação intensa foi estimado comparando as curvas de duração da precipitação para diversos cenários climáticos. Estas curvas representam o número médio de dias com precipitação acima de determinados valores. Um aumento do número de dias com valores de precipitação intensa é um bom indicador de um aumento do risco de cheia.

3.4 CENÁRIOS CLIMÁTICOS

3.4.1 Modelos Globais e Modelos Regionais

Os modelos climáticos podem classificar-se em dois grandes grupos consoante a dimensão da área abrangida pela simulação e a resolução de cálculo utilizada: os modelos globais e os modelos regionais.

Os modelos globais (GCMs) simulam o clima à escala global, utilizando para o efeito uma rede computacional de cerca 2,50° por 3,75°, que se traduz à latitude de Portugal numa quadrícula de, aproximadamente, 300 km por 300 km. Tal resolução permite a observação de tendências climáticas regionais mas é demasiado grosseira para reflectir os efeitos

climáticos locais resultantes da orografia ou do contraste térmico entre as regiões costeiras e do interior.

Os modelos regionais (RCMs) simulam condições climáticas para regiões limitadas do globo, como por exemplo a Europa. Perturbados por condições de fronteira extraídas dos GCMs, estes modelos usam uma rede computacional de maior resolução, cerca de 0,5° por 0,5° (aproximadamente 40 km por 50 km à latitude de Portugal), permitindo assim uma simulação muito mais real do terreno e da geomorfologia do local. Contudo, esta melhoria na resolução computacional ainda não se traduziu numa franca melhoria dos resultados finais.

Dadas as exigências de capacidade de cálculo dos modelos climáticos, o número de exercícios de projecção do clima futuro devido ao aumento da concentração na atmosfera com efeito de estufa não é muito elevado. O relatório do IPCC (2001) analisa as características e as imitações da maioria dos modelos existentes, aceitando, de um modo geral, a sua capacidade destes modelos reproduzirem o clima histórico e de simular o clima futuro.

No Capítulo 1 é apresentada uma descrição mais aprofundada dos modelos climáticos.

3.4.2 Selecção de Modelos

Na primeira fase do Projecto SIAM foram analisados os resultados de quatro modelos climáticos globais e de dois modelos climáticos regionais (Santos *et al.*, 2002). Os resultados apresentados revelam que os modelos considerados conseguem reproduzir as principais características estatísticas das séries de precipitação e de temperatura observadas em Portugal.

As Figuras 3.15 e 3.16 apresentam a comparação entre a precipitação e a temperatura médias anuais resultantes do cenário de referência de cada modelo climático para o período de 1961 a 1990 com as respectivas médias observadas em Portugal Continental.

A temperatura média anual calculada não se afasta mais do que 2 °C em relação aos valores observados. Os resultados à escala mensal apontam igualmente para uma distribuição sazonal da temperatura média consentânea com os valores observados, apesar de alguns meses registarem desvios superiores a 2 °C entre a média observada e a simulada. No câmpo geral, os modelos HadCM3 e HadRM2 apresentam os valores mais próximos dos observados, tanto anuais como mensais.

Os resultados da precipitação apresentam uma maior dispersão em torno dos valores observados. Analisando os valo-

res simulados da precipitação anual, constata-se uma clara melhoria dos resultados do modelo HadCM3 em relação aos do modelo HadCM2. O modelo HadCM3 apresenta resultados consistentes com a média histórica, nunca se desviando mais do que 10 %. Com excepção do modelo PROMES, os restantes modelos globais tendem a subestimar os valores médios da precipitação em mais de 20 % para as regiões Norte, Centro e Sul, enquanto os dois modelos regionais sobrestimam estes mesmos valores.

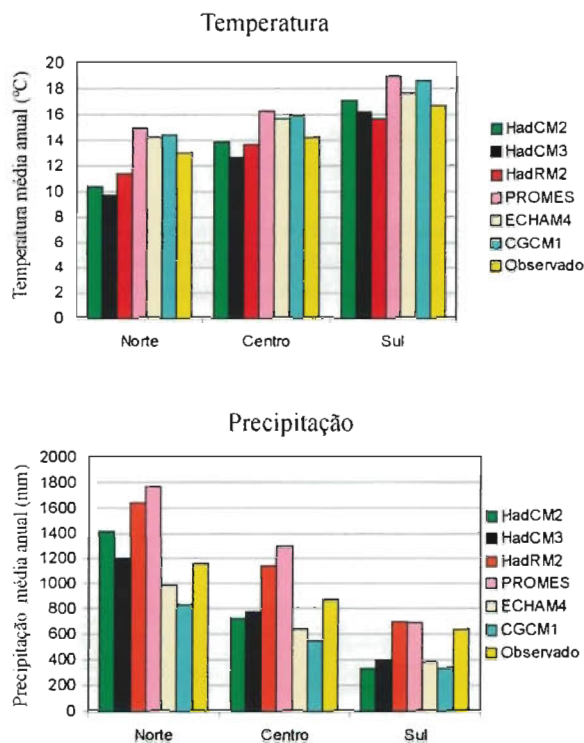


Figura 3.15 Simulação do clima anual português pelos vários modelos climáticos

3.4.3 Cenários Climáticos Considerados

Em resultado das conclusões da primeira fase do Projecto SIAM, utilizaram-se para o corrente estudo os cenários de previsão do modelo climático global HadCM3 e do modelo climático regional HadRM2, ambos concebidos pelo Hadley Centre for Climate Prediction and Research.

Os resultados disponíveis das simulações produzidas por estes modelos são distintos. No que respeita ao modelo HadCM3, o Hadley Centre disponibiliza séries de valores diários para o período entre 1960-2099, o que permite estimar médias intermédias até ao final do século XXI. Estão ainda dispo-

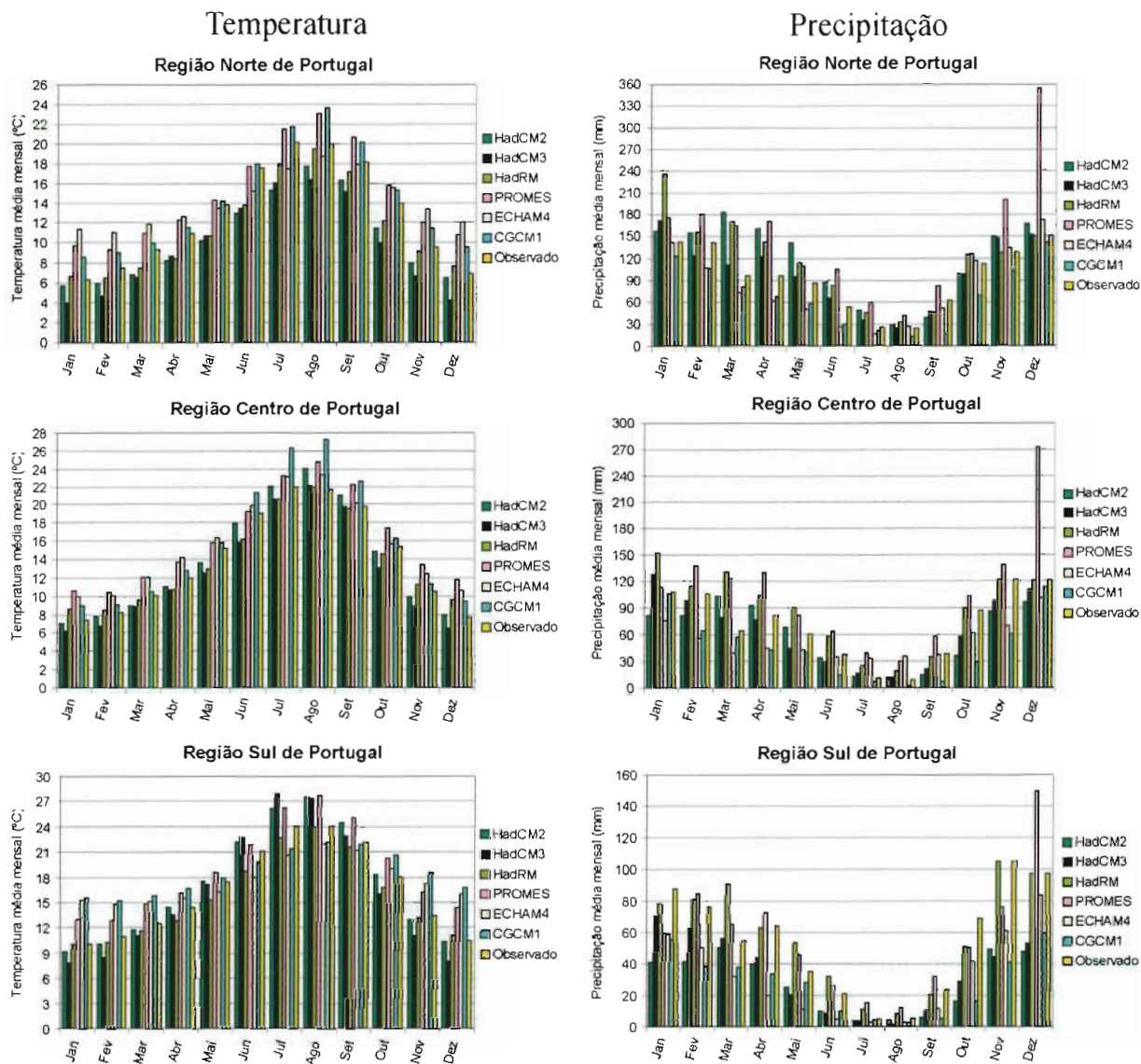


Figura 3.16 – Simulação do clima mensal português pelos vários modelos climáticos

Tabela 3.6 – Alterações médias anuais de precipitação e temperatura relativas a 1960-1994 previstas pelos modelos climáticos

Modelo / Ano	Norte		Centro		Sul	
	Prec.	Temp.	Prec.	Temp.	Prec.	Temp.
HadCM3-B2a 2050	0%	+2,1 °C	+6%	+2,7 °C	+6%	+2,3 °C
HadCM3-A2c 2050	11%	+2,5 °C	-18%	+2,8 °C	-28%	+2,6 °C
HadCM3-B2a 2100	+1,6%	+3,2 °C	+2%	+3,7 °C	-1%	+3,5 °C
HadCM3-A2c 2100	-13,6%	+4,5 °C	-28%	+5,1 °C	-42%	+4,9 °C
HadRM2 2100	-7%	+5,8 °C	-8%	+5,9 °C	-12%	+5,9 °C

níveis os resultados para diferentes cenários socioeconómicos, descritos no Capítulo 2, reflectindo-se estes na maior ou menor emissão de gases com efeito de estufa.

No caso do modelo HadRM2, estão disponíveis apenas as séries de valores diários para o período entre os anos 2080 e 2099 para um único cenário.

Para este estudo, de entre os diferentes cenários socioeconómicos considerados pelo modelo HadCM3, seleccionaram-se os cenários A2c e B2a, os quais, ao considerarem comportamentos socioeconómicos extremos permitem conhecer com alguma segurança a gama de valores dos impactos nos recursos hídricos. Os prefixos «a» e «c» dos cenários socioeconómicos referem-se a variações das alterações iniciais de simulação.

A Tabela 3.6 apresenta as alterações médias anuais relativas a 1960-1991 previstas pelos modelos climáticos considerados no presente estudo. Estes resultados prevêem um aumento generalizado da temperatura entre os 2 °C e os 6 °C e, com algumas excepções, uma manutenção ou diminuição dos valores da precipitação.

O Capítulo 2 apresenta a distribuição sazonal dos cenários previstos pelos modelos climáticos.

Para 2050, verifica-se que os cenários A2c e B2a do modelo HadCM3 estimam aumentos de temperatura semelhantes para o Norte, Centro e Sul do país, variando entre +1,4 °C no Inverno e cerca de +4,7 °C no Verão.

Quanto à evolução da precipitação, os cenários para 2050 apresentam estimativas distintas, verificando-se a maior discrepância de valores nos meses de Inverno. O cenário A2c prevê a manutenção dos valores de precipitação de Inverno no Norte e uma diminuição de 25 % de precipitação no Sul. Em contraste, o cenário B2a estima um aumento da precipitação para todo o país, que pode atingir valores entre os 10 % e os 18 %. Para os meses de Outono, o cenário A2c prevê uma redução da precipitação entre 12 % e 33 %, contrastando, uma vez mais, com o cenário B2a que admite um aumento da precipitação entre 1 %, no Norte, e os 9 %, no Sul. Nas restantes estações, ambos os cenários apontam para uma redução da precipitação em todo o país, variando entre os 12 % e os 25 % do valor da precipitação na Primavera e, aproximadamente, 25 % de precipitação no Verão.

Os cenários para 2100 do modelo HadCM3 e do modelo HadRM2 prevêem subidas da temperatura em todo o país e em todas as estações do ano. Para os meses do Outono e Primavera os modelos admitem uma subida entre 2 °C

e 4 °C e entre 1 °C e 6 °C, respectivamente. As previsões para os meses de Inverno variam entre 2 °C e 4 °C, para as regiões Norte e Centro, e entre 2,5 °C e 5 °C, para o Sul, correspondendo este último valor ao modelo HadRM2. No Verão é prevista a maior variação da temperatura que pode atingir 8,1 °C para a região Centro, de acordo com o cenário HadCM3-A2c. Para as regiões Norte e Sul, os cenários do Verão estimam ainda um aumento entre 4,5 °C e 7 °C.

No que respeita aos cenários de precipitação para 2100, constata-se que o modelo HadRM2 se demarca pela grande variabilidade das estimativas para as diferentes estações do ano e regiões do país. Este modelo admite uma subida de 50 % da precipitação no Inverno e uma redução de 75 % no Verão. No mesmo sentido, mas menos pronunciada, é a estimativa do modelo HadCM3 para o cenário B2a: um aumento da precipitação entre 18 % e 25 % no Inverno e uma forte diminuição da precipitação nos meses de Verão (entre 40 % e 50 %). O cenário HadCM3-A2c admite um aumento da precipitação no Inverno de 4 %, no Norte, uma diminuição de 34 %, no Sul. O mesmo cenário prevê ainda uma diminuição generalizada no Verão, entre 40 % e 50 %.

Em síntese, os cenários apresentados apontam para um aumento dos valores de temperatura em todo o país durante todo o ano, mas sobretudo no Verão. As tendências da precipitação não são tão explícitas. Para o Inverno, há algumas dúvidas quanto à magnitude e direcção das alterações nos meses de Inverno e Outono, mas todos os modelos apontam para uma redução da precipitação média mensal nos meses da Primavera e Verão.

3.5 IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NOS RECURSOS HÍDRICOS

3.5.1 Disponibilidade de Água

3.5.1.1 Recursos Hídricos Superficiais

Uma diminuição da precipitação acompanhada por um aumento da evapotranspiração potencial, relacionada com o aumento da temperatura, tenderá a provocar uma diminuição das disponibilidades anuais de água (Figuras 3.17 e 3.18). As variações sazonais das alterações da temperatura e precipitação podem, no entanto, não confirmar esta tendência (Figuras 3.19 e 3.20).

Os resultados dos modelos não apresentam uma tendência clara do escoamento anual, muito embora todos admitam

uma significativa alteração da sua distribuição sazonal. A indefinição quanto à tendência do escoamento anual resulta da disparidade dos cenários de escoamento para os meses de Inverno e Outono a qual, por sua vez, é consequência da variedade dos cenários de precipitação. No entanto, todos os modelos apontam para uma redução do escoamento nas restantes estações do ano.

O cenário mais pessimista é o HadCM3-A2c que prevê uma redução do escoamento médio anual para 2050 entre os 10 %, a norte do Douro, e os 50 % na região do Algarve. Esta tendência acentua-se em 2100, admitindo-se que a redução

do escoamento anual médio possa atingir 80 % no Algarve. Os restantes cenários prevêem um aumento do escoamento anual médio que pode atingir em 2100 os 20 %, de acordo com o cenário HadCM3-B2a, ou os 40 %, de acordo com o cenário HadRM2.

Entre a grande variedade de cenários dos impactos das alterações climáticas sobre o escoamento há certos padrões que sobressaem. A esmagadora maioria dos cenários prevê uma tendência de redução do escoamento na Primavera, Verão e Outono. É também patente que a magnitude dos impactos aumenta de norte para sul. Com efeito, todos os cenários, independentemente de preverem um aumento ou diminuição do escoamento, sugerem que essa variação aumenta, em termos relativos, do Norte para o Sul do país. Outra constatação é que a magnitude das estimativas de aumento é menor que a magnitude das estimativas de redução. As primeiras atingem no máximo os 40 %, enquanto as segundas podem atingir os 80 %.

A existência de grandes bacias hidrográficas partilhadas por Portugal e Espanha implica que as alterações climáticas em Espanha também afectam o regime de escoamento em Portugal. A Figura 3.21 apresenta os cenários climáticos correspondentes ao modelo HadCM3 para Espanha e a Figura 3.22 compara os cenários correspondentes ao modelo HadRM2 para ambos os países. Verifica-se que as alterações de temperatura e de precipitação previstas para os dois lados da fronteira são muito semelhantes. O decréscimo previsto de precipitação conduzirá à redução do escoamento esperado em ambos os lados da fronteira, o que virá acentuar ainda mais o decréscimo de disponibilidade de água esperado em Portugal nos rios transfronteiriços.

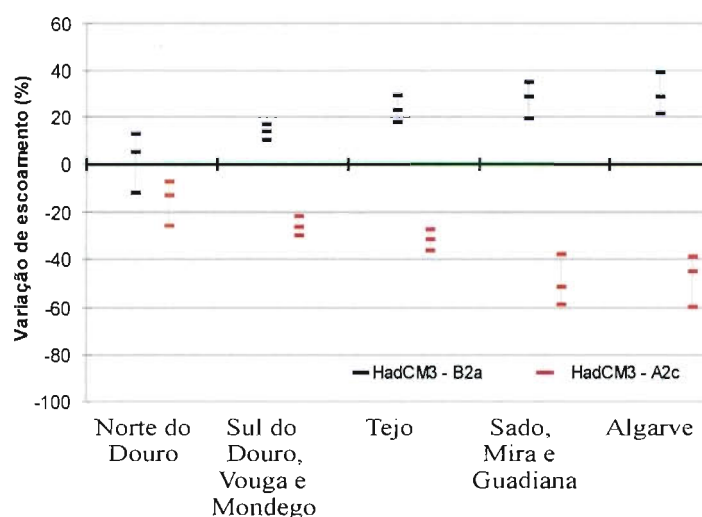


Figura 3.17 – Variação do escoamento anual médio para o horizonte de 2050

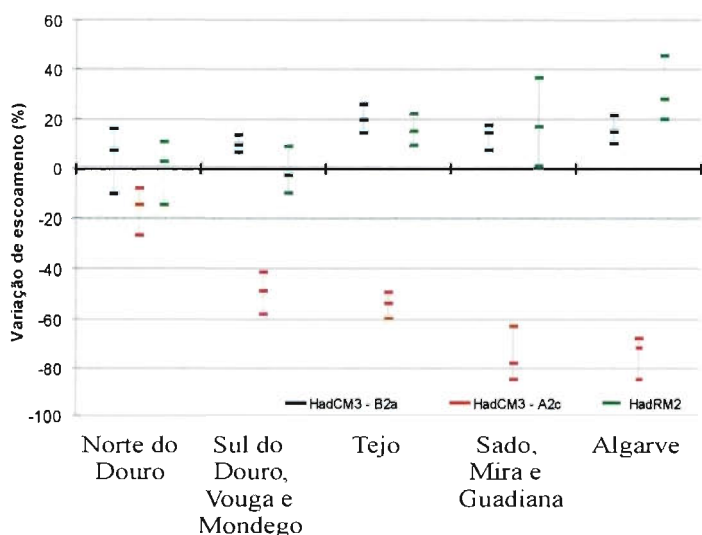


Figura 3.18 – Variação do escoamento médio anual para o horizonte de 2100

3.5.1.2 Recarga

Parece inquestionável que um dos principais efeitos esperados dos cenários de alteração climática nas águas subterrâneas é o de alteração das taxas de recarga nos aquíferos (IPCC 2001).

Estudos já realizados confirmam esse facto: Sandstrom (1995) mostrou que uma redução de 15 % na pluviometria, sem alteração na temperatura, corresponderia a um decréscimo de 40 a 50 % no parâmetro de recarga. Efeitos similares foram previstos por: Ghasssemi *et al.* (1991) em diferentes aquíferos da Austrália; Vaccaro (1992) que usou

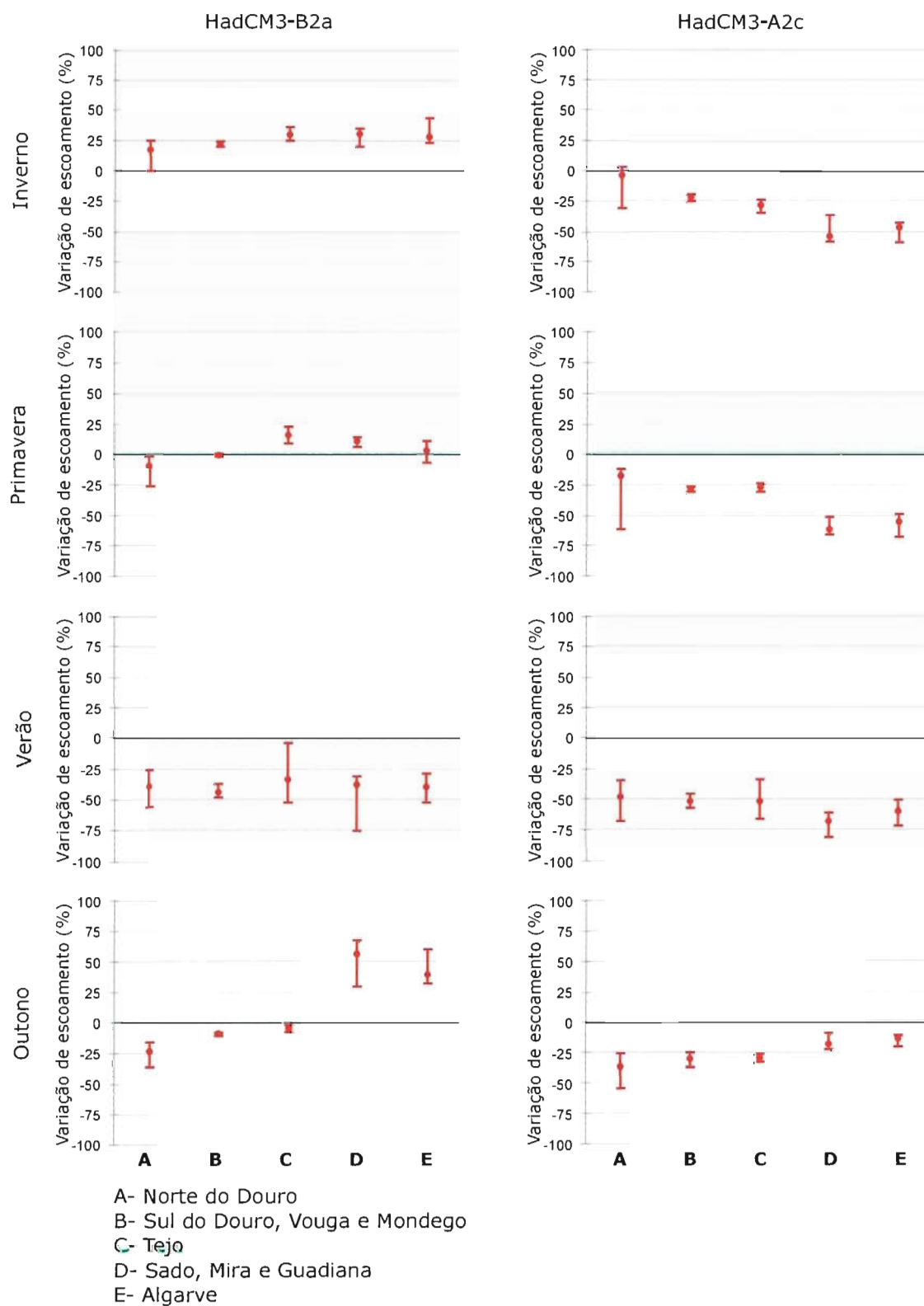


Figura 3.19 – Variação do escoamento médio sazonal para o horizonte de 2050

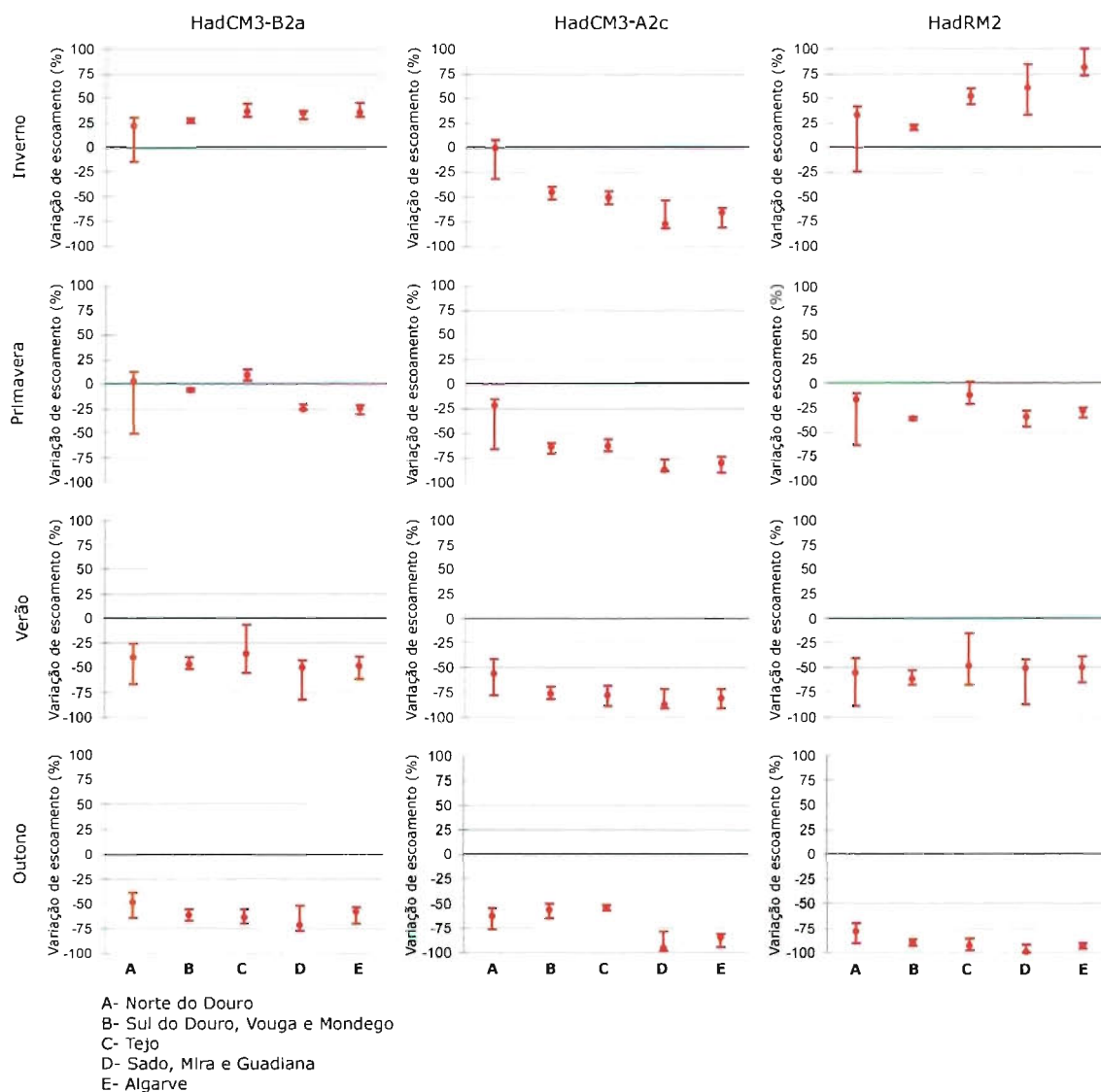


Figura 3.20 – Variação do escoamento médio sazonal para o horizonte de 2100

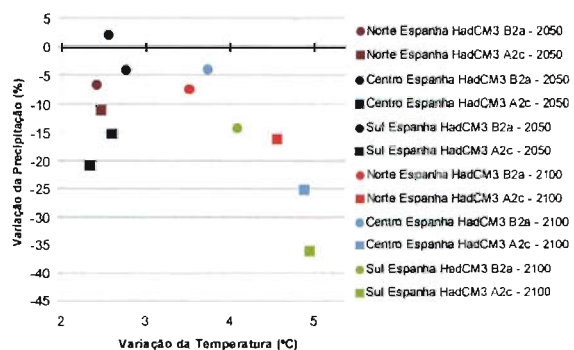


Figura 3.21 – Alterações médias anuais previstas pelo modelo HadCM3 para Espanha (referência: 1960-1994)

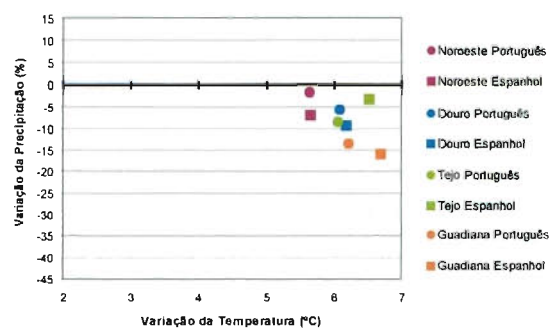


Figura 3.22 – Alterações médias anuais previstas pelo modelo HadRM2 para Espanha e Portugal (referência: 1960-1991)

um modelo de recarga numa base diária para prever variações numa bacia semiárida em Washington, EUA; Hewett *et al.* (1993) que estudou o efeito de vários cenários climáticos no comportamento de um aquífero carbonatado situado em Kent, Inglaterra, e Cooper *et al.* (1995) que calculou a recarga num aquífero com características litológicas similares mas localizado no Sul da Inglaterra, mostrando que num cenário de aumento de 8 % de valores de pluviosidade no Inverno, a alteração de recarga depende da variação assumida da evaporação e, consequentemente, da duração dos períodos de recarga. Já Bouraoui *et al.* (1999) previram reduções substanciais na recarga de um aquífero localizado perto de Grenoble, França, quase na totalidade, devido ao aumento das taxas de evaporação.

No projecto GRACE (Groundwater Resources and Climate Change Effects), financiado pela CE no contexto do 3.º Programa-Quadro (Ambiente e Clima) analisaram-se as respostas de alguns aquíferos carbonatados europeus, localizados em ambientes geográficos climáticos distintos, às modificações da recarga causadas pelos potenciais impactos das futuras alterações climáticas. Os resultados obtidos mostraram:

- que um aumento da precipitação terá um forte impacto na recarga e na descarga por nascentes na zona marítima;
- que esse aumento far-se-á já sentir de modo distinto nas áreas localizadas em clima continental, nas diferentes épocas do ano; a recarga no período de Inverno não sofrerá praticamente alterações enquanto no Verão se reduzirá dramaticamente;
- que nos aquíferos situados na zona mediterrânica, são previsíveis decréscimos na recarga (aprox. 16 %) associados a uma exacerbada variabilidade interanual (Younger *et al.*, 2002).

De entre as principais conclusões do Projecto SIAM I (Santos *et al.*, 2002; Cunha *et al.*, 2002a) estão: a) uma progressiva redução da precipitação anual; b) uma maior redução da precipitação no Sul de Portugal aumentando a assimetria de disponibilidades hídricas; c) uma maior concentração da precipitação nos meses de Inverno. Estes cenários em conjunto com o aumento das taxas de evaporação (causado pelo aumento previsível da temperatura) irão provocar, segundo a maioria dos cenários climáticos, uma diminuição da recarga efectiva dos aquíferos, com consequências directas na piezometria dos sistemas.

No presente estudo faz-se uma primeira abordagem do impacto das alterações climáticas na recarga através dos resultados do modelo de Temez. Apesar deste modelo não ser vocacionado para o cálculo da recarga, consideraram-se os seus valores após ter sido feita uma calibração que teve em conta a infiltração das bacias modeladas.

Comparando os valores de recarga actuais com os previstos pelos modelos, verifica-se, no caso das médias anuais (Figuras 3.23 e 3.24), que as previsões do cenário B2a do modelo HadCM3 admitem uma subida dos valores no Sul de Portugal até ao ano 2050. Em contraste, o cenário A2c do mesmo modelo indicia uma forte descida da recarga neste período, variando entre cerca de 10 % a norte do Douro e 45 % nas bacias a sul do Tejo.

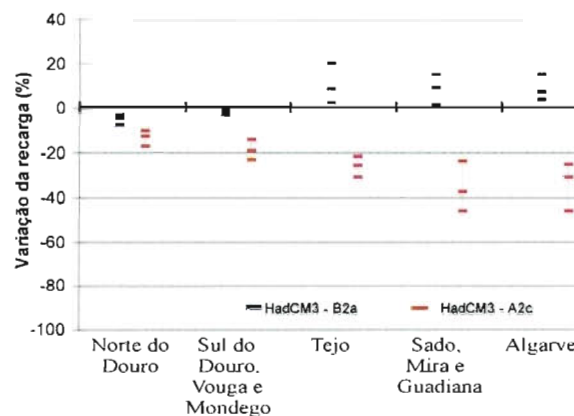


Figura 3.23 Variação da recarga média anual para o horizonte de 2050

Ao considerar-se os resultados referentes à média anual da recarga para 2100, os resultados são mais pessimistas. O cenário mais favorável (B2a) do modelo HadCM3 deixa de prever subidas em todas as bacias do Sul de Portugal, apresentando uma gama de valores que variam entre os -5 % e os +17 % para a bacia do Tejo e uma descida até 10 % nas restantes bacias. O cenário A2c continua a prever uma descida acentuada das recargas para as bacias estudadas. As previsões climatológicas deste cenário poderão levar a uma des-

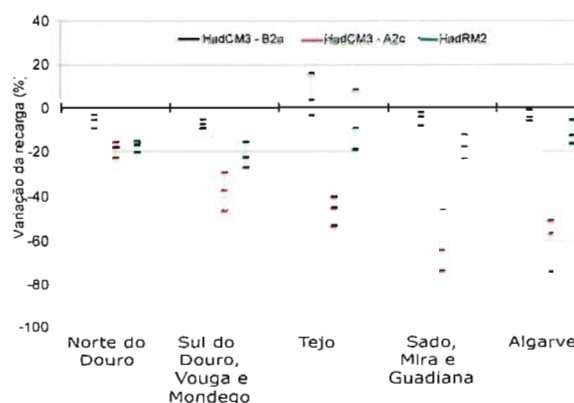


Figura 3.24 Variação da recarga média anual para o horizonte de 2100

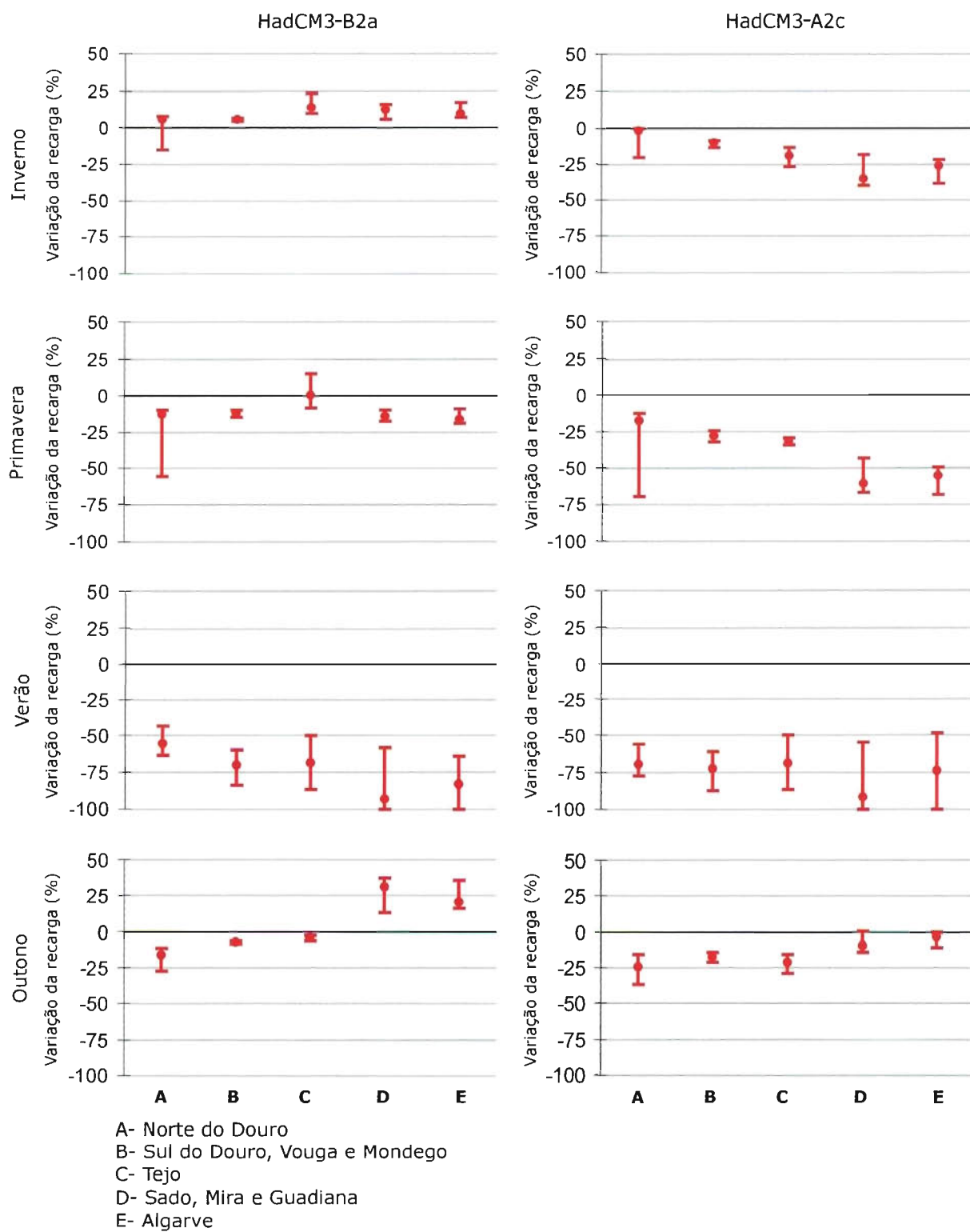


Figura 3.25 - Variação da recarga média sazonal para o horizonte de 2050

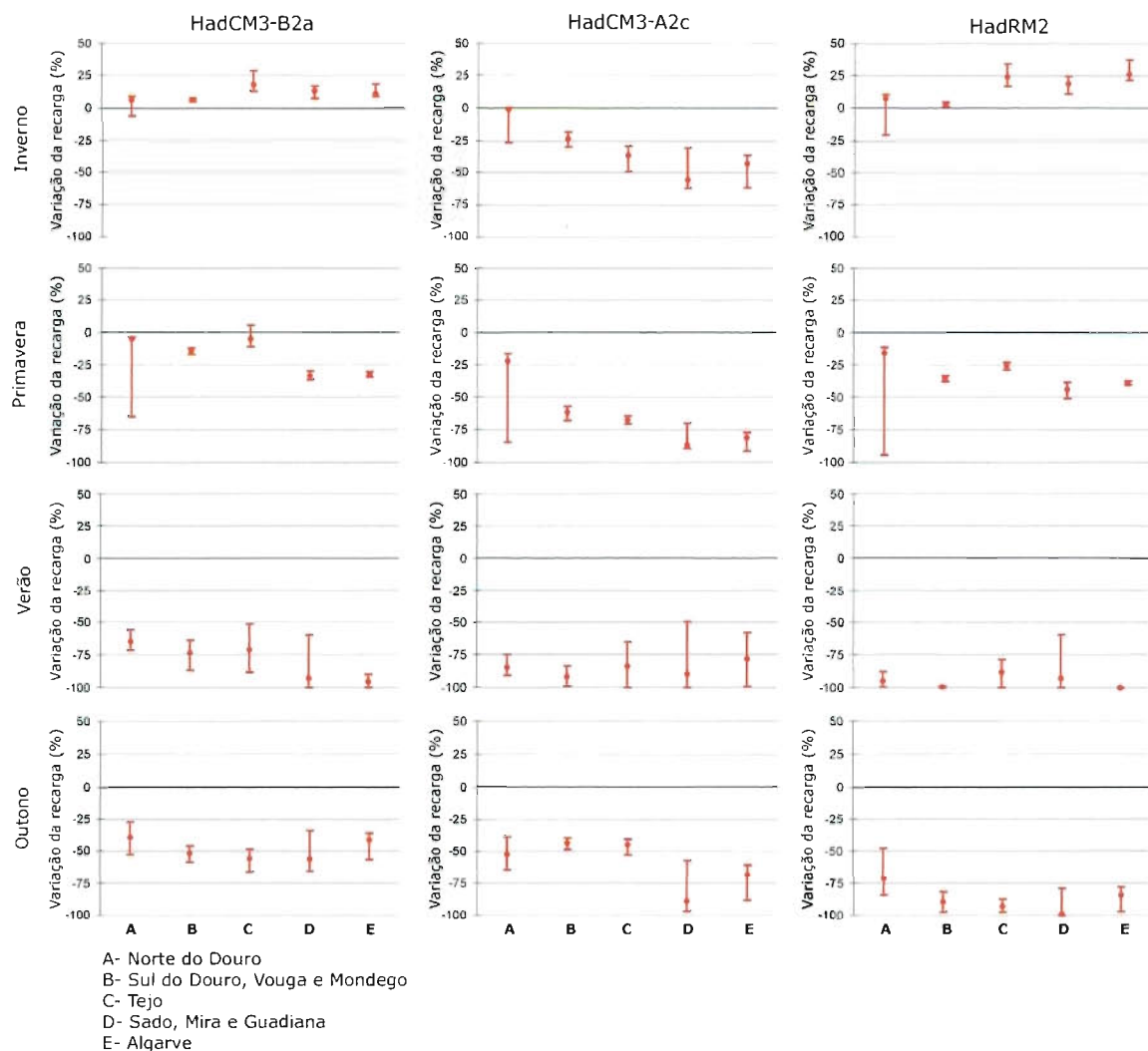


Figura 3.26 - Variação da recarga média sazonal para o horizonte de 2100

cida até 75 % nas bacias do Sado, Mira, Guadiana e bacias do Algarve. Nas restantes bacias a tendência é também de descida variando entre 20 % na região Norte do Douro e 50 % na bacia do Tejo.

O modelo HadRM2, embora menos pessimista que o cenário A2c, considera uma descida aproximada de 20 % para as diferentes regiões, à excepção da bacia do Tejo, para a qual prevê entre uma subida de 10 % e uma descida de 20 % da recarga.

No caso das variações sazonais (Figuras 3.25 e 3.26), verifica-se que é no Verão e na Primavera que ocorre uma maior redução no valor da recarga. Contudo, em termos absolutos, esta descida não tem a mesma importância de uma descida dos valores nas estações do Outono ou Inverno, pois é neste

período que os aquíferos retomam os níveis piezométricos. Ao analisar-se as variações da recarga neste período verifica-se mais uma vez uma diferença significativa entre os resultados correspondentes aos dois cenários socioeconómicos do modelo HadCM3 que foram analisados.

No caso do cenário B2a, este prevê até 2050 uma subida dos valores nos meses de Inverno, sobretudo nas bacias a sul do rio Douro. Já o cenário A2c prevê uma descida generalizada da recarga para todas as estações em todas as bacias consideradas.

No que se refere a 2100, o cenário B2a apenas considera uma subida da recarga no Inverno, considerando para o Outono descidas superiores a 30 %, o que se irá reflectir numa acentuação da variabilidade temporal da recarga. Para o mesmo

horizonte, o cenário A2c é novamente o mais pessimista ao considerar uma eventual ausência de recarga para o Verão. Para as restantes estações do ano, este cenário considera também descidas bastante acentuadas, as quais, à excepção da região Norte do Douro, nunca são inferiores a 20 % no Inverno e 40 % no Outono e Primavera.

O modelo HadRM2 é aquele que prevê um maior acréscimo da variabilidade temporal da recarga. Este modelo aceita uma ausência da recarga nos meses de Verão e em algumas regiões no Outono, no entanto, no Inverno prevê subidas até 40 % do valor da recarga na região do Algarve.

3.5.2 Piezometria

3.5.2.1 Introdução

Parece igualmente evidente que por força das alterações da magnitude e dos padrões de recarga efectiva dos aquíferos haverá lugar a uma modificação na posição da superfície piezométrica. Todos os estudos apontam para que isso aconteça com especial incidência nos aquíferos livres.

Por exemplo, Loaiciga *et al.* (2000) estudaram o efeito de vários cenários de alteração climática nos níveis freáticos de um aquífero localizado no Texas, EUA, com grandes taxas de exploração e alimentado por um rio. Aqueles autores mostraram que em seis dos sete cenários GCM, haveria lugar a uma redução significativa dos níveis piezométricos e

dos caudais de nascente devido a uma diminuição do caudal do rio. Por sua vez, Wilkisson e Cooper (1992) ao aplicarem um modelo de interface rio/aquífero previram que as variações de recarga influiriam nos níveis piezométricos do aquífero vindo indirectamente a afectar o caudal de base do rio.

3.5.2.2 Perspectiva Nacional

Tendo em conta a disponibilidade de séries piezométricas nos sistemas aquíferos de Portugal, monitorizadas durante um período de tempo estatisticamente significativo, é possível avaliar a tendência de evolução da piezometria em dezasseis sistemas aquíferos da Orla Meridional, dez da Orla Ocidental e dois da bacia do Tejo-Sado e duas formações hidrogeológicas indiferenciadas do Maciço Antigo.

As séries analisadas correspondem a períodos de monitorização distintos. Refira-se que, em alguns casos, essas estações, pelo seu número reduzido e pela sua distribuição espacial, podem não ser representativas do estado piezométrico do sistema. Regra geral o período estende-se desde os meados da década de 1970 até meados do ano 2000. Exceptuam-se as séries piezométricas da bacia do Tejo e do Sado que cobrem unicamente um período até meados dos anos 1990.

Seguidamente apresentam-se alguns resultados para a Orla Meridional e a Orla Ocidental.



Figura 3.27 Sentido das tendências dos níveis piezométricos nos sistemas aquíferos da Orla Meridional

Orla Meridional

Registaram-se no período em análise tendências significativas de descida de níveis piezométricos na maior parte dos pontos dos sistemas aquíferos Almadena-Odiáxere, Mexilhoeira Grande-Portimão, Ferragudo-Albufeira, Albufeira-Ribeira da Quarteira, Quarteira, Campina de Faro, São Bartolomeu e Monte Gordo (Figura 3.27).

A localização destas estações de monitorização, perto da costa algarvia, associada aos problemas de salinização causados pela intrusão marinha aí detectados, leva-nos a concluir que aqueles sistemas se encontravam numa situação de sobreexploração no período em análise, consequência da utilização intensiva dos seus recursos hídricos.

Pelo contrário, em outros sistemas, como no aquífero de Querença-Silves, tendo em conta as suas especificidades, registaram-se tendências diversas de comportamento, reveladoras de que o sistema se encontra em equilíbrio entre entradas e saídas, considerando os fenómenos climáticos extremos (períodos de seca) e as solicitações externas (bombagens). Numa situação análoga está o aquífero da Luz de Tavira (maioria de subidas nas tendências detectadas), e o sistema de Almansil-Medronhal (nenhuma tendência significativa detectada).

Nesta unidade hidrogeológica foi seleccionado como caso de estudo o sistema aquífero de Querença-Silves, de características cársicas.

Orla Ocidental

Do reduzido número de sistemas aquíferos estudados para os quais existe informação piezométrica com representatividade espaciotemporal relevante, pode concluir-se o seguinte:

O sistema aquífero cretácico de Aveiro é o único onde se registou um número significativo de tendências de sinal negativo (90 %) para o período que decorreu entre Janeiro de 1981 e Dezembro de 1998. As descidas do nível piezométrico oscilaram entre os 0,5 cm/mês e os 7,2 cm/mês, fruto das bombagens intensivas que ocorreram nesse período. Esta situação associada ao facto de haver indícios de intrusão salina localizada leva-nos a concluir que o aquífero se encontrava em situação de sobreexploração. Uma situação idêntica foi detectada no mesmo período para o sistema aquífero do Liásico a norte do Mondego (50 % de tendências negativas).

Nos outros sistemas analisados observou-se em geral uma subida generalizada de níveis como é o caso do sistema Leirosa-Monte Real (67 % de tendências de sinal positivo).

O subsistema quaternário de Aveiro revelou por sua vez no período em análise, tendências diferentes conforme os sectores monitorizados, com o predomínio de uma situação de equilíbrio (cerca de 50 % das séries piezométricas não revelaram tendência).

Nesta unidade hidrogeológica foi seleccionado como caso de estudo o sistema aquífero quaternário de Aveiro, de características porosas.

3.5.2.3 Caso de Estudo: Sistema Aquífero Quaternário de Aveiro

Breve Descrição Hidrogeológica

Este sistema situa-se na Orla Hidrogeológica Ocidental e é constituído por uma unidade aquífera superficial, livre, formada por areias de duna e praia e por outra unidade inferior, semiconfinada, cujo suporte são as cascalheiras de base do Quaternário (Ribeiro *et al.*, 1999). A recarga faz-se sobretudo pela precipitação, pelo que o aquífero responde rapidamente, com uma acentuada subida dos níveis após as primeiras precipitações. A variação média anual da piezometria entre a época seca e a época húmida é da ordem dos 1,20 m (*ibidem*). A descarga faz-se de um modo geral para o mar, podendo também ocorrer para os sistemas aquíferos subjacentes – subsistema cretácico de Aveiro e sistema liásico a norte do Mondego.

Análise de Tendências

A rede piezométrica é constituída por 37 piezómetros irregularmente distribuídos pelo sistema. A periodicidade das observações é na sua generalidade mensal.

Na Figura 3.29 apresentam-se os resultados da análise de tendências da piezometria do sistema quaternário de Aveiro, medida entre Janeiro de 1981 e Dezembro de 1998 (Ribeiro *et al.*, 1999).

Em termos globais verifica-se que cerca de 49 % dos piezómetros apresentam uma tendência de descida, 16 % uma tendência de subida e 35 % dos piezómetros não manifestam qualquer tendência significativa.

Os piezómetros que revelam uma tendência significativa de descida do nível da água concentram-se na zona norte do subsistema aquífero. O valor do declive de descida mais significativo do nível da água foi registado no piezómetro Q1, que foi da ordem de 1 cm/mês.

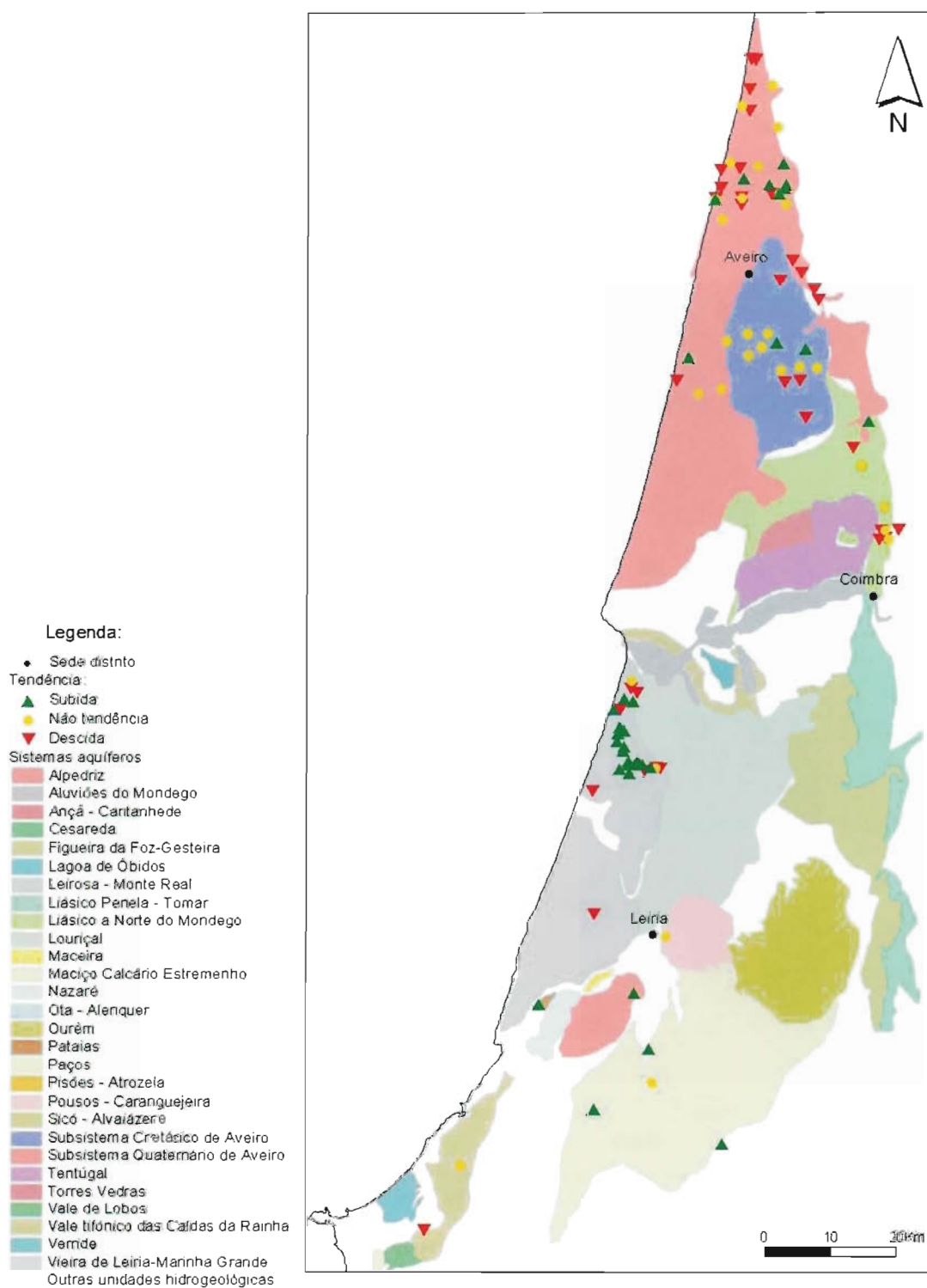


Figura 3.28 – Sentido de tendências dos níveis piezométricos nos sistemas aquíferos da Orla Ocidental

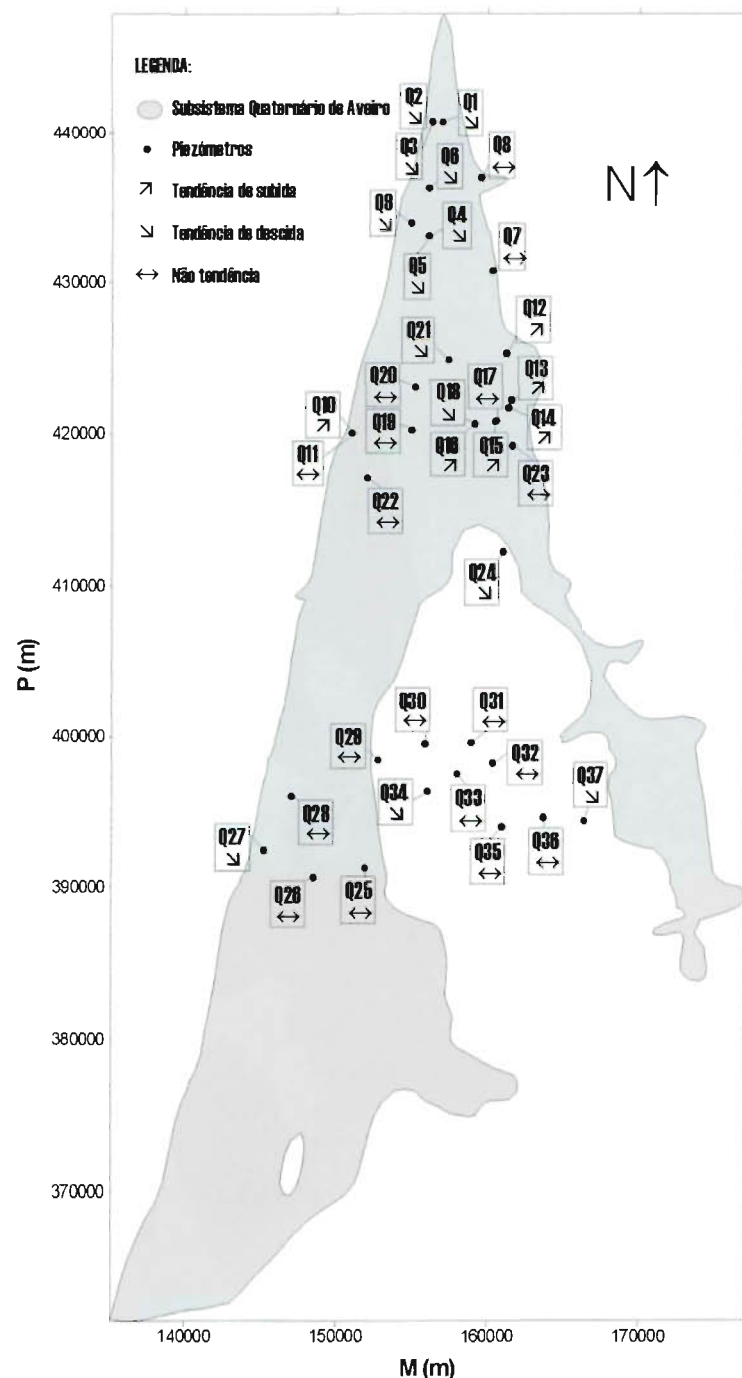


Figura 3.29 - Rede piezométrica do sistema aquífero do quaternário de Aveiro e tendências de evolução piezométrica no período de Janeiro de 1981 a Dezembro de 1997

Os piezómetros onde foi detectada uma tendência significativa de subida localizam-se sensivelmente na zona central, enquanto os piezómetros onde não se verificam tendências dos níveis de água distribuem-se na zona sul do subsistema aquífero. A subida mais significativa foi registada no piezó-

metro Q13 com um valor de declive da ordem de 1,9 cm/mês.

Impacto na Piezometria

Como se pode ver pela Figura 3.30, os valores de rebaixamento previstos para a superfície piezométrica deste sistema aquífero acompanham as variações de precipitação dadas por cada um dos modelos. Deste modo, o cenário mais pessimista corresponde ao cenário socioeconómico A2c do modelo climático HadCM3 que prevê para 2100 rebaixamentos no nível freático até 6 m, sucedendo o oposto com o cenário B2a3. De facto no que respeita a este último, as simulações realizadas apontam para uma pequena subida dos níveis hidrostáticos quando se transformam as previsões futuras de precipitação em tendências de piezometria.

O cenário HadRM2 prevê por seu lado uma evolução intermédia que se situa entre os cenários anteriores, com uma variação dos níveis entre os 0,5 m e 1,7 m.

3.5.2.4 Caso de Estudo: Sistema Aquífero de Querença-Silves

Breve Descrição Hidrogeológica

O sistema aquífero de Querença-Silves insere-se na Unidade Hidrogeológica da Orla Meridional sendo considerado pela sua extensão e produtividade o sistema aquífero mais importante no Algarve. Com uma área de 318 km², este aquífero cársico é constituído por calcários do Jurássico, podendo coexistir sectores com comportamentos hidrogeológicos distintos.

A fracção de precipitação que se infiltra no aquífero situa-se perto dos 40 % e os valores de transmissividade (indicador da mobilidade da água no aquífero) variam entre os 1200 e 3000 m²/dia. A produtividade média das captações em exploração é da ordem dos 11 l/s. O fluxo subterrâneo dá-se principalmente para oeste, podendo coexistir fluxos com direcções N-S e E-W. Calculando o balanço hídrico concluímos que o sistema se encontra em situação de subex-

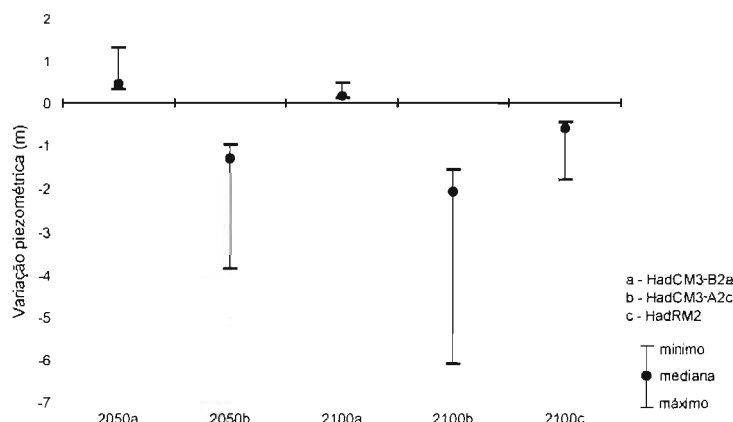


Figura 3.30 – Rebaixamentos piezométricos previstos para os anos 2050 e 2100 no sistema aquífero quaternário de Aveiro

ploração, estimando-se as entradas em $70 \text{ hm}^3/\text{ano}$ e as saídas em $45 \text{ hm}^3/\text{ano}$ (INAG, 1997).

Análise de Tendências

A Figura 3.31 apresenta os resultados da aplicação da análise de tendências aos níveis piezométricos do sistema aquífero de Querença-Silves, medidos nos pontos cuja série temporal se iniciou em Julho de 1982.

Pela figura pode-se concluir que os pontos com tendências semelhantes se encontram agrupados em sectores do aquífero. Os piezómetros cujas séries apresentam tendência de descida situam-se no sector mais a norte deste aquífero, variando as amplitudes de mudança entre os 0,9 e os 5 cm/mês. No sector

oeste do aquífero surge também um piezómetro com tendência de descida dos níveis. No entanto, a amplitude de descida é menor que nos localizados no sector norte.

Nas zonas sul e sudeste do aquífero, a tendência dos níveis piezométricos alternou entre a estabilização e a tendência de subida dos níveis. Nestes últimos, a amplitude de subida varia entre os 2,5 e os 8,5 cm mensais.

Impacto na Piezometria

Em termos gerais podemos concluir que o potencial do sistema aquífero de Querença-Silves revelou uma maior sensibilidade às variações climáticas. Em geral a resposta piezométrica deste sistema é sempre superior à do aquífero quaternário de Aveiro para cenários semelhantes de variação de precipitação. A este facto não deverão ser estranhas as suas características litológicas do tipo cársico.

Para além das diferenças de funcionamento hidráulico que ocorrem entre esses aquíferos, contribuem igualmente, para as diferenças detectadas entre os rebaixamentos observados, as desigualdades previstas para as projecções futuras de precipitação em cada uma das áreas geográficas.

Como mostra a Figura 3.32, tendo em conta o cenário A2c, os níveis piezométricos do aquífero de Querença-Silves poderão ter descidas da ordem dos 8 m até ao ano 2050 e 13 m até ao ano 2100. Já o cenário B2a considera uma variação menos, no entanto, prevê uma mudança de sinal entre

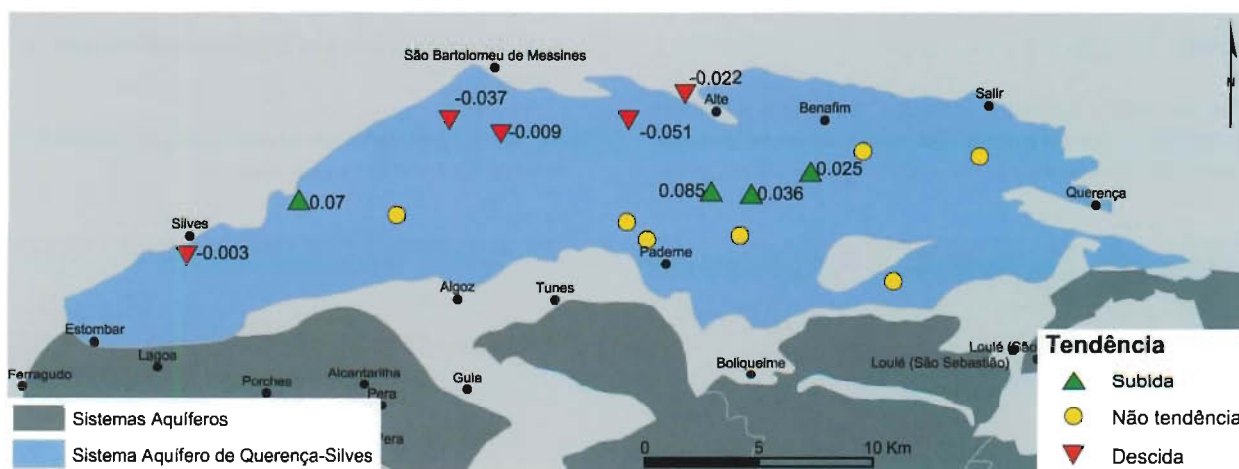


Figura 3.31 – Sentido das tendências de evolução dos níveis piezométricos do sistema aquífero Querença-Silves no período de Julho de 1982 a Setembro de 2001 (valores de declive em m).

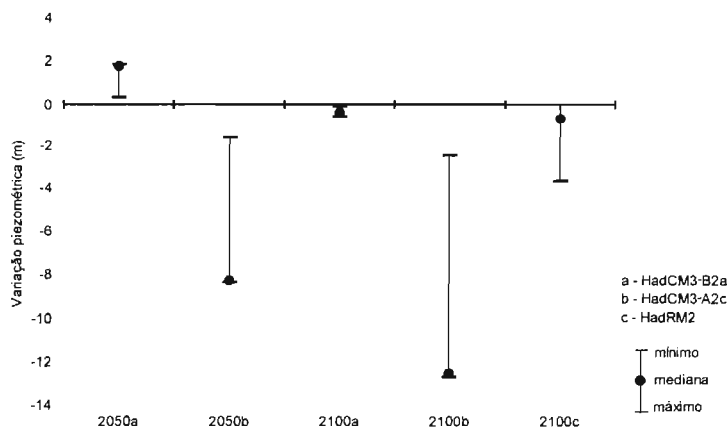


Figura 3.32 Rebaixamentos piezométricos previstos para os anos 2050 e 2100 no sistema aquífero Querença-Silves

o horizonte de 2050 e 2100. O modelo regional HadRM2 estima entre 0 e -4 m a variação dos níveis até ao ano 2100.

3.5.3 Interacção entre Sistemas Hídricos Superficiais e Subterrâneos

3.5.3.1 Sistemas Fluviais Interiores

Caso de Estudo: Ribeira de Enxóe

A água subterrânea desempenha um importante, embora muito subvalorizado, papel no funcionamento dos ecossistemas aquáticos. Com efeito os sistemas hidrogeológicos fornecem em geral um caudal de base que é vital para a preservação da flora e da fauna de muitos ecossistemas fluviais em regiões semiáridas, principalmente durante os meses de Verão.

Por sua vez o ambiente geológico condiciona significativamente o funcionamento hidráulico entre os sistemas superficial e subterrâneo. Por exemplo, os aquíferos poro-

sos aluvionares, caracterizados por elevados valores de coeficiente de armazenamento e de transmissividade, e formações hidrogeológicas fissuradas, em que o factor armazenamento é reduzido e a circulação se processa por caminhos preferenciais, terão como é óbvio comportamentos muito distintos.

Foi seleccionado para caso de estudo um troço da ribeira de Enxóe, a jusante da barragem do mesmo nome. Esta ribeira, que se localiza na bacia hidrográfica do rio Guadiana, atravessa diversas formações geológicas (gabros, pórfiros, calcários, gabrodioritos). Do ponto de vista hidrogeológico a zona é caracterizada por uma grande escassez de recursos hídricos subterrâneos, embora a água subterrânea extraída de poços seja utilizada em pequenas explorações agrícolas, pecuárias ou para abastecimento domiciliário.

Dada a natureza das formações, o armazenamento de água nestes sistemas é em geral muito reduzido, processando-se o escoamento subterrâneo fundamentalmente por fracturas ou por outros acidentes estruturais. A água pode armazenar-se em pequenas formações aluvionares. Apesar de pobres, estes sistemas hidrogeológicos comportam-se de uma forma distinta de local para local, do ponto de vista de difusividade dos fluxos, e têm consequentemente contribuições diferentes para a preservação dos ecossistemas aquáticos.

Um estudo de interpretação fotogeológica da área permitiu identificar zonas preferenciais de alimentação da ribeira. As principais conclusões deste relatório são as seguintes:

1. As principais emergências do sistema hidrogeológico estão associadas à presença de falhas e à diversidade litológica;
2. As rochas com maior permeabilidade por fissuração e armazenamento são os gabrodioritos;

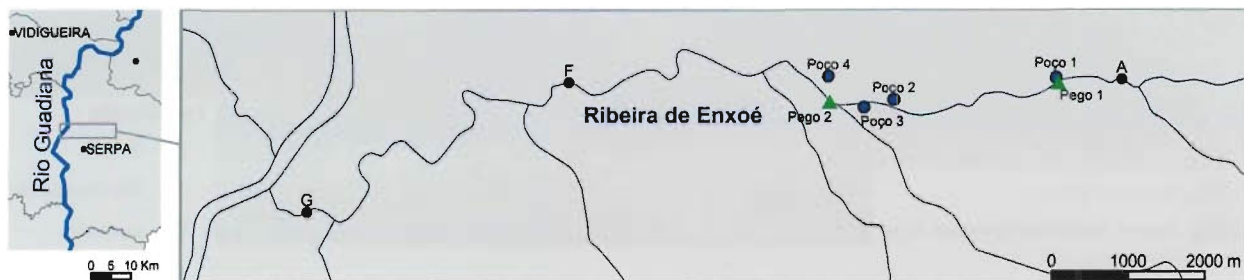


Figura 3.33 - Ribeira de Enxóe: localização dos pegos e dos poços

3. A alimentação pode resultar igualmente de fenómenos de epigamia (que acontece à superfície terrestre ou próximo dela).

A rede de monitorização inclui quatro poços e dois pegos cuja localização pode ser vista na Figura 3.33.

Com base numa campanha de monitorização realizada durante o ano de 1997 (Alves *et al.*, 2002) foram recolhidos simultaneamente dados do nível de água dos poços, dos pegos e de caudais da ribeira em três locais diferentes (Ponto A, Ponto F e Ponto G), observações essas realizadas em períodos distintos, mas sempre no Verão. Os resultados obtidos (Figura 3.34) mostram que existe uma forte correlação entre o nível freático e o caudal da ribeira (Ribeiro *et al.*, 1999).

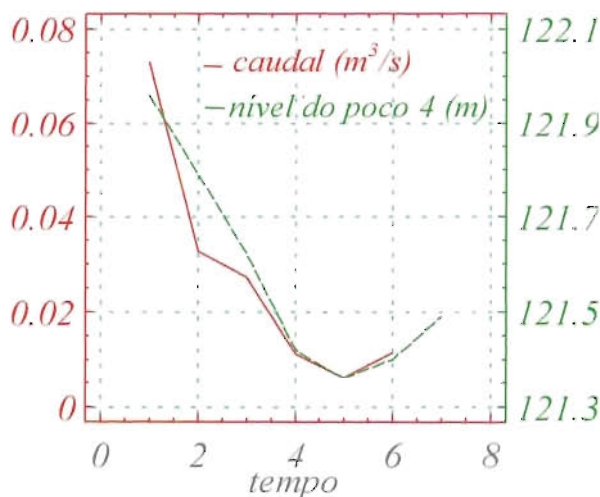


Figura 3.34 – Poço 4 da ribeira de Enxoé: Relação do caudal da ribeira com o nível freático

É pois óbvio que, e de acordo com os cenários climáticos já estudados, uma diminuição da recarga irá provocar uma diminuição das reservas hídricas subterrâneas, e uma significativa redução dos caudais de descarga do sistema hidrogeológico envolvente, única fonte de alimentação da ribeira durante o período do Verão. Este efeito indirecto produzirá obviamente consequências dramáticas para a preservação do ecossistema fluvial da ribeira de Enxoé.

Caso de Estudo: Sistema Aquífero de Escusa (Castelo de Vide)

Modelo Conceptual de Escoamento

Este caso de estudo tem por objectivo conhecer quais as variações da contribuição do aquífero de Escusa para o cau-

dal do rio Sever. Adicionalmente, caracteriza-se também a variação da transferência de água que se verifica deste aquífero para as rochas graníticas que com ele contactam nas imediações de Castelo de Vide. O enquadramento geográfico e hidrogeológico está representado na Figura 3.35.

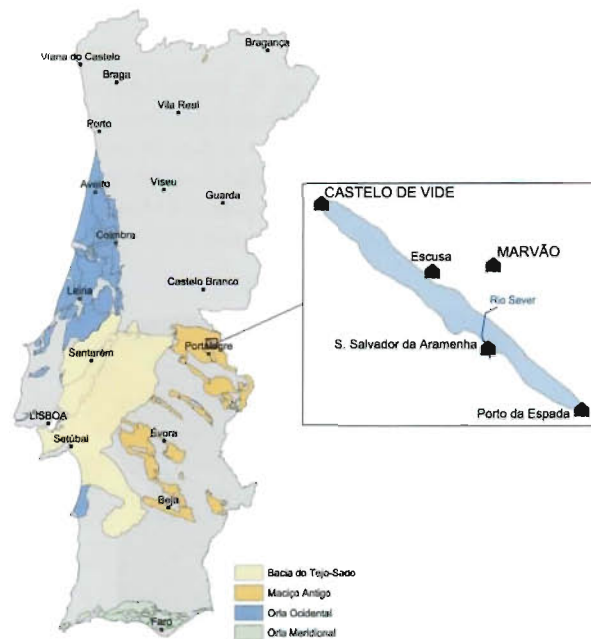


Figura 3.35 – Enquadramento geográfico e hidrogeológico do aquífero de Escusa

A definição das condições de fronteira necessárias para simular o comportamento hidráulico do aquífero de Escusa não serão aqui discutidas em detalhe. As relações hidráulicas deste aquífero com o meio circundante caracterizam-se pela transferência de água para o rio Sever e, secundariamente, para as rochas graníticas que contactam com o sector NW do aquífero. O corte transversal apresentado na Figura 3.36 ilustra os três sectores que podem distinguir-se, de acordo com os sentidos regionais predominantes de escoamento em direcção a estas áreas de descarga.

O funcionamento hidráulico do aquífero cárstico de Escusa é caracterizado por um regime de transferências altamente transitório, muito complexo, em que se verificam frequentes inversões de gradiente entre um sistema de condutas e fraturas transmissivas e uma massa rochosa capacitiva. Este sistema capacitivo tem um importante efeito regularizador no armazenamento de água durante as épocas de estiagem.

A representação do domínio de escoamento constituído pelo aquífero carbonatado de Escusa é ilustrada de forma mais completa na Figura 3.37, onde se representa o volume das

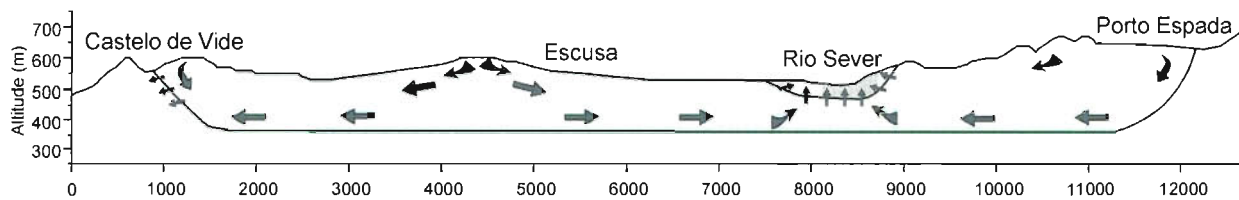


Figura 3.36 - Modelo conceptual do fluxo subterrâneo no aquífero de Escusa

rochas carbonatadas devónicas, de acordo com o estado actual do conhecimento acerca da geologia desta área. Esta figura consiste numa representação gráfica da rede em elementos finitos, construída para simular o modelo conceptual de funcionamento hidráulico do aquífero de Escusa, representado de forma esquemática na Figura 3.36.

A determinação dos parâmetros hidráulicos, necessária para implementar o modelo, foi efectuada, à escala regional, utilizando modelos analíticos e numéricos (Monteiro, 2002a) e, à escala local, recorrendo a modelos analíticos de interpretação de ensaios de bombagem (Monteiro, 2002b). Estes ensaios de bombagem foram efectuados em parte das numerosas captações existentes nesta área. A discussão da distribuição de parâmetros, bem como a fundamentação do modelo conceptual que permitiu a calibração do modelo encontra-se descrita detalhadamente em Monteiro (2001) e Monteiro e Ribeiro (2002).

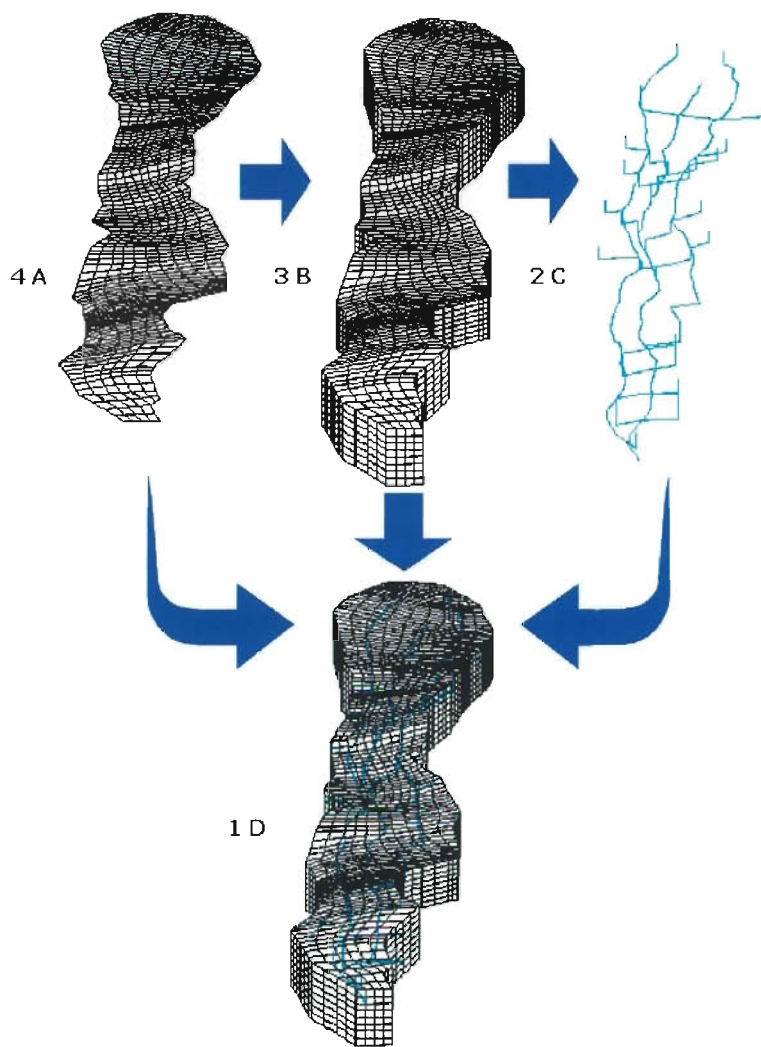


Figura 3.37 - Rede de elementos finitos com 12 841 nós utilizada para simulação do escoamento: (4A) infiltração difusa, (3B) massa rochosa capacitiva com baixa condutividade hidráulica, (2C) condutas cársicas e (1A) rede global de simulação de fluxo

Impacto na Descarga

De forma a avaliar-se o impacto dos cenários climáticos nos recursos hídricos subterrâneos considerou-se um cenário de referência onde os episódios de recarga ocorrem semanalmente, dado que este tipo de fenómeno é frequente ocorrer nos meses de Setembro a Novembro, altura em que a recarga é significativa.

Os hidrogramas, construídos para as médias de recarga plurimensais para os últimos 40 anos, encontram-se representados na Figura 3.38. Esta figura mostra claramente que o volume de descarga para os granitos é muito menos relevante do que o volume transferido para o rio Sever. Embora aquele tenha um papel importante no aparecimento de pequenas linhas de água.

Na Figura 3.39 estão representados os caudais de descarga nas duas regiões do aquífero atrás descritas, obtidos por simulação numérica utilizando os valores de precipitação dos cenários socioeconómicos dos modelos climáticos (1-HadCM3-B2a; 2-HadCM3-A2c; 3-HadCM3-B2a; 4-HadRM2).

Dos resultados obtidos conclui-se o seguinte:

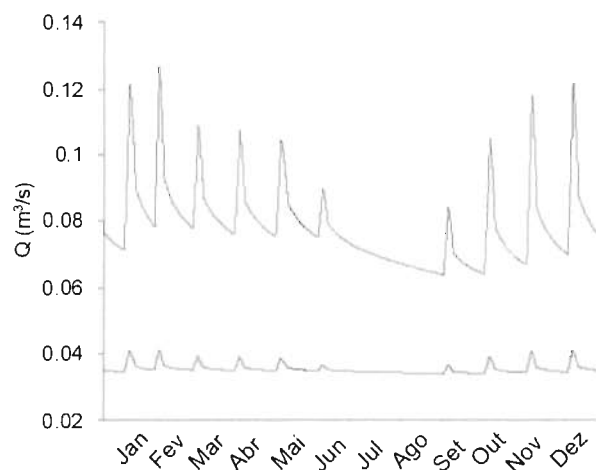


Figura 3.38 - Transferências mensais médias do aquífero para o rio Sever (hidrograma superior) e para as rochas graníticas que contactam o aquífero na área de Castelo de Vide (hidrograma inferior)

HadCM3-B2a (2050)

Verifica-se, neste caso, uma ligeira tendência de aumento das descargas no primeiro semestre dado existirem maiores reservas no período seco o que poderá permitir maiores extracções entre Junho e Setembro. Nota-se igualmente uma ligeira diminuição de transferências para o rio Sever entre Setembro e Dezembro embora não conduza a uma diferenciação significativa do regime de descarga habitual neste período. Por último refira-se que não existem alterações sensíveis no que respeita às transferências para as rochas graníticas.

HadCM3-A2c (2050)

Nota-se uma tendência generalizada para a diminuição das descargas, mais acentuada no final do ano. O que vai reflectir-se na diminuição do armazenamento no aquífero durante os meses mais secos.

HadCM3-B2a (2100)

Neste cenário existe uma situação similar à do cenário HadCM3-B2a, embora o aumento da descarga se reflecta unicamente no segundo trimestre. Neste caso não existe variação sensível do armazenamento durante o período mais seco. Todavia, o decréscimo de saídas durante o período de Setembro a Dezembro é mais perceptível, nas transferências para o rio Sever. Notam-se, por fim, no final do ano, diminuições significativas no regime de escoamento do rio Sever e diminuições ligeiras nas transferências para as rochas graníticas.

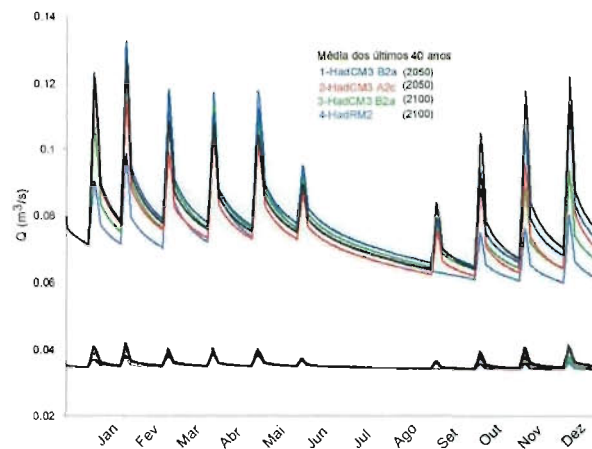


Figura 3.39 - Impacto dos cenários climáticos nas transferências mensais médias do aquífero para o rio Sever (hidrograma superior) e para as rochas graníticas (hidrograma inferior)

HadRM2 (2100)

De todos os cenários analisados este é aquele em que as diferenças relativamente à situação de referência são mais acentuadas. Com excepção do período que decorre entre Março e Maio, em que se verifica um ligeiro aumento da descarga, no resto do ano ocorre uma diminuição significativa dos caudais transferidos. Nestas circunstâncias é previsível que o rio Sever passe a ter um caudal muito menor (menos de metade do valor actual entre Outubro e Março), devido à redução do escoamento base proveniente do aquífero. As transferências para as rochas graníticas são negligenciáveis.

3.5.3.2 Sistemas Estuarinos e Costeiros

Caso de Estudo: Aquífero Superior da Península de Tróia

Introdução

Nesta secção estimam-se as alterações induzidas na espessura da lente de água doce subterrânea no aquífero superior da península de Tróia como consequência das alterações nos valores de recarga disponível. Estas alterações condicionarão as disponibilidades de água doce para abastecimento e para manutenção dos ecossistemas.

O caso de estudo insere-se no estudo de Impacte Ambiental da Marina e Novo Caís dos «Férrics» do Tróia Resort realizado para a Imoarcia e Imar, tendo sido coordenado por Francisco Andrade, sendo o estudo hidrogeológico do aquífero superior coordenado por Amélia Carvalho Dill (Dill *et al.*, 2001).

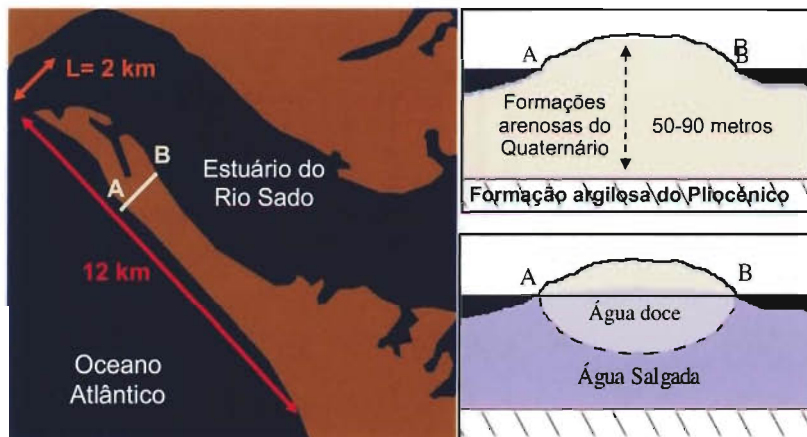


Figura 3.40 – Enquadramento geográfico e conceptualização litológica e hidrogeológica do aquífero superior da península de Tróia (Nunes *et al.*, 2002)

A península de Tróia situa-se 30 km a sul de Lisboa. Banhada na costa Oeste pelo oceano Atlântico e na costa Este pelo estuário do Sado, esta península tem uma largura de 2000 m e um comprimento de 12 000 m. A formação litológica mais superficial, compreende areias de diferentes granulometrias (fina a grosseira) do Quaternário, apresentando uma espessura de 50 a 90 m. Esta formação porosa assenta em formações argilosas do Pliocénico com condutividades hidráulicas verticais muito baixas constituindo deste modo uma barreira natural ao fluxo. Na Figura 3.40 esquematiza-se a localização da península assim como a conceptualização litológica e hidrogeológica.

Tabela 3.7 – Parâmetros de modelação
(Dill *et al.*, 2001)

Parâmetro	Valor
f (Recarga) (m/d/m^2)	$2,33 \times 10^{-4}$
K (m/d)	10
S	0,25
Espessura saturada, b (m)	40
Largura máxima (m)	2000
Período de maré, t_0 (d)	0,53
Amplitude da maré, H_0 (m)	0,98
Porosidade	0,3
$\rho_{\text{água doce}}$ (kg/m^3)	1000
$\rho_{\text{água do mar}}$ (kg/m^3)	1025

Modelo Conceptual

A fase de modelação deverá permitir estimar a volumetria da lente de água doce, isto é, profundidade da água doce e espessura da lente em todo o domínio. O domínio de modelação é considerado como uma ilha de comprimento infinito

e largura média igual a 1000 metros, que constitui a parte emersa de uma formação porosa de granulometria moderada fina, limitada inferiormente por uma formação que, em termos de modelação, se considera impermeável. Foram utilizados os parâmetros constantes na Tabela 3.7 e valores de recarga efectiva iguais a 90 %, 80 %, 70 % e 60 % da actual, tal como previsto pelos modelos climáticos.

Assume-se que a península se pode dividir em duas regiões bem definidas: a) um bordo com 200 m de largura, onde o efeito da maré se faz sentir; b) uma região interior onde o efeito da maré é imperceptível. A largura da região exterior foi determinada de acordo com a metodologia

descrita na secção 3.3 e validada com os resultados de ensaios de maré.

Impacto na Interface Água Doce-Água Salgada

Na Figura 3.41 estão representadas as interfaces actual e as previstas utilizando valores de recarga efectiva de 90 %, 80 %, 70 % e 60 % do valor de recarga actual, que corresponde a cenários dos efeitos das alterações climáticas na área em estudo.

Os resultados mostram para aqueles cenários recessões na espessura da lente de água doce de 5,1 %, 5,7 %, 6,5 % e 7,4 %, respectivamente. O período de recuperação do equilíbrio dinâmico do sistema após alteração do regime de recarga é da ordem de cinquenta anos.

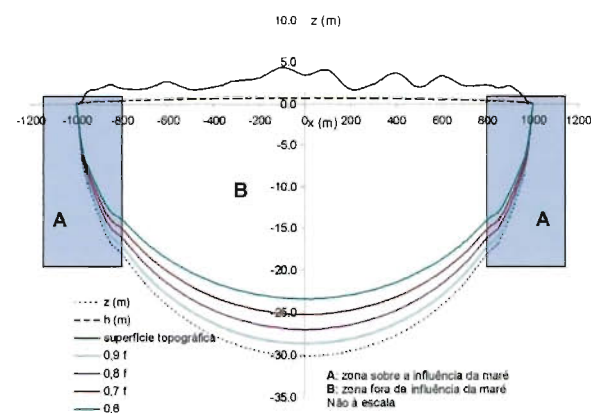


Figura 3.41 – Estimativa da espessura da lente de água doce no aquífero superior da península de Tróia: Situação com a recarga actual, e com recargas efectivas de 90 %, 80 %, 70 % e 60 % da actual

Caso de Estudo: Orla Meridional

Introdução

A intrusão marinha é um fenómeno que tem afectado, em todo o mundo, os aquíferos costeiros mais produtivos e, por isso, intensamente utilizados como origens para o abastecimento às populações, à indústria e à agricultura.

Em Portugal o fenómeno de contaminação salina por intrusão marinha não tem sido estudado com o rigor e a profundidade que se exigiria. Para esse facto tem contribuído a escassez de trabalhos hidrogeológicos especializados e a ausência de redes de monitorização específicas implementadas nos aquíferos costeiros em risco de salinização. Existem todavia alguns indicadores que confirmam que o fenómeno ocorre ou poderá ocorrer, com maior ou menor magnitude, em alguns aquíferos costeiros da Orla Meridional onde por vezes o avanço da interface salina se efectua a partir de cursos de água preferenciais. Deste modo, os valores de concentração do ião cloreto observados em algumas captações, associados à forte correlação entre tendências de aumento da concentração daquele parâmetro com as de descida dos valores piezométricos, detectada em certos períodos temporais, vêm comprovar esse facto. Nos aquíferos da Mexilhoeira Grande-Portimão e Ferragudo-Albufeira, os cloretos apresentam valores da ordem dos 500 mg/l, isto é, muito acima do VMA o que poderá confirmar a ocorrência, ainda que por vezes sazonal, de um fenómeno de intrusão salina (Salgueiro e Ribeiro, 2001).

O Algarve apresenta igualmente vários problemas de salinização, proveniente de processos de dissolução de rochas evaporíticas (Carreira, 1991; Ribeiro, 1998; Ribeiro, 1999).

No caso do sistema aquífero da bacia do Tejo-Sado/Margem Esquerda, a intrusão salina pode advir da drenância entre camadas hidrogeológicas, induzida pela bombagem excessiva do aquífero confinado em áreas perto da costa ou do estuário (Ribeiro, 1994). O mesmo fenómeno foi detectado na simulação do modelo numérico do Cretácico de Aveiro: a contaminação salina é proveniente da mistura com águas de outras camadas aquíferas, umas mais profundas, outras mais superficiais, mas com elevado grau de mineralização e que actualmente apresentam potenciais hidráulicos superiores às principais camadas aquíferas exploradas (Condeso de Melo, 2002).

Como já se referiu, a inexistência de redes de controlo da posição da interface água doce-água salgada, nomeadamente na zona costeira da Orla Meridional algarvia, com um mínimo de representatividade spatiotemporal, inviabiliza, exceptuando alguns raros casos, uma previsão do

movimento daquela interface salina, utilizando modelos numéricos de simulação.

Considerando este estado de coisas, optou-se por escolher uma abordagem metodológica de natureza expedita para a análise do efeito das alterações climáticas nos aquíferos costeiros e com campo de aplicação o mais abrangente possível.

A Interface Água Doce-Água Salgada

O contacto entre a água doce e a água salgada cria uma zona de transição, a interface água doce-água salgada, que em condições naturais pode sofrer alterações a longo prazo, devido às modificações das condições climáticas e ainda às causadas pelos efeitos de marés.

O tratamento do problema da interface água doce-água salgada pode ter duas abordagens: considerar a interface como sendo uma zona de transição brusca, isto é, passa-se directamente da água doce para a água salgada; ou considerar a interface como uma zona de variação contínua da concentração de sais e da densidade, causada por dispersão hidrodinâmica.

Impacto na Interface Água Doce-Água Salgada

Um dos efeitos mais previsíveis das alterações climáticas nos recursos hídricos subterrâneos é o que resulta do impacto que terá a subida do nível do mar na posição da interface água doce-água salgada nos aquíferos costeiros e nas ilhas (IPCC, 2001).

Por exemplo, e de acordo com a aproximação de Ghyben-Herzberg, uma subida de 50 cm do nível médio do mar causará uma redução de 20 m na espessura da lente de água doce num aquífero costeiro.

Para além da subida do nível do mar outros factores poderão ter influência directa ou indirecta no avanço da interface, tal como a redução esperada da pluviosidade para diversos cenários climáticos, o que provocará uma descida dos níveis piezométricos, resultante não só da diminuição da recarga efectiva dos aquíferos como da exploração mais intensiva dos aquíferos costeiros por insuficiência de recursos hídricos superficiais.

O caso de estudo tem dimensão regional e considera um nível médio de piezometria dos aquíferos costeiros da Orla Meridional algarvia e que, não obstante as especificidades litológicas, geomorfológicas e hidrodinâmicas de cada uma

das unidades aquíferas, se considera representativo da zona costeira daquela unidade hidrogeológica.

Através da aproximação de Ghyben-Herzberg, foi possível a partir do estado piezométrico actual dos sistemas aquíferos da Campina de Faro, da Quarteira, de Albufeira-Ribeira, de Quarteira e de Ferragudo-Albufeira, estimar a posição média da interface salina.

A Figura 3.42 mostra as variações na profundidade em que se encontra a interface salina para os meses de Fevereiro (altura do ano onde ela se localiza a maior profundidade), e de Setembro (altura do ano em que ela se encontra mais próxima da superfície) e ainda a sua posição média anual.

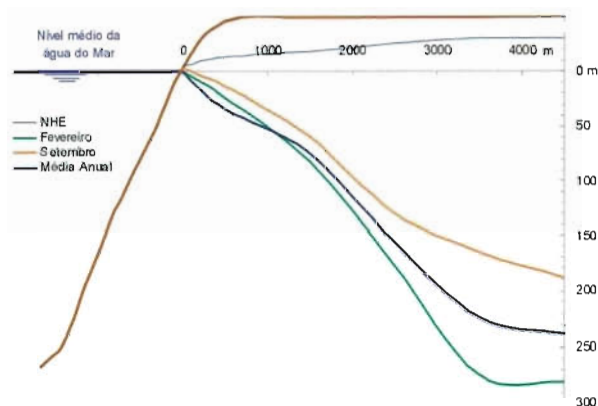


Figura 3.42 – Posição actual da interface salina. Caso de estudo localizado na Orla Meridional algarvia

Com base na configuração actual da interface salina, e conhecendo-se as previsões do nível médio da água do mar (Figura 3.43) dadas pelos cenários climáticos, é possível determinar então a magnitude da sua variação.

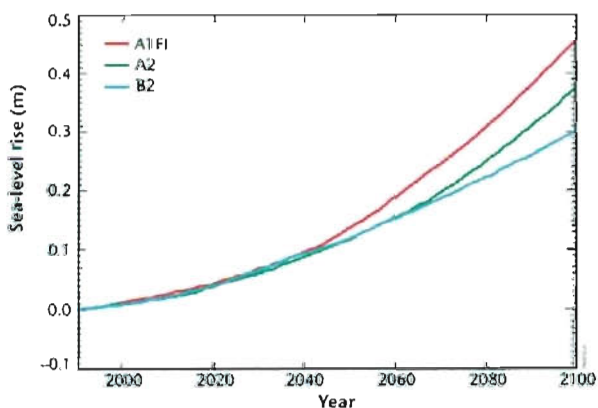


Figura 3.43 – Projeções da subida do nível do mar até 2100, utilizando o modelo HadCM3 para os cenários climáticos A1FI, A2 e B2

Após as simulações efectuadas (Figura 3.44), conclui-se que a variação do nível médio da água do mar, prevista em 2050, pelos cenários B2 e A2, e que é da ordem dos 0,12 m, irá provocar uma redução de 4,8 m na espessura da lente de água doce, nos aquíferos costeiros acima referidos.

Para 2100, e de acordo ainda com os cenários B2 e A2, ocorrerá, por sua vez, uma subida do nível médio do mar de 0,3 m e 0,37 m, respectivamente, o que terá como consequência uma redução de 12 m e 14,8 m na espessura da lente de água doce.

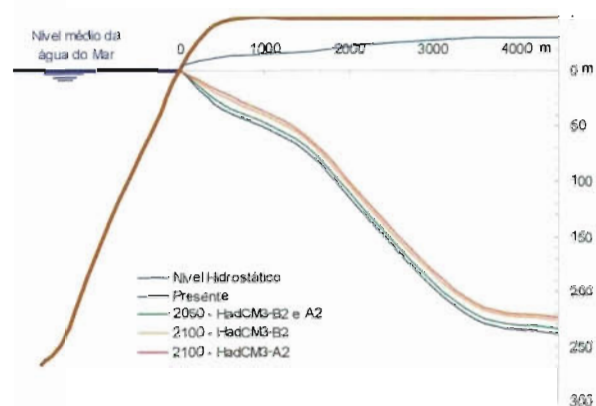


Figura 3.44 – Previsão do avanço da interface para os anos 2050 e 2100. Projeções médias anuais utilizando os cenários A2 e B2 do modelo HadCM3. Caso de estudo localizado na Orla Meridional algarvia

3.5.4 Qualidade da Água Subterrânea de Aquíferos Sujeitos a Agricultura Intensiva

3.5.4.1 Contaminação Agrícola

Tendo em conta que as previsões dos cenários climáticos apontam em termos gerais para um aumento dos períodos de seca, da evapotranspiração e da temperatura, então será expectável um aumento da concentração de sais no subsolo e consequentemente um aumento de salinização da água subterrânea.

Actualmente, em Portugal, muitas áreas são afectadas por esta ocorrência, sobretudo em aquíferos mais superficiais, onde a água atinge valores de salinização que a tornam imprópria para rega e para consumo. Na região do Baixo Alentejo, onde a precipitação é baixa e a evapotranspiração atinge valores bastante elevados no Verão, os níveis de salinidade das águas subterrâneas têm cerca de metade da salinidade da água do mar.

Para além desses efeitos, causados por processos exclusivamente naturais, há a salientar outros mais específicos, que

ocorrem em aquíferos carbonatados, e que poderão deteriorar a qualidade da água subterrânea, ao nível da dureza, e que é devido ao aumento da solubilidade das rochas carbonatadas, provocado pelo aumento do CO_2 e da temperatura (Younger *et al.*, 2002).

Por outro lado, a qualidade da água subterrânea está regra geral ameaçada directa ou indirectamente por actividades antrópicas. Quer o uso do solo, quer as práticas agrícolas têm um efeito muito significativo sobre a qualidade da água. Os cenários a analisar estarão por esse motivo muito condicionados pelo tipo de políticas de ordenamento de território adoptadas e das acções de controlo das fontes de poluição pontual ou difusa a implementar (IPCC, 2001).

Um dos impactos das alterações climáticas expectáveis será nas actividades agrícolas, quer ao nível da modificação dos tipos de cultura, quer ao nível dos padrões de ocupação do solo devido à eventual adaptação das práticas de rega aos novos cenários climáticos e ao novo quadro socioeconómico. Desse modo será previsível que essas alterações venham a ter um efeito previsível na quantidade e qualidade dos recursos hídricos subterrâneos disponíveis nessas áreas. Em muitos dos casos já estudados, esses efeitos indirectos terão inclusivamente muito mais impacto do que os efeitos directos.

3.5.4.2 Caso de Estudo: Sistema Aquífero dos Gabros de Beja

Hidrogeologia

O sector em estudo (Figura 3.45), com uma área de 48 km², pertence ao sistema aquífero dos gabros de Beja e localiza-se na margem esquerda do rio Guadiana (INAG, 1997).

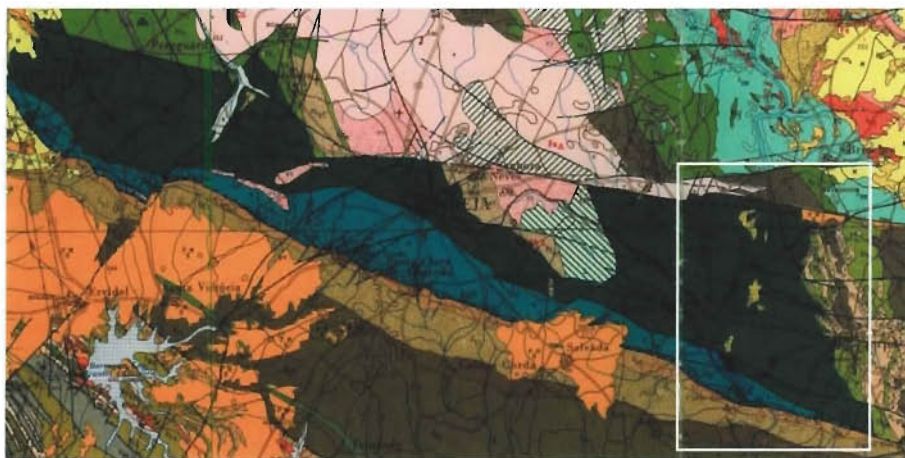


Figura 3.45 – Enquadramento geológico do aquífero dos gabros de Beja – Sector da margem esquerda do rio Guadiana (extraído da folha geológica n.º 8 à escala 1:200 000. Fonte: INETI)

O sistema aquífero dos gabros de Beja, como uma área de 350 km², está situado entre Ferreira do Alentejo (W), Beja e Serpa (E). A região é caracterizada por uma predominância de rochas básicas.

Ocupação do Solo

Os solos desta região possuem uma elevada capacidade para uso agrícola. As principais culturas são o trigo, o milho e o girassol e, mais recentemente, o olival de regadio (Figura 3.46). Para além das áreas de uso agrícola, existem ainda outros usos com uma representação significativa, designadamente o olival (21,5 %), as áreas de matagal (oliveiras, azinheiras e carrascal) e os territórios agroflorestais (12,8 %).

Susceptibilidade à Contaminação Agrícola

A avaliação da vulnerabilidade à poluição de origem agrícola recorreu ao Índice de Susceptibilidade. O mapa do Índice de Susceptibilidade (Figura 3.47 – Presente), calculado no sector em estudo (Serra, 2002; Serra *et al.*, 2003; Ribeiro *et al.*, 2003), mostra que não existem classes de valores extremos (nem muito baixas nem extremamente elevadas). As áreas que apresentam maior susceptibilidade ({60-70}) são aquelas em que existe actividade agrícola e onde se cultiva, predominantemente, o trigo. São igualmente áreas em que o tipo de litologia é mais permeável. A classe predominante é a {40-50}, uma classe de susceptibilidade média, para a qual contribuem a ocupação agrícola do solo, uma profundidade reduzida do nível freático e uma situação intermédia no que respeita à permeabilidade das formações rochosas (gabrodioritos).

Impacto na Qualidade da Água

Uma alteração do uso do solo provocado pela mudança das práticas e culturas como resposta às alterações climáticas irá provocar um efeito indirecto na qualidade da água subterrânea. Esse impacto poderá ser avaliado medindo a magnitude de variação do grau de susceptibilidade das formações aquíferas calculado para vários cenários agroclimáticos.

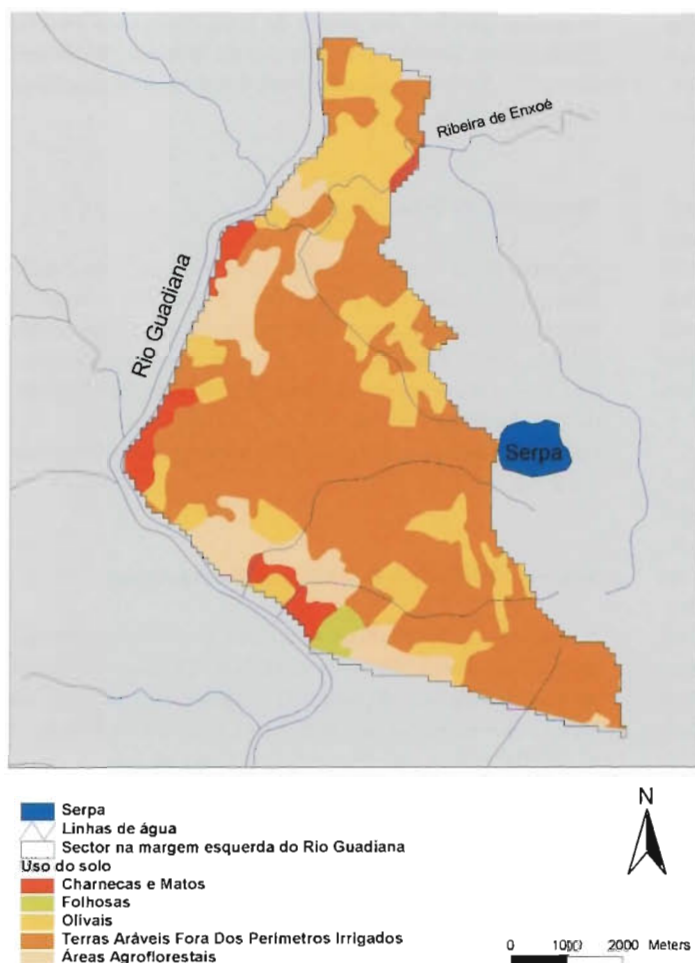


Figura 3.46 – Ocupação do solo no sector da margem esquerda do rio Guadiana

Dada a natureza dos parâmetros de entrada deste método, para o cálculo dos cenários futuros apenas foram consideradas variações nos valores de recarga subterrânea e uso do solo. Os resultados estão representados na Figura 3.47.

Como mostra a Figura 3.47, para o horizonte temporal de 2050, caso ocorra uma intensificação das práticas agrícolas, o cenário B2a prevê um aumento significativo da susceptibilidade do aquífero à poluição. Este aumento deve-se à subida do valor de precipitação considerada por este cenário, alterando-se deste modo a classe da recarga considerada para o cálculo.

Se se considerar, contudo, uma atenuação das práticas agrícolas, então, segundo o mesmo cenário, é expectável uma diminuição do risco de contaminação do aquífero.

Em seguida analisou-se uma situação para o cenário A2c, caracterizada por uma alteração do uso do solo e uma manutenção dos valores actuais de recarga. Nesta situação a

intensificação ou atenuação das práticas agrícolas poderá alterar de forma positiva ou negativa os valores do IS.

O mesmo cenário ocorrerá para o horizonte 2010.

3.5.5 Risco de Cheias

Para avaliar as alterações do risco de cheias, foram analisados os resultados diários dos modelos HadCM3 e HadRM2. Apesar de não terem sido simuladas as condições de escoamento à escala diária, os regimes de precipitação estão fortemente correlacionados com os regimes de escoamento.

Os cenários climáticos estimados pelos modelos globais e regionais apontam para uma clara tendência de concentração da precipitação nos meses de Inverno, que poderá traduzir-se num aumento efectivo da precipitação média entre os meses de Dezembro e Fevereiro. Esta tendência é um forte indicador para um aumento do risco de cheia em Portugal.

A tendência para o agravamento de precipitações extremas é observada em todo o país, mas é mais clara na região Norte do país. Nesta região, os resultados apontam para um aumento da precipitação da ordem dos 5 mm nos 30 dias mais húmidos do ano (Figura 3.48). Admite-se ainda que o número de dias com valores de precipitação acima de 20 mm aumentará de 9 para 13. Nas restantes regiões do país, o cenário de aumento da precipitação intensa é mais atenuado, admitindo-se um aumento da precipitação diária da ordem dos 5 mm nos 20 dias mais húmidos e nos 10 dias mais húmidos, respectivamente nas regiões Centro e Sul.

Os dados registados da rede do INAG indicam que o número médio de dias por ano com valores de precipitação acima de 20 mm é bastante superior ao apresentado pela corrida de controlo dos modelos climáticos. Apesar desta discrepância, o importante é realçar a tendência de concentração da precipitação sugerida por estes modelos.

Em conjunto com o aumento de fenómenos de precipitação intensa, a subida do nível médio dos oceanos poderá também contribuir para um aumento do risco de cheias, através da diminuição da capacidade de escoamento na foz dos rios de maior dimensão. Consequentemente, as áreas ribeirinhas mais a jusante, tais como o vale do Tejo ou a área da Ribeira

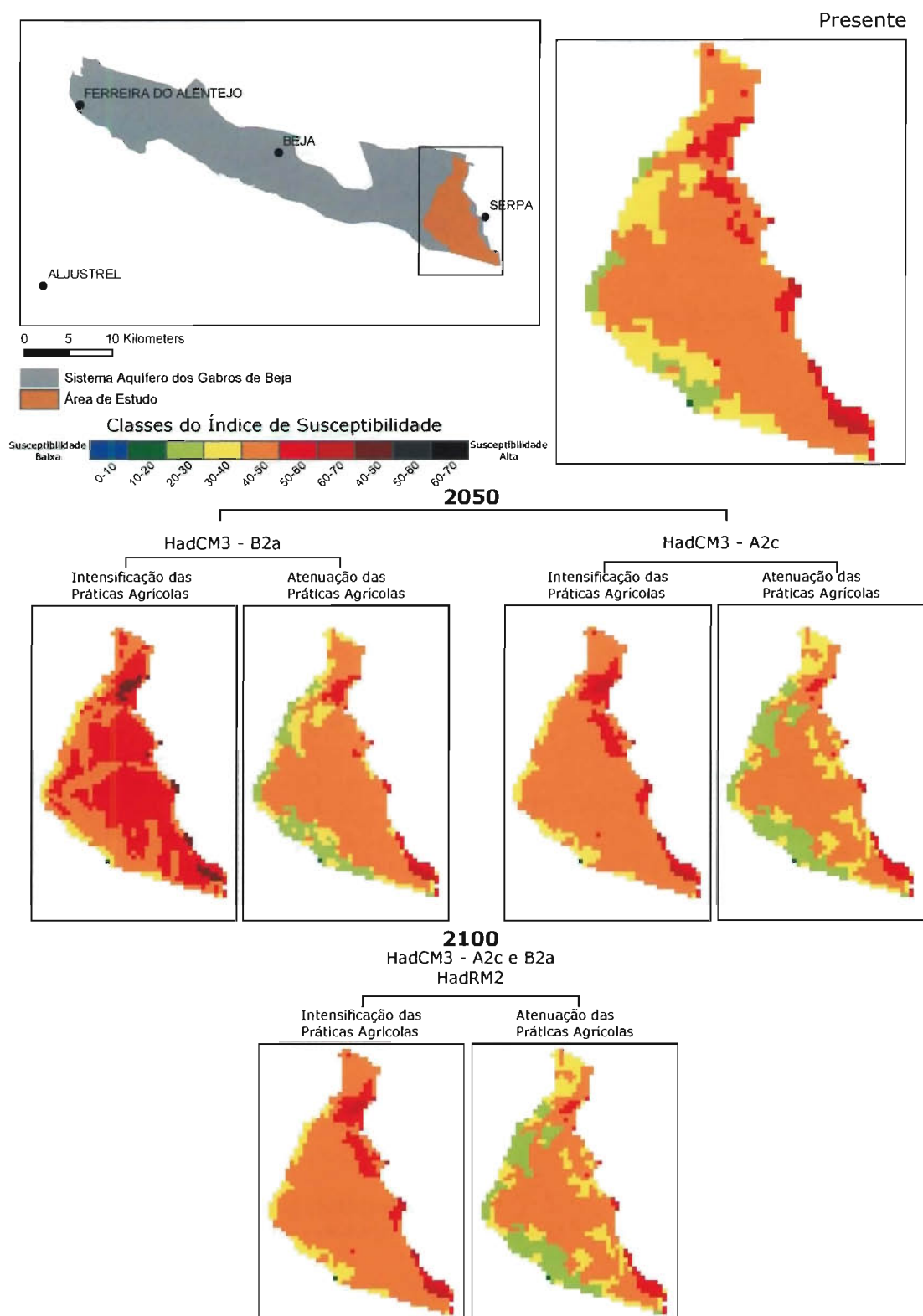


Figura 3.47 – Sector da margem esquerda do rio Guadiana no aquífero dos gabros de Beja: Localização; Mapa de susceptibilidade à contaminação agrícola; Alteração dos graus de susceptibilidade para vários cenários agroclimáticos em 2050 e 2100

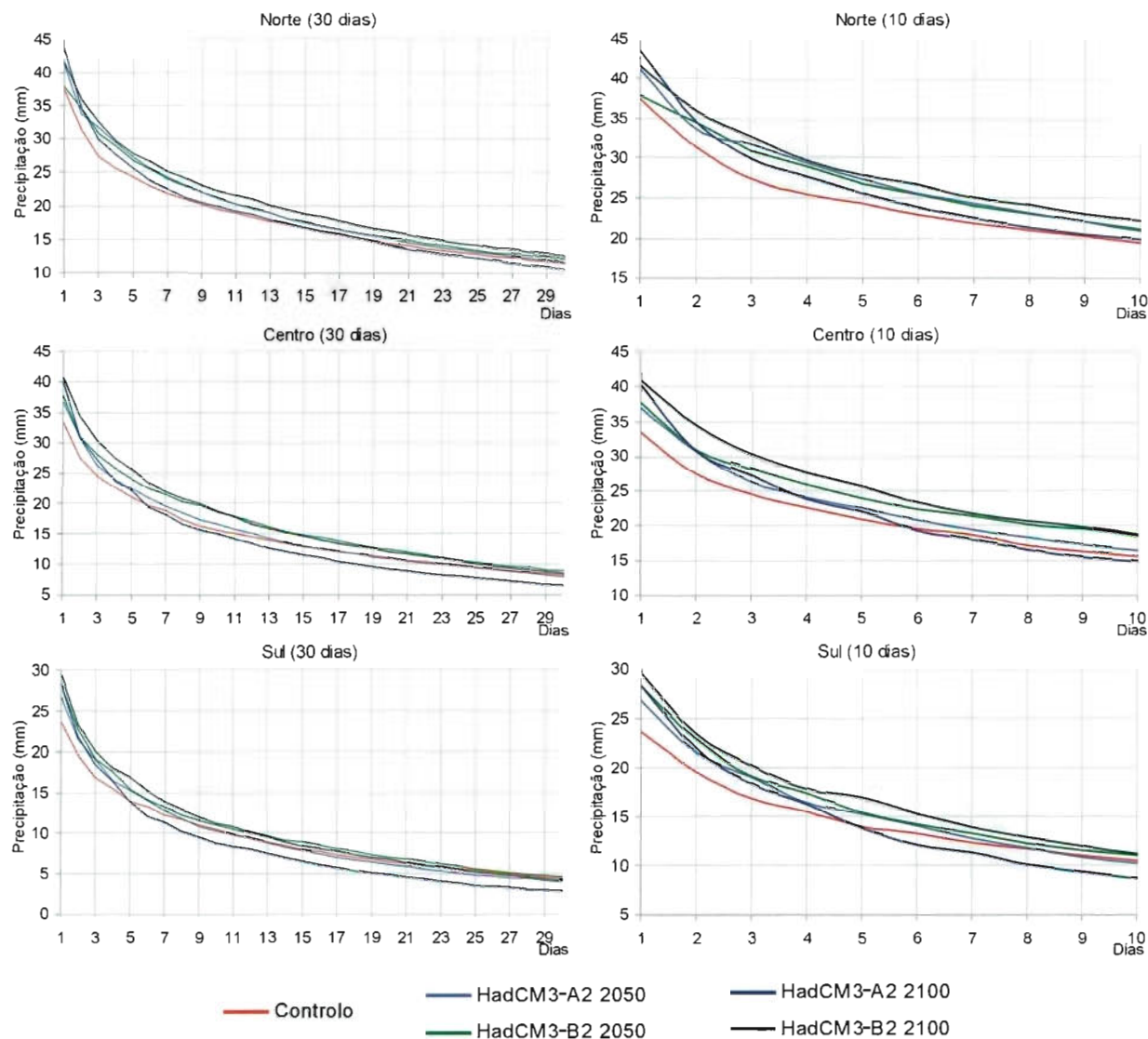


Figura 3.43 – Curvas de duração da precipitação diária para diferentes cenários climáticos

na cidade do Porto, poderão ver aumentar o risco local da ocorrência de cheias.

3.6 ESTUDOS A DESENVOLVER NO FUTURO

O objectivo do presente estudo é, como se referiu, caracterizar os impactos das alterações climáticas sobre os recursos hídricos de Portugal Continental, tendo como horizonte o final do século XXI. Porém, a análise realizada é afectada por incertezas e não permite, por si só, concretizar este objectivo. Com efeito, para além de identificar os impactos directos

sobre a quantidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, será necessário considerar também outros impactos. Refere-se, em seguida, um certo número de aspectos a ter em conta em estudos a desenvolver no futuro.

3.6.1 Impactos sobre a Ocorrência de Cheias e Secas

As alterações climáticas não determinam apenas modificações dos valores médios do escoamento, mas também dos seus valores extremos, provocando alterações dos regimes de cheias e de secas. Em particular, podem ocorrer alterações

da intensidade, duração e períodos de ocorrência das cheias e secas. Neste trabalho estudaram-se os impactos das alterações climáticas em valores extremos de precipitação mas não foram analisados os impactos das alterações climáticas sobre o regime de caudais em períodos de cheia e de seca.

Evidencia-se uma tendência geral para um acréscimo da precipitação na época húmida e um decréscimo de precipitação na época seca, com particular incidência no Norte de Portugal. O regime de escoamento deverá seguir esta tendência geral, sendo assim de esperar uma intensificação das cheias e secas em consequência das alterações climáticas. É ainda de esperar que as inundações provocadas pelas cheias nos troços dos rios nas regiões costeiras possam ser agravadas pela subida do nível do mar associada às alterações climáticas.

3.6.2 Impactos sobre a Qualidade da Água

As alterações climáticas podem ter consequências directas e indirectas sobre a qualidade da água.

A alteração do regime de precipitação pode ocasionar uma alteração da afluência de substâncias poluentes ao meio hídrico, através da erosão e do transporte de sedimentos, e do arrastamento de fertilizantes e de pesticidas utilizados na agricultura, assim como de resíduos urbanos e industriais.

A redução do escoamento pode, também, ter consequências indirectas sobre a qualidade da água, em resultado da modificação das condições de absorção das cargas poluentes pelo meio hídrico. Na realidade, a redução do caudal dos cursos de água conduzirá ao aumento da concentração de poluentes e à redução da capacidade de assimilação das cargas poluentes pelo meio hídrico, mesmo que estas cargas não aumentem em valor total.

Além disso, o aumento de temperatura associado às alterações climáticas terá também impactos directos sobre a qualidade da água, provocando uma diminuição do nível de saturação de oxigénio dissolvido na água ou condicionando os processos químicos e biológicos que ocorrem nos meios hídricos, com consequências, por exemplo, nos fenómenos de eutrofização e no comportamento dos ecossistemas.

No que se refere às águas subterrâneas é mal conhecida a resposta dos sistemas aquíferos ao aumento da temperatura da água, podendo ocorrer uma retenção ou libertação de gases com efeito de estufa, os quais, por sua vez, favorecem a dissolução dos minerais. No entanto, é expectável que um aumento da temperatura no subsolo propicie um aumento da concentração de sais, devido a um aumento das taxas de evapotranspiração e a uma maior capacidade da água para dissolução de sais.

Nos aquíferos costeiros, dependendo da evolução dos níveis de piezometria e da subida do nível médio da água do mar, o avanço da interface água doce-água salgada será a maior preocupação no que respeita à qualidade da água destes aquíferos. Dada a concentração de importantes sistemas aquíferos junto à costa, torna-se necessário expandir e aprofundar o estudo deste fenómeno a mais aquíferos costeiros de Portugal.

Nos estudos a realizar futuramente haverá, pois, que procurar dedicar particular atenção ao estudo dos impactos das alterações climáticas sobre a qualidade da água.

3.6.3 Impactos sobre a Procura de Água

As mudanças de temperatura associadas às alterações climáticas não condicionam apenas as disponibilidades de água, mas podem, também, ter impactos sobre a procura de água, tendendo a aumentá-la. Estes impactos podem ser particularmente significativos no caso da utilização da água para a agricultura, aumentando a procura de água para irrigação em consequência da intensificação da evapotranspiração e da diminuição da humidade do solo. Podem também ocorrer impactos significativos sobre a procura de água para certas utilizações industriais, como é o caso, por exemplo, dos sistemas de arrefecimento hidráulico, ou para determinadas utilizações domésticas e municipais, como é o caso das utilizações relacionadas com a alimentação humana, os banhos, a lavagem de ruas ou a rega de parques e jardins. Por fim, também se podem registar impactos das alterações climáticas sobre a procura da água pelos ecossistemas.

Em sentido oposto, deve-se notar que um aumento da frequência da ocorrência de secas em consequência das alterações climáticas pode conduzir a uma redução da procura da água, em resultado da adopção de tecnologias de poupança da água.

Assim, é importante que se desenvolva, no futuro, uma crescente percepção dos impactos das alterações climáticas sobre a procura de água, reforçando-se os sistemas de monitorização incidindo sobre os principais utilizadores de água na agricultura e na indústria e sobre grupos de utilizadores domésticos que possam ser considerados amostras representativas.

3.6.4 Estudo Integrado dos Impactos das Alterações Climáticas sobre os Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas Luso-Espanholas

Na secção 3.5.1 discutem-se os cenários dos impactos das alterações climáticas sobre os recursos hídricos das bacias

internacionais em Portugal e em Espanha, verificando-se uma razoável concordância dos resultados relativos aos dois países (Figura 3.22).

Os estudos realizados em Espanha relativos aos impactos das alterações climáticas sobre os recursos hídricos daquele país são menos elaborados do que o trabalho levado a cabo no presente estudo relativamente a Portugal. Indicam-se como principais referências as breves análises da questão feitas no Livro Branco da Água (MMA, 2000) e no Plano Hidrológico Espanhol (MMA, 1998), os trabalhos mais consistentes desenvolvidos no Instituto Geológico e Mineiro (Ayala-Carcedo, 1996 e 2000; Ayala-Carcedo e Iglésias López, 2000), e os estudos realizados no Centro de Estudos Hidrográficos (Fernandez-Carrasco, 2000 e 2002) que seguem uma linha idêntica à do estudo realizado em Portugal, mas que não foram levados suficientemente longe para permitir uma generalização dos resultados a Espanha no seu conjunto.

Parece ter o maior interesse a futura realização, em Portugal e em Espanha, de estudos conjuntos dos impactos das alterações climáticas sobre os recursos hídricos ibéricos. A Península Ibérica corresponde a uma unidade fisiográfica bem identificada e, em particular no que toca aos rios partilhados, teria todo o sentido que os dois países trabalhassem em conjunto, utilizando metodologias comuns. As bacias hidrográficas luso-espanholas constituem um magnífico laboratório natural onde os cientistas dos dois países se deveriam unir em equipas de investigação binacionais e interdisciplinares para estudar os problemas técnico-científicos dos recursos hídricos de um modo geral e, em particular, no que toca ao estudo dos impactos das alterações climáticas.

3.7 CONCLUSÕES

Tomando por base os resultados que foram apresentados no presente estudo, é possível referir as seguintes conclusões relativas aos impactos das alterações climáticas sobre os recursos hídricos de Portugal:

- Os cenários estudados não apresentam uma tendência clara do escoamento anual, muito embora todos admitam uma significativa alteração da sua distribuição sazonal.
- O resultado das simulações prevê uma tendência para a concentração do escoamento nos rios nos meses de Inverno, induzida por uma distribuição similar da precipitação. Esta tendência acentuará a assimetria sazonal da disponibilidade hídrica em Portugal Continental.
- A esmagadora maioria dos cenários prevê uma tendência de redução do escoamento na Primavera, Verão e Outono.
- A magnitude, medida em termos relativos, dos impactos das alterações climáticas sobre o escoamento aumenta de norte para sul.
- A magnitude das estimativas de aumento do escoamento é menor que a magnitude das estimativas de redução. As primeiras atingem no máximo 40 %, enquanto que as segundas podem atingir 80 %.
- O cenário mais pessimista prevê uma redução do escoamento médio anual até 2050 entre os 10 %, a norte do Douro, e 50 % na região do Algarve. Esta tendência acentua-se para 2100, admitindo que a redução do escoamento anual médio possa atingir 80 % no Algarve.
- Os restantes cenários prevêem um aumento do escoamento anual médio que pode atingir, em 2100, os 20 %, de acordo com o cenário HadCM3-B2a, ou os 40 %, de acordo com o cenário HadRM2.
- A concentração da precipitação nos meses de Inverno e a estimativa do aumento generalizado da frequência de chuvas intensas deverá aumentar a magnitude e a frequência dos episódios de cheia, particularmente no Norte do país.
- Prevê-se que a qualidade da água se degrade devido ao aumento da temperatura e à redução do escoamento nos meses de Verão, particularmente na região Sul.
- Prevê-se um rebaixamento dos níveis freáticos nos aquíferos mais superficiais, devido à redução esperada da recarga e do aumento das taxas de evaporação.
- Prevê-se uma degradação dos ecossistemas fluviais que sejam muito dependentes da água subterrânea.
- Prevê-se uma redução da espessura da lente da água doce e um aumento da contaminação salina devido ao avanço da interface salina em aquíferos costeiros, em consequência da subida do nível do mar provocada pelo aumento da temperatura relacionada com as alterações climáticas.
- Prevê-se também uma modificação dos caudais de descarga dos aquíferos para os rios, relacionada com a redução esperada da recarga.
- Prevê-se, uma alteração dos graus de vulnerabilidade dos aquíferos à poluição agrícola relacionada com as alterações do uso do solo e das práticas agrícolas.

Em resumo, deve-se esperar um aumento da assimetria sazonal e espacial da distribuição de água, um aumento do risco de cheias e uma diminuição da qualidade da água. Existe

ainda uma probabilidade muito significativa de diminuição geral das disponibilidades hídricas. Os impactos sobre as disponibilidades hídricas geradas em Espanha, deverão fazer sentir os seus efeitos no território português. A subida do nível médio do mar, devido às alterações climáticas poderá afectar a disponibilidade e qualidade das águas subterrâneas, reduzindo, assim, uma vez mais, as disponibilidades totais de água.

A fim de se avaliar exaustivamente os impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos, além de se estimar os impactos sobre as disponibilidades hídricas, é necessário estudar também a variação das necessidades hídricas futuras para as diferentes utilizações. Esta tarefa é difícil, pois depende das reacções sociais e económicas à situação modificada. No entanto, dado que 75 % da totalidade das necessidades de água estão associadas ao sector da agricultura, espera-se um aumento da procura de água devido ao aumento da temperatura.

A concluir, parece ter interesse discutir alguns aspectos importantes relacionados com as futuras políticas de gestão da água, que deverão ser adaptadas para enfrentar os impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos.

O desafio das alterações climáticas deverá ser objecto de uma atenção crescente na definição das estratégias e políticas de gestão de recursos hídricos. O argumento de que os impactos das alterações climáticas não são completamente conhecidos e que há ainda muitas incertezas não deve ser uma razão para adiar a acção. Os resultados dos diversos estudos já realizados permitiram identificar algumas tendências com uma elevada probabilidade de ocorrência, as quais deverão ser consideradas nas estratégias e nas políticas de gestão da água.

Além disso, uma boa política de gestão da água requer uma capacidade de decidir em condições de incerteza. Os responsáveis e os gestores de recursos hídricos deverão agir com base em previsões actualizadas do regime hidrológico. Por isso, eles deverão procurar planear antecipadamente as respostas mais adequadas aos cenários futuros, seleccionando políticas flexíveis e adaptáveis que sejam capazes de reagir rapidamente a situações específicas.

Nesta perspectiva, a consideração dos impactos das alterações climáticas não requer nenhuma mudança drástica das práticas de gestão da água, pois aquelas constituem apenas uma fonte adicional da incerteza susceptível de influenciar os valores futuros da disponibilidade e procura de água. A principal mudança conceptual deverá ser o abandono do

pressuposto tradicional da engenharia que considera o clima histórico como um indicador credível das circunstâncias futuras. Os responsáveis pela gestão da água devem, pois, começar a considerar as alterações climáticas como uma variável de decisão.

A não consideração das alterações climáticas no processo de gestão dos recursos hídricos portugueses virá tornar esta gestão mais difícil e complexa. A diminuição potencial das disponibilidades de água e o aumento das assimetrias sazonais, juntamente com a ocorrência de condições mais restritivas em termos da qualidade de água e de risco de cheias, apenas vem reforçar a importância de adoptar políticas de gestão da água baseadas num sólido e profundo conhecimento da realidade dos recursos hídricos portugueses. Isto realça a necessidade de ampliar os estudos de avaliação dos recursos hídricos e de realizar investigação adicional sobre as alterações climáticas, de modo a que a informação sobre as alterações climáticas possa condicionar as práticas de gestão da água.

De acordo com IPCC (2001), tal conhecimento deverá incluir uma consideração explícita de todas as potenciais intervenções do lado da procura e do lado da oferta de água. Além disso, as medidas de adaptação deverão ser planeadas à escala das bacias hidrográficas, levando em conta todos os agentes locais, que, directa ou indirectamente, interajam com o meio hídrico.

Além das questões anteriormente descritas, que são particularmente relevantes para os gestores da água, deverão ser também consideradas outras questões de âmbito mais geral relacionadas com o planeamento económico-social, a utilização do solo, o aumento da riqueza ou os seguros contra catástrofes, a fim de reduzir, tanto quanto possível, a vulnerabilidade dos recursos hídricos às alterações climáticas.

Deverá ser dada especial atenção às bacias partilhadas entre Portugal e Espanha, sendo de particular importância o desenvolvimento de projectos de cooperação relacionados com os recursos hídricos das bacias hidrográficas internacionais entre Portugal e Espanha. Esta questão deveria ser considerada com relevância particular nos programas de cooperação científica e tecnológica bilateral.

A diminuição prevista do escoamento dos rios do Sul de Portugal até ao final do século, a confirmar-se, poderá ter consequências dramáticas, e constituir, consequentemente, uma causa de grande preocupação. Assim, não se afigura que seja sensato ignorar os impactos das alterações climáticas no planeamento e gestão dos recursos hídricos em Portugal.

3.8 REFERÊNCIAS

- Aller, L., T. Bennet, J. H. Lehr e J. R. Petty, 1987, DRASTIC: a Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings, U.S. EPA Report 600/2-85/018, EPA, USA.
- Alves, Maria Helena, J. M. Bernardo, L. Ribeiro e P. Matias, 2002, Contributos para a Determinação do Caudal Ecológico em Portugal Continental, APRH-INAG, Lisboa.
- APDA, 2002, Quem é quem no sector das águas em Portugal. Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Água, Lisboa.
- Ayala-Carcedo, F.J., 1996, Reducción de los Recursos Hídricos en España por el Possible Cambio Climático. *Tecnambiente*, Sep. 1996, Madrid, Espanha.
- Ayala-Carcedo, F.J., 2000, Impactos del Cambio Climático sobre los Recursos Hídricos en España y Viabilidad del Plan Hidrológico Nacional, Madrid, Espanha.
- Ayala-Carcedo, F.J. e Iglesias López, A., 2000, Impactos del Posible Cambio Climático sobre los Recursos Hídricos, el Diseño y la Planificación Hidrológica en la España Peninsular, in *El Campo de las Ciencias y las Artes*, Servicio de Estudios. Banco Bilbao-Vizcaya-Argentina, no. 137, Madrid, Espanha, pp. 201-222.
- Bear, J., A. H. Cheng, S. Sorek, Ouazar e I. Herrera (eds.), 1999, Seawater Intrusion In Coastal Aquifers – Concepts, Methods and Practices. Kluwer Academic Publ.
- Bouraoui, F., G. Vachaud, L. Z. X. Li, H. Le Treut e T. Chen, 1999, Evaluation of the impact of climate changes on water storage and groundwater recharge at the watershed scale.
- Carreira, P., 1991, Mecanismos de Salinização dos Aquíferos Costeiros do Algarve (Relatório De Actividades), Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial – Instituto de Ciências e Engenharias Nucleares.
- Condeso de Melo, M.T., 2002, Flow and Transport Modelling of the Aveiro Multilayer Cretaceous Aquifer (Portugal), PhD thesis, Universidade de Aveiro (Portugal).
- Cooper, C.F., W. B. Wilkison e Arnell, 1995, The effect of climate change on aquifer storage and river baseflow, *Hydrological Science* 7, 40, 615-631.
- Crawford, N. H. e R. K. Linsley, 1966, *Digital Simulation in Hydrology: Stanford Watershed Model IV*, Stanford University, Dept. of Civil Engineering, Technical report 39.
- Cunha, L. V., 1989, Climate Change and Water Resources Development. In «Berger, A., Schneider, S., Duplessy, J.-C. (Eds.) (1989), Climate and Geosciences. Kluwer Academic, Dordrecht».
- Cunha, L. V., 1993, Recursos hídricos na Europa, in *O Jardim Comum Europeu: Novos desafios ambientais*. Grupo de Sesimbra e Teresa Ribeiro (Coord.), Quetzal-FLAD.
- Cunha, L. V., R. Oliveira R. e V. B. Nunes, 2002a, Water resources In Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project, F.D. Santos, K. Forbes and R. Moita (eds.), Gradiva, Lisboa.
- Cunha, L. V., R. Oliveira R. e V. B. Nunes, 2002b, Impacto das alterações climáticas nos recursos hídricos Portugueses. *Actas do III Congresso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua – La Directiva Marco del Agua: realidades y futuros*, 13 p. Sevilla, Espanha, 2002.
- Dill, A. C., M. P. Reis e L. M. Nunes, 2001, Hidrogeologia do aquífero superior (da Península de Tróia), Estudo de Impacte Ambiental da Marina e Novo Cais dos «Ferries» do Tróia Resort, Imoarcia S.A. Volume II, Anexos, Lisboa.
- ERHSA, 2001, Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo, Comissão de Coordenação da Região Alentejo.
- Fernández-Carrasco, P., 2000, Estudio del Impacto de un Previsible Cambio Climático sobre los Recursos Hídricos en España. *III Congreso de Ingeniería Civil*, Barcelona, Espanha.
- Fernández-Carrasco, P., 2002, Estudio del Impacto del Cambio Climático sobre los Recursos Hídricos. Aplicación en Diecinueve Pequeñas Cuencas en España, PhD thesis. E.T.S.I. Caminos Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Francés, A., E. Paralta, J. Fernandes e L. Ribeiro, 2002, Development and Application in the Alentejo Region of a Method to Assess the Vulnerability of Groundwater to Diffuse Agricultural Pollution: the Susceptibility Index. *3rd International Conference on Future Groundwater Resources at Risk*, ed. Ribeiro L. FGR'01, 35-44, CVRM publ., Lisboa.
- Ghassemi, F., G. Jacobson e A. J. Jakeman, 1991, Major Australian aquifers: potential climate change impacts, *Water International* 16: 38-44.
- Gleick, P. H., 2000, Executive Summary of the Water Sector of the National Assessment of the Potential Consequences of Climate Variability and Change for the U.S. Global Change Research Program, Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security.
- Hewett, B.A.O., C. D. Harries e C. R. Fenn, 1993, Water resource planning in the uncertainty of climate change: a water company perspective, in White R. (ed.), *Engineering for Climate Change*, Thomas Telford, London, 38-54.
- Hirsch, R. M., J. R. Slack e R. A. Smith, 1982, Techniques of Trend Analysis for Monthly Quality Data, *Water Resources Research*, 18(1), pp. 107-121.
- INAG, 1997, Definição, Caracterização e Cartografia dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental, Instituto da Água, Lisboa.
- INAG, 2001, Plano Nacional da Água – Introdução, Caracterização e Diagnóstico da Situação Actual dos Recursos Hídricos. Instituto da Água, vols. 1 e 2, Lisboa.
- IPCC, 2001, Climate Change 2001 – Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC, 2001, Climate Change 2001, Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II. Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- Johnson, V. M. e L. L. Rogers, 2000, Accuracy of neural network approximators in simulation-optimization, *Journal of Water Resources Planning and Management-ASCE*, 126(2), 48-56.
- Johnson, V. M. e L. L. Rogers, 2001, Applying soft computing methods to improve the computational tractability of a sub-surface simulation-optimization problem, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 29(3-4), 153-175.
- Kendall, M.G., 1975, Rank Correlation Methods, Charles Griffin.
- Kiraly L., 1998, Modeling karst aquifers by combined discrete channel and continuum approach, *Bull. Centre Hydrogéol. Neuchâtel* 16: 77-98.
- Linsley, R. K. e N. H. Crawford, 1960, Computation of a Synthetic Streamflow Record on a Digital Computer, *Int. Association Scientific Hydrology*, Publication 5: 526-538.
- LNEC, 2003, Alterações Climáticas e seus Impactos nos Recursos Hídricos Subterrâneos em Ilhas (caso de estudo: Açores), relatório 112/03, Lisboa, 123 pp.
- Loaiciga H.A., D. R. Maidment e J. B. Valdes, 2000, Climate change impacts in a regional karst aquifer, Texas, USA, *Journal of Hydrology* 227(1-4): 173-194.
- Lopes, A.R. e L. Ribeiro, 1996, Desenvolvimento de Um Índice Sintético para a Descrição de Tendências Sazonais em Sucessões Piezométricas. *Actas do Seminário Recursos Hídricos Subterrâneos em Portugal – Quantidade e Qualidade*, APRH e Actas do 3.º Congresso de Água – Por uma Política de Excelência, vol. II, 561-572, Lisboa.
- Lourengo C. e L. Ribeiro, 2003, Characterization of Mineral Waters of Pedras Salgadas (North Portugal) by Statistical Methods, *Proc of IAH International Conference on «Groundwater in Fractured Rocks»*, 2 p., Praga, República Checa.

- Mann, H.B., 1945, Non-Parametric Tests Against Trend, *Econometrica* 13: 245-259.
- MMA, 1998, Libro Blanco del Agua en España, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, Espanha.
- MMA, 2002, Plan Hidrológico Nacional, Análise dos Sistemas Hidráulicos, Ministério de Medio Ambiente, Madrid, Espanha.
- Monteiro, J.P., 2001, Characterisation of A Carbonate Aquifer For The Application of A Regional Discrete Continuum Flow Model (Castelo De Vide Carbonate Aquifer – Alentejo, Portugal), PhD Thesis, Neuchâtel Centre of Hydrogeology – CHYN, Switzerland.
- Monteiro, J.P., 2002a, Calculation of Equivalent Hydraulic Conductivity as Unknown Variable of a Boundary Value Problem in a Carbonate Aquifer (Castelo de Vide, Portugal), in Ribeiro L. (editor) *FGR'01 – 3rd International Conference on Future Groundwater Resources at Risk*, 235-242, CVRM publ., Lisboa, Portugal.
- Monteiro, J.P., 2002b, Interpretation of Pumping Tests and Evaluation of the Order of Magnitude for Hydraulic Parameters Characterising Dissolution Channels in the Castelo de Vide Carbonate Aquifer (Portugal), in Ribeiro L. (editor) *FGR'01 – 3rd International Conference on Future Groundwater Resources at Risk*, 673-680, CVRM publ., Lisbon, Portugal.
- Monteiro, J.P. e L. Ribeiro, 2002, Characterization of a Carbonate Aquifer for the Application of a Regional Discrete Continuum Flow Model. *Acta Universitatis Carolinae – Geologica* 2002, 46 (2/3), 382-386.
- Novo M. E., 2003, Alterações Climáticas e seus Impactos nos Recursos Hídricos Subterrâneos em Ilhas (caso de estudo: Açores). *Seminário sobre Águas Subterrâneas*, APRH, Lisboa, 17 p.
- Nunes, L. M., A. Carvalho-Dill, L. Ribeiro e J. Vieira, 2002, Mixed Analytical and Numerical Modelling of an Oceanic Peninsula Using the Dupuit-Ghyben-Herzberg approach. *Model-CARE2002 – Calibration and Reliability in Groundwater Modelling: A Few Steps Closer to Reality*, eds. K. Kovar & Z. Hrkál, IAHS Publ. n.º 277, 239-246.
- Paralta E., M. Oliveira, S. Batista, A. Francês, L. Ribeiro e M. J. Cerejeira, 2001, Aplicação de SIG na Avaliação da Vulnerabilidade Aquifera e Cartografia da Contaminação Agrícola por Pesticidas e Nitratos na Região do Ribatejo. *Actas do Seminário «A Hidroinformática em Portugal»*, ed. CDROM, 16 p., LNEC, Lisboa.
- Parry, M. L., 2000, Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe: The ACACIA Project, Jackson Environment Institute, University of East Anglia.
- Perrochet, P., 1995, Finite hyperelements: a 4D geometrical framework using covariant bases and metric tensors, *Numerical methods in engineering* 11: 525-534.
- Popov, M. e S. He., 2000, Identification of a transient electric dipole over a conducting half space using a simulated annealing algorithm, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 105(D16), 20821-20831.
- Ribeiro, L., 1994, A Geostatistical-Deterministical Methodology for Evaluating Predictive Uncertainty of Saltwater Intrusion from Leakage. In *GQM'93 – Groundwater Quality Management*, eds. K. Kovar e J. Sovari, IAHS press, publication n.º 220, 271-280.
- Ribeiro, L., 1998, A Geostatistical Characterization of Saline Groundwater Contamination in Areas where Evaporite Domes Occur. *FGR'98 – Proc. of the 2nd International Conference on Future Groundwater Resources at Risk, Technical Documents in Hydrology n.º 27*, International Hydrological Programme, IHP-V, 121-124, UNESCO press.
- Ribeiro, L., 1999, Geostatistical Modelling of Saltwater Aquifer Pollution due to Evaporite Domes Leaching in Maragota Area. In *Proc. of 15th Salt Water Intrusion Meeting (SWIM)*, eds. W. de Bruck e L. Walschot, 80-84, Natuurwetenschappelijk Tijdschrift Publ., Ghent, Belgium.
- Ribeiro, L., 2000, IS – um novo índice de susceptibilidade de aquíferos à contaminação agrícola. Nota interna (não publicada), 12 p., ERSHA-CVRM.
- Ribeiro, L. e C. Lourenço, 1999, A Study of Trend Analysis on Mineral Waters in the North of Portugal. In *Hydrogeology and Land Use Management*, eds. Fendeková and Fendek, 717-720 Slovak Association of Hydrogeologists Publ.
- Ribeiro, L. e M. E. Macedo, 1995, Application of Multivariate Statistics, Trend- and Cluster Analysis Groundwater Quality in Tejo and Sado Aquifer. In *Proc. of the International Conference on Groundwater Quality: Remediation and Protection*, eds. K. Kovar e J. Krásný, GQ95, Praga, República Checa, IAHS publication n.º 225, 39-47.
- Ribeiro, L. e M. J. Benoliel, 2000, Evolução da Qualidade da Água na Captação de Valada – Rio Tejo. *Actas do 5.º Congresso da Água «A Água e o Desenvolvimento Sustentável: Desafios Para o Novo Século»*, ed. CDROM, 9 p., APRH, Lisboa.
- Ribeiro, L., E. Serra, E. Paralta e J. Nascimento, 2003, Nitrate Pollution in Hardrock Formations: Vulnerability and Risk Evaluation by Geomathematical Methods in Serpa-Brinches Aquifer (South Portugal). *Proc. of IAH International Conference on Groundwater in Fractured Rocks*, 2 p., Praga, República Checa.
- Ribeiro, L., M. H. Alves, J. M. Bernardo e P. Matias, 1999, Groundwater Role in the Maintenance of Summer Pools: An Important Issue in Ecological Flow Assessment in Temporary Rivers. *Proc. of 3rd International Symposium on Ecohydraulics*, 3 p., Salt Lake City, USA.
- Ribeiro, L., R. Lopes, F. Rodrigues e C. Cupeto, 1999, Contribuição da Análise de Tendências para a Optimização das Redes de Monitorização Piezométrica dos Sistemas Aquíferos de Portugal – Uma Aplicação ao Subsistema Quaternário de Aveiro. *Recursos Hídricos*, 20 (1), 27-35, APRH, Lisboa.
- Salgueiro, A.R. e L. Ribeiro, 2001, Assessment of Saltwater Intrusion Risk at Mexilhoeira Grande – Portimão Aquifer (Portugal) by Indicator Geostatistics. *Proc. of First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers – Monitoring, Modelling, and Management*, ed. CDROM, 11 p., Essaouira, Marrocos.
- Sandstrom, 1995, Modelling the effects of rainfall variability on groundwater recharge in semi-arid – Tanzania, *Nordic Hydrology*, 26(4-5): 313-330.
- Schmidt, J., 2000, Soil Erosion. Application of Physically Based Models, Springer.
- Sen, P.K., 1968, Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's tau, *J. Am. Statist. Assoc.*, pp. 1379-1389.
- Serra, E., 2002, Vulnerabilidade e Risco de Poluição Agrícola no Sistema Aquífero dos Gabros de Beja (Sector da Margem Esquerda do Rio Guadiana). Trabalho final de curso da Licenciatura em Engenharia do Ambiente, IST, Lisboa.
- Serra, E., E. Paralta, L. Ribeiro e J. Nascimento, 2003, Análise Comparativa de Dois Índices de Poluição Agrícola no Sistema Aquífero dos Gabros de Beja (Sector da Margem Esquerda do Rio Guadiana). In *As Águas Subterrâneas no Sul da Península Ibérica*, eds. Ribeiro L. e F. Peixinho de Cristo, APRH publ., Lisboa (*in press*).
- SIAM, Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project, 2002, F.D. Santos, K. Forbes and R. Moita (eds.), Gradiva, Lisboa (www.siam.fc.ul.pt).
- Stigter, T., A. Carvalho Dill e L. Ribeiro, 2004, Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinisation and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal, submitted to *Journal of Hydrogeology*.
- Stigter, T., J. Vieira, e L. Nunes, 2002, Avaliação da Susceptibilidade à Contaminação das Águas Subterrâneas no Apoio à tomada de decisão. Caso de Estudo: Implantação de Campos de Golfe no Concelho de Albufeira (Algarve). *Actas do 6.º Congresso da Água «A Água é d'Ouro»*, ed. CDROM, 12 p., APRH, Porto.

- Theil, H., 1959, A Rank-Invariant method of Linear and Polynomial Regression Regression analysis, 1, 2, 3, Ned. Akad. Wetensch Proc. 1953, pp. 386-392, 521-525 e 1397-1412.
- Vaccaro, J. J., 1992, Sensitivity of groundwater recharge estimates to climate variability and change. Columbia Plateau, Washington, *J. Geophys. Res.* 97, D3, 2821-2833.
- Vrba, J. e A. Zaporozec. (eds.), 1994, Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH International Contributions to Hydrogeology, 16.
- Wang, M. e C. Zheng, 1998, Ground water management optimization using genetic algorithms and simulated annealing: Formulation and comparison. *Journal of the American Water Resources Association* 34(3), 519-530.
- Wilkinson e Cooper, 1992, The response of idealized aquifer/river systems to climate change, *Hydrological Science* 38, 379-390.
- Younger, P. L., G. Teutsch, E. Custodio, T. Elliot, M. Manzano e M. Sauter, 2002, Assessments of the Sensivity to Climate Change of Flow and Natural Water Quality in Four Major Carbonate Aquifers of Europe», *In Sustainable Groundwater Development*, Geological Society, Special Publications, 193, London.
- Zoppou, C. e M. Reed, 2001, Water distribution network design optimization: Simulated annealing approach - Discussion. *Journal of Water Resources Planning and Management* .ASCE 127(1), 69-70.

4

Zonas Costeiras

César Andrade (Coordenador)

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Centro de Geologia da Universidade de Lisboa

Henrique Oliveira Pires

Instituto de Meteorologia

Pedro Silva

SIAM

Instituto de Meteorologia

Rui Taborda

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Laboratório de Tectonofísica e Tectónica Experimental

Maria da Conceição Freitas

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Centro de Geologia da Universidade de Lisboa

ÍNDICE

SUMÁRIO EXECUTIVO	171
EXECUTIVE SUMMARY	172
4. ZONAS COSTEIRAS	173
4.1 INTRODUÇÃO	173
4.1.1 Características Gerais	173
4.1.2 Consequências das Alterações Climáticas e Impactos na Zona Costeira	171
4.1.3 Metodologia	175
4.1.4 Caracterização Geomorfológica e Atributos	177
4.1.5 Vulnerabilidade	180
4.1.6 Risco	180
4.2 SOBRELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR	181
4.2.1 Introdução	181
4.2.2 Equações Fundamentais da Sobrelevação	183
4.2.2.1 Equilíbrio Hidrostático	183
4.2.2.2 Vento Soprando no Sentido da Linha de Costa	184
4.2.2.3 Vento Soprando Paralelo à Linha de Costa	184
4.2.3 Sobrelevação Provocada pelas Ondas	184
4.2.4 Cálculo da Sobrelevação a Partir de Dados de Marégrafos	184
4.2.4.1 Dados de Marégrafos Utilizados	185
4.2.4.2 Cálculo da Maré Astronómica	185
4.2.4.3 Análise Estatística	186
4.2.4.4 Análise Estatística da Sobrelevação	188
4.2.4.5 Análise Estatística do Nível Máximo do Mar	189
4.2.4.6 Análise de Tendências	190
4.2.4.7 Conclusões da Análise Estatística dos Dados de Marégrafos	190
4.2.5 Avaliação da Sobrelevação com Base em Dados Meteorológicos	191
4.2.5.1 Fundamento	191
4.2.5.2 Avaliação dos Resultados	193
4.3 ALTERAÇÕES NO CLIMA DE ONDAS	193
4.3.1 Introdução	193
4.3.2 Metodologia	194
4.3.2.1 O Modelo de Ondas MAR3G	194
4.3.2.2 Campos de Vento do Modelo Climático Global HadCM3	194
4.3.2.3 Resultados do Modelo MAR3G Forçado pelos Campos de Vento do HadCM3. Necessidade de Calibração	195
4.3.3 Comparação entre o Clima de Ondas no Período de Referência (1961-1990) e o Clima de Ondas Futuro (2070-2099)	195
4.3.4 Impactos	199
4.3.4.1 Altura Significativa Média das Ondas	199
4.3.4.2 Situações de Temporal	199
4.3.4.3 Alterações na Direcção Média das Ondas e seus Impactos no Litoral	200
4.3.4.4 Impactos das Alterações do Clima das Ondas no Troço Costeiro Espinho-Cabo Mondego	200
4.4 ADAPTAÇÃO	203
4.5 CONCLUSÕES	205
4.6 REFERÊNCIAS	207

SUMÁRIO EXECUTIVO

Na primeira fase do Projecto SIAM foi efectuado um estudo pioneiro de cartografia e quantificação da perigosidade e risco resultantes dos impactos das alterações climáticas na linha de costa de Portugal Continental. Neste trabalho, que constitui uma primeira avaliação integrada, à escala nacional, identificaram-se duas lacunas de conhecimento que se tornaram objectivos principais da segunda fase do Projecto SIAM: 1) a evolução do regime de agitação e da sobrelevação do nível do mar até ao fim do século XXI e respectivo impacto no litoral; 2) estudar a resposta da faixa costeira à elevação do nível médio do mar a uma escala espacial com maior resolução; para tal, seleccionou-se o estuário do Sado como caso de estudo. Neste capítulo é abordado o primeiro objectivo, sendo os resultados do segundo apresentados no capítulo 10.

Sobrelevação do Nível do Mar

Os resultados obtidos neste estudo coincidem em larga medida com os previamente publicados: a ocorrência de sobrelevações da ordem de 1 m, é possível na costa portuguesa, associada à passagem de depressões extensas e muito cavadas, mas estes valores surgem também como extremos, específicos de locais particulares no litoral NW (Viana do Castelo e Leixões) e em consequência de amplificação associada à morfologia local. Noutros troços costeiros, virados a ocidente (Cascais) e sul (Lagos) a sobrelevação observada em condições semelhantes não excede 0.6 m; o período de retorno de uma sobrelevação de 0,7 m em ambos os locais estudados do litoral NW é da ordem de 5 anos, crescendo para intervalos de ordem secular em Cascais e Lagos. A probabilidade de ocorrência conjunta de níveis de sobrelevação elevados e preia-mar de águas vivas é inferior à que caracteriza a ocorrência de uma sobrelevação extensa em qualquer outra condição de maré e este resultado reduz o risco associado à sobrelevação. A análise de todas as séries temporais revelou-se inconclusiva no que respeita à identificação de tendências de longo prazo na variação da intensidade ou frequência de sobrelevação, cuja importância depende da localização, na costa.

Clima de Agitação Marítima

Neste trabalho apresentam-se os resultados de uma projecção em finais do século XXI das modificações do regime de agitação ao largo do litoral de Portugal Continental, por comparação de uma situação de referência com outra, futura, construídas a partir de um cenário climático do IPCC.

Os resultados sugerem que o regime de temporais ao largo do litoral de Portugal Continental pode aumentar até ao final do século XXI; este aumento surge associado à sazonalidade e aos eventos extremos. O resultado mais interessante consiste na projecção de uma rotação dextrógira de 5-15° do vector resultante que descreve a densidade média anual de potência das ondas. Estudaram-se os impactos desta reorientação na faixa costeira Espinho-cabo Mondego, uma região bem conhecida do ponto de vista funcional, que apresenta elevada sensibilidade e risco face a modificação do potencial de forçamento oceânico.

Apurou-se que os efeitos de interacção da agitação incidente com o fundo atenuam significativamente o desvio direccionado ao largo e que esta atenuação se processa de forma não linear. No estado actual dos conhecimentos, esta modificação poderá originar um agravamento de 15 a 25% no ritmo da erosão costeira naquele troço em finais do século XXI.

Adaptação

A adaptação inclui medidas de efeito imediato tais como o melhoramento da eficiência das operações de limpeza regular de linhas de água, valas e outros dispositivos de drenagem de águas superficiais e o reforço da eficácia dos instrumentos legais que interditam a ocupação de áreas susceptíveis à inundação, como os leitos de cheia. A médio prazo, é necessário investimento na educação e esclarecimento da sociedade civil e aumentar a capacidade de modelar e cartografar o potencial de inundação da faixa costeira à escala nacional considerando diferentes probabilidades de ocorrência; para tal, é essencial multiplicar as estações maregráficas e dispor de levantamentos topo-hidrográficos de alta resolução da faixa litoral e de informação actualizada sobre a sua ocupação. Deste modo, será relativamente fácil conceber sistemas de alerta sediados na Protecção Civil e fundamentados na previsão meteorológica de curto prazo.

No que respeita às modificações futuras no regime de agitação marítima e impactos sobre o litoral, não é possível propor medidas de adaptação de âmbito nacional devido à importância dos efeitos de sítio. As medidas de adaptação à erosão costeira têm principalmente sido adoptadas em contexto de emergência, e não, como seria desejável e necessário, no âmbito de planeamento apoiado em estudos integrados, multidisciplinares, que devem incluir o leque de possíveis estratégias específicas de adaptação, com indicação das relações custo-benefício.

EXECUTIVE SUMMARY

In the scope of the first phase of SIAM Project, a pioneer approach to map and quantify hazard and risk resulting from impacts of climate change upon the coast of mainland Portugal has been released; this work was the first integrated assessment of climate-driven impacts and adaptation measures at a country-scale and could not be fully comprehensive. Two research gaps have been identified, which were elected as primary objectives of the present work: 1) the need to improve our ability to prospective impacts of future changes in storminess and storm surge upon the Portuguese mainland coast; 2) the need to consider case-studies, in order to improve the quality, objectivity and quantification of impacts and adaptation measures, namely in what concerns flooding of wetlands. This chapter focuses on the first group of objectives and the second group has been integrated as part of the approach to the case study of the Sado estuary.

Storm surge

Conclusions of this study agree to a large extent with previously published data. Storm surge reaching 1 m along the Portuguese coast is possible, in association with the approach of extensive and deep low-pressure systems, but these extremes come out as specific of particular locations of the NW coast (Viana do Castelo and Leixões), reflecting local amplification by morphological constraints; other coastal sections in both the West (Cascais) and south facing coasts (Lagos) fail to exceed 0.6 m in surge elevation with similar forcing conditions. A maximum surge of 0.7 m is expectable on average every 5 years in both studied locations of the NW coast while return periods exceeding one century are required to produce similar elevations elsewhere. The probability of occurrence of high surge levels in high water spring condition is smaller than the probability of an extreme high surge to occur in any other tidal condition and this decreases the risk of damage. The numerical analyses of all series failed to identify any long-term trend in surge frequency or intensity.

Wave climate

Research on this topic assessed changes in the wave regime affecting the western Portuguese coast by means of comparing a present-day reference wave-climate with a future projection, according to one IPCC scenario.

Results suggest that storminess along the Portuguese margin may increase by the end of the 21st century; this increase comes out as markedly seasonal, associating with extreme events. The most relevant impacts result from the probable clockwise rotation (5-15°) of the resultant vector describing the yearly wave power density.

These impacts have been simulated in terms of modulation of littoral drift and erosion in the NW linear coastal section of Espinho-Cabo Mondego. Results indicate that the effects of bottom interaction with incoming waves travelling shoreward in shallower water will attenuate at breaking the directional shift observed offshore and that this attenuation is strongly non linear. At the present level of knowledge an increase of 15 to 25% in the present day erosion rates is expectable by the end of the 21st century.

Adaptation

Adaptation includes procedures of immediate effect, such as improving the routine cleaning of streams and drainage facilities and reinforcement of the effectiveness of legal instruments forbidding the occupation of vulnerable areas, such as floodplains; as mediate action, there is a need to invest in the education of the civil society and to improve our ability to model the potential of runup and inland penetration of surge associated with different probabilities of occurrence along the whole Portuguese coast; this must be done using high-resolution morphologic surveys, updated information on coastal occupation in combination with more numerous permanent tidal stations. The implementation of an early warning system will become a simpler task, by coupling short term meteorological forecast with alerts released to Civil Protection.

In what respects the prospective changes in wave climate and impacts upon the coast it is unwise to design strategies of adaptation of national scope given the importance of site effects. Adaptation to the problem of coastal erosion has usually been dealt with in an emergency context and there is an enormous lack of systematic and inclusive, multidisciplinary studies, evaluating the possible adaptation strategies, which should include cost-benefit assessment.

4. Zonas Costeiras

César Andrade (Coordenador), Henrique Oliveira Pires, Pedro Silva, Rui Taborda, Maria da Conceição Freitas

4.1 INTRODUÇÃO

As alterações climáticas afectam sectores importantes da nossa sociedade e existem já elementos objectivos que demonstram relações de causa-efeito entre estas modificações (com especial relevância para a variação da temperatura) e perturbações nos sistemas biofísicos em diversos locais do Globo (IPCC, 2001; Santos *et al.*, 2002). Também em Portugal se esperam impactos significativos decorrentes das alterações climáticas, facto reconhecido a nível governamental no Plano Nacional para as Alterações Climáticas e em documentos produzidos pelo Conselho Nacional para o Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (CNADS, 2001). Contudo, a percepção dos impactos decorrentes e em particular dos efeitos sobre a costa, contrastam claramente com a escassez de investigação multidisciplinar objectiva sobre estes temas. De facto, para além dos resultados produzidos pelo Projecto SIAM (Santos *et al.*, 2002) e da síntese de Ferreira *et al.* (em publicação) a literatura contém apenas contribuições pontuais sobre os mecanismos forçadores e impactos das alterações climáticas sobre o sistema litoral de Portugal Continental.

4.1.1 Características Gerais

A zona costeira de Portugal Continental estende-se por cerca de 950 km e alberga cerca de 3/4 da população, os principais centros de decisão política, pólos comerciais e industriais e oportunidades de emprego, o que lhe confere uma elevada importância a nível nacional, documentada pela sua contribuição para o PIB, estimada em 85 %. A densidade populacional é no litoral de 215 hab/km² em comparação com a média nacional de 125 hab/km². Actualmente, cerca de 1/3 do litoral de Portugal Continental encontra-se definitivamente ocupado por edifícios urbanos e estruturas industriais e portuárias, embora a densidade e padrão de ocupação variem de local para local. A tendência migratória para o litoral persiste e, com ela, aumenta a actividade económica (com relevância para o sector do turismo), gerando-se, frequentemente, conflito com os valores ambientais. Em consequência, tem sido criada legislação específica de regulação e protecção, que no entanto, está longe de alcançar o grau de integração e de eficácia necessários.

O litoral desenvolve-se numa grande diversidade de litologias (cf. Ribeiro *et al.*, 1979; SGP, 1992) agrupadas em cinco unidades tectonoestratigráficas (terrenos) fundamentais e em larga medida adapta-se aos principais controlos estruturais do Oeste peninsular (Figura 4.1). Exibe igualmente diversidade morfológica notável, incluindo praias arenosas marginadas por dunas ou arribas, troços rochosos limitados por vertentes ou arribas, plataformas de abrasão, praias encaixadas, promontórios e baías, tômbolos, restingas e ilhas-barreira, limitando lagunas e estuários a que se associa a maior parte das zonas húmidas.

Trata-se de um litoral com marés semidiurnas, de amplitude elevada (média de águas vivas de 2,8-2,9 m – litoral mesotidal elevado) em que as correntes associadas adquirem importância nas vizinhanças das barras de maré de lagunas e estuários. O regime de agitação na fachada virada a oeste é de alta energia com dominância de ondulação, e os níveis energéticos decrescem com a latitude. A altura significativa (H_s) e período de pico de potência (T_{pot}) das ondas ao largo são, em média anual, de 2-2,5 m e 9-11 s, respectivamente, e encontram-se associados a rumos rodados para norte do Oeste (Pires e Pessanha, 1986). Em consequência, esta fachada é uma das mais activas e mais susceptíveis da Europa, com valores excepcionalmente elevados de deriva litoral. Efectivamente, o resíduo anual é 1-2 milhões m³/ano dirigido para sul em troços lineares de orientação meridiana a NNE-SSW; este número pode cair uma ou mais ordens de grandeza, anular-se (ou mesmo inverter-se o sentido do transporte residual) em troços lineares ligeiramente rodados a leste, em baías de equilíbrio e secções abrigadas dos rumos de NW. A costa algarvia virada a sul encontra-se abrigada da agitação proveniente dos quadrantes de Norte e Noroeste, daí resultando um regime de agitação de baixa energia. As situações de calma ocorrem cerca de 30 % do ano e as médias anuais de H_s e T_{pot} são de 0,9 m e 6-11 s, respectivamente, com influência marcada da vaga de geração local. A deriva litoral é, regra geral, para leste em resíduo anual, tipicamente da ordem de 10³ a 10⁴ m³/ano, alcançando 10⁴ m³/ano nas ilhas-barreira que se estendem para leste do cabo de Santa Maria; existem, porém, numerosas excepções, em que há dominância das trocas sedimentares transversais, de que são exemplos baías do barlavento e troços lineares com orientação NW-SE.

4.1.2 Consequências das Alterações Climáticas e Impactos na Zona Costeira

As alterações climáticas que se produzirão até ao final do século XXI terão como principais consequências sobre o litoral a modificação do regime de agitação marítima e a elevação do nível médio do mar. No que respeita à agitação marítima e à sobrelevação de temporal os elementos obtidos no âmbito da primeira fase do Projecto SIAM foram insuficientes para caracterizar convenientemente as modificações esperadas destes parâmetros, pelo que os impactos indicados para o litoral português – inundações mais frequentes e intensificação da erosão decorrentes do aumento da frequência, duração e intensidade de eventos extremos (temporais) – se revestem de carácter genérico e fundamentam-se em parte em resultados obtidos para outros litorais da Europa, localizados a latitudes mais elevadas. A importância de melhorar a nossa capacidade de quantificação destes factores forçadores e de construir cenários futuros que caracterizem especificamente o nosso litoral é inquestionável e justifica que estes temas tenham sido objecto de abordagem particular nesta fase do projecto.

No que respeita ao nível médio do mar, a informação compilada mostra que este subiu cerca de 15 cm durante o século XX (1,5 mm/ano, em média) no litoral de Portugal Continental (Dias e Taborda, 1992), depois de 2000 anos em que a sua taxa de elevação anual foi uma ordem de grandeza inferior. Aquela variação resultou principalmente da expansão térmica do oceano originada pelo aquecimento global de origem antropogénica. Para o horizonte temporal de 2100, adoptou-se um valor de subida do nível médio do mar de aproximadamente 1 m, semelhante ao máximo proposto pelo IPCC (2001) no cenário mais pessimista; no estado actual do conhecimento, não se conhece com rigor o comportamento da faixa costeira portuguesa em termos de deformação e de deslocamento vertical absoluto, pelo que se tomou aquela projecção como elevação relativa, de acordo com o princípio da máxima precaução. A taxa de elevação não será constante ao longo do tempo, agravando-se a partir de 2040.

Os impactos mais relevantes que previsivelmente ocorrerão na faixa costeira resultantes da subida do nível médio do mar são: a) intensificação do processo erosivo; b) aumento das cotas de inundações e, consequentemente, das áreas inundadas, acompanhado do reajuste dos ecossistemas ribeirinhos; c) aumento da influência marinha em bacias de maré costeiras (estuários e lagunas) acompanhado por modificação do regime de marés e, eventualmente, do balanço sedimentar. Estes impactos afectarão diferentes pontos do litoral, bem como as actividades e valores ambientais, económicos e sociais que lhes estão associados, de forma distinta e com

intensidade variável, de acordo com as características de natureza física e socioeconómica específicas de cada local.

Não se prevêem, *a priori*, aumentos da alimentação sedimentar da faixa costeira a partir de fontes exteriores (nomeadamente as associadas à rede hidrográfica), apesar dos resultados projectados pelos modelos de simulação climática para a evolução futura da precipitação e do escoamento superficial no nosso país. Consequentemente, os agentes modeladores actuarão sobre um litoral que já revela na sua generalidade sintomas de depauperação sedimentar e se encontra vulnerável em troços de dimensão significativa. Por outro lado, não se prevê uma diminuição do esforço de extracção de areias necessárias à indústria da construção civil, que interfere directa ou indirectamente com o sistema litoral. O esgotamento das fontes sedimentares externas e a forte deriva litoral são as principais razões justificativas da expansão do processo erosivo que já afecta mais de 1/4 da orla costeira nacional. A erosão tem afectado extensões consideráveis do litoral continental, indiferenciadamente em troços com elevados e baixos níveis de ocupação, com conteúdos morfológicos distintos (de praias a arribas), sendo frequentemente reportadas taxas de recuo da ordem de 1 m/ano. Em consequência, assistiu-se desde o princípio do século XX à multiplicação de obras de protecção, rígidas na sua maioria, frequentemente construídas em situação de emergência – presentemente cerca de 15% do litoral oceânico encontra-se intervencionado («endurecido»). A aplicação de modelos empíricos (*Regra de Bruun* – Bruun, 1962; Bruun, 1988) de relação entre a elevação do nível médio e a erosão costeira aos dois segmentos de litoral arenoso mais expressivos (Espinheiro-cabo Mondego e sotavento algarvio) sugere, contudo, que o ritmo transgressivo (avanço do mar sobre a orla costeira) que caracterizou o século XX justifica apenas cerca de 15 % da erosão ali verificada. É muito provável que o ritmo transgressivo aumente no século XXI, conduzindo, ainda de acordo com a *Regra de Bruun*, a um incremento da erosão, necessária para manter invariante as dimensões e a configuração de equilíbrio da cunha litoral.

Num litoral com amplitude de maré elevada e em regime transgressivo, a influência da inundações em zonas húmidas é função do balanço entre a taxa de elevação do nível médio do mar e a taxa de acumulação sedimentar. Se a primeira condicionante pode, em primeira análise, considerar-se uniforme à escala nacional, já a segunda é muito variável no tempo e no espaço. No entanto, os elementos compilados no âmbito deste projecto nos principais sistemas lagunares e estuarinos sugerem que as taxas de sedimentação que caracterizaram aqueles ambientes no século XX foram, em média, suficientes para compensar a taxa de subida do nível médio do mar, conduzindo frequentemente a efeitos regressivos (recuo do mar da orla costeira) apesar do sinal eustático posi-

tivo (aumento do volume das águas oceânicas). O padrão de reacção das zonas húmidas às alterações climáticas futuras permanecerá, em larga medida, específico de cada local, o que dificulta a construção de modelos quantitativos de previsão de impactos e a concepção de estratégias de adaptação à escala nacional. A esta dificuldade acresce a inexistência de dados de base cruciais (*e.g.* topo-hidrografia de pormenor, monitorização de parâmetros físico-químicos) que permitam caracterizar e compreender o funcionamento dos sistemas a mesoscala temporal. Contudo, é possível que o efeito de retenção sedimentar se intensifique no futuro, acrescentando dificuldades à navegação e aumentando as necessidades de dragagem; também, a manter-se invariante o padrão actual de uso do solo nas margens destas áreas, é possível que os ecossistemas intertidais sejam negativamente afectados e que uma fracção indeterminada de zonas húmidas actuais se perca.

4.1.3 Metodologia

Dado o estado actual dos conhecimentos, optou-se na primeira fase do Projecto SIAM por efectuar uma avaliação da vulnerabilidade e risco do litoral aos impactos das alterações climáticas futuras à escala nacional, com expressão final cartográfica e utilizando diversas metodologias.

A informação de base foi compilada e tratada de acordo com a técnica de AVVA (Aerial Videotape-Assisted Vulnerability Analysis) proposta por Leatherman *et al.* (1995). Este método combina a informação de um registo vídeo da faixa costeira obtido a partir de uma aeronave, com a pesquisa documental (*e.g.* cartografia, fotografia aérea vertical, relatórios técnicos, publicações científicas) e com validação de terreno; os dados assim obtidos (*e.g.* geologia e geomorfologia, uso do solo, tipologia e densidade de ocupação e protecção costeira), são analisados e processados. O filme utilizado foi efectuado em 1998 e cedido pelo INAG (Instituto da Água); cobre com perspectiva obliqua 976 km de costa, incluindo algum litoral estuarino e lagunar.

Estas imagens fundamentaram a divisão da costa em 8 sectores (Figura 4.1) de acordo com a morfodinâmica prevalente e em 896 células com 1,1 km de frente marítima. Em 67 destas células a captura de imagem não foi

efectuada, tendo aquelas sido caracterizadas recorrendo a documentação alternativa. Fundamentou-se ainda a caracterização de cada célula no que respeita a atributos naturais e socioeconómicos, segundo adaptação do sistema proposto por Leatherman *et al.* (1995) – Tabela 4.1. Esta caracterização foi completada e complementada pela análise de cartas topográficas (publicadas pelo Instituto Geográfico do Exército), cartas geológicas (publicadas pelo Instituto Geológico e Mineiro), fotografia aérea vertical estereoscópica (1986-1988), Cartas de Risco (Monteiro & Lebreiro, 1991; INAG & CEHIDRO, 1999) e Atlas CORINE-Erosão Costeira (EC, 1998). Deste último extraiu-se informação sobre estabilidade do litoral, atributo que foi agrupado em três classes:

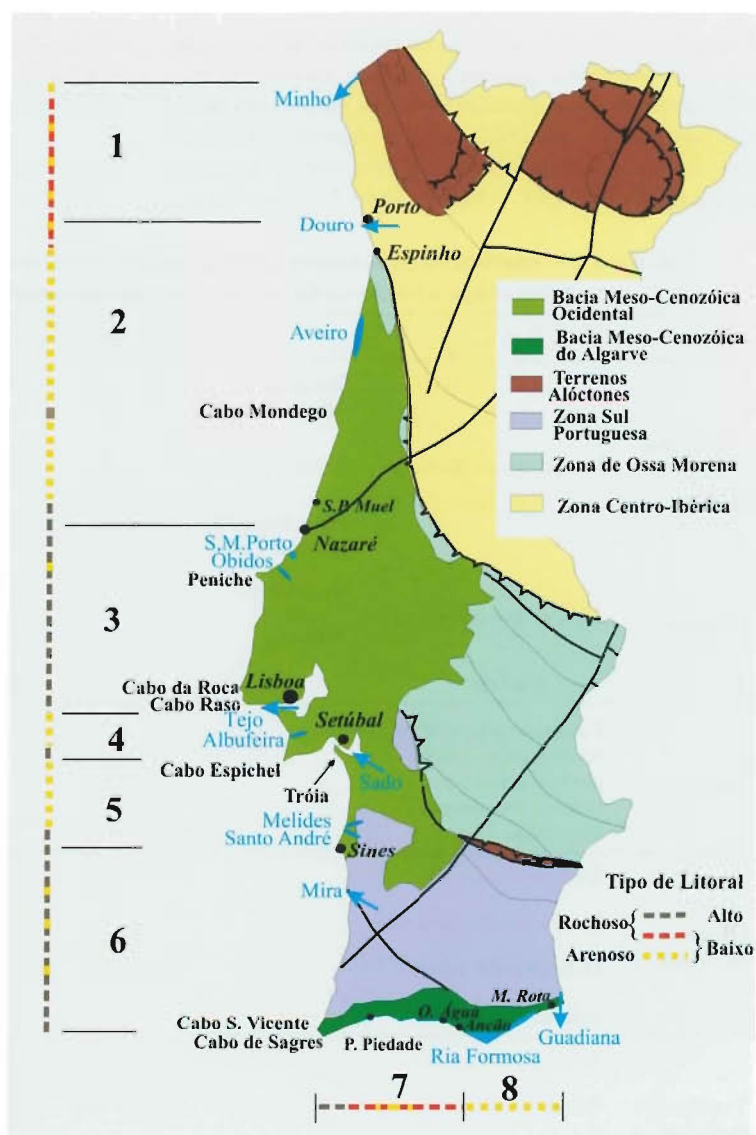


Figura 4.1 – Principais sectores costeiros (1 a 8), tipo de litoral e principais terrenos tectonoestratigráficos (estes últimos adaptados de SGP, 1992) de Portugal Continental

Tabela 4.1 – Sistema de classificação: parâmetros naturais e socioeconómicos

Naturais	Geomorfologia litoral	Praias, Zonas Húmidas, Arribas (sem praia), «Endurecido» (defendido)
	Geomorfologia da margem terrestre	Planície, Colinas, Montanhas, Zonas Húmidas
	Tendência evolutiva	Estável/Acreção ou estabilizado artificialmente, Tendência para erosão, Erosão confirmada
Socioeconómicos	Protecção costeira (se presente)	Revestimento, Paredão, Esporões, Molhes, Defesas portuárias
	Uso do solo	Urbano, Residencial/Turismo, Indústria, Agricultura, Coberto arbustivo, Bosque/Floresta, Solo nu
	Densidade populacional	Elevada (>10 habitantes km ⁻²), Baixa (<10 habitantes km ⁻²)
	Desenvolvimento costeiro	Elevado, Baixo

a) litoral estável/em acreção ou estabilizado por obras de defesa (revestimentos, paredões, esporões, molhes); b) tendência para erosão; c) erosão confirmada. Os parâmetros de caracterização de cada célula foram processados utilizando uma técnica de hierarquização e cruzamento de variáveis designada por SMART – Simple Multi-Attribute Rating

Technique (adaptada de Goodwin & Wright, 1991) para estimar a distribuição da vulnerabilidade e risco de perda de superfície face a inundação e erosão.

Aqueles parâmetros foram reorganizados em quatro atributos considerados relevantes para avaliação da vulnerabilidade da

Tabela 4.2 – Atributos utilizados na avaliação da vulnerabilidade e pontuação atribuída ao desempenho de cada atributo relativamente ao forçamento da costa

Atributos	1.ª Ordem	Pontuação	2.ª Ordem	Pontuação	
Conteúdos Litorais	Barreira (ilha, restinga)	5	Dunas baixas (frágeis), corredores de galgamento ou eólicos	6	
	Litoral baixo, arenoso	Praia encaixada	4	Dunas altas (robustas), campo dunar extenso	5
Naturais	Litoral de arriba	Praia exposta, planície litoral	4	Arriba em suporte resistente	2
		Resistente	2	Arriba em suporte friável	3
		Friável	3	Planície costeira, relevos esbatidos	4
	Zona húmida	5	Zona húmida	6	
Artificiais	Litoral «endurecido», estabilizado (defesas portuárias, frentes urbana, residencial, industrial)		Litoral «endurecido», artificializado	1	
			Relevo acentuado, montanhoso	1	
Obras de defesa	Molhes, esporões		3		
	Revestimento, paredão		2		
	Defesas portuárias		1		
	Sem protecção		4		
Tendência evolutiva	Erosão confirmada		3		
	Tendência erosiva		2		
	Acreção, estável, estabilizado		1		

linha de costa: conteúdos litorais (de 1.ª e 2.ª ordem), protecção e tendência evolutiva (Tabela 4.2). Cada célula costeira é, assim, caracterizada por quatro variáveis de natureza qualitativa, às quais é atribuída uma pontuação, crescente com o aumento da vulnerabilidade (Tabela 4.2).

Os atributos de 1.ª ordem descrevem os conteúdos da faixa mais externa de cada célula, na sua interface com o oceano, com relevância para os de carácter geomorfológico. Nos casos em que ocorrem obras de defesa nesta interface, a pontuação correspondente a este atributo predomina, independentemente do seu conteúdo natural. Nas células em que se detectaram combinações de diferentes tipos de defesa, a pontuação foi ajustada para 1,6 ou 1, consoante a existência de dois ou mais de dois tipos de protecção, respectivamente. Os atributos de 2.ª ordem referem-se à faixa imediatamente adjacente para o lado de terra.

As séries correspondentes aos valores numéricos de cada variável foram padronizadas e agregadas com um critério aditivo, produzindo-se assim um índice de vulnerabilidade, com valor relativo, característico de cada célula costeira. A avaliação do risco, inerente à perda de superfície resultante de forçamento erosivo ou de inundação, foi efectuada com metodologia semelhante, mas através da agregação aditiva da vulnerabilidade com um índice analógico da valorização («valor de ocupação»); este índice resultou, por sua vez, da agregação multiplicativa da pontuação associada às variáveis descritoras da densidade populacional e de desenvolvimento da faixa costeira (Tabela 4.3).

Uma vez obtida a série dos valores padronizados que descrevem a distribuição do risco ao longo do litoral, classificou-se este parâmetro em cinco categorias com os critérios e resultados sumariados na Tabela 4.4 e na Figura 4.2. Os resultados assim obtidos são específicos da região estudada (Portugal Continental) e representam desvios da média nacional.

Tabela 4.4 – Classificação de risco

Classe	Intervalos	Valores padronizados	Pontuação
Muito baixo	$X_i \leq X_m - 1,6\sigma$	$]-\infty, -4,05]$	1
Baixo	$X_m - 1,6\sigma < X_i$ $X_m - 0,5\sigma \geq X_i$	$] -4,05, -1,28]$	2
Médio	$X_m - 0,5\sigma < X_i$ $X_m + 0,5\sigma \geq X_i$	$] -1,28, 1,26]$	3
Elevado	$X_m + 0,5\sigma < X_i$ $X_m + 1,6\sigma \geq X_i$	$] 1,26, 4,04]$	4
Muito elevado	$X_i \geq X_m + 1,6\sigma$	$] 4,04, \infty]$	5

X_m é o valor médio nacional; X_i é o valor em cada célula; σ é o desvio-padrão

Tabela 4.3 – Atributos utilizados na construção de um índice de valorização socioeconómica do litoral e desempenho de cada atributo relativamente ao forçamento da costa

Atributo	Pontuação	
Densidade populacional	Elevada	2
	Baixa	1
Desenvolvimento	Elevado	2
	Baixo	1

4.1.4 Caracterização Geomorfológica e Atributos

Os resultados obtidos permitiram caracterizar os oito sectores considerados ao longo da costa portuguesa:

1 – Entre os estuários dos rios Minho e Douro, o litoral desenvolve-se ao longo de 80 km com orientação preferencial NNW-SSE, em rochas do soco cristalino e termos metamórficos do Paleozóico inferior. Trata-se de uma margem rochosa em arriba baixa, muito recortada com escolhos e leixões frequentes e pontuada por pequenas praias encaixadas; constituem excepção os sistemas de barreira que limitam a embocadura de estuários (*e.g.* Minho, Âncora, Lima, Clavado, Ave, Douro) onde efeitos locais de inversão da deriva mantêm cabedelos arenosos enraizados a sul.

2 – Entre o estuário do Douro e a Nazaré, o litoral inflecte para NNE-SSW e corresponde principalmente a cerca de 160 km de praias arenosas, reflectivas a intermédias-dissipativas que, para terra, dão lugar a extensos campos de dunas vegetados. Constituem excepção: 1) – os extremos do estuário do Douro a Espinho, a norte, e de S. Pedro de Muel à Nazaré, a sul; o litoral é essencialmente rochoso e cortado por escarpados baixos em soco cristalino, no primeiro caso, e definido por arribas talhadas em substrato carbonatado, no segundo; 2) – a singularidade do cabo Mondego, um promontório limitado por vertentes muito altas definidas em calcários jurássicos, que oferece abrigo ao estuário do rio Mondego e a sul do qual a linha de costa é rejeitada para leste, mantendo contudo o alinhamento regional; 3) – a barra artificial de Aveiro que quebra a continuidade do extenso cordão litoral e permite a comunicação permanente entre o oceano e o maior sistema lagunar do litoral português, a Laguna de Aveiro.

3 – Entre a Nazaré e o estuário do Tejo, o troço costeiro é uma vez mais rochoso, com

arribas altas talhadas em calcários, margas e arenitos da bacia meso-cenozóica ocidental, orientada NE-SW até Peniche, NNE-SSW até ao cabo Raso (110 km) e E-W até à barra do Tejo (15 km). A costa é irregular, com diversos promontórios (entre os quais sobressai o tómbolo de Peniche) e indentações, as quais acomodam pequenas lagunas costeiras (S. Martinho do Porto e Óbidos) ou praias encastradas reflectivas. A fronteira norte prolonga-se para o oceano através do canhão submarino da Nazaré, um vale cuja cabeceira afecta o litoral e se estende até à planície abissal por cerca de 60 km. O troço E-W corresponde, essencialmente, a um litoral rochoso, de arribas baixas talhadas em calcários cretácicos, muito artificializado e ocupado, onde se definem algumas praias depauperadas em sedimento.

4 - Entre os estuários do Tejo e Sado, a linha de costa tem orientação N-S ao longo de 35 km, até ao cabo Espichel e E-W num troço de 30 km, até Setúbal. O primeiro troço é uma baía de grande raio de curvatura e inclui uma secção meridional (1/3) escarpada contendo algumas praias encastradas, e uma secção setentrional (2/3) formada por uma planície costeira, baixa e arenosa, com largura crescente para norte; esta planície confina com o Atlântico por meio de praias e dunas activas e a nascente com imponente arriba fósil, até à Fonte da Telha; para sul, esta arriba é reactivada e apresenta-se recoberta por mantos cólicos vegetados. A praia de areia é apenas interrompida pela barra de maré da lagoa de Albufeira sempre que aquela estiver activa. O segundo troço consiste, essencialmente, em arribas mergulhantes muito altas que limitam pelo sul o maciço carbonatado da Arrábida, pontuadas por pequenas praias encaixadas.

5 - Entre o estuário do Sado e o cabo de Sines, o litoral apresenta grandes semelhanças com o sector anterior, nomeadamente na forma, conteúdos geomorfológicos e limites: a fronteira norte é um estuário importante (Sado); a linha de costa é rejeitada para leste relativamente ao cabo Espichel e desenvolve-se para sul com uma forma arqueada; o extremo sul corresponde ao promontório de Sines; no troço sul predominam escarpas e a norte formas baixas e arenosas. Neste sector encontra-se uma praia arenosa e reflectiva, continua ao longo de 6+ km encostada a arribas ou dunas; para norte do Carvalhal, a praia afasta-se da margem terrestre para formar a restinga de Tróia, que abriga o estuário do Sado; para sul do Carvalhal, a praia é marginada por arribas cortadas em areias plioplístocénicas, fortemente abarrancadas, ou por sistemas de cordões detríticos, mais ou menos complexos, que correspondem às barreiras das lagunas de Melides, Santo André e Sancha e de alguns cursos de água de menor dimensão.

6 - Entre Sines e o cabo de S. Vicente, o litoral desenvolve-se em turbiditos paleozóicos da Zona Sul Portuguesa que

dão lugar, no extremo sul, a calcários e dolomitos espessos e muito resistentes, de idade jurássica, pertencentes à bacia meso-cenozóica algarvia. Os turbiditos estão intensamente dobrados e fracturados, definindo segmentos de arribas lineares controladas estruturalmente, activas, de altura variável, orientadas NNE-SSW ao longo de 120 km. O sopé destas arribas é habitualmente marginado por plataformas de abrasão e os alcantilados são interrompidos pelos estuários do rio Mira e ribeiras de Odeixe e Aljezur. As embocaduras estuarinas e algumas indentações mais profundas nas arribas permitiram a acumulação de praias de cascalho ou areia. Neste sector encontram-se campos de dunas pujantes e activos, embora localizados e semivegetados, nomeadamente na região de S. Torpes e Bordeira-Carrapateira. Os promontórios de S. Vicente e Sagres, protuberantes para SW e marginados por arribas mergulhantes, constituem uma singularidade geomorfológica e separam as fachadas ocidental e sul do litoral do Algarve.

7 - Entre o cabo de S. Vicente e o Ancão a linha de costa tem orientação W-E ao longo de 90 km. É, essencialmente, rochosa, alcantilada e recortada (alternando baías e promontórios), observando-se uma tendência para diminuição das cotas de comando para nascente. Aos calcários jurássicos que afloram na extremidade W correspondem arribas mergulhantes, estáveis, por vezes indentadas por linhas de água instaladas em caixas de falha, que confinam pequenas praias encaixadas. Entre Porto de Mós e a ponta da Piedade, o litoral é ainda, essencialmente, de arribas, mas baixas e lineares, definidas nos sedimentos carbonatados e detríticos do Cretácico; mais para leste afloram calcarenitos miocénicos que definem um novo segmento de arribas baixas, mas aqui extremamente recortado devido à combinação favorável de controlos litológico e estrutural com inundações e exumação pelo mar de um paleocarro; praias encaixadas, leixões, escolhos, arcos são aqui conteúdos geomorfológicos frequentes. O extremo oriental deste sector tem orientação NW-SE e corresponde às arribas lineares de Olhos-de-Água-Ancão, cortadas em areias terciárias, cuja erosão rápida alimenta uma estreita praia reflectiva, deficitária em sedimento. As principais excepções ao carácter rochoso do litoral ocidental do Algarve são as baías de Lagos-Alvor e de Armação de Pêra; estas constituem troços arqueados, em equilíbrio, formados por sistemas de praia-duna que abrigam estuários ou lagunas parcial ou totalmente assoreadas.

8 - Do Ancão ao Guadiana, ocorrem 70 km de litoral linear, baixo e arenoso. O elemento geomorfológico principal é o sistema de ilhas-barreira da Ria Formosa, de contorno plano triangular e alongado para nascente, que envolve a zona húmida mais importante do litoral algarvio. A leste de Cacela este sistema dá lugar a uma planície costeira complexa formada por praias soldadas e dunas, que se estende

desde a Manta Rota até aos sapais e rasos de maré do estuário do Guadiana.

No que respeita a atributos naturais de 1.^a ordem, a interface do Continente com o oceano é, na sua maioria, formada por praias arenosas, que ocupam mais de metade do comprimento da linha de costa nacional (Tabela 4.5); estas formas ocorrem como elementos componentes de restingas, ilhas-barreira e também margeando planícies litorais ou arribas. Todos os sectores considerados contêm praias arenosas, embora a sua distribuição não seja uniforme: as praias formam a totalidade do litoral algarvio para leste dos Olhos-de-Água (sector 8) mas perdem importância entre a Nazaré e o cabo Raso (sector 3) e entre Sines e o cabo de S. Vicente (sector 6). As arribas desprovidas de protecção de sapé ocupam cerca de 1/3 do litoral, concentrando-se nos sectores 3, 4 e 6; uma pequena fracção deste total corresponde a arribas mergulhantes que ocorrem preferencialmente no sector 4, associadas à serra da Arrábida. Não existem zonas húmidas directamente expostas ao oceano no território de Portugal – estes ambientes desenvolvem-se ao abrigo de restingas ou ilhas-barreira em estuários e lagunas. Devido ao alongamento oblíquo à linha de costa apresentado por grande parte das zonas húmidas, estas estendem-se para o interior e, em consequência, surgem mais representadas como atributos de 2.^a ordem e têm expressão significativa nos sectores 2 (Aveiro) e 8 (Ria Formosa).

Cerca de 1/4 do litoral mostra sintomas de instabilidade, expressa por tendência para erosão ou erosão confirmada, independentemente de se tratar de costa baixa ou alcantilada, rochosa ou de areia; esta proporção exclui os troços intervencionados e fixados à data de realização deste trabalho, nos quais o processo erosivo foi inibido por intervenção humana. A categoria de «erosão confirmada» restringe-se, de acordo com as fontes utilizadas (Atlas CORINE – Erosão Costeira-EC, 1998), ao Algarve e este resultado subestima claramente a extensão e gravidade do problema da erosão do litoral, nomeadamente nas fachadas centro e noroeste. Entre nós, a protecção costeira tem recorrido frequentemente a soluções rígidas, com predomínio das defesas do tipo aderente, com o objectivo de controlar a erosão

Tabela 4.5 – Frequências absoluta e relativa dos atributos geomorfológicos de 1.^a e 2.^a ordem e estabilidade no litoral de Portugal

		N. ^o de células	%	km
Atributos de 1. ^a ordem	Praias	540	60,3	589
	Zonas húmidas	4	0,4	4
	Arribas	322	35,9	351
	Litoral «endurecido»	30	3,4	33
	Planície	494	55,1	538
Atributos de 2. ^a ordem	Colinas	217	24,2	236
	Relevo montanhoso	63	7,1	69
	Zonas húmidas	122	13,6	133
	Estável, Acreção ou Estabilizada	682	72,02	743
Tendência evolutiva	Tendência erosiva	208	23,2	226
	Erosão confirmada	6	0,6	6

Tabela 4.6 – Frequências absoluta e relativa de obras de protecção costeira, tipos de uso do solo, densidade populacional e ocupação no litoral de Portugal

		N. ^o de células	%	km
Protecção	Paredão	64	7,0	68
	Molhe aderente	3	0,3	3
	Esporões	14	1,5	15
	Molhes	10	1,1	11
	Portuária	11	1,2	12
	Múltiplas	30	3,3	32
	Sem protecção	764	85,5	8313
Uso do solo	Urbano	100	11,2	109
	Residencial/Turismo	113	12,6	123
	Indústria	18	2,1	20
	Agricultura	74	8,2	80
	Vegetação arbustiva	550	61,3	599
	Não vegetado	24	2,7	26
Densidade Populacional	Floresta/Bosque	18	2,1	20
	Baixa	694	77,4	755
	Elevada	202	22,6	220
Desenvolvimento Costeiro	Baixo	698	77,9	759
	Elevado	198	22,1	216

marginal de áreas muito ocupadas, frequentemente à custa da perda das praias adjacentes. Os molhes são complementos inevitáveis da maioria dos portos nacionais e os esporões têm vindo a aumentar em número, quer como solução de retenção sedimentar, complementando defesas aderentes, quer para controlar erosão localizada. Frequentemente ocorrem combinações de diferentes tipos de protecção costeira («múltiplas» na Tabela 4.6) com relevância nos sectores 2, 4 e 6.

Cerca de 2/3 do litoral foi classificado nas categorias «não vegetado» ou «vegetação arbustiva» em termos de uso do solo, resultado que reflecte: 1) o conceito de elemento de 1.ª ordem, muito restritivo em termos espaciais, e apresentando desenvolvimento altimétrico susceptível de afectação por elevação do nível médio do mar da ordem de 1 m; 2) uma herança de (des)povoamento peculiar, de que é exemplo o sector 6, por razões históricas e geográficas peculiares e; 3) as restrições legais em vigor à ocupação da margem exterior da faixa terrestre, de que é exemplo o Domínio Público Marítimo. Estas razões implicam uma interpretação prudente do resultado anterior que pode transmitir à primeira vista a imagem, falsa, de um litoral em grande medida desocupado e de feição natural. Os edifícios urbanos (primeira e segunda habitação, turismo) ou industriais são a segunda mais importante forma de uso do solo. As unidades de superfície correspondentes ocorrem tipicamente em aglomerados densos, contínuos e bem localizados nos casos de edifícios urbanos e principais estâncias balneares, mas também ocupações dispersas quando se associam à segunda habitação e a empreendimentos turísticos de baixa densidade. As infra-estruturas industriais concentram-se, preferencialmente, em manchas territoriais densas, próximas dos principais centros urbanos ou portos e contribuem com uma pequena fracção para a ocupação da franja litoral à escala nacional. As terras cultivadas predominam sobre a floresta, sendo ambas as categorias relevantes em termos de uso do solo principalmente a norte de Lisboa. No que respeita aos atributos de densidade populacional e desenvolvimento, a classificação de «baixo» predomina em todos os sectores, reflectindo as mesmas condicionantes metodológicas já referidas anteriormente a propósito do uso do solo.

4.1.5 Vulnerabilidade

A Tabela 4.7 resume a contribuição de cada um dos atributos considerados para a construção do índice de vulnerabilidade do litoral. Este índice mostra, à escala nacional, uma distribuição bimodal: os sectores 2, 5 e 8 caracterizam-se

essencialmente por vulnerabilidade elevada, consequência da sua natureza arenosa e esbatimento do relevo, em oposição aos sectores 4 e 6 (e mesmo, parte substancial do sector 3), rochosos e em larga medida alcantilados, nos quais a vulnerabilidade é, regra geral, reduzida. A distribuição da vulnerabilidade associada à variável descritora das obras de protecção é, pelo contrário, unimodal e assimétrica, com prolongamento para valores baixos, a escala nacional e sectorial, encontrando-se a maioria destas intervenções nos sectores 1 e 2. As estruturas de protecção costeira escassam a sul de Lisboa onde ocorrem principalmente associadas aos portos (comerciais ou de pesca) e a algumas estâncias turísticas do Algarve. A contribuição da tendência evolutiva do litoral para o índice de vulnerabilidade é também muito variável no espaço: na franja costeira a sul de Lisboa apenas adquire relevância no sotavento algarvio, onde é idêntica à que caracteriza os sectores 1 e 3.

Tabela 4.7 – Frequência absoluta à escala nacional, das classes de vulnerabilidade associadas às variáveis descritoras de atributos morfológicos, protecção costeira e tendência evolutiva

	Classes de vulnerabilidade	km
Atributos de 1.ª ordem	1 – 2 – 3 – 4 – 5	32 – 341 – 8 – 452 – 144
Atributos de 2.ª ordem	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6	32 – 336 – 10 – 0 – 164 – 432
Protecção costeira	1 – 2 – 3 – 4 – 5	12 – 32 – 71 – 27 – 831
Tendência evolutiva	1 – 2 – 3	743 – 226 – 6

4.1.6 Risco

Os valores de Índice de Risco são extremamente variáveis ao longo do litoral de Portugal Continental, sendo os sectores 4, 5 e 8 os que apresentam comportamento mais uniforme (Figura 4.2). Nos sectores 1, 2 e 3 (a norte de Lisboa) e na metade leste do sector 7 (Portimão-Olhos-de-Água) o risco é maioritariamente médio-elevado, enquanto o sector 8 apresenta a situação mais preocupante, com risco elevado e muito elevado. Em contraste, o litoral a sul de Lisboa e até Portimão apresenta essencialmente risco médio a médio-baixo. Os valores extremos deste índice estão associados a características da linha de costa bem definidas e recorrentes. Valores de risco muito baixo relacionam-se com arribas e promontórios rochosos resistentes e estáveis e estruturas portuárias; valores de risco muito alto coincidem com (1) troços de valor elevado, independentemente do contexto geodinâmico em que se inserem e (2) arribas em erosão acelerada, restingas/barreiras protectoras de zonas húmidas e praias deficitárias de sedimento. Em casos pontuais (e.g. praias da Cortegaça no sector 1 e de Faro no sector 8) a metodologia

utilizada conduz a resultados enganadores; efectivamente, os baixos valores de risco atribuídos a estas zonas resultam apenas da existência de estruturas de defesa costeira, as quais se sabe não serem completamente eficazes.

A metodologia utilizada diagnosticou risco de perda de território em 67 % do comprimento de costa analisada, preferencialmente em associação com substrato rochoso brando ou móvel e baixo (praias, dunas, barreiras, zonas húmidas).

As soluções encontradas para fazer face a situações de erosão costeira têm sido quase sempre adoptadas com carácter de emergência ou privilegiando estruturas de defesa rígidas e pesadas; as hipóteses alternativas, envolvendo alimentação

ou realimentação artificial, são entre nós ainda escassas. Também não existe uma estratégia concertada de abordagem ao ordenamento do litoral que defina os modelos de resposta mais adequados à convivência com uma realidade instalada. Independentemente das estratégias de adaptação que, num futuro não muito distante serão necessariamente adoptadas, constituem tarefas prioritárias e urgentes a construção de cenários de impactos e a discussão de soluções de adaptação. Estas soluções devem ser acompanhadas da avaliação objectiva dos custos e benefícios decorrentes (de ordem financeira e social) e realizadas sob uma perspectiva integrada. Esta integração deve estender-se à dimensão temporal, que tem sido esquecida ou limitada a intervalos demasiado curtos em trabalhos de natureza científica ou técnica e em instru-

mentos de planeamento ou de gestão. Uns e outros devem incorporar abordagens de mesoscala temporal, adequadas à compreensão do funcionamento do sistema costeiro em intervalos de tempo decenais a seculares. A nossa capacidade de prospectar a resposta do litoral nacional ao forçamento futuro, induzido por um clima em transformação rápida, beneficiará em qualidade e rigor do alargamento das escalas temporais e da comparação com respostas já ocorridas no passado a solicitações semelhantes às esperadas no futuro e conservadas no registo geológico.

4.2 SOBRELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR

4.2.1 Introdução

Designamos por sobrelevação do nível do mar ou simplesmente sobrelevação (η_s) (*storm surge* na nomenclatura anglo-saxónica) o resultado de um conjunto de processos físicos, de origem atmosférica, que podem provocar um nível do mar (η), diferente do que ocorreria devido apenas à maré com forçamento astronómico (η_{astro}):

$$\eta_s = \eta - \eta_{astro} \quad (4.1)$$

Tanto η como η_{astro} e η_s variam de local para local e ao longo do tempo. Num local fixo (num marégrafo, por exemplo) são funções contínuas do tempo: $\eta_{astro} = \eta_{astro}(t)$, $\eta = \eta(t)$ e $\eta_s = \eta_s(t)$ e podem ser digitalizadas e analisadas como séries cronológicas.

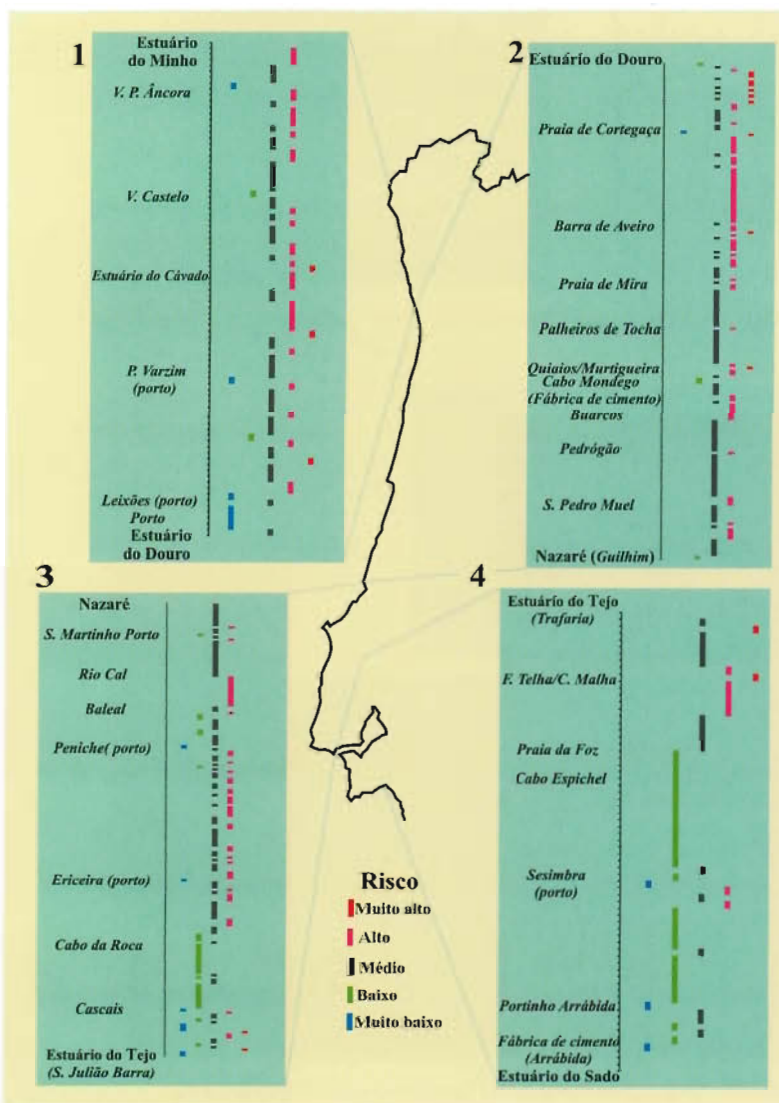


Figura 4.2 – Distribuição do risco ao longo do litoral de Portugal Continental (sectores 1 a 4)

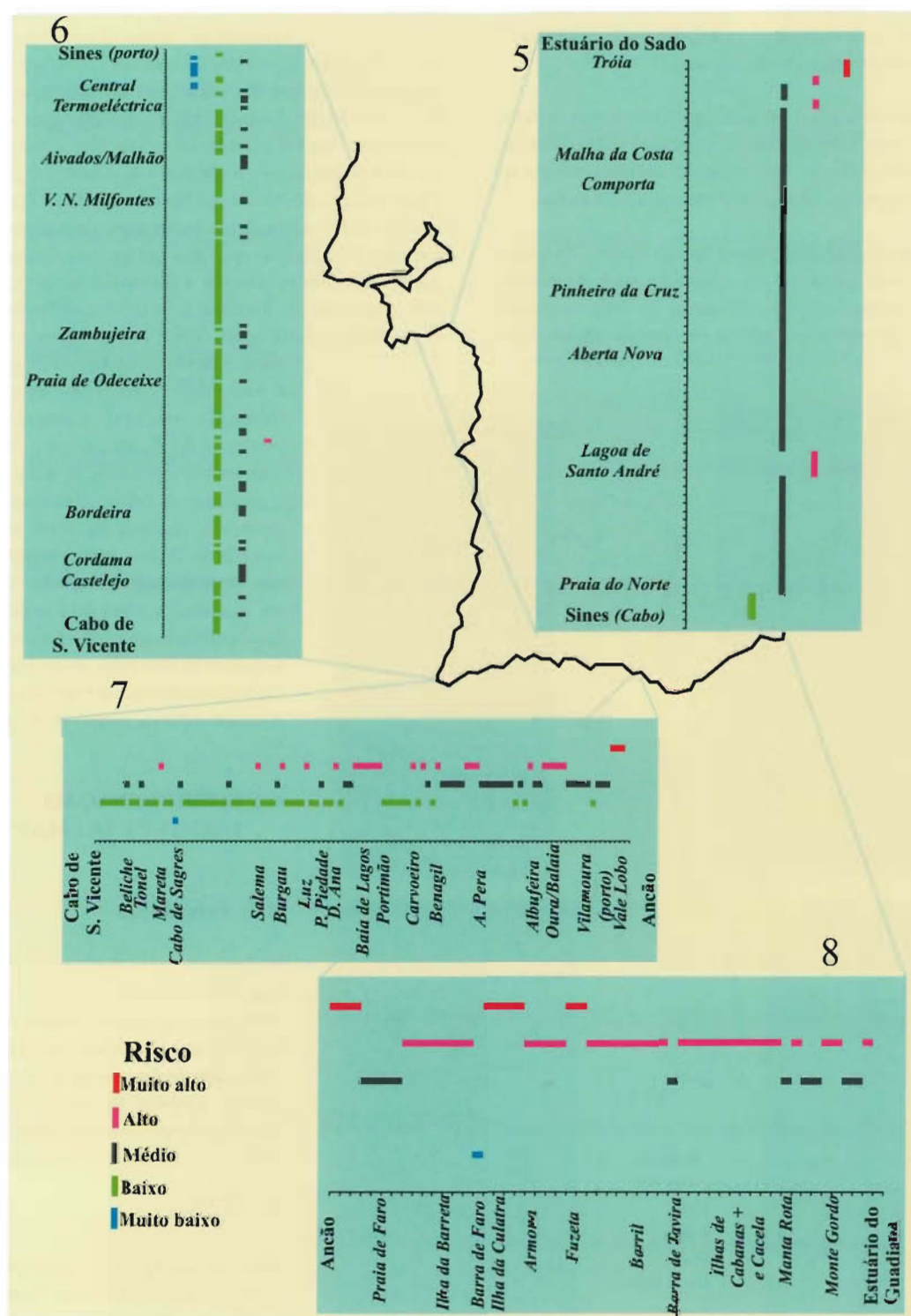


Figura 4.2 (cont.) - Distribuição do risco ao longo do litoral de Portugal Continental (sectores 5 a 8).

Os níveis do mar a que aqui nos referimos correspondem a valores médios, depois de filtrados das variações correspondentes às ondas geradas pelo vento, tal como são registados, por exemplo, nos marégrafos. A sobrelevação (η_s) corresponde assim a uma parte do resíduo não periódico da maré observada (exclui efeitos associados a descarga fluvial intensa, por exemplo) e pode ser positiva ou negativa. A sobrelevação positiva – mais importante do ponto de vista da inundação da faixa litoral, e daqui em diante designada simplesmente por sobrelevação – ocorre associada a sistemas depressionários, ciclónicos, e é tanto mais significativa quanto mais cavada for a depressão geradora de empolamento da superfície do mar, tornando-se particularmente importante em condições de temporal e, especialmente, quando aquele se propaga sobre uma plataforma continental extensa, pouco inclinada e pouco profunda.

A sobrelevação provoca em muitos locais do mundo importantes perdas de vidas e bens: o evento de 31 de Janeiro-1 de Fevereiro de 1953 no mar do Norte teve consequências desastrosas na costa Leste da Grã-Bretanha e litorais Oeste e Norte da Bélgica, Holanda, Alemanha e Dinamarca (onde a sobrelevação excedeu 3,3 m); a costa Leste dos Estados Unidos e as planícies costeiras e deltaicas da Indochina e do golfo de Bengala são exemplos de regiões sistematicamente fustigadas por este tipo de inundação, capaz de levantar durante vários dias o nível médio do oceano de 1 a 5 m acima da cota habitualmente alcançada pela maré, com consequências catastróficas: estima-se em 300 000 o número de mortes por afogamento no Bangladesh, em consequência directa da sobrelevação e inundação geradas pelo tufão de 13 de Novembro de 1973.

Em Portugal, a sobrelevação foi considerada como elemento forçador de importância menor, de ordem centimétrica a decimétrica, até à publicação do estudo de Moraes e Abecassis (1978) sobre o temporal de Janeiro de 1973, que indica uma sobrelevação de 0,53 m no marégrafo de Leixões, responsável por avultados prejuízos naquele porto. O assunto não mereceu mais atenção da comunidade científica até ao início da década de 1990; ocasionalmente, alguns estudos ou projectos incluíram estimativas do efeito de sobrelevação calculado com base em modelos simples de «barómetro invertido», mas que eram utilizadas essencialmente como coeficiente de segurança na avaliação das cotas máximas alcançáveis pelas ondas em regime de temporal. O primeiro estudo sistemático do fenómeno de sobrelevação em Portugal deve-se a Taborde e Dias (1992), que o caracterizaram em duas tempestades (Fevereiro/Março de 1978 e Dezembro de 1991) e demonstraram a ocorrência de sobrelevações superiores a 1 m (em Viana do Castelo e Aveiro, respectivamente), uma altura suficiente para potenciar e produzir *per se* importantes acções erosivas, destruições em construções

ou obras costeiras e inundações na zona litoral, como, efectivamente, se verificaram. Este estudo prolongou-se através dos trabalhos de Gama *et al.* (1994a; 1994b; 1995; 1997) e Gama (1996), encontrando-se em Andrade *et al.* (2002) uma síntese abrangente dos conhecimentos então existentes sobre esta matéria em Portugal Continental.

No presente trabalho, procura-se aumentar esse conhecimento através da análise de dados maregráficos disponibilizados pelo Instituto Hidrográfico e de dados meteorológicos disponibilizados pelo Instituto de Meteorologia, ampliando-se a extensão das séries de observações. Procurou-se também privilegiar a avaliação do risco de se atingirem níveis do mar excepcionalmente elevados em resultado da coincidência entre uma sobrelevação importante e a preia-mar, em condições de maré astronómica de amplitude elevada.

4.2.2 Equações Fundamentais da Sobrelevação

Quando se dispõe de dados de vento e pressão atmosférica sobre uma malha fina cobrindo a região de interesse, podem utilizar-se modelos em que se determinam soluções numéricas das equações do movimento, linearizadas e reduzidas a duas dimensões considerando a corrente média em profundidade (*e.g.* Flather, 1988). Com bons dados de entrada e modelos bem calibrados pode-se calcular a sobrelevação com boa aproximação. No nosso caso, não existe, actualmente, essa possibilidade.

Para algumas condições simplificadas de equilíbrio existem soluções analíticas que permitem entender os principais mecanismos envolvidos na sobrelevação e mesmo calculá-la, de forma simplificada, a partir de dados meteorológicos.

4.2.2.1 Equilíbrio Hidrostático

Considere-se a situação de equilíbrio no caso de ser nula a velocidade do vento e a corrente. Partindo das equações fundamentais da sobrelevação obtém-se então:

$$\eta_h = \frac{\Delta p_a}{\rho g} \quad (4.2)$$

onde P_a é a pressão atmosférica ρ é a densidade da água do mar e g é a aceleração da gravidade. Substituindo as constantes obtém-se um valor para a sobrelevação hidrostática η_h que é muito aproximadamente igual a 1 cm de elevação da superfície livre do mar por cada hPa (10²Pa) de depressão (Figura 4.3).

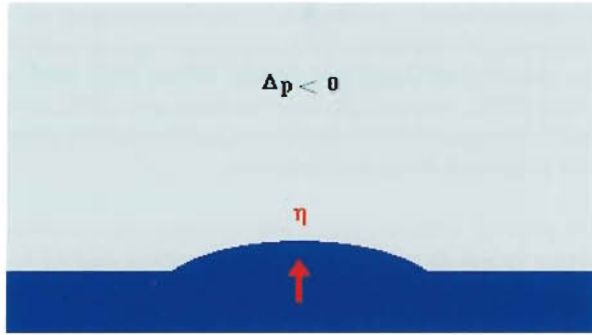


Figura 4.3 Efeito de barómetro invertido

4.2.2.2 Vento Soprando no Sentido da Linha de Costa

Não existindo diferenças de pressão nem componente do vento ao longo da costa, considerando uma plataforma de largura L e altura de água constante h , obtém-se equilíbrio, com corrente nula, entre a inclinação da superfície livre e a tensão de corte do vento soprando no sentido do mar para a costa τ_{xy} (Figura 4.4), sendo então

$$\eta_{st} = \frac{\tau_{xy}}{\rho_w g h} L \quad (4.3)$$

A sobrelevação provocada pelo vento normal à costa η_{st} é directamente proporcional à tensão de corte do vento e à largura da plataforma continental e inversamente proporcional à profundidade da mesma.

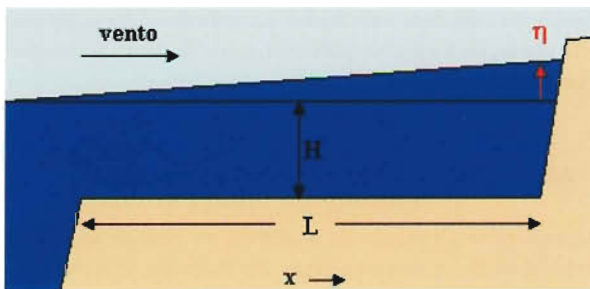


Figura 4.4 Efeito do vento normal à costa

4.2.2.3 Vento Soprando Paralelo à Linha de Costa

Considerando, como anteriormente, uma plataforma de largura L e altura de água constante h , sem variações de pressão e sem componente da tensão de corte do vento normal à linha de costa pode estabelecer-se um equilíbrio de tipo geostrófico com valores de sobrelevação η_{st} positivos do lado direito da velocidade do vento (Figura 4.5), sendo

$$\eta_{st} = \frac{f}{g} \left(\frac{\tau_{xy}}{\rho_w k} \right)^{1/2} L \quad (4.4)$$

onde τ_{xy} é a tensão de corte à superfície paralela à costa. A sobrelevação induzida pelo vento paralelo à linha de costa é positiva quando a linha de costa fica à direita da velocidade do vento; é independente da profundidade e directamente proporcional à largura da plataforma L ; k designa uma constante que relaciona linearmente a tensão de atrito no fundo com a corrente média em profundidade.

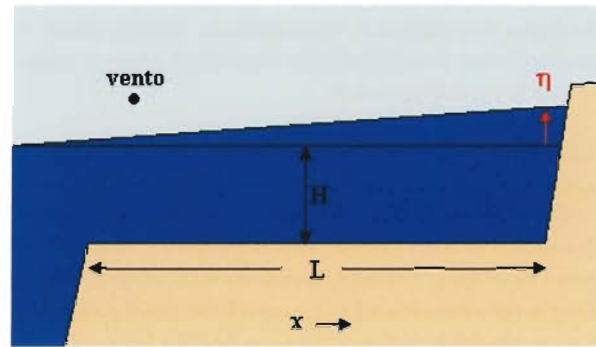


Figura 4.5 Efeito do vento paralelo à costa

4.2.3 Sobrelevação Provocada pelas Ondas

As ondas do mar (ondas superficiais geradas pelo vento) podem também contribuir para a sobrelevação, alterando o nível médio do mar. Apesar das dificuldades em obter dados experimentais na zona da rebentação e da complexidade do problema teórico, parece haver consenso em que, imediatamente antes da rebentação, existe uma faixa de sobrelevação negativa (*wave setdown*) a que se segue uma zona com nível médio crescente até à linha de costa (*wave setup*) (e.g. CERC, 1984). Este efeito é muito influenciado pelas condições locais (nomeadamente morfológicas) que condicionam a rebentação e tem, portanto, elevada especificidade espacial, não tendo sido, por isso, aqui considerado. Deve referir-se, no entanto, que aplicando de forma aproximada a formulação de Longuet-Higgins e Stewart (1963) se obtêm valores de sobrelevação devida às ondas que, em grandes temporais de mar, podem exceder 1 m, não devendo, por isso, ser desprezado.

4.2.4 Cálculo da Sobrelevação a Partir de Dados de Marégrafos

A sobrelevação calcula-se simplesmente por aplicação directa de (4.1). Deve notar-se que, quando se utilizam dados que têm

erros ou imprecisões, quer na estima da maré astronómica quer na medição do nível do mar para calcular a sobrelevação, se obtêm resultados que necessariamente reflectem esses erros e imprecisões. Com vista à minimização deste tipo de erros, foram recalculadas todas as constantes harmónicas e todos os valores horários da maré astronómica.

4.2.4.1 Dados de Marégrafos Utilizados

De modo a cobrir a maior extensão possível de costa portuguesa, sabendo que a sobrelevação atinge valores mais elevados na costa Norte e tendo em conta os dados disponíveis, foram seleccionados para este estudo dois marégrafos a norte, Viana do Castelo e Leixões, um na zona Centro, Cascais, e por último o marégrafo do porto de Lagos, na costa algarvia (Figura 4.6). Foram utilizadas observações horárias do nível do mar, obtidas pelo Instituto Hidrográfico, referentes ao maior período de dados disponível para cada porto (Tabela 4.8).

Tabela 4.8 – Localização geográfica do marégrafo e período de dados mareográficos disponível, para cada porto

Marégrafo	Coordenadas		Período
	Latitude	Longitude	
Cascais	38° 41,67' N	9° 24,99' W	1987-2000
Lagos	37° 05,97' N	8° 39,89' W	1986-2000
Viana do Castelo	41° 41,17' N	8° 50,35' W	1978-1996
Leixões	41° 11,27' N	8° 42,19' W	1956-1985



Figura 4.6 – Localização dos marégrafos: a) Viana do Castelo; b) Leixões; c) Lagos; d) Cascais

4.2.4.2 Cálculo da Maré Astronómica

Para se obterem séries de sobrelevação do nível do mar foi necessário calcular previamente as séries de valores horários de alturas de água correspondentes à maré astronómica. Para tal, recorreu-se à análise harmónica dos dados mareográficos. O método harmónico trata a maré como a soma de um número finito de constituintes harmónicos cuja amplitude e fase são determinados a partir de argumentos astronómicos. Este processo de análise permite reduzir um conjunto de milhares de observações do nível do mar (por exemplo, um ano comum corresponde a 8760 valores horários) a um número muito reduzido de valores que revelam a essência de todo o conjunto de dados (Godin, 1972).

Os coeficientes resultantes da análise harmónica são, habitualmente, designados por constantes harmónicas e no seu cálculo estão implícitas várias hipóteses de partida, como o facto de se admitir que a resposta dos oceanos e mares ao forçamento da maré permanece constante ao longo do tempo. Outra consideração implícita prende-se com o facto de que quanto mais longo for o período utilizado na estima das constantes harmónicas, mais exactos serão os resultados obtidos.

A base da análise harmónica é a hipótese de que as variações da maré podem ser representadas por um número finito N de termos harmónicos da forma:

$$H_n \cos(\sigma_n t - g_n) \quad (4.5)$$

onde H_n representa a amplitude, g_n a diferença de fase em relação à maré de equilíbrio em Greenwich e σ_n a velocidade angular da respectiva harmónica. A amplitude e a fase de cada harmónica são os parâmetros determinados pela análise harmónica e definem as características da maré no local de observação (Pugh, 1987). A escolha dos constituintes harmónicos para cada local não é um processo consensual mas existem algumas regras básicas que devem ser seguidas. Em geral, quanto maior o período de dados que se pretende analisar maior o número de constituintes harmónicas que podem ser independentemente determinadas. Outro critério usualmente utilizado é o critério de Rayleigh que indica apenas deverem ser utilizadas constituintes componentes que, no conjunto de dados a analisar, estejam separados pelo menos de um período completo relativamente à constituinte componente mais próxima. Para analisar um ano de dados utilizam-se normalmente entre 60 a 100 constituintes harmónicas (Pugh, 1987). Na análise harmónica é ajustada às observações do nível do mar uma função de maré da forma:

$$T(t) = Z_0 + \sum_n H_n f_n \cos[\sigma_n t - g_n + (V_n - \mu_n)] \quad (4.6)$$

onde f_n e $V_n - \mu_n$ são componentes de longo período e os únicos parâmetros desconhecidos são Z_0 e as séries (H_n, g_n) . O ajuste é efectuado de modo a minimizar a soma do quadrado das diferenças $O(t) - T(t)$, onde $O(t)$ representa o nível do mar observado. A função de variação da maré é representada por um número finito, N , de harmónicas e depende da qualidade e comprimento da série de dados observados.

Neste trabalho foram utilizados 64 componentes harmónicas para analisar individualmente cada ano de dados. A análise harmónica foi efectuada através do ajuste, pelo método dos mínimos quadrados, de uma função da forma (4.6) e determinou-se para cada harmónica a frequência e fase correspondentes, resultando por fim a série da maré astronómica que se pretendia obter.

As séries de sobrelevação do nível do mar foram assim obtidas pela diferença entre a maré astronómica, estimada pelo processo de análise harmónica, e a maré observada, conforme os dados maregráficos obtidos e validados pelo Instituto Hidrográfico.

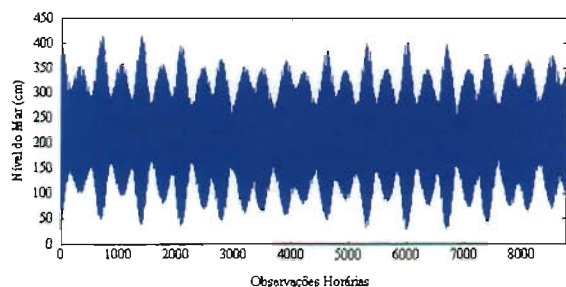


Figura 4.7 Representação gráfica da maré astronómica, obtida através do processo de análise harmónica, no mareógrafo de Viana do Castelo para o ano de 1979

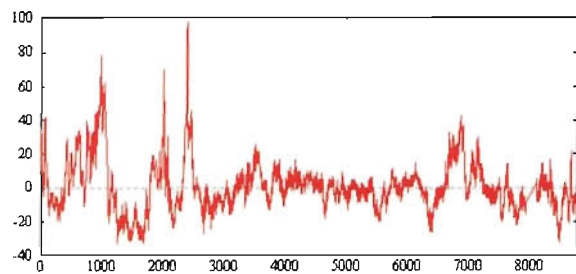


Figura 4.8 Representação gráfica da série de sobrelevação do nível do mar no mareógrafo de Viana do Castelo para o ano de 1979

4.2.4.3 Análise Estatística

Uma vez que o interesse principal deste trabalho incide na ocorrência de valores elevados de sobrelevação e na frequência com que esses valores ocorrem, a análise recai no domínio da análise de valores extremos. A análise de valores extremos encontra-se firmemente fundamentada nas distribuições limite introduzidas por Fisher e Tippet (1928), Gnedenko (1943) e Gumbel (1958), que, posteriormente, foram reduzidas a uma formulação única, a distribuição generalizada de valores extremos, por von Mises (1936). Estas distribuições de valores extremos aparecem formalmente na estatística como as distribuições limite dos máximos ou mínimos de uma sequência de variáveis aleatórias, independentes e identicamente distribuídas.

A análise estatística dos máximos da sobrelevação foi efectuada recorrendo a dois métodos distintos. No método tradicional de análise de valores extremos, conhecido como o método dos máximos anuais, são utilizados apenas os valores extremos anuais (Gumbel, 1958). Para séries de dados muito curtas a utilização deste método poderá dar origem a estimativas pouco exactas, uma vez que o número de valores máximos disponível é insuficiente para uma boa estima dos parâmetros da distribuição. Deste modo, optou-se por utilizar também um método alternativo, o método da probabilidade conjunta sobrelevação-maré (Ackers e Ruxton, 1975; Pugh e Vassie, 1981; Walden *et al.*, 1982; Tawn e Vassie, 1989).

Análise Estatística dos Máximos Anuais do Nível do Mar

Ao trabalhar com valores extremos pretende-se, muitas vezes, prever a proximidade temporal de ocorrência de um certo acontecimento. Este problema pode, pois, ser pensado como de avaliação da probabilidade de que um determinado valor seja atingido ou excedido num dado ano. Deste modo, e no âmbito do problema em análise, seria desejável calcular o tempo médio que decorre entre excedências consecutivas de um determinado nível de água.

A probabilidade de excedência de um determinado nível do mar (y) é usualmente expressa em termos do período de retorno T . Designa-se por período de retorno T o número médio de anos entre a ocorrência de dois eventos sucessivos em que o correspondente nível do mar (y) é excedido, e escreve-se:

$$T(y) = \frac{1}{1 - F(y)} = \frac{1}{1 - e^{-y/\lambda}} \quad (4.7)$$

Em termos matemáticos, o período de retorno corresponde ao inverso da probabilidade da ocorrência dessa excedência.

Determinaram-se para cada porto, com os dados de mareógrafo disponíveis e utilizando os dois métodos, que seguidamente se descrevem, os máximos anuais do nível do mar correspondentes aos períodos de retorno de 5, 10, 25, 50, e 100 anos.

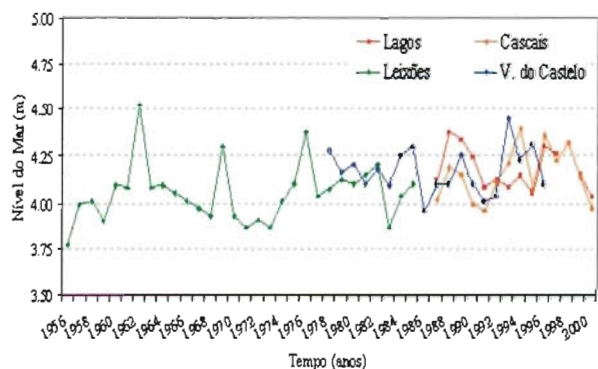


Figura 4.9 Máximos anuais absolutos do nível do mar observado, no período de dados maregráficos disponível

Análise Estatística dos Máximos Anuais da Sobrelevação

Para os máximos anuais da sobrelevação do nível do mar, e utilizando um procedimento semelhante ao seguido para os máximos anuais do nível do mar, a distribuição de Gumbel (Fisher-Tippet, tipo I) pode ser ajustada a séries de valores máximos anuais. Esta é a base de uma das aplicações clássicas da teoria dos valores extremos.

Método de Gumbel

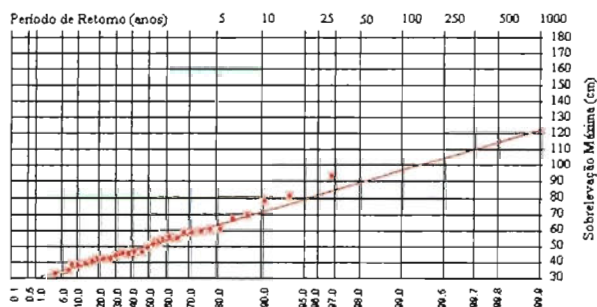


Figura 4.10 Representação «em papel de Gumbel», da probabilidade da sobrelevação do nível do mar exceder determinados níveis. Ajuste de uma distribuição de Gumbel à série do mareógrafo de Leixões, 1956-1981

A distribuição de Gumbel surge como a forma limite central de entre os três tipos de distribuições de Fisher-Tippet

e ajusta-se a distribuições sem limite superior ou inferior. É da forma:

$$G(x) = \exp(-e^x), -\infty < x < \infty. \quad (4.8)$$

Método da Probabilidade Conjunta

Entende-se por probabilidade conjunta de dois acontecimentos, a probabilidade de ocorrência simultânea de dois eventos respeitantes a duas variáveis aleatórias e escreve-se $P(A_i B_j)$ que significa a probabilidade de ocorrência simultânea do evento i relativo à variável aleatória A e do evento j relativo à variável aleatória B . A soma das probabilidades conjuntas relativas a duas variáveis aleatórias é 1.

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M P(A_i, B_j) = 1.0 \quad (4.9)$$

O método da probabilidade conjunta é um método alternativo de estimar a probabilidade de ocorrência de valores extremos do nível do mar que se baseia na utilização separada das distribuições de probabilidades da maré astronómica e da sobrelevação (Ackers e Ruxton, 1975; Pugh e Vassie, 1980; Walden *et al.* 1982; Tawn e Vassie, 1989). A utilização do método da probabilidade conjunta sobrelevação-maré, para estimar a frequência de ocorrência de valores extremos do nível do mar, é particularmente útil quando apenas se dispõe de um período curto de observações para o local de interesse. A aproximação envolve a convolução das funções densidade de probabilidade da sobrelevação e da maré, de modo a obter a distribuição de probabilidade do nível observado do mar.

Segundo Pugh e Vassie (1980), cada valor horário de nível observado do mar $W(t)$ pode ser considerado como a soma de três subcomponentes:

$$W(t) = H_0 + A(t) + R(t) \quad (4.10)$$

onde H_0 representa o nível médio do mar, $A(t)$, o nível da maré (referido ao nível médio do mar) e $R(t)$ o residuo ou nível da sobrelevação.

Se as componentes da sobrelevação e da maré se puderem considerar como estatisticamente independentes, para cada instante t , o nível do mar, relativamente ao nível médio no mar, ou seja $w = W(t) - H_0$ pode ser encarado como a soma de duas variáveis aleatórias independentes $x = A(t)$ e $y = R(t)$. Deste modo, as funções densidade de probabilidade das componentes maré e sobrelevação são respectivamente $f_x(x)$ e $f_y(y)$ e a densidade de probabilidade $f(w)$ de w vem dada pela convolução

$$f(w) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_1(w-y) f_2(y) dy. \quad (4.11)$$

A omissão da dependência em relação ao tempo t , por exemplo ao substituir $A(t)$ por λ , implica que se assume estacionariedade das séries envolvidas. Ainda que tal não seja exacto, a série de maré astronómica é usualmente considerada estacionária – e tratada como realização de um processo estocástico estacionário. No entanto, a série dos resíduos horários é, em parte, não estacionária, uma vez que a sazonalidade e os fenómenos meteorológicos geradores da sobrelevação originam séries de resíduos desigualmente distribuídos ao longo do tempo. A tendência para sobrestima do nível do mar, devida ao facto de não ser tomada em conta a correlação entre os resíduos, foi reconhecida por Pugh e Vassie (1978, 1980).

A probabilidade de excedência de um dado nível do mar pode ser avaliada a partir da correspondente função de distribuição de probabilidade cumulativa. Pugh e Vassie (1978) sugeriram a seguinte relação entre período de retorno e probabilidade:

$$P = 1 / \{ [1 - F(\eta)] \times 8766 \} \quad (4.12)$$

onde 8766 é o número médio de horas num ano.

Para se poder aplicar o método da probabilidade conjunta da sobrelevação com a maré foi necessário determinar as distribuições de probabilidades associadas à sobrelevação do nível do mar e à maré astronómica. No caso da maré astronómica que, de facto, não é aleatória e que não segue nenhuma das distribuições de probabilidades conhecidas, optou-se por ajustar uma interpolação por *spline* cúbico e normalizar, para obter integral unitário. A função de distribuição cumulativa foi ajustada à sobrelevação (distribuição Gama). Para a sobrelevação do nível do mar ajustou-se uma distribuição Gama, onde os dois parâmetros do modelo Gama foram estimados por um método de máxima verosimilhança (Bury, 1975).

4.2.4.4 Análise Estatística da Sobrelevação

Utilizaram-se duas metodologias para a análise das séries da sobrelevação. A primeira, baseia-se na teoria dos valores extremos e consiste em ajustar uma distribuição de extremos – a distribuição de Gumbel, à amostra formada pelo conjunto dos máximos anuais da sobrelevação observada (Tabela 4.9). O segundo método consiste em ajustar uma dis-

tribuição de probabilidade à série de dados da sobrelevação (neste caso considerando apenas os valores positivos) e inferir os períodos de retorno, admitindo que as observações separadas de um determinado intervalo de tempo são estatisticamente independentes (Tabelas 4.10 e 4.11, Figuras 4.11 a 4.14). Pugh (1987) considera adequado o intervalo de 1 hora para estima dos períodos de retorno no método da distribuição de probabilidade conjunta. Adoptando esse mesmo procedimento e entrando em conta com o facto de se utilizarem apenas os valores de sobrelevação positivos, obtiveram-se resultados que subestimam os equivalentes, mas obtidos com a distribuição de Gumbel, sendo a subestima mais pronunciada para os maiores períodos de retorno.

No entanto e como se verá mais à frente, essa diferença, que se manifesta nas probabilidades de excedência muito baixas, não é determinante nos resultados da convolução, que se utiliza no método da distribuição de probabilidade conjunta.

Tabela 4.9 – Máximos absolutos de sobrelevação do nível do mar no período de dados maregráficos disponível para cada marégrafo

Marégrafo	Máximo de sobrelevação (cm)	Data de ocorrência	Período de dados
Viana do Castelo	107	17/02/86	1978-1996
Leixões	93	30/12/81	1956-1985
Cascais	46	02/02/98	1987-2000
Lagos	52	08/12/88	1986-2000

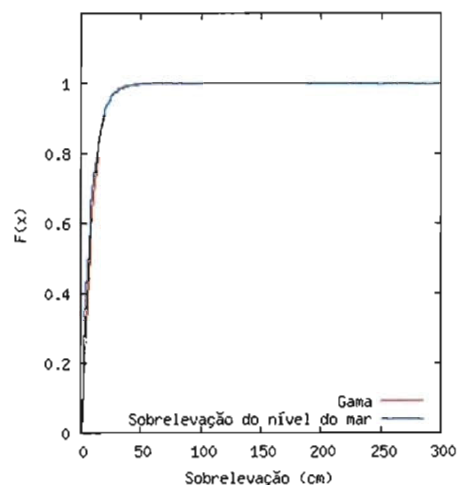


Figura 4.11 – Representação gráfica do ajuste da distribuição Gama à série de sobrelevação do nível do mar para o porto de Leixões usando 29 anos de dados

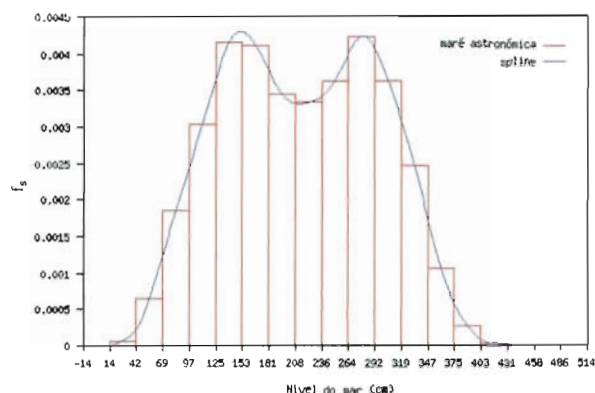


Figura 4.12 – Ajuste de *spline* cúbico à série da maré astronómica, com base em 14 anos de dados, para o porto de Viana do Castelo

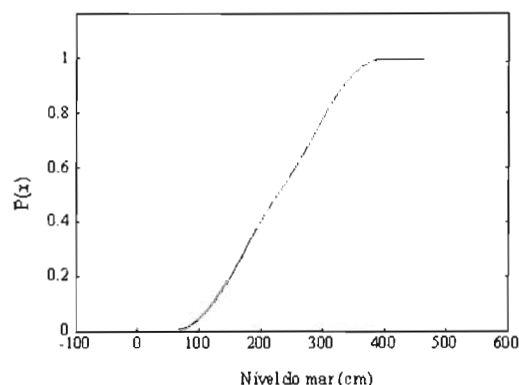


Figura 4.13 – Representação gráfica da convolução entre as séries da sobrelevação do nível do mar e da maré astronómica para o porto de Lagos

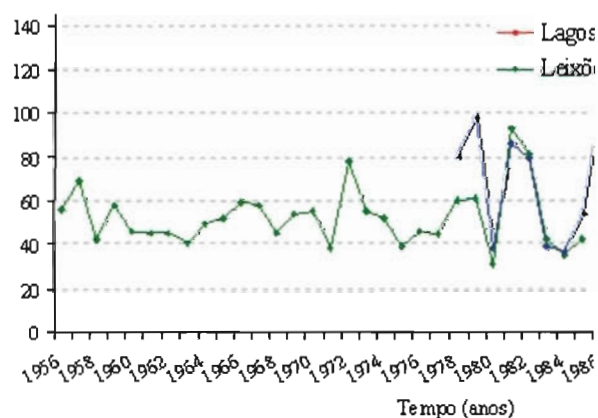


Figura 4.11 – Máximos anuais absolutos de sobrelevação do nível do mar no período de dados maregráficos disponível para cada porto

Tabela 4.10 – Resultados da aplicação do método de Gumbel às séries de valores máximos anuais de sobrelevação do nível do mar em cm

Marégrafo	Período de retorno (anos)				
	5	10	25	50	100
Viana do Castelo	73,2	85,0	99,9	110,9	121,9
Leixões	62,9	71,2	81,6	89,4	97,1
Cascais	39,6	44,0	49,5	53,6	57,7
Lagos	42,5	49,2	57,5	63,7	69,8

Tabela 4.11 – Resultados do ajuste da distribuição Gama às séries de sobrelevação do nível do mar em cm

Marégrafo	Período de retorno (anos)				
	5	10	25	50	100
Viana do Castelo	71,3	75,9	82,0	86,6	91,2
Leixões	67,3	71,4	77,2	81,5	85,8
Cascais	45,6	49,4	52,0	54,8	57,6
Lagos	53,8	57,1	61,5	64,9	68,2

4.2.4.5 Análise Estatística do Nível Máximo do Mar

Estudos realizados permitem comparar os resultados do método de Gumbel com o método da distribuição conjunta da maré astronómica com a sobrelevação. O método da distribuição de probabilidade conjunta sobrelevação-maré possui algumas vantagens relativamente ao método tradicional dos máximos anuais (Pugh, 1987):

- Obtêm-se valores estáveis para períodos relativamente curtos. Um único ano de dados pode produzir resultados úteis embora quatro anos seja o mínimo desejável (Pugh e Vassie, 1980). Para a utilização do método dos máximos anuais ou do método de Gumbel é aconselhado um período mínimo de 25 anos.
- Não existe desperdício de dados.
- Podem ser incorporadas e identificadas alterações individuais nos factores físicos que afectem o nível do mar. Por exemplo, alterações futuras no regime de maré resultantes da projectada construção de barragens podem ser incorporadas, ajustando a distribuição de probabilidades da maré.

Quando comparado com o método dos máximos anuais, o método da probabilidade conjunta apresenta também algumas desvantagens:

- d) A qualidade dos dados tem de ser alta, com elevada exactidão no horário das medições; caso contrário, as imprecisões na determinação da maré serão interpretadas como resíduos.
- e) Envolve um esforço computacional mais elevado.

No entanto, o método de Gumbel tem a seu favor uma fundamentação estatística mais rigorosa e a experiência ganha com a sua utilização em numerosos e variados problemas de extremos.

Os resultados obtidos, para cada um dos mareógrafos, pelos dois métodos, para os períodos de retorno dos máximos anuais do nível do mar, encontram-se nas Tabelas 4.12 e 4.13. Pode verificar-se que os resultados obtidos pelos dois métodos são semelhantes. Os resultados são também razoavelmente coincidentes com os obtidos por Gama *et al.* (1994) (Tabela 4.14), com base numa série substancialmente mais curta (apenas 2 anos de dados de sobrelevação).

Tabela 4.12 – Valores do nível máximo do mar (m) com o período de retorno T_r para cada porto em análise. Resultados da aplicação do método de Gumbel às séries dos valores máximos anuais do nível do mar

Marégrafo	Período de retorno (anos)				
	5	10	25	50	100
Viana do Castelo	4,3	4,3	4,4	4,5	4,6
Leixões	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6
Cascais	4,1	4,2	4,3	4,3	4,4
Lagos	4,2	4,2	4,3	4,4	4,5

Tabela 4.13 – Valores do nível máximo do mar (m) com período de retorno T_r para cada porto em análise, estimados pelo método da distribuição da probabilidade conjunta

Marégrafo	Período de retorno (anos)				
	10	10	25	50	100
Viana do Castelo	4,4	4,4	4,5	4,5	4,5
Leixões	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5
Cascais	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4
Lagos	4,1	4,1	4,4	4,5	4,5

Tabela 4.14 – Valores do nível máximo do mar com período de retorno T_r , resultados obtidos por Gama *et al.* (1994)

Marégrafo	Período de retorno (anos)		
	5	10	25
Viana do Castelo	4,61	4,71	4,78
Cascais	4,15	4,19	4,22
Lagos	4,23	4,29	4,34

4.2.4.6 Análise de Tendências

Ainda que, à partida, se deva reconhecer que as séries de dados são muito curtas para permitir uma avaliação adequada da existência de tendências de longo prazo, procurou-se detectar a existência de tendências lineares que revelassem algum crescimento ou decréscimo da sobrelevação nas séries de dados.

A série mais interessante deste ponto de vista é a de Leixões, com 30 anos, de 1956 a 1985. O ajuste de uma recta por mínimos quadrados a esta série revela uma tendência positiva de 0,06 cm/ano. Cascais, com 14 anos, de 1987 a 2000, revela também uma tendência positiva de 0,09 cm/ano. No entanto, Viana do Castelo (1978-1996) e Lagos (1986-2000) apresentam tendências negativas pronunciadas de -1,86 cm/ano e de -1,18 cm/ano, respectivamente.

Procurou-se ainda tentar usar a boa correlação, que é evidente no período em que existem dados simultâneos, para fazer estimativas do prolongamento das séries. Calcularam-se, através das correspondentes rectas de regressão, as séries de Leixões completadas com os dados obtidos por regressão com Viana do Castelo, de 1986 a 1996. Usou-se também um procedimento análogo, mas simétrico, completando Viana com dados provenientes da regressão com Leixões, de 1956 a 1975. Verifica-se que as tendências assim determinadas são de -0,1 cm/ano e de -0,2 cm/ano, respectivamente. A remoção de um «ponto espúrio» altera os resultados do cálculo que passam a ser de 0,1 cm/ano e -0,1 cm/ano.

Conclui-se, portanto, que esta análise não permite detectar um comportamento de longo prazo, comum a todas as séries, no sentido de aumento ou diminuição da sobrelevação ao longo do tempo.

4.2.4.7 Conclusões da Análise Estatística dos Dados de Mareógrafos

O estudo das séries de dados mareográficos mostra que a sobrelevação do nível do mar pode atingir valores impor-

tantes, podendo exceder 1 m. A análise estatística confirma esta conclusão, ainda que se verifique alguma diferença de resultados consoante o método adoptado. A fundamentação teórica do método de Gumbel, baseado na teoria da estatística de extremos, deve merecer maior credibilidade, em particular, quando as séries de observações são mais longas como é o caso, por exemplo, de Leixões. Os resultados da aplicação do método de Gumbel e do método da distribuição da probabilidade conjunta são relativamente próximos, confirmando a sua fiabilidade.

Quando se analisa em conjunto a sobrelevação e a maré, quer considerando as séries dos máximos anuais do nível do mar observado, quer utilizando o método da distribuição da probabilidade conjunta da sobrelevação com a maré astronómica, obtêm-se resultados que mostram que a probabilidade de ocorrência de níveis do mar muito elevados por acção conjunta da maré e da sobrelevação é nitidamente menor do que a probabilidade de ocorrência de sobrelevação elevada com qualquer nível do mar. Este facto tende a diminuir os riscos de danos susceptíveis de serem provocados apenas pela sobrelevação.

Os dados disponíveis não permitem detectar a existência de um padrão de longo prazo de diminuição ou de aumento da sobrelevação na costa de Portugal.

4.2.5 Avaliação da Sobrelevação com Base em Dados Meteorológicos

4.2.5.1 Fundamento

O nível do mar, para um dado local e instante, é determinado pela combinação de dois efeitos: a maré astronómica e a sobrelevação de origem meteorológica. Desprezando ressonâncias e efeitos de segunda ordem, a sobrelevação é determinada pelo vento e pela pressão atmosférica. Enquanto a maré astronómica é determinista, os efeitos meteorológicos têm um carácter estocástico.

As previsões da maré são efectuadas tendo em conta um valor médio para o campo da pressão. Uma diferença de 1 hPa em relação a este valor médio pode causar uma diferença de 1 cm entre a altura da maré prevista e a da maré observada. Se o barómetro acusar uma descida da pressão, o nível do mar tem tendência a subir, e vice-versa. É necessário acrescentar que o ajuste do nível do mar a variações do campo da pressão não é instantâneo, e que esta resposta é mais eficiente quando se trata de variações do valor médio do campo da pressão sobre uma superfície considerável. As variações

da altura da maré devidas a variações no campo da pressão raramente excedem os 30 cm; no entanto, quando o nível médio do mar é elevado ou reduzido devido à acção de ventos fortes, estas alterações são significativamente realçadas.

O efeito do vento no nível médio do mar e, consequentemente, na altura das marés e no tempo de ocorrência das mesmas, é muito variável e depende significativamente da morfologia local. Em geral, pode dizer-se que o vento eleva o nível do mar no sentido em que sopra. A acção de ventos fortes que sopram no sentido da costa provoca acumulação de água junto à mesma o que origina níveis do mar mais elevados que o previsto, enquanto ventos que soprem no sentido oposto têm efeito contrário. Vento a soprar ao longo da costa tende a favorecer uma situação de equilíbrio geostrófico que dá origem a sobrelevação positiva quando o escoamento cólico deixa a linha de costa à direita e negativa quando sopra em sentido contrário, como referido anteriormente.

A avaliação dos efeitos atmosféricos foi efectuada através da modelação simplificada dos principais processos meteorológicos que influenciam a sobrelevação. Para avaliar o modelo utilizaram-se dados de vento e pressão relativos a quatro estações meteorológicas (Tabela 4.15) localizadas o mais próximo possível dos marégrafos em análise (Tabela 4.12). Foram utilizadas séries (horárias sempre que possível) da pressão atmosférica e do rumo e velocidade do vento.

Tabela 4.15 – Localização geográfica e período de observações disponível para os dados meteorológicos utilizados

Estação Meteorológica	Id	Coordenadas		Período
		Latitude	Longitude	
Lisboa (Gago Coutinho)	579	38° 16' N	9° 08' W	1987-2000
Faro (Aeroporto)	554	37° 01' N	7° 58' W	1986-2000
Viana do Castelo (Meadela)	543	41° 42' N	8° 48' W	1978-1996
Porto (Pedras Rubras)	545	41° 14' N	8° 41' W	1956-1985

O modelo baseia-se nas equações 4.1 a 4.3, e determina, separadamente, as contribuições do efeito hidrostático e dos efeitos do vento normal e tangencial à linha de costa. Para cada local, é necessário conhecer várias características da estação meteorológica que se utiliza, designadamente a latitude e a altura do anemómetro. Determinam-se ou estimam-se também alguns parâmetros relativos à localização dos marégrafos: a direcção da tangente à linha de costa, a profundidade média e a largura da plataforma continental ao largo do marégrafo. Dada a forma extremamente simplificada do modelo, estas últimas

grandezas são utilizadas como parâmetros que, respeitando o mais possível as características do local, permitem ajustar ou «sintonizar» os resultados do modelo para melhor se aproximarem dos valores observados.

Devido à impossibilidade de comparar visualmente, em cada instante, os resultados obtidos para as sobrelevações calculada e observada, seleccionaram-se anualmente os dois episódios de sobrelevação mais elevada. Na Figura 4.15 encontram-se representados alguns exemplos do resultado da modelação, obtidos para episódios em que ocorreram máximos anuais de sobrelevação nos dados registados em cada marégrafo considerado.

Determinaram-se também alguns parâmetros estatísticos relevantes, para as diferenças entre os máximos calculados e observados, nomeadamente o viés, o erro médio quadrático (EMQ – *root mean square error*), e o coeficiente de correlação

entre valores médios calculados e observados. Os resultados encontram-se sumariados nas Tabelas 4.16 a 4.18.

Tabela 4.16 – Resultados da avaliação estatística do ajuste do modelo para a série das diferenças entre os máximos da sobrelevação observada e o valor calculado através do modelo para o mesmo instante

Marégrafo	Máximo da Sobrelevação Observada – Sobrelevação Calculada		
	Viés (m)	EMQ	Correlação
Viana do Castelo	0,09	0,19	0,50
Leixões	0,09	0,16	0,68
Cascais	0,09	0,13	0,14
Lagos	0,24	0,30	0,33

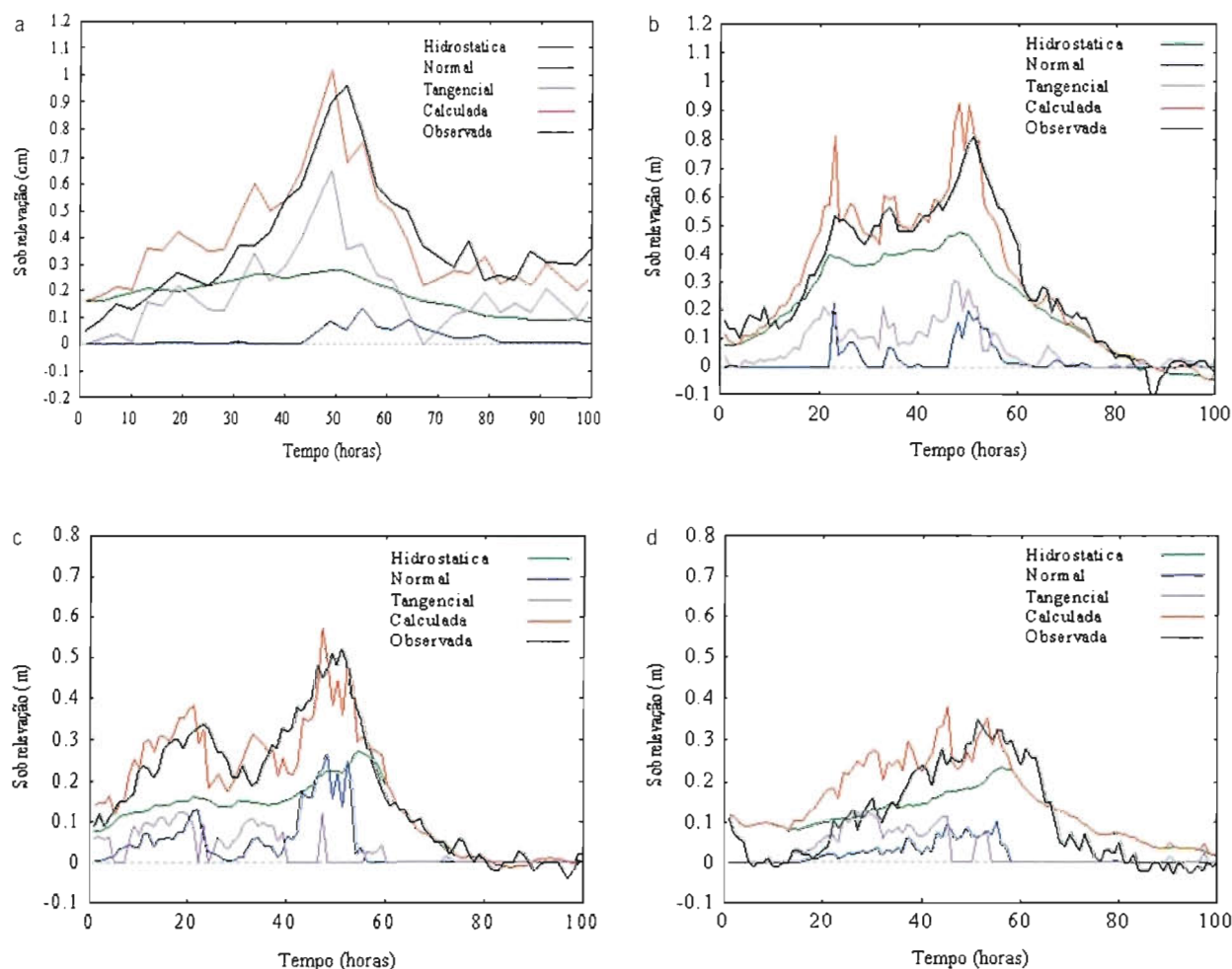


Figura 4.15 – Representação gráfica de episódios em que se observaram máximos anuais da sobrelevação nos marégrafos dos portos em análise: A – Viana do Castelo (1979); B – Leixões (1982); C – Cascais (1987); D – Lagos (1988)

Tabela 4.17 – Resultados da avaliação estatística do ajuste do modelo para a série das diferenças entre os máximos da sobrelevação calculadas pelo modelo e o valor observado para o mesmo instante

Marégrafo	Máximo da Sobrelevação Observada Sobrelevação Calculada		
	Viés (m)	EMQ	Correlação
Viana do Castelo	0,19	0,22	0,75
Leixões	0,18	0,23	0,68
Cascais	0,07	0,15	0,45
Lagos	0,10	0,15	0,40

Tabela 4.18 – Resultados da avaliação estatística do ajuste do modelo para a série das diferenças entre os máximos da sobrelevação calculados pelo modelo e os máximos da sobrelevação observada independentemente do instante em que ocorreram

Marégrafo	Máximo da Sobrelevação Observada - Sobrelevação Calculada		
	Viés (m)	EMQ	Correlação
Viana do Castelo	0,06	0,14	0,75
Leixões	0,07	0,11	0,89
Cascais	-0,01	0,04	0,52
Lagos	0,14	0,19	0,65

4.2.5.2 Avaliação dos Resultados

Apesar da sua grande simplicidade, o método de cálculo da sobrelevação a partir de dados meteorológicos permite obter resultados úteis com um esforço de cálculo mínimo. Trata-se de um método puramente estático e linearizado. Não são, portanto, considerados os aspectos dinâmicos da onda de sobrelevação nem as interações maré – sobrelevação que, em face dos resultados, parecem não ter importância determinante.

Dado que os dados meteorológicos se referem a um ponto sobre terra a alguma distância do local do marégrafo e da região onde se dá a sobrelevação, não é de estranhar que não exista coincidência entre a hora de ocorrência dos máximos calculados e observados. Por esse motivo são melhores os resultados da comparação entre os máximos observados e calculados, no mesmo episódio de sobrelevação, do que os que correspondem à comparação de resultados simultâneos (Tabelas 4.15, 4.16 e 4.17 e Figuras 4.16 e 4.17).

O método permite uma interpretação simples dos processos fundamentais que originam a sobrelevação, mostra a importância do efeito do vento tangencial à linha de costa na sua formação e pode ser imediatamente adaptado à previsão da sobrelevação.

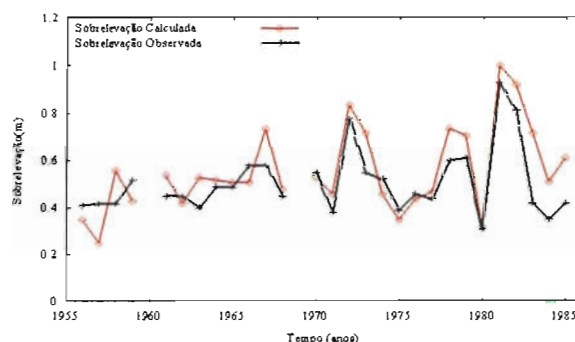


Figura 4.16 – Representação gráfica dos máximos anuais da sobrelevação observada e calculada, através do processo de modelação, para o marégrafo de Leixões de 1956 a 1984. Os anos em falta correspondem a anos em que não existiram dados atmosféricos para os cálculos do modelo

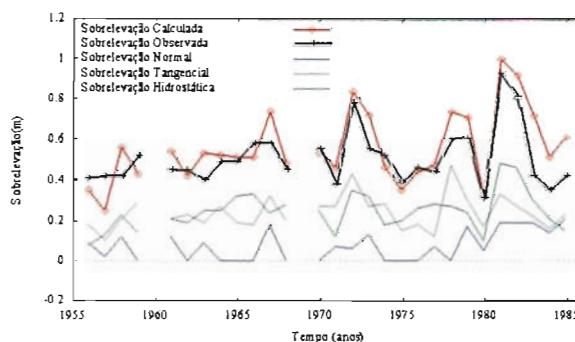


Figura 4.17 – Representação gráfica dos máximos anuais da sobrelevação observada, dos máximos da sobrelevação calculada, no mesmo episódio de sobrelevação, e das contribuições relativas dos efeitos do vento e da pressão para estes máximos

4.3 ALTERAÇÕES NO CLIMA DE ONDAS

4.3.1 Introdução

Diversos estudos, baseados em dados observados, têm sugerido a existência de alterações no clima de ondas do Atlântico Norte num passado recente, com expressão particular numa faixa de latitudes mais elevadas, e alguns associam essas modificações à alteração climática global. Esses estudos, baseados na análise de séries de observações de ondas, análise de campos de pressão atmosférica e do vento geostrófico ou mesmo na utilização de modelos de ondas sobre dados do passado, apresentam resultados diferentes de época para época e de

região para região: veja-se por exemplo Neu (1984), Bacon e Carter (1991), Schmidt e von Storch (1993), Cardone *et al.* (1994), WASA (1996), Bouws *et al.* (1996), Cotton *et al.* (1997).

Andrade *et al.* (1996) analisaram a ocorrência de temporais na costa NW de Portugal entre 1865 e 1992, com base em dados da imprensa nacional e regional, detectando uma tendência para aumento da frequência e da duração dos temporais, conclusão que pode ser eventualmente corroborada pelos resultados da análise das séries de 1973 a 1994 dos ondógrafos de Sines, efectuada por Moreira *et al.* (1998). Estes autores não detectaram tendências significativas nas séries dos máximos anuais da altura significativa H_s , mas encontraram tendências no sentido do aumento, nas séries dos máximos de H_s correspondentes ao Outono e Primavera.

Andrade *et al.* (2002) apresentaram uma súmula do estado dos conhecimentos sobre esta matéria naquela data, bem como alguns cenários plausíveis, embora qualitativos, de resposta do litoral nacional a uma modificação futura do regime de agitação marítima, em termos de energia e espectro direccionado, consequentes das alterações climáticas. No presente trabalho, procurou-se estimar e caracterizar com mais objectividade o clima de ondas no futuro, recorrendo a campos do vento simulados por um modelo climático global (HadCM3), de acordo com o cenário adoptado de alterações climáticas (IPCC IS92a).

O vento gera na superfície do mar ondas progressivas. Estas ondas não são simples funções locais e instantâneas do vento. Portanto, não é de avaliação imediata a forma como uma alteração no clima, que inclua mudanças no regime dos ventos, se irá reflectir nas ondas do mar. A geração das ondas depende não só da intensidade do vento, mas também do trajecto dos sistemas depressionários, do sector das depressões onde o vento é mais intenso, da velocidade de deslocação das depressões, etc. É, por isso, necessário utilizar modelos numéricos para calcular as ondas num «clima de referência» e noutro clima «futuro». Embora não seja de esperar que os campos de vento produzidos pelos modelos climáticos tenham dinâmica e resolução suficientes para forçar adequadamente um modelo de ondas, é de admitir que permitam detectar e avaliar diferenças entre o clima de ondas calculado num período de referência suficientemente longo e o clima de ondas calculado para um período equivalente, num dado cenário futuro de alterações climáticas.

4.3.2 Metodologia

Neste estudo utilizou-se o modelo de ondas de terceira geração MAR3G (Oliveira Pires, 1993), para obter uma *hindcast* e uma projecção (*forecast*) do clima de ondas

no Atlântico Norte: o primeiro exercício permitiu caracterizar um período e um clima de referência, correspondentes ao período 1961-1990, muito semelhante ao clima de agitação actual; o segundo, permitiu caracterizar um clima de ondas futuro no mesmo domínio, no período 2070-2099. O cálculo das ondas com modelos de terceira geração é tarefa pesada, apesar da capacidade de cálculo dos meios informáticos utilizados.

4.3.2.1 O Modelo de Ondas MAR3G

O modelo de ondas geradas pelo vento, designado por MAR3G, é um modelo numérico espectral de terceira geração, isto é, a forma espectral não resulta de qualquer formulação empírica, sendo obtida como resultado da integração da equação de balanço com uma parametrização, que se assemelha ao integral de Boltzmann, das interacções não lineares ressonantes (Hasselmann e Hasselmann, 1985). Na versão para o Atlântico Norte o modelo utiliza uma malha quadrada sobre projecção estereográfica polar com 20×25 pontos, espaçados de 300×300 km na latitude de referência (60° N). Em cada ponto da malha calcula-se um espectro direccionado com 12 direcções × 16 frequências. A propagação é feita segundo círculos máximos.

A partir do espectro direccionado $E(f,\theta)$ podem calcular-se facilmente algumas das grandezas que se utilizam habitualmente para definir o estado do mar, designadamente a altura significativa,

$$H_s = 4\sqrt{m_0} \quad (4.13)$$

sendo m_0 o momento espectral de ordem zero, ou seja, a variância da elevação da superfície livre, dado por:

$$m = \iint E(f,\theta) df d\theta \quad (4.14)$$

Este modelo, forçado por campos de vento do Centro Europeu de Previsão do Tempo a Médio Prazo (ECMWF), está amplamente testado e verificado. Em relação à altura significativa das ondas H_s o modelo tem tipicamente um viés de 0,1 m e um erro médio quadrático (E_{rms}) de 0,4 m.

4.3.2.2 Campos de Vento do Modelo Climático Global HadCM3

Os campos de vento utilizados neste estudo são provenientes do Hadley Centre (Met Office, UK). Utilizaram-se resultados do modelo HadCM3 (Gordon *et al.*, 2000) para o período de referência (1961-1990) e para um período futuro, iniciado de 30 anos de 2070 a 2099. Dispõe-se apenas de valores

diários do módulo da velocidade do vento, numa malha de $2,5'' \text{ lat.} \times 3,75'' \text{ lon.}$, distribuídos em 12 meses de 30 dias. A direcção do vento foi calculada admitindo vento geostrófico com atrito, utilizando um ângulo de cruzamento de isóbaras (no sentido anti-horário) a variar de $-30''$ em latitudes inferiores a $30'' \text{ N}$ a $-15''$ para latitudes superiores a $70'' \text{ N}$, como mostra a Figura 4.18.

Os dados de vento do HadCM3 foram transformados para a malha do modelo MAR3G atribuindo a cada ponto da malha do modelo de ondas o valor do vento no ponto mais próximo da malha do modelo climático.

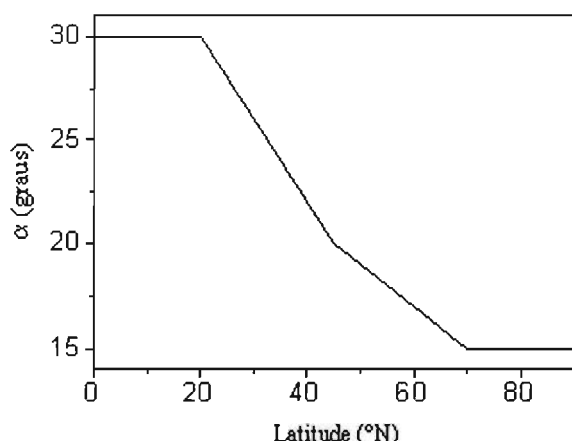


Figura 4.18 – Ângulo entre a direcção do vento e as isóbaras, em função da latitude

4.3.2.3 Resultados do Modelo MAR3G Forçado pelos Campos de Vento do HadCM3. Necessidade de Calibração

Como seria de esperar, os campos de vento do modelo climático global HadCM3 não têm dinâmica suficiente para produzir campos de ondas que se aproximem da realidade. Os resultados para o período de referência têm valores médios e extremos que subestimam por um factor de cerca de dois os que se obtêm quando o modelo é forçado por campos de vento provenientes do modelo meteorológico do ECMWF. Estes resultados estão bem avaliados e confirmados por comparação com dados de ondógrafos, em vários locais, designadamente junto à costa de Portugal Continental. Torna-se, portanto, necessário adoptar alguma forma de calibração e, em seguida, descreve-se o procedimento adoptado neste trabalho.

Sabe-se que a altura significativa das ondas (H_s) tem uma distribuição de probabilidade que é bem modelada pela distribuição normal logarítmica. Sendo assim, calibraram-se os resultados do modelo no período de referência 1961-1990

para obter em todos os pontos da malha distribuições de probabilidade da altura significativa iguais às calculadas numa reconstituição de 10 anos (1989-1998), em que se utilizaram campos de vento do ECMWF. Esta reconstituição está amplamente testada e verificada por comparação com registos de ondógrafos e procedeu-se à correcção da distribuição dos logaritmos de H_s , utilizando uma correcção aditiva nos parâmetros de localização (média dos logaritmos) e uma correcção multiplicativa nos parâmetros de escala (desvio-padrão dos logaritmos). Utilizou-se o mesmo método e idênticos parâmetros de calibração (localização e escala) para os resultados referentes ao período 2070-2099, após o que se procedeu à comparação do clima de ondas nos dois períodos em todo o Atlântico Norte.

4.3.3 Comparação entre o Clima de Ondas no Período de Referência (1961-1990) e o Clima de Ondas Futuro (2070-2099)

Com base nos procedimentos descritos, avaliou-se o clima de ondas no período de referência («clima actual») e no período 2070-2099 («clima futuro») e compararam-se os resultados. A avaliação foi efectuada para os anos completos e também para os períodos de Verão (Junho, Julho e Agosto) e de Inverno (Dezembro, Janeiro e Fevereiro). Os resultados apresentam-se graficamente nas Figuras 4.19 a 4.40.

A) MÉDIA ANUAL

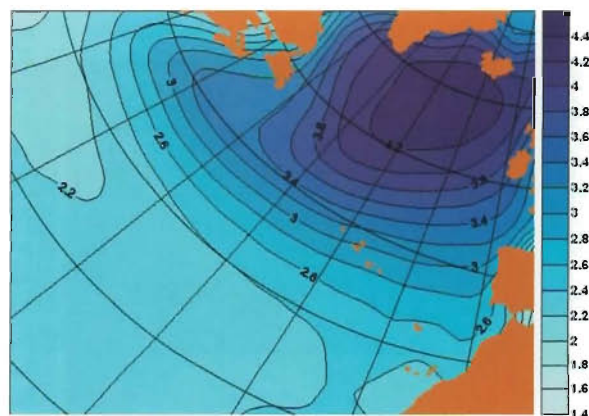


Figura 4.19 - Valor médio anual da altura significativa (m) das ondas para o clima actual

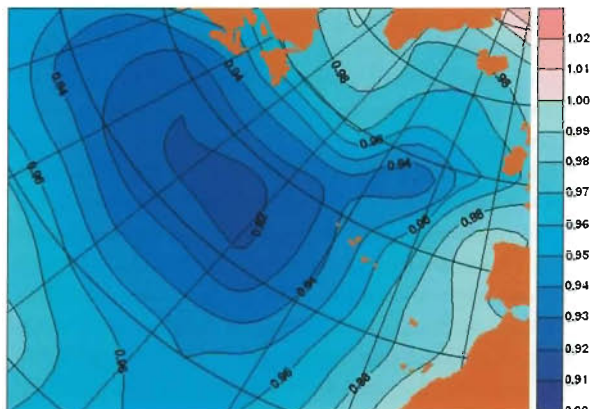


Figura 4.20 – Razão entre o valor médio da altura significativa (m) das ondas no cenário climático futuro (2070-2099) e o valor correspondente no período de referência

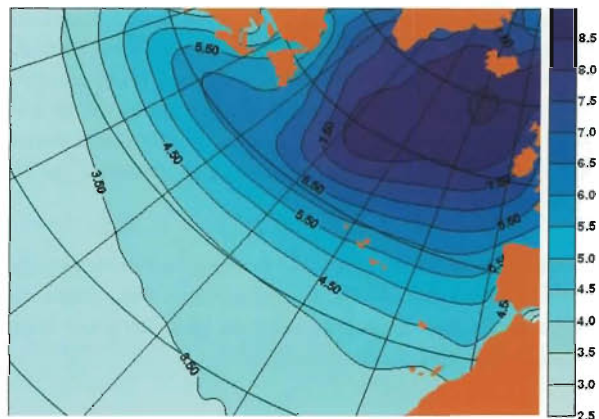


Figura 4.23 – Altura significativa (m) com uma probabilidade de excedência de 5 % no cenário climático futuro (2070-2099)

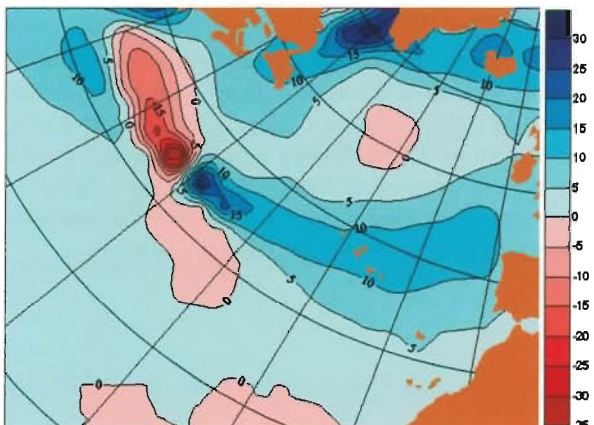


Figura 4.21 – Diferença em graus entre a direcção média das ondas no cenário climático futuro (2070-2099) e o valor correspondente no período de referência

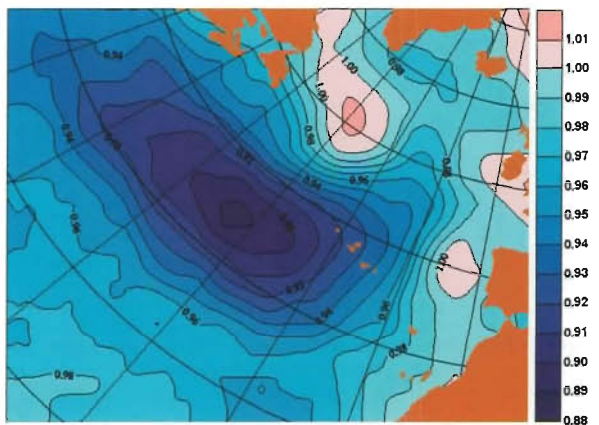


Figura 4.24 – Razão entre a altura significativa das ondas com uma probabilidade de excedência de 5 % no cenário climático futuro (2070-2099) e o valor correspondente no período de referência

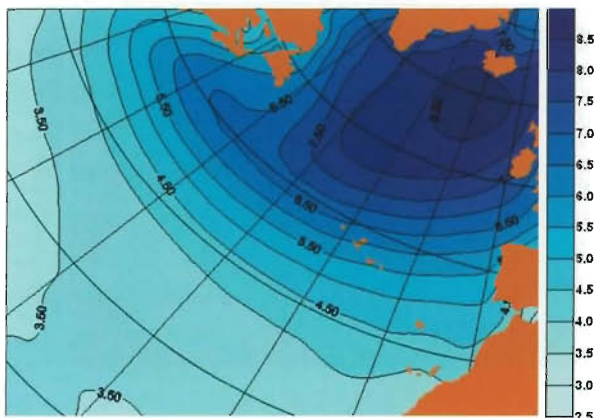


Figura 4.22 – Altura significativa (m) com uma probabilidade de excedência de 5 % no clima actual

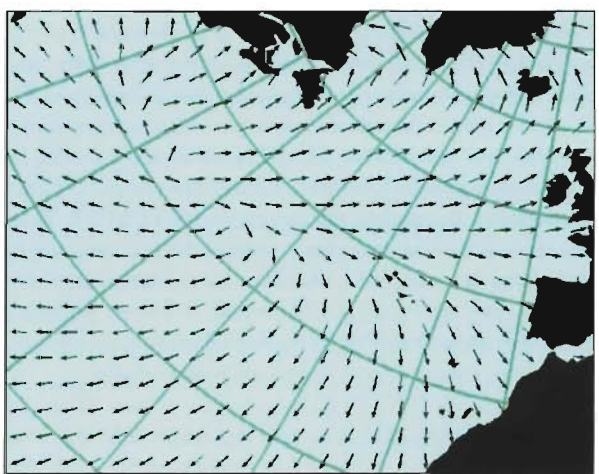


Figura 4.25 – Valor médio da direcção das ondas para o clima actual (1961-1990) – Modelo MAR3GW2/HadCM3

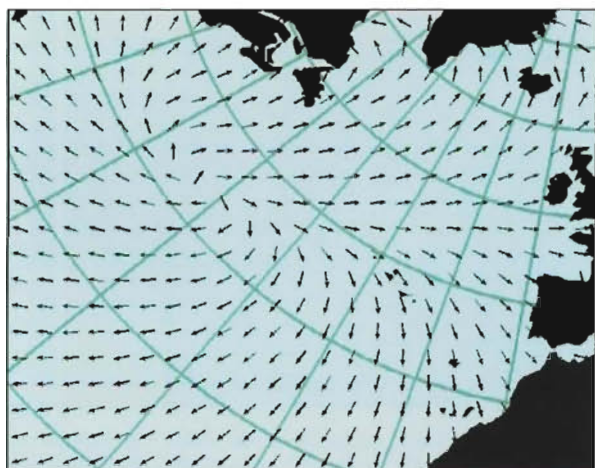


Figura 4.26 – Valor médio da direcção das ondas no cenário climático futuro (2070-2099) – Modelo MAR3GW2/HadCM3

B) VERÃO

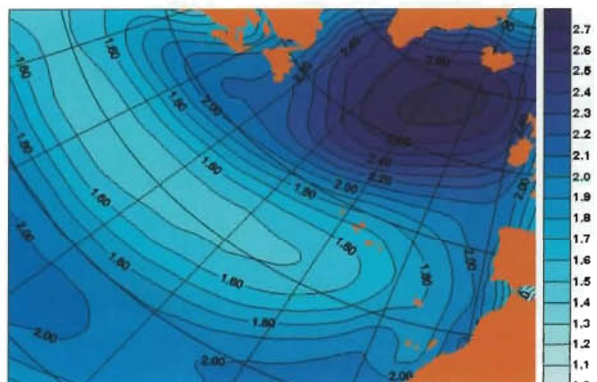


Figura 4.27 – Valor médio da altura significativa (m) das ondas, no período de Verão (junho, julho e agosto), para o clima actual (1961-1990)

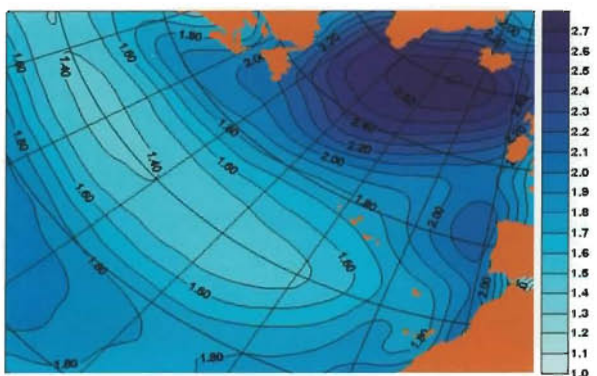


Figura 4.28 – Valor médio da altura significativa (m) das ondas, no período de Verão (junho, julho e agosto), num cenário climático futuro (2070-2099)

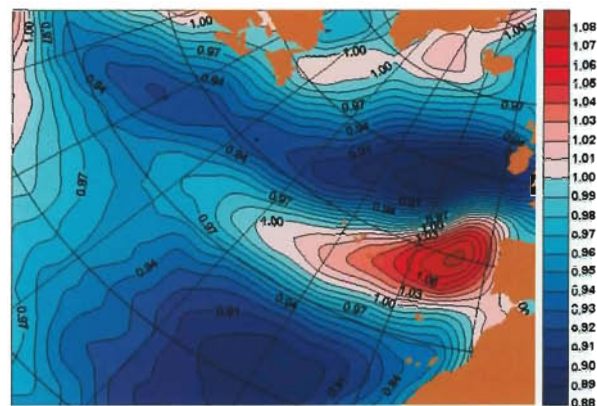


Figura 4.29 – Razão entre o valor médio da altura significativa das ondas no cenário climático futuro (2070-2099) e o valor correspondente no período de referência, relativo à época de Verão (junho, julho e agosto)

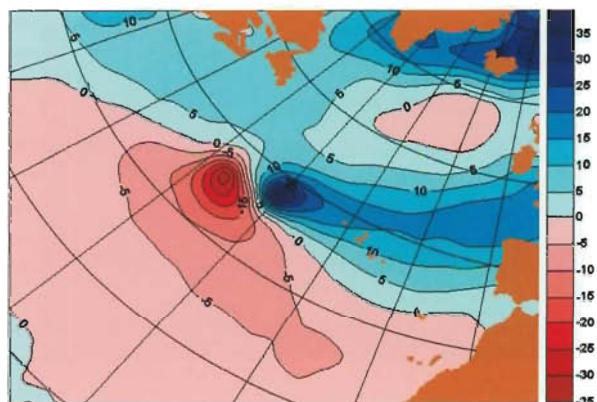


Figura 4.30 – Diferença entre a direcção média em graus das ondas no cenário climático futuro (2070-2099) e o valor correspondente no período de referência, relativo à época de Verão (junho, julho e agosto)

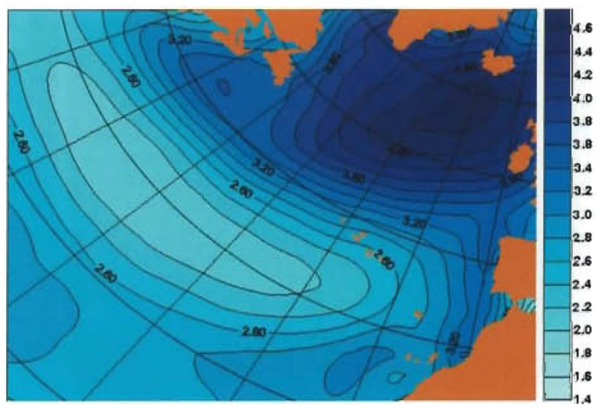


Figura 4.31 – Altura significativa (m) das ondas com uma probabilidade de excedência de 5% no clima actual, considerando o período de Verão (junho, julho e agosto)

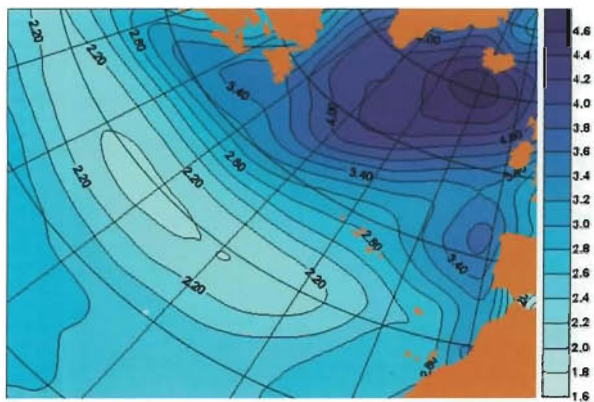


Figura 4.32 – Altura significativa (m) das ondas com uma probabilidade de excedência de 5% no cenário climático futuro (2070-2099), considerando o período de Verão (Junho, Julho e Agosto)

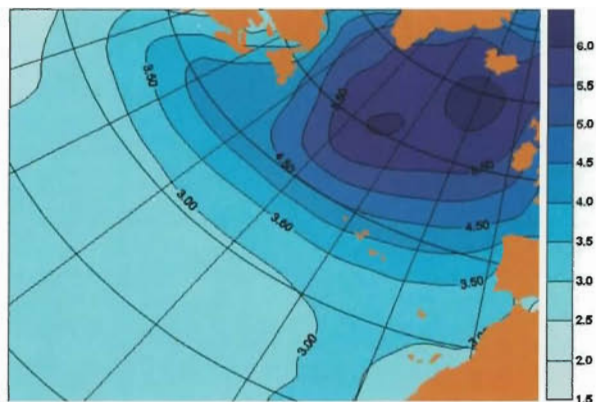


Figura 4.35 – Valor médio anual da altura significativa (m) das ondas, no período de Inverno, num cenário climático futuro (2070-2099)

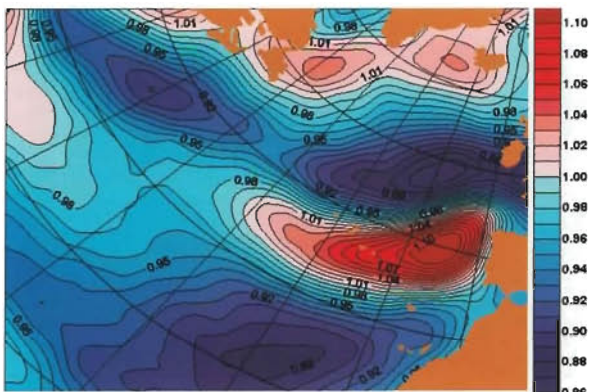


Figura 4.33 – Razão entre a altura significativa das ondas com uma probabilidade de excedência de 5% no cenário climático futuro (2070-2099) e o valor correspondente no período de referência, considerando o período de Verão (Junho, Julho e Agosto)

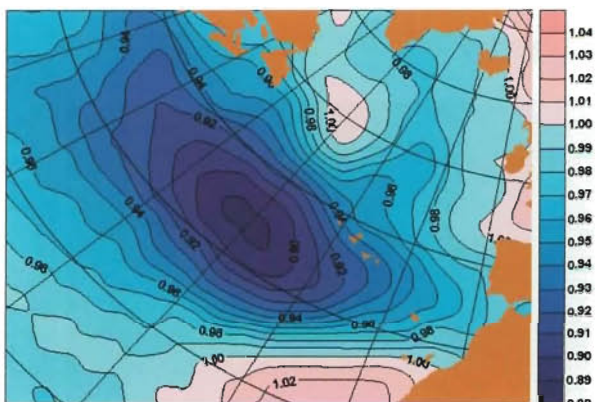


Figura 4.36 – Razão entre o valor médio da altura significativa das ondas no cenário climático futuro (2070-2099) e o valor correspondente no período de referência, considerando o período de Inverno (Dezembro, Janeiro e Fevereiro)

C) INVERNO

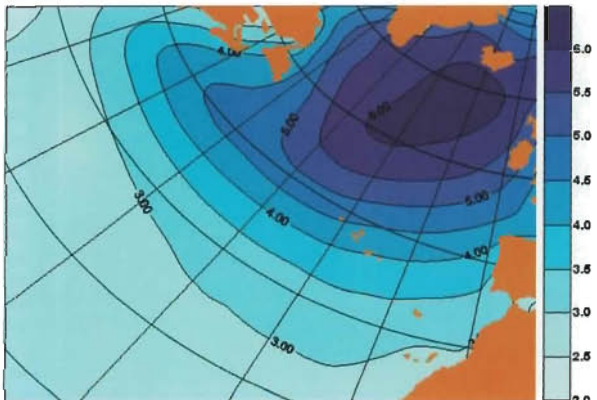


Figura 4.34 – Valor médio da altura significativa (m) das ondas, no período de Inverno (Dezembro, Janeiro e Fevereiro), para o clima actual

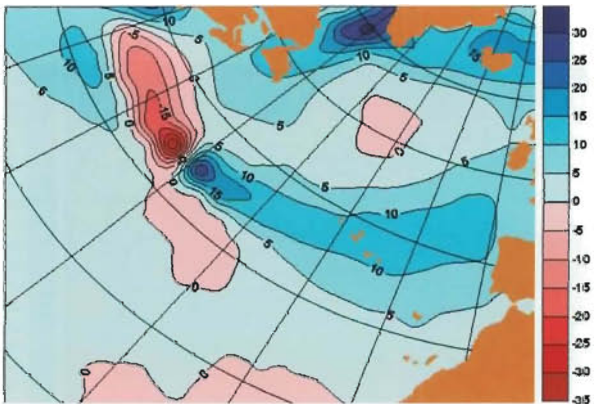


Figura 4.37 – Diferença entre a direcção média em graus das ondas no cenário climático futuro (2070-2099) e o valor correspondente no período de referência, considerando o período de Inverno (Dezembro, Janeiro e Fevereiro)

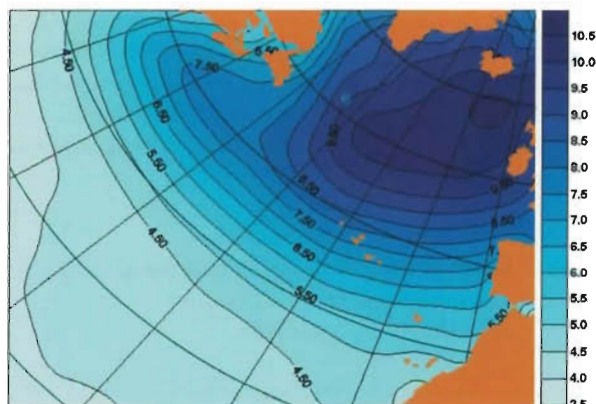


Figura 4.38 – Altura significativa (m) com uma probabilidade de excedência de 5% no clima actual, considerando o período de Inverno (Dezembro, Janeiro e Fevereiro)

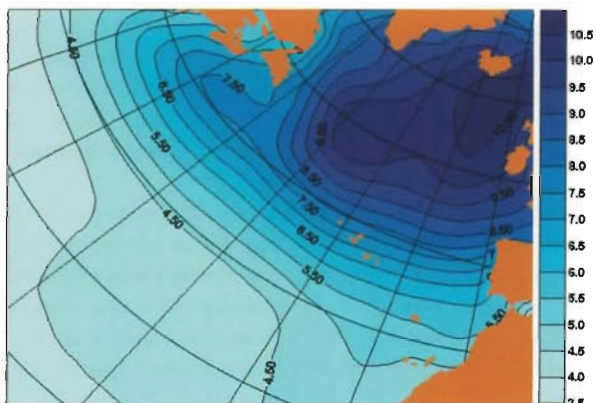


Figura 4.39 – Altura significativa (m) com uma probabilidade de excedência de 5% no cenário climático futuro (2070-2099), considerando o período de Inverno (Dezembro, Janeiro e Fevereiro)

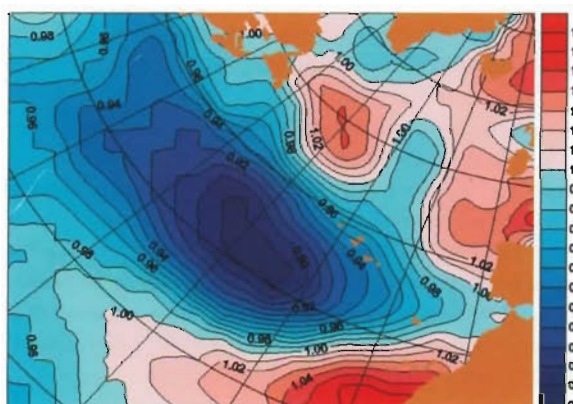


Figura 4.40 – Razão entre a altura significativa das ondas com uma probabilidade de excedência de 5% no cenário climático futuro (2070-2099) e o valor correspondente no período de referência, considerando o período de Inverno (Dezembro, Janeiro e Fevereiro)

4.3.4 Impactos

4.3.4.1 Altura Significativa Média das Ondas

A aplicação da metodologia descrita sugere a ocorrência de alterações no valor médio da altura significativa das ondas no domínio do Atlântico Norte, entre o clima de referência e o cenário futuro. Tomando como objecto de análise o ano completo, as alterações são, em geral, no sentido de uma diminuição da altura média anual, que chega a atingir um factor de 0,91 relativamente aos valores de referência, com excepção de uma pequena região, a este da Islândia, e perto da fronteira do domínio de cálculo, onde se verifica um ligeiro aumento, de um factor de 1,02. Ao largo da costa Ocidental e Sul de Portugal Continental os resultados sugerem invariância ou ligeira diminuição da altura significativa média anual das ondas.

Uma abordagem sazonal aos resultados indica que estas conclusões escondem uma variabilidade intra-anual pronunciada: há alterações na média da altura significativa das ondas no cenário futuro, com maior expressão no período de Verão, e associadas a factores de crescimento variáveis entre 1,01 e 1,04 relativamente aos valores actuais ao longo da costa Ocidental, crescendo até 1,07 para o largo, e escassamente superiores a 1,0 ao largo do Algarve. Outra região onde se prevê aumento significativo da altura média da agitação de Verão inclui os grupos Central e Oriental do arquipélago dos Açores. Já no período de Inverno os resultados sugerem invariância ou mesmo ligeira diminuição dos valores da altura significativa da agitação marítima.

4.3.4.2 Situações de Temporal

No que respeita às situações de temporal (aqui definidas como as ocorrências de altura significativa de percentil 95, isto é, estados de mar com altura significativa excedida, em média, em 5% do tempo), a média anual da altura significativa de percentil 95 tenderá a aumentar ligeiramente ao longo da fachada ocidental do território continental nacional de um factor que pode atingir até 1,01 mantendo-se praticamente invariante ao largo do litoral Sul do Algarve. Esta tendência é de sinal contrário à que caracteriza a generalidade do domínio de cálculo, no qual se prevê uma diminuição da altura significativa de percentil 95.

De Verão, destaca-se novamente um aumento da altura significativa de percentil 95 ao largo da costa Ocidental de Portugal Continental que se estende para oeste incluindo os grupos Central e Oriental do arquipélago dos Açores, com factor de crescimento até 1,12 dos valores de referência. No período de Inverno e ao contrário do sinal que caracteriza a

modificação da altura média desta estação, estima-se também um aumento junto à costa Ocidental de Portugal da altura significativa de percentil 95, por um factor compreendido entre 1,00 e 1,04.

4.3.4.3 Alterações na Direcção Média das Ondas e seus Impactos no Litoral

A aplicação efectuada indica que o rumo médio das ondas sofrerá também algumas alterações. Na fachada ocidental de Portugal Continental estima-se uma rotação entre 5° a 15° do rumo médio anual da agitação, no sentido dos ponteiros do relógio, sendo essa diferença angular mais pronunciada no período de Verão.

Tomando, como exemplo ilustrativo, um ponto ao largo da região Norte da costa Ocidental de Portugal Continental, pode-se concluir que a altura significativa das ondas excedida no período de Inverno em 5% do tempo, ou seja, cerca de 4,5 dias, e que, actualmente, é de cerca de 7,0 m passará a ser de cerca de 7,3 m no fim do século. No mesmo ponto, a direcção média anual das ondas que, actualmente, é de cerca de 310° passará no fim do século para cerca de 320°. Se a rotação do rumo médio de agitação surge como uma alteração sistemática em todas as estações do ano que caracteriza o clima de agitação anual, já não é tarefa fácil integrar a variabilidade sazonal encontrada na altura significativa para produzir uma previsão fundamentada e quantitativa sobre a sua evolução ou de qualquer outro parâmetro associado, descritor da energia que, no cenário futuro, será libertada anualmente no litoral de Portugal. É sabido que uma rotação angular pequena (da ordem de 1-2°) do regime de agitação costeiro pode produzir consequências dramáticas nos caudais sólidos transportados ao longo da costa: a experiência dos autores em troços arenosos lineares do Algarve, ou baías no litoral Oeste de Portugal, mostra que esta variação pode ser suficiente para inverter o sinal do transporte sedimentar residual ou para introduzir diferenças de uma a duas ordens de grandeza nos valores dos resíduos anuais da deriva litoral. Os resultados obtidos na simulação do regime de agitação futura parecem assim especialmente preocupantes, no que respeita à alteração direcciona do clima de agitação marítima. As modificações previsíveis do regime de agitação são complexas, incluem variabilidade sazonal apreciável e referem-se a tendências que afectam regiões extensas pelo que é mais simples no estado actual dos conhecimentos caracterizar, ainda que em traços gerais, modificações da altura significativa das ondas ao largo da fachada Ocidental de Portugal Continental do que no mar adjacente ao Algarve, devido à baixa resolução espacial dos modelos. Por outro lado, a natureza e os métodos de operação dos modelos climáticos globais não são os mais adequados para produzir

informação detalhada sobre a forma como as alterações descritas acima se traduzirão em termos de densidade de energia ou de potência das ondas em pontos bem determinados, situados em águas profundas ou mais perto do litoral, onde os efeitos de abrigo, dispersão angular, refração e difracção não podem ser ignorados.

4.3.4.4 Impactos das Alterações do Clima das Ondas no Troço Costeiro Espinho-Cabo Mondego

No âmbito deste trabalho procurou-se, de acordo com a discussão anterior, averiguar a intensidade dos impactos resultantes dos cenários futuros para o regime de agitação costeira, num troço bem conhecido, altamente vulnerável e sede de risco elevado de erosão, do litoral NW de Portugal Continental: o troço Espinho-cabo Mondego. Esta abordagem deve ser entendida como um estudo de caso, ilustrativo do potencial que os resultados obtidos nas duas fases do Projecto SIAM oferecem para objectivar projecções de evolução do risco de perda de terreno em troços específicos da costa portuguesa devido às alterações futuras do regime de agitação marítima.

Para cumprir os objectivos propostos, utilizaram-se os resultados anteriormente descritos, com ênfase na rotação prevista do rumo médio da agitação marítima, em combinação com os dados sobre as características das ondas, obtidos na bóia ondógrafo fundada ao largo da Figueira da Foz, a cerca de 100 m de profundidade, e disponibilizados pelo sistema SNIRL – Sistema Nacional de Informação do Litoral (INAG, 2004). Estes dados reportam-se ao período 1993-1995, contêm numerosas lacunas de informação e a frequência de amostragem, habitualmente de três horas, é mais densa em períodos de temporal. Dos elementos disponíveis retiveram-se a altura significativa, o rumo médio de potência, o período médio e o período de pico de potência, cujo processamento definiu um clima actual, de referência.

A série original foi amostrada a intervalos regulares de três horas, e sempre que o intervalo de tempo correspondente à ausência de informação não excedesse 24 horas calcularam-se os parâmetros em falta utilizando um método de interpolação linear; as restantes lacunas foram preservadas, não se tendo tentado qualquer outro método de completamento ou de correcção da série. Obtiveram-se no total 5070 observações, de um máximo possível de 8760, correspondentes a três anos completos.

Com estes dados reconstituiu-se uma série virtual, correspondente a um ano também virtual, médio, ponderando a informação disponível para o mesmo instante em cada um dos três anos das séries, com os resultados ilustrados na Figura

4.41. Dado que o método produz resultados algo enviesados, o cálculo do clima de agitação em águas profundas e a quantificação de parâmetros médios anuais relevantes, como a densidade de energia e de potência ou o rumo médio de potência, foi substituído pelo processamento de cada conjunto de observações simultâneas de altura, rumo e período, sendo os resultados agrupados e ponderados *a posteriori*. O mesmo procedimento foi adoptado para reconstituir um clima de agitação litoral, na rebentação, e para quantificar os parâmetros de caracterização equivalentes. O cálculo das condições de mar na rebentação foi obtido através da aplicação de um método simples de refração, fundamentado na teoria de Airy e na lei de Snell, assumindo batimetria regular e paralela e usando o critério de rebentação da onda solitária (Komar, 1976).

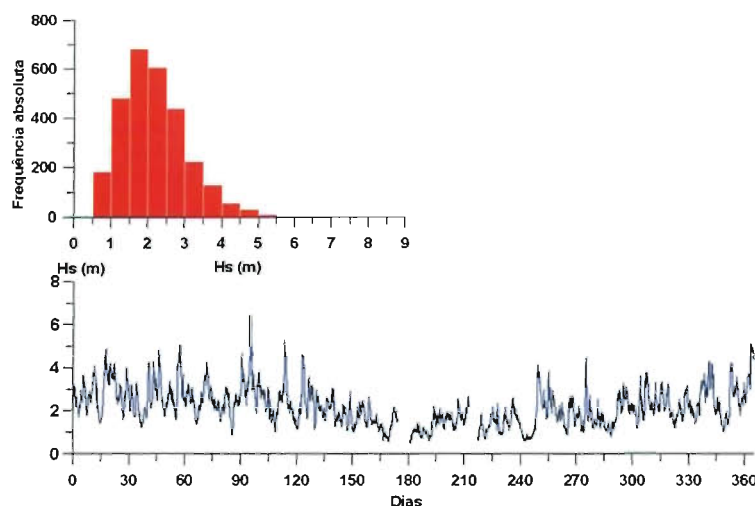


Figura 1.41 – Ilustração da altura significativa (H_s) ao largo da Figueira da Foz num «ano virtual», construído a partir da série de observações – 1993-1995: frequências absolutas e série anual

A estimativa de caudal sólido, associada a cada situação de mar na rebentação, foi obtida pelo método do fluxo de energia, assumindo como válidos os pressupostos texturais e a correlação empírica entre taxa de transporte e fluxo longitudinal de energia, descritas em CERC (1984). Utilizou-se a constante de calibração K explícita naquele método como instrumento de ajuste empírico entre valores calculados e observados na situação de referência, e o mesmo valor daquela constante foi depois utilizado quando se procedeu ao cálculo dos transportes sólidos numa projecção futura.

Da série que caracteriza a situação de referência pode concluir-se que a densidade média anual de energia ao largo da Figueira da Foz é de aproximadamente $7 \times 10^3 \text{ Jm}^{-2}$ e que a densidade média de potência é da ordem de $80 \text{ kWm}^{-1}\text{ano}^{-1}$ ou $50 \text{ kWm}^{-1}\text{ano}^{-1}$, consoante esta grandeza seja parametrizada com o período de pico de potência ou período médio.

O rumo médio vectorial da densidade de energia e de potência é praticamente coincidente e corresponde ao azimute 307° . A aplicação do método de fluxo de energia conduz a um resultado da ordem de $1,58 \times 10^6 \text{ m}^3\text{ano}^{-1}$ para o residuo líquido da deriva litoral (taxa de transporte sólido) anual em qualquer ponto do sector costeiro linear em análise, caracterizado por uma orientação $N13^\circ E$. As componentes de transporte para norte totalizam $1,22 \times 10^5 \text{ m}^3\text{ano}^{-1}$ e as componentes de transporte para sul totalizam $1,70 \times 10^6 \text{ m}^3\text{ano}^{-1}$. A altura significativa média anual da agitação na rebentação foi calculada em 2,2 m.

O efeito de rotação de 5 a 15° em sentido horário do vector resultante (anual ou sazonal) do rumo das ondas, pode obter-se manipulando inúmeras combinações dos parâmetros que influenciam o seu módulo e orientação. Neste trabalho, simularam-se três alternativas extremas de manipulação do clima de referência (que não se excluem mutuamente), com o objectivo de testar a respectiva eficácia no forçamento da reorientação direcciona daquela vector. A situação mais plausível foi depois usada como ponto de partida para testar impactos da variação climática nos valores da deriva residual e prospectivar perturbações do balanço sedimentar dela decorrentes.

Eliminação de Todas as Componentes do Clima de agitação das Bandas de SW

Com esta simulação pretendeu-se forçar a rotação do rumo médio vectorial à custa da amputação das componentes de agitação provenientes de rumos mais rodados a sul: na situação de referência, estes estados de mar são pouco frequentes mas associam-se a temporais de SW, de Inverno, e invertem temporariamente o sentido da deriva litoral, contribuindo assim para conter o seu residuo anual em valores da ordem dos 1 a $2 \times 10^6 \text{ m}^3$, dirigido para sul. Neste exercício, adoptou-se como limiar de corte o rumo 283° , correspondente à normal à linha de costa, o que majora a eficácia desta manipulação (Figura 4.12).

Os resultados sugerem que esta simulação produz rotação de apenas 4 a 6° em sentido horário do vector resultante, consoante se refira a rumo médio vectorial, rumo médio de energia ou de potência (Tabela 4.19). A fraca eficácia desta simulação resulta dela incidir não apenas sobre um número relativamente baixo de ocorrências mas também porque afecta ondas de alta frequência, conforme se mostra na Figura 1.12, conservando-se praticamente invariante a energia, mais elevada, associada a ondulação proveniente de NW.

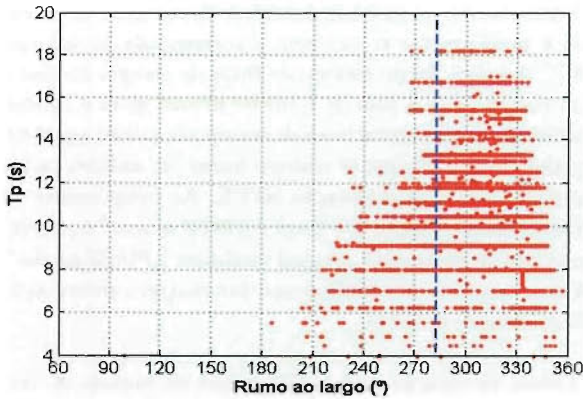


Figura 4.42 – Distribuição conjunta de período de pico e rumo em águas profundas, na situação de referência. A linha a tracejado representa a normal à linha de costa

Tabela 4.19 – Variação angular do rumo médio das ondas induzido pela amputação das situações de mar de SW

Rumo	Situação		
	Referência	Simulação	Variação
Médio vectorial	307°	313°	6°
Médio energia	307°	311°	4°
Médio potência	307°	311°	4°

Incremento de Altura das Ondas de NW

Nesta simulação manteve-se invariante o espectro e a distribuição direccional das ondas e consideraram-se diversos cenários, amplificando de um factor de 1,2 a altura das ondas rodadas a norte de 283°. A aplicação deste factor a todas as alturas, apenas às alturas que igualam ou excedem escassamente a média anual, ou unicamente às alturas mais elevadas (>5 m), indica que esta simulação não afecta a orientação do rumo médio das ondas de forma significativa nem a altura média anual na rebentação e, portanto, a densidade de energia. Para obter esse efeito, os coeficientes de multiplicação requeridos seriam demasiado elevados para manter plausibilidade ou afastam-se muito significativamente dos mais dramáticos cenários de alteração de altura significativa das ondas obtidos a partir da comparação dos climas de agitação presente e futuro, simulados com base nos modelos globais, e anteriormente discutidos.

Rotação Horária do Clima de Agitação

Nesta simulação manteve-se a organização e distribuição dos parâmetros escalares do clima de referência e impôs-se

uma variação direccional a cada estado de mar na situação de águas profundas, calculando-se depois os resultados junto à rebentação, com os resultados ilustrados nas Figuras 4.43 a 4.46.

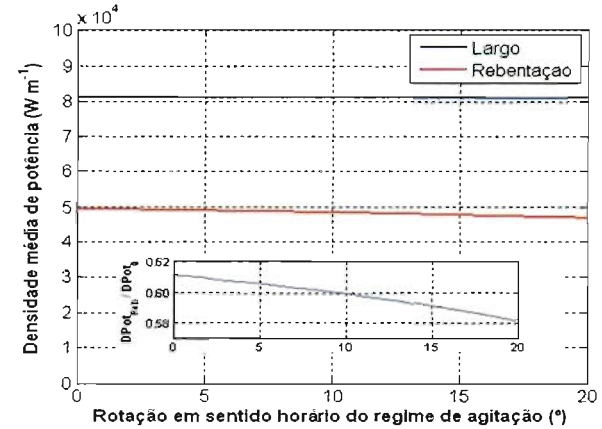


Figura 4.43 – Variação da densidade média de potência em função da rotação do regime de agitação ao largo. O encaixe pormenoriza os resultados na rebentação ($DPot_{Ret}$) normalizados pelos valores ao largo ($DPot$)

Observa-se alguma diminuição, não linear, da densidade de potência na rebentação quando comparada com o mesmo parâmetro em águas profundas em função da rotação do clima de agitação, que ganha importância para diferenças angulares superiores a 10° (Figura 4.43). Este efeito é consequência essencial dos efeitos da refração e, secundariamente, da amputação de estados de mar com rumos próximos do Norte, os quais, com o crescimento do ângulo de rotação, passam a propagar-se para o largo, deixando de contribuir para a energia disponível junto ao litoral (cf. Figura 4.42).

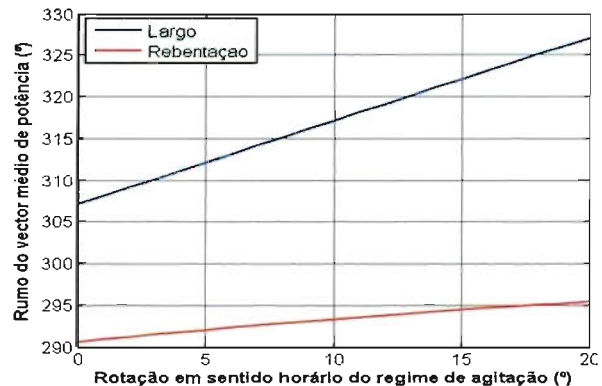


Figura 4.44 – Variação do rumo do vector médio de potência ao largo e na rebentação com a rotação do regime de agitação ao largo

No que respeita ao rumo médio das ondas (Figura 4.44), os resultados ilustram bem a diferença resultante de avaliar impactos num ponto ao largo, em águas profundas, ou no litoral. Note-se que a rotação imposta ao vector médio no primeiro caso é muito atenuada, de forma não linear, pelos efeitos de interacção dos fundos sobre a altura, a velocidade de grupo e o ângulo de ataque, inerentes à propagação das ondas, ilustrados na Figura 4.45. Junto à costa, o espectro possível do ângulo de ataque é fortemente diminuído relativamente às condições no mar aberto e a rotação do rumo médio de potência correspondente a um desvio angular de 20° em águas profundas é, na rebentação, da ordem de 5°. Tomando como valor de referência uma rotação de 10° em águas profundas, esta modificação traduzir-se-á junto à costa por uma reorientação direccional de apenas 2 a 3°. Os impactos sobre o regime sedimentar costeiro encontram-se sumariados na Figura 4.46.

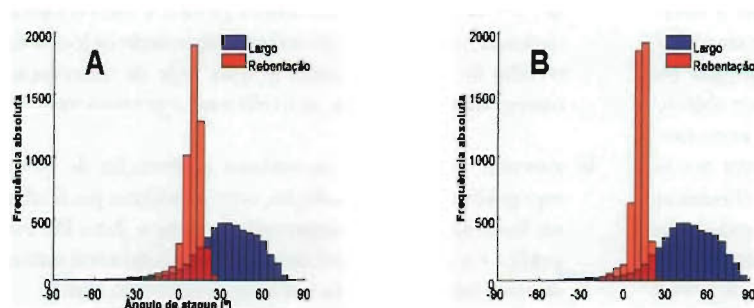


Figura 4.45 – Histogramas da distribuição do ângulo de ataque ao largo e na rebentação, com rotação do regime de agitação ao largo de 10° (A) e 20° (B)

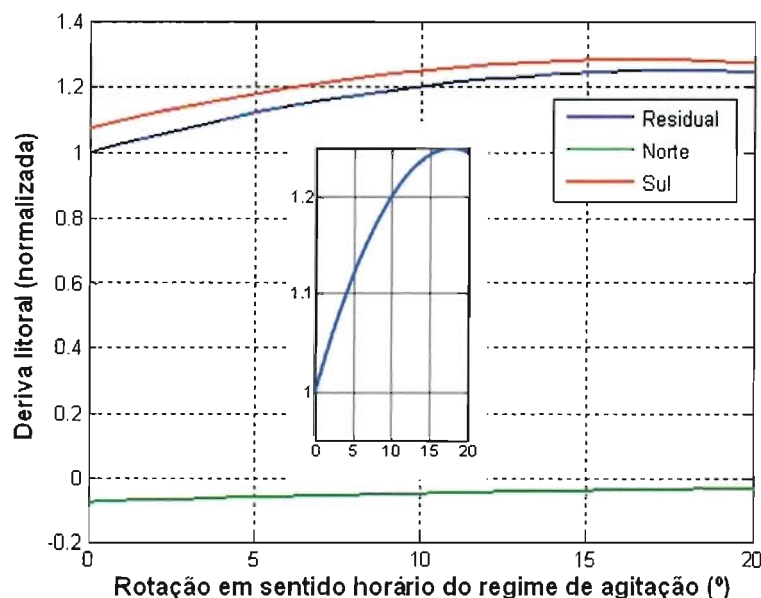


Figura 4.46 – Variação da deriva litoral em função da rotação do regime de agitação ao largo, normalizada pelo valor da deriva residual na situação de referência. O encaixe pormenoriza os resultados para a deriva residual

Desta simulação pode concluir-se que as alterações previstas no rumo da agitação incidente sobre este sector costeiro se traduzirão por uma variação positiva de cerca de 20 % na taxa de transporte sedimentar residual, relativamente à situação de referência, mantendo-se o transporte predominante para sul. Note-se que a Figura 4.46 sugere a existência de um máximo de perturbação deste resíduo associado a uma rotação da ordem dos 17° em águas profundas que, uma vez ultrapassada, conduz a uma diminuição, no sentido de a situação futura se reaproximar da que existe actualmente. A resposta erosiva deste litoral à solicitação da agitação marítima reflecte défice sedimentar de fontes externas e resulta, em cada célula litoral, de diferencial negativo entre os caudais sólidos longitudinais que a alimentam e a abandonam. Assumindo que existe linearidade entre capacidade potencial de transporte das ondas e a resposta erosiva da costa, pode concluir-se que a intensidade da erosão que hoje afecta

este litoral será amplificada no horizonte temporal de 2100 em cerca de 12-15 %, mas não excederá 20 % do ritmo que a caracteriza no presente.

4.4 ADAPTAÇÃO

O registo geológico mostra que, em grande parte dos casos, a resiliência natural dos sistemas litorais é bastante para permitir o seu ajuste gradual aos impactos resultantes de variações climáticas, naturais, normalmente lentas, se existir espaço de acomodação e disponibilidade sedimentar suficientes. Porém, parte significativa destes pressupostos pode estar comprometida no futuro, face a um quadro de alterações climáticas forçadas por causas antropogénicas, cujo ritmo de evolução prospectivado não tem precedentes na história do planeta.

Uma opção de adaptação possível aos impactos esperados das alterações climáticas futuras é, simplesmente, não reagir, e deixar a Natureza livre para impor as transformações sedimentológicas, morfológicas e dinâmicas mais adequadas à faixa costeira que, em cada instante e a longo prazo, melhor correspondam a uma situação de equilíbrio entre agentes forçadores e conteúdos costeiros, no caso presente representados por uma evolução da frequência e intensidade da inundação induzida por sobrelevação meteorológica ou agravamento da erosão costeira em virtude do incremento da capacidade de transporte sólido associada à agitação marítima. Esta escolha, que entre

nós tem sido confundida com o adiamento de opções de adaptação ou de estratégias de intervenção, é dificilmente adequada a um litoral como o de Portugal Continental, dado o seu elevado índice de ocupação e valorização económica e social. Parece pois mais acertado encontrar alternativas de adaptação a «favor da Natureza» que, em consonância com os cenários de reforçamento prospectivado, permitam, dentro do possível, conservar ecossistemas e minimizar os custos das medidas de adaptação que se tornarão urgentes num futuro não muito longínquo.

De entre várias estratégias de adaptação, Portugal tem quase exclusivamente optado pelas de carácter reactivo, em emergência, o que contrasta com outras, mais eficazes e que envolvem antecipação e planeamento. As primeiras consistem em medidas tomadas *a posteriori*, isto é, depois das consequências das alterações climáticas se manifestarem de alguma forma em algum ponto do litoral, e correspondem sempre a intervenções desenhadas caso a caso – com horizonte temporal discutível mas geralmente curto – para acudir, mitigar ou resolver (?) situações de risco; as segundas devem ser objecto de planeamento, discussão, teste e monitorização antes desses impactos se manifestarem e terão necessariamente que se apoiar numa variedade de cenários de alterações climáticas e consequentes impactos. Necessitam ainda de ser enquadradas e ajustadas em permanência à evolução do conhecimento científico e da realidade económica e social do país, e exigem uma eficiente coordenação e articulação no contexto de uma política clara de ordenamento e gestão do território, de âmbito nacional. Entre nós, não existe ainda um conjunto claro, eficiente e consensual de opções, conceitos ou directrizes sobre valorização e utilização integrada e sustentada da faixa costeira, a que acresce reduzido investimento no conhecimento científico deste sistema e algum desinteresse e desconhecimento da opinião pública sobre os impactos potenciais das alterações climáticas. Não sendo possível actuar directamente sobre as causas, no sentido de reduzir a probabilidade de ocorrência de situações de risco, restam-nos estratégias de adaptação que diminuam o risco, intervindo no sentido de diminuir os seus efeitos e no sentido de melhorar a capacidade de convivência das populações com aqueles efeitos.

No que respeita à sobrelevação de temporal, os resultados obtidos para o litoral de Portugal Continental são particularmente interessantes porque não confirmam a tendência observada noutros locais para agravamento da frequência ou intensidade das inundações decorrentes deste fenómeno. Tal não significa que os impactos associados careçam de importância, tal como a reduzida probabilidade de ocorrência de um episódio de sobrelevação extrema com uma preia-mar de águas vivas equinociais não exclui a possibilidade do seu acontecimento no futuro. Aliás, o registo recente de inundação extensa de zonas urbanas ribeirinhas (Baixa de Lisboa

e Porto, Oeiras, Cascais, Setúbal e Albufeira), desde os anos 1960 e, em particular, nos anos de 1967 e 1983 mostra que os mais avultados prejuízos materiais e sociais, a que se deve acrescentar a perda de vidas, estiveram precisamente associados a estas coincidências.

Para além de um conjunto de medidas óbvias e que já hoje fazem parte da actividade rotineira dos serviços de apoio ao saneamento básico (*e.g.* limpeza periódica de leitos de ribeiras, desentupimento de colectores e de tomadas de águas pluviais) e da adopção de instrumentos legais de interdição de ocupação de unidades territoriais em óbvia situação de vulnerabilidade (leitos de cheia, por exemplo), julga-se necessário avançar com as seguintes estratégias de adaptação:

- a) estender os trabalhos de prospectivação de evolução futura do fenómeno da sobrelevação meteorológica no quadro das alterações climáticas globais a todo o litoral nacional (continental e insular) multiplicando os locais de recolha de dados e mantendo uma rede de observação maregráfica mais densa, mais eficiente e permanente;
- b) executar os trabalhos necessários à obtenção de bases topográficas de alta resolução, com incidência particular na faixa altimétrica compreendida entre o Zero Hidrográfico e a curva de nível dos 10 m acima do nível médio do mar, informação esta que actualmente não existe;
- c) combinação dos resultados obtidos em a) com a informação cartográfica para se determinarem limites de inundação plausíveis associados a diferentes graus de probabilidade, possibilitando a detecção e a hierarquização de situações de vulnerabilidade ou risco de inundação que permitam fundamentar a intervenção caso a caso;
- d) estudar e implementar um sistema de alerta e prevenção semelhante ao que já hoje funciona sob tutela do Serviço Nacional de Protecção Civil no que respeita a temporais marítimos, através do acoplamento de previsão meteorológica com a informação determinista e já acessível, sobre níveis de maré. Partindo da informação maregráfica, será tarefa relativamente simples escalonar avisos em função da sobrelevação prevista pelos serviços de meteorologia na sua actividade de rotina;
- e) investir na informação e formação das populações que habitem ou frequentem áreas de risco.

No que respeita à evolução projectada pelos cenários futuros do regime de agitação e das suas consequências sobre o litoral nacional, é mais difícil avançar estratégias de âmbito global, dada a especificidade característica do litoral às solicitações das ondas do mar e às variações que o regime de

agitação experimenta de local para local, que se reflectem em balanços sedimentares também específicos.

Entre nós, as estratégias de adaptação à actividade erosiva do mar têm-se traduzido principalmente pela defesa da orla costeira através da construção de obras rígidas de engenharia. A alimentação artificial do litoral com areias tem sido tentada, é certo, com grau de sucesso variável em vários locais da costa, mas não existem estudos de adaptação que ultrapassem a escala da intervenção pontual ou incluam abordagem sistemática, completa, multidisciplinar e integrada de troços relativamente extensos da costa, analisando e comparando a relação custo/benefício consequente de opções de defesa rígidas, contra outras de alimentação e realimentação artificiais, ou retirada e realojamento de populações e infra-estruturas. A este respeito merecem realce duas excepções – a compilação editada por Carvalho *et al.* (1997) e o trabalho recente de Magalhães *et al.* (2004). Entre estes dois trabalhos, medeiavam quase 7 anos e a semente lançada em finais do século XX parece não ter tido desenvolvimentos substanciais posteriores nem cativado o interesse da tutela. De facto, é surpreendente verificar a escassez de incentivos e trabalhos dedicados a estas matérias num país em que, desde o início do século XX, a erosão costeira é reconhecida como um problema, tendo alcançado lugares de topo na escala das preocupações ambientais, económicas e sociais – de âmbito nacional – nos programas de sucessivos governos.

A definição de estratégias de adaptação face às modificações esperadas do clima de agitação marítima passa, para além de um conjunto de medidas genéricas já listadas em Santos *et al.* (2002), pelo investimento urgente e significativo em meios humanos e materiais, que permitam colmatar as deficiências nas bases de dados e no conhecimento científico sobre o litoral nacional e, principalmente, pelo investimento em estudos completos de âmbito regional, incorporando explicitamente cenários de resposta a alterações climáticas futuras, que transcendam a simples importação de metodologias desenvolvidas noutros países e sejam caracterizados por robustez e aplicabilidade específicas ao nosso território.

4.5 CONCLUSÕES

Os resultados do estudo da sobrelevação do nível do mar com base em dados de marégrafos indicam que ocorrem sobrelevações da ordem de 1 m ou mais junto à costa de Portugal, associados à passagem de depressões extensas e cavadas e que esses valores são mais facilmente alcançáveis em locais da costa NW (Leixões, Viana do Castelo, com relevância especial no primeiro caso) onde a configuração do litoral e dos fundos adjacentes potencia aqueles efeitos. No caso das estações localizadas a latitudes mais baixas (Cascais, Lagos)

os valores máximos de sobrelevação não excedem 0.5 m. No litoral de Portugal Continental os efeitos de sítio não são negligenciáveis e a importância atribuída em estudos recentes à sobrelevação como mecanismo forçador *per se* pode ter sido algo sobrestimada. Foi ainda desenvolvido e testado um método simplificado para cálculo da sobrelevação a partir de dados meteorológicos, que produz resultados fiáveis e demonstra que, para além da importância (reconhecida) da componente do vento normal à linha de costa, a componente tangencial é também um factor relevante na formação da sobrelevação junto à costa portuguesa, que importa investigar em mais pormenor.

Calcularam-se os valores de sobrelevação correspondentes a períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, para Viana do Castelo, Leixões, Cascais e Lagos. No caso em estudo, os valores de sobrelevação calculados para um período de retorno de 100 anos em qualquer das estações excedem em apenas 30-40 % os que caracterizam o intervalo de retorno de 5-10 anos.

Para os mesmos locais e períodos de retorno calcularam-se também os valores máximos do nível do mar, sob o efeito conjunto da maré de origem astronómica e da sobrelevação, concluindo-se que a probabilidade de ocorrência simultânea de uma sobrelevação muito intensa com uma preia-mar de águas vivas é reduzida. Daqui não se pode inferir que o risco associado a estas situações seja nulo ou negligenciável mas que serão mais prováveis situações de sobrelevação significativa associadas a outras fases e amplitudes de maré, substancialmente mais favoráveis do ponto de vista de minimização de impactos sobre o litoral.

Os dados disponíveis não permitiram concluir sobre a existência de qualquer tendência de longo prazo, crescente ou decrescente, na sobrelevação. Este resultado difere também do que tem sido reportado noutros locais do Globo, em que a consideração de cenários de alteração climática é acompanhada de prospectivas de incremento da intensidade e frequência de inundações costeiras, em consequência directa da sobrelevação.

O estudo da evolução futura do regime de agitação marítima indica que pode existir tendência para agravamento da intensidade dos temporais no horizonte temporal de finais do século XXI, com especial incidência no Verão e Inverno marítimos. Entre os impactos mais relevantes que este estudo indicou, ressalta a rotação em sentido horário do clima de agitação marítima, impacto que foi estudado em termos de consequências para um local específico da costa de Portugal Continental – o troço Espinho-cabo Mondego. Estima-se que o agravamento das condições de agitação e a rotação do rumo médio das ondas ao largo sejam significativamente

atenuados pelos efeitos de interferência com o fundo quando as ondas se propagam em direcção à costa. Junto a este litoral, a reorientação direcciona do rumo das ondas deverá ser apenas uma fracção pequena da que caracteriza o clima de agitação em águas profundas, e sugere-se mesmo que se esta rotação, ao largo, fosse mais extrema, teria consequências de sinal inverso no litoral. No estado actual dos conhecimentos, e considerando uma rotação ao largo de 5° a 15°, é razoável avançar uma previsão de agravamento da intensidade

dos processos erosivos desencadeada pela alteração futura do clima de agitação marítima que poderá exceder o ritmo actual em cerca de 15 a 25 %. No entanto, se a rotação do clima da agitação ao largo for mais extrema as consequências no litoral poderão ser menos acentuadas. Estes resultados e conclusões têm carácter localizado e não podem ser extrapolados para outros pontos do litoral, onde condicionantes específicas podem originar respostas diversas a solicitações da mesma índole e intensidade.

4.6 REFERÊNCIAS

- Ackers, P., T. D. Ruxton, 1975, Extreme Levels Arising from Meteorological Surges, Volume 1, Proceedings of the International Conference of Civil Engineering, pp. 69-86.
- Andrade, C., M. C. Freitas, C. Cachado, A. Cardoso, J. Monteiro, P. Brito, and L. Rebelo, 2002, Coastal Zones. In: Santos, E.D., K. Forbes and R. Moita, (eds.) Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures, Gradiva, Lisboa, pp. 173-219.
- Andrade, C., S. Teixeira, R. Reis e C. Freitas, 1996, The Record of Storminess of the Portuguese NW Coast in Newspaper Sources, Partnership in Coastal Zone Management, J. Taussik and J. Mitchell (eds.), Samara Publishing Limited, pp. 159 a 166.
- Bacon, S., D. J. T. Carter, 1991, Wave Climate Changes in the North Atlantic and North Sea, *Int. J. of Climatology* 11:545-568.
- Bouws, E. D. Jannink e G.J. Komen, 1996, The Increasing Wave Height in the North Atlantic Ocean, *Bulletin of the American Meteorological Society* 77: 2275-2277.
- Bruun, P., 1962, Sea Level Rise as a Cause of Shore Erosion, *Journal of Waterways and Harbors Division, American Society of Civil Engineers*, 88:117-130.
- Bruun, P., 1988, The Bruun Rule of Erosion by Sea Level Rise: a Discussion of Large-Scale Two and Three Dimensional Usages, *Journal of Coastal Research* 4:627-648.
- Bury, K. V., 1975, Statistical Models in Applied Science, Wiley, 624 pp.
- Cardone, V.J., J.G. Greenwood, Y. Kushnir, M.A. Cane, 1994, Link between North Atlantic Wave Climate and Circulation Exchanges, Proc. Conference on Air-sea Interaction, American Meteorological Society, Lisboa, Portugal.
- Carvalho, J., F. Veloso-Gomes e F. Taveira Pinto, 1997, Colectânea de ideias sobre a zona costeira de Portugal, Associação EURO-COAST-Portugal, INAG.
- CERC, 1984, Shore Protection Manual. U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi, Vols. 1,2.
- CNADS, 2001, Reflexão sobre o desenvolvimento sustentável da zona costeira. Grupo de trabalho especial sobre gestão integrada da zona costeira, Conselho Nacional do Ambiente e do Desenvolvimento Sustentável, Lisboa, Portugal.
- Cotton, P. D., P.G. Challenor, D.J.T. Carter, 1997, Analysis of Interannual Variability of Altimeter Measured Global Wave Climate, Proc. 3rd ERS Symposium, March 1997, Florence, Italy.
- Dias, J.A. and R. Taborda, 1992, Tidal Gauge Data in Deducing Secular Trends of Relative Sea Level and Crustal Movements in Portugal, *Journal of Coastal Research* 8:655-659.
- Ferreira, O., J. A. Dias, and R. Taborda, Implications of Sea-Level Rise for Portugal. *Journal of Coastal Research* (em publicação).
- Fisher, R. A., Tippet, L. H. C., 1928, Limiting form of the largest or smallest numbers of a sample. *Proc. Cambridge Philos. Soc.*, 24, 180-190.
- Flather, R.A., 1988, «Storm surge modelling», Course on Ocean Waves and Tides (26 Setember 28 October, Trieste, Italy. 25 pp (manuscrito).
- Gama, C., 1996, Caracterização do Fenómeno da Sobrelevação do Nível do Mar de Origem Meteorológica em Portugal Continental. Efeito Amplificador Deste Fenómeno Sobre as Variações Volumétricas de Sedimentos nas Praias da Comporta, S. Torpes, Odeceixe e Arrifana, Dissertação de Mestrado em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade de Lisboa, Portugal (não publicado).
- Gama, C., J. Dias, O. Ferreira and R. Taborda, 1994a, Analysis of storm surge in Portugal between June 1996 and May 1988, Proceedings Littoral'94, EUROCOAST, Lisboa, Portugal: 381-387.
- Gama, C., R. Taborda, J. Dias and O. Ferreira, 1994b, Return Periods of Extreme Sea Levels in Portugal, Proceedings 1st Symposium on the Iberian Atlantic Continental Margin 1:59-67.
- Gama, C., R. Taborda e J. Dias, 1995, Factores Condicionantes da Sobrelevação do Nível do Mar de Origem Meteorológica na Estação Maregráfica de Viana do Castelo, Memória n.º 4, Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Portugal: 189-193.
- Gama, C., R. Taborda e J. A. Dias, 1997, Sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica (storm surge) em Portugal continental, Colectânea de Ideias sobre a Zona Costeira de Portugal, pp.131-149, Porto.
- Gnedenko, 1943, Sur la distribution limite du terme maximum d'une série aléatoire. *Ann. Math.* 44, pp. 423-453.
- Godin, G., 1972, The Analysis of Tides, University of Toronto Press, Toronto, 264 pp.
- Goodwin, P. and G. Wright, 1991, Decisions Analysis for Management Judgement, New York, Wiley.
- Gordon, C., C. Cooper, C.A. Senior, H.T. Banks, J.M. Gregory, T.C. Johns, J.F.B. Mitchell, and R.A. Wood, 2000, The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre Coupled model without flux adjustments, *Climate Dyn.*, Vol. 16, pp. 147-168.
- Gumbel, E.J., 1958, Statistics of Extremes. Columbia University Press, New York, 375 pp.
- Hasselmann, S. e K. Hasselman, 1985, Computations and Parameterizations of the Nonlinear Energy Transfer in a Gravity-Wave Spectrum, Part II, Parameterization of the Nonlinear Energy Transfer for Application in Wave Models», *J. Phys. Ocean* 15: 1378-1391.
- INAG and CEHIDRO, 1999, Littoral Risk Maps – Scale 1:8,000. INAG - Water Institute - and CEHIDRO - Centre on Hydrosystems Studies of the Technical University of Lisbon, Lisbon, Portugal.
- INAG, 2004, SNIRLit- Sistema Nacional de Informação do Litoral. <http://mapas.inag.pt/Website/SnirLitHTML/viewer.htm>
- IPCC, 2001, Third Assessment Report – WG2 Technical Summary Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, 20-73.
- Komar, P., 1976, Beach processes and sedimentation. Prentice-Hall, New Jersey, 429 pp.
- Leatherman, S.P., R.J. Nicholls and K.C. Dennis, 1993, Aerial Videotape-Assisted Vulnerability Analysis: A Cost Effective Approach to Assess Sea-Level Rise Impacts, *Journal of Coastal Research Special Issue* 11:15-25.
- Longuet-Higgins, M.S. e R.W. Stewart, 1963, A Note on Wave Setup, *Journal of Marine Research* 21(1): 1-10.
- Magalhães, F., C. Ângelo, R. Taborda, Towards the adoption of adequate coastal protection strategies in Portugal. *Thalassas*, (em impressão).
- Monteiro, J. H. and S. M. Lebreiro, 1991, Praias Versus Estabilização da Linha de Costa, do Minho ao Guadiana. Seminário sobre Erosão e Protecção Costeira, Instituto Superior Técnico.
- Morais, C. C. e Abecassis, 1978, Storm surge effects at Leixões, Memória N.º 503, INEC, Lisboa, 23 pp.
- Neu, H.J.A., 1984, Interannual Variations and Longer-term Changes in the Sea State of the North Atlantic from 1970 to 1982, *J. of Geoph. Res.*, Vol. 89, pp. 6397-6402.
- Oliveira Pires, H., 1993, Modelação Numérica das Ondas Geradas pelo Vento, Tese de doutoramento, IST, 222 pp.
- Papoulis, A., 1991, Probability, Random Variables and Stochastic Processes, McGraw-Hill, 666 pp.
- Pires, H. and L. Pessanha, 1986, Wave Power Climate of Portugal, Proceedings of IUTAM Symposium on Hydrodynamics of Ocean Wave Energy Utilization: 157-167.

- Pugh, D. T., 1987, Tides, surges and mean sea-level: a handbook for engineers and scientists, Wiley, Chichester, 472 pp.
- Pugh D. T., J. M., Vassie, 1981, Applications of the joint probability method for extreme sea level computations. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 9, 361-372
- Ribeiro, A., M. Antunes, M. Ferreira, R. Rocha, A. Soares, G. Zbyszewski, F. Almeida, D. Carvalho and J. Monteiro, 1979, Introduction a la Geologie Generale du Portugal, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, Portugal.
- Schmidt H. E von Storch, H., 1993, German Bight Storms Analysed, *Nature* 365: 791.
- SIAM, Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project, 2002, E.D. Santos, K. Forbes and R. Moita (eds.), Gradiva, Lisboa (www.siam.fc.ul.pt).
- Taborda, R. e J. M. A. Dias, 1992, Análise da sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica durante os temporais de Fevereiro/Março de 1978 e Dezembro de 1981, *Geonovas N.º* 1, *da Geologia e o Ambiente*, 89-97.
- Tawn, J. A. e J. M., Vassie, 1989, Extreme sea levels: the joint probabilities method revisited and revised. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, part 2, 7, Sept., pp. 429-442.
- Von Mises, R., 1936, La distribution de la plus grande de n valeurs, American Mathematical Society, Providence. Selected papers of Richard von Mises, 2, pp. 271-294.
- Walden A. T., P. Prescott and N.B., Webber, 1982, An alternative approach to the joint probability method for extreme sea level computations, *Coastal Engineering*, pp. 71-82.
- WASA, 1996, The WASA Project: Changing Storm and Wave Climate In the North-East Atlantic and Adjacent Seas, GKSS/E/61 16 pp.
- WMO N.º 500, 1978, Present Techniques of Tropical Storm Surge Prediction. Reports on Marine Science Affairs, Report N.º 13, 87 pp.

5

Agricultura

Pedro Aguiar Pinto (Coordenador)
Instituto Superior de Agronomia

Ricardo Braga
Escola Superior Agrária de Elvas

Ana Paiva Brandão
Instituto Superior de Agronomia

ÍNDICE

SUMÁRIO EXECUTIVO	211
EXECUTIVE SUMMARY	212
5. AGRICULTURA	213
5.1 INTRODUÇÃO	213
5.1.1 Sumário das Conclusões do Estudo SIAM I	213
5.2 METODOLOGIA	213
5.2.1 Culturas Seleccionadas	214
5.2.2 Validação e Calibração dos Modelos Utilizados	214
5.2.3 Dados Climáticos e Edáficos	214
5.2.4 Desenvolvimento de Aplicação para Representação dos Resultados	216
5.3 IMPACTOS	216
5.3.1 Breve Caracterização Agrícola das Regiões	216
5.3.2 Descrição dos Impactos Identificados.....	218
5.3.2.1 Norte	219
5.3.2.2 Centro	219
5.3.2.3 Lisboa e Vale do Tejo	227
5.3.2.4 Alentejo	227
5.3.2.5 Algarve	227
5.3.2.6 Portugal Continental	228
5.4 DISCUSSÃO	228
5.5 CONCLUSÕES	229
5.6 REFERÊNCIAS	230

SUMÁRIO EXECUTIVO

A segunda fase do Projecto SIAM (SIAM II) representa um prolongamento e aprofundamento dos trabalhos iniciados na primeira parte do referido projecto. A metodologia seguida é idêntica, embora nesta segunda fase o estudo seja geograficamente mais abrangente, mais exaustivo e minucioso. No Projecto SIAM II fez-se uma análise potencial, a nível nacional, dos impactos em quatro culturas (trigo, milho, arroz, e pastagens e forragens), enquanto no SIAM I apenas se fez uma avaliação dos impactos das alterações climáticas na cultura do trigo e milho, na região de Beja e de Santarém, respectivamente. Utilizou-se a versão dois e três do modelo regional climático HadRM, do Hadley Centre.

O resultado final deste estudo é que no futuro, à excepção das pastagens e forragens, todas as culturas sofrerão uma diminuição de produtividade. Em geral, quando há decréscimos de produção estes são menores no cenário B2 do que no cenário A2 do modelo HadRM3. As versões dois e três do modelo climático HadRM caracterizam de forma diferente a situação de controlo. Por esta razão, a produtividade obtida nas condições actuais depende da versão considerada. Tal facto dificulta a comparação de resultados, sendo mais interessante avaliar apenas as variações entre a produtividade actual e futura obtida com os dados da mesma versão do modelo climático do que fazer uma análise comparativa entre as duas versões.

As medidas de adaptação irão ter que surgir obrigatoriamente num contexto de alteração climática em que se prevê uma redução da produtividade das culturas de trigo, milho e arroz. Estas medidas serão adoptadas com o objectivo de reduzir os impactos negativos e de potenciar os resultados positivos.

EXECUTIVE SUMMARY

Project SIAM's second phase (SIAM II) is the continuation of the work that begun in the project's first phase. SIAM II intends to deepen the work that was completed in 2002. The methodology used in SIAM II is similar to SIAM I. Nevertheless, in SIAM II, the study includes all the regions of Continental Portugal and is more detailed. In the first phase of this project, only two crops (wheat and maize) and two specific locations (Beja and Santarém) were assessed. In SIAM II, the potential impacts on four crops (wheat, maize, rice and pastures) were analysed, at a national level. Versions two and three of Hadley Centre's climatic model HadRM were used.

The final balance is that in future, with the exception of pastures, all the other crops showed a yield decrease, with the data generated by the two versions of HadRM. In general, the decrease that occurs in scenario B2 is smaller than in scenario A2 of HadRM3. The two versions of the HadRM model define the control situation by different patterns. Therefore, crop yields depend on the version that is used, making it difficult to compare results. It is, therefore, advisable to analyse yield variations, between present and future conditions, obtained with the same version of the model.

Adaptation measures are required to counteract the decreases in the yield of wheat, maize and rice crops. These measures are necessary to minimize the negative impacts of climate change and, in some instances, to maximize positive opportunities.

5. Agricultura

Pedro Aguiar Pinto, Ricardo Braga, Ana Paiva Brandão

5.1 INTRODUÇÃO

A agricultura constitui uma das actividades mais directamente afectadas pelas condições climáticas. Num clima mediterrânico, caracterizado por importante variabilidade interanual das condições meteorológicas, os agricultores têm frequentemente de tomar decisões de adaptação, em resposta a alterações da disponibilidade de água, a uma evolução desfavorável da temperatura ou à ocorrência de situações meteorológicas extremas. Assim, é de esperar que, num cenário de mudança climática em que se esperam mudanças significativas quer da temperatura quer da precipitação, os impactos na agricultura se possam tornar extremamente significativos.

Neste trabalho, prosseguem-se estudos iniciados no âmbito do Projecto SIAM (Pinto *et al.*, 2002), utilizando-se uma metodologia quantitativa de avaliação dos impactos da mudança climática, baseada em modelos de cálculo da produtividade. O trigo, milho, arroz, e pastagens e forragens foram as culturas escolhidas para este estudo, dada a sua importância para as actividades agrícolas em Portugal Continental. Para o cálculo das produtividades potenciais dessas culturas recorreu-se a um conjunto de modelos representativos do estado da arte em modelação agronómica, sendo estes modelos forçados com os dados climáticos actualmente disponíveis à escala regional para Portugal Continental, correspondentes a três cenários de mudança climática, simulados por dois modelos regionais de clima.

5.1.1 Sumário das Conclusões do Estudo SIAM I

O Projecto SIAM I teve como objectivo a estimativa do efeito das alterações climáticas no desempenho agronómico das culturas de trigo e milho (Pinto *et al.*, 2002). A avaliação dos impactos das alterações climáticas na produtividade das culturas agrícolas escolhidas baseou-se no uso de modelos de simulação da aplicação DSSAT 3.5 (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) (Jones *et al.*, 1998). Os dados climáticos diários utilizados, relativos às situações actual e futura, foram gerados pelo modelo do Hadley Centre, HadRM2 (Jones *et al.*, 1995 e 1997). Dado tratar-se de um estudo exploratório, foram escolhidas apenas duas regiões representativas das culturas agrícolas em análise. Os dados edáficos foram obtidos a partir de dois tipos de solo caracte-

rísticos das zonas em estudo - litossolos e fluvisolos para a região do Alentejo e do Ribatejo, respectivamente. Os efeitos climáticos da duplicação da concentração de CO₂, estimados pelo modelo climático, constituíram dados de entrada dos modelos de simulação das culturas (Pinto *et al.*, 2002).

Na avaliação da cultura do trigo utilizou-se o modelo CERES-Wheat (Jones *et al.*, 1998) que foi validado para a região do Alentejo com dados estatísticos de produção para o período de 1986-1998, da Direcção Regional do Alentejo (Pinto *et al.*, 2002). Para o período de 2080-2099, numa localização situada a 38° 16' N e 7° 52' W, perto de Beja, o modelo CERES-Wheat indicou um decréscimo de 25 % da produtividade. Para avaliar os impactos na cultura do milho recorreu-se ao modelo CERES-Maize (Jones *et al.*, 1998) validado para a região do Ribatejo com dados estatísticos de produção da Direcção Regional do Ribatejo e Oeste, para o período de 1986-1994 (Pinto *et al.*, 2002). O modelo simulou uma redução da produtividade de milho na ordem de 29 %.

Como foi mostrado em Pinto *et al.* (2002), a produtividade depende não só de factores climáticos e edáficos como das práticas culturais, sendo possível reduzir os impactos negativos da mudança climática por intermédio de medidas de adaptação. Algumas medidas são práticas comuns da actividade agrícola na actualidade. Os agricultores escolhem as culturas melhor adaptadas a um determinado local e ajustam as datas de sementeira às condições climáticas características da zona em causa, incluindo as variações anuais. Num cenário climático futuro, que se antevê mais quente e seco, será necessário escolher as datas de sementeira e as cultivares de forma a reduzir o stress hídrico, seleccionar culturas melhor adaptadas a temperaturas mais elevadas ou mais resistentes ao stress hídrico. Por outro lado, o facto de se prevenir Invernos mais amenos irá permitir a introdução de culturas hortícolas em regiões onde tal não é possível actualmente.

5.2 METODOLOGIA

No presente trabalho, utiliza-se uma metodologia semelhante à descrita em Pinto *et al.*, (2002) com quatro alterações importantes. Em primeiro lugar, o trabalho refere-se à totalidade do território de Portugal Continental, utilizando mapas da distribuição climática e das características (edáficas) do solo. Em segundo lugar, recorre-se a uma versão

mais actualizada das aplicações agronómicas, na forma da versão 4.0 da colecção DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer, Hoogenboom *et al.*, 2004; Jones *et al.*, 2003). Em terceiro lugar, o cálculo dos impactos abrange um número maior de culturas. Finalmente, utilizam-se três cenários de mudança climática, gerados por dois modelos regionais.

O trigo, milho, arroz, e pastagens e forragens foram as culturas escolhidas para a avaliação dos impactos das alterações climáticas. O alargamento geográfico exigiu a recolha de dados analíticos das principais manchas de solos existentes no Continente português, tendo como ponto de partida a carta de solos do Atlas do Ambiente (escala de 1:1 000 000, Direcção-Geral de Ambiente, 1971). De forma a resolver o problema da inexistência de alguns dados analíticos de determinados perfis de solo desenvolveram-se funções de pedotransferência (PTF's). Estas relações consistem em regressões lineares múltiplas capazes de estimar determinados parâmetros de solo a partir de outros que sejam conhecidos (Pinto *et al.*, 2003).

Os dados climáticos diários utilizados foram gerados pelo modelo regional HadRM (versões 2 e 3) do Hadley Centre (Jones *et al.*, 1995 e 1997; Hulme *et al.*, 2002). Ambas as versões deste modelo definem uma situação de controlo, que procura reproduzir as condições climáticas actuais, e situações futuras. Neste trabalho, a validação e calibração dos modelos agronómicos, em vez de terem sido efectuadas a partir de dados estatísticos de produtividades históricas regionais, foram baseadas em dados experimentais, mais fidedignos.

5.2.1 Culturas Seleccionadas

Às culturas em análise no SIAM I (trigo e milho) acrescentaram-se a cultura de arroz e as pastagens e forragens. O arroz foi incluído porque apresenta especificidades únicas no seu cultivo (rega por alagamento) e porque Portugal é um dos cinco países produtores da União Europeia (Faure *et al.*, 1995). O arroz é semeado entre os 53° N a nordeste da China e os 35° S em Nova Gales do Sul, Austrália. Os principais factores ambientais que limitam a sua produção são a temperatura e a disponibilidade de água (Ozawa, 1964). Em Portugal, as zonas produtoras estão localizadas entre o vale do Sado, a sul, e o vale do Vouga, a norte. Considerando que para a cultura ser rentável a produtividade deverá ser superior a 5 t/ha, o limite térmico está definido ligeiramente a norte dos «campos» do Ribatejo (Feio, 1991).

Ao analisar a área de ocupação das principais culturas na superfície agrícola útil (SAU) achou-se importante conside-

rar as pastagens e forragens neste estudo. Em 1999, as pastagens permanentes representavam cerca de 34 % da SAU do Continente (INE, 2001).

5.2.2 Validação e Calibração dos Modelos Utilizados

Para os cereais (trigo, milho e arroz) os modelos utilizados pertencem à família CERES (CERES-Wheat, Maize e Rice), enquanto que o modelo CROPGRO foi o escolhido para a simulação das pastagens e forragens (Jones *et al.*, 2003). Todos estes modelos pertencem à colecção DSSAT 4.0, versão beta (Hoogenboom *et al.*, 2004).

Quando se recorre ao uso de modelos de simulação para um determinado local é imperativa a sua prévia calibração e validação. A calibração exige o ajuste de parâmetros do modelo de forma a adaptá-lo a situações específicas. Por sua vez, a validação consiste em aplicar o modelo a dados independentes sem alterar parâmetros e verificar se o seu comportamento se ajusta à realidade (Hoogenboom *et al.*, 1999).

A calibração e a validação dos modelos exigiram a disponibilidade de dados experimentais de ensaios de pelo menos 5 anos. Os dados necessários para estes processos são as datas de sementeira, floração e maturação, o peso de 1000 grãos (g), a produtividade (kg/ha) e o número de grãos por unidade de área. A informação relativa ao itinerário técnico das culturas (ex: tipo de sementeira, distância entre linhas, fertilização) também deverá ser disponibilizada, tal como a descrição dos solos dos campos de ensaios e os respectivos dados climáticos.

A maior parte destes dados foram fornecidos por organismos do Ministério da Agricultura – Estação Nacional de Melhoramento de Plantas, Direcção-Geral de Protecção de Culturas e Direcção Regional de Agricultura da Beira Litoral. Depois de organizados os dados experimentais, a calibração foi efectuada com o auxílio de uma aplicação do DSSAT (Statistical Evaluation) que compara os resultados de campo com os resultados obtidos pela simulação que está a ser calibrada. Uma vez calibrados, os modelos foram validados para Portugal Continental. Após a calibração os modelos ficaram aptos a simular as produtividades reais com um erro médio inferior a 20 %.

5.2.3 Dados Climáticos e Edáficos

Tal como anteriormente referido, os dados climáticos utilizados foram gerados pelo modelo HadRM, versões 2 e 3 (Jones *et al.*, 1995 e 1997; Hulme *et al.*, 2002). Este modelo regional gera dados climáticos que reproduzem as condições actuais

(controlo) e as condições futuras (série futura). Os dados da situação de controlo referem-se ao período de 1961-1990. A série futura foi gerada no caso do HadRM2 para o intervalo entre 2080 e 2098, e entre 2071 e 2100 para o HadRM3. Os dados climáticos que os modelos da aplicação DSSAT necessitam são dados diários de temperatura máxima e mínima (°C), precipitação (mm) e de radiação (MJ/m²/dia).

Para o modelo HadRM3 foram definidos vários cenários (cenários SRES), para a situação actual e futura, de acordo com o nível de emissão de gases de efeito de estufa. Para as condições actuais optou-se pelo cenário A2, todavia no futuro os cenários escolhidos foram o A2 e B2. Um estudo de impacto deve incluir a utilização de dados climáticos referentes aos diferentes cenários plausíveis (Wigley, 1987).

Este modelo climático produz dados climáticos associados a uma série de pontos distribuídos pelo país – grelha do modelo. Para que todo o país fosse coberto por estes cenários considerou-se que cada ponto desta malha teria uma área de influência. Os pontos considerados são pontos de terra, tendo sido excluídos todos os pontos cuja altitude fosse igual a 0 m (pontos de mar). Deste modo, estabeleceu-se para Portugal Continental uma malha de polígonos cujo ponto central é um ponto da grelha do modelo climático (polígonos de Thyssen). Esta foi uma das metodologias seguidas no Projecto CLIVARA (Downing *et al.*, 2000).

Os dados analíticos referentes aos solos são fundamentais para a execução das simulações com os modelos escolhidos. No entanto, a cartografia dos solos do Continente português está ainda incompleta e aquela que existe não é homogênea no que diz respeito à escala com que foi elaborada, ao método de recolha e de análise das amostras e à classificação utilizada. Assim, quando se pretende fazer um estudo a nível nacional as dificuldades surgem na obtenção da informação para todo o território, sobretudo para a região Centro, no que diz respeito às características físico-químicas dos solos. A indisponibilidade de dados de difícil determinação em análises de rotina, como as propriedades hidráulicas do solo, é outra dificuldade por vezes encontrada.

A partir da carta de solos do Atlas do Ambiente à escala de 1:1 000 000 (Direcção-Geral do Ambiente, 1971) procedeu-se à reclassificação das manchas constantes na carta, de acordo com as classificações dominantes nas cartas de solos de maior escala para as zonas correspondentes (cartas de solos do sul do Tejo, da região de Trás-os-Montes e da zona de Entre Douro e Minho). Cobriu-se assim cerca de 80 % da área do Continente português, com garantia de que a informação associada às manchas se baseia em dados recolhidos no terreno, tendo associada a descrição de um perfil e os dados das análises feitas às amostras colhidas.

Para as zonas não cobertas por cartas de escala maior optou-se por dois métodos distintos. Em primeiro lugar compararam-se as manchas geograficamente mais próximas, com igual classificação na carta do Atlas do Ambiente (1:1 000 000) para as quais já tenha sido encontrada correspondência com cartas mais detalhadas, de maior escala. De seguida, comparou-se a base litológica sobre a qual se desenvolveram os solos da carta do Atlas do Ambiente e as correspondentes manchas das cartas mais detalhadas. Caso a base litológica das duas manchas comparadas fosse idêntica, a correspondência com cartas mais detalhadas foi estendida às manchas em causa. No caso da inexistência de correspondência entre manchas, optou-se pelo segundo método. Neste segundo método, estendeu-se a informação das manchas geograficamente mais próximas e cuja classificação original e litológica fosse a mais próxima possível. Este procedimento foi aplicado a cerca de 5 % da área total.

As cartas de solos existentes de escala 1:50 000 e 1:100 000 têm anexa uma memória descritiva com a caracterização físico-química dos perfis de solo abertos. Contudo, apesar de existirem dados analíticos característicos da maior parte dos solos, muitas vezes a informação não está completa. A informação em falta é geralmente relativa à capacidade máxima para a água (CM), à retenção de água a pF de 2,0 (assumida como capacidade de campo – CC) e a pF de 4,2 (assumido como coeficiente de emurchecimento – CE), e à condutividade hidráulica no estado de saturação (COND). Para a estimação destes valores em falta recorreu-se a regressões múltiplas construídas a partir dos valores disponíveis, conhecidas como funções de pedotransferência (PTF's).

Após consulta bibliográfica, decidiu-se determinar novas regressões em vez de utilizar regressões já definidas por outros autores. Esta opção baseou-se essencialmente na especificidade dos solos de Portugal e nas fracas correlações obtidas entre os valores observados e previstos através de equações já existentes (Saxton *et al.*, 1986; Gonçalves *et al.*, 1997; Wösten *et al.*, 2001).

Como o número de variáveis independentes disponíveis para a determinação das variáveis dependentes é variável, a construção de diferentes equações consoante a disponibilidade dos dados tornou-se necessária. A raiz da média dos erros quadrados (RMSE) e o coeficiente de determinação foram os estimadores do erro entre dados observados e dados estimados pelas PTF's. Os valores da RMSE obtidos para as equações mais simples (com menor número de variáveis independentes) foram de 6,9 % (CM), 8,7 % (CC), 3,6 % (CE), 13,5 cm.h⁻¹ (COND).

Toda esta informação foi organizada numa base de dados e foi georreferenciada. O resultado final é uma carta de solos

à escala de 1:1 000 000 em formato digital georreferenciada (Figura 5.1), na qual a cada mancha de solo corresponde um conjunto completo de dados físico-químicos. Em todo este processo é preciso ter consciência, entre outros, dos erros associados à informação de base (carta de 1:1 000 000), à extrapolação da classificação e correspondente caracterização quantitativa das manchas do Centro do país e dos parâmetros calculados pelas PTF's. No entanto os resultados obtidos podem ser considerados úteis à escala de 1:1 000 000, para certas aplicações (Pinto *et al.*, 2003).

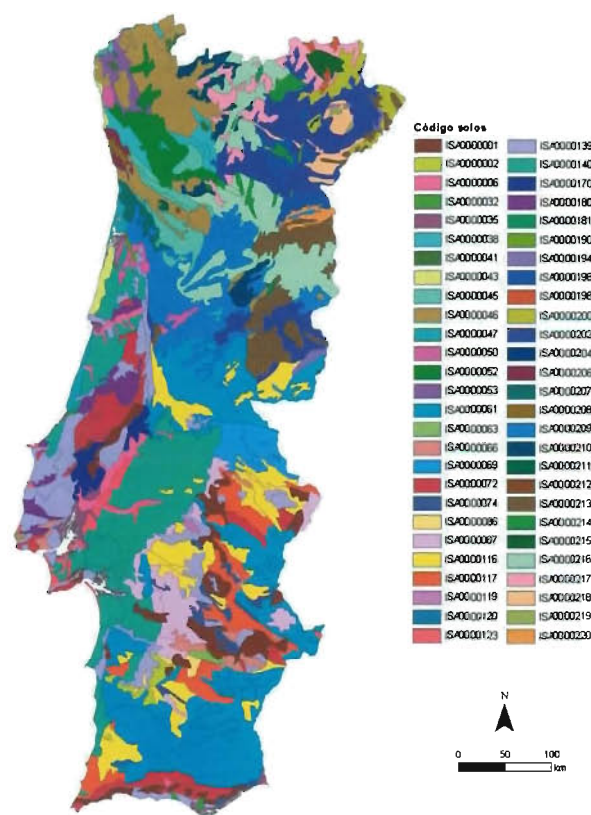


Figura 5.1 – Solos do Continente (Pinto *et al.*, 2003).

5.2.4 Desenvolvimento de Aplicação para Representação dos Resultados

Como resultado das simulações efectuadas com modelos da aplicação DSSAT obtêm-se inúmeras variáveis de saída passíveis de serem analisadas. Destas variáveis são de referir as referentes ao desenvolvimento fenológico da cultura (ex: duração do ciclo de crescimento, data de floração), ao crescimento fisiológico (ex: índice de área foliar, número de grãos, produtividade), ao ciclo de azoto (ex: azoto utilizado, *stress* de

azoto da planta durante o ciclo vegetativo) e às necessidades hídricas.

Dada a complexidade, quer em número quer em diversidade, dos ficheiros de saída foi necessário automatizar a sua análise. Para isso, foi desenvolvida uma aplicação capaz de introduzir automaticamente a informação dos ficheiros de saída dos modelos numa base de dados. A informação disponível na base de dados é susceptível de ser imediatamente visualizada num sistema de informação geográfica (SIG). Assim, os resultados das simulações são rapidamente visualizados e georreferenciados permitindo uma apreciação dos resultados por unidade geográfica considerada (ex: regiões NUTS II) (Figura 5.2).

5.3 IMPACTOS

A produtividade é apenas um dos resultados de saída dos modelos de simulação de culturas, sendo o de mais fácil avaliação num estudo de impacto. Assim, a avaliação dos impactos consistiu na determinação da variação relativa (percentual) da produtividade entre as condições actuais (controlo) e os cenários de mudança climática. Para facilitar a análise, o estudo dos impactos a que as quatro culturas escolhidas irão estar sujeitas num cenário de alteração climática foi agregado para as regiões NUTS II – Norte, Centro, Lisboa e Vale do Tejo (LVT), Alentejo e Algarve.

As produtividades simuladas pelos modelos são potenciais, essencialmente dependentes das condições climáticas e das características dos solos. As produtividades não reflectem integralmente a situação real, uma vez que não foram considerados vários factores que condicionam a produção, nomeadamente a dimensão da propriedade, o declive do terreno, pragas e doenças, infestantes, e a disponibilidade de água de rega.

Na Tabela 5.1 estão indicados, por cultura, os principais parâmetros do itinerário técnico das simulações definidas. As decisões técnicas consideradas foram idênticas para as condições climáticas actuais e futuras. Desta forma, as diferenças obtidas na produtividade, entre a situação actual e futura, serão atribuídas à alteração climática e aos aumentos da concentração de gases de efeito de estufa.

5.3.1 Breve Caracterização Agrícola das Regiões

A Figura 5.3 apresenta estimativas, baseadas no INE (2001, 2003), das áreas agrícolas de 14 culturas nas regiões de Portugal Continental.

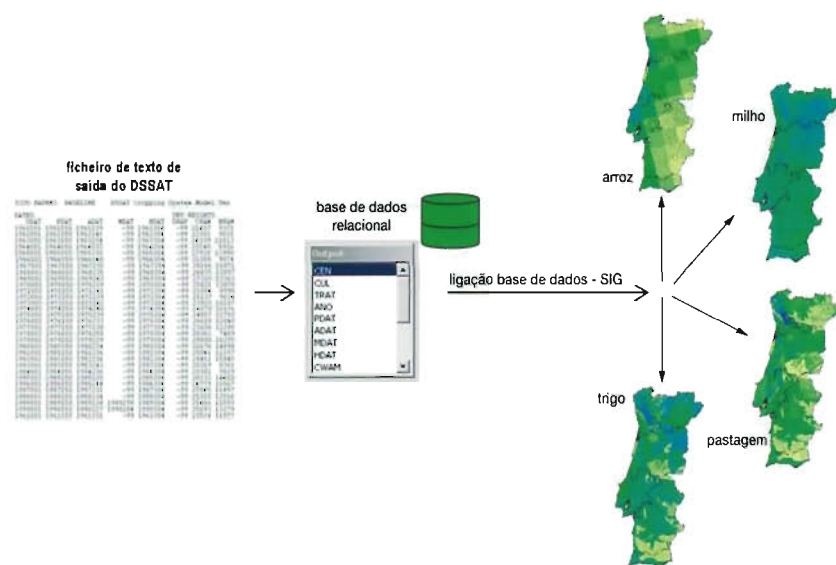


Figura 5.2 - Processo de representação dos resultados do modelo DSSAT (ficheiros de texto) num SIG

duas zonas importantes de produção de vinho – a região dos vinhos verdes e a região dos vinhos do Douro.

A Beira Litoral e a Beira Interior estão incluídas na região Centro. Em relação à estrutura fundiária, apesar de 84 % do número de explorações ter área inferior a 5 ha, as explorações de área superior a 50 ha concentram 35 % da área da SAU da região em causa (INE, 1999). Os prados temporários e as culturas forrageiras são as culturas temporárias que ocupam uma maior área. O milho é o cereal mais semeado nesta zona. Em relação às culturas permanentes, o olival apresenta uma área superior à da vinha. A Beira Interior concentra aproximadamente 77 % da área total de olival da região Centro (INE, 2001).

Tabela 5.1 – Práticas culturais definidas para as simulações das diferentes culturas (trigo, milho, arroz e pastagens e forragens)

		TRIGO	MILHO	ARROZ	PASTAGENS e FORRAGENS
Sementeira	Variedade	Anza	Pioneer 345	Aricete	Billion
	Data sementeira	15 Novembro	30 Abril	6 Maio	1 Novembro
	Data de emergência	25 Novembro	10 Maio	16 Maio	11 Novembro
	Densidade sementeira	444 sementes/m ²	8,5 sementes/m ²	700 sementes/m ²	300 sementes/m ²
Adubação	Valor cultural	85%	95%	70%	90%
	Total azoto aplicado	160 kg/ha	automático	automático	80 kg/ha
	Total fósforo aplicado	60 kg/ha	automático	automático	72 kg/ha
	Total potássio aplicado	40 kg/ha	automático	automático	60 kg/ha
Rega	Profundidade preenchida à capacidade campo		40 cm	30 cm	
	Método		aspersão	alagamento	
Data de colheita		à maturação	à maturação	à maturação	30 Junho

A região Norte engloba a região de Entre Douro e Minho e a região de Trás-os-Montes. A área média das explorações cifra-se nos 5 ha. As explorações de pequena dimensão (de área inferior a 5 ha) representam aproximadamente 75 % do número total de explorações desta região NUTS II. Cerca de 19 % da área da superfície agrícola útil (SAU) continental pertence à região do Norte (INE, 1999). As culturas temporárias de maior relevância nesta região são os prados temporários e culturas forrageiras, e a cultura do milho. A vinha apresenta uma área superior à do olival. Nesta região são de destacar

Na região de Lisboa e Vale do Tejo (LVT) as explorações de área inferior a 5 ha representam 77 % do número total de explorações. Por outro lado, 48 % da SAU da região concentra-se em explorações de área superior a 50 ha. A área média das explorações é de 7,7 ha (INE, 1999). Ao analisar a área de ocupação das principais culturas, verifica-se que os prados temporários e as culturas forrageiras são as mais importantes. O milho destaca-se do conjunto dos cereais. Nesta região a batata e o tomate para indústria ocupam cerca de 9000 ha. A área de vinha é superior à área de olival.

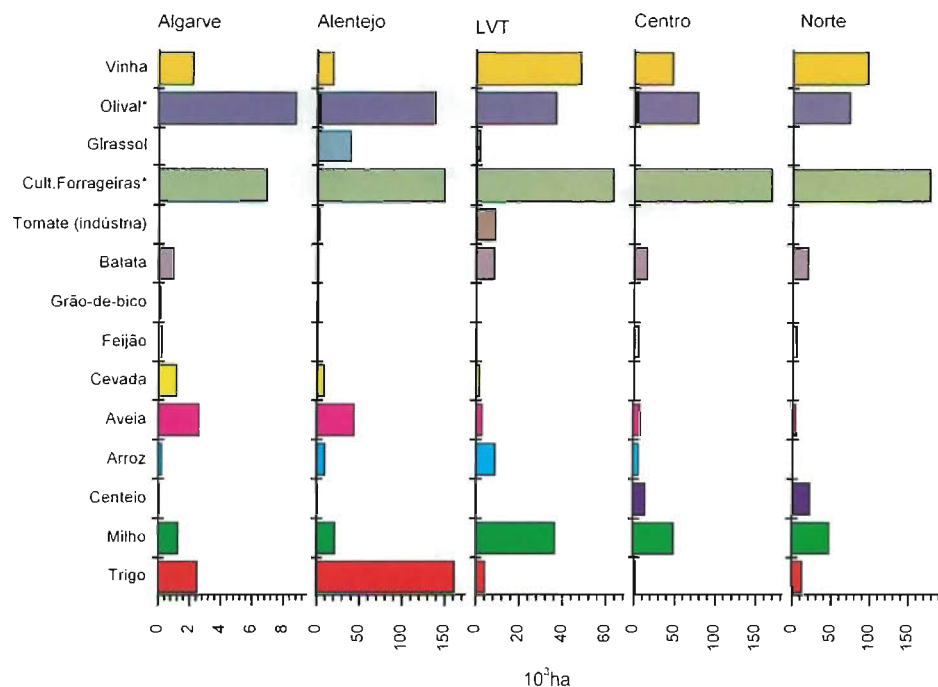


Figura 5.3 – Área de ocupação das principais culturas temporárias, de vinha e de olival (INE, 2003, e INE, 2001).

* Área prados temporários e culturas forrageiras e de olival do Recenseamento Geral Agrícola de 1999 (INE, 2001)

Em 1997, a região do Alentejo representava cerca de 47 % da SAU do Continente. Quanto ao número de explorações totalizava 34 413, o que correspondia a 9 % das explorações do Continente (INE, 1999). Nesta região, a cultura do trigo, prados temporários e culturas forrageiras, o milho, a aveia, o arroz e o girassol são as culturas temporárias que ocupam uma maior área. O olival ocupa uma área superior à da vinha.

No Algarve, 80 % das explorações pertencem às classes de área de 1 a 5 ha e de 5 a 20 ha. Estas explorações representam 51 % da área da SAU regional (INE, 1999). Esta região é a mais pequena das regiões consideradas, incluindo apenas 3,5 % da SAU continental (INE, 1999). Por esta razão, é nesta região que se verificam os valores absolutos de áreas de ocupação por cultura mais baixos. Os prados temporários e as culturas forrageiras são as culturas temporárias de maior área. Entre os cereais destacam-se o trigo e a aveia. Tal como no Alentejo, o olival apresenta uma área superior à da vinha.

5.3.2 Descrição dos Impactos Identificados

As produtividades regionais (NUTS II) obtidas com os dados climáticos dos modelos HadRM2 e HadRM3 encontram-se representadas nas figuras seguintes.

Como anteriormente mencionado, para o modelo HadRM3 utilizaram-se os dados do cenário A2, para a situação actual, e dados do cenário A2 e B2 para a situação futura.

Para além dos resultados finais de produtividade são apresentados mapas das diferenças percentuais de produtividade entre a situação de controlo e a situação futura, tal como histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade. As variações percentuais, para a versão mais recente dos dados climáticos, correspondem às diferenças entre resultados do cenário A2 controlo e cenário A2 futuro (identificado nas Figuras e na Tabela 5.2 – como RM3 A2), e cenário A2 controlo e cenário B2 futuro (identificado nas Figuras e na Tabela 5.2 – como RM3 B2).

Os resultados são apresentados por cultura, organizados segundo a seguinte ordem: trigo, milho, arroz, e pastagens e forragens. As pastagens e forragens estão identificadas simplesmente por pastagem. Tendo como ponto de partida os mapas nacionais com a identificação das regiões, estes serão posteriormente comentados por região NUTS II (Norte, Centro, Lisboa e Vale do Tejo, Alentejo e Algarve).

A Tabela 5.2 agrega os resultados descritos nas figuras anteriores, apresentando valores médios da produtividade simulada para as diferentes culturas, nas diferentes regiões. A partir da produtividade média simulada em cada mancha

de solo (x_i , correspondente a uma área A_i), calculou-se a média regional \bar{X}_r e o desvio-padrão da produtividade (σ), utilizando os dados HadRM2 e HadRM3, nas situações actual e futura.

$$\bar{X}_r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (5-1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{X}_r^2}{(n-1)}} \quad (5-2)$$

5.3.2.1 Norte

O trigo não constitui uma cultura muito habitual na região Norte do país, representando aproximadamente 15 000 ha da SAU da região (INE, 1999, e INE, 2003). Por observação dos mapas de resultados conseguem distinguir-se zonas potencialmente mais produtivas do que outras. A produtividade potencial ultrapassa os 1000 kg/ha em praticamente todos os locais. Ao avaliar as diferenças de produtividade entre os cenários actual e futuro, verifica-se que praticamente toda a área da região Norte sofre um decréscimo de produtividade com os dados do modelo climático HadRM2 (cenário IS92a) (Figura 5.4c,d). Com os dados do HadRM3, cenário A2, embora existam situações pontuais de aumento de produtividade verifica-se uma tendência para a diminuição da produtividade (-5 %) (Tabela 5.2, Figuras 5.11, 5.12 e 5.5 c,d). No caso do cenário HadRM3-B2 verifica-se um aumento muito ligeiro (1 %) da produtividade média (Figura 5.6c).

Tal como já foi referido, o milho é o cereal de maior importância na região Norte. Nas simulações da produtividade deste cereal observam-se diferenças drásticas entre os modelos HadRM2 e HadRM3, quer na situação de controlo quer nos cenários de mudança climática. Nos cenários, as variações de produtividade média para esta região encontram-se entre os +64 % (HadRM2-IS92a) e os -24 % (HadRM3-A2). No entanto, é preciso salientar que a maior parte dessas diferenças resultam dos diferentes climas simulados na situação de controlo. De facto, a produtividade actual obtida com o modelo HadRM2 é muito inferior à obtida com o modelo HadRM3. O modelo HadRM3 estima para as condições actuais temperaturas mais elevadas no Verão e menos precipitação que a versão 2 do modelo climático. Esta diferença das produtividades de base é a justificação das diferentes tendências calculadas entre o presente e o futuro, uma vez que os mapas futuros são semelhantes (Figuras 5.7, 5.8 e 5.9).

O arroz é uma cultura inexistente no Norte do país, pelo que os resultados apresentados são pouco relevantes. Nas simulações de controlo observam-se, para a região Norte, grandes diferenças entre as produtividades simuladas com dados HadRM2 e HadRM3. Estas diferenças implicam diferenças qualitativas nos cenários futuros, com grande aumento da produtividade potencial do arroz no cenário HadRM2-IS92a e substancial redução nos outros dois cenários, especialmente no cenário A2 (Tabela 5.2, Figuras 5.10, 5.11 e 5.12).

As pastagens e forragens apresentam uma gradação do valor da produtividade do Minho para Trás-os-Montes, registando o Minho os maiores valores. No futuro são esperados para a maioria da área aumentos de produtividade. Os acréscimos são mais acentuados com o modelo HadRM2 (Tabela 5.2) mas também são importantes nos cenários HadRM3-A2,B2 (Figuras 5.14c,d e 5.15c,d).

5.3.2.2 Centro

No recenseamento geral agrícola de 1999 o valor da área de trigo na região Centro cifrou-se próximo dos 3000 ha (INE, 2001). Esta cultura é a que possui menor área de ocupação entre os cereais em análise. As produtividades potenciais obtidas para as condições actuais são superiores às alcançadas na situação futura para os dados do modelo HadRM2, apresentando quase toda a área da região uma variação média regional negativa (-29 %) (Tabela 5.2). Por outro lado, com os dados do modelo HadRM3, nomeadamente para o cenário B2, as variações integradas da produtividade potencial são desprezáveis (Tabela 5.2).

Na região Centro, o milho é o cereal com maior área dedicada. Com os dados HadRM2-IS92a verificam-se zonas de decréscimo e de acréscimo de produtividade futura, sendo o balanço médio da região negativo (-15 %) (Tabela 5.2). Por outro lado, as diferenças de produtividade entre a situação actual e futura são quase sempre negativas para o modelo HadRM3 (Figuras 5.8c,d e 5.9c,d). Verifica-se que as produtividades médias para as condições actuais são semelhantes para ambas as versões do modelo climático, mas as zonas de maiores e menores produtividades com uma e outra versão do modelo não coincidem geograficamente (Figuras 5.7a, 5.8a e 5.9a).

Na zona Centro, o arroz é o segundo cereal mais semeado, e a nível nacional esta é uma das três regiões NUTS II produtoras. Em toda a região Centro, considerando os dados HadRM2, observam-se diferentes níveis de produtividade. É interessante constatar que em relação à situação actual a produtividade futura das zonas mais produtivas é semelhante aos valores obtidos nas condições actuais, e as zonas menos produtivas sofrem um decréscimo, à excepção das áreas

Tabela 5.2 – Produtividades (média ponderada e desvio-padrão) e diferenças percentuais entre a situação actual e a futura, por cultura, por região e por cenário climático

Cultura	Região		Produtividade (kg/ha)					Variação da produtividade		
			HadRM2		HadRM3			%		
			Controlo	IS92a	Controlo	A2	B2	RM2	RM3 A2	RM3 B2
Trigo	Norte	\bar{x}_r	3207	2480	3469	3289	3510	-23	-5	1
		σ	967	781	1025	842	1020			
	Centro	\bar{x}_r	2925	2076	3069	2624	3084	-29	-14	0
		σ	899	540	860	764	863			
	LVT	\bar{x}_r	2773	2143	3242	2863	2858	-23	-12	-12
		σ	572	498	600	508	516			
	Alentejo	\bar{x}_r	2523	2132	2739	2420	2329	-15	-12	-15
		σ	817	625	940	846	772			
	Algarve	\bar{x}_r	1865	1648	2262	1924	1857	-12	-15	-18
		σ	589	457	953	884	811			
	Continente	\bar{x}_r	2791	2175	3043	2715	2858	-22	-11	-6
		σ	844	624	898	800	883			
Milho	Norte	\bar{x}_r	5959	9778	10776	8149	9291	64	-24	-14
		σ	3265	1038	1359	1050	1157			
	Centro	\bar{x}_r	9908	8458	10178	7157	8248	-15	-30	-19
		σ	1754	1423	1099	830	816			
	LVT	\bar{x}_r	11669	8920	9895	8292	8843	-24	-16	-11
		σ	595	1223	447	976	811			
	Alentejo	\bar{x}_r	11226	7678	9205	6566	7512	-32	-29	-18
		σ	623	1084	686	1177	984			
	Algarve	\bar{x}_r	11647	8759	9674	7278	8069	-25	-25	-17
		σ	794	943	895	1314	1107			
	Continente	\bar{x}_r	9692	8618	9960	7377	8346	-11	-26	-16
		σ	2814	1356	1066	1177	1086			
Arroz	Norte	\bar{x}_r	1052	2512	3667	1130	1977	139	-69	-46
		σ	1946	1893	1305	1417	1524			
	Centro	\bar{x}_r	3396	1949	4197	1321	1763	-43	-69	-58
		σ	2397	2986	1560	2216	2343			
	LVT	\bar{x}_r	6160	2352	5531	2771	3395	-62	-50	-39
		σ	1694	2830	1771	2226	2247			
	Alentejo	\bar{x}_r	5179	781	2491	229	466	-85	-91	-81
		σ	1509	1410	1239	482	835			
	Algarve	\bar{x}_r	6694	1578	3780	522	1058	-76	-86	-72
		σ	1624	2390	1460	497	977			
	Continente	\bar{x}_r	3930	1764	3708	1095	1602	-55	-70	-57
		σ	2712	2455	1750	1810	1973			
Pastagem	Norte	\bar{x}_r	2419	3879	3173	3792	3552	60	20	12
		σ	1466	1635	1660	1713	1811			
	Centro	\bar{x}_r	3075	3693	3127	3519	3384	20	13	8
		σ	1244	950	1170	851	951			
	LVT	\bar{x}_r	3773	4093	3618	3720	3770	8	3	4
		σ	1146	817	1045	777	809			
	Alentejo	\bar{x}_r	3065	3599	2866	3279	3215	17	14	12
		σ	1067	915	1065	846	870			
	Algarve	\bar{x}_r	2565	3203	2508	2912	2861	25	16	14
		σ	976	791	1151	1029	1030			
	Continente	\bar{x}_r	2979	3736	3091	3505	3396	25	13	10
		σ	1321	1120	1274	1111	1184			

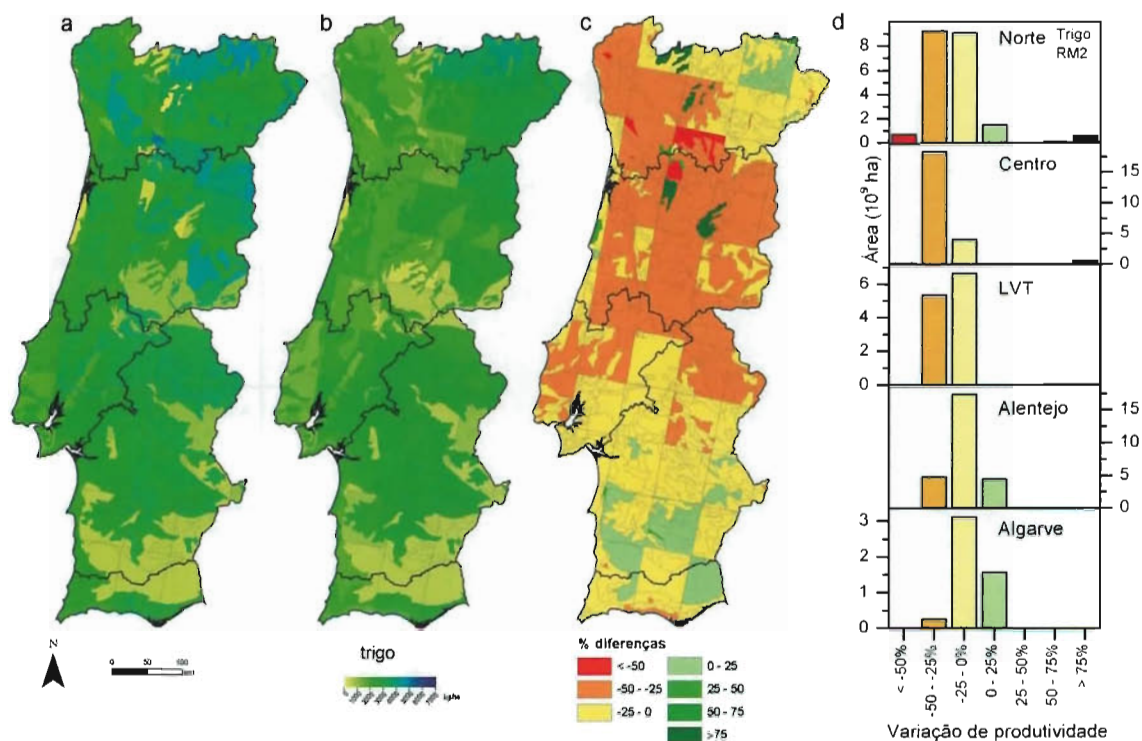


Figura 5.4- Produtividade de trigo simulada com dados do modelo HadRM2: a) controlo; b) cenário IS92a; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

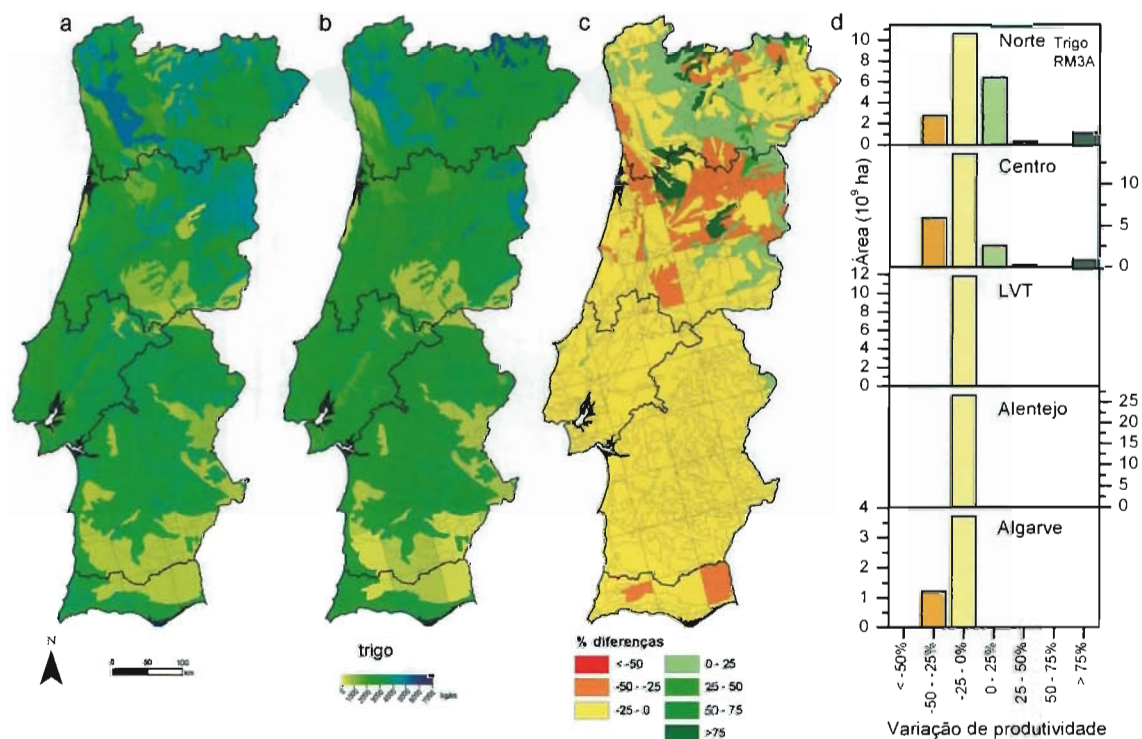


Figura 5.5 - Produtividade de trigo simulada com dados do modelo HadRM3: a) controlo; b) cenário A2; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

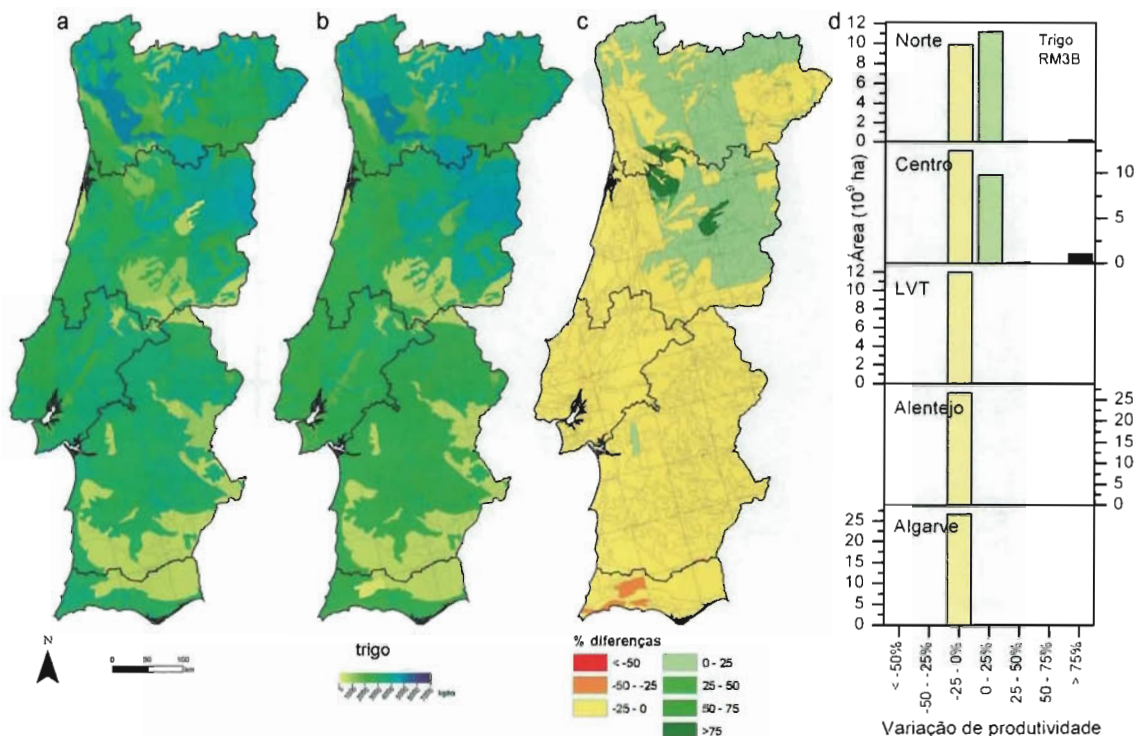


Figura 5.6 Produtividade de trigo simulada com dados do modelo HadRM3: a) controlo; b) cenário B2; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

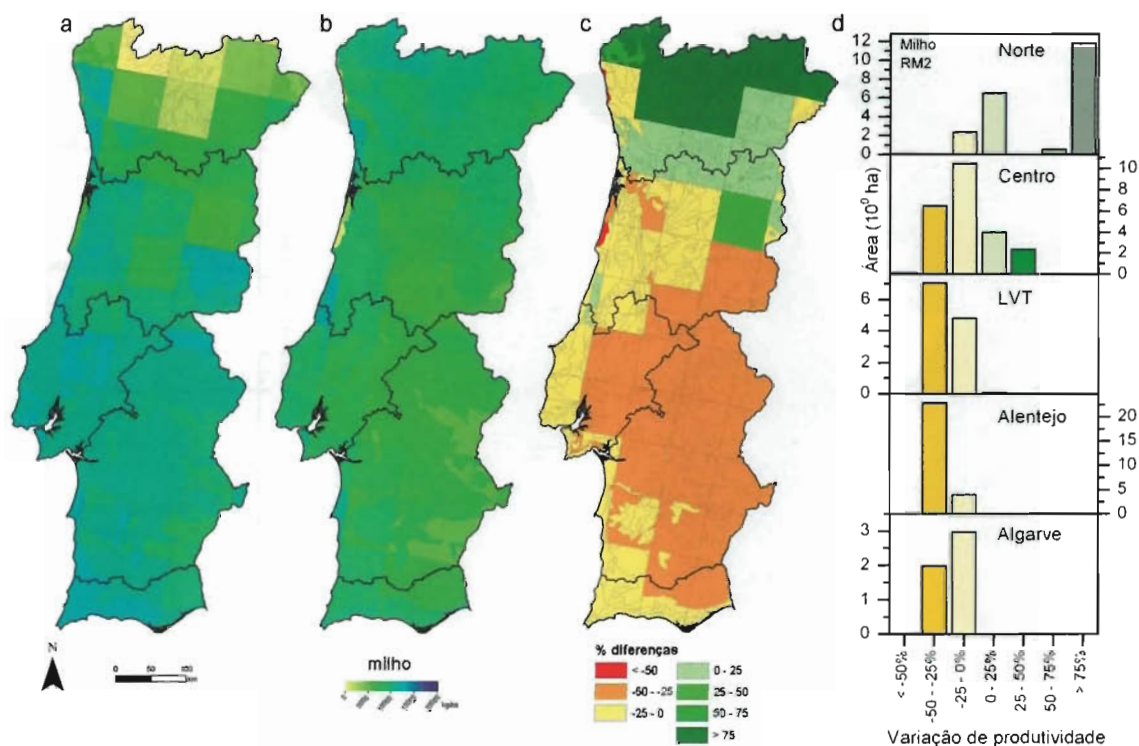


Figura 5.7 Produtividade de milho simulada com dados do modelo HadRM2: a) controlo; b) cenário IS92a; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

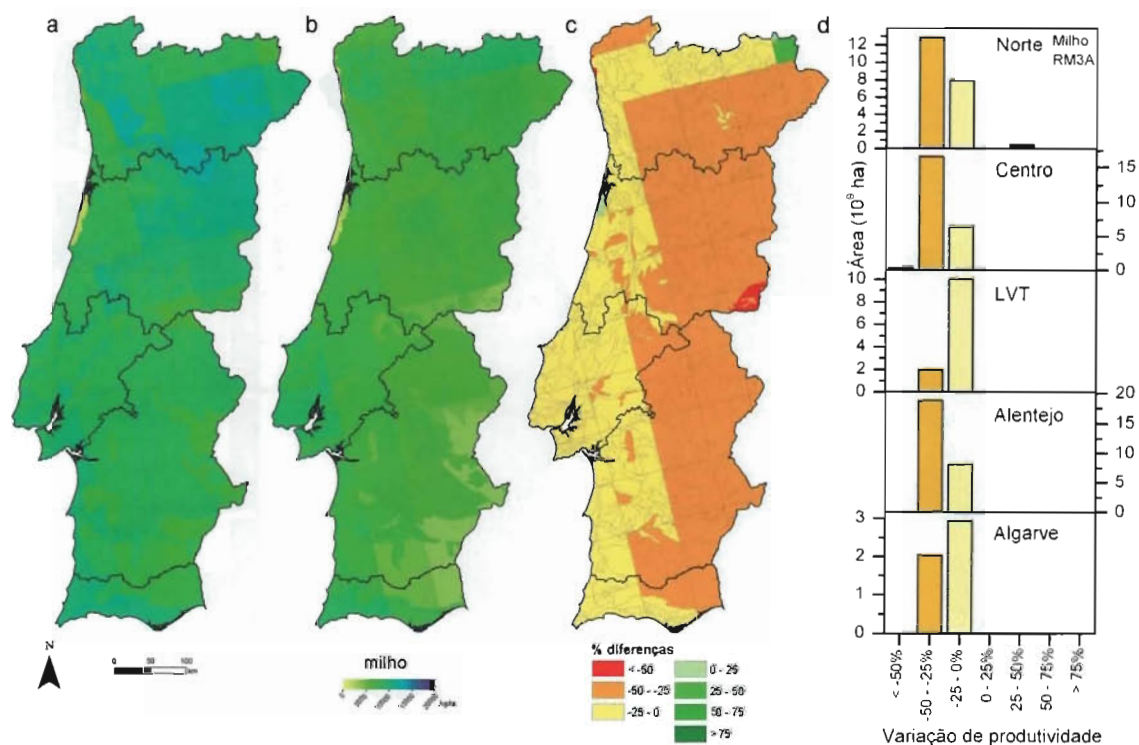


Figura 5.8 Produtividade de milho simulada com dados do modelo HadRM3: a) controlo; b) cenário A2; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

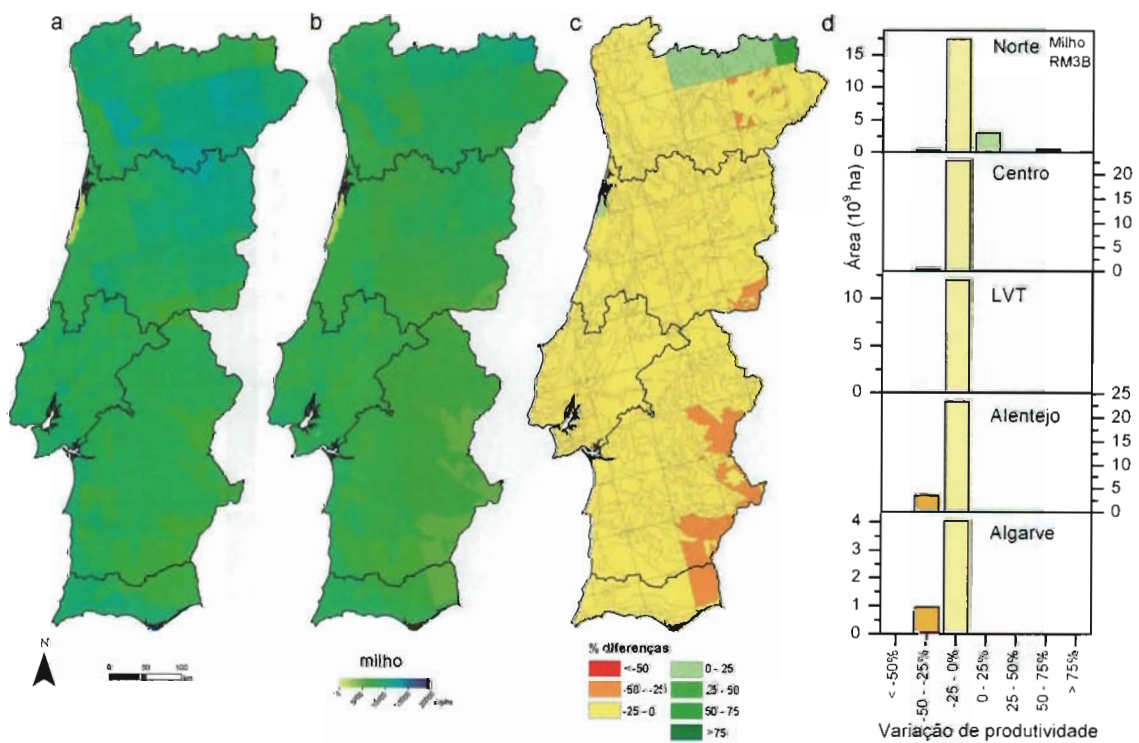


Figura 5.9 Produtividade de milho simulada com dados do modelo HadRM3: a) controlo; b) cenário B2; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

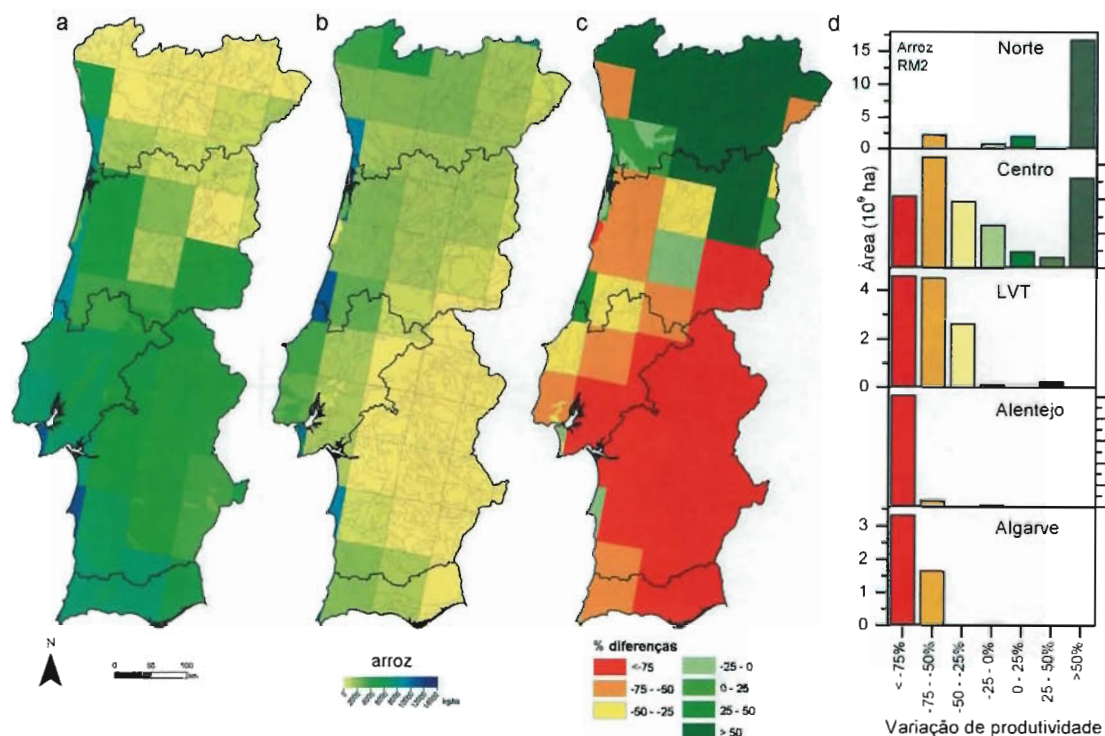


Figura 5.10 Produtividade de arroz simulada com dados do modelo HadRM2: a) controlo; b) cenário IS92a; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

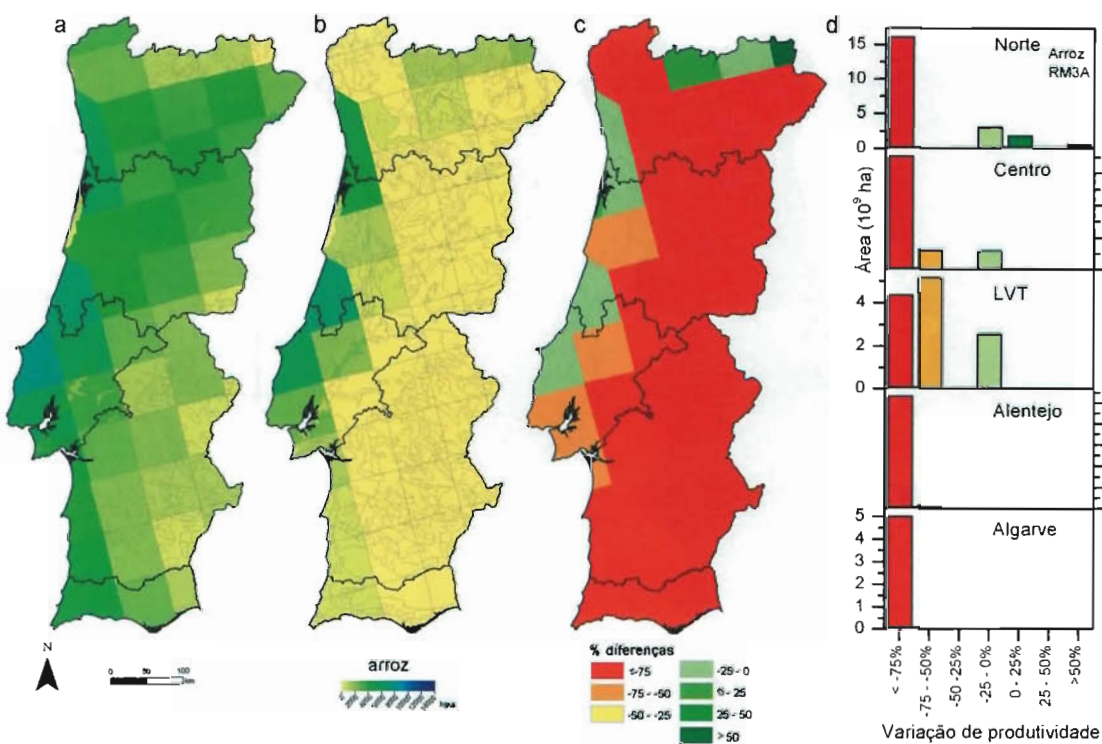


Figura 5.11 Produtividade de arroz simulada com dados do modelo HadRM3: a) controlo; b) cenário A2; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

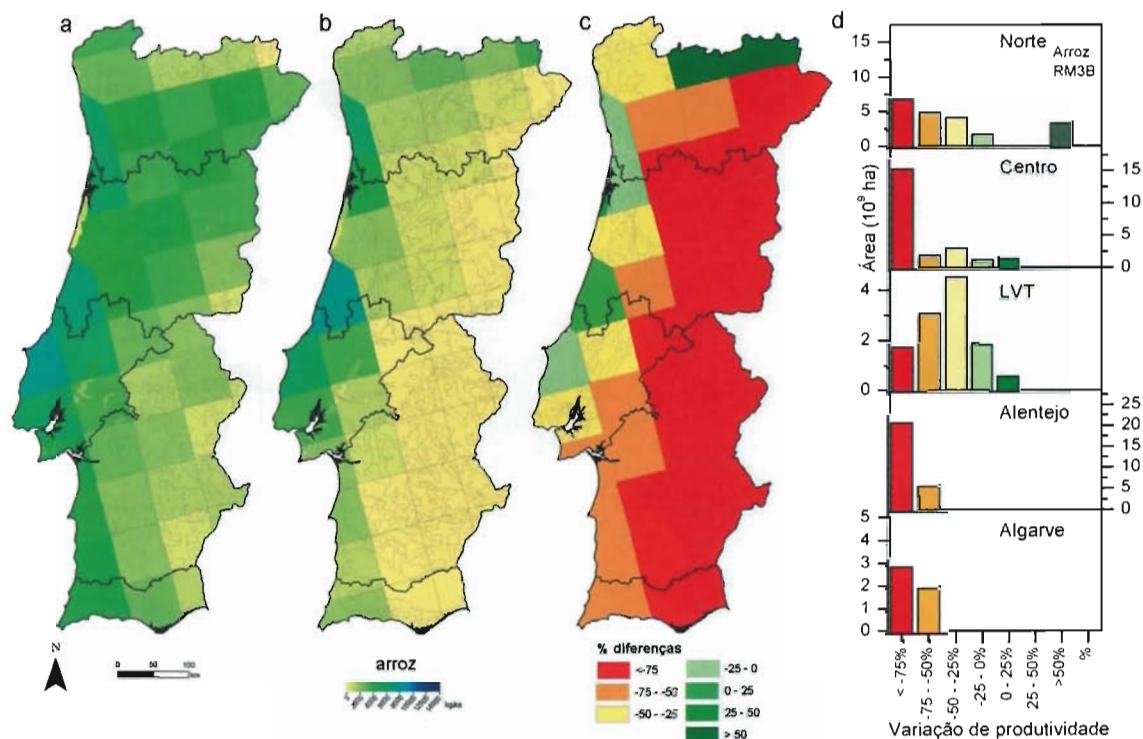


Figura 5.12 – Produtividade de arroz simulada com dados do modelo HadRM3: a) controlo; b) cenário B2; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

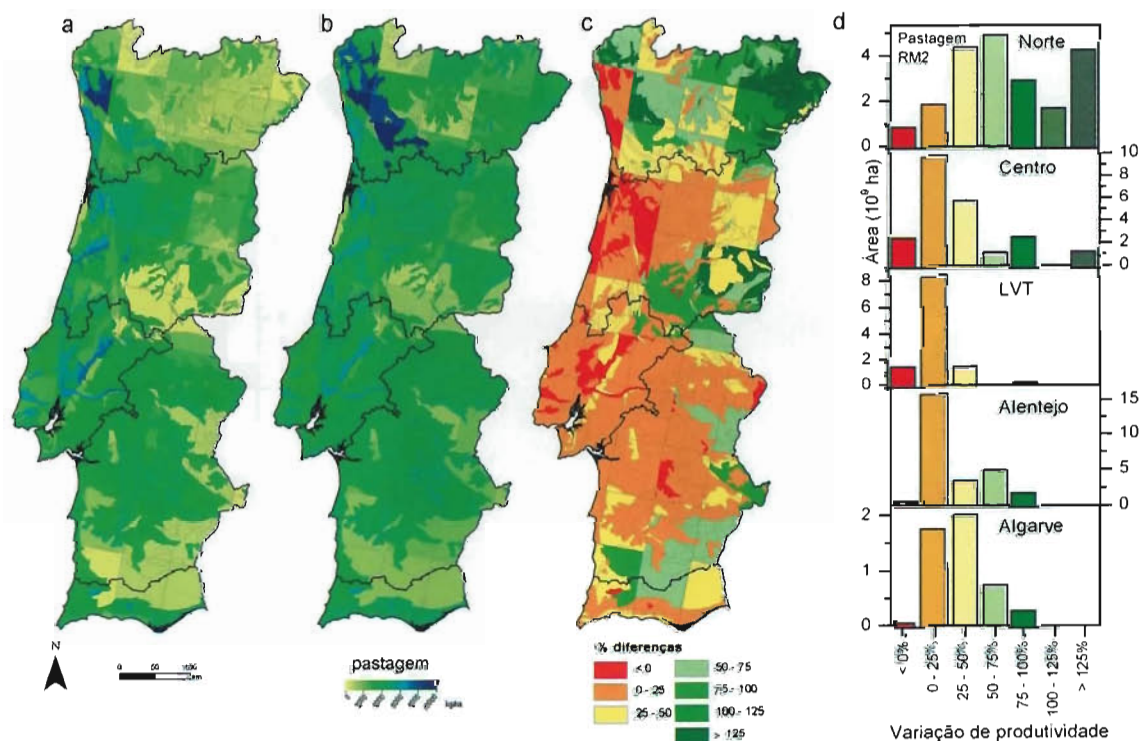


Figura 5.13 – Produtividade de pastagem simulada com dados do modelo HadRM2: a) controlo; b) cenário IS92a; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

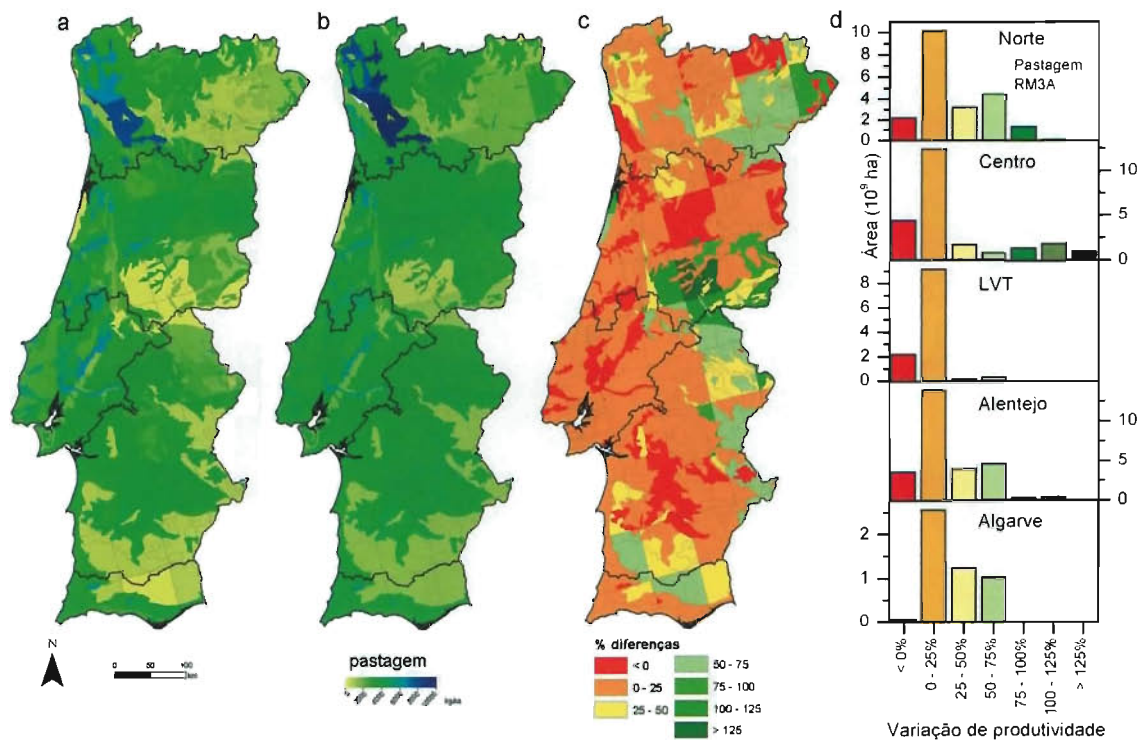


Figura 5.14 - Produtividade de pastagem simulada com dados do modelo HadRM3: a) controlo; b) cenário A2; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

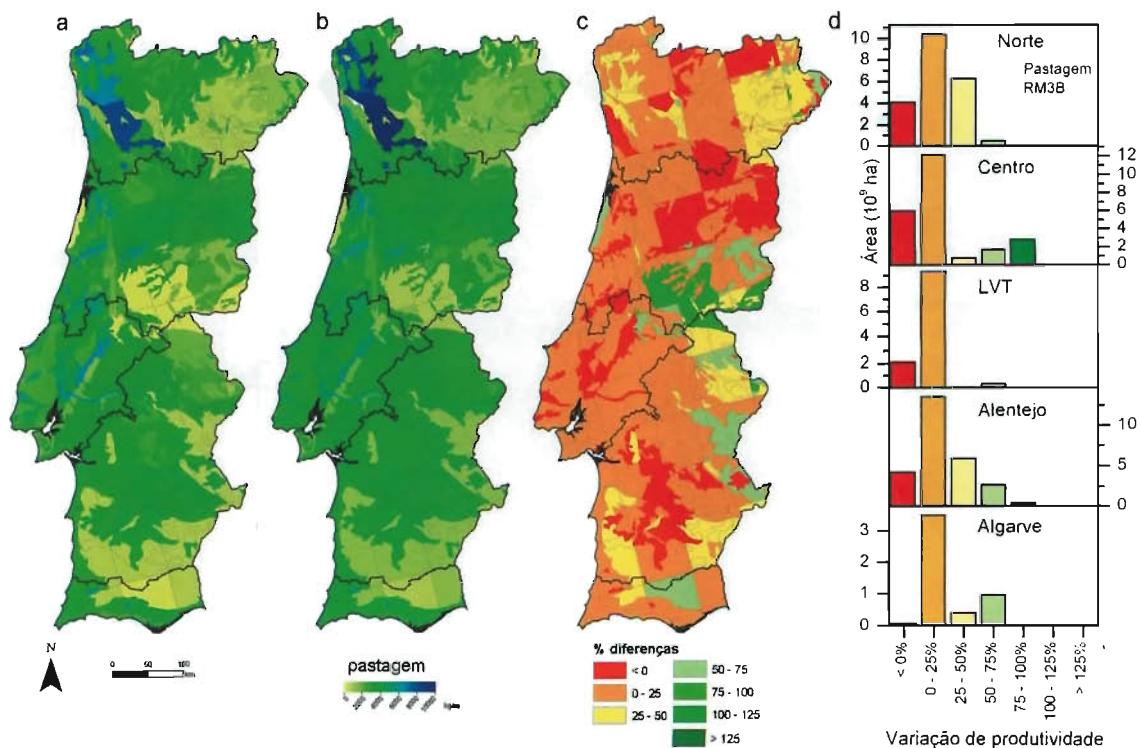


Figura 5.15 - Produtividade de pastagem simulada com dados do modelo HadRM3: a) controlo; b) cenário B2; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

localizadas mais a nordeste (Figura 5.10c,d). Para a situação actual, com os dados HadRM3, os resultados à escala regional são homogéneos (cerca de 4000 kg/ha). No futuro, a diminuição da produtividade das zonas menos produtivas é acentuada (Figuras 5.11c,d e 5.12c,d).

No caso das pastagens e forragens os resultados obtidos para as condições actuais são muito semelhantes para as duas séries climáticas utilizadas (Tabela 5.2). No futuro a terceira versão apresenta uma maior área com variações negativas de produtividade. Os aumentos de 0 a 25% são os mais frequentes (Figuras 5.14c,d e 5.15c,d). A zona sudeste do Centro regista os maiores acréscimos de produtividade em todos os cenários considerados (Figuras 5.13c,d, 5.14c,d e 5.15c,d).

5.3.2.3 Lisboa e Vale do Tejo

No que se refere à produtividade de trigo os resultados das simulações indicam impactos negativos em todos os cenários considerados, apesar de existirem diferenças de localização das zonas mais afectadas (Figuras 5.4c, 5.5c e 5.6c).

Situação idêntica é verificada na produtividade de milho (Figura 5.7c). No caso do modelo HadRM3, os resultados de controlo assumem valores bastante realistas (produtividade potencial média da região cerca de 10 000 kg/ha). As menores perdas de produtividade média são simuladas no caso do cenário B2 (Figura 5.9c,d).

Também no caso do arroz, todos os cenários se traduzem em importantes perdas de produtividade potencial. As maiores perdas de produtividade observam-se no cenário HadRM2-IS92a (-62 %) (Tabela 5.2). Nos cenários futuros é de realçar a gradação da variação que se prevê do litoral para o interior (Figuras 5.10c, 5.11c e 5.12c). Os dados HadRM3 conduzem igualmente a um decréscimo de produtividade, mas este é mais evidente no cenário A2 do que no cenário B2 (Figuras 5.11c,d e 5.12c,d).

As pastagens e forragens apresentam mapas da situação de controlo e do futuro bastante semelhantes para os diferentes cenários. Apesar dos valores das produtividades estimadas não coincidirem rigorosamente, a distribuição destas pela região é idêntica. As zonas limítrofes dos rios Tejo e Sorraia são as que apresentam melhores resultados, no presente e no futuro (Figuras 5.13, 5.14, 5.15 e Tabela 5.2).

5.3.2.4 Alentejo

Em qualquer dos cenários climáticos são simuladas perdas de produtividade de trigo no Alentejo, com valores médios

muito próximos (-15 % e -12 %). O mesmo se passa em relação ao milho, mas com perdas mais elevadas (-32 % a -18 %). As perdas são mais acentuadas no interior do território (Figuras 5.7c,d, 5.8c,d e 5.9c,d).

Na situação de controlo, a produtividade média do arroz com o modelo HadRM2 é elevada, cerca de 5179 kg/ha (Tabela 5.2). O litoral é a zona do Alentejo que apresenta um maior potencial de produtividade. No futuro esta versão leva a uma diminuição acentuada da produtividade, deixando de haver diferenças de rendimento na região (Figura 5.10b). O comportamento simulado da cultura do arroz é muito semelhante, quer se utilizem dados HadRM2 quer dados HadRM3. A única diferença a referir é o valor inferior da produtividade para as condições actuais com os dados do HadRM3. As variações registadas são muito importantes (no geral inferiores a -75 %), sendo o cenário B2 aquele que regista uma maior área com decréscimos de -75 a -50 % (Figuras 5.11, 5.12 e Tabela 5.2).

Tal como na região LVT, os mapas do Alentejo para as pastagens e forragens são bastante semelhantes. Os resultados são próximos em valor de produtividade, e de distribuição destes pela região, considerando as condições de controlo e de futuro. O centro da região é a zona mais afectada (Figuras 5.13, 5.14 e 5.15). A maior área com variações negativas foi registada com os dados HadRM3, o que conduziu a acréscimos médios de 14% e 12%, no caso dos cenários A2 e B2, respectivamente (Tabela 5.2).

5.3.2.5 Algarve

Na região do Algarve são simuladas, em todos os cenários climáticos, perdas importantes de produtividade em trigo, milho e arroz e ganhos em pastagem.

No caso do trigo, 68 % da área apresenta decréscimos de produtividade no cenário HadRM2-IS92a, enquanto que com os dados do HadRM3 se estima uma diminuição da produtividade em toda a região (Figuras 5.4c,d, 5.5c,d, 5.6c,d e Tabela 5.2).

Os mapas futuros da cultura do milho são idênticos para as duas versões e cenários em análise. As variações sofridas são da mesma grandeza em todas as situações consideradas (Figuras 5.7c,d, 5.8c,d e 5.9c,d).

No presente e no futuro, a produtividade estimada de arroz para as zonas do litoral é superior à das zonas do interior (Figuras 5.10, 5.11 e 5.12). Os resultados alcançados no futuro com os dados do HadRM3 diferem consoante o cenário. No cenário A2 as variações foram sempre inferiores a -75 %, e

enquanto que no cenário B2 as variações foram menos evidentes (inferiores a -50 %) (Figuras 5.11c,d e 5.12c,d).

As pastagens e forragens tal como noutras regiões apresentam mapas análogos. As áreas com variações negativas são pontuais. Aumentos de produtividade superiores a 50 %, para 21 % da área da região, foram conseguidos com o modelo HadRM2 (Figuras 5.13, 5.14 e 5.15).

5.3.2.6 Portugal Continental

Por observação da Tabela 5.2 é possível comparar as mudanças registadas num cenário de alteração climática entre as diferentes regiões. As diferenças observadas entre os dois modelos climáticos, HadRM2 e HadRM3, podem também ser assinaladas.

Nas condições actuais, no caso da cultura do trigo, a maior produtividade média do Continente é obtida com os dados climáticos do HadRM3. Entre a situação de controlo e a futura, a variação é negativa para quase todas as regiões e modelos considerados – a variação mais negativa acontece para a versão 2 do modelo climático. As regiões Alentejo e Algarve registaram diminuições percentuais aproximadamente da mesma ordem de grandeza para os dois modelos utilizados. As regiões Norte, Centro e LVT apresentam decréscimos maiores para o modelo HadRM2 do que para o HadRM3. No futuro há uma maior homogeneização dos resultados, uma vez que o desvio-padrão das produtividades em Portugal Continental é menor na situação futura do que na situação actual.

Tal como no trigo, nas condições actuais, os valores mais elevados da produtividade do milho são alcançados com os dados climáticos do modelo HadRM3. Apesar de com esta versão do modelo o Norte e Centro atingirem produtividades superiores em relação ao resto do país, com o modelo HadRM2 esta distribuição geográfica das produtividades não acontece. A variação percentual do Continente é negativa com os dados do modelo HadRM2, embora seja de destacar o valor positivo na região Norte. Tal acontece porque existem algumas zonas em que os resultados das simulações para as condições actuais foram nulos. No futuro, para todas as regiões excluindo o Centro, as condições do cenário B2 são as que proporcionam uma menor diminuição da produtividade. Por análise dos mapas nacionais, constata-se que o interior é prejudicado para ambos os modelos climáticos.

No futuro, os valores do desvio-padrão nacional são inferiores aos calculados no presente com dados do HadRM2 e superiores aos actuais com dados do HadRM3.

Em relação ao arroz, na situação de controlo, com os dados do HadRM2 a região de Algarve e LVT são as regiões mais produtivas, contudo com a terceira versão estas são substituídas pelo Centro e LVT. O Alentejo e o Algarve são as regiões mais prejudicadas no futuro com os dados climáticos de ambas as versões. A região Norte regista uma variação positiva elevada (139 %) devido à razão apontada no caso do milho. Ao comparar os resultados do cenário A2 com os do cenário B2, este último conduz a um menor decréscimo da produtividade. Também para o arroz se detecta uma maior redução na produtividade para o interior do que para o litoral do país.

A variação do desvio-padrão médio de Portugal Continental entre a situação actual e futura é oposta para os dois modelos considerados, tal como verificado no milho. Com os dados do HadRM2 os valores do futuro são inferiores aos actuais e o contrário acontece com os dados do HadRM3.

As pastagens e forragens são a única cultura que verifica um aumento de produtividade em todas as situações consideradas. A nível do Continente não se registaram grandes diferenças dos valores médios de produtividade e do desvio-padrão entre as versões do modelo climático e cenários considerados. No futuro, para ambas as versões, a região LVT é a mais produtiva e o Algarve é a zona do país com menores valores de produtividade. O modelo HadRM2 proporciona maiores aumentos no futuro do que qualquer um dos cenários do modelo HadRM3. Entre o cenário A2 e o B2 é o A2 que proporciona maiores acréscimos em todas as regiões excepto na região LVT, ou seja, o cenário A2 é o mais favorável ao contrário do verificado nas outras culturas.

A região LVT, por ser a região que nas condições actuais atinge maior produtividade, é a região que no futuro apresenta um menor acréscimo dos resultados, porque os mapas futuros de produtividade são mais homogêneos entre as regiões do que os mapas actuais.

5.4 DISCUSSÃO

Neste estudo estimaram-se os impactos da mudança climática sobre a produtividade de culturas anuais em Portugal Continental. Haveria todo o interesse em estender a análise de culturas permanentes, como é o caso da vinha e do olival, caracterizadas por grandes áreas de ocupação e rendimento. No entanto, a inexistência de modelos de simulação de produtividade amplamente divulgados para estas culturas impossibilitou o seu estudo.

Mesmo os modelos incluídos na aplicação DSSAT apresentam algumas limitações. Assim, as pastagens e forragens

foram simuladas com um modelo específico para a espécie *Paspalum notatum*, quando o mais indicado seria utilizar um modelo para uma consociação leguminosa-gramínea. Apesar de serem vários os modelos disponíveis (Parton *et al.*, 1994) nenhum se apresentou como alternativa ao CROPGRO da colecção DSSAT. Entre os modelos capazes de simular pastagens e forragens são de referir o CENTURY (Schimel *et al.*, 1990), o Grassland Ecosystem Model (Hunt *et al.*, 1991), o modelo SPUR (Hanson *et al.*, 1992) e o WOFOST (Hijmans *et al.*, 1991, e Supit *et al.*, 1994). A não utilização destes modelos deveu-se à dificuldade de obtenção de todos os dados de entrada necessários. O modelo CERES-Rice (Braga, 1996), apesar de actualizações recentes continua a demonstrar algumas falhas na simulação da cultura do arroz nas condições climáticas portuguesas.

Para além de uma avaliação da produtividade obtida num cenário de alteração climática interessaria caracterizar a qualidade dos produtos agrícolas. Esta característica é sobretudo importante para os produtos cujo valor comercial é proporcional à qualidade. Um indicador utilizado para a valorização económica do produto é, por exemplo, a avaliação do teor em açúcar, no caso das culturas de beterraba sacarina, tomate e uva. Bindi *et al.* (2000) apresentaram um submodelo capaz de estimar a qualidade da uva, modelo este que poderá vir a ser utilizado em trabalhos futuros.

Os modelos climáticos de circulação geral simulam o clima e são utilizados para analisar as consequências do aumento da concentração dos gases de estufa. Apesar de serem uma ferramenta amplamente utilizada, os modelos climáticos ainda não foram validados na previsão da variabilidade climática, como por exemplo a alteração da frequência de ocorrência de períodos de cheia e de seca. Estes fenómenos afectam significativamente a produtividade das culturas (Rosenzweig *et al.*, 1998a, 1998b).

O cálculo do número de dias disponíveis para se realizarem determinadas operações agrícolas dependentes das condições meteorológicas, nomeadamente os trabalhos de preparação do solo, poderá contribuir para o planeamento da actividade agrícola. Para uma dada região e operação cultural é possível definir datas limite entre as quais uma operação pode ser realizada nas melhores condições de execução. Seria interessante avaliar se a mudança climática implicará alterações daquelas datas limite.

Em todas as simulações efectuadas considerou-se que as culturas não seriam afectadas nem por pragas nem por doenças, e o efeito negativo das infestantes não foi avaliado. Este facto constitui uma das limitações dos modelos compilados na aplicação DSSAT (Rosenzweig *et al.*, 1998b). Quando a interacção de pragas, doenças e infestantes na produtividade

das culturas vier a ser considerada poderá optar-se por uma interligação entre modelos de simulação de pragas e doenças com os modelos de simulação de culturas (Teng *et al.*, 1998).

Neste trabalho não se estudaram medidas de adaptação. Contudo, no caso de estudo do vale do Sado concluiu-se que a alteração da data de sementeira poderá contribuir para minimizar as perdas de produtividade previstas em cenários de aquecimento global.

5.5 CONCLUSÕES

Uma avaliação em agricultura é sempre complexa, devido à natureza da actividade agrícola. Trata-se de uma actividade muito diversificada, dependente de múltiplos factores ambientais, e que trabalha com seres vivos. Neste trabalho, por razões de exequibilidade, apenas foram estudadas quatro culturas. No entanto, considera-se que estas culturas reflectem uma tendência que poderá ser extrapolada para outras não analisadas.

Ao observar os mapas de produtividades constatou-se que as culturas de regadio (milho e arroz) demonstraram uma maior dependência em relação aos dados climáticos do que em relação aos dados edáficos (solos), verificando-se que as áreas mais homogêneas de produtividade se encontram agrupadas segundo os polígonos climáticos. Tal não acontece com as culturas de sequeiro (trigo e pastagens e forragens).

Os dados climáticos das simulações de controlo apresentam, como seria de esperar, diversas imperfeições, encontrando-se diferenças significativas entre as simulações realizadas com os dois modelos regionais representativas do clima actual. No entanto, como é comum em estudos de impacto espera-se que as anomalias (diferenças entre as produtividades de controlo e futuras, para o mesmo modelo) sejam representativas do impacto da mudança climática.

Assim, nos cenários futuros, à excepção das pastagens e forragens, todas as culturas apresentam uma diminuição de produtividade. Em geral, quando há decréscimos de produtividade estes são menores no cenário B2 do que no cenário A2. O aumento previsto da concentração de gases de efeito estufa é superior no cenário A2 do que no cenário B2, logo a alteração climática será mais acentuada no cenário A2.

O estudo de possíveis medidas de adaptação e da sua interferência com as produtividades futuras é fundamental para contrariar os impactos negativos. As medidas de adaptação têm como objectivo adaptar as culturas/técnicas seguidas às futuras condições climáticas.

5.6 REFERÊNCIAS

- Braga, R., 1996, Avaliação do modelo CERES-Rice - análise de sensibilidade, validação e qualidade dos dados climáticos, Curso de Mestrado em Produção Agrícola Tropical, Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.
- Bindi, M., Fibbi, L., Lanini, M. e Miglietta, F., 2000, Effects of elevated carbon dioxide on grapevine. In *Climate change, Climatic Variability and Agriculture in Europe - an integrated assessment*, editado por T. E. Downing, P. A. Harrison, R. E. Butterfield, e K. G. Lonsdale, Research Report n.º 21, 71-81, Oxford, UK, Environmental Change Institute, University of Oxford.
- Downing, T. E., Harrison, P. A., Butterfield, R. E. e Lonsdale, K. G., 2000, Climate change, Climatic Variability and Agriculture in Europe - an integrated assessment, Research Report n.º 21, xi, Oxford, UK, Environmental Change Institute, University of Oxford.
- Direcção-Geral do Ambiente, 1971, Reprodução da Carta de Solos do Serv. de Reconhec. e Ord. Agrário, Delimitada por J. C. Cardoso, M. T. Bessa e M. B. Marado. Disponível no dia 5 de Novembro de 2002, no site do Instituto de Ambiente: http://www.ambiente.pt/atlas/c_tiposolo.html. In P. A. Pinto, A. P. Brandão, F. Lemos, e R. Braga, Operacionalização de uma carta de solos 1:1 000 000. O solo - factor de qualidade ambiental. Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo, 27, Escola Superior Agrária de Coimbra, Julho 2003.
- Faure, J. e Mazaud, F., 1995, Rice quality in the European Union. *Agriculture et développement*, 2-12. Disponível em 3 de Dezembro de 2003 em: http://www.riceweb.org/g_oveureu.htm.
- Féio, M., 1991, Clima e Agricultura: exigências climáticas das principais culturas e potencialidades agrícolas do nosso clima, Lisboa, Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação.
- Gonçalves, M. C., Pereira, L. S. e Leij, F. J., 1997, Peds-transfer functions for estimating unsaturated hydraulic properties of Portuguese soils, *European Journal of Soil Science* 48: 387-400. In P. A. Pinto, A. P. Brandão, F. Lemos, e R. Braga, Operacionalização de uma carta de solos 1:1 000 000. O solo - factor de qualidade ambiental. Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo, 27, Escola Superior Agrária de Coimbra, Julho 2003.
- Hanson, J. D., Baker, B. B. e Bourdon, R. M., 1992, The effect of climate change on rangeland livestock production: a theoretical approach, *Agricultural Systems (in press)*. In W. J. Parton, e D. S. Ojima, Environmental change in grasslands: assessment using models, *Climatic Change* 20(1-2), 111-141.
- Hijmans, R. J., Guiking-Lens, I. M. e Diepen, C. A. van, 1994, WOFOST 6.0, User's guide for the WOFOST 6.0 crop growth simulation model, Technical Document 12, Wageningen, The Netherlands, DLO Winand Staring Centre.
- Hoogenboom, G., Wilkens, P. W. e Tsuji, G. Y. (Eds.), 1999, *DSSAT v3, volume 4*, Honolulu, Hawaii, University of Hawaii.
- Hoogenboom, G., J.W. Jones, P.W. Wilkens, C.H. Porter, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, K.J. Boote, U. Singh, O. Uryasev, W.T. Bowen, A.J. Gijsman, A. du Toit, J.W. White, and G.Y. Tsuji, 2004, Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.0 [CD-ROM], University of Hawaii, Honolulu, HI.
- Hulme, M., Jenkins, G. J., Lu, X., Turnpenny, J. R., Mitchell, T. D., Jones, R. G., Lowe, J., Murphy, J. M., Hassell, D., Boorman, P., McDonald, R. e Hill, S., 2002, Climate Change Scenarios for the United Kingdom, The UKCIP02 Scientific Report, UK, Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental sciences, Un. East Anglia.
- Hunt, H. W., Trlica, M. J., Redente, E. F., Moore, J. C., Detling, J. K., Kittel, T. G. F., Walter, D. E., Fowler, M. C., Klein, D. A. e Elliott, E. T., 1991, Simulation Model for the effects of climate change on temperate grasslands ecosystems, *Ecol. Modell.* 53, 205-246. In W. J. Parton, e D. S. Ojima, Environmental change in grasslands: assessment using models, *Climatic Change* 20 (1-2), 111-141.
- INE, 1999, Inquérito à Estrutura das Explorações Agrícolas, 1997, Lisboa, INE.
- INE, 2001, Recenseamento Geral Agrícola, 1999, Lisboa, INE.
- INE, 2003, Estatísticas agrícolas, 2002, Lisboa, INE. Disponível em 26 de Novembro de 2003, no site do INE: <http://www.ine.pt/prodserv/quadros/periodo.asp>.
- Jones, J.W., G. Hoogenboom, C.H. Porter, K.J. Boote, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, P.W. Wilkens, U. Singh, A.J. Gijsman, and J.T. Ritchie, 2003, DSSAT Cropping System Model, *European Journal of Agronomy*, 18, 235-265.
- Jones, R. G., Murphy, J. M. e Noguier, M., 1995, Simulation of climate change over Europe using a nested regional-climate model. I: Assessment of control climate, including sensitivity to location of lateral boundaries, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 121, 1413-1449.
- Jones, R. G., Murphy, J. M. Noguier, M. e Keen, A. B., 1997, Simulation of climate change over Europe using a nested regional-climate model. II: Comparison of driving and regional model responses to a doubling of carbon dioxide, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 123, 265-292.
- Jones, J. W., Tsuji, G. Y., Hoogenboom, G., Hunt, L. A., Thornton, P. K., Wilkens, P. W., Imamura, D.T., Bowen, W.T. e Singh, U., 1998, Decision support system for agrotechnology transfer: DSSAT v3. In *Understanding Options for Agricultural Production. Systems Approaches for Sustainable Agricultural Development*, editado por G. Y. Tsuji, G. Hoogenboom e P. K. Thornton, 157-177, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Ozawa, Y., 1964, Agriculture and Climate, In *Hand book of Agricultural Meteorology*, editado por Tsuboi et al., 266-292, Yokendo, Tokyo (in Japanese), In *Climate Change and Global Crop Productivity*, editado por K. R. Reddy e H. F. Hodges, 84, Wallingford, CAB Publishing.
- Parton, W. J. e Ojima, D. S., 1994, Environmental change in grasslands: assessment using models, *Climatic Change* 20 (1-2), 111-141.
- Pinto, P. A. e Brandão, A. P., 2002, Agriculture. In *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures - SIAM Project*, F.D. Santos, K. Forbes e R. Moita (eds.), 221-239, Lisboa, Gradiva.
- Pinto, P. A., Brandão, A. P., Lemos, F. e Braga, R., 2003, Operacionalização de uma carta de solos 1:1 000 000. O solo - factor de qualidade ambiental. Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo, 27, Escola Superior Agrária de Coimbra, Julho 2003.
- Rosenzweig, C. e Iglesias, A., 1998b, The use of crop models for international climate change impact assessment, In *Understanding Options for Agricultural Production. Systems Approaches for Sustainable Agricultural Development*, editado por G. Y. Tsuji, G. Hoogenboom, e P. K. Thornton, 157-177, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Rosenzweig, C. e Hillel, D., 1993a, Climate Change and the global harvest - potential impacts of the greenhouse effect on agriculture, New York, Oxford University Press.
- Saxton, K. E., Rawls, W. J., Romberger, J. S., Papendick, R. I., 1986, Estimating generalized soil water characteristics from texture, *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 50(1), 1031-1036. In P. A. Pinto, A. P. Brandão, F. Lemos e R. Braga, Operacionalização de uma carta de solos 1:1 000 000. In O solo - factor de qualidade ambiental. Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa

- da Ciência do Solo, 27, Escola Superior Agrária de Coimbra, Julho 2003.
- Schimel, D. S., Parton, W. J., Kittel, T. G. F., Ojima, D. S., e Cole, C. V., 1990, Grassland biogeochemistry: links to atmospheric Processes, *Climatic Change* 17, 13-25, *In* W. J. Parton, e D. S. Ojima, Environmental change in grasslands: assessment using models, *Climatic Change* 20 (1-2), 111-141.
- Supit, L., Hooijer, A. A., van Diepen, C. A. (eds.), 1994, System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMs. Volume I: Theory and Algorithms, An Agricultural Information System for the European Community, Joint Research Centre, Luxembourg, European Commission.
- Teng, P. S., Batchelor, W. D., Pinnschmidt, H. O. e Wilkerson, G. G., 1998, Simulation of pest effects on crops using coupled pest-crop models: the potential for decision support, *In* Understanding Options for Agricultural Production. Systems Approaches for Sustainable Agricultural Development, editado por G. Y. Tsuji, G. Hoogenboom, e P. K. Thornton, 221-266, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Wigley, T. M. L., 1987, Climate scenarios. Prepared for the European Workshop, In Interrelated Bioclimate and Land Use Changes. National Center for Atmospheric Research, NCAR 3112-86-3, In Understanding Options for Agricultural Production. Systems Approaches for Sustainable Agricultural Development, editado por G. Y. Tsuji, G. Hoogenboom, e P. K. Thornton, 271, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Wosten, J. H. M., Pachepsky, Ya. A., Rawls, W. J., 2001, Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics, *Journal of Hydrology*, 251, 123-150, *In* P. A. Pinto, A. P. Brandão, F. Lemos e R. Braga, Operacionalização de uma carta de solos 1:1 000 000. O solo - factor de qualidade ambiental. Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo, 27, Escola Superior Agrária de Coimbra, Julho 2003.

6

Saúde Humana e Implicações para o Turismo

Autores

José M. Calheiros (Coordenador)
Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade da Beira Interior
LEPAE – Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia
da Universidade do Porto

Elsa Casimiro
SIAM

Contribuições

António Paulo Gouveia de Almeida
Instituto de Higiene e Medicina Tropical, Universidade Nova de Lisboa

Carlos Alves-Pires
Instituto de Higiene e Medicina Tropical, Universidade Nova de Lisboa

Margarida Collares Pereira
Instituto de Higiene e Medicina Tropical, Universidade Nova de Lisboa

Margarida Fonseca Cardoso
Instituto de Ciências Biomédicas de Abel Salazar, Universidade do Porto

Margarida Santos-Silva
Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, Águas de Moura

Maria Odete Afonso
Instituto de Higiene e Medicina Tropical, Universidade Nova de Lisboa

Rita Sousa
Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, Águas de Moura

ÍNDICE

SUMÁRIO EXECUTIVO	235
EXECUTIVE SUMMARY	236
6. SAÚDE HUMANA E IMPLICAÇÕES PARA O TURISMO	237
6.1 INTRODUÇÃO	237
6.1.1 Resumo do Estudo SIAM I	237
6.1.2 O Estudo SIAM II	238
6.1.3 Impactos Avaliados	238
6.1.3.1 Conforto e <i>Stress</i> Térmico	238
6.1.3.2 Doenças Transmitidas por Mosquitos	240
6.1.3.3 Leishmaniose	242
6.1.3.4 Febre Escaro-Nodular	243
6.1.3.5 Doenças Transmitidas por Rodeiros	244
6.1.4 A Relação entre Turismo e Saúde em Portugal	245
6.2 METODOLOGIA	246
6.2.1 Regiões Estudadas e Informação	246
6.2.2 Metodologia de Avaliação dos Impactos	246
6.2.2.1 Conforto Térmico e Mortalidade Associada ao Calor	246
6.2.2.2 Doenças Transmitidas por Mosquitos	247
6.2.2.3 Leishmaniose	247
6.2.2.4 Febre Escaro-Nodular	248
6.2.2.5 Leptospirose	248
6.2.3 Incertezas	248
6.3 IMPACTOS POTENCIAIS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NA SAÚDE NO DISTRITO DE FARO	250
6.3.1 Conforto Térmico e Mortalidade Associada ao Calor	250
6.3.2 Doenças Transmitidas por Mosquitos	251

6.3.2.1 Malária	252
6.3.2.2 Febre do Nilo Ocidental	253
6.3.3 Leishmaniose	253
6.3.4 Febre Escaro-Nodular	254
6.3.5 Leptospirose	254
6.4 IMPACTOS POTENCIAIS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NA SAÚDE NO DISTRITO DE LISBOA	255
6.4.1 Conforto Térmico e Mortalidade Associada ao Calor	255
6.4.2 Doenças Transmitidas por Mosquitos	256
6.4.2.1 Malária	257
6.4.2.2 Febre do Nilo Ocidental	258
6.4.3 Leishmaniose	258
6.4.4 Febre Escaro-Nodular	259
6.4.5 Leptospirose	259
6.5 IMPACTOS POTENCIAIS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NA SAÚDE NO DISTRITO DO PORTO	259
6.5.1 Conforto Térmico e Mortalidade Associada ao Calor	260
6.5.2 Doenças Transmitidas por Mosquitos	261
6.5.2.1 Malária	262
6.5.2.2 Febre do Nilo Ocidental	262
6.5.3 Leishmaniose	262
6.5.4 Febre Escaro-Nodular	263
6.5.5 Leptospirose	263
6.6 MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO	264
6.7 LACUNAS DE INVESTIGAÇÃO	264
6.8 CONCLUSÕES	265
6.9 REFERÊNCIAS	268

SUMÁRIO EXECUTIVO

Neste capítulo são avaliados os impactos potenciais das alterações climáticas sobre os níveis de conforto térmico e sobre a incidência de doenças infecciosas, nos distritos turísticos mais populares de Portugal Continental: Faro, Lisboa e Porto. O objectivo principal deste estudo é indicar o sentido potencial da mudança e sugerir medidas de adaptação de modo a reduzir ou evitar os impactos negativos e a maximizar os impactos positivos.

Nos distritos de Lisboa e Porto, as alterações climáticas podem vir a aumentar o número de dias confortáveis e com níveis de *stress* de calor ligeiro, enquanto que para Faro se prevê uma redução dos mesmos. Prevê-se, ainda, que os períodos com dias de *stress* extremo pelo calor venham a aumentar nos três distritos, com ondas de calor mais frequentes e intensas. Os resultados mostram também que as alterações climáticas podem vir a reduzir o número de dias com *stress* pelo frio, em todos os três distritos, e que tal ocorrerá de um modo mais significativo no Porto.

As medidas de adaptação sugeridas para reduzir o *stress* pelo calor incluem o uso de equipamento de ar condicionado; o desenvolvimento de projectos de construção de edifícios que incorporem características que permitam reduzir a carga térmica; o desenvolvimento de sistemas de vigilância e aviso precoce em todos os distritos (dirigidos às comunidades locais e aos turistas); e de programas educacionais que permitam consciencializar o público para os riscos associados ao *stress* pelo calor, programas esses que disponibilizem informação sobre o que deve ser feito para evitar as suas consequências. Por outro lado, é provável que uma redução no número de dias de *stress* pelo frio venha a tornar Portugal um destino mais atractivo no Outono, Inverno e Primavera.

As doenças infecciosas avaliadas neste estudo foram: a malária, a febre do Nilo Ocidental, a leishmaniose, a febre escaro-nodular e a leptospirose. Os resultados indicam que o risco actual de transmissão da malária nos três distritos é muito baixo, sendo, no entanto, mais elevado para a febre do Nilo Ocidental. As alterações climáticas podem vir a proporcionar condições mais favoráveis para a sobrevivência dos mosquitos e desenvolvimento dos parasitas, favorecendo ao desenvolvimento destas duas doenças na Primavera e no Outono. No entanto, não se prevêem níveis de risco elevado em qualquer um dos três distritos estudados.

A leishmaniose é endémica em Portugal. É de admitir que as alterações climáticas possam vir a aumentar o risco de transmissão em todos os distritos avaliados. Por outro lado, o risco de transmissão da febre escaro-nodular é actualmente elevado em todos os três distritos, especialmente durante os meses mais quentes. Não se prevê que as alterações climáticas venham a diminuir este risco em nenhum dos distritos estudados. No que se refere à leptospirose, trata-se de uma doença prevalente em Portugal. No entanto, as três regiões avaliadas apresentam taxas significativamente inferiores à média nacional. Não se prevêem aumentos das taxas de prevalência da doença em Faro e em Lisboa, associadas às alterações climáticas. No entanto, prevendo-se que possa acontecer um aumento da frequência de períodos de precipitação intensa no Porto, é de admitir que, neste distrito, a taxa de incidência da leptospirose possa aumentar.

Considera-se, pois, que medidas de adaptação tais como programas de monitorização de parasitas e vectores, associados a programas de vigilância, têm carácter urgente tendo em vista reduzir a vulnerabilidade às doenças infecciosas estudadas.

Devido ao facto de os dados de saúde e do ambiente apresentarem insuficiências nos três distritos estudados, a que se associa um número significativo de lacunas do conhecimento no que se refere às relações entre a saúde e o clima, este estudo incorpora muitas incertezas. Estas lacunas necessitam ser ultrapassadas tendo em vista o desejável aprofundar do conhecimento sobre os impactos das alterações climáticas sobre a saúde e os seus efeitos potenciais sobre o turismo das regiões estudadas.

EXECUTIVE SUMMARY

Potential impacts of climate change on thermal stress levels and infectious diseases were assessed in this chapter for three popular tourist districts in continental Portugal: Faro, Lisbon, and Porto. The aim of the study is to point out the potential direction of change and suggest adaptation measures to avoid/reduce negative impacts, while maximizing positive impacts.

Climate change might increase the number of days with comfortable and slight heat stress in Lisbon and Porto, whereas a reduction is expected for Faro. Days with extreme heat stress are likely to become more frequent in the three districts with heat waves becoming more frequent and intense. The results also show that climate change may reduce the number of days with cold stress in all three districts, but especially in Porto.

Adaptation measures suggested to reduce heat stress include the use of air-cooling devices and building design features that reduce the heat load, implementation of heat-watch early warning systems in all districts (aimed at locals as well as tourists) and educational programmes to make the public aware of heat stress and of what they should do to avoid it. On the other hand, a reduction in cold stress days is likely to make Portugal a more attractive destination for autumn, winter, and spring tourism.

Infectious diseases investigated were: malaria, West Nile fever, leishmaniasis, Mediterranean spotted fever, and leptospirosis. Results indicate that the current risk of malaria transmission in the three districts is very low, while that of West Nile fever transmission is somewhat higher. Climate changes may become more favourable for mosquito survival and parasite development and thus potentially more favourable for malaria as well as West Nile fever transmission in spring and autumn. High risk levels are not anticipated in any of the three locations.

Leishmaniasis is endemic in Portugal. It is speculated that climate change may increase the risk of leishmaniasis transmission in all regions assessed here. Currently the risk of Mediterranean spotted fever transmission in all three districts is high, especially during the warmer months. Climate change is not anticipated to decrease this risk in any of the locations studied. Although leptospirosis is prevalent in Portugal, the three regions assessed here have prevalence rates well below the national average. Climate change is not expected to increase the disease prevalence rates in Faro and Lisbon. However, since climate change may increase extreme precipitation events for Porto, the prevalence rate in this district may increase accordingly.

Adaptation measures such as parasite and vector monitoring and associated surveillance programmes are urgently needed to reduce vulnerability to the infectious diseases studied here.

Insufficient health and environmental data for the regions and the significant number of knowledge gaps on the relationship between health and climate resulted in many uncertainties being incorporated in the assessments. These research gaps need to be better addressed in order to conduct more profound assessments of climate change health impacts and their potential effect on tourism in the studied regions.

6. Saúde Humana e Implicações para o Turismo

Autores: José M. Calheiros (Coordenador), Elsa Casimiro

Contribuições: António Paulo Gouveia de Almeida, Carlos Alves-Pires, Margarida Collares Pereira, Margarida Fonseca Cardoso, Margarida Santos-Silva, Maria Odete Alonso, Rita Sousa

6.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo avalia de que modo as alterações climáticas podem afectar a saúde pública e, de um modo particular, a dos turistas, em Portugal. O objectivo do estudo é indicar o sentido potencial da mudança e sugerir medidas de adaptação que permitam evitar/reduzir os impactos avaliados.

6.1.1 Resumo do Estudo SIAM I

A equipa de saúde do SIAM I conduziu uma vasta revisão da literatura científica internacional, tendo em vista determinar quais os impactos potenciais na saúde humana resultantes da mudança global do clima. Efectuou-se igualmente uma revisão dos estudos publicados disponíveis que assinalam mudanças na saúde dos portugueses, na sequência de alterações climáticas observadas. Com base nesta análise, foram identificados vários impactos. Os resultados-chave dos impactos avaliados e as medidas de adaptação sugeridas (Casimiro e Calheiros, 2002) encontram-se sintetizados nos parágrafos seguintes.

Um dos impactos mais evidentes é constituído pelas mortes que ocorrem em Portugal em relação directa com episódios designados por «ondas de calor». Os cenários das alterações climáticas para Lisboa indicam que as ondas de calor se tornarão mais frequentes e intensas. De acordo com estes cenários, é de esperar que estas mortes venham a aumentar em qualquer dos cenários climáticos considerados. Para a década de 2020, e considerando o cenário mais conservador (resultados do modelo HadRM2 incluindo aclimatização) prevê-se um aumento de 7 % da respectiva taxa de mortalidade, a qual é, actualmente, de 6 mortes por 100 000 indivíduos por ano. Se considerarmos um cenário menos conservador (resultados do modelo de PROMES sem estar previsto qualquer processo de aclimatização), é de esperar no que se refere às mortes relacionadas com o calor se verifique um número cerca de seis vezes superior relativamente à situação presente.

Medidas de adaptação planeadas, como sejam, um sistema nacional de aviso precoce, um planeamento urbano adequado com vista à redução do efeito «ilha de calor», e o uso

de ar condicionado, foram sugeridas para reduzir a vulnerabilidade da população às ondas de calor previstas.

Hoje em dia, é frequente observarem-se níveis perigosos da qualidade do ar para a saúde pública. Se o clima se tornar mais quente e mais variável, como sugerem os modelos das alterações climáticas, são de esperar aumentos dos níveis de ozono troposférico e de aeroalérgenos, nomeadamente pólenes. Como consequência, poderemos observar exacerbações da asma e de outras doenças respiratórias, as quais constituem, actualmente, problemas de saúde pública relevantes. Medidas de controlo da poluição mais eficazes e o desenvolvimento de um sistema nacional de aviso sempre que se verifique deterioração da qualidade do ar são duas das medidas de adaptação requeridas para reduzir os resultados adversos para a saúde, actuais ou futuros, resultantes da poluição atmosférica.

Inundações e períodos de seca são acontecimentos recorrentes em Portugal, dos quais advêm implicações significativas, quer económicas quer para a saúde. É previsível que as alterações climáticas venham a aumentar a frequência e intensidade de ambos. Medidas de adaptação, tais como sistemas de alerta precoce e melhorias nos procedimentos referentes às definições de zonas e aos critérios para a construção de edifícios são medidas sugeridas com vista à redução da vulnerabilidade da população.

A deficiente qualidade da água e a presença de agentes patogénicos de transmissão hídrica ou alimentar são, ainda, problemas de saúde pública actuais de grande relevância em Portugal. Se, como os cenários das alterações climáticas indicam, vierem a verificar-se uma grande variabilidade da precipitação e aumentos da temperatura, poderemos assistir a um aumento da ocorrência das doenças de que são responsáveis, que se ficam a dever ao facto das alterações climáticas favorecerem a sobrevivência dos respectivos agentes causais e a produção de biotoxinas. Neste contexto, é possível e desejável reduzir a vulnerabilidade da população através de melhorias nos sistemas actuais de abastecimento de água e de saneamento, assim como dos sistemas de monitorização ambiental e de vigilância epidemiológica. Por outro lado, qualquer eventual deterioração das infra-estruturas actuais de saúde pública irá conduzir inevitavelmente a riscos acres-

cidos de transmissão biológica, independentemente da presença de alterações climáticas.

Aumentos da temperatura e da variabilidade da precipitação podem também ampliar os riscos potenciais de agentes transmitidos por vectores e/ou por roedores, tais como os agentes da doença de Lyme, da leishmaniose, da febre do Nilo Ocidental e da leptospirose. No que se refere à febre botonosa, também designada por febre escaro-nodular, a informação disponível foi manifestamente insuficiente o que inviabilizou a avaliação do impacto das alterações climáticas. Melhorias nos sistemas de monitorização e vigilância, tanto ao nível das doenças como dos vectores e dos agentes patogénicos, são indispensáveis para se obter uma compreensão mais adequada do processo de transmissão biológica neste grupo de patologias. No âmbito do SIAM I, foi igualmente sugerida a necessidade de se proceder a melhorias nas actuais infra-estruturas básicas da saúde pública, tendo em vista a redução da vulnerabilidade da população, medidas que se traduzirão por benefícios relevantes, independentemente da magnitude das alterações climáticas.

A marcada *escassez* de dados ambientais e da saúde em Portugal, para além da existência de importantes lacunas do conhecimento no que se refere às relações entre a saúde e o clima, traduz-se em incertezas adicionais que, inevitavelmente, se encontram incorporadas na presente avaliação. Consequentemente, nenhuma conclusão definitiva pode ser alcançada, em termos da magnitude dos impactos potenciais na saúde resultantes das alterações climáticas. É desejável que estas lacunas sejam rapidamente ultrapassadas, atendendo à necessidade de se proceder a uma avaliação profunda das vulnerabilidades da saúde pública associadas às mudanças previstas e ao reforço das medidas de mitigação.

6.1.2 O Estudo SIAM II

O relatório do SIAM I constituiu o primeiro estudo nacional de um país do Sul da Europa em que foi avaliada a relação entre as alterações climáticas e o seu impacto sobre a saúde humana. O referido relatório procedeu à identificação dos potenciais impactos para a saúde descritos na literatura e procedeu, ao nível nacional, à avaliação dos mais relevantes. Como já referimos, a avaliação aprofundada de alguns impactos foi limitada por diversos impedimentos.

O estudo do SIAM II é de orientação regional, contrastando com o carácter nacional do primeiro estudo, o que possibilita, para cada região, uma avaliação mais detalhada dos potenciais impactos sobre a saúde resultantes das alterações climáticas. Novos conhecimentos sobre a relação entre alguns impactos e o clima foram incorporados neste processo

de avaliação. De um modo idêntico ao SIAM I, foram usados os dados de um modelo regional da mudança do clima. O modelo climático usado no actual estudo (HadRM3) contempla vários cenários socioeconómicos, uma característica não incluída na investigação precedente. Dada a sua relevância, os impactos potenciais devidos às alterações climáticas foram também avaliados no SIAM II no que se refere à saúde dos turistas em Portugal.

6.1.3 Impactos Avaliados

Os mecanismos pelos quais se admite que as alterações climáticas possam afectar a saúde humana são variados. Alguns são directos, tais como a exposição a condições térmicas extremas ou a inundações. Outros envolvem mecanismos intermédios e múltiplos como os que afectam a dinâmica da transmissão de doenças transmitidas por vectores ou pela água. No seu conjunto, McMichael e Githeko (2001) consideram que os impactos negativos para a saúde excedem os impactos positivos.

É escassa a literatura científica que ilustre a existência de mudanças no estado de saúde dos portugueses devido às alterações observadas no clima, exceptuando-se os estudos da mortalidade associada a ondas de calor (Paixão e Nogueira, 2002). São ainda mais raros os estudos referentes à saúde dos turistas no contexto das alterações climáticas em Portugal, o que torna a identificação de potenciais impactos futuros particularmente difícil. Não obstante, se considerarmos os impactos investigados na avaliação nacional (Casimiro e Calheiros, 2002) e os analisarmos numa perspectiva regional e das consequências sobre o turismo, diversos impactos potenciais podem ser identificados (Tabela 6.1).

Alguns dos referidos impactos foram avaliados com maior detalhe visando contribuir para reduzir/evitar a vulnerabilidade da população e dos turistas a doenças associadas com as alterações climáticas em Portugal. Destes foram avaliados com mais pormenor: o conforto térmico e a mortalidade associada às ondas de calor, as doenças transmitidas por mosquitos, tais como a malária e a febre do Nilo Ocidental, a leishmaniose assim como a febre escaro-nodular (FEN) e a leptospirose. Para cada uma das situações referidas segue-se uma breve descrição dos impactos na saúde e da sua relação com as alterações climáticas.

6.1.3.1 Conforto e Stress Térmico

O conforto térmico afecta a saúde humana e o bem-estar. Em indivíduos saudáveis, o conforto térmico é mantido através de respostas termorreguladoras apropriadas ao ambiente

Tabela 6.1 – Potenciais impactos das alterações climáticas sobre a saúde em Portugal

Impacto sobre a Saúde	Associado a
Aumento do desconforto, morbilidade e mortalidade associados ao calor	Ondas de calor mais frequentes e intensas
Diminuição do desconforto, morbilidade e mortalidade associados ao frio	Invernos moderados
Aumento da prevalência de afecções respiratórias e cardiovasculares	Deterioração da qualidade do ar
Aumento da mortalidade e morbilidade geral devido a alterações de saúde mental	Inundações, tempestades, secas e fogos
Aumento da incidência de doenças transmitidas pela água e alimentos	Inundações, secas, temperaturas mais elevadas, subida do nível do mar
Mudanças na distribuição e frequência das doenças transmitidas por vectores e roedores	Temperaturas mais elevadas, secas, inundações, e alterações da humidade

Tabela 6.2 – Portugal: Mortalidade observada e esperada associada a ondas de calor

Onda de Calor	Portugal		Faro		Lisboa		Porto	
	Mortes Adicionais	Obs/Exp	Mortes Adicionais	Obs/Exp	Mortes Adicionais	Obs/Exp	Mortes Adicionais	Obs/Exp
Junho 1981	1906,0	1,9	33,9	1,4	460,2	2,1	349,9	2,3
Julho 1990	690,4	1,2	11,1	1,1	154,6	1,3	75,9	1,2
Maior 1991	475,0	1,2	21,9	1,2	108,6	1,2	69,9	1,2
Julho 1991	1001,8	1,4	88,4	1,9	311,3	1,6	59,8	1,2

Fonte: Garcia *et al.*, 1999; Paixão e Nogueira, 2002

externo e, consequentemente, as actividades físicas e mentais podem prosseguir sem dano para a saúde. Circunstâncias climáticas mais adversas podem exceder as capacidades termorreguladoras do organismo e traduzir-se em resultados adversos para a saúde. A temperatura é a variável climática que mais afecta o conforto humano.

O impacto devido ao frio pode traduzir-se em lesões cutâneas, mortalidade acrescida, contribuindo ainda para o aumento da frequência de doenças respiratórias. Este aumento é atribuído geralmente a infecções cruzadas resultantes do aumento do número de indivíduos dentro dos edifícios e dos efeitos adversos do frio sobre a capacidade de resistência à infecção mediada pelo sistema imunitário. Na Europa, a mortalidade por doença isquémica cardíaca e por doenças cerebrovasculares constituiu a principal causa de mortalidade relacionada com o frio excessivo. Os residentes em regiões com Invernos moderados parecem ser mais sensíveis ao tempo frio do que os habitantes de países que habitualmente têm Invernos com temperaturas muito baixas (Eurowinter Group, 1997). O mesmo estudo também mostrou que, na Europa, as taxas de mortalidade eram mínimas quando a temperatura média diária é de 18 °C, e que

se verificavam subidas sempre que a temperatura diminuía (Eurowinter Group, 1997).

O impacto devido ao calor pode conduzir a situações de exaustão, golpes de calor, desmaios, distúrbios do sono e a mortalidade acrescida. Os estudos sobre ondas de calor realizados em Portugal demonstraram que grande parte desta mortalidade adicional é devida às doenças cardiovasculares, cerebrovasculares e respiratórias, sendo mais elevada nas pessoas idosas e nos indivíduos com doença preexistente (Paixão e Nogueira, 2002). Outros estudos indicam que o efeito de «ilha de calor» em áreas urbanas se traduz no facto de os seus residentes serem mais vulneráveis aos efeitos sobre a saúde associados a ondas de calor (McGeehin e Mirabelli, 2001). Por outro lado, sendo a poluição do ar tipicamente mais elevada em áreas urbanas, os seus residentes ficam ainda mais vulneráveis face aos níveis elevados de poluição que acompanham, com frequência, as ondas de calor.

A literatura indica que o limiar de temperatura a partir do qual se podem definir aumentos da mortalidade associada ao calor é específico de cada região, sendo mais elevado nas regiões de clima quente (Keatinge *et al.*, 2000). A análise

de temperaturas excepcionalmente elevadas em Portugal (Tabela 6.2) revela aumentos significativos da mortalidade em tais períodos (Garcia *et al.*, 1999; Dessai, 2002; Paixão e Nogueira, 2002). Os trabalhos preliminares referentes à mortalidade registada durante as ondas de calor de Junho de 2000 e de Agosto de 2003 revelam também a ocorrência de mortes em excesso (Falcão *et al.*, 2003). Os dados referentes às ondas de calor de Junho de 1981 e de Julho de 1991 indicam que, em Portugal, quando a temperatura máxima diária é igual ou superior a 32 °C durante dois dias consecutivos, se verificam aumentos significativos da mortalidade geral (Garcia *et al.*, 1999; Paixão e Nogueira, 2002).

6.1.3.2 Doenças Transmitidas por Mosquitos

Doenças como a malária ou paludismo e a febre do Nilo Ocidental são doenças infecciosas causadas por agentes patogénicos transmitidos ao homem por mosquitos infectados, no acto de o picarem para uma refeição sanguínea. Só as fêmeas dos mosquitos são responsáveis pela transmissão humana, pois só elas se alimentam de sangue para a produção de ovos. Assim, a transmissão destes parasitas e vírus está habilmente assegurada pela dependência nutricional dos mosquitos para a sua sobrevivência na natureza.

Os mosquitos têm um complexo ciclo de vida com várias metamorfoses. As fêmeas põem os ovos em charcos e outras massas de água (criadouros) onde se desenvolvem as larvas que depois mudam para o estado de pupa, de onde eclodem os adultos que passam do meio aquático para o meio aéreo, onde completam a sua existência. Este desenvolvimento e a sua duração estão fortemente condicionados pelas condições atmosféricas, pois a existência de criadouros depende, entre outros factores, da pluviosidade. Por outro lado, as temperaturas elevadas vão permitir um desenvolvimento célere, podendo, em regiões tropicais, com médias de 30 °C, durar cerca de 9-10 dias desde o ovo a adulto, enquanto que com temperaturas mais baixas, típicas das regiões temperadas, o desenvolvimento pode durar vários meses.

A frequência com que as fêmeas fazem uma refeição sanguínea depende da temperatura e humidade atmosféricas, aumentando com altas temperaturas e baixas humidades. A longevidade dos mosquitos varia com as referidas condições, podendo atingir 2-3 meses. Está condicionada a uma temperatura e humidade óptimas que variam de espécie para espécie, diminuindo sempre que a temperatura se afasta da gama adequada, e a humidade é inferior à ideal. Para a transmissão dos agentes zoonóticos ao homem é condicionante que a espécie de mosquito em causa tenha preferência por o picar (antropofilia). Os mosquitos que se alimentam em animais e no homem podem transmitir os referidos agen-

tes, entre aqueles e o homem, como é o caso do vírus do Nilo Ocidental.

As doenças transmitidas por mosquitos exibem um padrão sazonal que sugere que a sua transmissão é afectada pelas variações e alterações climáticas. Vários estudos têm indicado que as alterações climáticas podem resultar num risco real de reintrodução de vários agentes transmitidos por mosquitos em zonas actualmente livres das patologias inerentes (Epstein, 2000; Martens *et al.*, 1995; Casimiro e Calheiros, 2002).

Surtos recentes de malária e febre do Nilo Ocidental na Europa de Leste (possivelmente devido a disrupção das infra-estruturas de saúde pública), bem como surtos de febre do Nilo Ocidental em animais no Sul da Europa, são consideradas sérias ameaças à saúde pública dos países do Sul da Europa. Estas preocupações intensificaram-se com surtos recentes de doenças transmitidas por mosquitos em países tradicionalmente livres delas. É exemplo a epidemia de febre do Nilo Ocidental anteriormente desconhecida nos Estados Unidos da América, e que em 2-3 anos se tornou endémica de costa a costa. Apesar de se poder argumentar que as autoridades da saúde da União Europeia (EU) serão capazes de reagir rapidamente a qualquer situação esporádica de agentes patogénicos transmitidos por mosquitos, evitando que esta se torne endémica e reemirja em qualquer dos países da EU, o impacto que tal acontecimento teria na imagem internacional do país em questão seria muito grave já que, actualmente, estas doenças são consideradas «típicas» de países em desenvolvimento. A possível ocorrência de malária autóctone, por exemplo, afectaria certamente o sector do turismo de qualquer país da Europa.

O actual clima de Portugal é propício à existência de populações de mosquitos, estando assinaladas 40 espécies, metade das quais são potencialmente capazes de transmitir agentes patogénicos ao homem (Ribeiro *et al.*, 1988). Entre as espécies presentes, destacam-se *Anopheles atroparvus*, *Culex pipiens*, *Culex theileri*, *Ochlerotatus caspius* e *Ochlerotatus detritus*, pelas suas elevadas densidades, larga distribuição, hábitos de picada no homem, constituindo os mosquitos mais abundantes em Portugal, num rastreio nacional recente (Galão *et al.*, 2002). Estas espécies são, ou já foram, vectores de vários agentes patogénicos, como os da malária e de arboviroses noutros países e continentes, o que acresce ao anteriormente exposto sobre a sua importância em saúde pública. Embora a espécie *An. atroparvus* prefira picar animais em vez do homem, a sua distribuição nacional, a alta densidade relativa e a sua capacidade de transmitir agentes causais de diferentes doenças ao homem, torna-a numa das espécies de mosquitos que constitui motivo de preocupação ao nível da saúde pública em Portugal.

A abundância de mosquitos está dependente de muitos factores ambientais e, nos meios urbanos, também de factores socioeconómicos. Modelos de regressão logística multivariada usando o clima, cobertura do solo e a presença de *An. atroparvus* na Europa, indicam que o clima prevê melhor a presença de mosquitos que o tipo de cobertura do solo. As variáveis climáticas que melhor explicam a presença de mosquitos são a temperatura, a precipitação e a nebulosidade (Kuhn *et al.*, 2002).

O referido estudo de Kuhn *et al.* (2002) assumiu uma alta probabilidade da presença de mosquitos como uma aproximação de abundância. No mesmo estudo conclui-se que a abundância de *An. atroparvus* está relacionada com a temperatura de uma maneira não linear com valores óptimos definidos, havendo probabilidade de acentuada abundância quando a temperatura variava entre os 16-23 °C e estimou-se a temperatura média ótima como sendo 17,9 °C (Kuhn *et al.*, 2002). Estudos laboratoriais também indicaram que para a maioria das espécies anofelínicas a sobrevivência dos adultos era muito reduzida abaixo dos 10 °C e acima dos 40 °C (Martens, 1998). Observações de campo indicam que as larvas de *Cx. pipiens* se desenvolvem quando a temperatura da água em que se encontram é superior a 15 °C (Spielman, 2001), enquanto a sobrevivência dos adultos é afectada adversamente a temperaturas superiores a 28 °C (Gazave *et al.*, 2001). Assim, usou-se o intervalo entre 15-28 °C como as temperaturas favoráveis ao desenvolvimento de *Cx. pipiens*.

A malária e a febre do Nilo Ocidental são as doenças que podem causar maior preocupação em termos de saúde pública em Portugal, e, como tal têm vindo a ser investigadas pelos serviços competentes. Por tal motivo aqui se procede à sua análise nos três distritos em estudo.

Malária

A malária é uma doença provocada por parasitas do género *Plasmodium*, com um complexo ciclo de vida, alternando entre animais vertebrados e mosquitos, sendo quatro as espécies que infectam os humanos. *Plasmodium falciparum*, *P. vivax*, *P. ovale* e *P. malariae*, dos quais a primeira é a responsável pelas formas mais graves de doença. Estes parasitas são transmitidos ao homem pela picada de mosquitos infectados que os injectam com a sua saliva. A doença manifesta-se quando os parasitas, após um ciclo repetido de invasão dos glóbulos vermelhos onde se multiplicam, dando origem a novos parasitas que vão invadir novos glóbulos, atingem uma população parasitária tal que provoca sintomas típicos como picos febris com calafrios e sudação profusa, levando a grande debilitação, que pode evoluir para anemia grave, coma e morte, se não for tratada rápida e eficazmente.

Há, no entanto, alguns parasitas que ao penetrarem nos glóbulos vermelhos não se multiplicam, mas que se diferenciam em formas denominadas gametócitos que são responsáveis pela transmissão do parasita ao serem ingeridas pelos mosquitos quando estes picam uma pessoa infectada. O parasita enquista no estômago do mosquito, e após de cerca de 12 dias liberta milhares de novos parasitas que vão infectar as glândulas salivares do mosquito, tornando-o, assim, infectante da próxima vez que picar algum ser humano.

A malária humana é transmitida apenas por mosquitos do género *Anopheles* dos quais existem centenas de espécies, nem todas vectores, entre outras razões porque nem todas são susceptíveis ao desenvolvimento dos parasitas, apresentando diferentes graus de eficácia.

Antes das campanhas de erradicação do paludismo ou sazonalismo nos anos 1940-1950, a malária era uma doença comum, principalmente no Verão, em Portugal. Na década de 1940, cerca de 70 000 casos de malária devida a *P. vivax* eram registados anualmente, 30 000 dos quais em crianças. Nessa altura, Portugal, Itália e Espanha tinham as taxas mais elevadas de mortalidade por malária da Europa. Actualmente, não existem casos de malária de transmissão autóctone. Contudo, uma média de 80 casos de malária de importação é notificada por ano, o que dá uma incidência de 0,77 casos por 100 000 habitantes (DGS, 2001). Estes registos são principalmente de indivíduos oriundos de países africanos como Angola, Guiné-Bissau e Moçambique, com fortes laços culturais e económicos com Portugal. Laços esses que naturalmente se manterão no futuro. Durante as duas últimas décadas, os casos de malária importada, em Portugal, são devidos aos parasitas *P. falciparum*, *P. vivax*, *P. ovale* e *P. malariae*, sendo a maior parte devida a estirpes africanas de *P. falciparum* (Proença *et al.*, 1996) e notificados principalmente nos maiores centros urbanos (DGS, 2001).

Continua a existir em Portugal uma espécie de mosquitos capaz de transmitir a malária, *An. atroparvus*, que justifica cuidados de saúde pública pela sua abundância e distribuição alargada, e por ter sido o transmissor da malária quando esta grassava em Portugal antes da sua erradicação no fim da década de 1950 (Ribeiro *et al.*, 1988; Galão *et al.*, 2002). A ausência de casos de transmissão autóctone, apesar de os factores climáticos serem favoráveis, indica por um lado que as populações desta espécie de mosquitos não estão infectadas com os parasitas da malária, e por outro que o clima não é o único condicionante para que a transmissão ocorra. Na realidade, apesar de existir um reservatório de plasmódios nos casos de importação, este será pequeno, e flutuante. Esta situação deve-se a: i) mobilidade dos indivíduos infectados; ii) variabilidade dos períodos em que o parasita está em circulação na forma infecciosa para

os vectores e em que, portanto, os indivíduos infectados são infecciosos para os mosquitos até pelo próprio tratamento a que são sujeitos. Por outro lado, o vector *An. atroparvus* não só pica sobretudo animais dada a sua bioecologia rural, revelando baixa preferência por picar o homem (baixa antropofilia) (Sousa *et al.*, 2001), como também revelou ser refractário a plasmódios de origem africana (Ribeiro *et al.*, 1989). Por outro lado, a transmissão da malária é influenciada por muitos factores e alterações socioeconómicas e de utilização do solo (Landeiro e Cambournac, 1933; Kuhn *et al.*, 2003).

Na transmissão da malária, os parâmetros mais sensíveis aos factores climáticos são a sobrevivência dos mosquitos adultos que é afectada pela temperatura e humidade, e o desenvolvimento do parasita no mosquito, igualmente afectado pela temperatura, a qual parece ser o parâmetro mais sensível. Enquanto *P. vivax* não se desenvolve no mosquito a temperaturas abaixo de 14,5 °C, *P. falciparum* necessita de pelo menos 16 °C para se desenvolver. A proporção de ambos os parasitas decresce rapidamente a temperaturas superiores a 35 °C (Martens, 1993).

Febre do Nilo Ocidental

O flavivírus do Nilo Ocidental é o agente patogénico da febre do mesmo nome, caracterizada por uma síndrome febril, tipo gripal, e cujas manifestações mais graves tomam a forma de encefalite que pode ser fatal. Os reservatórios destes vírus na natureza são vários tipos de aves, que não sucumbem ao vírus, mantendo-o em circulação o tempo suficiente para que os mosquitos se infectem ao picá-las e depois os transmitam ao homem e ao cavalo que também pode ser fatalmente afectado.

Estudos retrospectivos em sangues/soros humanos (Filipe, 1974) ou animais (Filipe, 1975) indicam que terá havido em Portugal surtos de febre do Nilo Ocidental em 1962-1966 (Filipe, 1983). Estudos recentes em aves selvagens, em Portugal, mostraram de novo reactividade, ou seja, contacto com o vírus (Formosinho *et al.*, 2002).

O referido vírus já foi isolado de mosquitos *An. atroparvus* de Portugal em 1969 e em 1996 (Filipe, 1983; Fernandes *et al.*, 1993). Estudos recentes, com o objectivo de se investigar a presença de arbovírus nos mosquitos de Portugal, não têm detectado esta infecção. No entanto, tem-se confirmado a existência no país de várias espécies de mosquitos, tais como *An. atroparvus*, *Cx. pipiens*, *Cx. theileri*, *Oe. caspius*, e *Oe. detritus*

(Galão *et al.*, 2002), susceptíveis de transmitirem este e vários outros arbovírus na Europa e noutros continentes (Huback e Halouzka, 1999; Lundström, 1999).

A temperatura ambiental tem um papel muito importante na transmissão destas doenças, afectando quer os vírus quer os mosquitos. Estudos laboratoriais mostraram que a capacidade do mosquito transmitir o vírus está directamente relacionada com a temperatura a que os mesmos são mantidos. À temperatura de 30 °C, a replicação e transmissão do vírus do Nilo Ocidental pelos mosquitos está facilitada (Dohm *et al.*, 2002).

6.1.3.3 Leishmaniose

A leishmaniose visceral humana (LV), ou kala-azar, é uma doença infecciosa, de ampla distribuição, sendo endémica em Portugal. Os sintomas mais comuns são a temperatura elevada, arrepios, fadiga, dor abdominal e diarreia. A anemia e hepatoesplenomegalia constituem manifestações clínicas características desta doença. A LV quando não tratada apresenta uma elevada taxa de mortalidade. As crianças e doentes imunocomprometidos são os mais susceptíveis a esta patologia. A co-infecção *Leishmania* /VIH¹ é considerada uma «doença emergente» no Sudoeste europeu (WHO, 1999).

Em Portugal, os casos humanos de LV têm diminuído, significativamente, desde 1950. Entre 1995 e 2000, foram notificados 87 casos, sendo a taxa de incidência para 2000 de 0,07 por 100 000 habitantes (DGS, 2001). Contudo, a incidência está, provavelmente, subestimada uma vez que durante o mesmo período 245 pessoas foram hospitalizadas com LV (IGIF, 2002).

Esta doença, causada por um protozoário, é transmitida ao homem pela picada de fêmeas de flebotomos infectantes, a partir de reservatórios animais. Em Portugal, *Phlebotomus perniciosus* é o flebotomo com maior importância em saúde pública, seguido de *Phlebotomus ariasi* (Pires, 2000), sendo o cão o principal reservatório de *Leishmania infantum*. Esta espécie é a responsável pela LV em Portugal (Campino, 1998).

A distribuição das diferentes espécies de flebotomos está dependente das condições ambientais. Estudos laboratoriais demonstraram que os flebotómíneos adultos são sensíveis a uma humidade baixa e a temperaturas extremas. *Ph. ariasi* sobrevive bem a temperaturas compreendidas entre os

¹ Vírus da Imunodeficiência Humana

5" e os 30 "C (Rioux *et al.*, 1985). Contudo, *Ph. perniciosus*, necessita de uma temperatura mínima de 15 "C para o seu desenvolvimento, não sendo totalmente conhecida a temperatura máxima suportada em termos de sobrevivência (Tesh, 1992).

Após se terem efectuado estudos laboratoriais, verificou-se que a temperatura mais favorável para o desenvolvimento de *L. infantum* nos vectores é de 25 "C. As temperaturas máximas e mínimas, que conduzem a um atraso do desenvolvimento parasitário intravectorial, não foram determinadas (Rioux *et al.*, 1985). Estudos efectuados com *L. mexicana amazonensis* revelaram que, a uma temperatura igual ou superior a 28 "C, o desenvolvimento do parasita no vector é reduzido, tornando-se a transmissão vectorial praticamente, impossível (Leaney, 1997). Uma vez que o ciclo do parasita no vector é também dependente da sobrevivência e do desenvolvimento do flebótomo, e que este último sofre atrasos se a temperatura for igual ou inferior a 15 "C, as temperaturas compreendidas entre os 15 " e os 28 "C parecem ser indicadores razoáveis dos períodos favoráveis ao desenvolvimento da *Leishmania* em *Ph. perniciosus*.

6.1.3.4 Febre Escaro-Nodular

A febre escaro-nodular de Ricardo Jorge (Jorge, 1930), também designada por «febre botonosa», ou «Mediterranean spotted fever», é uma doença endémica em Portugal. O agente etiológico responsável por esta patologia é a bactéria *Rickettsia conorii*. O ixodídeo *Rhipicephalus sanguineus*, conhecido em Portugal por carraça do cão, é o seu vector/reservatório mais importante do ponto de vista epidemiológico.

Além das áreas consideradas endémicas, como a bacia do Mediterrâneo, Norte de África, Índia, região do mar Negro e ex-URSS, estão descritos casos esporádicos noutros países não endémicos como a Alemanha, Bélgica, Suíça, Suécia e Uruguai (Staszewski *et al.*, 1984; Lambert *et al.*, 1984; Chalmot *et al.*, 1987; Mc Donald *et al.*, 1988; Vene, 1989). A ocorrência destes casos está ligada ao turismo ou à introdução de vectores que adquiriram a infecção em zonas endémicas.

A febre escaro-nodular (FEN), paralelamente com a brucelose, é a zoonose com maior significado em termos de saúde pública em Portugal. É uma doença de declaração obrigatória e a taxa de incidência média desta patologia é de 9,8 por 100 000 habitantes (1989-2000), uma das mais elevadas face aos países da bacia do Mediterrâneo (Walker *et al.*, 1987; Aharonowitz, 1999; Mumcuoglu, 2002; Raoult e Roux, 1997; Sousa *et al.*, 2003a; Bacellar, 2003). Contudo, continua a subestimar-se a sua verdadeira incidência devido à elevada taxa de subnotificação (Sousa *et al.*, 2003a).

A FEN caracteriza-se clinicamente como uma doença exantemática, com um processo de vasculite generalizado. O período de incubação varia em média entre 5 a 7 dias após a picada da carraça (Raoult e Roux, 1997). Apresenta uma tríada de sinais e sintomas clínicos bem definidos: febre (> 39"), exantema e escara de inoculação (Raoult e Roux, 1997; Sousa *et al.*, 2003b). Considerada uma doença benigna e na maior parte dos casos tratada em ambulatório, observou-se nos últimos anos um aumento do número de casos graves e consequentemente do número de óbitos (Sousa *et al.*, 2003b). Alguns autores sugerem que as formas graves da doença possam ter origem nas diferenças de virulência das estirpes do complexo *R. conorii* (Mc Dade, 1990; Morais *et al.*, 1996). Contudo, é difícil avaliar se uma estirpe é na realidade mais virulenta que outra, ou se as diferenças nas manifestações causadas pela infecção estão relacionadas com a imunidade ou outros factores inerentes ao doente. Está descrito que factores como idade avançada, diabetes, alcoolismo crónico, insuficiência cardíaca, deficiência da enzima glucose-6-fosfato desidrogenase, e atraso na instituição da terapêutica específica estão associados ao aparecimento de formas graves e fatais (Walker, 1990; Walker e Fishbein, 1991; Regev-Yochay *et al.*, 2000; Sousa *et al.*, 2003b).

A FEN é uma doença que pode ocorrer todo o ano. No entanto, a maior parte dos casos verifica-se nos meses de Julho, Agosto e Setembro (DGS, 2001), época em que se verifica uma maior actividade e abundância do vector *R. sanguineus*. Este período coincide também com os meses de maior frequência de actividades recreativas ao ar livre e maior turismo em Portugal.

O agente *R. conorii* é transmitido ao homem pela mordedura da carraça infectada, enquanto esta efectua a sua refeição sanguínea. Considera-se, no entanto, que é necessário um período de fixação do artrópode/vector de 6-20 horas para haver uma transmissão efectiva do agente infeccioso ao homem (Gilot *et al.*, 1990). O ciclo biológico de *R. sanguineus* compreende quatro fases evolutivas: ovo, larva, ninfa e adulto, das quais as três últimas são consideradas activas. Durante as fases activas do ciclo biológico, o ixodídeo alterna entre períodos activos (procura de hospedeiro e alimentação) e períodos não activos (metamorfose e diapausa). Considera-se ainda que qualquer das fases evolutivas activas de *R. sanguineus* têm a capacidade de parasitar o homem e transmitir o agente infeccioso. É sobretudo nos estados de ninfa e adulto que se verifica a ocorrência da maioria dos casos de transmissão do agente *R. conorii*, por estes estados permitirem um período de alimentação mais alargado no hospedeiro. Os períodos de metamorfose e diapausa podem ser diminuídos por um conjunto de condições climáticas favoráveis, como a temperatura, humidade relativa e fotoperíodo.

A incidência da FEN está condicionada pela distribuição, abundância e a dinâmica sazonal do seu principal vector. Embora o número de casos seja influenciado pela prevalência de infecção do vector, assim como pela disponibilidade de hospedeiros que permitem a refeição de sangue, os factores climáticos condicionam fortemente o desenvolvimento do ciclo biológico do vector e indirectamente o número de casos de doença (Espejo-Arenas *et al.*, 1986; Raoult *et al.*, 1992; Caeiro, 1999).

Em algumas regiões do país, nomeadamente a sul, que apresentam condições climáticas mais favoráveis ao desenvolvimento do ciclo de vida do vector *R. sanguineus*, este pode realizar dois ou três ciclos de vida anuais permitindo que no mesmo ano ocorram várias gerações (Caeiro, 1992; Santos-Silva e Filipe, 1998). Avaliar qual a probabilidade do homem ficar infectado, nomeadamente, em relação aos indivíduos que visitam o nosso país em turismo, com base na incidência da doença na região ou na abundância e distribuição do vector, torna-se difícil não só pela falta de fiabilidade dos números reportados de doença, mas também porque os modelos experimentais com base na abundância e actividade do vector correlacionados com variáveis climáticas são escassos. A presença de *R. sanguineus* encontra-se descrita em todos os distritos de Portugal, sendo uma carrapa com grande resistência a diferentes condições de temperatura (Caeiro, 1999). Contudo, é durante os meses mais quentes que se encontram as condições óptimas para o seu desenvolvimento e há um aumento do número efectivo de ixodídeos. Estudos em laboratório mostram que o *R. sanguineus* sobrevive e se mantém activo com temperaturas mínimas de 8 °C e máximas de 40 °C desde que a humidade relativa seja superior a 45 %, uma vez que esta é um parâmetro limitante para a sobrevivência do vector (Santos-Silva, comunicação pessoal). Estas características associadas à actividade, abundância e distribuição desta espécie no nosso país mostram que o risco de infecção de residentes e turistas pode ser especialmente elevado durante os meses quentes.

6.1.3.5 Doenças Transmitidas por Roedores

As doenças associadas aos roedores são directamente transmitidas ao homem por contacto directo com as fezes e líquidos orgânicos daqueles animais, enquanto reservatórios de agentes patogénicos. A transmissão é influenciada quer pelo desempenho de actividades que envolvem um maior risco de contágio com os roedores ou os seus excreta, quer pelo aumento da respectiva densidade populacional. Esta decorre por sua vez da capacidade de sobrevivência destes animais face à disponibilidade de recursos (alimentares) e à ocorrência de alterações climáticas, tais como acentuada precipitação ou seca.

Em Portugal, destacam-se, actualmente, a leptospirose e a febre hemorrágica com insuficiência renal, como as mais prevalentes de entre as doenças transmitidas por roedores. Neste estudo apresentam-se os resultados referentes à primeira.

Leptospirose

A leptospirose é uma doença cosmopolita. É causada por espiroquetas do género *Leptospira* e, em regra, caracteriza-se como uma doença benigna, em que a febre elevada, calafrios, mialgias difusas, cefalias, náuseas e vómitos são as manifestações mais frequentes na fase inicial. No entanto, pode evoluir para uma segunda fase clínica, com agravamento da icterícia e da função renal, reconhecida como «Síndrome de Weil». Podem ainda surgir sinais meníngeos, insuficiência respiratória e diátese hemorrágica (Pacheco *et al.*, 2000). Apesar de a doença ter uma reduzida taxa de letalidade, os casos não tratados podem ser fatais. Por outro lado, alguns indivíduos infectados não apresentam quaisquer manifestações de doença.

A estatística oficial indica que entre 1996 e 2000 foram notificados, em média, 59 casos por ano em Portugal. A taxa de incidência da leptospirose em 2000, a nível nacional, foi de 4,5 casos por 1 000 000 de habitantes (DGS, 2001). Apesar de a doença ser considerada de notificação obrigatória em Portugal desde 1986 (para todos os serovares), admite-se que a verdadeira taxa de prevalência esteja subestimada (Falcão *et al.*, 1999). Actualmente, as ilhas açorianas, S. Miguel e Terceira, apresentam a maior taxa de incidência em Portugal, seguidas pela região Centro do país, distrito de Coimbra. Os casos de leptospirose são notificados durante todo o ano, embora com maior frequência no Outono e no Inverno (DGS, 2001).

O contacto humano accidental através da pele lesionada e/ou de mucosas com o meio exterior (água, solo e alimentos) contaminado pela urina dos animais infectados constitui a principal fonte de infecção por leptospirosas. Os roedores e alguns animais domésticos (cães, porcos e bovinos) são os principais hospedeiros/reservatórios destas espiroquetas. A nível mundial, é considerada uma doença de risco rural, ocupacional e recreacional (CDC, 1999).

Os surtos epidémicos de doença ocorrem, em regra, quando há chuva intensa, uma vez que o solo e a água potável ficam contaminados com a urina dos animais infectados (Ko *et al.*, 1999; Gubler *et al.*, 2001; Kupek *et al.*, 2000; Simões *et al.*, 1969). São igualmente frequentes na sequência de outros acontecimentos ambientais extremos, como ciclones (Shgal *et al.*, 2002).

Estudos recentes confirmaram que os roedores e os bovinos, em menor escala, são os responsáveis pela maioria das infecções humanas em Portugal (Collares-Pereira *et al.*, 1996; 2001; Vieira *et al.*, 1999; Pacheco *et al.*, 2000). Com base nas capturas efectuadas em áreas urbanas e rurais no distrito de Coimbra, admite-se que o número de roedores é superior no Outono e no Inverno (Collares-Pereira *et al.*, 1996). Em cerca de 25 % destes animais foi possível isolar diferentes serovares do complexo *Leptospira interrogans* sensu lato, confirmando-se o seu papel como portadores crónicos de espiroquetas patogénicas, em particular, as espécies *Rattus norvegicus* e *Mus spretus* (Collares-Pereira *et al.*, 1996; 2001). Nos Açores, a percentagem obtida foi superior a 50 % nas duas ilhas estudadas, para as três espécies de roedores existentes, *R. rattus*, *R. norvegicus*, e *M. musculus domesticus* (Collares-Pereira *et al.*, 1997), com particular destaque para esta última que apresentou taxas bacteriológicas iguais a 80 % em determinadas áreas. Com efeito, ao investigar-se a associação da infecção por *Leptospira* com factores biológicos e climáticos, na ilha Terceira, confirmou-se que os machos *M. musculus domesticus* adultos, sexualmente activos e capturados em biótopos húmidos acima dos 500 metros de altitude são os reservatórios «de eleição» (Collares-Pereira *et al.*, 2000a).

6.1.4 A Relação entre Turismo e Saúde em Portugal

Em Portugal, o turismo é uma importante indústria e um sector económico relevante, empregando mais de 5 % da população activa. A despesa efectuada por turistas estrangeiros contribui aproximadamente para 4,5 % do PIB nacional (INE, 2000). Em 2001, os não residentes constituíram mais de 60 % do mercado turístico, tendo os visitantes do Reino Unido, França, Espanha e Alemanha contribuído no seu conjunto com mais de 60 % do total das receitas devidas a turistas estrangeiros. As quatro regiões de destino mais frequente são a região litoral sul do Algarve correspondendo a 41 % do mercado português de turismo, seguida pela área metropolitana litoral central da região de Lisboa e Vale do Tejo (LVT), pela ilha da Madeira, e, em quarto lugar, pela costa e interior norte (INE, 2002).

Entre outros factores, o sucesso da indústria turística em Portugal pode ser atribuído:

- aos longos dias com temperaturas amenas e de sol, assim como aos invernos suaves;
- à costa extensa e à boa qualidade das suas praias;

- à valiosa cultura e gastronomia do país;
- ao baixo custo de vida em relação a outros países da UE;
- à melhoria da situação financeira dos lares portugueses verificada durante a passada década;
- à relativa proximidade dos países da UE geradores de actividades turísticas;
- ao facto de ser considerado um destino seguro uma vez que é uma democracia estável;
- ao facto de ser considerado um destino com muito baixo risco para a saúde, livre de doenças exóticas tais como a malária.

As condições naturais do ambiente e do clima são pois factores-chave que determinam a atracção de Portugal como um destino turístico. No entanto, é importante assinalar que as condições climáticas e meteorológicas podem constituir factores de atracção ou de rejeição. Por exemplo, o clima britânico influencia o turismo deste país no exterior, assim como atrai visitantes ao Reino Unido no ano seguinte (Agnew e Palutikof, 2001). O clima excepcionalmente quente registado em 1995 no Reino Unido parece ter contribuído para a diminuição da saída de turistas britânicos (Giles e Perry, 1998). Tendo presente este fenómeno, é interessante assinalar que o número de turistas do Reino Unido em Portugal cresceu fracamente em 1996 (Figura 6.1).

Por outro lado, é de salientar que os estudos sobre a dinâmica do turismo revelam que os artigos de imprensa sobre condições adversas de saúde, ameaças do terrorismo e fogos florestais devastadores têm uma maior probabilidade de preocupar turistas potenciais do que os que se referem a temperaturas elevadas (Perry, 2001). Como se depreende, a relação entre as questões de saúde e a procura turística é um factor fundamental para a sobrevivência local da actividade turística.

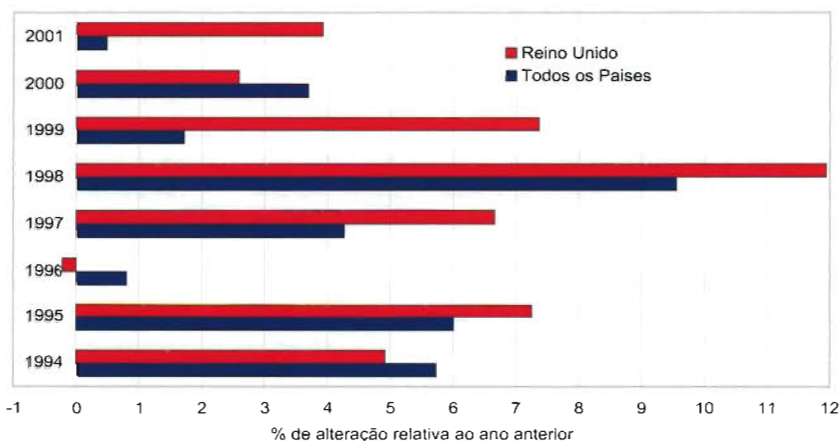


Figura 6.1 Portugal: Fluxos turísticos anuais (INE, vários anos)

As condições meteorológicas e climáticas podem afectar a saúde dos turistas através de mecanismos directos e indirectos (Perry, 2003). Os impactos directos sobre a saúde incluem os devidos ao *stress* térmico e os associados a acidentes, tais como afogamentos devido a inundações ou correntes fortes, queimaduras associadas a fogos florestais, assim como morbilidade e mortalidade devidas a avalanches ou deslizamento de terras. Os impactos indirectos incluem intoxicações alimentares, doenças transmitidas por vectores ou roedores, morbilidade e mortalidade resultantes da deterioração da qualidade da água e do ar, e mortalidade adicional devida a acidentes de trânsito.

Diversos estudos têm apontado para o facto de as alterações climáticas poderem desencorajar o turismo para os países mediterrâneos ao reduzir substancialmente o conforto térmico e a qualidade do ar em regiões da Grécia, Itália e Turquia, ao aumentar o risco de doenças infecciosas como a malária e as toxinfecções alimentares em Espanha, e ao aumentar o risco de desastres naturais como fogos florestais, inundações e secas (Viner e Agnew, 1999; Perry, 2001). A divulgação regularmente repetida destes impactos adversos pode actuar como um factor dissuasor do turismo. No presente estudo, as potenciais alterações do conforto térmico e os riscos associados a doenças transmitidas por vectores foram avaliados tendo por base os cenários de alterações climáticas previstos para Portugal. A inexistência de dados adequados impediu a avaliação dos impactos associados aos desastres naturais.

6.2 METODOLOGIA

6.2.1 Regiões Estudadas e Informação

Os impactos foram avaliados para três distritos turísticos de grande popularidade em Portugal Continental: Faro (Algarve) – o destino de férias de Verão mais frequente, no Sul de Portugal; o distrito metropolitano de Lisboa, na região de Lisboa e Vale do Tejo (LVT); e o distrito do Porto – distrito metropolitano e industrial no litoral na região Norte.

As temperaturas médias diárias observadas em Faro (aeroporto) entre 1965 e 1990, em Lisboa (Tapada) durante 1960-1990, e no Porto (Pedras-Rubras) para o período 1961-1990, foram obtidas do Instituto Nacional de Meteorologia. Os dados climáticos modelados desta avaliação utilizaram o modelo regional HadRM3. Como já foi enunciado no Capítulo 2, estes dados foram disponibilizados pelo «Climate Impacts LINK Project of the Hadley Centre for Climate Prediction and Research» do Reino Unido. Os dados de controlo (linha de base) basearam-se na simulação A2 para os períodos de 1961 a 1990. No que se refere às projec-

ções climáticas futuras foram utilizados os cenários A2 e B2 para os períodos de 2070-2100. Usaram-se os pontos de grelha mais próximos de Faro, Lisboa e Porto, respectivamente. Para todas as avaliações foram usados dados diários.

O Algarve, a região de LVT, e a região Norte contribuem, em conjunto, para aproximadamente 73 % do mercado turístico em Portugal (INE, 2002). Na Tabela 6.3 apresentam-se as variações sazonais expressas pelo número de noites dormidas em alojamentos turísticos, por mês e por região.

6.2.2 Metodologia de Avaliação dos Impactos

Como anteriormente referimos, a metodologia de avaliação usada foi similar à utilizada em Casimiro e Calheiros (2002). Durante a avaliação de cada resultado na saúde, foram considerados os seguintes pontos:

- Constitui o impacto estudado um problema actual de saúde da região?
- Existem registos históricos que indiquem que o impacto era um problema de saúde no passado?
- Qual a relação clima-saúde para o impacto?
- Supondo que as relações clima-saúde acima indicadas são válidas para todos os cenários de alteração climática, que mudanças na saúde podemos esperar que ocorram?

Segue-se uma descrição detalhada de cada impacto avaliado.

6.2.2.1 Conforto Térmico e Mortalidade Associada ao Calor

No presente estudo foi utilizado o índice, descrito por Höppe (1999), «Physiologic Equivalent Temperature» (Temperatura Fisiológica Equivalente, PET) para avaliar o *stress* térmico em residentes e turistas. O modelo de RayMan (Matzarakis, 2001) foi usado para calcular valores diários do PET para Faro, Lisboa e Porto, ao meio-dia, durante os anos considerados e para três cenários climáticos descritos. Os resultados são apresentados como frequência de dias por mês com níveis fisiológicos específicos de *stress*. Como pressupostos no cálculo do PET assumiu-se uma produção interna de calor de 80 W e uma resistência da roupa à transferência de calor de 0,9 clo. Os níveis de *stress* fisiológico usados correspondem aos valores limiares do PET sintetizados na Tabela 6.4. Os valores de PET calculados a partir dos dados dos cenários climáticos de controlo foram considerados indicativos das condições climáticas actuais (linha de base).

A mortalidade associada a ondas de calor encontra-se bem estabelecida para Portugal. Como tivemos oportunidade de

Tabela 6.3 – Padrões sazonais do turismo no Algarve, LVT, e região Norte:
Percentagem de noites dormidas por mês relativamente aos totais anuais de cada região

Região	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Algarve	3,5	5,2	6,4	8,3	9,2	11,4	13,9	14,9	11,7	8,1	4,0	2,8
LVT	5,5	5,9	8,6	9,9	9,7	9,0	9,3	11,4	9,8	9,2	6,4	5,0
Norte	5,1	5,5	7,1	8,1	8,9	9,5	10,3	12,9	11,0	9,0	6,6	5,5

Fonte: INE, 2002

Tabela 6.4 – Valores de PET e graus de sensibilidade térmica e de stress fisiológico para seres humanos (Matzarakis e Mayer, 1996)

PET (°C)	Sensibilidade térmica	Grau de stress fisiológico
< 4	Muito frio	Extremo stress pelo frio
4 – 8	Frio	Intenso stress pelo frio
8 – 13	Fresco	Moderado stress pelo frio
13 – 18	Ligeiramente fresco	Ligeiro stress pelo frio
18 – 23	Confortável	Ausência de stress térmico
23 – 29	Temperado	Ligeiro stress pelo calor
29 – 35	Quente	Moderado stress pelo calor
35 – 41	Muito quente	Intenso stress pelo calor
> 41	Muitíssimo quente	Extremo stress pelo calor

referir na secção 6.1.3.1, esta mortalidade ocorre quando se verificam temperaturas máximas diárias iguais ou superiores a 32 °C durante dois ou mais dias consecutivos. Este limiar foi utilizado em associação com o modelo regional HadRM3 para identificar para os distritos em apreço possíveis vagas de calor.

6.2.2.2 Doenças Transmitidas por Mosquitos

O impacto das alterações climáticas na densidade das populações de mosquitos adultos e na potencial prevalência dos organismos patogénicos em questão foram estimados de modo a calcular a mudança potencial do risco de transmissão destas doenças nos distritos de Faro, Lisboa e Porto.

Os intervalos de temperaturas favoráveis à sobrevivência de anofelíneos adultos descrita na secção 6.1.3.2 (10-40 °C), à abundância de *An. atroparvus* (16-23 °C) e de *Culex* (15-28 °C), e ao desenvolvimento de plasmódios (14,5-35 °C para *P. vivax* e 16-35 °C para *P. falciparum*), foram usados neste estudo como indicadores da abundância de mosquitos adultos e da potencial prevalência de organismos patogénicos. Estes dois parâmetros foram utilizados para aferir o risco potencial de transmissão dos agentes. Os níveis de risco de transmissão categorizados em Casimiro e Calheiros (2002) também foram usados neste trabalho.

6.2.2.3 Leishmaniose

O risco da transmissão da doença foi avaliado tendo em conta a densidade de vectores e o desenvolvimento cíclico do parasita. A densidade do vector foi apenas calculada para a espécie flebotomínica que apresenta uma maior gravidade para a saúde pública, nomeadamente *Ph. perniciosus*.

Dados mensais de *Ph. perniciosus* colhidos no terreno por Pires (2000) em três regiões endémicas de Portugal: região do Alto Douro, Parque Natural da Arrábida, localizado na região de Lisboa e Vale do Tejo, e no Sotavento algarvio foram usados no presente estudo. Em cada região, foram também determinados parâmetros climáticos tendo como objectivo verificar a relação vector-clima. No presente estudo os resultados indicaram que a densidade do vector varia, significativa e independentemente, com a temperatura média mensal, humidade relativa e precipitação. A relação encontrada foi a seguinte:

Densidade de Ph. perniciosus adultos = $12,19 + 0,95 T_{med} - 0,49 Hum_{rel} + 0,08 Precipitação$ ($R^2 = 0,7507$ e $p < 0,001$).

Este modelo foi usado no presente estudo para determinar as potenciais alterações da densidade de *Ph. perniciosus* adultos nas três regiões investigadas, sendo os dados climáticos obtidos a partir de HadRM3. Partiu-se do princípio de que os flebótomos teriam capacidade de sobrevivência a todas

as condições climáticas, mesmo aquelas não compreendidas dentro dos limites do modelo. A temperatura favorável ao desenvolvimento intravectorial de *Leishmania*, dos 15 °C aos 28 °C (secção 6.1.3.3), foi usada como indicador geral para os períodos cuja temperatura é favorável à transmissão da LV.

6.2.2.4 Febre Escaro-Nodular

Uma vez infectado, o vector *R. sanguineus* mantém a infecção durante toda a vida (transmissão transtadial) e propaga o agente infeccioso à sua prole (transmissão transovárica). O facto de uma postura envolver aproximadamente 5000 ovos e de haver uma transmissão transovárica efectiva demonstra, de alguma forma, a magnitude de dispersão do vector a partir de um única fêmea infectada (Burgdorfer *et al.* 1967; Burgdorfer, 1975). Desta forma, sabendo-se que condições óptimas de temperatura favorecem a actividade do vector e a sua abundância, avaliaram-se os potenciais impactos das alterações climáticas no risco de transmissão da bactéria aos residentes ou turistas que estejam em contacto com o artrópode/vector. Três distritos foram estudados com base nas temperaturas limite de sobrevivência e actividade do vector. Foi assumido que se a humidade relativa for superior a 45 % e as temperaturas se mantiverem dentro dos parâmetros de sobrevivência do vector, maior probabilidade existe deste estar activo no comportamento de procura de hospedeiro e, consequentemente, se infectado, ter a capacidade de transmitir o agente.

As temperaturas limite de sobrevivência do vector em condições laboratoriais de 8-40 °C (secção 6.1.3.4) foram usadas como indicador das temperaturas a que o *R. sanguineus* se mantém activo. Deve salientar-se, no entanto, que a humidade relativa, mais do que a temperatura é um factor limitante na sobrevivência dos ixodídeos, sendo fundamental para manutenção do equilíbrio hídrico do artrópode. Quando a temperatura não é favorável ao seu ciclo de vida, os ixodídeos activam mecanismos de defesa – diapausa – o que lhes permite sobreviver em condições de temperatura adversas, enquanto que uma humidade relativa abaixo dos 40 % leva à morte destes artrópodes. Em condições extremas de temperatura mínima, só uma pequena percentagem de carraças está activa, e essa percentagem aumenta à medida que a temperatura se aproxima de condições óptimas entre os 24-28 °C (Santos-Silva e Filipe, 1998).

6.2.2.5 Leptospirose

O estudo do impacto das alterações climáticas na transmissão de agentes patogénicos ao nível dos roedores, em três

regiões distintas, foi estabelecido com base no previsível contacto humano com os respectivos agentes infecciosos.

Embora os casos de leptospirose em Portugal sejam mais frequentes no Outono e no Inverno (DGS, 2001; Vieira *et al.*, 1999; Collares-Pereira *et al.*, 2000b), a aplicação de análises de regressão não permitiu obter um modelo susceptível de descrever a referida associação com um nível de significância aceitável. No entanto, admitindo que taxas mais elevadas de roedores como «reservatórios» (ou seja, como portadores crónicos de leptospirosas) implicam um maior risco de exposição humana aos agentes patogénicos circulantes, o impacto das alterações climáticas na população de roedores afectará garantidamente este pressuposto. Assim, procedeu-se a uma análise de regressão linear com base nos dados de Collares-Pereira *et al.* (1996) referentes ao número de roedores capturados na região de Coimbra entre a Primavera de 1993 e o Outono de 1994 e nos dados do clima da região, no sentido de se procurar avaliar a possível existência de uma associação entre o número de roedores e o clima.

Os resultados indicam uma correlação entre o número de roedores capturados e o clima, quando se considerou o intervalo de três estações antes da respectiva captura, mas esta associação não foi significativa ($p=0,2946$). Por este motivo, esta metodologia não foi utilizada para estimar densidades de roedores sob diferentes cenários climáticos devido ao seu reduzido valor estatístico, consequente de uma amostragem muito baixa. Contudo, o modelo estabelecido indica que o número de capturas foi influenciado pelos valores da precipitação e temperatura em cada estação.

Tal como descrito na secção 6.1.3.5., acontecimentos climáticos extremos como precipitação intensa e ciclones parecem aumentar o risco de exposição humana à infecção por *Leptospira*. Por esse motivo, a exposição humana aos agentes infecciosos transmitidos por roedores teve por base as respectivas taxas de prevalência zoonótica a nível regional e as alterações antecipadas da precipitação em cada região.

6.2.3 Incertezas

Os estudos de avaliação dos impactos devidos às alterações climáticas incorporam muitas incertezas em todos os passos do processo. O estudo presente não é excepção. As principais incertezas que poderão afectar os impactos sobre a saúde, em avaliação, apresentam-se na Tabela 6.5, na qual se indicam, igualmente, os níveis de incerteza estabelecidos por Moss e Schneider (2000), utilizados em Casimiro e Calheiros (2002) e no presente estudo.

Tabela 6.5 – Incertezas incorporadas no processo de avaliação de impactos

Origem (fonte) da incerteza	Evidência disponível que apoia a conclusão
<i>Dados</i>	
Dados climáticos observados	Estabelecida mas incompleta
Dados de modelos climáticos regionais	Ver Capítulo 2
Taxas de incidência	Estabelecida mas incompleta
<i>Conforto térmico e mortalidade associada ao calor</i>	
Uso de dados de controlo modelados indicativos de dados climáticos correntes/reais	Estabelecida mas incompleta
Utilização de níveis PET para avaliação do <i>stress</i> térmico de turistas	Bem estabelecida
Utilização dos níveis de conforto PET a futuras populações turísticas	Estabelecida mas incompleta
Mortalidade acrescida durante ondas de calor	Bem estabelecida
Utilização de definições de onda de calor para cenários futuros	Estabelecida mas incompleta
<i>Doenças transmitidas por mosquitos</i>	
Identificação das doenças e dos vectores com importância	Estabelecida mas incompleta
Caracterização dos vectores competentes e dos agentes patogénicos nas regiões em estudo	Estabelecida mas incompleta
Hipótese de a presença do vector ser uma indicação da sua abundância	Estabelecida mas incompleta
Hipótese de que o possível desenvolvimento dos agentes patogénicos é um indicador da sua prevalência em hospedeiros e vectores	Especulativa
Uso da temperatura como o único factor ambiental condicionante na dinâmica de transmissão das doenças em questão	Explicações contraditórias
Uso de intervalos de temperatura estabelecidos, favoráveis à sobrevivência/presença dos vectores e ao desenvolvimento dos agentes patogénicos, em cenários climáticos diferentes	Estabelecida mas incompleta
<i>Leishmaniose</i>	
Caracterização dos vectores e agentes patogénicos nas regiões em estudo	Estabelecida mas incompleta
Avaliação baseada exclusivamente no vector <i>Ph. perniciosus</i>	Estabelecida mas incompleta
Utilização do modelo clima-densidade de flebotomos	Estabelecida mas incompleta
Utilização do modelo clima-densidade de flebotomos para o estudo de cenários climáticos futuros	Especulativa
Estabelecimento de relações temperatura-desenvolvimento do agente patogénico	Especulativa
Utilização de gamas estabelecidas de temperaturas favoráveis à transmissão da doença	Especulativa
<i>Febre escarlatina-nodular</i>	
Caracterização dos vectores e agentes patogénicos nas regiões em estudo	Estabelecida mas incompleta
Avaliação baseada exclusivamente no vector <i>R. sanguineus</i>	Bem estabelecida
Estabelecimento de uma relação temperatura-sobrevivência do vector	Estabelecida mas incompleta
Hipótese de que a sobrevivência do vector é um indicador da sua actividade	Estabelecida mas incompleta
Aplicação de gamas de temperatura reconhecidamente favoráveis à sobrevivência do vector para diferentes cenários climáticos	Especulativa
Uso da temperatura como o único factor ambiental relevante na dinâmica da transmissão	Explicações contraditórias
<i>Doenças transmitidas por roedores</i>	
Identificação das doenças a considerar	Bem estabelecida
Observação da incidência das doenças	Estabelecida mas incompleta
Determinação dos agentes patogénicos e dos ciclos silváticos de transmissão em Portugal	Estabelecida mas incompleta
Estabelecimento da associação entre o clima e a transmissão dos agentes causais	Especulativa
Aplicação da associação acima referida para estimar a possível ocorrência de transmissão dos agentes patogénicos sob diferentes cenários climáticos	Especulativa

6.3 IMPACTOS POTENCIAIS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NA SAÚDE NO DISTRITO DE FARO

O distrito de Faro é o distrito mais meridional de Portugal Continental, localizado na região do Algarve. A região tinha uma população residente de 399 236 no último senso disponível, da qual 14,6 % tinha idade igual ou inferior a 14 anos, 33,3 % idade compreendida entre 15 e 64 anos, enquanto que 18,6 % tinha idade superior ou igual a 65 anos. As taxas de natalidade e mortalidade geral eram, respectivamente de 10,6 e 11,6 (INE, 2003a) por 100 000 habitantes.

Na Figura 6.2 apresentam-se, para o distrito de Faro, valores médios mensais de variáveis climáticas (observadas e modeladas): precipitação, humidade relativa e temperaturas máxima, média e mínima. É possível observar que as alterações climáticas poderão traduzir-se no aumento da temperatura ambiente e na redução da precipitação.

A sua longa costa com águas de temperatura amena e um número elevado de praias de qualidade fazem do Algarve o destino turístico mais popular de Portugal. O turismo estrangeiro representa 82 % do mercado turístico do distrito, sendo constituído, predominantemente, por visitantes britânicos e alemães (INE, 2000).

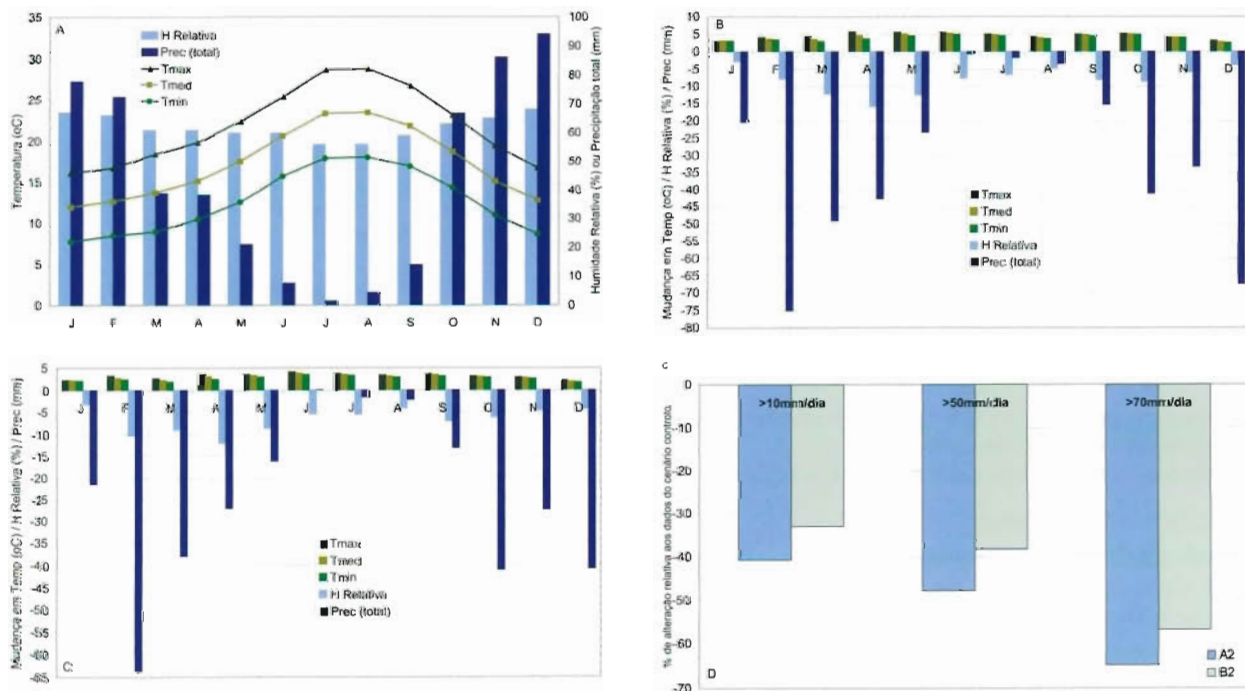


Figura 6.2 – Faro: Anomalias climáticas observadas e modeladas: (A) Clima actual; (B) Cenário A2; (C) Cenário B2; (D) Variação da frequência de precipitação intensa

6.3.1 Conforto Térmico e Mortalidade Associada ao Calor

Os resultados apresentados na Figura 6.3a revelam que, durante os meses de Maio, Junho, Setembro e Outubro, mais de 50 % dos dias apresentam temperaturas dentro da gama anteriormente descrita como de «conforto ou de *stress* térmico ligeiro». Por outro lado, a região tem seis meses (Novembro-Abril), durante os quais mais de 50 % dos dias se enquadram dentro da gama «ligeira a moderada de *stress* pelo frio», com alguns dias em que se atingem os níveis «elevado» e «extremo». Os resultados também ilustram para os meses mais quentes – Julho e Agosto – que a temperatura se situa, em regra, nos níveis de *stress* de calor «moderado» e «intenso», verificando-se que em apenas 5 % dos dias se atinge o nível «extremo».

Se compararmos os resultados apresentados na Figura 6.3a com os padrões sazonais de procura turística apresentados na Tabela 6.3, podemos concluir que, embora o conforto térmico seja um importante factor da referida procura, se verifica que os meses com *stress* pelo frio são os que têm uma procura mais reduzida. No entanto, o conforto térmico por si só não explica toda as variações sazonais da procura turística. Por exemplo, Julho e Agosto são os meses que, em Faro, apresentam maior procura, não obstante serem os meses com maior número de dias nos níveis de *stress* pelo calor moderado ou forte, isto é, fora da gama de conforto. Poderemos

admitir serem estes níveis o que realmente atrai os turistas para a região. Por outro lado, a procura pode ser fortemente influenciada por outros factores, como é o facto de se tratar do período de férias escolares na União Europeia.

Ambos os cenários climáticos estudados indicam que se verificarão alterações significativas nos níveis de conforto térmico em Faro (Figuras 6.3b e 6.3c). De acordo com a previsão dos modelos utilizados, o número de meses com mais de 50 % dos dias dentro da gama de temperaturas favoráveis deverá reduzir-se a três (Abril, Maio, Outubro), contrastando com os quatro meses observados no cenário de controlo. De acordo com os mesmos cenários, é previsível que as mudanças climáticas possam contribuir para que o número de meses, em Faro, com a maioria dos dias com *stress* térmico moderado ou forte, possa duplicar. O *stress* térmico é mais pronunciado quando o cenário A2 é utilizado. O impacto que esta situação poderá ter na procura turística dos referidos meses não é claro.

Uma das alterações mais relevantes ilustrada nas Figuras 6.3a-6.3c é o aumento significativo do número de meses com vários dias de *stress* térmico extremo. Os resultados apresentados na Figura 6.3d também indicam aumentos significativos na frequência de ondas de calor em Faro, assim como aumentos na duração de cada episódio. Para além do evi-

dente desconforto térmico, esta situação poderá resultar no aumento de doenças associadas ao calor como é o caso dos «golpes de calor» e exaustão, com aumento da mortalidade. Estes impactos adversos sobre a saúde poderão conduzir à redução do interesse dos turistas pela região durante os meses mais quentes.

É de prever que as alterações climáticas possam conduzir, igualmente, à diminuição do número de meses com qualquer grau de *stress* pelo frio, com a maior redução em Janeiro, mês que frequentemente apresenta dias de *stress* extremo ou forte pelo frio. Estas reduções poderão contribuir para reforçar a actual tendência crescente de turismo de Inverno no Algarve, particularmente entre a população idosa.

6.3.2 Doenças Transmitidas por Mosquitos

Esta região é actualmente considerada livre de doenças humanas transmitidas por mosquitos. Prospecções no terreno assinalaram 17 espécies de mosquitos na região, algumas das quais são conhecidos vectores de agentes patogénicos que causam doenças no homem. São exemplo espécies incriminadas como vectores de malária noutros locais como o *An. atroparvus*, e o *An. algeriensis*, e as que são vectores de vários arbovírus, tais como *An. atroparvus*, *Cx. pipiens*,

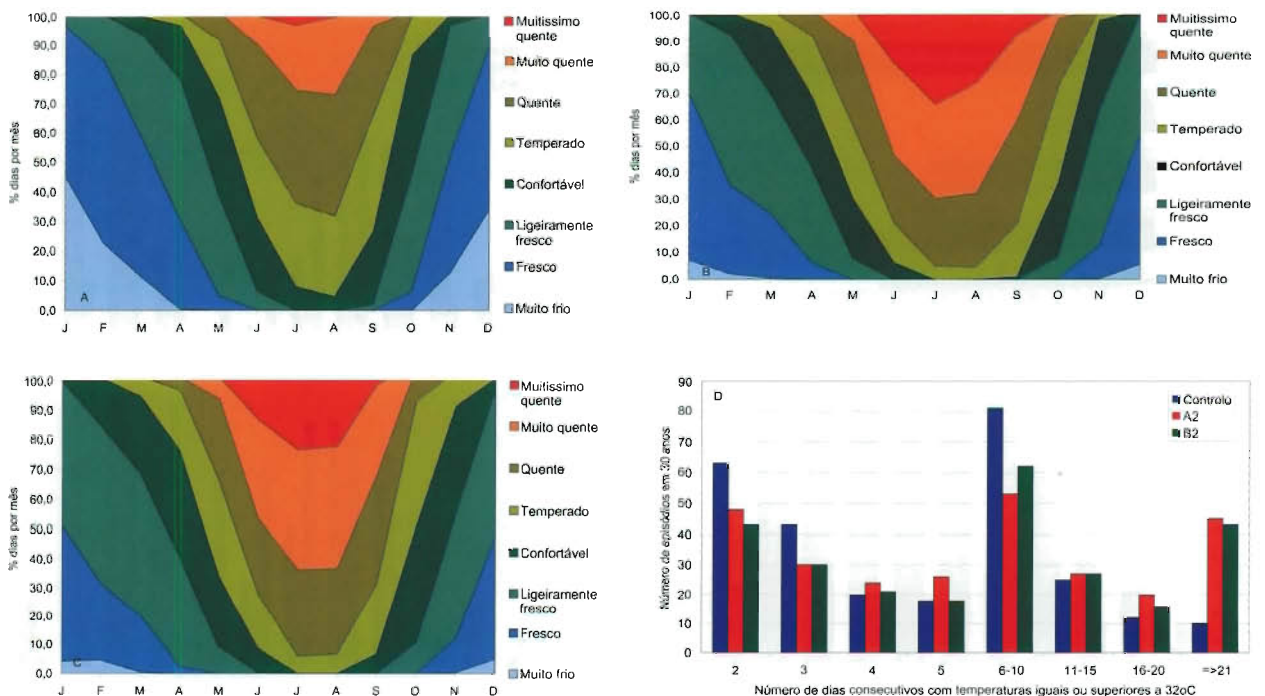


Figura 6.3 – Faro: Níveis de conforto térmico e ondas de calor: (A) Cenário controlo; (B) Cenário A2; (C) Cenário B2; (D) Ondas de calor. Os níveis de *stress* térmico utilizados derivaram do índice PET (ver Tabela 6.4). Uma onda de calor é definida como um período de dois ou mais dias consecutivos nos quais a temperatura é igual ou superior a 32 °C. Dados climáticos do modelo HadRM3

Cx. theileri, *Cx. modestus*, *Oc. caspius*, *Oc. detritus* e *Cuquillettidia richiardii* (Ramos *et al.*, 1977-1978; Ramos *et al.*, 1982; Galão *et al.*, 2002). Estudos recentes confirmam a presença destes mosquitos, bem como a elevada densidade de *An. atroparvus*. Embora não haja evidência de que presentemente estejam infectados, quer com plasmódios, quer com o vírus do Nilo Ocidental, a sua densidade acentuada deverá constituir factor de atenção em saúde pública.

Os mosquitos com tendência para picar o homem constituem também fonte de incomodidade. Destes, as espécies *Oc. caspius* e *Oc. detritus* estão presentes em altas densidades no Algarve e são responsáveis por grande número de queixas de picadas, tanto ao nível dos residentes como dos turistas (Ramos *et al.*, 1977-1978; Galão *et al.*, 2002). O clima até agora registado é de facto favorecedor da sobrevivência e abundância de anofelíneos e ao desenvolvimento de plasmódios (Figura 6.4a). É interessante notar que embora o clima seja favorável à sobrevivência de anofelíneos adultos na maior parte dos dias do ano, a abundância de *An. atroparvus* só é favorecida numa quarta parte desse período e o desenvolvimento dos plasmódios apenas em metade do ano. Os resultados obtidos, usando o modelo de clima controlo HadRM3, concordam com os obtidos para o clima observado. Os cenários de alteração climática aplicados neste estudo indicam que as condições climáticas se podem tornar ainda mais favoráveis

à sobrevivência dos anofelíneos, bem como ao desenvolvimento dos plasmódios, mas sem que se esperem alterações significativas da abundância anual de *An. atroparvus*.

Os resultados baseados no cenário climático de controlo indicam que a Primavera e o Outono são os períodos com maior probabilidade de registarem densidades mais elevadas de *An. atroparvus* (Figura 6.4b), o que está em concordância com dados observados na região relativamente à captura da referida espécie. A Figura 6.4b também sugere que a alteração climática pode reduzir as densidades nos meses de Verão, ao mesmo tempo que aumenta as densidades nos actuais meses frios, especialmente Março e Abril, e mais notoriamente em Novembro, que se tornarão mais quentes. O aumento da densidade de *An. atroparvus* pode levar ao aumento do risco potencial de transmissão dos agentes de malária e de febre do Nilo Ocidental, na região.

6.3.2.1 Malária

Historicamente considerada como uma zona de malária até à primeira metade do século XX (Landeiro e Cambournac, 1933), no Algarve apenas se registam, actualmente, casos de importação (DGS, 2001). Sendo pouco provável que os anofelíneos da região estejam infectados com plasmódios e que

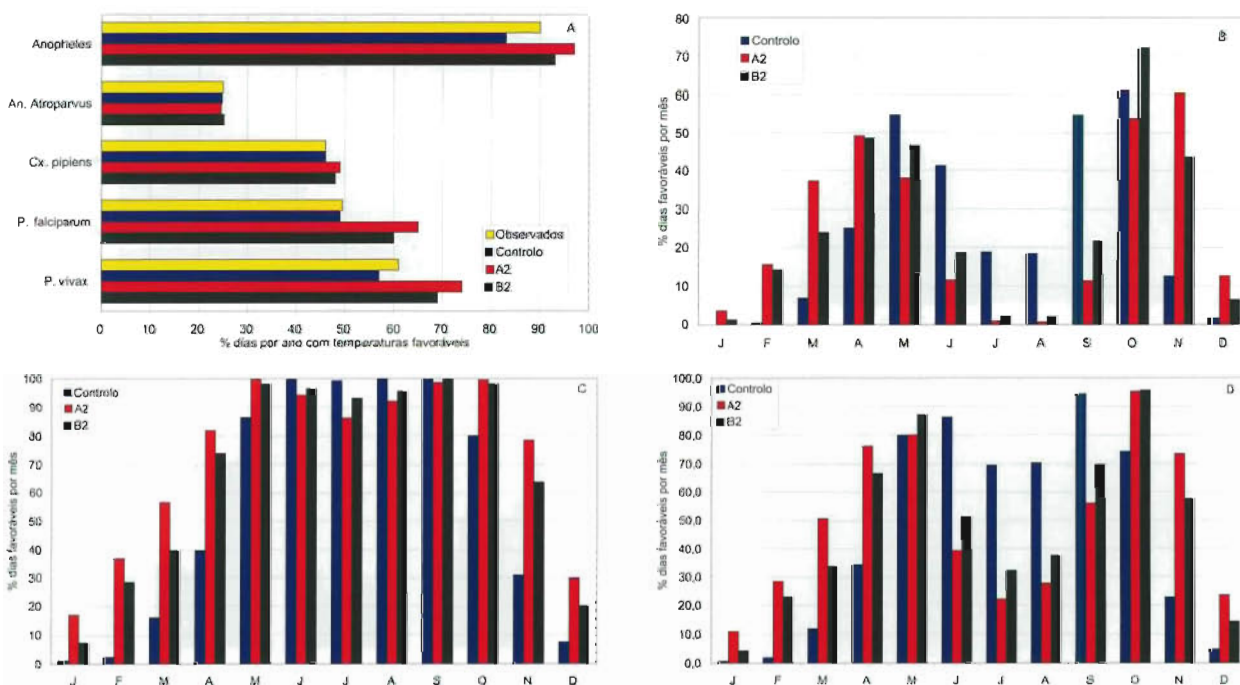


Figura 6.4 – Períodos com clima favorável à sobrevivência de anofeles adultos e dos plasmódios em Faro: (A) Períodos favoráveis ao desenvolvimento de anofeles adultos e dos plasmódios; (B) Número de dias por mês adequados à abundância de *An. atroparvus*; (C) Períodos mensais favoráveis para a sobrevivência de *P. vivax*; (D) Períodos mensais favoráveis para o desenvolvimento de *Cx. pipiens*.

o reservatório destes parasitas seja constituído pelos doentes, através dos casos importados, assume-se que o risco actual de potencial transmissão dos agentes da malária no Algarve seja muito baixo.

Os resultados para o desenvolvimento de *P. vivax* são semelhantes aos de *P. falciparum*, mas o clima em Faro é mais favorável ao desenvolvimento da primeira espécie que da segunda. Os resultados representados na Figura 6.4c sugerem que na situação climática de controlo, o desenvolvimento dos plasmódios é possível entre Maio e Outubro. As alterações climáticas poderão alargar esta janela temporal favorável para passar a incluir Abril e Novembro, para ambos os agentes. O clima do cenário A2 parece mais favorável ao desenvolvimento dos plasmódios que o cenário B2, para os mesmos períodos. As alterações climáticas poderão também reduzir ligeiramente o período favorável ao desenvolvimento dos parasitas durante os meses de Verão devido a uma possível elevação da temperatura acima dos valores suportados pelos parasitas e mosquitos.

Em face do exposto, é razoável concluir-se que, face às alterações climáticas esperadas, o risco potencial de contrair malária poderá baixar nos meses de Verão (pico do turismo), e aumentar em Abril e Novembro.

6.3.2.2 Febre do Nilo Ocidental

A informação acerca da presença do vírus do Nilo Ocidental na região é escassa. Contudo, estudos desenvolvidos na década de 1970 revelaram que o soro de indivíduos residentes (Filipe, 1974), tal como o soro de gado bovino e ovino da região, apresentava anticorpos específicos contra este vírus (Filipe, 1975). Estudos recentes mostraram a existência esporádica da infecção por este vírus em mosquitos *Cx. pipiens* e *Cx. univittatus* na área da Ria Formosa (Almeida *et al.*, 2004). Paralelamente, verificaram-se dois casos humanos de doença (Connel *et al.*, 2004). No entanto, não se voltou a verificar infecções em mosquitos no ano de 2005 (Almeida *et al.*, 2005), nem houve notícia de casos humanos. Contudo, trata-se de uma zona frequentada por aves migratórias, para as quais constitui um verdadeiro santuário. Estas podem ser portadoras de vírus provenientes de zonas endémicas. Foram detectadas recentemente serologias positivas para estes agentes zoonóticos em algumas aves colectadas no Sul do país (Formosinho *et al.*, 2002, Formosinho, comunicação pessoal). Como tal, o risco potencial de transmissão de febre do Nilo Ocidental é, actualmente, baixo.

Como o sugerem as Figuras 6.4b e 6.4d, o aumento das densidades de *An. atroparvus* e de *Cx. pipiens* durante os meses frios pode aumentar a capacidade vectorial e o risco potencial de

transmissão humana de vírus do Nilo Ocidental, devido às alterações climáticas no Algarve, durante esses meses. A diminuição das densidades de *An. atroparvus* e de *Cx. pipiens* nos meses de Verão, ilustrada nas Figuras 6.4b e 6.4d para ambos os cenários de alterações climáticas, poderão alterar o risco de transmissão no caso de *Cx. pipiens*, uma vez que este ao contrário da espécie *An. atroparvus* tem à partida uma maior abundância.

6.3.3 Leishmaniose

O Sotavento algarvio é uma das três regiões endémicas de LV humana, em Portugal. Os resultados apresentados na Figura 6.5a mostram que o clima normalmente observado em Faro é compatível com a transmissão de LV, havendo 46 % de dias, por ano em que a transmissão da doença pode ocorrer favoravelmente. Nesta região, efectuaram-se estudos no terreno, tendo-se verificado que *Ph. perniciosus* é abundante e comprovadamente vector de *L. infantum* (Pires, 2000; Alves-Pires *et al.*, 2001) e que, se encontram reservatórios infectados com *Leishmania* (Campino, 1998). Poderemos concluir que, o potencial risco de transmissão de LV para o homem é médio. Este risco aumentaria se o vector, em vez de efectuar preferencialmente as suas refeições sanguíneas em cães e outros animais domésticos, se alimentasse preferencialmente no homem.

Os resultados apresentados na Figura 6.5a indicam que a alteração climática pode conduzir a um ligeiro aumento no número de dias por ano cujas temperaturas médias são favoráveis à transmissão da doença. Os resultados do modelo da densidade vectorial apresentados na Figura 6.5b indicam potenciais aumentos para todos os futuros cenários climáticos, verificando-se, igualmente, um aumento do número de meses em que os flebotomos adultos se tornam activos.

Contudo, a Figura 6.5b mostra que o potencial aumento anual do número de dias favoráveis à transmissão de LV no Sotavento algarvio (observado na Figura 6.5a) não é provavelmente uniforme, e que são previstas significativas alterações sazonais. Verifica-se, de Junho a Setembro, uma diminuição significativa de dias favoráveis à transmissão. Uma vez que estes meses são normalmente aqueles em que ocorre uma maior actividade flebotómica (Pires, 2000), poder-se-á admitir que esta diminuição poderá reduzir o risco de se contrair LV. Porém, este decréscimo será contrariado pelo aumento da densidade vectorial, que ocorre durante estes meses. Assim, o risco global da transmissão da doença, durante o pico da época de turismo em Faro, pode permanecer, no futuro, a um nível médio.

Os resultados apresentados na Figura 6.5b indicam também que a alteração climática irá aumentar bastante o número

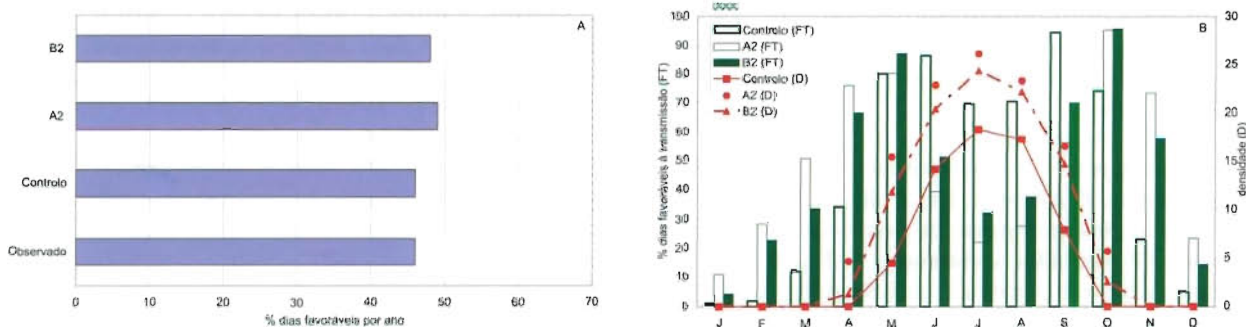


Figura 6.5 – Períodos favoráveis (FT) à transmissão de Leishmaniose no Sotavento algarvio e modelo das densidades de *Ph. perniciosus* adultos: (A) Períodos favoráveis à transmissão de *Leishmania*; (B) Períodos favoráveis à transmissão de *Leishmania* por mês e densidade modelada de flebotomos

de dias favoráveis à transmissão da doença, de Outubro a Maio. Como a densidade flebotomínica será mais elevada em Outubro, Abril e Maio, a alteração climática pode aumentar o risco da transmissão de LV no Sotavento algarvio durante estes três meses.

6.3.4 Febre Escaro-Nodular

Dados oficiais da DGS mostram que no período 1996-2000 foram notificados, em média de 35 casos por ano (DGS, 2001). Contudo, estima-se que o número de casos seja superior ao reportado (Sousa *et al.*, 2003a).

A distribuição mensal dos registos está de acordo com a sazonalidade da doença. O maior número de casos ocorre de Junho a Outubro, atingindo o pico máximo durante os meses de Julho e Agosto (Figura 6.6a). Os gráficos da Figura 6.6a mostram que é durante os meses de Abril a Outubro que se encontram as temperaturas mais favoráveis à actividade do vector.

Um aumento do número total de dias com condições favoráveis para o ciclo de vida dos ixodídeos e consequentemente para o aumento da sua actividade e abundância é esperado

em cenários de aquecimento global (Figura 6.6b), particularmente com maior contribuição dos meses menos quentes (Figura 6.6a). Em resumo, estes resultados sugerem um risco potencial de contrair esta doença num período muito mais alargado.

6.3.5 Leptospirose

A taxa de incidência da leptospirose na região é muito inferior à taxa média nacional. Entre 1996 e 2000, apenas um caso foi notificado (DGS, 2001) não havendo registo de internamentos no hospital de Faro (IGIF, 2002).

Tal como indicado nas Figuras 6.2b e 6.2c, a região é susceptível de se tornar ainda mais seca dadas as mudanças climáticas previstas. É igualmente antecipada para esta região uma redução do número de dias com episódios de precipitação intensa quando são considerados os dois cenários climáticos indicados (Figura 6.2d). Uma vez que a região parece ter, não só uma reduzida taxa de prevalência da leptospirose, como ir experimentar uma provável diminuição dos episódios de precipitação, não se prevê um maior risco de contágio com leptospirosas patogénicas na região de Faro, em consequência das alterações climáticas.

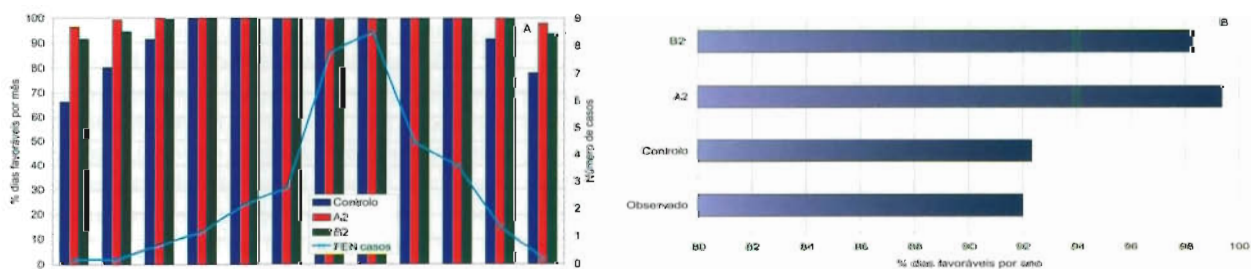


Figura 6.6 – Períodos favoráveis à actividade de *R. sanguineus* e casos notificados de FEN: (A) Períodos mensais favoráveis à actividade de *R. sanguineus* e número de casos notificados de FEN; (B) Períodos favoráveis à actividade do vector

6.4 IMPACTOS POTENCIAIS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NA SAÚDE NO DISTRITO DE LISBOA

Lisboa é um distrito da costa, a norte do estuário do rio Tejo. É o distrito mais urbanizado de Portugal, tendo à data do último censo uma população residente total de 1 897 033 habitantes, sendo 16,4 % com idades superiores aos 65 anos, e 15,6 % com idades inferiores a 15 anos. Na região, as taxas de natalidade e mortalidade eram de 11,9 e 9,3 por 100 000 habitantes, respectivamente (INE, 2003b). O distrito tem as melhores infra-estruturas de saúde pública em Portugal.

O clima actual é modelado para a região encontra-se sumariado na Figura 6.7. A região é menos quente que o distrito de Faro, sendo mais húmida e chuvosa. Prevê-se que as alterações climáticas venham a traduzir-se por aumentos da temperatura e redução de precipitação.

Lisboa, a capital de Portugal, fica situada neste distrito, e nela se encontram muitos dos museus nacionais do país assim como equipamentos recreativos-chave. Embora a água das praias do distrito não seja tão quente como no Algarve, a região tem muitos quilómetros de praias de boa qualidade que são populares no Verão. Dada a grande variedade de atracções, não surpreende que este seja o segundo destino turístico mais popular no país. Os estrangeiros con-

tribuem para aproximadamente 68 % do mercado turístico sendo a maioria proveniente de Itália, Espanha e França (INE, 2002). A Tabela 6.3 indica que embora o Verão seja o período com maior procura turística (30 %), a procura turística da zona de Lisboa não mostra variações sazonais relevantes.

6.4.1 Conforto Térmico e Mortalidade Associada ao Calor

Os resultados do índice PET baseados no cenário climático de controlo para Lisboa indicam que a região tem quatro meses (Junho-Setembro) durante os quais mais de 50 % dos dias se encontram dentro da gama térmica de conforto ou de *stress* ligeiro pelo calor (Figura 6.8a). Revela ainda que mesmo nos meses mais quentes (Julho e Agosto) o *stress* de extremo calor ocorre durante menos de 5 % dos dias do referido período. A mesma figura mostra também que Lisboa é mais fria do que Faro, tendo oito meses (Outubro-Maio) com mais de 50 % dos dias com um ligeiro a moderado *stress* pelo frio. Este dias, com níveis entre o forte e o extremo, ocorrem de Novembro a Março, mas são mais frequentes em Janeiro (46 %). É interessante notar que a procura turística na região de LVT (Tabela 6.3) é mais elevada para os meses (Abril-Outubro) durante os quais não se verifica a existência de praticamente nenhum dia com *stress* forte ou extremo pelo frio.

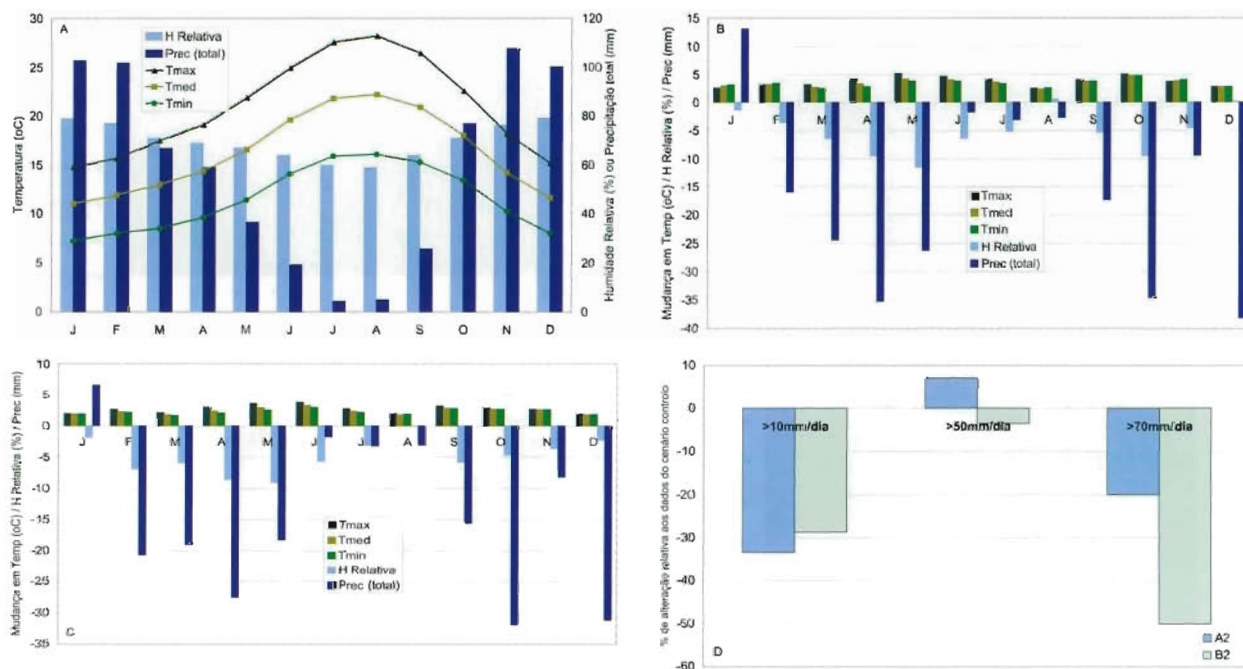


Figura 6.7 – Lisboa: Anomalias climáticas observadas e modeladas: (A) Clima actual; (B) Cenário A2; (C) Cenário B2; (D) Variação da frequência de precipitação intensa

As alterações climáticas podem ter um impacto positivo significativo nos níveis de conforto térmico em Lisboa. As Figuras 6.8b e 6.8c mostram que os meses com dias de níveis térmicos predominantemente favoráveis podem vir a aumentar dos quatro meses (Junho-Setembro) já mencionados para seis (Maio-Outubro) e para ambos os cenários considerados. Nestas mesmas figuras pode observar-se que os meses com *stress* extremo ou forte pelo frio podem diminuir para somente três (Dezembro-Fevereiro). Estes impactos positivos nos níveis do conforto térmico em Lisboa poderão favorecer a procura turística (nacional e internacional) da região.

Os dias com *stress* térmico extremo podem, no entanto, tornar-se mais frequentes em Lisboa devido às alterações climáticas (Figuras 6.8a-6.8c), afectando potencialmente 15 % dos dias no mês mais quente no cenário A2. De facto, a Figura 6.8d mostra também que a frequência e a intensidade das ondas de calor em Lisboa pode aumentar com as alterações climáticas, especialmente no cenário A2. Uma vez que o distrito é largamente urbanizado, aumentos nos períodos de calor extremo podem levar ao aumento de doenças e mortalidade associadas ao calor e poluição atmosférica.

6.4.2 Doenças Transmitidas por Mosquitos

Várias espécies de mosquitos têm sido detectadas na zona de Lisboa, entre as quais se encontram vectores de agentes

patogénicos tais como *An. atroparvus*, e *Cx. pipiens* (Ramos, comunicação pessoal). A espécie de mosquito que oferece maior preocupação, em termos de saúde pública, será *An. atroparvus*, não só devido à sua alta densidade, mas também ao facto de ter sido o vector da malária em Portugal e de nele ter sido isolado o vírus do Nilo Ocidental, perto de Lisboa, em 1996 (Ribeiro *et al.*, 1988; Fernandes *et al.*, 1998). Estudos recentes confirmam a abundância desta espécie na área circundante de Lisboa, nomeadamente na margem Sul do Tejo (Galão *et al.*, 2002). Estes mosquitos não têm sido encontrados infectados com o vírus do Nilo Ocidental.

Comparadas com as do Algarve (Figura 6.4a), as actuais temperaturas de Lisboa parecem mais favoráveis à abundância de *An. atroparvus* e ao desenvolvimento de plasmódios (Figura 6.9a). De um modo semelhante ao que se passa no Algarve, as alterações climáticas em Lisboa podem tornar o clima ainda mais favorável, quer à sobrevivência dos mosquitos, quer ao desenvolvimento dos plasmódios, mas sem que se esperem alterações significativas dos níveis de abundância anual de *An. atroparvus*.

O clima observado e o modelo controlo HadRM3 permitem níveis idênticos de mosquitos e de plasmódios. A Figura 6.9b indica que no cenário de controlo o padrão de abundância mensal dos mosquitos é, contudo, diferente do observado no Algarve (Figura 6.4b). Em Lis-

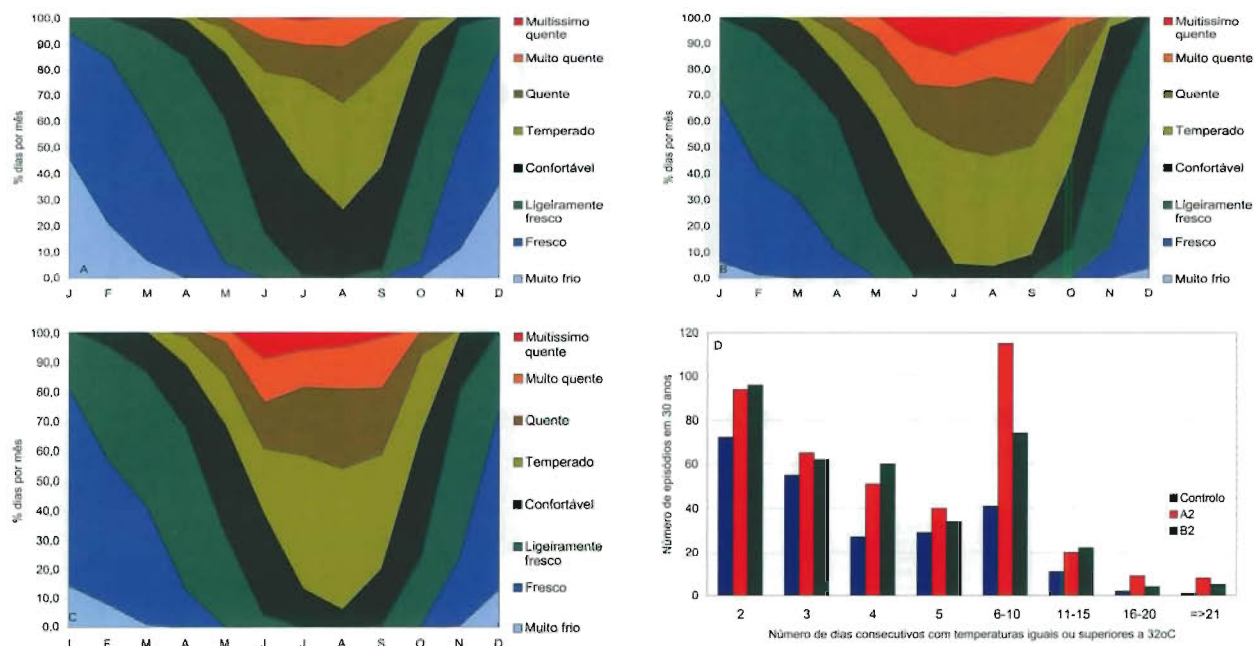


Figura 6.8 – Lisboa: Níveis de conforto térmico e ondas de calor: (A) Cenário controlo; (B) Cenário A2; (C) Cenário B2; (D) Ondas de calor. Os níveis de *stress* térmico utilizados derivaram do índice PET (ver Tabela 6.4). Uma onda de calor é definida como um período de dois ou mais dias consecutivos nos quais a temperatura é igual ou superior a 32 °C. Dados climáticos do modelo HadRM3

boa, os meses com densidades mais elevadas são de Junho a Outubro. As alterações climáticas poderão mudar esta dinâmica, aumentando as densidades de Outubro a Maio e reduzindo-as nos meses mais quentes. Descidas acentuadas da densidade de mosquitos poderão ser esperadas em Julho, Agosto e Setembro, e os aumentos mais acentuados em Abril, Maio e, especialmente, em Novembro. Uma vez que os mosquitos constituem também uma fonte de incomodidade pelas picadas, densidades mais elevadas, irão certamente agravar a situação actual.

6.4.2.1 Malária

O registo histórico indica que a malária era endémica na área de Lisboa no início do século XX (Landeiro e Cambournac, 1933). Actualmente não há registo de casos autóctones mas apenas de casos importados, que constituem mais do dobro da prevalência nacional anual (DGS, 2001). Não havendo transmissão autóctone, assume-se que o risco de transmissão é muito baixo.

As temperaturas do cenário controlo em Lisboa são favoráveis ao desenvolvimento dos plasmódios de Maio a Outubro (Figura 6.9c), o mesmo período em que as densidades de *An. atroparvus* estão no seu máximo (Figura 6.9b). No entanto, o facto de não se registar transmissão autóctone com factores

climáticos favoráveis vem mostrar que o clima não é o único condicionante para se dar a transmissão.

As mudanças climáticas poderão levar a um aumento do número de dias favoráveis para o desenvolvimento dos plasmódios (Figura 6.9c) na Primavera e Outono, particularmente em Abril, Maio, Outubro e Novembro. A mesma figura indica também ligeiras diminuições do número de dias favoráveis ao seu desenvolvimento no Verão. Uma vez que as densidades de *An. atroparvus* poderão seguir uma evolução idêntica nestes meses, o risco potencial da transmissão de malária no Verão poderá de facto diminuir, aumentando na Primavera e Outono. Contudo, não se prevêem níveis de risco elevado nem médio, tendo em conta todos os factores acima enumerados. O risco potencial de contrair infecções com *P. falciparum* aligeira-se menor que o de uma infecção por *P. vivax*, nos cenários climáticos estudados, por dois motivos sobreponíveis. Por um lado, as condições climáticas presentes e futuras são menos favoráveis para o desenvolvimento de *P. falciparum*, e por outro lado, como exposto acima, a espécie portuguesa de *An. atroparvus* mostrou-se refractária a estirpes africanas de *P. falciparum*, num ensaio *in vivo* (Ribeiro *et al.*, 1989). No entanto, devido à permanente entrada de parasitas importados e à sua grande plasticidade genética, dever-se-á continuar a monitorizar a susceptibilidade dos anófeles portugueses a esses plasmódios vindos de áreas endémicas.

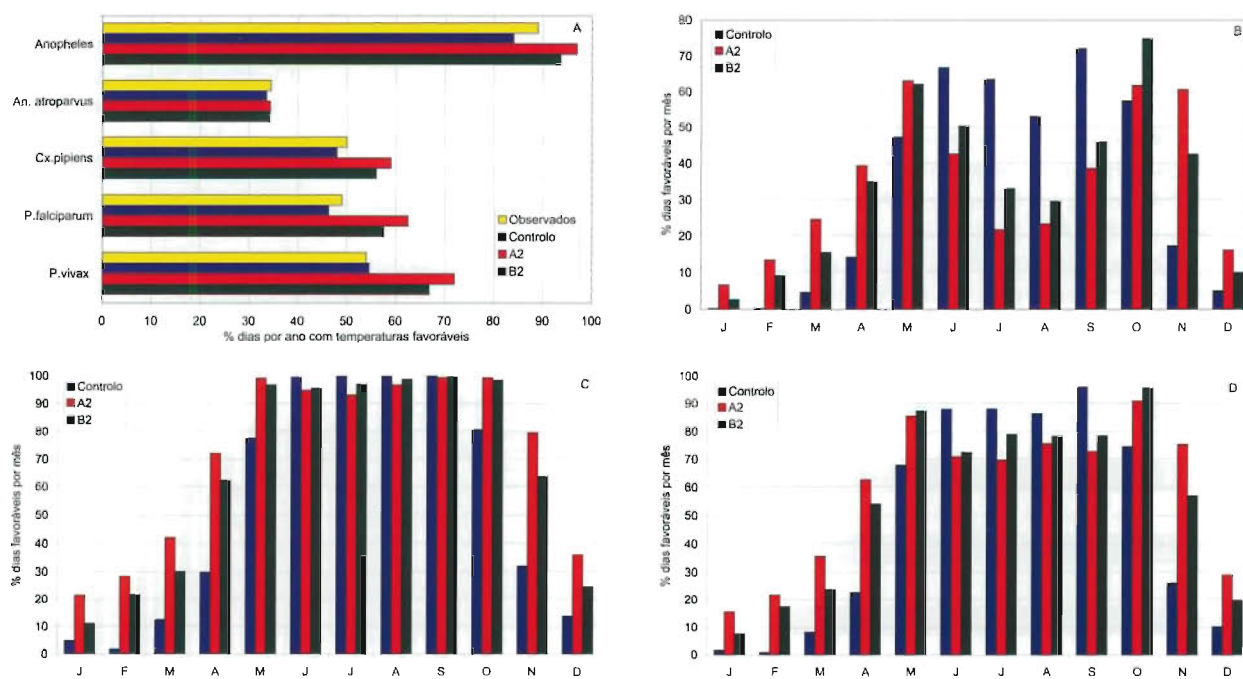


Figura 6.9 – Períodos com clima favorável à sobrevivência de anófeles e dos plasmódios em Lisboa: (A) Períodos favoráveis ao desenvolvimento de anófeles adultos e dos plasmódios; (B) Número de dias por mês adequados a abundância de *An. atroparvus*; (C) Períodos mensais favoráveis para a sobrevivência de *P. vivax*; (D) Períodos mensais favoráveis para o desenvolvimento de *Cx. pipiens*

6.4.2.2 Febre do Nilo Ocidental

Os registos oficiais não indicam transmissão actual desta doença ao homem. Contudo, estudos retrospectivos em soros humanos indicam que a doença pode ter estado presente na região na década de 1960 (Filipe, 1974). O vírus do Nilo Ocidental foi encontrado em mosquitos *An. atroparvus* capturados próximo de Lisboa, margem Sul do estuário do Tejo, em 1996 (Fernandes *et al.*, 1998). Contudo, rastreios em 2001-2002 na mesma região não comprovaram a existência do vírus nos mosquitos capturados, quer da mesma, quer de outras espécies endémicas. Tal como no Algarve, a existência de aves migratórias nos estuários do Tejo e do Sado, e que neste último revelaram sinais de infecção com arbovírus, ainda que em baixa percentagem (Formosinho *et al.*, 2002, Formosinho, comunicação pessoal), permite-nos admitir a existência actual e potencial de risco de transmissão desta doença ao homem, ainda que a um nível baixo.

Assumindo que a actual prevalência do vírus Oeste do Nilo nos animais é baixa, e acrescentando o facto de que se espera que as densidades populacionais de *An. atroparvus* e de *Cx. pipiens* poderão baixar nos meses de Verão devido às alterações climáticas (Figuras 6.9b e 6.9c), o risco potencial de transmissão do vírus do Nilo Ocidental nos meses de Verão poderá baixar. No entanto, o aumento significativo das populações de mosquitos na Primavera e Outono poderá aumentar o risco de transmissão nestas estações, na área de Lisboa.

6.4.3 Leishmaniose

A leishmaniose visceral é endémica na região metropolitana de Lisboa. Registos de hospitais públicos indicam que, de 1996 a 2000, cerca de 70 casos de leishmaniose foram hospitalizados (IGIF, 2002). Muitos destes casos eram indivíduos VIH positivos (Campino, 1998). Nesta região, estudos no terreno confirmaram a presença abundante de *Ph. perniciosus*

e *Ph. ariasi* assim como de hospedeiros infectados com *Leishmania* (Campino, 1998; Pires, 2000) sendo o potencial risco de transmissão da doença considerado de nível médio, tal como no Sotavento algarvio.

Os resultados apresentados na Figura 6.10a indicam que a temperatura actualmente observada é conducente à transmissão de LV, verificando-se que cerca de 49 % de dias por ano são favoráveis à transmissão da doença. Resultados semelhantes foram também obtidos usando dados sobre a temperatura diária média através do modelo HadRM3 de controlo, tendo-se verificado que 40 % dos dias estariam nas mesmas circunstâncias. A Figura 6.10a mostra que as alterações climáticas podem favorecer a transmissão da doença. Além disso, os resultados apresentados nesta figura indicam um potencial aumento da densidade flebotomínica, de Maio a Outubro, para ambos os cenários de alteração climática considerados.

É interessante verificar que o aumento da temperatura indicada nos cenários A2 e B2 pode resultar numa ligeira redução do número de dias com temperaturas favoráveis, nos meses compreendidos entre Junho e Setembro (Figura 6.10b). Contudo, nestes cenários prevê-se o dobro da densidade flebotomínica durante o mesmo período, pelo que o risco de contrair LV durante os meses mais quentes pode aumentar ligeiramente, em Lisboa.

Por outro lado, a Figura 6.10b mostra também que o número de dias, com temperaturas favoráveis à transmissão da doença pode aumentar, entre Outubro e Maio. A mesma figura indica ainda que se verificarão densidades flebotomínicas mais elevadas em Outubro e em Maio. Com base nestas duas constatações, prevê-se que as alterações climáticas possam aumentar o risco de transmissão de LV em Lisboa, em Outubro e Maio. Uma vez que o vector prefere efectuar as suas refeições sanguíneas em animais, em vez do homem, não são previstos níveis de risco elevado para qualquer mês.

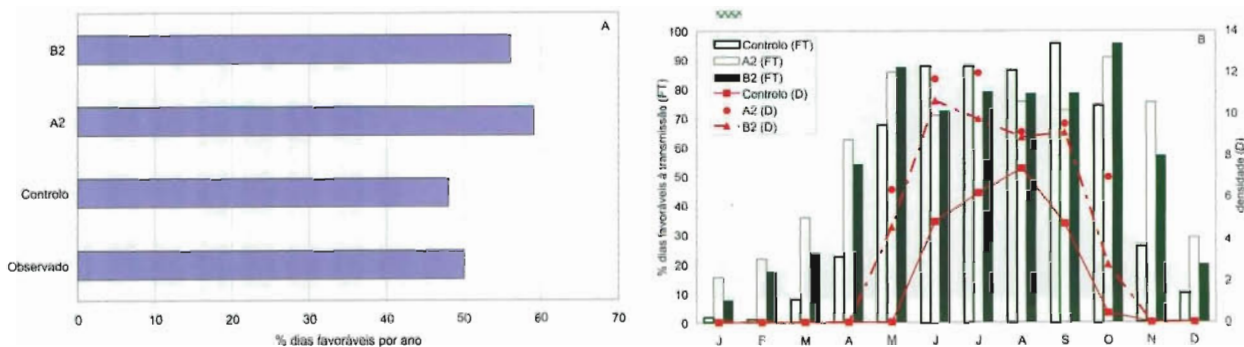


Figura 6.10 - Períodos favoráveis 'FT' à transmissão de leishmaniose em Lisboa e modelo das densidades de *Ph. perniciosus* adultos: (A) Períodos favoráveis à transmissão de *Leishmania*; (B) Períodos favoráveis à transmissão de *Leishmania* por mês e densidade modelada de flebotomos

6.4.4 Febre Escaro-Nodular

Na região de Lisboa foi notificada uma média de 48 casos de FEN por ano no período de 1996-2000 (DSG, 2001). De acordo com o que já foi mencionado anteriormente, existe, como em todo o país, uma taxa de subnotificação elevada. A maior parte dos casos ocorre nos meses de Verão (Figura 6.11a).

Os resultados apresentados na Figura 6.11b mostram que com as temperaturas actuais, 90 % dos dias do ano são favoráveis à actividade de *R. sanguineus*. Admite-se que com as alterações climáticas, o número de dias com estas condições possa aumentar. A Figura 6.11a mostra que esse aumento do número de dias favoráveis à actividade do vector é alargado para os meses de Novembro a Maio. De forma similar à região do Algarve, as alterações climáticas podem aumentar a probabilidade de contacto com o vector infectado, uma vez que este, devido às condições excepcionais de temperatura, pode completar vários ciclos de vida no mesmo ano, aumentando em abundância e actividade.

6.4.5 Leptospirose

Surtos epidémicos de leptospirose em Lisboa foram documentados após ocorrência de inundações na década de 1960 (Simões *et al.*, 1969). Actualmente, a região tem uma taxa de incidência muito inferior à taxa média nacional. Entre 1996 e 2000, apenas um total de 18 casos foi notificado (DGS, 2001), embora se tenham registado 69 internamentos em hospitais civis (IGIF, 2002).

À semelhança de Faro, as alterações do clima podem reduzir a precipitação anual na região (Figuras 6.7b e 6.7c). No entanto, importa salientar que este decréscimo não será uniforme ao longo do ano. Nos meses que já são muito secos poderão verificar-se as maiores reduções ao nível da precipitação, mas o mês de Janeiro poderá sofrer um ligeiro aumento

da pluviosidade. Os resultados do cenário B2 indicam que, na sequência das alterações climáticas, o número de dias com episódios de precipitação intensa poderá ser mais reduzido, contrariamente aos obtidos com o cenário A2, em que essa alteração do padrão de precipitação intensa não é tão evidente (Figura 6.7d).

Com base nos resultados de precipitação extrema do cenário B2 e atendendo a que, actualmente, a doença ocorre na região, poder-se-á concluir que as alterações climáticas não aumentarão o risco de se contrair leptospirose em Lisboa. No que se refere ao cenário A2, as previsões sobre o risco potencial da doença são inconclusivas.

6.5 IMPACTOS POTENCIAIS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NA SAÚDE NO DISTRITO DO PORTO

O distrito de Porto é um distrito metropolitano e industrializado no litoral norte de Portugal junto ao estuário do rio Douro. No último censo, o distrito tinha uma população total de 1 252 842, incluindo 13,7 % de indivíduos com mais de 65 anos, 30,5 % entre 15 e os 64 anos, e 16,7 % com menos de 15 anos (INE, 2003c). As infra-estruturas de saúde pública na região são das melhores de Portugal, sendo as taxas de natalidade, mortalidade geral e infantil similares às de Lisboa.

O Porto é a segunda maior cidade de Portugal, e a capital do distrito. A rica história da região, as feiras industriais internacionais, os excelentes vinhos e gastronomia atraem muitos turistas. As águas do seu litoral, do rio Douro e seu estuário são destinos populares para actividades de ecoturismo. Ao contrário de Lisboa e de Faro onde os estrangeiros contribuíram para mais de 50 % do mercado turístico, no Porto esta contribuição é inferior (aproximadamente de 40 %). Os turistas estrangeiros são predominantemente espanhóis e italianos (INE, 2002).

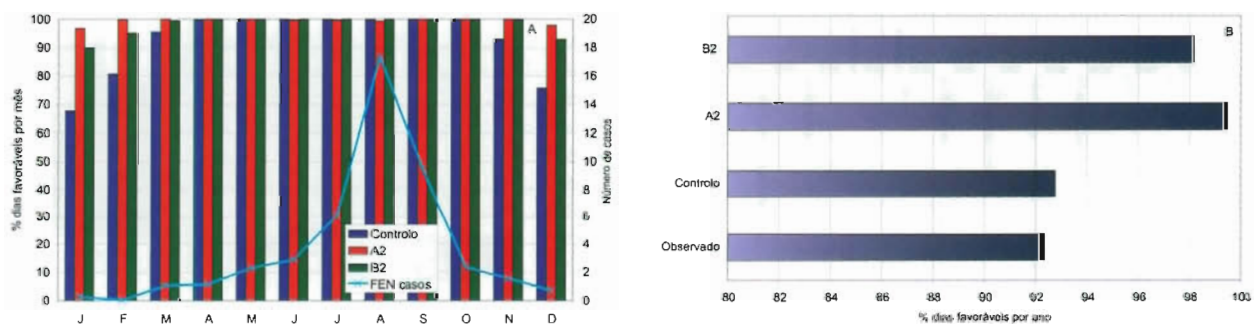


Figura 6.11 - Períodos favoráveis à actividade de *R. sanguineus* e casos notificados de FEN em Lisboa: (A) Períodos mensais favoráveis à actividade de *R. sanguineus* e número de casos notificados de FEN; (B) Períodos favoráveis à actividade do vector

As condições climáticas da região são muito diferentes das de Lisboa e Faro, verificando-se a ocorrência de mais frio e chuva. A situação climática actual observada e simulada encontram-se apresentadas na Figura 6.12. A procura turística (ver Tabela 6.3) é mais elevada no Verão (33 %), seguindo-se o Outono (27 %) e a Primavera (24 %) e o Inverno (16%).

6.5.1 Conforto Térmico e Mortalidade Associada ao Calor

Embora o distrito seja geralmente mais fresco do que o de Lisboa, os níveis de conforto térmico apresentados na Figura 6.13a, baseados em dados climáticos de controlo, indicam que o Porto tem também quatro meses (Junho-Setembro) com mais de 50 % dos dias com níveis confortáveis ou de ligeiro *stress* pelo calor. Estes resultados revelam também que o *stress* extremo não é um problema no Porto mesmo durante os meses mais quentes. O Porto tem também sete meses (Outubro-Dezembro e Fevereiro-Maio) durante os quais a maioria dos dias tem um ligeiro a moderado *stress* pelo frio, enquanto que o mês de Janeiro apresenta níveis fortes ou extremos de *stress* pelo frio durante 50 % do período. Os resultados indicam também que de Outubro a Abril podem ocorrer alguns dias com *stress* pelo frio do nível extremo ou forte.

Se compararmos os resultados acima descritos com a procura turística (Tabela 6.3) no Porto, torna-se evidente que, actualmente, o conforto térmico não é a chave para a atracção turística deste destino. Por exemplo, aproximadamente 44 % das visitas turísticas realiza-se durante meses em que, na maior parte do tempo, se verificam calor ligeiro ou níveis térmicos confortáveis, enquanto que cerca de 47 % das visitas se realiza durante os meses que têm dias com forte ou extremo *stress* pelo frio.

Os resultados do índice PET apresentados nas Figuras 6.13b e 6.13c prevêem melhorias gerais no conforto térmico para o Porto quando os cenários A2 e B2 são considerados. Por exemplo, ambos os cenários admitem a existência de um mês adicional (Outubro), no qual a maioria dos dias se encontra na zona térmica favorável supracitada. No entanto, a mudança mais visível é a provável redução nos meses em que ocorrem dias de *stress* forte ou extremo pelo frio.

De um modo idêntico aos outros dois distritos, as alterações climáticas podem resultar no aumento do número de dias com *stress* térmico extremo devido ao calor, no Porto. Se se considerar o cenário mais adverso (A2), o mês mais quente pode experimentar este desconforto térmico durante aproximadamente 11 % do tempo. Esta situação corresponde ao dobro do que foi calculado para Faro sob o cenário de

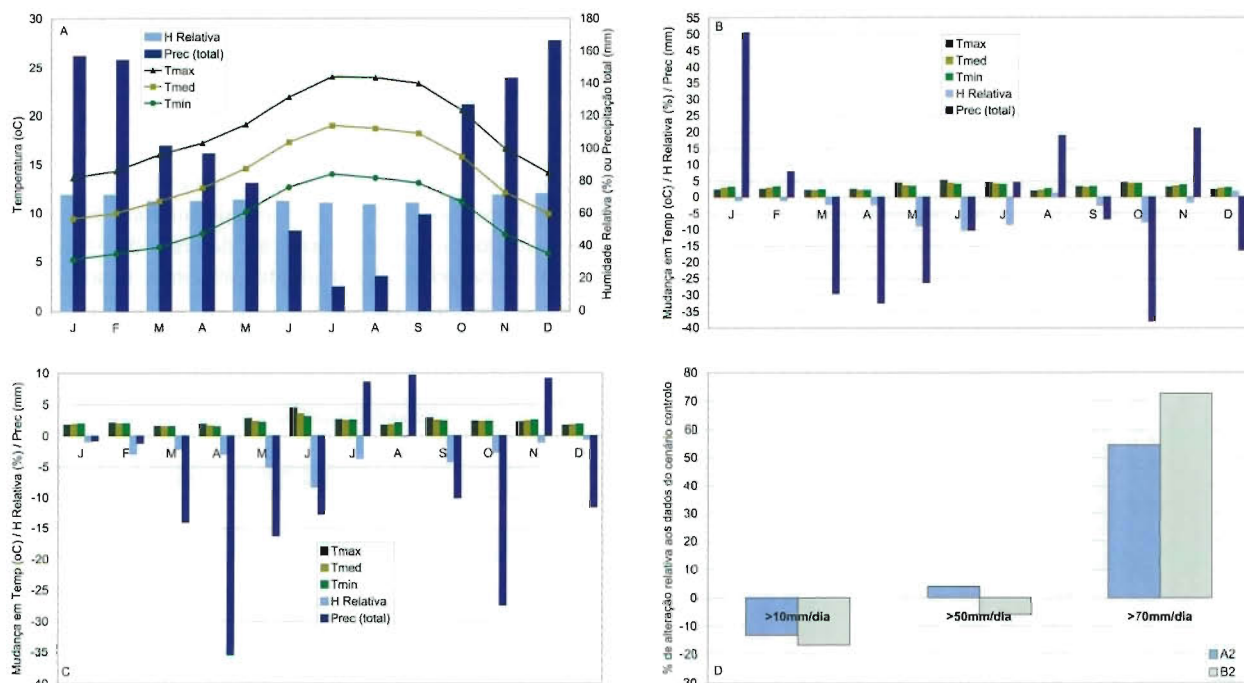


Figura 6.12 – Porto: Anomalias climáticas observadas e modeladas: (A) Clima actual; (B) Cenário A2; (C) Cenário B2; (D) Variação da frequência de precipitação intensa

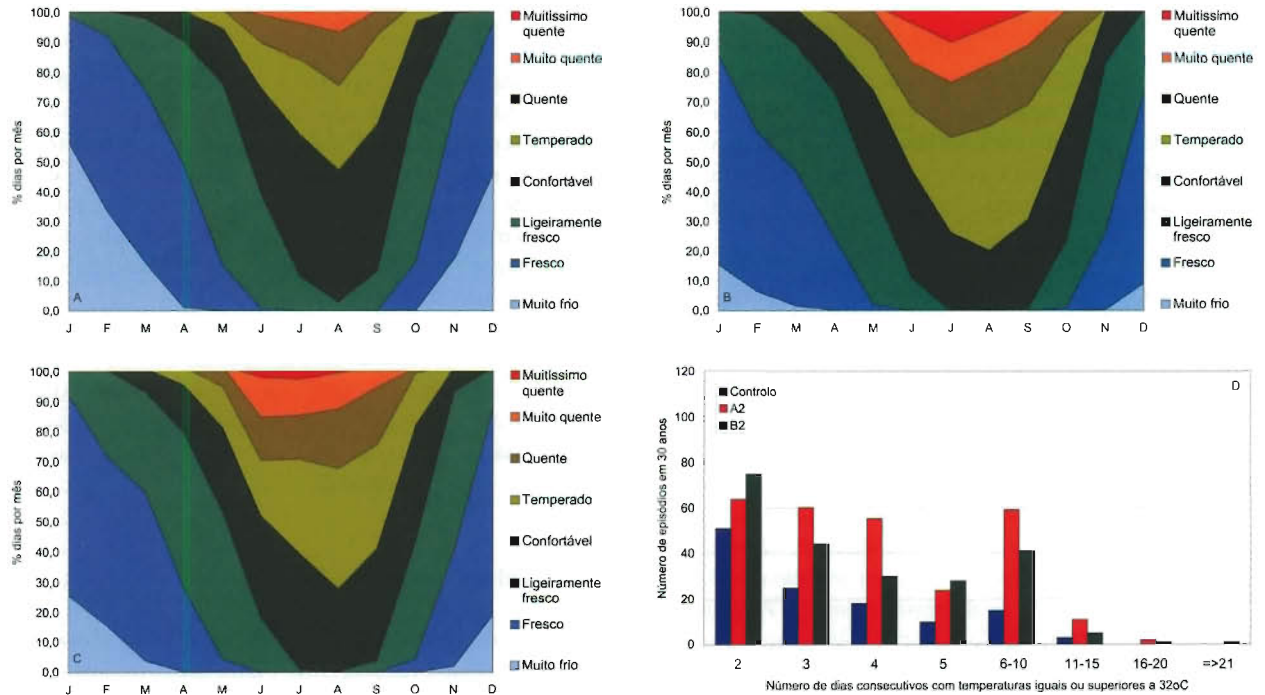


Figura 6.13 - Porto: Níveis de conforto térmico e ondas de calor: (A) Cenário controlo; (B) Cenário A2; (C) Cenário B2; (D) Ondas de calor. Os níveis de *stress* térmico utilizados derivaram do índice PET (ver Tabela 6.1). Uma onda de calor é definida como um período de dois ou mais dias consecutivos nos quais a temperatura é igual ou superior a 32 °C. Dados climáticos do modelo HadRM3

controlo. A Figura 6.13d confirma que as ondas de calor no Porto podem também vir a aumentar de frequência e intensidade devido às alterações climáticas. Estes acontecimentos extremos podem conduzir a aumentos da morbilidade e mortalidade associados ao calor e à poluição atmosférica na região, durante a ocorrência de tais episódios.

Uma vez que as tendências actuais de procura turística na região não parecem ser particularmente influenciadas pelo conforto térmico, os resultados apresentados não sugerem que se venham a verificar reduções nos fluxos turísticos da região. Por outro lado, uma vez que a região tem muitas praias excelentes que, actualmente, têm um nível de utilização baixo, melhorias no conforto térmico poderão incentivar os turistas para estas localizações e para outras actividades de lazer associadas à água, as quais já são populares no distrito.

6.5.2 Doenças Transmitidas por Mosquitos

O Porto é correntemente considerado livre de doenças transmitidas por mosquitos, embora várias espécies de mosquitos tenham sido assinaladas na região, entre as quais se encontram o *An. atroparvus*, e o *Cx. pipiens* como os mais abundantes de entre os capazes de transmitir doenças ao

homem (Ribeiro *et al.*, 1988; Ramos, comunicação pessoal). Embora actualmente não haja indicações de que estes mosquitos possam estar parasitados, constituem as espécies com maior importância em saúde pública. *An. atroparvus* foi o vector da malária em Portugal e estudos recentes continuam a assinalá-lo nesta região (Ribeiro *et al.*, 1988; Galão *et al.*, 2002).

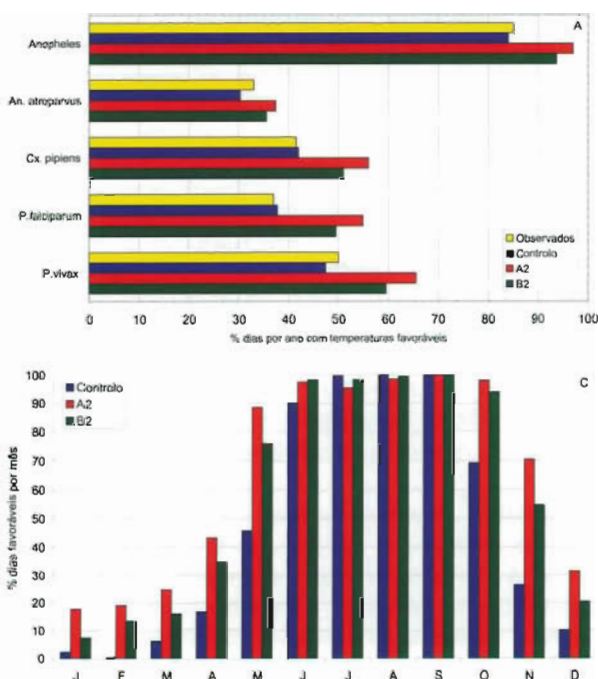
O diagrama da Figura 6.14a indica que o clima actual (e o cenário de controlo) proporciona a sobrevivência de mosquitos adultos, sendo 80 % dos dias do ano favoráveis a essa sobrevivência, e 35 % dos dias favoráveis à abundância de *An. atroparvus*. Com este quadro favorável, as alterações climáticas poderão aumentar o número de dias propícios à sobrevivência dos mosquitos e à sua abundância. Assim, um aumento da respectiva densidade na região será possível.

Os cenários climáticos actuais e o controlo HadRM3 indicam abundâncias mensais semelhantes para *An. atroparvus*. A Figura 6.14b mostra as temperaturas do cenário controlo, como favoráveis à abundância de mosquitos de Junho a Outubro. As alterações climáticas no Porto, ao nível da temperatura, poderão alargar o período favorável a altas densidades de *An. atroparvus*, de modo a incluir Maio e Novembro. Estas alterações parecem mais notórias no cenário A2.

6.5.2.1 Malária

A malária foi erradicada da região por volta de 1960. Actualmente o número de casos importados é cerca de metade da taxa de incidência nacional (DGS, 2001). Não havendo casos autóctones, conclui-se que os vectores locais não estarão infectados e que o risco de transmissão será muito baixo.

A Figura 6.14a também indica que nos cenários climáticos observado e de controlo, cerca de metade dos dias do ano, são favoráveis ao desenvolvimento de *P. vivax*. As alterações climáticas poderão aumentar este período favorável ao desenvolvimento pelo menos em cerca de 10%. Contudo, tal como se pode ver na Figura 6.14c, este aumento não será uniforme ao longo do ano. Os dias favoráveis ao desenvolvimento de *P. vivax* aumentarão de Outubro a Junho, aumento esse que poderá ser mais pronunciado em Maio e Novembro. As alterações climáticas poderão ter um impacto semelhante nos períodos favoráveis ao desenvolvimento de *P. falciparum* na região do Porto. Contudo, os meses evidenciando aumentos mais significativos para esse desenvolvimento poderão ser Maio, Junho, Outubro e Novembro. Baseados nestas alterações de temperatura, o risco potencial de transmissão de malária no Porto poderá aumentar do actual muito baixo para baixo. Níveis de risco mais elevados não são de esperar dadas as condições socioeconómicas locais.



6.5.2.2 Febre do Nilo Ocidental

A informação acerca da presença do vírus do Nilo Ocidental nesta região é muito escassa. Estudos serológicos na região durante a década de 1970 sugeriam a presença de anticorpos contra os arbovírus, mas foram inconclusivos sobre a especificidade ao vírus do Nilo Ocidental (Filipe, 1974). Estudos actuais em mosquitos da região não têm revelado infecção destes com o vírus do Nilo Ocidental. Assim, o risco actual de transmissão desta doença é baixo.

Uma vez que os cenários de alteração climática prevêm o aumento do número de meses favoráveis a elevadas densidades de *An. atroparvus* e de *Cx. pipiens*, o risco potencial de transmissão humana do vírus do Nilo Ocidental poderá aumentar em concordância.

6.5.3 Leishmaniose

As taxas de incidência de LV no Porto estão abaixo da média nacional. Contudo, entre 1996 e 2000, verificaram-se 17 casos de internamento, segundo os registos de hospitais públicos (IGIE, 2002). Neste distrito, os dados de terreno sobre a abundância de *Ph. perniciosus* e da infecção de hospedeiros por *Leishmania* são muito escassos. Porém, devido à proximidade de uma das regiões endémicas de Portugal,

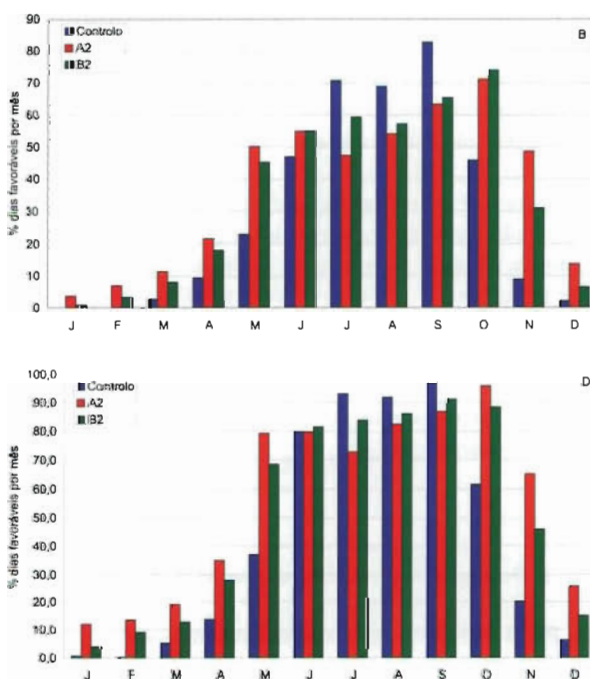


Figura 6.14 – Períodos com clima favorável à sobrevivência de anofeles e dos plasmódios no Porto: (A) Períodos favoráveis ao desenvolvimento de anofeles adultos e dos plasmódios; (B) Número de dias por mês adequados à abundância de *An. atroparvus*; (C) Períodos mensais favoráveis para a sobrevivência de *P. vivax*; (D) Períodos mensais favoráveis para o desenvolvimento de *Cx. pipiens*

nomeadamente a do Alto Douro, e ao facto de que vários casos humanos de leishmaniose estarem registados no Porto, presume-se que se verifica uma certa abundância de *Ph. perniciosus* e de hospedeiros infectados, de forma a manter-se a transmissão cíclica desta doença. Uma vez que na região do Alto Douro *Ph. ariasi* é mais abundante que *Ph. perniciosus* (Pires, 2000) presume-se que, para o Porto, exista um padrão de abundância semelhante. Contudo, o referido estudo avalia, somente, a transmissão da doença, baseada na última espécie vector. Tendo em conta os factos já mencionados, conclui-se que o risco de contrair actualmente LV, no Porto, devido a *Ph. perniciosus* é baixo.

No Porto, o clima habitual é conducente à transmissão de LV, havendo 41 % de dias, por ano, cuja temperatura é favorável à transmissão. Os dados obtidos com o clima de controlo do modelo HadRM3 apresentam resultados muito semelhantes aos observados (Figura 6.15a). Esta figura mostra também que, devido às alterações climáticas, o número de dias por ano que apresentam uma temperatura favorável à transmissão pode aumentar em, pelo menos, 20 %. Este aumento é o mais significativo de todas as três regiões estudadas e é mais evidente com o cenário A2. Tal como é indicado na Figura 6.15b, as densidades de *Ph. perniciosus* adultos podem aumentar significativamente e os flebótomos podem tornar-se activos por períodos mais longos, com a transição para um clima mais quente. São previstas densidades mais elevadas no cenário A2.

Tal como para as outras duas regiões já anteriormente discutidas, o potencial aumento do número de dias, por ano, cuja temperatura é favorável à transmissão de LV, não ocorre de um modo uniforme ao longo do ano. Os resultados evidenciados na Figura 6.15b mostram uma diminuição no número de dias, de Julho a Setembro, e um aumento significativo de Outubro a Maio. Praticamente não são previstas alterações para Junho. O facto anterior não reduz o risco de transmissão de LV, uma vez que a mesma figura também indica

que, entre Julho e Setembro, as densidades dos flebótomos adultos podem aumentar para o dobro. Com base nos resultados aqui apresentados, admite-se que as alterações climáticas venham a aumentar o risco de se poder contrair a LV durante os meses de Outubro e Junho, para um risco de nível médio, face ao aumento do risco de transmissão devido a *Ph. perniciosus*.

6.5.4 Febre Escaro-Nodular

O padrão de sazonalidade da FEN na região do Porto mantém-se similar ao de outras regiões do país em que a maior parte dos casos são reportados em Agosto (Figura 6.16a). No entanto, a região do Porto apresenta uma taxa de incidência de 1.9 por 100 000 habitantes, inferior às que se observam nas outras duas regiões estudadas (DGS 2001).

As condições climáticas mostram que, actualmente, a região do Porto apresenta em 90 % dos dias condições favoráveis à sobrevivência e actividade do vector (Figura 6.16b). As alterações climáticas podem vir a alargar o número de dias favoráveis à actividade do vector. Os resultados apresentados na Figura 6.16a indicam que, de forma similar às duas regiões já estudadas, o aumento da temperatura nos meses de Novembro a Março pode favorecer a actividade do vector e o aumento do número de gerações por ano. Contudo, é de ressaltar que existem sempre outros factores, que podem afectar o ciclo de vida do vector e a transmissão da agente.

6.5.5 Leptospirose

As casuísticas oficiais referem que, embora um total de 20 casos de leptospirose tenha sido notificado entre 1996 e 2000, o valor médio obtido para a região é inferior ao da média a nível nacional (DGS, 2001). À semelhança de outras doenças, admite-se que a taxa de incidência está subnotifi-

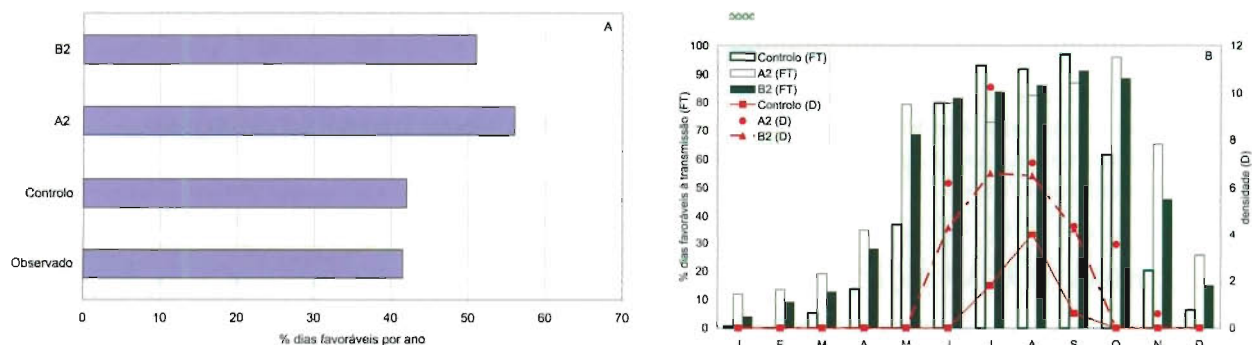


Figura 6.15 - Períodos favoráveis (FT) à transmissão de leishmaniose no Porto e modelo das densidades de *Ph. perniciosus* adultos: (A) Períodos favoráveis à transmissão de *Leishmania*; (B) Períodos favoráveis à transmissão de *Leishmania* por mês e densidade modelada de flebótomos

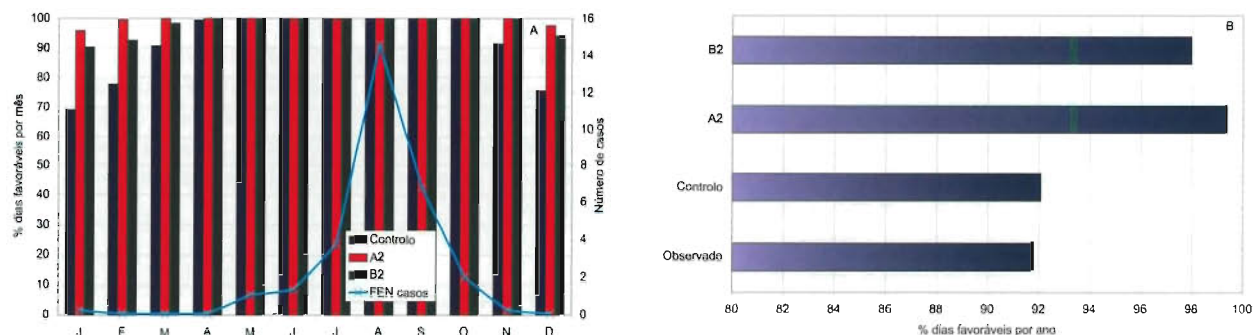


Figura 6.16 – Períodos favoráveis à actividade de *R. sanguineus* e casos notificados de FEN no Porto: (A) Períodos mensais favoráveis à actividade de *R. sanguineus* e número de casos notificados de FEN; (B) Períodos favoráveis à actividade do vector

cada, uma vez que no referido período foram hospitalizados 26 casos no Porto (IGIF, 2002).

Actualmente, os dados da precipitação total no Porto (Figura 6.12a) são superiores aos obtidos para as duas outras regiões e a ocorrência de inundações é um fenómeno regular. Por este motivo, o actual risco de transmissão dos agentes causais da leptospirose no Porto é muito mais elevado que nas duas outras regiões.

As alterações climáticas poderão contribuir para a redução da precipitação anual no Porto (Figuras 6.12b e 6.12c), mas poderá aumentar, por outro lado, o número de dias com precipitação intensa (Figura 6.12d). Esta última situação pode intensificar o risco de transmissão dos agentes da leptospirose na região.

Na medida em que os casos de leptospirose estão cada vez mais associados a actividades aquáticas, tais como pesca, canoagem e inersão em barragens, admite-se que o natural aumento da temperatura do ar e, consequentemente, à superfície das lagoas de água doce, contribua para o aumento destas actividades de lazer, incrementando-se, assim, o risco de exposição humana a estes agentes patogénicos. De salientar ainda que o aumento da temperatura do ar (e da água) poderá contribuir igualmente para uma maior sobrevivência das leptospiros na natureza, uma vez eliminadas pela urina dos reservatórios, e dessa forma induzir um risco acrescido de exposição humana accidental. A existência de um elevado risco de transmissão pode significar implicações adversas para a actividade turística na região, desde que se verifiquem fenómenos climáticos extremos.

6.6 MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

Os estudos que visam compreender a sensibilidade das populações aos impactos sobre a saúde resultantes da mudança do clima são o primeiro passo para identificar a respectiva

capacidade de adaptação. A etapa seguinte, tendo em vista a redução da vulnerabilidade, é o desenvolvimento de medidas de adaptação planeadas.

Medidas de adaptação são acções que podem ser desenvolvidas para reduzir potenciais impactos negativos ou para aumentar potenciais impactos positivos resultantes das alterações climáticas. A capacidade de adaptação das populações a tais impactos depende de muitos factores, incluindo a respectiva aceitação política e pública e a disponibilidade destes agentes para aceitarem mudanças; de melhorias dos níveis correntes das infra-estruturas de saúde pública; dos recursos técnicos e financeiros disponíveis; do funcionamento adequado de programas activos de vigilância dirigidos a consequências importantes sobre a saúde; e do peso de doenças preexistentes na comunidade. Depende, ainda, de que a continuidade da investigação promova a aplicação dos avanços médicos à prevenção, controlo e tratamento da doença, e das actividades que permitam aprofundar a nossa compreensão sobre as associações entre os aspectos meteorológicos, acontecimentos extremos e clima, e os seus impactos sobre a saúde.

As medidas de adaptação planeadas que serão benéficas para a sociedade, mesmo que os impactos antecipados resultantes das alterações climáticas se venham a revelar inexactos, encontram-se enumeradas na Tabela 6.6.

6.7 LACUNAS DE INVESTIGAÇÃO

São inúmeras as incertezas no que se refere à vulnerabilidade das populações às alterações climáticas. A investigação das lacunas adicionais é indispensável não só para a sua redução como para permitir a análise de impactos não considerados e que justificam investigação futura. Os esforços adicionais que se indicam em seguida deverão ter carácter urgente:

- Estudos epidemiológicos que analisem a associação entre os impactos sobre a saúde e aspectos meteorológicos,

Tabela 6.6 – Medidas de adaptação face a potenciais impactos sobre a saúde resultantes das alterações climáticas

Impacto	Medidas de Adaptação
Mudança dos níveis de conforto térmico	<p>Sensibilização da indústria turística tendo em vista otimizar o potencial de Portugal como país privilegiado para o turismo de Inverno</p> <p>Sensibilização das autoridades competentes para os benefícios resultantes de os maiores períodos de férias (por exemplo: escolares, etc.) se realizarem, predominantemente, na Primavera e Outono, evitando o pico do Verão</p> <p>Promoção de mecanismos que permitam que os principais destinos de férias, como é o caso do Algarve, estejam menos dependentes da «exposição solar»</p>
Stress pelo calor	<p>Programas educacionais dirigidos à população local e aos turistas visando transmitir informação sobre o <i>stress</i> pelo calor e como o evitar (por exemplo: reforço da ingestão de água, redução do consumo de álcool, etc.)</p> <p>Estabelecimento de sistemas de alerta precoce eficazes e de carácter local, que informem o público dos dias de <i>stress</i> extremo</p> <p>Uso adequado de sistemas de ar condicionado</p> <p>Sensibilização dos responsáveis pelo planeamento urbano e dos arquitectos para as características que possibilitem reduzir a carga térmica</p>
Doenças transmitidas por vectores/roedores	<p>Garantia que não ocorrem deteriorações nas infra-estruturas de saúde pública</p> <p>Melhoria dos sistemas de vigilância de vectores e roedores</p> <p>Melhoria das medidas de controlo de vectores e roedores</p> <p>Sensibilização dos profissionais de saúde e dos meios de comunicação social para os potenciais impactos sobre a saúde</p> <p>Realização, com regularidade, de estudos de resistência dos parasitas aos fármacos disponíveis, tendo em vista evitar que estas possam pôr em risco os programas de controlo</p> <p>Promoção de estudos que prevejam os potenciais efeitos de programas de irrigação e de outras práticas agrícolas sobre os locais de crescimento dos insectos e a dinâmica das populações de vectores e que promovam a sua aplicação prática</p> <p>Promoção da colocação de redes nas janelas, do uso de repelentes e de vestuário protector em zonas endémicas</p> <p>Informar a população local e os turistas do papel decisivo dos animais de companhia na transmissão da febre botonosa e leishmaniose</p> <p>Melhorar as redes nacionais e internacionais de alerta e orientação dos profissionais de saúde sobre eventuais alterações nos impactos sobre a saúde em regiões específicas (prevalência de doença, resistências a fármacos, etc.)</p>

acontecimentos extremos e clima. Estes resultados poderão ser utilizados para desenvolver modelos integrados de previsão dos impactos resultantes das alterações climáticas.

- Melhoria dos actuais sistemas de monitorização tendo em vista a criação de bases de dados de qualidade que possam ser utilizadas em estudos epidemiológicos, desenvolvimento de modelos e detecção precoce de alterações dos padrões de saúde.
- Desenvolvimento de metodologias que possibilitem uma melhor compreensão do modo como as alterações climáticas podem afectar a procura turística.
- Desenvolvimento de métodos adequados de avaliação económica dos impactos das alterações climáticas sobre a saúde.

- Melhoria dos actuais sistemas de prevenção, controlo e tratamento das principais patologias associadas às alterações climáticas.
- Avaliação dos impactos sobre a saúde noutras regiões de Portugal e implicações para as actividades turísticas.

6.8 CONCLUSÕES

A saúde humana reflecte o estado dos ambientes natural e socioeconómico das comunidades, constituindo um indicador fundamental nos estudos de efeitos potenciais das alterações climáticas sobre a própria saúde humana. Alterações ligeiras do clima podem resultar em impactos significativos da saúde na população local assim como na saúde dos turistas.

A possibilidade de as alterações climáticas afectarem os padrões de saúde humana coloca um profundo desafio aos cientistas e às autoridades responsáveis. Por um lado, os cientistas necessitam de determinar possíveis relações causa-efeito (saúde-clima) e aplicá-las em modelos preditivos. Por outro lado, as autoridades responsáveis pelo desenvolvimento de políticas neste domínio necessitam de as basear em princípios de precaução e no conhecimento científico disponível, tendo em vista reduzir a vulnerabilidade da população aos impactos potenciais sobre a saúde resultantes das alterações climáticas. Estas tarefas não são fáceis dados os inúmeros factores envolvidos e as lacunas de conhecimento existentes.

A saúde pública em Portugal é influenciada por aspectos meteorológicos e mudanças climáticas sazonais. Uma vez que o clima em Portugal difere consideravelmente entre o Norte e o Sul, o litoral e as regiões interiores, é de esperar que os potenciais impactos sobre a saúde possam diferir igualmente. As mudanças climáticas regionais podem também ter impacto na saúde dos turistas e consequentemente na respectiva indústria das diversas regiões. Este capítulo apresentou os resultados das avaliações regionais das alterações climáticas em Portugal no que se refere ao *stress* térmico e a doenças infecciosas relevantes e, ainda, as suas potenciais implicações sobre a actividade turística em três distritos costeiros: Faro, Lisboa e Porto.

Os cenários de alteração climática usados neste estudo sugerem alterações significativas nos níveis do conforto térmico nas três regiões analisadas. Lisboa e Porto poderão assistir a um aumento dos meses com dias confortáveis e de ligeiro *stress* pelo calor, enquanto que está prevista uma diminuição para Faro.

Um dos resultados mais relevantes identificados no presente estudo é o aumento significativo do número de meses com dias de *stress* extremo pelo calor em todos os distritos, afectando de um modo mais significativo o distrito de Faro. Para além do evidente desconforto térmico, esta situação poderá também traduzir-se em aumentos nos impactos associados com o calor, como é o caso dos golpes de calor, exaustão, e aumento da mortalidade. Os indivíduos mais vulneráveis são os idosos, as crianças e os com doenças cardiovasculares preexistentes. Os turistas e, de um modo particular, os campistas e os participantes em programas de ecoturismo, são igualmente vulneráveis ao *stress* pelo calor. Estes impactos adversos sobre a saúde podem, eventualmente, vir a reduzir a atracção dos turistas pelo País durante os meses mais quentes.

Algumas das medidas de adaptação que poderão contribuir, de um modo sustentado, para reduzir os potenciais impactos térmicos adversos sobre a saúde incluem o aumento do uso

de dispositivos de ar condicionado, o desenvolvimento de sistemas regionais de alerta precoce para as ondas de calor, o desenvolvimento de programas de informação dirigidos ao público em geral e aos turistas, assim como aos agentes da indústria turística, tendo em vista a indispensável consciencialização sobre as questões do *stress* pelo calor e o que é possível fazer para evitar as complicações devidas a situações extremas (por exemplo: permanecer à sombra e ingerir abundantemente líquidos) e, ainda, a criação de incentivos que estimulem arquitectos e responsáveis pelo planeamento urbano a promover a introdução de características de projecto que reduzam a carga térmica e os consequentes riscos sobre a saúde.

Os resultados também sugerem que as alterações climáticas podem reduzir o número de meses com *stress* pelo frio nos três distritos estudados, facto que se prevê vir a ser mais evidente no Porto. Neste distrito, nos meses de Dezembro e Janeiro, os quais, frequentemente, têm dias de *stress* pelo frio forte ou extremo, poderão ocorrer as máximas reduções identificadas para o país. É de admitir que reduções de *stress* pelo frio possam fazer de Portugal um destino mais atractivo para o turismo de Inverno.

As alterações climáticas em Portugal podem, ainda, conduzir a alterações nos sistemas ecológicos que, por sua vez, poderão levar a mudanças significativas na dinâmica da transmissão de doenças infecciosas tais como a malária, a febre do Nilo Ocidental, a leishmaniose, a febre escaro-nodular e a leptospirose. No entanto, uma vez que a transmissão destas doenças é fortemente influenciada por outros factores, incluindo circunstâncias socioeconómicas e doenças preexistentes, a prevalência dos agentes patogénicos e respectivos vectores e a existência de condições ecológicas e climáticas favoráveis não são condições suficientes para que a transmissão dos respectivos agentes patogénicos aos seres humanos ocorra.

O actual risco de transmissão da malária em Portugal é extremamente baixo, uma vez que os casos relatados em Portugal não são autóctones, e as populações locais de mosquitos não se encontram infestadas com os agentes patogénicos da malária. Nas três regiões estudadas, as alterações climáticas podem vir a criar condições mais favoráveis para o desenvolvimento e sobrevivência dos parasitas e dos mosquitos, favorecendo a transmissão da malária. Não obstante, se a população local de mosquitos permanecer não infectada o risco potencial manter-se-á extremamente baixo. Contudo, se uma população de mosquitos infectada com *Plasmodium* spp. viesse a ser introduzida nestas regiões, o risco da transmissão da malária poderia aumentar significativamente. No entanto, pelas razões anteriormente expostas, não se prevêem níveis de risco elevados em qualquer dos distritos estudados.

A febre do Nilo Ocidental é uma outra doença transmitida por mosquitos cuja dinâmica de transmissão pode vir a alterar-se em Portugal devido às alterações climáticas. O risco actual de transmissão da doença é mais elevado do que o da malária, uma vez que aves potencialmente infectadas têm sido encontradas em Portugal. Contudo, o risco actual de transmissão da doença do Nilo Ocidental é considerado baixo. Nas três regiões estudadas, as alterações climáticas podem contribuir para aumentar a sobrevivência do mosquito e o risco potencial de transmissão da doença. No entanto, como no caso da malária, não são esperados níveis de risco elevado em qualquer das localizações.

A leishmaniose é endémica nos distritos de Lisboa e de Faro. O estudo permite prever que as alterações climáticas poderão reduzir o risco de transmissão da doença em Faro durante a estação turística do Verão, e que este risco poderá ser aumentado na Primavera e no Outono. Em Lisboa e Porto, o risco de contrair a leishmaniose poderá também aumentar na Primavera, Verão e Outono.

Actualmente, o risco de transmissão da FEN nas três regiões estudadas é elevado, especialmente nos meses do Verão. As alterações climáticas podem aumentar este risco em todas as localizações, sobretudo na Primavera e Outono.

Embora Portugal tenha uma taxa elevada de incidência de leptospirose, as taxas da incidência da doença nas três regiões estudadas estão abaixo da média nacional. Não é de esperar que as alterações climáticas venham a alterar o risco actual de contrair a doença em Faro e em Lisboa. Contudo, uma

vez que se prevê para o Porto um aumento do número de dias com chuvas intensas, o risco de transmissão da doença poderá aumentar em conformidade.

Medidas de adaptação, como é o caso de programas de monitorização de parasitas, vectores e roedores, associados a programas de vigilância epidemiológica são tarefas prioritárias que visam reduzir a vulnerabilidade às doenças infecciosas estudadas. Estes programas devem também ter na devida conta o papel fundamental que os animais de companhia desempenham na transmissão da febre botanosa e da leishmaniose. Importa realçar a necessidade de se desenvolver investigação adicional tendo em vista a identificação dos factores ambientais que afectam a dinâmica da transmissão destas doenças em Portugal. É aconselhável o uso de redes protectoras nas janelas, de produtos repelentes e de roupa protectora.

A inexistência de dados ambientais e de saúde suficientes para os distritos estudados, assim como o significativo número de lacunas do conhecimento nas relações entre a saúde e o clima, resultaram em muitas incertezas que foram incorporadas nas avaliações. O estudo destas lacunas necessita de ser aprofundado no que se refere aos impactos das alterações climáticas na saúde pública e, consequentemente, na dos turistas nas regiões do estudo. Além disso, uma vez que a saúde é um indicador-chave das condições ambientais, é indispensável promover uma abordagem interdisciplinar na investigação, tendo em vista proceder à integração dos impactos das alterações climáticas nos sistemas que provocam impactos na saúde das populações.

6.9 REFERÊNCIAS

- Agnew M.D. and Palutikof J.P., 2001, Climate impacts on the demand for tourism, in A. Matzarakis and C.R. de Freitas, eds., *Proceedings of the First International Workshop on Climate, Tourism and Recreation*, International Society of Biometeorology, Commission on Climate Tourism and Reaction, pp. 41-50.
- Aharonowitz G., Koton S., Segal S., Anis E., Green M.S., 1999, Epidemiological Characteristics of Spotted Fever in Israel Over 26 Years, *Clinical Infectious Diseases*, 29:1321-2.
- Almeida, A.P.G., Esteves, A., Galão, R.P., Sousa, C.A., Novo, M.T., Parreira, R., Pinto, J., Rodrigues, J.C., Piedade, J., Carvalho, L., 2004, Survey for West Nile and other Arboviruses in Mosquitoes from Portugal. The 3rd European Mosquito Control Association Workshop, Osijek, Croatia, pp. 16.
- Almeida, A.P.G., Galão, R.P., Sousa, C.A., Novo, M.T., Parreira, R., Pinto, J., Rodrigues, J.C., Piedade, J., Esteves, A., 2005, Survey for adult mosquitoes in Portugal: distribution, abundance and arboviral infection. Proceedings 4th International SOVE Congress, Reno, Nevada, USA, CDRom.
- Alves-Pires C., Campino L., Afonso M.O., Santos-Gomes G., Dedet, J-P., Pratlong F., 2001, Les Phlébotomes du Portugal X - Infestation naturelle de *Phlebotomus perniciosus* par *Leishmania infantum* MON-1 en Algarve, *Parasite* 8: 374-375.
- Bacellar F., Sousa R., Santos A., Santos-Silva M., Parola P., 2003, Boutonneuse fever in Portugal: 1995-2000. Data of a state laboratory, *European Journal of Epidemiology* 18:275-277.
- Burgdorfer, W., Brimon, L.P., 1975, Mechanisms of transovarial infection of spotted fever rickettsiae in ticks, *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 266: 61-72.
- Burgdorfer, W., Varma, MGR., 1967, Trans-stadial and transovarial development of diseases agents in arthropods, pp. 347-376. In: Smith RF, Mittler, TE. *Fth Annual reviews of entomology*. Annual reviews Inc., Palo Alto, Calif.
- Caciro V.M.P., 1992, As Carraças em Portugal: seus hospedeiros domésticos e silvestres. Ciclos vitais, preferências de vegetação e de clima, *O Médico Veterinário* 28: 7-25.
- Caciro V.M.P., 1999, General review of tick species in Portugal, *Parasitologia* 41(suppl.1): 11-15.
- Campino L., 1998, *Leishmanioses em Portugal. Características Emergentes da Epidemiologia e do Diagnóstico*, PhD thesis, Universidade Nova de Lisboa, Portugal.
- Casimiro E., and Calheiros J.M., 2002, Human Health, in Santos F.D., Forbes K., Moita R., eds., *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project*, Gradiva Publicações, Lisboa, pp. 241-300.
- CDC (1999) Leptospirosis – General Information, Centres for Disease Control and Prevention, Division of Bacterial & Mycotic Diseases, Atlanta, USA [Internet access] http://www.cdc.gov/ncidod/dlmdl/diseaseinfo/leptospirosis_g.htm
- Chatelanai P., Humair L., Aeschlimann A., Bowessidjaou J., 1987, Five cases of Mediterranean boutonneuse fever in Switzerland, *Ann Parasitol Hum Comp* 62(5): 371-379.
- Collares-Pereira M., Korver H., Terpstra W., Santos-Reis M., Ramalhinho M.G., Mathias M.L., Oom M.M., Fons R., Libois R., Pennucci-Fonseca E., 1997, First epidemiological data on pathogenic leptospires isolated on the Azorean islands, *European Journal of Epidemiology* 13 (4): 435-441.
- Collares-Pereira M., Mathias M.L., Santos-Reis M., Ramalhinho M.G., Duarte-Rodrigues P., 2000a, Rodents and *Leptospira* transmission risk in Terceira island (Azores), *European Journal of Epidemiology* 16: 1151-1157.
- Collares-Pereira M., Santos-Reis M., Oom M.M., Gama M.J., Amaral J., 1996, Os roedores como factores de risco na transmissão das Leptospiras, in: *Protecção da Produção Agrícola, Simpósio das Roedores na Agricultura*, Direcção-Geral de Protecção das Culturas, pp. 158-168.
- Collares-Pereira M., Vieira M.L., Gama M.J., Santos-Reis M., Mathias M.L., Saraiva da Cunha J.G., Porto A., Saldanha H., Moura J., Dias N., Paiva C., Melo Mota F., Rosa A.E., 2000b, Leptospirose em Portugal: avaliação integrada da importância dos roedores na transmissão humana, II Congresso de Investigação em Medicina, Coimbra, Portugal.
- Collares-Pereira M., Vieira M.L., Santos-Reis M., 2001, Epidemiological evaluation of the importance of rodents in *Leptospira* human transmission in Portugal, *Proceedings of International Leptospirosis Congress*, Havana, Cuba.
- Connell, J., McKeown, P., Garvey, P., Cotter, S., et al., 2004, Two linked cases of West Nile Virus (WNV) acquired by Irish tourists in the Algarve, Portugal, *Eurosurveillance* Wkly 8:05/08/2004.
- DGS 2001, *Doenças de Declaração Obrigatória (1996-2000)*, Direcção-Geral da Saúde, Lisboa, Portugal.
- Dessai S., 2002, Heat stress and mortality in Lisbon Part I: model construction and validation, *International Journal of Biometeorology* 47:6-12.
- Dohm D.J., O'Guinn M.L., Turell M.J., 2002, Effect of environmental temperature on the ability of *Culex pipiens* to transmit West Nile virus, *Journal of Medical Entomology* 39(1): 221-225.
- Epstein, P., 2000, Is Global Warming Harmful to Health? *Scientific American*, August: 36-43.
- Espejo-Arenas E., Font-Creus B, Bella-Cueto F., Segura-Porta F., 1986, Climatic factors in resurgence of mediterranean spotted fever, *Lancet* : 1333.
- Eurowinter Group, 1997, Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions in Europe, *The Lancet*, 349: 1341-1346.
- Falcão J.M., Nogueira P.J., Dias C.M., Pimenta Z.P., 1999, Leptospirosis in Portugal: epidemiology from 1991 to 1997, *Eurosurveillance* 4(4): 44-47.
- Falcão J.M., Nogueira P.J., Contreiras M.T., Paixão E., Brandão J., Batista L., 2003, *Onda de Calor de Agosto de 2003: Repreensões Sobre a Saúde da População*, Relatório do ONSA, INSA, Lisboa
- Fernandes T., Clode M.H.H., Simões M.J., Ribeiro H., Anselmo M.L., 1998, Isolation of virus West Nile from a pool of unfed *Anopheles atroparvus* females in the Tejo River estuary, Portugal, *Acta Parasitologica Portuguesa* 5(1): 7.
- Filipe A.R., 1972, Isolation in Portugal of West Nile virus from *Anopheles maculipennis* mosquitoes, *Acta Virologica* 16: 361.
- Filipe A.R., 1974, Serological survey for antibodies to arboviruses in the human population of Portugal, *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 68(4): 311-314.
- Filipe A.R., 1975, Pesquisa de anticorpos contra arbovírus em animais do centro e sul de Portugal, *Anais do Instituto de Higiene e Medicina Tropical* 2(1-4): 267-271.
- Filipe A.R., 1983, Pesquisa de anticorpos contra alfa e flavivírus, *Arquivos do Instituto Nacional de Saúde*, 8 : 49-57.
- Formosinho P., Comunicação pessoal. Centro de Estudos de Vetores e Doenças Infecciosas, Instituto de Saúde Dr. Ricardo Jorge, Águas de Moura, Portugal.
- Formosinho P., Melo P., Santos-Silva M., Santos A., Santos N., Nuncio M.S., 2002, Role of wild birds in transmission of vector-borne agents. Preliminary studies in National Institute of Health-Portugal. Third European Congress on Tropical Medicine and International Health, Poster n.º P179. Abstract book in *Acta Tropica*, 83 Suppl.1: S175.
- Galão R.P., Sousa C.A., Novo M.T., Parreira R., Pinto J., Carvalho L., Esteves A., Piedade J., Santos H., Almeida A.P.G., 2002, Distribution of potential arboviruses mosquito vectors in Portugal. Third European Congress on Tropical Medicine and Inter-

- national Health, Oral Communication n.º WEPS038, Abstract book in *Acta Tropica*, 83 Suppl.1: S83-S84.
- Garcia A.C., Nogueira P.J., Falcão P.J., 1999, Onda de calor de Junho de 1981 em Portugal: efeitos na mortalidade, *Revista Portuguesa de Saúde Pública*, Volume Temático 1: 67-77.
- Gazave E., Chevillon G., Lenormand T., Marquie M., Raymond M., 2001, Dissecting the cost of insecticide resistance genes during the overwintering period of the mosquito *Culex pipiens*, *Heredity* 87(4): 441-448.
- Giles A.R., and Perry A.H., 1998, The use of a temporal analogue to investigate the possible impacts of projected global warming on the UK tourist industry, *Tourism Management* 19(1): 75-80.
- Gilot B., Laforge M.L., Pichot J., Raoult D., 1990, Relationships Between the *Rhipicephalus sanguineus* Complex Ecology and Mediterranean Spotted Fever Epidemiology in France, *Eur J Epidemiol* 6(4): 357-362.
- Gubler D.J., Reiter P., Ebi L., Yap W., Nasci R., Patz P., 2001, Climate Variability and Change in the United States: Potential Impacts on Vector- and Rodent-Borne Diseases, *Environmental Health Perspectives* 109(S 2): 223-233.
- Höppe P., 1999, The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorology assessment of the thermal environment, *International Journal of Biometeorology* 43: 71-75.
- Huback Z., and Halouzka J., 1999, West Nile Fever – a re-emerging mosquito-borne viral disease in Europe, *Emerging Infectious Diseases* 5: 643-650.
- IGIF, 2002, *Hospital admissions database*, Instituto de Gestão Informática e Financeira da Saúde, Ministério da Saúde, Lisboa, Portugal.
- INE, 2000, *Estatísticas do Turismo*, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal.
- INE, 2002, *Estatísticas do Turismo*, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal.
- INE, 2003a, *Anuário Estatísticas da Região do Algarve*, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal.
- INE, 2003b, *Anuário Estatísticas da Região de Lisboa e Vale do Tejo*, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal.
- INE, 2003c, *Anuário Estatísticas da Região do Norte*, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal.
- Jorge R., 1930, La fièvre exanthématique (fièvre escharo-nodulaire) et son apparition au Portugal, *Lisboa Médica* 74: 33-454.
- Keatinge W.R., Donaldson G.C., Elvira Cordioli, Martinelli M., Kunst A.E., Mackenbach J.P., Nayha S., Vuori L., 2000, Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study, *British Journal of Medicine* 321: 670-673.
- Ko A.L., Galvão R.M., Ribeiro D.C.M., Johnson W.D., Riley L.W., 1999, Urban epidemic of severe leptospirosis in Brazil. Salvador Leptospirosis Study Group, *The Lancet* 354 (9181): 820-825.
- Kuhn K.G., Campdell-Lendrum D.H., Davies C.R., 2002, A continental Risk Map for Malaria Mosquito Vectors in Europe, *Journal of Medical Entomology* 39 (4): 621-630.
- Kuhn K.G., Campdell-Lendrum D.H., Armstrong B., Davies C.R., 2003, Malaria in Britain: Past, present and future, *Proceedings of the National Academy of Science USA* 100 (17): 9997-10001.
- Kupek E., de Sousa Santos Faversani M.C., de Souza Philippi J.M., 2000, The relationship between rainfall and human leptospirosis in Florianópolis, Brazil, 1991-1996, *Brazilian Journal of Infectious Diseases* 4 (3): 131-134.
- Landeiro F., and Cambourne F., 1933, *O Sazonismo em Portugal*, Ministério das Colónias, Missão Direcção-Geral de Saúde – Rockefeller Foundation, Lisboa.
- Lambert, M., Dugernier, T., Bigaignon, G., Rahier, J., Plot P., 1984, Mediterranean Spotted Fever in Belgium, *Lancet* 324 (8410): 1038.
- Leancy A.J., 1977, The effect of temperature on *Leishmania* in sandflies, *Parasitology* 75, part 2: xxviii-xxix.
- Lundström J.O., 1999, Mosquito-borne viruses in Western Europe, *Journal of Vector Ecology*, 24: 1-39.
- Martens P., 1998, Climate Change and Vector-borne Diseases, in *Health and Climate Change*, edited by E. Millstone, Earthscan Publications Ltd, London, pp. 27-80.
- Martens W.J.M., Niessen L.W., Rotman J., Jetten T.H., McMichael A.J., 1995, Potential impact of global climate change on malaria risk, *Environmental Health Perspectives* 103:458-464.
- Matzarakis A., 2001, Assessing climate for tourism purpose: Existing methods and tools for the thermal complex, in A., Matzarakis and C.R. de Freitas, eds., *Proceedings of the First International Workshop on Climate, Tourism and Recreation*, International Society of Biometeorology, Commission on Climate Tourism and Reaction, pp. 101-111.
- Matzarakis A., and Mayer H., 1996, Another kind of environmental stress: Thermal stress, *WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control, NEWSLETTERS* No. 18, pp 7-10.
- McDade J.E., 1990, Evidence supporting the hypothesis that rickettsial virulence factors determine the severity of spotted fever and typhus group infections, *Annals of the New York Academy of Sciences* 590: 20-6.
- McDonald J., MacLean J.D., McDade, J.E., 1988, Imported rickettsial disease: clinical and epidemiological features, *American Journal of Medicine* 85: 799-805.
- McGreehin M.A., and Mirabelli M., 2001, The Potential Impacts of Climate Variability and Change on Temperature-Related Morbidity and Mortality in the United States, *Environmental Health Perspectives* 109 (suppl 2): 185-189.
- McMichael A.J., and Githeko A., 2001, Human Health, In: *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Third Assessment Report of the IPCC*, Cambridge University Press, UK, pp. 433-485.
- Morais J.A., Bacellar F., Franca S., Filipe AR., Azevedo F. 1996, Isolamento e caracterização de *Rickettsia conorii* num caso fulminante, sem escara de inoculação nem exantema, *Revista Portuguesa de Doenças Infecciosas*, ano 19 (1-2): 110-116.
- Moss R.H., and Schneider S.H., 2000, Uncertainties in the IPCC Third Assessment Report: Recommendations to Lead Authors for more Consistent Assessment and Reporting.
- Mumcuoglu K.Y., Keysary A., Gilrad, L., 2002, Mediterranean Spotted fever in Israel: A tick-borne Disease, *MAJ* 4: 44-49.
- Pacheco M., Paiva C., Collares-Pereira M., Vitoria M.L., Melo Mota F., 2000, Contribuição para o estudo integrado da *Leptospira* humana e animal na Ilha de S. Miguel, *Revista Portuguesa de Doenças Infecciosas* 23 (3): 77-84.
- Paixão E.J., and Nogueira P.J., 2002, *Estudo da Onda de Calor de Julho de 1991 em Portugal: Efeitos na Mortalidade*, Observatório Nacional de Saúde, Lisboa.
- Perry A., 2001, More heat and drought – Can Mediterranean tourism survive and prosper?, in A., Matzarakis and C.R. de Freitas, eds., *Proceedings of the First International Workshop on Climate, Tourism and Recreation*, International Society of Biometeorology, Commission on Climate Tourism and Reaction, pp. 35-40.
- Perry A., 2003, Current activities, areas and gaps in research, in Viner D., and Amelung B., eds., *Climate change, the environment and tourism: the interactions. Proceedings of the ESF-I-ESG workshop*, Milan 4-6th June, Publ. eCLAT, Climate Research Unit, Norwich, UK, pp. 11-18.
- Pires C.A., 2000, Os flebotomos (Diptera, Psychodidae) dos focos zoonóticos de leishmanioses em Portugal PhD thesis, Universidade Nova de Lisboa, Portugal.
- Proença P., Cabral T., Ferreira L., do Carmo G., Xavier R., 1996, Malaria – Estudo retrospectivo de 7 anos (1989-1995) do Serviço de Doenças Infecciosas do Hospital de S. Maria, *Revista Portuguesa de Doenças Infecciosas* 19(2-3): 173-197.

- Ramos H.C., 2003, comunicação pessoal, Instituto de Investigação Científica Tropical e Instituto de Higiene e Medicina Tropical/UNL, Lisboa, Portugal.
- Ramos H.C., Ribeiro H., Alves Pires C., Capela R.A., 1977-1978, Research on the mosquitoes of Portugal (Diptera, Culicidae). II – The mosquitoes of the Algarve, *Anais do Instituto de Higiene e Medicina Tropical* 5:237-256.
- Ramos H.C., Ribeiro H., Alves Pires C., Capela R.A., 1982, Research on the mosquitoes of Portugal (Diptera, Culicidae). VII – Two new Anopheline records, *Anais do Instituto de Higiene e Medicina Tropical*, 8:103-109.
- Raoult D., Tissout Dupont H., Caraco P., Brouqui P., Drancourt M., Charrel C., 1992, Mediterranean Spotted Fever in Marseille: Descriptive epidemiology and the influence of climatic factors, *European Journal of Epidemiology* 8 (2): 192-197.
- Raoult D., and Roux V., 1997, Rickettsiosis as Paradigms of New or Emerging Infectious, *Diseases.Clin Microbiol Rev.* Oct: 694-719.
- Regev-Yochay G., Segal E., Rubinstein E., 2000, Glucose-6- phosphate Dehydrogenase Deficiency : Possible Determinant for a Fulminant Course of Israeli Spotted Fever, *IMAJ* 2: 781-782.
- Ribeiro H., Batista J.L., Ramos H.C., Pires C.A., Champalimaud J.L., Costa J.M., Araújo, Mansinho K., Pina M.C., 1989, An attempt to infect *Anopheles atropareus* from Portugal with African *Plasmodium falciparum*, *Revista Portuguesa de Doenças Infecciosas* 12 (2): 81-82.
- Ribeiro H., da Cunha Ramos H., Pires C.A., Capela R.A., 1988, An annotated checklist of the mosquitoes of continental Portugal (Diptera Culicidae), *Actas do III Congresso Ibérico de Entomologia* 233-253.
- Rioux J.A., Aboulker J.P., Lanotte G., Killick-Kendrick R., Martini-Dumas A., 1985, Ecologie des Leishmanioses dans le Sud de la France, *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée*. 60(3): 221-229.
- Santos-Silva M., personal communication, Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, Águas de Moura.
- Santos-Silva M., and Filipe A., 1998, Ciclos biológicos de ixodídeos (Ixodidea: Ixodidae) em condições de laboratório, *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias* 527:143-148.
- Shgal S.C., Sugunan A.P., Vijayachari P., 2002, Outbreak of leptospirosis after the cyclone in Orissa, *National Medical Journal of India* 15 (1): 22-23.
- Simões J., de Azevedo J.F., Palmeiro J.M., 1969, Some aspects of the Weil's disease epidemiology based on a recent epidemic after a flood in Lisbon (1967), *Anais da Escola Nacional de Saúde Pública e Medicina Tropical* (Lisboa), 3 (1): 19-32.
- Sousa C. A., Novo M. T., Santos C., Diniz M. C., Parreira R., Pinto L., Almeida A.P.G., Ramos H. C., 2001, Mosquitoes in Comporta, Portugal. Some Bioecological Characteristics, *3rd International Congress of Vector Ecology*, 2001 Barcelona, Abstract Book: pp. 39.
- Sousa R., Nobrega S.D., Bacellar F., Torgal J., 2003a, Sobre a realidade epidemiológica da febre escaro-nodular em Portugal, *Acta Medica* 16: 430-438.
- Sousa R., Nobrega S.D., Bacellar F., Torgal J., 2003b, Mediterranean spotted fever in Portugal: risk factors for fatal outcome in 105 hospitalized patients, *Annals of the New York Academy of Sciences* 220: 285-94.
- Spielman A., 2001, Structure and seasonality of nearctic *Culex pipiens* populations, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 951: 220-234.
- Szaszewski S., Helm E.B., Stille W., 1984, Autochthonic Mediterranean Spotted Fever in West Germany, *Lancet* 324(8417): 1466.
- Tesh R.B., Lubroth J., Guzman H., 1992, Simulation of arbovirus overwintering: survival of Toscana virus in its natural sandfly vector *Ph. perniciosus*, *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 47(5): 574-581.
- Vene S.L., 1989, Diagnosis of rickettsial infections in Swedish patients: Detection of specific IgM, *European Journal of Epidemiology* 5 (4):436-437.
- Vieira A., Barros M.S.J., Valente C., Trindade L., Faria M.J., Freitas F., 1999, Leptospirose humana, *Acta Médica Portuguesa* 12: 331-340.
- Viner D., and Agnew M.D., 1999, *Climate change and its impact on tourism*, Report prepared for the WWF-UK. Norwich, Climate Research Unit, University of East Anglia, UK.
- Walker D.H., 1990, The role of host factors in the severity of spotted fever and typhus rickettsioses, *Annals of the New York Academy of Sciences* 590: 10-19.
- Walker D.H., and Fishbein B.D., 1991, Epidemiology of Rickettsial diseases, *European Journal of Epidemiology* 7: 237-245.
- Walker D.H., Herrero-Herrero J., Ruiz-Beltran R., Bullon-Sopelana A., Ramos-Hidalgo A., 1987, The Pathology of Fatal Mediterranean Spotted Fever. *American Journal of Clinical Pathology*, 87:669-672.
- WHO, 1999, Leishmania/HIV co-infection, south-western Europe 1990-1998, *Weekly Epidemiological Record* 74(44):365-376.

7

Energia

Ricardo Aguiar (Coordenador)

Departamento de Energias Renováveis

do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

Marta Oliveira

Departamento de Energias Renováveis

do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

Hélder Gonçalves

Departamento de Energias Renováveis

do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

ÍNDICE

SUMÁRIO EXECUTIVO	273
EXECUTIVE SUMMARY	274
7. ENERGIA	275
7.1 INTRODUÇÃO	275
7.1.1 Sumário do SIAM I	275
7.1.1.1 Oferta de Energia	275
7.1.1.2 Procura de Energia	276
7.1.2 Objectivos do SIAM II	276
7.2 METODOLOGIA	277
7.2.1 Metodologias Usadas no SIAM I (Actualização)	277
7.2.1.1 Anos Meteorológicos Representativos	277
7.2.1.2 Cenários Socioeconómicos SRES	278
7.2.1.3 Aquecimento de Águas Sanitárias	279
7.2.1.4 Climatização de Edifícios: Residências	279
7.2.1.5 Climatização de Edifícios: Escritórios	280
7.2.2 Novas Metodologias	281
7.2.2.1 Progresso Tecnológico nos Equipamentos de AVAC	281
7.2.2.2 Pré-Aquecimento de Águas Industriais	281
7.2.2.3 Aquecimento de Piscinas	281
7.2.2.4 Climatização de Edifícios de Hotelaria	281
7.2.2.5 Climatização de Veículos Terrestres	283
7.3 IMPACTOS	285
7.3.1 Região Norte	285
7.3.1.1 Aquecimento de Águas	285
7.3.1.2 Sistemas Solares Térmicos	285
7.3.1.3 Climatização de Residências	287
7.3.1.4 Climatização de Edifícios de Serviços	287
7.3.1.5 Climatização de Veículos	288
7.3.2 Região Centro	289
7.3.2.1 Aquecimento de Águas	289
7.3.2.2 Sistemas Solares Térmicos	289
7.3.2.3 Climatização de Residências	289
7.3.2.4 Climatização de Edifícios de Serviços	292
7.3.2.5 Climatização de Veículos	293
7.3.3 Região Sul	293
7.3.3.1 Aquecimento de Águas	293
7.3.3.2 Sistemas Solares Térmicos	295
7.3.3.3 Climatização de Residências	295
7.3.3.4 Climatização de Edifícios de Serviços	296
7.3.3.5 Climatização de Veículos	297
7.4 LACUNAS DE CONHECIMENTO	298
7.4.1 Produção Eléctrica e Controlo de Cheias	298
7.4.2 Oferta de Energia por Sistemas Eólicos e Oceânicos	298
7.4.3 Transporte e Distribuição de Energia Eléctrica	298
7.4.4 Deslocação dos Picos de Consumo de Energia	298
7.4.5 Ritmo Temporal do Aquecimento Global	298
7.4.6 Adaptação	298
7.5 CONCLUSÕES	299
7.6 REFERÊNCIAS	300

SUMÁRIO EXECUTIVO

Este capítulo descreve resultados de estudos de impactos das alterações climáticas no sector energético em Portugal. Sendo sempre reconhecido como o mais importante em termos de responsabilidade pelas emissões de gases com efeito de estufa, só mais recentemente se começa a ter consciência da extensão em que ele próprio sofre os impactos das alterações climáticas, tanto do ponto de vista da oferta como, especialmente, da procura de energia.

Do ponto de vista da oferta de energia, os potenciais impactos das alterações climáticas na oferta de energia prendem-se, de forma geral, com a redução da eficiência termodinâmica de motores e turbinas sob temperaturas ambientes mais elevadas; com a disponibilidade de água para arrefecimento em centrais térmicas; com o efeito da subida do nível do mar em estruturas perto da costa; com o efeito de eventos extremos nos sistemas de abastecimento de energia; com a alteração do potencial de recursos energéticos renováveis – energia solar, eólica, oceânica, biomassa; e com maiores perdas (resistivas) no transporte de energia eléctrica. Do ponto de vista da procura de energia, devem considerar-se impactos directos na diminuição dos requisitos energéticos para aquecimento (águas, edifícios, veículos) nos meses mais frios; e no aumento dos requisitos energéticos para arrefecimento nos meses mais quentes. Contudo, podem verificar-se importantes efeitos potenciais de tipo indirecto, em particular ligados às modificações de carácter social nos locais e nos padrões de consumo.

Os resultados obtidos na fase II do SIAM vieram confirmar, aprofundar e aumentar o conjunto de resultados obtidos na primeira fase (Aguiar, 2002). Do ponto de vista da oferta de energia, não foram encontrados impactos significativos nas centrais termoelectricas, desde que se assegure a disponibilidade de água para arrefecimento em novos empreendimentos. No sector da oferta de energias renováveis, há mesmo indicação de benefícios no que respeita à energia solar (especialmente térmica) e à produção de biogás. Para as outras fontes renováveis as estimativas indicam impactos aproximadamente neutros a nível nacional – embora não a nível regional, isto em particular para a energia hidráulica, onde a região Norte pode sair beneficiada e as regiões Centro e Sul bastante prejudicadas.

Mantém-se a estimativa de impactos importantes nas perdas no transporte e distribuição de energia eléctrica, determinadas pelo aumento da temperatura ambiente, embora sempre com a ressalva da possibilidade, bem real, de que desenvolvimentos tecnológicos que já hoje se perspectivam – por exemplo, produção descentralizada, vectores energéticos alternativos e mesmo cabos supercondutores à temperatura ambiente –, possam minorar este impacto.

Com os novos cenários climáticos, utilizados no presente estudo, a redução das necessidades energéticas para aquecimento de águas (especialmente sanitárias, tipicamente entre 10% a 20%) é ainda o único impacto de carácter positivo encontrado do lado da procura de energia. Confirmou-se também o muito significativo impacto de carácter negativo das alterações climáticas nas necessidades e nos consumos para climatização ambiente. As reduções na procura para aquecimento nos meses mais frios são mais do que compensadas por grandes aumentos para arrefecimento nos meses mais quentes – aliás a estação quente em que se justifica o recurso à climatização alarga-se e passa a abranger 8 a 10 meses na maior parte do território. Uma das consequências deste impacto é a deslocação muito clara do pico de consumo eléctrico do Inverno para o Verão, amplificando ainda mais a pressão sobre o sistema eléctrico resultante do constante aumento de consumos nos últimos anos, e que todos os cenários indicam dever continuar dada a tendência para uma «electrificação» crescente da economia.

Na primeira fase do Projecto SIAM foram analisadas a climatização de habitações – vivendas e apartamentos – e de edifícios de escritórios, com a tecnologia actual. Nesta segunda fase os estudos incluíram também hotéis e veículos, com resultados semelhantes, não obstante terem-se considerado pela primeira vez os efeitos do desenvolvimento da tecnologia. O contexto socioeconómico e a direcção do desenvolvimento e da aplicação da tecnologia provaram ser determinantes na moderação/amplificação dos impactos climáticos. Por exemplo, na região Centro, a variação das estimativas das necessidades de consumo para climatização ambiente, entre dois cenários com características semelhantes nos níveis de população, desenvolvimento e globalização económica, ambos com alto desenvolvimento tecnológico, mas com preocupações ambientais distintas – elevadas (cenário B1) ou diminutas (cenário A1) –, vai de +8 % a +10 % para veículos, +10 % a +50 % para escritórios, +40 % a +90 % para hotéis e +40 % a +660 % para residências.

Tendo em atenção o facto de que no sector energético os desenvolvimentos tecnológicos são frequentes e as atitudes dos consumidores particulares e empresariais são flexíveis, recomenda-se o desenvolvimento, tão rápido quanto possível, das vastas oportunidades para potenciar os impactos positivos (energias renováveis em particular) e para procurar uma eficaz adaptação/redução aos impactos negativos (estes essencialmente na procura de energia).

EXECUTIVE SUMMARY

This chapter deals with climate change impact estimates in the energy sector of Portugal. This sector is in a peculiar position: while widely recognized as one of the main sources of greenhouse gas emissions, it is seldom appreciated the extent in which it is also a target of the climate change impacts caused by such emissions. They do exist, from all viewpoints: energy supply, transmission and demand.

The main potential impacts from the supply side may relate to: reduction in thermodynamic efficiency of generators and engines in general under higher ambient temperature; cooling water availability for thermoelectric power plants; sea rise impacts on energy related structures located near the coast; effects of extreme meteorological events such as severe weather on energy infrastructures; changes in renewable energy resources and higher resistive losses in power transportation cables. From the demand side, impacts may be found on the reduction of energy needs for heating (water, buildings, vehicles) during the colder months and, in contrast, on the increase of energy needs for cooling during the warmer months. There are also many conceivable indirect but potentially important effects, linked for instance, to social changes on energy consumption patterns.

The results obtained for Portugal in the present phase II of the SIAM Project have confirmed and extended the results of the previous first phase (Aguilar, 2002). From the supply side viewpoint, no significant impacts were foreseen for thermoelectric power plants, at least assuming water availability is secured for new plants, for example, by locating them near the coast or estuaries, as it is already done in most cases. There are signs that the performance of solar energy devices and biogas production should benefit from climate change in Portugal. For other renewable energy sources the impact estimates were about neutral at national level, although not necessarily at regional level: in particular for hydroelectric plants the northern region might benefit, in contrast with the central and southern zones, which, anyway, already holds much less hydraulic potential. Important impacts on transport and distribution of electricity should be expected, although they could be mitigated or bypassed by technological developments (for instance, decentralized power production, alternative energy vectors, superconductivity at room temperature).

From the demand side, the only positive impact expected relates to lower water heating needs, typically between 10% and 20% less than with the current climate. The results of SIAM I had already shown a rise of energy needs for climatization, and the present work again finds that the overall balance between the reduction of energy needs for the colder months and the increase of energy needs for the warmer months, turns out to be unfavorable. Indeed the heating season almost disappears in large zones of the territory, and the cooling season increases to 8 – 10 months. A consequence of these changes in energy demand patterns would be a clear displacement of the peak demand from wintertime to summertime, adding to the pressure on the power systems already resulting from the constant demand rise in this country in the last few years, a trend that is expected to continue in the future.

In SIAM I the climatization of residences – single family dwellings as well as apartments – and offices had already been analyzed, assuming societal changes but no technology changes. This second phase of SIAM extended such studies to hotels and vehicles, and allowed for technology developments. With this refined approach and under the new climatic scenarios, it is found that the social-economic factors become crucial for the determination of the size of the impacts. Taking for instance the central region, there is a huge variation in the estimates of energy consumption for climatization, when analyzing two scenarios similar in population, economic activity and technological development, but with distinctively different attitudes towards environmental issues – low concern in scenario A1, but a major driving force in scenario B1. The demand increase ranges were only about +8 % to +10 % for the case of vehicles, but +10 % to +50 % for offices, +40 % to +90 % for hotels, and +40 % to +660 % for residences.

Taking into account the well known energy sector characteristics of frequent technological advances and high flexibility of investors and consumers, it is recommended that, as soon as possible, the country should start trying to profit from the vast opportunities to exploit the positive impacts – foreseen for renewable energies in particular – and to take adaptation / mitigation actions regarding the negative impacts, which occur essentially at the energy demand side.

7. Energia

Ricardo Aguiar (Coordenador), Marta Oliveira, Hélder Gonçalves

7.1 INTRODUÇÃO

O sector da oferta de energia é dos mais importantes e dinâmicos em termos económicos nacionais, empregando menos de 0,5 % da força de trabalho nacional mas sendo responsável por tipicamente 3,5 % a 4 % do PIB anual. A relevância do sector em termos económicos e sociais é ainda maior do que estes números fariam supor, visto que se regista em Portugal um forte acoplamento entre consumo de energia e PIB. De facto, as taxas de crescimento do consumo de energia são da ordem de 5 % a 6 % ao ano, o que está, em geral, 1 % a 3 % acima da variação do PIB. Note-se que, não obstante a recente tendência de aumento do preço do petróleo e gás natural na origem, a taxa de aumento do preço da energia tem sido em regra abaixo da inflação – tipicamente 1 % a 2 % ao ano – e em alguns anos foi mesmo negativa, por exemplo, -5,8 % em 1999. Assim, ao contrário do que acontece em muitos países da União Europeia e da OCDE, a intensidade energética (energia gasta por unidade de produto) da economia nacional, e o consumo de energia *per capita*, têm continuado a crescer. Associando a circunstância de que Portugal tem uma elevada dependência energética do exterior – da ordem de 85 % a 90 % – este é um sector em que a existência de impactos negativos associados a alterações do clima pode reflectir-se de forma grave nas contas externas e na segurança do abastecimento do país.

7.1.1 Sumário do SIAM I

O trabalho realizado no SIAM I iniciou-se com a identificação dos tipos de impactos potencialmente mais relevantes para Portugal, com base em estudos do mesmo tipo efectuados para outras regiões e especialmente no UNEP Handbook (Feenstra *et al.*, 1998). Utilizaram-se nessa ocasião os cenários climáticos futuros produzidos pelos modelos climáticos HadCM2 e HadRM2 (ver Capítulo 2). Apresenta-se de seguida um breve sumário dos resultados obtidos.

7.1.1.1 Oferta de Energia

Não foram encontrados impactos significativos nas centrais termoelectricas. A diminuição da eficiência termodinâmica foi estimada em apenas -0,1 %, portanto muito menor do que os ganhos de eficiência tecnológicos ainda esperados. Por

outro lado, a adaptação a alterações do nível do mar, para as centrais arrefecidas a água do mar, ou a um menor caudal dos rios Douro e Tejo, no caso das restantes, afigura-se possível e envolvendo custos pouco significativos. Com efeito estas centrais têm ciclos de vida bastante inferiores ao horizonte de 50-100 anos típico das alterações climáticas antropogénicas e, consequentemente, as medidas de adaptação podem ser incluídas no planeamento e renovação de centrais sem custos adicionais relevantes. Note-se porém que a maior frequência de situações de seca projectada pelos cenários climáticos futuros poderá causar problemas no arrefecimento das centrais localizadas nos rios Douro e Tejo no curto e médio prazos.

Também no caso da energia eólica as alterações do regime e intensidade de ventos projectadas pelos modelos climáticos não implicam uma alteração significativa da potência eólica captável – isto naturalmente com a resolução temporal e espacial disponíveis. Embora com base em dados apenas de vento, também se pode inferir que o potencial da energia das ondas e correntes não fica significativamente alterado nos cenários examinados.

Finalmente, os cenários climáticos também não indicam impactos negativos significativos no sector da energia relacionados com eventos extremos.

Em termos de impactos positivos, a utilização de certas energias renováveis poderá ser beneficiada. O aumento de disponibilidade de energia durante os meses estivais é modesto mas suficiente para ter um impacto significativo no desempenho dos sistemas solares fotovoltaicos e térmicos. O benefício é especialmente evidente nestes últimos, devido também ao facto de que as necessidades energéticas a atender diminuem. O aumento da temperatura ambiente potencia ainda um melhor desempenho dos sistemas de digestão anaeróbia (pré-tratamento de efluentes e produção de biogás). Finalmente, dado que nas bacias hidrográficas a norte (Douro, Cávado e Lima), os modelos climáticos indicam um aumento dos caudais durante o Inverno, o impacto no potencial hidroeléctrico nestas zonas – aliás de longe as mais importantes em termos nacionais – é também positivo. Todavia esta apreciação depende da medida em que os aproveitamentos hidroeléctricos possam não ser prejudicados pelas exigências de controlo de cheias, função que também cabe a estes sistemas.

Em termos de impactos negativos das alterações climáticas na oferta de energia as estimativas realizadas não se traduzem por resultados preocupantes. Relacionam-se com dois aspectos: a diminuição de potencial hidroeléctrico nos sistemas hidroeléctricos das bacias do Centro e Sul, e o aumento de perdas na transmissão de energia eléctrica.

No primeiro caso, a redução de caudais estimada para as bacias do Tejo e Guadiana implica uma diminuição da produção hidroeléctrica de sistemas tais como as barragens de Castelo do Bode e Alqueva. Esta redução de produção eléctrica não é proporcional à redução de caudais, mas sim amplificada porque os outros usos da água (abastecimento de populações, irrigação agrícola) são crescentes sob alterações climáticas e têm prioridade no despacho da água armazenada. No entanto, embora estas reduções de produção eléctrica possam ser localmente importantes, do ponto de vista nacional global este impacto não terá muita expressão, dado que, conforme foi já referido, a grande maioria da produção hidroeléctrica situa-se nas bacias a norte.

No segundo caso, sucede que o aumento da temperatura ambiente implica maiores perdas resistivas nos cabos de transporte e distribuição de energia eléctrica. Este impacto é incontornável e estimado em 1,5 % de perdas adicionais, portanto muito significativo. Contudo, ao ser perspectivado no horizonte de 50 a 100 anos, haverá que ter em conta as alterações socioeconómicas e tecnológicas que podem mitigar o problema, entre as quais se perspectiva o aumento da produção descentralizada, a emergência de vectores energéticos alternativos/complementares à electricidade, como o hidrogénio, e mesmo a transmissão da energia por microondas ou cabos supercondutores à temperatura ambiente.

7.1.1.2 Procura de Energia

Aumentos de temperatura da ordem de 3 °C a 4 °C têm reflexos evidentes na diminuição das necessidades energéticas para aquecimento ambiente e de águas domésticas e industriais, e no aumento das necessidades energéticas para arrefecimento ambiente, rega e abastecimento de água. No caso da climatização de edifícios e veículos, tendo presente que são em geral amenos os climas onde a maioria dos portugueses habita, surge uma questão importante: saber se a diminuição do consumo de energia resultante da redução das necessidades de aquecimento compensa ou não o aumento de consumo resultante de maiores necessidades de arrefecimento.

No SIAM I experimentou-se uma abordagem econométrica de relacionamento entre estatísticas históricas globais de consumo de energia e um índice de clima, aos níveis anual

e sazonal, que deveriam elucidar o acoplamento entre consumo de energia e clima no caso nacional. Contudo esta metodologia teve um sucesso reduzido.

Numa abordagem alternativa e melhor sucedida foi analisada com bastante profundidade a climatização de habitações (vivendas e apartamentos) e de edifícios de serviços (escritórios) usando uma simulação numérica detalhada do comportamento térmico para Portugal Continental. Os resultados indicaram uma forte redução da estação de aquecimento, quase desaparecendo no Sul, e um grande aumento da estação de arrefecimento. Quanto ao impacto global nas necessidades anuais de climatização, verificou-se que estas aumentariam, com eventual excepção de uma pequena zona a noroeste do território continental. Em termos percentuais, relativamente aos valores típicos correntes, a estimativa obtida para o crescimento destas necessidades energéticas foi de 69 % a norte, 100 % no centro e 29 % a sul, para residências; e cerca de 62 % a norte, 75 % no centro e 47 % a sul, para escritórios.

É pertinente realçar que estes resultados contrariam os que se obtêm para climas mais frios como os dos países do Centro e Norte da Europa, em que o impacto sobre as necessidades de climatização anuais vai antes no sentido da sua redução.

Os resultados citados foram obtidos considerando apenas alterações do clima. Contudo, quando se incluem também os diversos cenários socioeconómicos com implicações, nomeadamente, nas características térmicas das construções, nos equipamentos presentes e no comportamento dos utilizadores dos edifícios, estes números são ainda amplificados em mais 90 % a 140 %. Este é um resultado especialmente preocupante, pois sugere que as alterações dos regulamentos de construção que hoje em dia consideramos desejáveis – mais isolamento, orientação preferencial a sul, entre outros – sejam impotentes para reduzir o consumo energético dos edifícios, sob o clima projectado pelos cenários climáticos futuros. De facto, até é possível que tais medidas possam ser contraproducentes no longo prazo, ao promover a recolha de demasiada radiação solar, durante uma estação de arrefecimento bem mais longa que a actual, e dificultem as estratégias de arrefecimento passivo nocturno.

7.1.2 Objectivos do SIAM II

O programa de trabalhos para a avaliação de impactos e estudo de medidas de adaptação no sector energético incluiu basicamente: um refrescamento dos cenários socioeconómicos e tecnológicos do SIAM I; a reavaliação dos impactos estimados no SIAM I com cenários climáticos obtidos com a nova versão do modelo climático HadCM3

ver Capítulo 2); e a extensão dos estudos de impacto sobre a procura de energia às infra-estruturas e actividades relacionadas com o turismo e o lazer.

No SIAM II manteve-se essencialmente a mesma abordagem e metodologias usadas no SIAM I, embora usadas agora no contexto de cenários socioeconómicos e climáticos algo diferentes. A novidade mais relevante consiste na adição de temas anteriormente não abordados, nomeadamente a procura de energia para climatização em hotéis; o uso de ar condicionado em veículos; a procura de energia para aquecimento de piscinas (cobertas e exteriores); e a procura de energia para pré-aquecimento de águas industriais. Nestes dois últimos casos estimaram-se também as alterações de desempenho de sistemas solares associados a estes sistemas, já que se tornam cada vez mais interessantes para estas aplicações.

Nem todos os assuntos cobertos no SIAM I foram reexaminados em profundidade, devido a limitações nos recursos humanos e financeiros que foi possível assegurar para esta vertente do Projecto. Assim foram revistos de forma menos aprofundada os casos em que a análise do SIAM I mostrou que se tratava de impactos de pouca relevância ou cujas estimativas não se alteravam significativamente com os novos dados climáticos. São estes em particular os casos da oferta de energia em centrais termoeléctricas; oferta de energia em sistemas fotovoltaicos; digestão anaeróbia; transporte de electricidade e, ainda, os estudos econométricos de registos de clima e de consumo de energia a nível nacional. Por razões operacionais do progresso dos trabalhos, também não foi possível reapreciar a oferta de energia hidroeléctrica à luz de novos dados hidrológicos.

7.2 METODOLOGIA

No caso de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos, de piscinas, pré-aquecimento de águas industriais e das necessidades de energia para climatização em edifícios, a análise processou-se por simulação numérica detalhada dos sistemas em causa, usando o *software* especializado SolTerm (INETI) e ESP (Universidade de Strathclyde). Foi necessário definir sistemas representativos de cada caso recorrendo a dados estatísticos, resultados de inquéritos, e ao saber-fazer e experiência existente no INETI relativo a casos de pré-projecto, monitorização e acompanhamento de instalações específicas e a estudos para regulamentação de sistemas solares e edifícios. As simulações foram feitas para «anos meteorológicos representativos», séries anuais de valores horários de radiação solar e temperatura com características estatísticas – em particular médias mensais de longo prazo – muito próximas das correspondentes aos períodos de controlo e futuro dos

cenários climáticos usados. Para os restantes temas a análise foi também baseada no saber-fazer e experiência existente no INETI e acompanhada e revista por peritos especializados.

Dois aspectos importantes foram a geração de «anos meteorológicos representativos», utilizando os *softwares* P-CLIMA e CLIMED do INETI e a adaptação dos cenários socioeconómicos SRES às condições portuguesas. Este último trabalho beneficiou dos resultados obtidos no Projecto MISP (Aguilar, 2003) que progredia aproximadamente ao mesmo tempo que o SIAM II.

Para o estudo de caso específico da bacia do Sado, tratado no Capítulo 10, também o SIAM II obteve a colaboração do Projecto MISP no desenho e adaptação dos cenários àquela região para os diversos sectores socioeconómicos.

Os estudos de impacto executados nesta segunda fase do SIAM recorreram sobretudo aos dados do modelo HadCM3, e portanto há apenas que considerar três divisões geográficas: «Norte», «Centro» e «Sub», *grasso modo* delimitadas pelas latitudes 40 °N e 38,5 °N (ver Capítulo 2). Realça-se que no referente à procura de energia é a faixa litoral a que tem de longe mais interesse, sobretudo quando se consideram os cenários socioeconómicos de distribuição geográfica da densidade populacional. Consequentemente, escolheram-se para climas representativos os de algumas cidades situadas naquela faixa.

7.2.1 Metodologias Usadas no SIAM I (Actualização)

7.2.1.1 Anos Meteorológicos Representativos

A qualidade dos resultados obtidos com modelos numéricos de sistemas depende muito da qualidade dos dados de entrada, tanto meteorológicos como dos que dizem respeito aos próprios sistemas. Assim, só vale a pena usar modelos complexos e sofisticados para as estimativas de impactos, se for possível obter dados de qualidade adequada.

Ora, no caso dos dados meteorológicos em particular, a simulação detalhada do desempenho de edifícios e de sistemas solares só é possível se existirem séries horárias de temperatura e radiação solar em planos inclinados, que não são produzidos pelos modelos do Hadley Centre. Portanto, é necessário recorrer a métodos estatísticos e modelos paramétricos para obter dados adequados, a partir unicamente dos parâmetros realmente disponíveis, nomeadamente valores diários de temperatura e radiação solar no plano horizontal.

Outro problema muito relevante é a existência de viés nos dados dos cenários climáticos. Se o viés climático no período

de referência for demasiado grande, mas os dados dos cenários climáticos forem usados directamente na simulação dos sistemas, estes últimos podem encontrar-se a funcionar num «regime» muito diferente do real. Por exemplo, tomando o condicionamento de ar numa habitação do Norte, e supondo que a temperatura de Inverno no período de referência tem um viés de +10 °C em relação ao clima observado (algo exagerado mas útil para a clarificação do argumento), então teríamos uma habitação que não tinha necessidade de aquecimento, o que claramente não seria realista como referência para os estudos de impacto. Assim é extremamente importante usar dados originais com viés reduzido ou então aplicar um método para remover a maior parte do viés nos dados disponíveis. Acontece que os dados dos modelos HadCM3 e HadRM3 têm efectivamente um viés da temperatura e radiação solar tão considerável que desaconselha o seu uso directo em simulações para o caso específico do sector energético.

Finalmente, há que ter em conta que a simulação numérica detalhada de edifícios (Clarke *et al.*, 1993) e sistemas solares é um processo ainda algo moroso, que se torna muito pouco praticável se as simulações abrangerem, por exemplo, períodos climatológicos padrão de 30 anos.

Todas estas considerações conduzem, no contexto presente, a uma solução que é a de usar «anos meteorológicos representativos», também denominados «típicos» ou de «desenho». O clima de «referência» ou «de base» é caracterizado por meio de séries sintéticas formadas a partir da climatologia observada; o clima futuro é obtido a partir das séries meteorológicas sintéticas de referência, modificadas pela anomalia projectada pelos cenários climáticos, designadamente a variação absoluta (ou por vezes percentual) projectada para as médias climatológicas.

Os modelos estatísticos e estocásticos utilizados usam a média (e algumas vezes a variância) como variável «mestra» da qual dependem todas as outras (por exemplo, a distribuição de probabilidade, autocorrelações e correlações cruzadas entre parâmetros). Portanto está implícita nesta abordagem a hipótese de que este tipo de relações paramétricas não é alterado no clima futuro. Desde que as alterações climáticas a examinar não sejam abruptas, esta parece ser uma hipótese de trabalho aceitável. Em qualquer caso estima-se que a incerteza introduzida é menor do que a relativa a certas estatísticas sectoriais ou aos cenários socioeconómicos, pelo que não se agrava a incerteza global dos resultados.

Existem vários procedimentos para obter «anos meteorológicos representativos», mas o mais usual é concatenar doze séries mensais, uma para cada mês do ano, escolhidas segundo certos critérios de entre todo o conjunto de séries mensais disponível. Os critérios utilizados tentam assegurar

que, para cada mês, a série mensal específica de determinado ano, que é seleccionada, é aquela que apresenta estatísticas mais semelhantes às do clima que se pretende representar (de controlo ou do futuro). Ora, devido à dimensão do viés nos dados originais do cenário climático utilizado, não foi possível usar este procedimento.

Outra abordagem possível consistiria em usar séries de dados observados para a situação de base, aos quais seriam adicionadas as anomalias (absolutas ou relativas) para representar o clima futuro, um processo frequentemente usado em hidrologia. Tão-pouco esta alternativa é possível no caso presente pois não existem disponíveis suficientes séries observadas simultaneamente de temperatura e radiação solar horária, nem no período de registo nem com a gama de locais necessária para caracterizar a natureza e amplitude dos impactos em Portugal Continental.

Assim o procedimento usado recorre a métodos estatísticos e estocásticos baseados em séries auto-regressivas de primeira ordem (Aguiar 1998a, 1998b). Em primeiro lugar são geradas as séries de um índice relacionado com a irradiação solar global diária em plano horizontal e depois as séries de amplitude térmica e temperatura mínima, correlacionadas com as precedentes. Os valores diários são repartidos em valores horários usando modelos dos perfis médios diários adequados para os objectivos do presente estudo. Modelos da irradiação difusa celeste e reflectida do solo são usados para obter as componentes da irradiação solar e finalmente é aplicado um modelo para a irradiação solar em planos inclinados. A humidade relativa e a intensidade do vento são parâmetros de importância secundária, mas as séries correspondentes são também obtidas, embora com modelos menos complexos. Os processos de geração de séries diárias e horárias são iterados até que se obtenham médias mensais muito próximas dos valores climáticos para o período de interesse – climatologia de referência de «P-CLIMA» (Aguiar, 1998b), e variâncias próximas das previstas por modelos paramétricos (Aguiar 1998a). Uma descrição mais pormenorizada destes procedimentos e o exame da sua adequação pode encontrar-se em Aguiar e Oliveira (2002).

7.2.1.2 Cenários Socioeconómicos SRES

Os quatro cenários SRES A1FI, A2, B1 e B2 (ver Capítulo II) implicam condições futuras do sistema energético muito distintas da actual. Os estudos realizados no âmbito do Terceiro Relatório do IPCC (IPCC, 2001) permitem realizar uma aplicação desses cenários ao caso português. A aplicação foi realizada por meio de um modelo integrado de longo prazo do sector energético e das emissões de gases com efeito de estufa em Portugal, construídos no âmbito do Projecto

MISP (Aguilar, 2003). Relativamente a cada um dos temas abordados de seguida serão referidos os cenários utilizados.

7.2.1.3 Aquecimento de Águas Sanitárias

Tal como no SIAM I também foram examinados sistemas solares térmicos para aquecimento de águas sanitárias, contudo, no presente estudo, utilizou-se o *software* do INETI SolTerm 4.5 (Aguilar e Carvalho, 2003), desenvolvido no INETI para a Iniciativa Pública «Água Quente Solar para Portugal» (AQSSP) do Programa E4 do Ministério da Economia. Este *software* é bastante mais sofisticado que o usado no estudo precedente pois faz uma simulação com um passo de tempo de 5 minutos e inclui vários detalhes tais como a representação da estratificação no depósito. A configuração usada é a que está discriminada na Tabela 7.1, e embora respeite ao caso das águas domésticas pode ser considerada representativa do universo das águas sanitárias em geral. O critério de dimensionamento do sistema foi o de satisfação plena do consumo em, pelo menos, um dos meses de Verão.

orientada segundo os pontos cardiais - fachadas mais longas voltadas a Sul e Norte - com janelas em todas as fachadas.

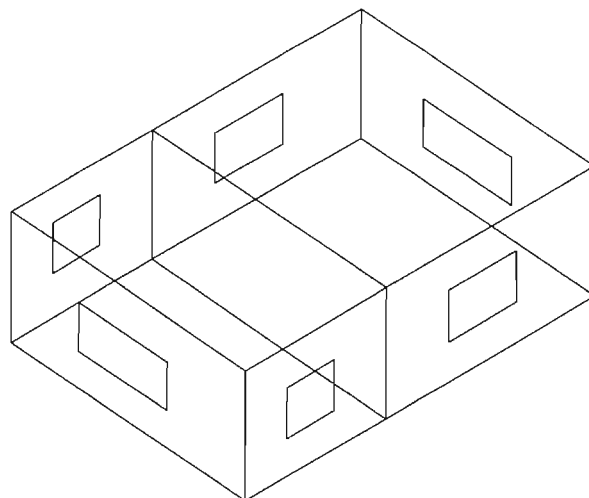


Figura 7.1 Diagrama das habitações simuladas

7.2.1.4 Climatização de Edifícios: Residências

A metodologia geral e o modelo de edifício utilizados para obter as estimativas de desempenho relativas às habitações são muito semelhantes às que se seguiram no SIAM I. Na Figura 7.1 apresenta-se um esquema da habitação tomada como representativa. Possui duas zonas, uma com um terço da área de pavimento e que corresponde à zona social (essencialmente cozinha e salas de estar e/ou de refeições), e outra zona que corresponde às divisões menos frequentadas durante o dia (quartos, corredores e casas de banho). A habitação está

São considerados os casos de habitações isoladas (vivendas) e integradas em edifícios de vários pisos (apartamentos). Efetivamente qualquer destes dois tipos é relevante em termos estatísticos. Embora a sua distribuição geográfica seja desigual - mais vivendas que apartamentos, excepto em certas zonas urbanas mais densas, nomeadamente na Área Metropolitana de Lisboa - o seu desempenho térmico é suficientemente distinto para merecer atenção separada. Os resultados das simulações que apresentamos são valores pesados de acordo com as estatísticas de número, tipo e distribuição geográfica das habitações (INE, 1999).

Tabela 7.1 – Configuração do sistema solar térmico de aquecimento de águas domésticas

Colector			
Tipo: plano	Azimute: sul	Inclinação: latitude do lugar + 5°	
$F \eta_p$: 0,70	$F_R \eta_m$: 0,67	$F'U$: 7,0 W/m ² .°C	$F_R U$: 6,7 W/m ² .°C
Permutador			
Tipo: de serpentina	Eficiência: 55%		
Depósito			
Volume: 304 l	Coeficiente de Perdas: 3,07 W/°C		
Consumo			
Temperatura nominal: 45 °C			
Perfil de consumo idêntico em todos os dias, 100 l na 6. ^a e 18. ^a hora solar, 50 l na 13. ^a e 19. ^a hora solar			
Com válvula misturadora para temperar água do depósito			
Entrada de água à temperatura da rede			

Tabela 7.2 – Características da envolvente, equipamento e operação das habitações simuladas

	BASE	Cenário A1	Cenário A2	Cenário B1	Cenário B2
Área de pavimento	83 m ²	115 m ²	100 m ²	110 m ²	100 m ²
Operação					
Permanência	3 pessoas 18:00-9:00	3 pessoas 19:00-9:00	3 pessoas 18:00-9:00	3 pessoas 18:00-9:00	4 pessoas 17:00-9:00
Banda de conforto térmico	18 - 25,5 °C	20 - 23 °C: serão 16 - 27 °C: noite	19 - 24 °C	18 - 25 °C	18 - 25 °C
Zonas condicionadas	zona social	toda a casa	toda a casa	zona social	zona social
Condicionamento activo	Norte: 6 h Outras: 4,5 h	14 horas	6 horas	6 horas	5 horas
Iluminação	180 W 18:00-24:00	180 W 19:00-24:00	180 W 18:00-24:00	120 W 18:00-24:00	120 W 17:00-24:00
Outros aparelhos eléctricos	150 W 24 horas	150 W 24 horas	150 W 24 horas	150 W 24 horas	150 W 24 horas
Envelope					
Paredes exteriores	K_{REF} ¹	40% K_{REF}	40% K_{REF}	60% K_{REF}	60% K_{REF}
Vãos envidraçados	vidro simples	vidro simples	vidro simples	vidro duplo	vidro duplo
Infiltração de ar exterior	1 rph ²	0,8 rph	0,8 rph	0,8 rph	0,8 rph

¹ K_{REF} = Coeficiente de transmissão térmica de referência para a zona climática pertinente (RCCTE, 1990)

² rph = Renovações de ar por hora

As características da envolvente, equipamento e operação das habitações estão especificadas na Tabela 7.2. No caso de apartamentos a simulação corresponde a um piso do edifício, pelo que as zonas do modelo estão em contacto no topo e na base com zonas similares. Os locais simulados são: Porto (Norte), Setúbal (Centro) e Faro (Sul). É importante realçar que neste caso do sector residencial os vários cenários socioeconómicos

apresentam diferenças significativas, algumas das quais são indicadas na Figura 7.2. Estes cenários foram reavaliados e ajustados para esta segunda fase do Projecto SIAM.

7.2.1.5 Climatização de Edifícios: Escritórios

A abordagem utilizada para obter as estimativas de desempenho dos edifícios de escritórios foi semelhante à utilizada no SIAM I. Na Figura 7.3 apresenta-se um esquema do piso de escritórios que se escolheu como sendo representativo. É do tipo *open space*, com uma zona central e quatro corredores laterais. O edifício está orientado segundo os pontos cardeais – fachadas mais longas voltadas a Sul e Norte – com janelas em todas as fachadas.

As características da envolvente, equipamento e operação do edifício estão especificadas na Tabela 7.3. A simulação corresponde a um piso do edifício, pelo que as zonas do modelo estão em contacto no topo e na base com zonas similares. Os locais simulados são os de Porto (Norte) e Setúbal (Centro). No caso do sector de serviços, o efeito dos cenários socioeconómicos foi considerado neutro: admite-se que existirá mais equipamento eléctrico, mas que o acréscimo seria compensado pela maior eficiência do equipamento e que os padrões de conforto actuais são já suficientemente elevados.

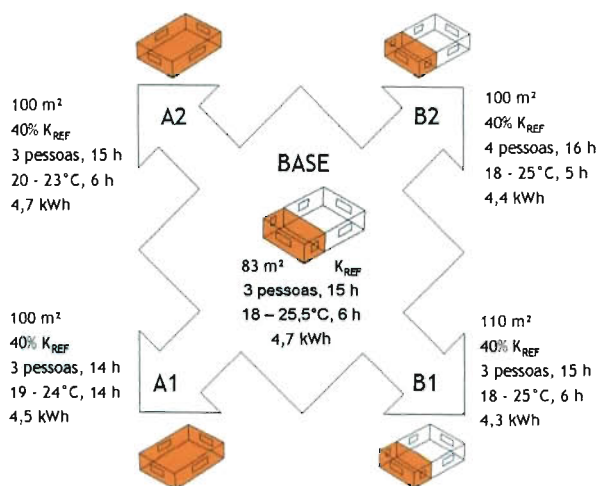


Figura 7.2 – Aspectos mais importantes da cenarização socioeconómica no sector residencial (ver Tabela 7.2).

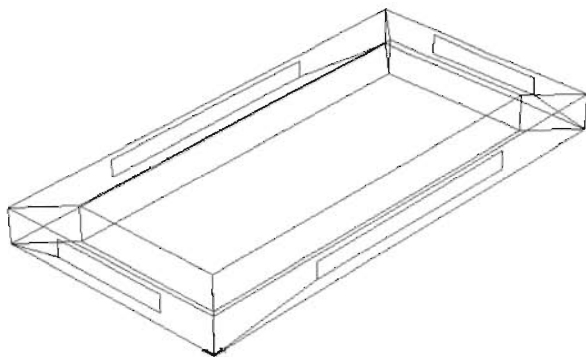


Figura 7.3 – Diagrama do piso de escritórios simulado

Tabela 7.3 – Características da envolvente, equipamento e operação do piso de escritórios simulado

Geometria	
Área de pavimento	800 m ²
Janelas	11 % da área de pavimento; vidro com coloração bronze
Operação	
Permanência	8:00 -18:00 100 % 10 m ² /pessoa 18:00 - 20:00 30 % 10 m ² /pessoa
Banda de conforto térmico	20 – 25 °C
Condicionamento activo	7:00 – 20:00
Iluminação	8:00 -18:00 100 % 20 W/m ² 18:00 - 20:00 30 % 20 W/m ²
Outros aparelhos eléctricos	8:00 -18:00 100 % 5 W/m ² 18:00 - 20:00 30 % 5 W/m ²
Envelope	
Paredes exteriores	K _{RLI}
Ventilação	0,75 rph (30 m ³ /pessoa/hora)

7.2.2 Novas Metodologias

7.2.2.1 Progresso Tecnológico nos Equipamentos de AVAC

Já hoje em dia, ao examinar as tecnologias de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) presentes no mercado e as que estão em desenvolvimento, se pode constatar que há vastas perspectivas de progressos. Este ponto é importante porque a eficiência destes sistemas é utilizada para obter as estimativas dos consumos de energia a partir das estimativas das necessidades de aquecimento e arrefecimento. No SIAM I foram usados valores únicos para os coeficientes de desempe-

nho de equipamentos de condicionamento de ar (COP – *Coefficient of Performance*) em todos os cenários futuros. No presente estudo considerou-se a existência de melhor tecnologia nos cenários A1 e B1 (ver Tabela 7.4) do que nos cenários A2 e B2. O efeito geral desta alteração é o de reduzir as diferenças entre cenários, em especial entre os cenários A1, A2 e B2.

Tabela 7.4 – Coeficientes de desempenho de equipamentos de condicionamento de ar

	BASE	Cenário A1	Cenário A2	Cenário B1	Cenário B2
COP para aquecimento	2,0	2,5	2,3	2,5	2,3
COP para arrefecimento	1,4	1,9	1,7	1,9	1,7

7.2.2.2 Pré-Aquecimento de Águas Industriais

Nesta segunda fase do Projecto SIAM examinaram-se também as necessidades de aquecimento de águas industriais que representam cerca de 7 % das necessidades de energia na indústria. Considerou-se em especial o pré-aquecimento de águas industriais e o desempenho de sistemas solares térmicos associados. Utilizou-se o *software* SolTerm 4.5 já mencionado. Os elementos do processo e a configuração do sistema solar considerado estão discriminados na Tabela 7.5. Não se considerou a presença de um permutador no sistema solar. O critério de dimensionamento do sistema foi o de optimização do rendimento específico em termos de área (kWh fornecido/m² de colectar).

7.2.2.3 Aquecimento de Piscinas

No SIAM II também se examinaram as necessidades de aquecimento de piscinas, tanto cobertas como exteriores, e ainda o desempenho de sistemas solares térmicos que lhe podem estar associados. Foi utilizado o *software* SolTerm 4.5 já mencionado. As configurações usadas estão discriminadas nas Tabelas 7.6 e 7.7. O critério de dimensionamento do sistema solar associado foi de satisfação plena de necessidades num dos meses do ano, para piscinas cobertas, e em três meses de Verão, para piscinas exteriores.

7.2.2.4 Climatização de Edifícios de Hotelaria

Os hotéis são um dos tipos de edifício com consumo específico de energia mais importante no universo dos edifícios de

Tabela 7.5 – Configuração do sistema solar térmico de pré-aquecimento de águas industriais

Consumo			
Temperatura nominal: 60 °C		Temperatura máxima: 95 °C	
Tempo de operação diário: 24 horas		Paragens do processo aos sábados e domingos	
Caudal de processo: 0,5 litro/s		Entrada de água à temperatura da rede	
Colector			
Tipo: CPC	Azimute: sul	Alinhamento: EW	Inclinação: latitude do lugar + 5°
Ângulo de aceitação: 56°		Ângulo de truncatura: 76°	Concentração: 1,12
$F' \eta_0$: 0,70	$F_R \eta_0$: 0,52	$F'U$: 8,0 W/m².°C	$F_R U$: 5,9 W/m².°C

Tabela 7.6 – Configuração do sistema solar térmico de aquecimento de piscinas

Colector			
Tipo: plano	Azimute: sul	Inclinação: latitude do lugar - 5°	
$F' \eta_0$: 0,70	$F_R \eta_0$: 0,67	$F'U$: 8,0 W/m².°C	$F_R U$: 7,6 W/m².°C
Sem permutador, entrada de água à temperatura da rede			

Tabela 7.7 – Configuração das piscinas examinadas

Características geométricas	
Área: 100 m²	Volume: 200 m³
Operação	
Temperatura da água: 26 °C	
Renovação mínima de água: 5 % do volume da piscina	
Nadadores entre as 9:00 e as 20:00 (horas solares)	
No caso de piscinas cobertas: temperatura na nave = 26°C, humidade relativa na nave = 70 %	
Cobertura com transmissividade 40 % colocada quando fora de operação	

serviços, apresentando valores tipicamente de 220 kWh/m² e 12 kWh/dormida para hotéis de 4 estrelas e 290 kWh/m² e 89 kWh/dormida para hotéis de 5 estrelas (Gonçalves, 1999), embora com uma variação muito significativa em função do estabelecimento específico.

Em termos absolutos estes edifícios são também importantes consumidores de energia: em hotéis de 4 estrelas, 500 a 7500 MWh/ano, com predominância para o intervalo de 1000 a 3000 MWh; e em hotéis de 5 estrelas, 3000 a 11 000 MWh/ano, com predominância para o intervalo de 3000 a 6000 MWh/ano.

Além disso a porção do consumo dedicado a climatização com equipamentos AVAC é nestes edifícios muito importante – cerca de 31% em hotéis de 4 estrelas e 33% em hotéis de 5 estrelas (ver Figura 7.4) – pois que, naturalmente, os

hotéis têm necessidade de proporcionar altos padrões de conforto aos seus clientes.

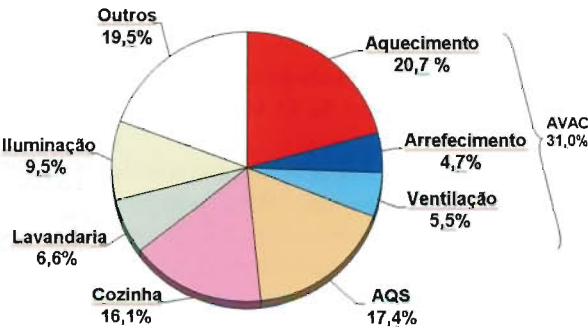


Figura 7.4 – Repartição do consumo de energia em hotéis de 4 estrelas por utilização final

Todos os cenários indicam uma actividade hoteleira crescente, ligada a uma manutenção ou aumento da importância económica e social do turismo. Também é relevante indicar que a grande maioria dos hotéis se situa actualmente – e provavelmente também no futuro – ao longo da faixa litoral, fazendo parte dos factores de pressão que importa ter presente nos estudos de impactos das alterações climáticas em outros sectores, tais como zonas costeiras, recursos hídricos e biodiversidade. Por todas estas razões o estudo deste tipo de edifício de serviços foi seleccionado como um dos temas novos prioritários relativamente à fase anterior do Projecto SIAM.

O modelo que se construiu pretende representar um piso de hotel de 4 estrelas típico. Foi formulado principalmente com base em estudos sobre as condições de utilização de energia e de segurança em hotéis (Gonçalves, 1999), encomendados pela Direcção-Geral de Geologia e Energia ao INETI e a outras entidades. Consiste numa zona social e num conjunto de 12 quartos com fachadas exteriores orientadas segundo os quatro pontos cardiais e separados por um corredor interno, tal como representado na Figura 7.5. Todos os quartos possuem a mesma área de pavimento, 24 m², e de vãos envidraçados, 2 m². A área social (*lobby* do hotel, salas de refeição, salas de estar, salas de conferências) ocupa 100 m² e possui vãos envidraçados nas quatro orientações, num total de 12 m². A área total simulada por piso corresponde pois a 136 m², dos quais 288 m² em quartos, 100 m² em zona social, e 18 m² em corredores.

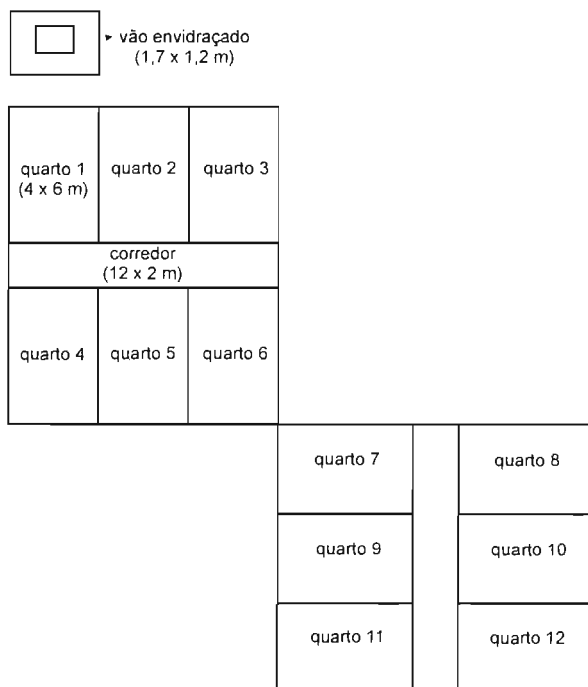


Figura 7.5 Diagrama do hotel simulado

Como se pode apreciar na Figura 7.6, a maioria dos hotéis situa-se na zona climática regulamentar (RCC/TE, 1990) dita II-V2, que abrange a zona de Lisboa, a Costa Vicentina e o Algarve. A seguir, por ordem de importância no Continente, figuram as zonas de Braga e Coimbra (I2-V1, e do Estoril e Sesimbra (II-V1).

Tendo em conta os recursos disponíveis e a compatibilidade com outros trabalhos, seleccionaram-se para locais de estudo Faro e Setúbal, ambos representativos da zona II-V2 que, conforme já referido, tem maior densidade de unidades hoteleiras. Esta escolha também resulta da vantagem em assegurar simultaneamente uma contribuição para o estudo de caso sobre os impactos das alterações climáticas na região da bacia hidrográfica do rio Sado. As características de construção e operação do hotel simulado figuram na Tabela 7.8.

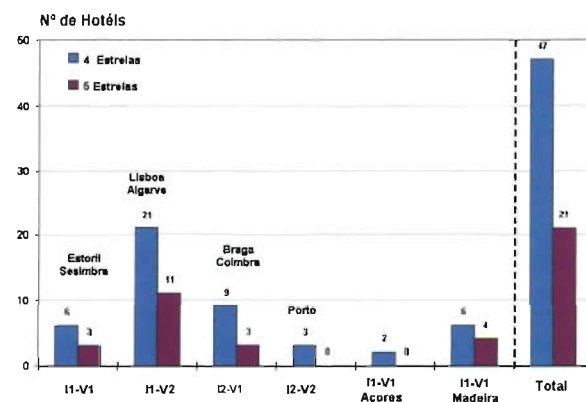


Figura 7.6 Localização dos hotéis de 4 e 5 estrelas por região climática

7.2.2.5 Climatização de Veículos Terrestres

Foi já referido nos resultados da primeira fase do Projecto SIAM (Aguar, 2002) que as alterações climáticas, para além do impacto no consumo de energia para climatização em edifícios, afectam também o consumo de energia para a climatização em veículos, especialmente para transportes terrestres. Nesta segunda fase do SIAM fez-se uma primeira estimativa de impactos, através da aplicação de uma variante do método de «graus-dia», muito utilizado em estudos simplificados de climatização de edifícios e de desenvolvimento de culturas, entre outros.

A ideia base da abordagem seguida é admitir que o ar condicionado (A/C) é ligado quando a temperatura exterior a um veículo ultrapassar um determinado limiar de desconforto. É evidente que a radiação solar e a humidade relativa são

Tabela 7.8 – Características de construção e operação do hotel simulado

Ganhos internos	Quartos	Corredores	Total
Ocupação	2 pessoas 10 horas por dia (22:00-8:00)		
Iluminação	10 W/m ² 3 horas/dia (22:00-24:00 e 7:00-8:00)	1 W/m ² 24 horas/dia	10,6 kWh/m ² .ano
Equipamento	–	–	–
AVAC	Quartos	Corredores	Taxa de ocupação
Verão	T _{conforto} = 22 °C 10 horas/dia (22:00-8:00)	T _{conforto} = 22 °C 24 horas/dia	75%
Inverno	T _{conforto} = 20 °C 10 horas/dia (22:00-8:00)	T _{conforto} = 20 °C 24 horas/dia	50%
Ventilação	0,8 renovações de ar por hora em todas as zonas		
Envolvente	Tipo	Fronteira	
Vãos envidraçados	duplo	exterior	
Sombreamento dos vãos	sem		
Paredes exteriores	alvenaria dupla de tijolo de 11+11 cm com 4 cm de isolamento entre panos	exterior	
Paredes interiores	alvenaria tijolo de 11 cm	interior/similar	
Cobertura/Pavimento	laje aligeirada	similar	

Tabela 7.9 – Cenários de mobilidade e tecnologia para avaliação de impactos em climatização de transportes terrestres

	Carros	Autocarros	Comboios	
Distância percorrida	BASE	42 218	588	91
	A1	120 601	559	72
	A2	103 937	768	118
	B1	84 967	1011	172
	B2	55 056	936	166
				M km
Consumo específico	BASE	3,3	11,6	39,5
	A1	1,4	9,5	33,0
	A2	1,6	10,2	34,5
	B1	1,4	9,5	33,0
	B2	1,6	10,2	34,5
				GJ / 1000 km
Fracção de veículos equipada com A/C	BASE	40 %	40 %	40 %
	A1	90 %	90 %	90 %
	A2	70 %	70 %	70 %
	B1	80 %	80 %	80 %
	B2	70 %	70 %	70 %
Consumo adicional com A/C em percentagem do consumo sem AC	7 %	5 %	2 %	
Temperatura exterior considerada como indicador do limiar de desconforto	25 °C	25 °C	25 °C	

outros factores importantes no comportamento dos utilizadores dos veículos, mas em primeira aproximação entende-se que o seu efeito pode ser acomodado na especificação do limiar de desconforto. Por outro lado, sabe-se que o A/C é muitas vezes ligado apenas para controlo de humidade (por exemplo para desembaciamento de vidros), mesmo durante o Inverno, mas esse fenómeno será aqui ignorado.

As estimativas de consumo adicional devido a A/C são feitas tomando o consumo adicional específico devido a A/C, a fracção de veículos equipada com A/C e a mobilidade (distância percorrida), para cada tipo de veículos – viaturas particulares e transportes colectivos, nomeadamente autocarros e comboios (ver Tabela 7.9). Os dados necessários foram obtidos a partir dos modelos desenvolvidos no Projecto MISP (Aguiar, 2003) para a situação actual (BASE) e para cada um dos cenários SRES. Note-se o grande aumento da mobilidade e da posse de A/C mas também da eficiência no consumo específico dos sistemas A/C instalados nos veículos.

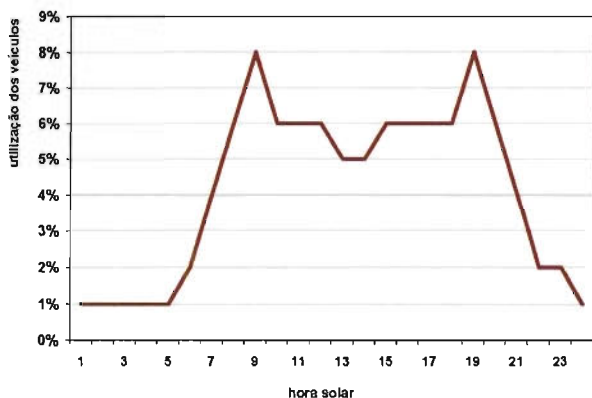


Figura 7.7 Perfil de utilização para avaliação de impactos em climatização de transportes terrestres

Após especificar um perfil de utilização diário para os diversos veículos (ver Figura 7.7) calculam-se os valores do consumo adicional com A/C sempre que o critério de desconforto térmico é ultrapassado. Esta determinação é realizada para cada mês analisando os perfis médios mensais da temperatura dos cenários climáticos futuros e tendo em atenção o limiar de desconforto. Este procedimento não é especializado em relação aos veículos, isto é, não considera diferenças regionais no que respecta, por exemplo, à mobilidade e à posse de veículos particulares. Contudo, é possível incluir um certo grau de especialização pois os perfis médios mensais de temperatura projectados pelos cenários climáticos futuros do modelo HadCM3 (ver Capítulo 2) variam para as zonas Norte, Centro e Sul.

7.3 IMPACTOS

7.3.1 Região Norte

Para este estudo, a região Norte é *grasso modo* delimitada pelas latitudes 42 °N e 40 °N, de acordo com a célula do modelo HadCM3 mais próxima da zona. O clima base usado neste caso foi o da cidade do Porto, considerado representativo do clima da faixa litoral da região Norte.

7.3.1.1 Aquecimento de Águas

As necessidades de energia para aquecimento de águas diminuem significativamente na região Norte: tipicamente entre -6 % e -20 %, conforme os cenários e as aplicações (ver Tabelas 7.10 a 7.13). Este resultado decorre essencialmente de que a água a aquecer terá uma temperatura inicial alguns graus mais elevada do que actualmente, enquanto as temperaturas-alvo finais mantêm-se essencialmente as mesmas que hoje em dia: cerca de 24 °C a 27 °C para piscinas, 40 °C a 50 °C para águas sanitárias e 85 °C a 95 °C para pré-aquecimento de águas industriais.

As estimativas de impacto no cenário B1 são de -9 % para águas sanitárias; de -6 % para pré-aquecimento de águas industriais; de -11 % para aquecimento de piscinas cobertas; e de -17 % para aquecimento de piscinas exteriores. No cenário A1 as estimativas são ainda mais favoráveis em termos de poupança de energia, cerca do dobro das do cenário B1; em particular não é sequer necessário, durante o Verão, aquecer as piscinas exteriores. No entanto recorde-se que neste cenário a procura de energia em termos absolutos é muito maior do que no cenário B1.

7.3.1.2 Sistemas Solares Térmicos

Em parte devido à redução da carga térmica necessária para satisfazer os requisitos de consumo, já discutida no ponto anterior, mas também devido a um pequeno incremento na disponibilidade de energia solar à superfície, os sistemas de aquecimento por energia solar aumentam a sua atractividade em relação aos sistemas baseados apenas na combustão ou na electricidade. De facto, mantendo os critérios de optimização do dimensionamento actuais, o desempenho específico dos sistemas aumenta e há reduções da área de colectador solar necessária que variam entre -10 % a -57 % (ver as Tabelas 7.10 a 7.12), e mais ainda para piscinas exteriores (Tabela 7.13). As reduções são maiores nos cenários A1 e A2 e também para as aplicações com temperatura-alvo mais baixa. Isto reflecte-se naturalmente na redução de

Tabela 7.10 – Impactos no desempenho e dimensionamento de sistemas solares de aquecimento de águas sanitárias para a região Norte

Cenário	Carga kWh	Área m²	Desempenho kWh/m²	Variação		
				da carga	da área	do desempenho
BASE	3994	8,8	342			
B1	3651	6,4	426	-9 %	-27 %	25 %
B2	3623	7,1	382	-9 %	-19 %	12 %
A2	3482	6,4	411	-13 %	-27 %	20 %
A1	3296	5,6	443	-17 %	-36 %	30 %

Tabela 7.11 – Impactos nas necessidades de pré-aquecimento de águas industriais e no dimensionamento de sistemas solares associados para a região Norte

Cenário	Carga kWh	Área m²	Desempenho kWh/m²	Fracção solar anual	Variação		
					da carga	da área	do desempenho
BASE	607	165	592	16,3 %			
B1	572	147	646	16,9 %	-6 %	-11 %	9 %
B2	569	148	639	17,0 %	-6 %	-10 %	8 %
A2	555	140	663	17,1 %	-9 %	-15 %	12 %
A1	536	131	691	17,4 %	-12 %	-21 %	17 %

Tabela 7.12 – Impactos nas necessidades de aquecimento de piscinas cobertas e no dimensionamento de sistemas solares associados: região Norte

Cenário	Carga kWh	Área m²	Desempenho kWh/m²	Fracção solar anual	Variação		
					da carga	da área	do desempenho
BASE	136 754	93	792	54 %			
B1	121 270	60	941	47 %	-11 %	-35 %	+19 %
B2	120 067	60	937	47 %	-12 %	-35 %	+18 %
A2	114 273	49	995	43 %	-16 %	-47 %	+26 %
A1	106 625	40	1084	41 %	-22 %	-57 %	+37 %

Tabela 7.13 – Impactos nas necessidades de aquecimento de piscinas exteriores e no dimensionamento de sistemas solares associados: região Norte

Cenário	Carga kWh	Área m²	Desempenho kWh/m²	Variação		
				da carga	da área	do desempenho
BASE	91 267	101	521			
B1	48 351	25	471	-47 %	-75 %	-10 %
B2	43 961	13	476	-52 %	-87 %	-9 %
A2	0	n.a. ¹	n.a.	-100 %	n.a.	n.a.
A1	0	n.a.	n.a.	-100 %	n.a.	n.a.

¹ n.a. = não aplicável

custos dos sistemas solares térmicos em relação à situação actual.

7.3.1.3 Climatização de Residências

Nos estudos de impacto para o subsector residencial a questão do contexto socioeconómico é muito importante, pelo que será apresentada em primeiro lugar. Em todos os cenários a busca de conforto é maior, contudo o consumo de energia depende de factores sociais tais como: tempo passado na habitação, dimensão das famílias e das próprias habitações, intervalos térmicos de conforto. Depende também de outro tipo de factores, tais como, os regulamentos de construção vigentes e a tecnologia de AVAC disponível. Assim, conforme se indica na Figura 7.8 e na Tabela 7.14, em relação ao presente (identificado como «Base» nas figuras), a procura de energia para arrefecimento sobe em todos os cenários, mas a energia para aquecimento apenas sobe nos cenários A1 e A2. Em termos anuais o balanço final da procura de energia também depende do cenário considerado. A procura total de energia AVAC sobe em A1 (cerca de 250 %), A2 (cerca de 100 %) e em B2 embora por uma percentagem menor (cerca de 30 %). No cenário B1 há uma redução de cerca de 10 % resultante de um conjunto feliz de boas regulamentações, modificação de comportamentos e melhor tecnologia (ver Figura 7.10).

Quando se inclui o efeito do clima futuro a procura de energia para aquecimento reduz-se muito (ver Tabela 7.14 e Figura 7.9) e quase desaparece no cenário B2. Contudo, a procura de energia para arrefecimento aumenta muito nesta região, mais do que compensando as reduções estimadas para o aqueci-

Tabela 7.14 – Estimativas de consumo de energia para climatização em habitações do Norte do país (kWh / ano)

Clima	Cenário SE*			Total	Δ
Actual	Base	247	56	303	
Actual	A1	1711	285	2028	252 %
Actual	A2	834	228	1062	100 %
Actual	B1	158	84	241	-29 %
Actual	B2	73	271	344	-13 %
Actual	Base	247	56		
A1	A1	637	1751	2388	309 %
A2	A2	402	1087	1489	167 %
B1	B1	63	283	347	-13 %
B2	B2	18	590	608	28 %

* Cenários Socioeconómicos

mento. Assim em termos anuais, a procura total de energia AVAC, considerando simultaneamente os cenários climáticos e socioeconómicos, sobe sempre (ver Figura 7.10) – entre cerca de 70 % no cenário B1 até quase 10 vezes no cenário A1.

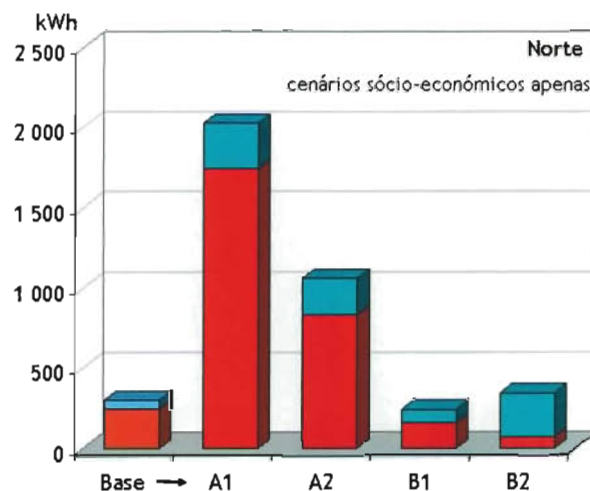


Fig. 7.8 Efeito dos cenários socioeconómicos no consumo de energia para climatização em habitações do Norte do país (aquecimento em laranja e arrefecimento em tons de azul)

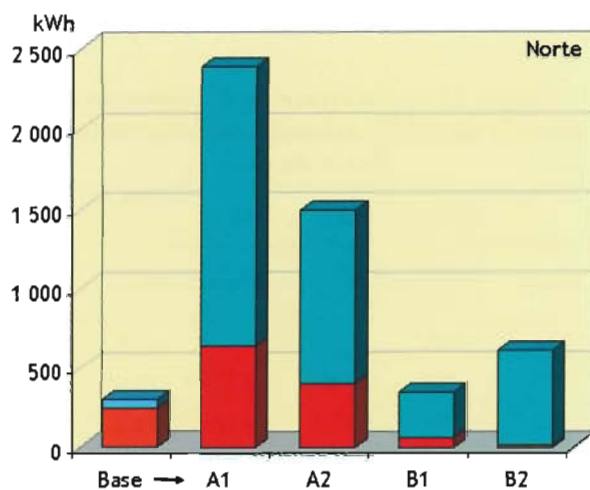


Figura 7.9 Impacto das alterações climáticas no consumo de energia para climatização em habitações do Norte do país (aquecimento representado em laranja e vermelho e arrefecimento em tons de azul)

7.3.1.4 Climatização de Edifícios de Serviços

Para a região Norte foram reanalisadas, com os novos dados do cenário climático do modelo HadCM3, as estimativas de impacto na climatização de um piso de escritórios, represen-

tativo neste caso dos edifícios de serviços. Os resultados estão descritos na Tabela 7.15 e na Figura 7.11, e conforme foi anteriormente referido, são indiferentes aos cenários socio-económicos. Note-se a grande redução dos consumos para aquecimento, o que no entanto é mais do que compensado pelo aumento dos consumos para arrefecimento.

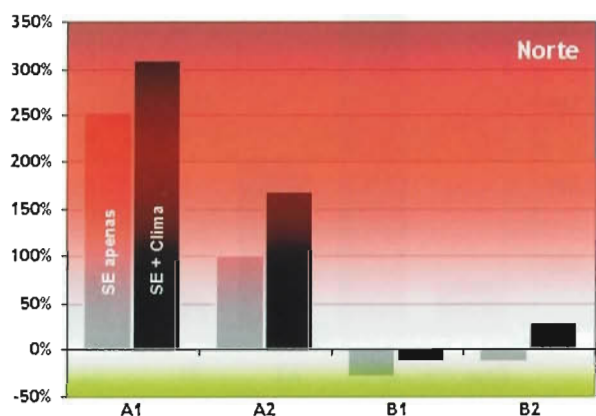


Figura 7.10 – Variações relativas do consumo de energia para climatização em habitações do Norte do país, (apenas com os cenários socioeconómicos representados a cinzento e combinação dos cenários climáticos futuros representados a negro)

Tabela 7.15 – Estimativas de consumo de energia para climatização em escritórios no Norte do país

	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/m ²)	
Clima	Aquecimento	Arrefecimento	Total	Total	Δ
Base	1233	17 679	18 912	23,6	
A1	210	28 302	28 512	35,6	51 %
A2	376	27 751	28 126	35,2	19 %
B1	506	21 042	21 548	26,9	14 %
B2	488	23 688	24 176	30,2	28 %

Em termos quantitativos obtém-se um aumento do consumo específico de cerca de 24 kWh/m²/ano, no caso de referência, para cerca de 27 kWh/m²/ano no cenário B1, cerca de 30 kWh/m²/ano no cenário B2 e cerca de 35 kWh/m²/ano nos restantes casos. Expresso em aumentos relativos, aqui mais confiáveis do que as estimativas em valor absoluto, tem-se um impacto ligeiro de +14 % em B1, mas cerca do dobro em B2 e quase o triplo em A1 e A2 (ver Figura 7.12).

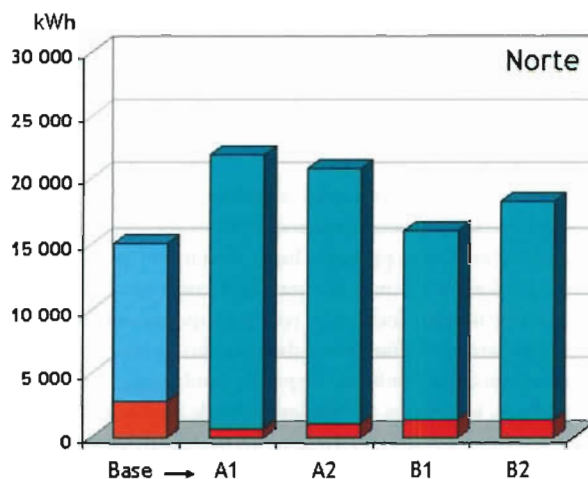


Figura 7.11 – Impacto das alterações climáticas no consumo de energia para climatização em escritórios no Norte do país (aquecimento representado em laranja e arrefecimento em tons de azul)

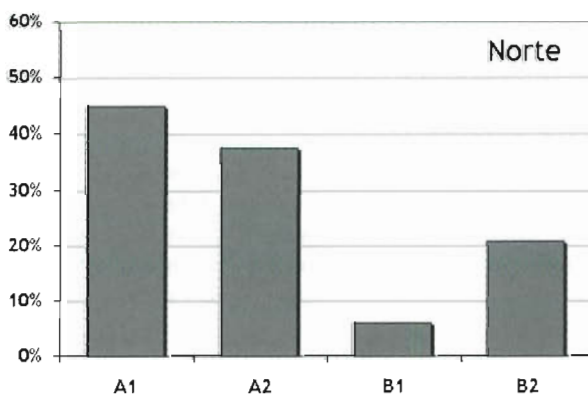


Figura 7.12 – Variações relativas do consumo de energia para climatização em escritórios no Norte do país.

7.3.1.5 Climatização de Veículos

As conclusões dos estudos sobre o uso de A/C em veículos terrestres indicam um enorme aumento das necessidades de arrefecimento, conforme descrito na Tabela 7.16. Enquanto se estima em cerca de 250 horas de viagem o período em que actualmente seria mais confortável para os ocupantes usar o A/C, no futuro esse período varia entre cerca de 1500 horas no cenário B2 e cerca de 2600 horas no cenário A1 (ver Figura 7.13).

A energia gasta não é contudo proporcional a este incremento nas necessidades, pois há que ter em conta os cenários socioeconómicos futuros. Daí resulta uma ampliação

das diferenças entre cenários, para a qual contribuem vários factores, essencialmente a maior mobilidade nos cenários A1 e B1 e a maior posse do automóvel nos cenários A1 e A2. Contudo, em termos percentuais referidos ao consumo no subsector em cada época, a conclusão é que para todos os cenários a energia adicional gasta com A/C passa dos cerca de 1 % actuais para cerca de 7 % no futuro. Note-se que cerca de metade deste incremento resulta da maior percentagem de veículos equipados com A/C no futuro.

Tabela 7.16 – Impactos nas necessidades e no consumo de ar condicionado em veículos terrestres: região Norte

	potencial de utilização (horas/ano)	consumo adicional devido a A/C	
		relativo ao consumo actual	relativo ao consumo futuro
BASE	249	1 %	
A1	2569	28 %	7 %
A2	2050	18 %	6 %
B1	1625	12 %	7 %
B2	1501	7 %	7 %

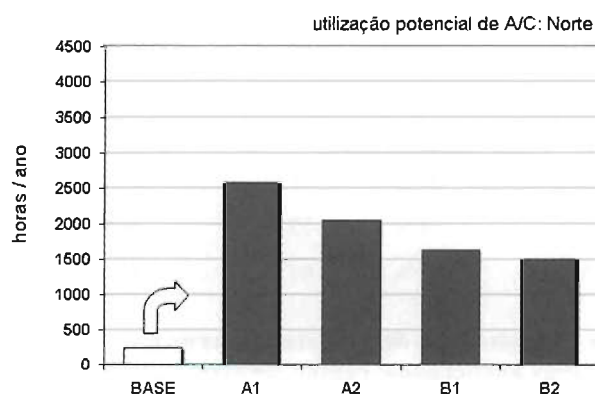


Figura 7.13 Impactos nas necessidades de ar condicionado em veículos terrestres: região Norte

7.3.2 Região Centro

Para este estudo, a região Centro é *grasso modo* delimitada pelas latitudes 40 °N e 38,5 °N, de acordo com a célula do modelo HadCM3 mais próxima da zona. O clima base usado

neste caso foi o da cidade de Setúbal. Setúbal foi escolhida em vez de uma cidade mais a norte (por exemplo, Lisboa ou Coimbra), por motivos de compatibilidade com o estudo do caso sobre os impactos das alterações climáticas na bacia do rio Sado. Como este local fica no limite inferior da zona Centro, os resultados dos estudos em termos relativos (anomalia) são provavelmente mais fiáveis do que os valores absolutos.

7.3.2.1 Aquecimento de Águas

As necessidades de energia para aquecimento de águas diminuem significativamente na região Centro: tipicamente entre -7 % e -29 %, conforme os cenários e as aplicações (ver Tabelas 7.17 a 7.20).

As estimativas do impacto das alterações climáticas no consumo de energia no quadro do cenário B1 são: -11 % para águas sanitárias; -7 % para pré-aquecimento de águas industriais; -15 % para aquecimento de piscinas cobertas e; -60 % para aquecimento de piscinas exteriores. No cenário A1 as estimativas são ainda mais favoráveis, cerca do dobro, não sendo necessário aquecer as piscinas exteriores durante o Verão. No entanto recorde-se que neste cenário a procura de energia é muito maior do que no cenário B1.

7.3.2.2 Sistemas Solares Térmicos

As conclusões para a região Centro são semelhantes às que se obtiveram para a região Norte e foram relatadas na secção 7.3.1.2. Mantendo os critérios de dimensionamento actuais o desempenho específico dos sistemas aumenta e há reduções da área de colectar solar necessário que variam entre -10 % e -64 % (ver Tabelas 7.17 e 7.19). A redução é ainda maior para piscinas exteriores (ver Tabela 7.20).

7.3.2.3 Climatização de Residências

No subsector residencial é essencial considerar o contexto socioeconómico. Tal como foi já referido na secção 7.3.1.3 para a região Norte a busca de conforto é maior em todos os cenários.

Como se indica na Figura 7.14 e Tabela 7.21, em relação ao presente (identificado como «Base» nas figuras), a procura de energia para arrefecimento sobe em todos os cenários, embora pouco no cenário B1. Enquanto que o aumento da procura de energia para aquecimento é praticamente nulo nos cenários B2 e B1, ele sobe substancialmente nos cenários A1 e A2. Em termos anuais, a procura total de energia AVAC aumenta bastante nos cenários A1 (cerca de 260 %)

Tabela 7.17 – Impactos no desempenho e dimensionamento de sistemas solares de aquecimento de águas sanitárias: região Centro

Cenário	Carga kWh	Área m²	Desempenho kWh/m²	Variação		
				da carga	da área	do desempenho
BASE	3660	5,7	481			
B1	3257	4,4	559	-11 %	-23 %	16 %
B2	3241	4,5	546	-11 %	-10 %	14 %
A2	3065	4,1	559	-16 %	-28 %	16 %
A1	2897	3,8	578	-21 %	-34 %	20 %

Tabela 7.18 – Impactos nas necessidades de pré-aquecimento de águas industriais e no dimensionamento de sistemas solares associados: região Centro

Cenário	Carga kWh	Área m²	Desempenho kWh/m²	Fracção solar anual	Variação		
					da carga	da área	do desempenho
BASE	573	149	654	17,3 %			
B1	532	126	731	17,7 %	-7 %	-16 %	12 %
B2	530	128	718	17,8 %	-8 %	-11 %	10 %
A2	512	119	747	17,9 %	-11 %	-20 %	14 %
A1	495	113	764	18,1 %	-14 %	-21 %	17 %

Tabela 7.19 – Impactos nas necessidades de aquecimento de piscinas cobertas e no dimensionamento de sistemas solares associados: região Centro

Cenário	Carga kWh	Área m²	Desempenho kWh/m²	Fracção solar anual	Variação		
					da carga	da área	do desempenho
BASE	107 612	59	975	53 %			
B1	91 110	33	1156	42 %	-15 %	-44 %	19 %
B2	90 434	35	1142	44 %	-16 %	-41 %	17 %
A2	83 181	28	1205	41 %	-23 %	-53 %	24 %
A1	76 246	21	1274	35 %	-29 %	-64 %	31 %

Tabela 7.20 – Impactos nas necessidades de aquecimento de piscinas exteriores e no dimensionamento de sistemas solares associados: região Centro

Cenário	Carga kWh	Área m²	Desempenho kWh/m²	Variação		
				da carga	da área	do desempenho
BASE	91 703	111	622			
B1	36 983	13	546	-60 %	-88 %	-12 %
B2	32 873	10	428	-64 %	-91 %	-31 %
A2	0	n.a.	n.a.	-100 %	n.a.	n.a.
A1	0	n.a.	n.a.	-100 %	n.a.	n.a.

e A2 (cerca de 130 %), mas é relativamente pequena no cenário B1 (subida de apenas cerca de 30 %) e reduz-se no cenário B2 (-30 %), indicando o efeito potencial das regulamentações, da modificação de comportamentos e da melhor tecnologia (ver Figura 7.16).

Tabela 7.21 – Estimativas de consumo de energia para climatização em habitações do Centro do país (kWh / ano)

Clima	Cenário SE	Aquecimento	Arrefecimento	Total	Δ
Actual	Base	68	255	323	
Actual	A1	806	817	1623	256 %
Actual	A2	352	674	1026	125 %
Actual	B1	31	290	321	-30 %
Actual	B2	4	575	579	27 %
Actual	Base	68	255		
A1	A1	190	3263	3453	657 %
A2	A2	115	2062	2178	377 %
B1	B1	8	630	638	40 %
B2	B2	0	1060	1060	132 %

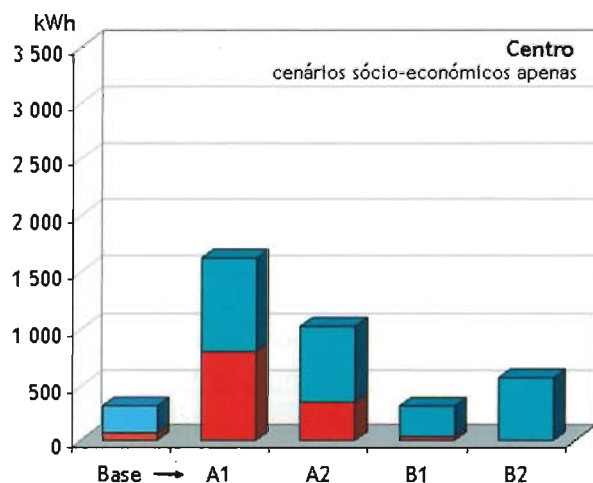


Figura 7.14 – Efeito dos cenários socioeconómicos no consumo de energia para climatização em habitações do Centro do país (aquecimento representado a laranja e vermelho e arrefecimento em tons de azul)

Quando se inclui o efeito do clima futuro a procura de energia para aquecimento sobe pouco nos cenários A1 e A2 (ver Tabela 7.21 e Figura 7.15), e continua insignificante nos cenários B1 e B2. Contudo, a procura de energia para arrefecimento sobe enormemente nesta região. Assim, em termos anuais, a procura total de energia AVAC, considerando simultaneamente os cenários climáticos e socioeconómicos, aumenta em todos os casos (ver também a Figura 7.16): apenas cerca de 40 % no cenário B1 mas quase sete vezes no cenário A1.

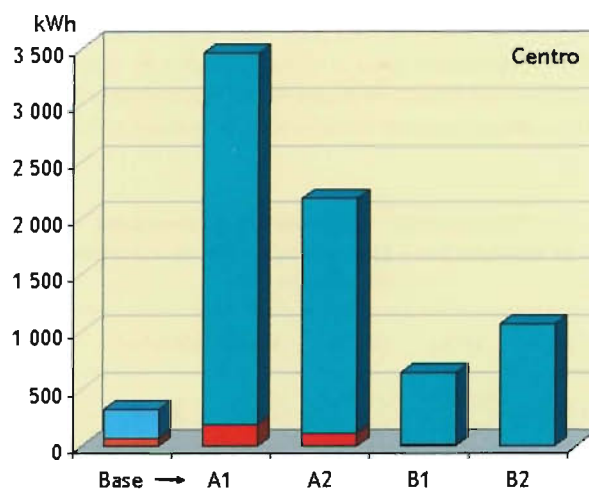


Figura 7.15 – Impacto das alterações climáticas no consumo de energia para climatização em habitações do Centro do país (aquecimento representado a laranja e vermelho e arrefecimento em tons de azul)

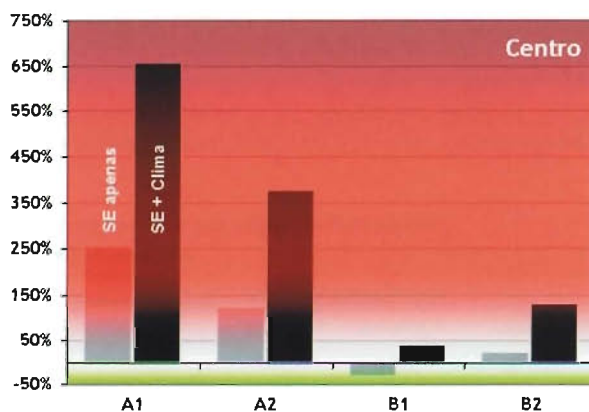


Figura 7.16 – Variações relativas do consumo de energia para climatização em habitações no Centro do país (apenas com os cenários socioeconómicos representado a cinzento e combinação com os impactos dos cenários climáticos futuros representados a negro)

7.3.2.4 Climatização de Edifícios de Serviços

Para a região Centro fez-se a análise do comportamento térmico de um piso de escritórios e de um piso de hotel de quatro estrelas, representativos dos edifícios de serviços, utilizando, tal como para a região Norte, os dados dos cenários climáticos obtidos com o modelo HadCM3.

Os resultados estão descritos nas Tabelas 7.22 e 7.23 e nas Figuras 7.17 e 7.18. Tal como no caso anterior são indiferentes aos cenários socioeconómicos admitidos. Note-se a substancial redução dos consumos para aquecimento, o que no entanto é sempre mais do que compensado, em termos anuais, pelo aumento dos consumos para arrefecimento. Também é interessante notar o efeito nivelador da tecnologia, dado que, em termos simplesmente de necessidades de energia, as diferenças entre cenários seriam bastante maiores.

Tabela 7.22 – Estimativas de consumo de energia para climatização em escritórios no Centro do país

	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/m ²)	
Clima	Aquecimento	Arrefecimento	Total	Total	Δ
Base	2798	12 266	15 064	19	
A1	682	21 152	21 834	27	45 %
A2	1054	19 680	20 733	26	38 %
B1	1286	14 693	15 979	20	6 %
B2	1335	16 882	18 217	23	21 %

Em termos de consumo específico passa-se de 19-20 kWh/m²/ano no caso de referência para cerca de mais 1 kWh/m²/ano extra no cenário B1, o que representa um aumento ligeiro. Contudo, no cenário B2 o aumento é já cerca de 4 kWh/m²/ano e cerca de 8 kWh/m²/ano nos restantes casos.

Tabela 7.23 – Impactos nos consumos para arrefecimento e aquecimento ambiente em hotéis de 4 estrelas: região Centro

Clima	Aquecimento (kWh)			Arrefecimento (kWh)			Total Específico		Δ
	Quartos	Social	Total	Quartos	Social	Total	(kWh)	(kWh/m ²)	
BASE	5231	577	5808	2 631	5 198	7 829	13 637	31	
A1	1553	48	1601	11 291	12 818	24 109	25 711	59	89 %
A2	2137	103	2240	9 321	11 136	20 457	22 697	52	66 %
B1	3061	235	3296	6 906	9 124	16 030	19 326	44	42 %
B2	3013	201	3214	7 241	9 347	16 588	19 802	45	45 %

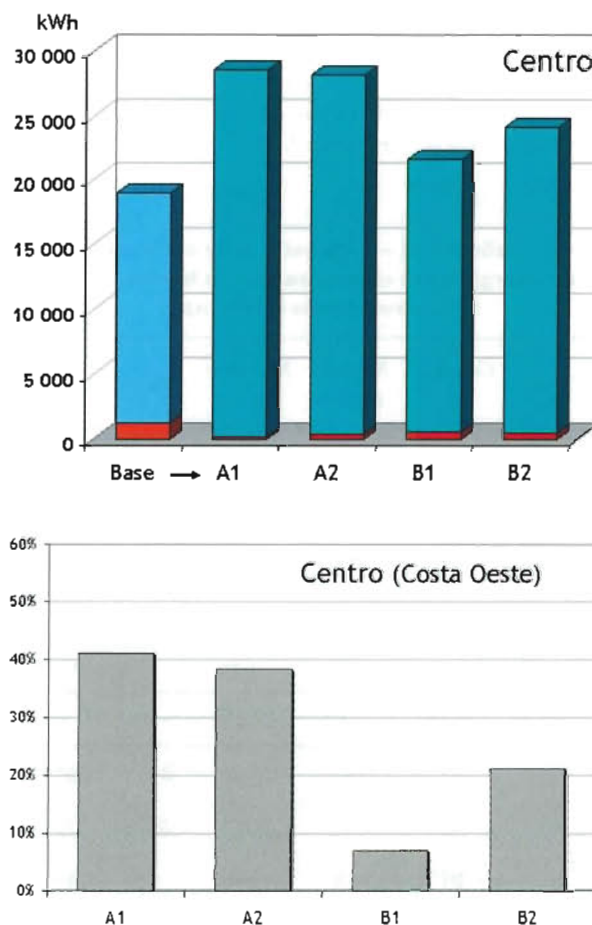


Figura 7.17 – Impacto das alterações climáticas no consumo de energia para climatização em edifícios de serviços no centro do país. Em cima: escritórios; em baixo: hotéis de 4 estrelas (aquecimento representado a laranja e vermelho e arrefecimento em tons de azul)

Em termos de aumentos relativos, mais fiáveis que as estimativas em valor absoluto, tem-se um impacto ligeiro de 6-7% em B1, mas já 21% em B2 e 38-45% em A2 e A1 (ver Figura 7.18)

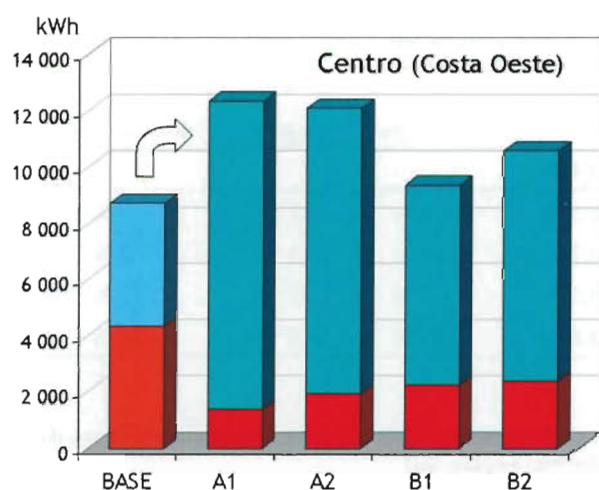
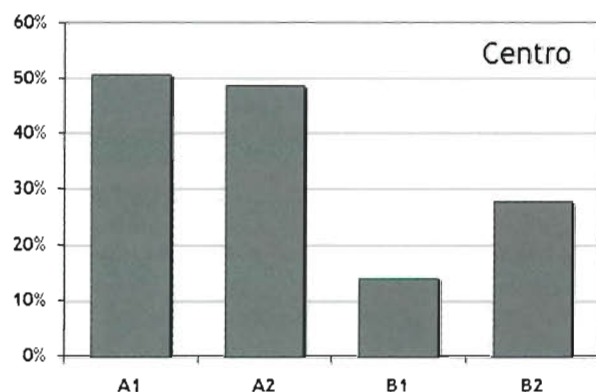


Figura 7.18 Impactos relativos das alterações climáticas no consumo de energia para climatização em edifícios de serviços no Centro do país. Em cima: escritórios; em baixo: hotéis

7.3.2.5 Climatização de Veículos

Tal como no caso da região Norte, referido na secção 7.3.1.5, os estudos sobre uso de A/C em veículos (terrestres) indicam um enorme aumento das necessidades de arrefecimento (ver Tabela 7.24). Enquanto se estima em cerca de 1300 horas de viagem o período em que actualmente seria mais confortável usar o A/C, no futuro esse período varia entre cerca de 2400 horas no cenário B1 e cerca de 3700 horas no cenário A1 (ver Figura 7.19).

A energia gasta não é proporcional a este incremento nas necessidades, pois há que ter em conta os cenários socioeconómicos futuros. Daí resulta uma amplificação das diferenças entre cenários, para a qual contribuem vários factores, essencialmente a maior mobilidade nos cenários A1 e B1 e a maior posse do automóvel nos cenários A1 e A2, conforme foi já refe-

rido na secção 7.3.1.5. Em termos percentuais, referidos ao consumo no subsector no período correspondente, a conclusão é que, para todos os cenários, a energia adicional gasta com A/C passa dos cerca de 5 % actuais para quase o dobro no futuro (mais uma vez, cerca de metade deste incremento resulta da maior percentagem de veículos com A/C no futuro).

Tabela 7.24 – Impactos nas necessidades e no consumo de ar condicionado em veículos terrestres: região Centro

	potencial de utilização (horas/ano)	consumo adicional devido a A/C	
		relativo ao consumo actual	relativo ao consumo futuro
BASE	1288	5 %	
A1	3733	37 %	10 %
A2	3243	24 %	9 %
B1	2401	13 %	8 %
B2	2694	9 %	9 %

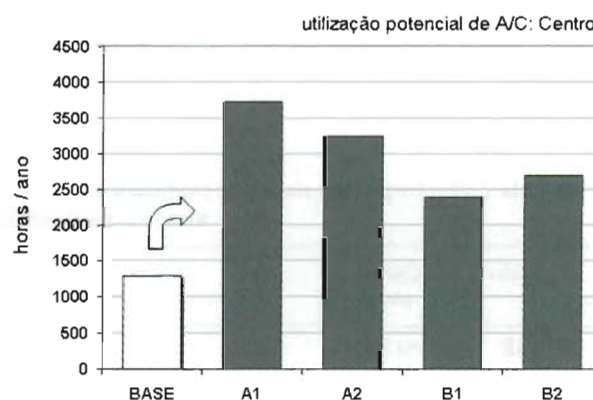


Figura 7.19 Impactos nas necessidades de ar condicionado em veículos terrestres: região Centro

7.3.3 Região Sul

Para este estudo, a região Sul é *grasso modo* delimitada pelas latitudes 38,5 °N e 37 °N, de acordo com a célula do modelo HadCM3 mais próxima da zona. O clima base usado neste caso foi o da cidade de Faro, considerado representativo do clima da faixa litoral da região.

7.3.3.1 Aquecimento de Águas

As necessidades de energia para aquecimento de águas diminuem muito significativamente na região Sul: tipicamente

Tabela 7.25 – Impactos no desempenho e dimensionamento de sistemas solares de aquecimento de águas sanitárias: região Sul

Cenário	Carga kWh	Área m²	Desempenho kWh/m²	Variação da carga	Variação da área	Variação do desempenho
BASE	3509	4,4	598			
B1	3088	3,3	701	-12 %	-25 %	17 %
B2	3054	3,4	679	-13 %	-23 %	14 %
A2	2869	3,0	713	-18 %	-31 %	19 %
A1	2706	2,8	722	-23 %	-36 %	21 %

Tabela 7.26 – Impactos nas necessidades de pré-aquecimento de águas industriais e no dimensionamento de sistemas solares associados: região Sul

Cenário	Carga kWh	Área m²	Desempenho kWh/m²	Fracção solar anual	Variação da carga	Variação da área	Variação do desempenho
BASE	558	142	711	18,4 %			
B1	514	121	776	18,5 %	-8 %	-15 %	9 %
B2	511	123	766	18,7 %	-8 %	-14 %	8 %
A2	492	113	789	18,5 %	-12 %	-21 %	11 %
A1	474	109	802	18,8 %	-15 %	-24 %	13 %

Tabela 7.27 – Impactos nas necessidades de aquecimento de piscinas cobertas e no dimensionamento de sistemas solares associados: região Sul

Cenário	Carga kWh	Área m²	Desempenho kWh/m²	Fracção solar anual	Variação da carga	Variação da área	Variação do desempenho
BASE	107 868	67	1071	67 %			
B1	76 598	38	1233	64 %	-29 %	-43 %	15 %
B2	72 229	39	1233	67 %	-33 %	-42 %	15 %
A2	64 600	30	1299	60 %	-40 %	-55 %	21 %
A1	57 876	27	1343	63 %	-46 %	-60 %	25 %

Tabela 7.28 – Impactos no desempenho e dimensionamento de sistemas solares de aquecimento de águas sanitárias: região Sul

Cenário	Carga kWh	Área m²	Desempenho kWh/m²	Variação da carga	Variação da área	Variação do desempenho
BASE	71 661	66	687			
B1	0	n.a.	n.a.	-100 %	n.a.	n.a.
B2	0	n.a.	n.a.	-100 %	n.a.	n.a.
A2	0	n.a.	n.a.	-100 %	n.a.	n.a.
A1	0	n.a.	n.a.	-100 %	n.a.	n.a.

entre -8 % e -16 %, conforme os cenários e as aplicações (ver Tabelas 7.25 a 7.26).

As estimativas do impacto das alterações climáticas no consumo de energia no quadro do cenário B1 são: -12 % para águas sanitárias; -8 % para pré-aquecimento de águas industriais e -29 % para aquecimento de piscinas cobertas. No cenário A1 as estimativas são ainda mais favoráveis, cerca do dobro das reduções, embora haja a recordar que neste cenário a procura de energia é muito maior do que no cenário B1. Quanto às piscinas exteriores em nenhum dos cenários é necessário qualquer aquecimento durante o Verão.

7.3.3.2 Sistemas Solares Térmicos

As conclusões para a região Sul são semelhantes às que se obtiveram para as regiões Norte e Centro relatadas nas secções 7.3.1.2 e 7.3.2.2, respectivamente. Mantendo a metodologia actual de dimensionamento, o desempenho específico dos sistemas aumenta e há reduções da área de colectores solar necessária que variam entre -14 % e -60 % (ver Tabelas 7.25 a 7.27). As reduções são um pouco maiores para os cenários A1 e A2 e também para as aplicações com temperatura-alvo mais baixa. Estas conclusões reflectem-se numa provável futura redução de custos dos sistemas solares térmicos em relação à situação actual.

7.3.3.3 Climatização de Residências

As conclusões genéricas referidas nos primeiros parágrafos dos sectores 7.3.1.3 e 7.3.2.3 aplicam-se também naturalmente à região Sul.

Como se indica na Figura 7.20 e Tabela 7.29, em relação ao presente, a procura de energia para arrefecimento sobe em todos os cenários, embora menos acentuadamente no cenário B1. Apesar da procura de energia para aquecimento no Sul do país desaparecer nos cenários B2 e B1, ela sobe substancialmente nos cenários A1 e A2. Em termos anuais, a procura total de energia para sistemas AVAC aumenta significativamente nos cenários A1 (cerca de 250 %) e A2 (cerca de 130 %); tem uma subida moderada no cenário B2 (subida de cerca de 40 %) e é ligeiramente reduzida no cenário B1 (-20 %), indicando o grande potencial das regulamentações, da modificação de comportamentos e da melhor tecnologia (ver Figura 7.22).

Quando se inclui o efeito do clima futuro, a procura de energia para aquecimento apenas sobe de forma significativa no cenário A1 e continua a ser pouco relevante ou inexistente nos restantes cenários (ver Tabela 7.29 e Figura 7.21). Contudo, a procura de energia para arrefecimento sobe enormemente

nesta região. Assim, em termos anuais, a procura total de energia AVAC, considerados simultaneamente os cenários climáticos e socioeconómicos, aumenta em todos os casos (ver Figura 7.22) – desde cerca de 70 % no cenário B1 até cerca de nove vezes mais no cenário A1. De facto neste último caso os consumos para arrefecimento ficam semelhantes aos valores típicos de consumo de energia para aquecimento em climas frios do Norte da Europa, mesmo considerando neste cenário tecnologias superiores às actuais.

Tabela 7.29 – Estimativas de consumo de energia para climatização em habitações do Sul do país (kWh / ano)

Clima	Cenário SE	Aquecimento	Arrefecimento	Total	Δ
Actual	Base	35	362	397	
Actual	A1	558	1188	1746	244 %
Actual	A2	222	928	1150	127 %
Actual	B1	9	403	412	-19 %
Actual	B2	1	724	725	43 %
Actual	Base		362		
A1	A1	100	5259	5359	957 %
A2	A2	42	2190	2232	340 %
B1	B1	3	343	351	68 %
B2	B2	0	1099	1099	117 %

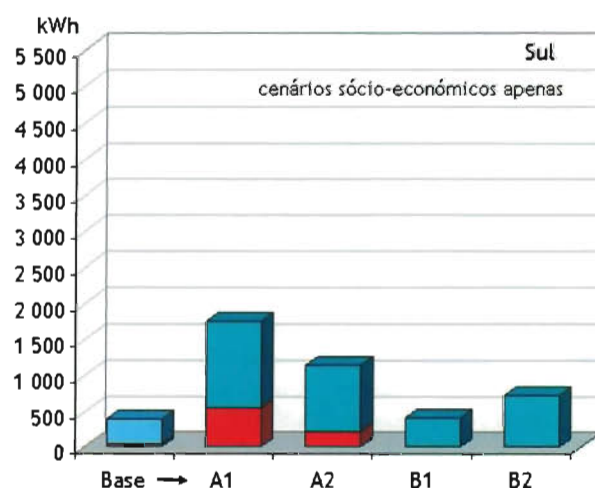


Figura 7.20 – Efeito dos cenários socioeconómicos no consumo de energia para climatização em habitações do Sul do país: aquecimento representado a laranja e vermelho e arrefecimento em tons de azul)

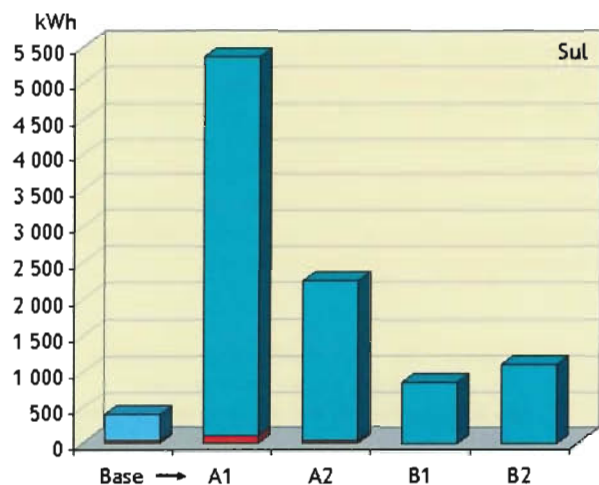


Figura 7.21 Impacto das alterações climáticas no consumo de energia para climatização em habitações do Sul do país (aquecimento representado a laranja e vermelho e arrefecimento em tons de azul)

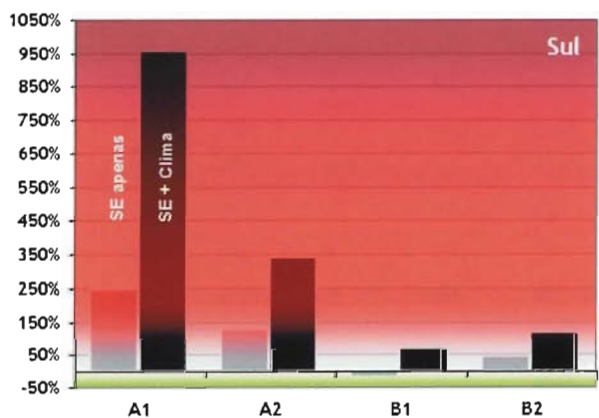


Figura 7.22 – Variações relativas do consumo de energia para climatização em habitações do Sul do país (apenas com os cenários socioeconómicos representados a cinzento e dos cenários climáticos futuros representado a negro)

7.3.3.4 Climatização de Edifícios de Serviços

Para a região Sul fez-se a análise do comportamento térmico de um piso de escritórios e de um piso de hotel de quatro estrelas, representativos dos edifícios de serviços, utilizando, tal como para as outras regiões, os dados dos cenários climáticos obtidos com o modelo HadCM3.

Os resultados estão descritos nas Tabelas 7.30 e 7.31 e nas Figuras 7.23 e 7.24, e tal como nos casos anteriores, neste caso são indiferentes aos cenários socioeconómicos. Note-se a substancial redução dos consumos para aquecimento, o que, no entanto, é sempre mais do que compensado em termos anuais

pelo aumento dos consumos para arrefecimento. Mais uma vez é interessante notar o efeito nivelador da tecnologia, já que em termos de necessidades de energia as diferenças entre cenários seriam bastante maiores, ver Tabelas 7.30 e 7.31.

Em termos de consumo específico, aos 19 kWh/m²/ano do caso de referência adicionam-se cerca de 3 kWh/m²/ano extra no cenário B1. Contudo no cenário B2 o aumento é já de cerca de 7 kWh/m²/ano e de cerca de 10 kWh/m²/ano nos restantes casos.

Em termos de aumentos relativos, aqui mais fiáveis do que as estimativas em valor absoluto, obtém-se um impacto não muito grande de 15 % em B1, mas já cerca do dobro em B2 (31%) e quase o quádruplo em A1 (57 %) (ver Figura 7.24).

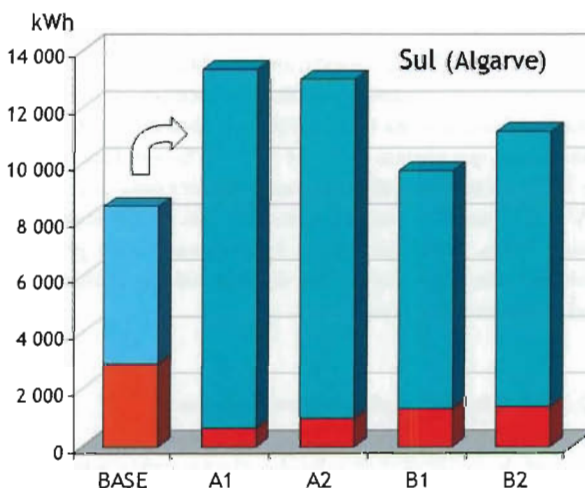


Figura 7.23 Impactos nos consumos para arrefecimento e aquecimento ambiente em hotéis de 1 estrelas: região Sul (a laranja e encarnado: aquecimento; em tons de azul: arrefecimento)

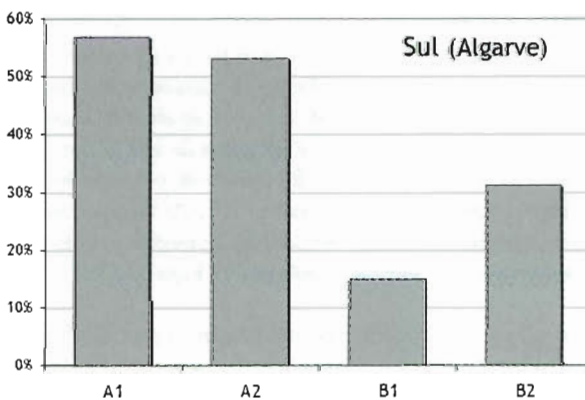


Figura 7.24 Impactos relativos nos consumos anuais para climatização em hotéis de 1 estrelas: região Sul

Tabela 7.30 – Impactos nas necessidades de arrefecimento e aquecimento ambiente em hotéis de 4 estrelas: região Sul

Clima	Aquecimento (kWh)			Arrefecimento (kWh)			Total específico		Δ
	Quartos	Social	Total	Quartos	Social	Total	(kWh)	(kWh/m ²)	
BASE	5231	577	5808	2 631	5 198	7 829	13 637	31	
A1	1553	48	1601	11 291	12 818	24 109	25 711	59	89 %
A2	2137	103	2240	9 321	11 136	20 457	22 697	52	66 %
B1	3061	235	3296	6 906	9 124	16 030	19 326	44	42 %
B2	3013	201	3214	7 241	9 347	16 588	19 802	45	45 %

Tabela 7.31 – Impactos nos consumos para arrefecimento e aquecimento ambiente em hotéis de 4 estrelas: região Sul

Clima	Aquecimento (kWh)			Arrefecimento (kWh)			Total específico		Δ
	Quartos	Social	Total	Quartos	Social	Total	(kWh)	(kWh/m ²)	
BASE	2615	289	2904	1879	3713	5592	8 496	19	
A1	621	19	641	5943	6746	12 689	3 330	31	57 %
A2	929	45	974	5483	6551	12 034	13 007	30	53 %
B1	1224	94	1318	3635	4802	8 137	9 755	22	15 %
B2	1310	87	1397	4260	5498	9 758	11 155	26	31 %

7.3.3.5 Climatização de Veículos

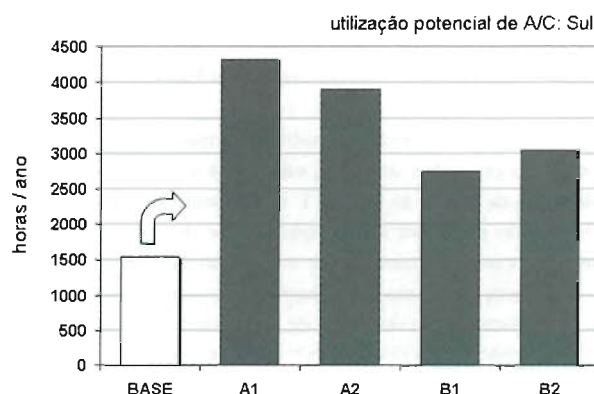
Tal como nas regiões Norte e Centro os estudos sobre uso de A/C em veículos terrestres indicam um enorme aumento das necessidades de arrefecimento (ver Tabela 7.32). Enquanto se estima em cerca de 1500 horas de viagem o período em que actualmente seria mais confortável usar o A/C, no futuro esse período varia entre cerca de 2700 horas no cenário B1 e cerca de 4300 horas no cenário A1 (ver Figura 7.25).

Tabela 7.32 – Impactos nas necessidades e no consumo de ar condicionado em veículos terrestres: região Sul

	potencial de utilização (horas/ano)	consumo adicional devido a A/C	
		relativo ao consumo actual	relativo ao consumo futuro
BASE	1545	6 %	
A1	4311	43 %	11 %
A2	3894	29 %	11 %
B1	2745	14 %	9 %
B2	3038	10 %	10 %

A energia gasta não é proporcional a este incremento nas necessidades, pois há que ter em conta a maior mobilidade

nos cenários A1 e B1 e a maior posse do automóvel nos cenários A1 e A2. Em termos percentuais, referidos ao consumo no subsector em cada época, a conclusão é que para todos os cenários a energia adicional gasta com A/C passa dos cerca de 6 % actuais para cerca de de 10 % no futuro (dos quais aproximadamente 2 % resultantes de uma maior percentagem de veículos equipados com sistema A/C no futuro).

**Figura 7.25 – Impactos nas necessidades de ar condicionado em veículos terrestres: região Sul**

7.4 LACUNAS DE CONHECIMENTO

7.4.1 Produção Eléctrica e Controlo de Cheias

Os cenários climáticos futuros do modelo HadCM3 confirmam o panorama de uma precipitação mais intensa na região do Norte da Península Ibérica. Dado ser na região Norte que se concentram os mais importantes sistemas hidroeléctricos de Portugal, é provável que no futuro haja um aumento do potencial hidroeléctrico. Note-se que casos de estudo realizados noutros países indicam que o aumento do potencial hidroeléctrico é mais do que proporcional ao aumento de precipitação. Contudo, as barragens têm também funções de controlo de cheias e portanto há aqui um importante estudo a fazer para saber qual o ponto de equilíbrio entre os vários factores, o que envolve entidades como as companhias produtoras, a REN (Rede Eléctrica Nacional) e a Protecção Civil.

7.4.2 Oferta de Energia por Sistemas Eólicos e Oceânicos

Os sistemas eólicos contribuem cada vez mais para a produção de electricidade e no futuro é provável que aumentem de importância, bem como os sistemas oceânicos, estes ainda em fase de prototipagem e desenvolvimento de novas soluções. Para apreciar os impactos das alterações climáticas nestes sistemas são necessários dados de vento bem mais detalhados e fiáveis do que os actualmente fornecidos pelos cenários climáticos futuros gerados em GCM (ver Capítulo I). Seria necessário utilizar modelos de parques de sistemas eólicos e oceânicos em conjunto com modelos de *downscaling* de meso e microescala para simular detalhadamente as condições geográficas e orográficas do país, o que ultrapassa os recursos disponíveis no Projecto SIAM.

7.4.3 Transporte e Distribuição de Energia Eléctrica

A elevação da temperatura ambiente implica maiores perdas resistivas em todos os cabos, estimadas aliás num aumento de cerca de 1,5 % no SIAM I. O consumo de electricidade tem vindo a crescer mais rapidamente do que o consumo total de energia e mesmo que este ritmo diminua, há ainda a tendência para uma *electrificação* da economia que assegura o crescimento dos consumos de electricidade a longo prazo. Numa visão tradicional, a extensão da rede deve acompanhar em grande parte este crescimento, além de que novos centros produtores como os parques eólicos vão necessitar de rede de transporte adicional. Assim, tanto em termos absolutos como relativos, esta estimativa de 1,5% pode ser con-

servadora e as perdas eléctricas virem a ser uma parte ainda mais importante do desperdício de energia nacional.

7.4.4 Deslocação dos Picos de Consumo de Energia

Uma muito maior procura de energia para arrefecimento tem consequências para além do simples aumento de consumo anual. De facto, este fenómeno pode deslocar o pico absoluto de consumo de electricidade do Inverno para o Verão, algo que já se começa a verificar por exemplo em Itália, onde a percentagem de habitações e serviços com ar condicionado é muito maior do que actualmente em Portugal. Esta tendência é preocupante dada a grande proporção actual da hidroelectricidade no *mix* de electricidade – cerca de 35 % – que naturalmente pode ser facultada mais no Inverno do que no Verão. Coloca-se assim o problema de ser necessário adicionar ainda mais capacidade ao subsistema produtor termoelectrico e aumentar as importações de combustíveis fósseis e a probabilidade de falhas na distribuição de electricidade.

7.4.5 Ritmo Temporal do Aquecimento Global

Um tema que não tem sido suficientemente aprofundado nos estudos até agora realizados é a evolução temporal das alterações climáticas. Este é um ponto muito importante no sector da energia, porque, excepto no caso dos edifícios, os sistemas têm um tempo de vida muito ou bastante inferior à escala de tempo de 50-100 anos em que os estudos de alterações climáticas têm estado a ser feitos.

7.4.6 Adaptação

Embora haja várias lacunas no conhecimento quantitativo dos impactos das alterações climáticas, conforme foi referido, os autores consideram que no actual estado dos conhecimentos as questões principais dizem respeito à variedade e amplitude das soluções de adaptação às alterações climáticas. De facto não se pode esquecer que o sector energia é muito intensivo em tecnologia, tanto na oferta como na procura, e por outro lado que os comportamentos individuais e as boas práticas são importantíssimos no lado da procura. Há assim amplo espaço para ensaiar soluções que possam potenciar os vários impactos positivos encontrados, bem como minorar os impactos negativos. Vamos apenas abordar três casos a título de exemplo.

As centrais termoeléctricas necessitam de grandes quantidades de água para refrigeração. Quando as centrais são localizadas junto a rios do Centro e Sul, como o Tejo e Guadiana, essa água pode vir a faltar, especialmente durante o Verão.

ou então o seu impacto em termos biológicos ser considerado inaceitável (rejeição da água a temperatura elevada) nos períodos de caudal mais baixo. Uma estratégia natural de adaptação é a realocização das centrais para estuários ou para a costa. Dado que as centrais têm um ciclo de vida inferior ao tempo característico da evolução das alterações climáticas, tal poderia ser feito quase sem custos adicionais. Dito isto, é evidente que a vertente energética não é a única a considerar no ordenamento do litoral.

Outro exemplo refere-se ao assunto tratado na secção anterior, nomeadamente o transporte e distribuição de electricidade. Em que medida os estudos que se sugeriram poderão ficar obsoletos face às grandes transformações tecnológicas que são possíveis neste campo é algo muito difícil de dizer. Existe de facto uma variedade de soluções tecnológicas que podem minorar muito ou mesmo tornar irrelevante o problema do aumento das perdas resistivas. Refira-se, por exemplo, o despacho local da energia (nomeadamente o consumo da energia perto dos centros produtores tais como centrais hidroeléctricas, eólicas ou fotovoltaicas, em vez da emissão destas directamente para as redes de alta e muito alta tensão), os cabos supercondutores à temperatura ambiente, a transmissão de energia por microondas ou o transporte de energia sob a forma de novos vectores como o hidrogénio.

Um último caso refere-se à climatização em edifícios. Dado que cada edifício dura entre dezenas e centenas de anos, a taxa de renovação do parque de edifícios é bastante baixa (cerca de 3 % por ano) e com tendência para baixar ainda mais com a diminuição do ritmo de aumento da população, e mesmo com a regressão de população prevista, por exemplo, nos cenários A1 e B1. Assim, embora alguns edifícios possam vir a ser construídos e equipados com AVAC utilizando critérios e regulamentos que tenham em conta as alterações climáticas, parte substancial dos edifícios actualmente exis-

tentes irá sofrer os impactos de temperaturas médias mais elevadas. Pergunta-se não apenas como se comportarão, mas também que soluções haverá para controlar esses impactos. As soluções possíveis (ditas de *retrofitting*) incluem opções clássicas como sombreamento e isolamento adicional quando se realizam renovações, mas também opções de alta tecnologia como o uso de materiais de mudança de fase (*phase change materials*) encapsulados em microesferas e incorporados nas argamassas, de tintas fotossensíveis, de janelas inteligentes e domótica em geral e ainda soluções urbanísticas concebidas com o objectivo de reduzir a ilha de calor urbana.

7.5 CONCLUSÕES

Confirmou-se nesta segunda fase dos trabalhos do Projecto SIAM que os impactos das alterações climáticas no sector da energia são de sinal variado. Os impactos de carácter positivo consistem principalmente na projecção de um maior potencial hidroeléctrico a norte, e na redução das necessidades de aquecimento de águas sanitárias, piscinas), com reflexos numa maior atractividade e desempenho dos sistemas solares. Quanto aos impactos de carácter negativo, salienta-se o grande aumento da procura de energia para climatização, tanto em residências como em edifícios de serviços, bem como nos transportes – pese embora a existência de melhores regulamentos e tecnologia no futuro. Uma consequência muito provável destes efeitos será ainda a deslocação do pico de consumo eléctrico do Inverno para o Verão, agravando ainda mais a pressão sobre o sistema eléctrico derivada do aumento de consumos.

Importa salientar que há grandes oportunidades para a adaptação no sector energético, tanto por via dos comportamentos sociais e do bom planeamento, como por meio de desenvolvimentos tecnológicos, tão frequentes e esperançosos neste sector.

7.6 REFERÊNCIAS

- Aguiar, R., 1998a, Meteorological Data for Renewable Energies and Rational Use of Energy in Portugal, (Project P-CLIMA), Final Rep. ALTENER Project No. XVII/4.1013/ Z/92-096. INETI-DER, Lisbon.
- Aguiar, R., 1998b, CLIMED – Climatic Synthetic Meteorological Series for the Mediterranean Area, Final Project Reports, EU – DG XII JOULE III Project No. JOR3C/T960012, Ed. INETI- DER, Lisbon.
- Aguiar, R., 2003, Sector Energético in Relatório do Projecto «Mitigation Strategies for Portugal» (MISP), F. D. Santos (eds.), Fundação Calouste Gulbenkian.
- Aguiar, R., H. Gonçalves, M. Oliveira e M.J. Reis, 2002, Energy in Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project. F.D. Santos, K. Forbes and R. Moita (eds), Gradiva, Lisboa.
- Aguiar, R., e M. Oliveira, 2002, Stochastic Typical Reference Years for climate change studies, Proceedings of Tyndall Centre Conference on Climate Change and the Built Environment, Paper 133, Univ. Manchester, Manchester.
- Clarke, J., A. Aaesem, C. Pernot e P. Strachan, 1993, ESP. A program for Building Energy Simulation, ESRU MANUAL U93/1, University of Strathclyde, UK.
- Feenstra, J., F.I. Burton, J.B. Smith and R.S.J. Tol, 1998, handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies, United Nations Environment Programme and Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam, The Netherlands.
- Gonçalves, H. (Ed.), 1999, Estudo sobre as Condições de Utilização de Energia e de Segurança dos Principais Equipamentos Energéticos na Hotelaria. CCE, PROET, ContaWatt, INETI (DER), ISQ, IPSetúbal (ETS). Relatório de Projecto co-financiado pelo Programa Energia, Direcção-Geral da Energia, Ministério da Economia, Lisboa.
- INE, 1999, Inquérito à Habitação 1998, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.
- IPCC, 2001, Third Assessment Report of the Working Group III: Mitigation, B. Metz e tal. (eds), Cambridge University Press.
- Nakicenovic, N. *et al.*, 2000, Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the IPCC, Cambridge University Press, Cambridge.
- RCCTE, 1990, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Decreto-Lei nº. 40/90, de 6 de Fevereiro, Diário da República, I.ª Série.

8

Florestas e Biodiversidade

João Santos Pereira (Coordenador)
Instituto Superior de Agronomia

Alexandre Vaz Correia
SIAM
Instituto Superior de Agronomia

Alexandra Cristina Correia
SIAM
Instituto Superior de Agronomia

Maria Teresa Ferreira
Instituto Superior de Agronomia

Nuno Onofre
Estação Florestal Nacional – Instituto Nacional de Investigação Agrária e Pescas

Helena Freitas
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Francisco Godinho
Instituto Superior de Agronomia

ÍNDICE

SUMÁRIO EXECUTIVO	303
EXECUTIVE SUMMARY	304
8. FLORESTAS E BIODIVERSIDADE	305
8.1 INTRODUÇÃO	305
8.1.1 Retrato da Floresta Portuguesa	305
8.1.2 A Floresta e as Alterações Climáticas	306
8.1.3 As Alterações Climáticas e a Diversidade Biológica	307
8.2 ESTUDOS ANTERIORES	309
8.2.1 Floresta	309
8.2.2 Biodiversidade	309
8.3 METODOLOGIA PARA O ESTUDO DE IMPACTO SOBRE AS FLORESTAS	310
8.3.1 Produtividade da Vegetação Actual	310
8.3.2 Área de Distribuição Potencial	311
8.4 IMPACTOS SOBRE A FLORESTA	312
8.4.1 Distribuição Actual da Floresta	312
8.4.2 Simulação da Produtividade da Floresta Actual	314
8.4.2.1 Variação Intra-Anual na Produtividade	314

8.4.2.2 Variação Interanual na Produtividade	314
8.4.3 Simulação da Produtividade da Floresta Actual: Cenário Futuro	316
8.4.3.1 Variação Intra-Anual da Produtividade	316
8.4.3.2 Variação Interanual da Produtividade	317
8.4.3.3 Impacto na Distribuição Potencial da Floresta	318
8.4.3.4 Impacto nos <i>Stocks</i> de Carbono.....	320
8.4.4 Discussão	320
8.5 MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO	323
8.6 BIODIVERSIDADE	324
8.6.1 Alterações na Vegetação	324
8.6.1.1 Simulação da Vegetação Potencial	324
8.6.2 Diversidade Biológica em Meio Aquático	330
8.6.3 Cenário Abiótico sob o Efeito das Mudanças Climáticas	330
8.6.4 Ictiofauna Fluvial em Cenário de Mudança Climática	332
8.6.4.1 Águas Salmonícolas e Mistas	332
8.6.4.2 Águas Ciprinícolas	333
8.6.5 Medidas para a Preservação da Biodiversidade.....	338
8.7 CONCLUSÕES	338
8.8 REFERÊNCIAS	340

SUMÁRIO EXECUTIVO

A primeira parte deste capítulo refere-se à avaliação dos impactos das alterações climáticas na floresta de produção (pinheiro-bravo, eucalipto e sobreiro) de Portugal continental. Efectuou-se uma avaliação da produtividade potencial futura numa base regional, recorrendo-se ao modelo de base processual GOTHWA+ e aos cenários climáticos HadRM2.

Esperam-se impactos negativos e positivos na produtividade que dependem da conjugação de alguns factores. Durante o período seco, o aumento da temperatura e a redução da precipitação poderão aumentar o stress ambiental, enquanto que durante a estação da chuva, que neste cenário se reduz praticamente ao Inverno, a produtividade poderá aumentar devido ao aumento da temperatura. O aumento da concentração atmosférica de dióxido de carbono poderá favorecer a fotossíntese e reduzir o consumo de água pelas plantas, mitigando em parte os efeitos negativos das alterações climáticas. No Norte do país a floresta de produção (eucalipto e pinheiro-bravo) poderá experimentar aumentos de produtividade, principalmente nos locais próximos do litoral e em solos de boa qualidade. O sobreiro poderá também ser beneficiado pelo aumento de temperatura. No Centro, esperam-se decréscimos de produtividade para o eucalipto e o pinheiro-bravo enquanto que para o sobreiro a produtividade poderá aumentar apenas nas zonas mais húmidas. A região Sul será a mais afectada devido ao aumento da aridez. Esperam-se fortes impactos para o eucalipto e o pinheiro devido a serem mais exigentes em água, sendo provável que se tornem espécies residuais nesta região. No caso do sobreiro esperam-se impactos menos severos, mas que poderão ser substanciais nos solos de pior qualidade.

Os resultados sugerem uma tendência para a migração das espécies florestais de sul para norte e do interior para o litoral. É provável que, neste cenário, a floresta possa desaparecer das zonas actualmente mais áridas (e.g., Alentejo interior) e que as espécies mais exigentes em água (e.g., carvalho alvarinho) fiquem restritas a zonas de maior humidade (e.g., zonas ripícolas). O risco de incêndio será maior num clima mais quente e seco, e poderá ser ainda aumentado pela acumulação de material altamente combustível (e.g., folhas) durante a época de fogos. As ocorrências de pragas e doenças também poderão ser mais frequentes devido ao stress ambiental acrescido. O impacto na economia florestal poderá ser bastante severo: os decréscimos de produtividade, associados ao aumento dos riscos ambientais (pragas e doenças, incêndios) poderão constituir um forte desincentivo ao investimento, conduzindo a um aumento do abandono dos espaços florestais.

Como medidas de adaptação destaca-se a necessidade de implementar uma gestão florestal adaptativa, incorporando o conhecimento emergente sobre as interações entre clima e floresta e encarando a gestão como um contínuo processo de aprendizagem. As componentes de monitorização e investigação são fundamentais neste contexto. Paralelamente, as técnicas silvícolas devem ter em atenção as alterações climáticas. As políticas sectoriais e seus instrumentos devem incorporar o conhecimento sobre as alterações climáticas, em particular no que diz respeito à prevenção e combate aos incêndios florestais.

A segunda parte do capítulo consistiu na avaliação do impacto das alterações climáticas na distribuição dos principais ecossistemas de Portugal. Efectuou-se igualmente uma análise prospectiva dos impactos das alterações climáticas na diversidade da fauna fluvial dulçaquícola.

Os principais resultados apontam para uma acentuada alteração na estrutura e composição da vegetação com consequências para a biodiversidade. Nas regiões do norte e centro litoral, dominadas por floresta mista de folhosas, prevê-se uma diminuição das espécies mais exigentes em humidade com o aumento da mortalidade de árvores mais velhas e menos resistentes. As regiões do Minho/Douro Litoral e zonas de montanha poderão ser beneficiadas com um eventual aumento da diversidade biológica. Os eucaliptais do interior poderão sofrer abandono e substituição por matos devido à fraca capacidade de regenerar naturalmente. Os pinhais poderão persistir ou tenderão a ser substituídos por matos devido à recorrência dos incêndios, sendo neste caso expectável uma preservação da biodiversidade. Em relação ao montado, prevê-se uma redução drástica da diversidade biológica devido à intensificação dos processos de desertificação nas regiões mais áridas.

Em relação à diversidade biológica em meio aquático, prevê-se uma extensão do período de estratificação estival em albufeiras e maior rapidez na recirculação de nutrientes. Espera-se igualmente uma maior acessibilidade dos nutrientes para os produtores primários, maior intensidade e período de crescimento destes, com sintomas crescentes de eutrofização.

Como medidas de adaptação salienta-se a necessidade de monitorização de estações de longo prazo, com fixação e manutenção de estações aquáticas e terrestres de longo prazo e identificação de indicadores bioecológicos a monitorizar. Promover a investigação com desenvolvimento experimental sobre os efeitos nas espécies, habitats ou ecossistemas, imputáveis directa ou indirectamente ao aquecimento global e ainda desenvolver planos estratégicos de gestão para as espécies, unidades habitacionais ou ecossistemas mais susceptíveis, tendo em conta os cenários resultantes da aplicação dos modelos climáticos. Estes cenários de alteração deveriam ainda ser inseridos nos instrumentos de planeamento e ordenamento existentes ou a elaborar.

EXECUTIVE SUMMARY

The first part of the present chapter is the evaluation of the main impacts of climate change on the forests of continental Portugal. The potential productivity of eucalypt, maritime pine and cork oak forest were assessed using the process-based model GOTILWA+ and the HadRM2 climate scenarios.

Climate change impacts on productivity range from negative to positive, and depend on the conjugation of several factors. During the dry season, increased temperature and reduced precipitation will increase environmental stress, while in the rainy season, which is reduced practically to the winter in this scenario, productivity may increase due to the higher temperature. The increase of the atmospheric concentration of carbon dioxide may enhance photosynthesis and reduce water consumption, partly mitigating the negative effects of climate change.

In the North region, production forest (eucalypt and pine) may increase its productivity, mainly in sites closer to the ocean and with good quality soils. Higher temperature will also benefit cork oak in this region. In the Center region, decreases in the productivity of eucalypt and pine are expected, while for cork oak small increases of productivity are possible in wetter sites. The south region is the most severely affected by the increased aridity. Eucalypt and pine are expected to be the most affected, due to their higher water consumption, and may become residual species in this region. The impact on cork oak will be less severe, but the stands on poorer sites may experience a strong negative impact.

The results suggest a trend of species migration from south to north and from the interior to the coastal areas. It's likely that, under this scenario, forests may disappear from the presently drier areas (e.g. interior Alentejo) and that water demanding species may become restrict to wetter sites (e.g. riparious areas). Fire risk will increase in a hotter and drier climate, and may be further increased by higher accumulation of high flammability biomass (e.g. leafs) during the fire season. Pests and diseases may also increase their incidence due to the higher environmental stress. The impact on forest economics can be extremely severe: decreased productivity, higher fire and pests and diseases risks can turn forest investment unattractive, resulting in increased forest abandonment.

Regarding adaptation measures, the need to establish adaptative forest management is crucial. Management should incorporate the emerging knowledge on climate change and be considered as a process of continuous learning. Monitoring and research components are fundamental in this context. Simultaneously, silviculture techniques should take into account climate change. Forest policies and their instruments should be aware of climate change, in particular the forest fires prevention and suppression plans.

The second part of this chapter aims to evaluate the impacts of climate change in vegetation distribution in Portugal. We also made a prospective analysis of climate change impacts over freshwater fish fauna.

The main results indicate a severe change in vegetation structure and composition in the future. In north and center coastal regions dominated by broadleaf mix forest we expect a mortality increase of old and less resistant species to water stress. However, in Minho/Douro Litoral and mountain regions, a biodiversity increase may be expected. Eucalypts from interior regions may disappear due to land abandonment associated with a weak natural regeneration. Pine forests may persist in favorable regions or be replaced by shrubs as a consequence of increase fire recurrence. In this cases one may expect a biodiversity maintenance. The most drastic impacts over biodiversity are expected in the «montado» woodlands due to the intensification of the already existing desertification problem.

In what concerns freshwater fish fauna an extension of the summer stratification period in reservoirs is expected, with shorter periods of mixing during winter. Organic matter degradation processes will proceed at a faster rate as well as nutrient cycling. This will lead to the increase in eutrophication signals throughout most of the year, namely overgrown plant biomass wherever habitat conditions and life forms favored it and an increase in phytoplankton abundance. Both organic matter processing and production/accumulation of biomass will lead to hypoxic or anoxic conditions, both in rivers and reservoirs.

As adaptation measures we stress the need for monitorization of long term sites, with the establishment and maintenance of aquatic and terrestrial sites identifying bioecological indicators to monitor. Promote the investigation and experimental development regarding species, habitats and ecosystems directly or indirectly related with global warming and also develop management plans for susceptible species and ecological units taking into account climate change scenarios. These scenarios should be included in already existing or future management instruments.

8. Florestas e Biodiversidade

João Santos Pereira (Coordenador), Alexandre Vaz Correia, Alexandra Cristina Correia, Maria Teresa Ferreira, Nuno Onofre, Helena Freitas, Francisco Godinho

8.1 INTRODUÇÃO

8.1.1 Retrato da Floresta Portuguesa

A floresta portuguesa, com a extensão e composição que lhe conhecemos, é recente. A ocupação humana na Península Ibérica, que data de há mais de 30 000 anos, tem exercido uma acção modeladora sobre a paisagem. A partir do Neolítico, a expansão da actividade agrícola foi gradualmente reduzindo a área florestal, «empurrando» sucessivamente a floresta natural para as zonas de maior altitude e maiores declives. Mas à medida que a densidade populacional aumentava, mesmo estas zonas menos acessíveis e de menor produtividade, começaram a ser utilizadas. Frequentemente recorria-se a queimadas, tanto para libertar espaço para a agricultura, como para regenerar as pastagens para o gado. O fogo, de origem humana, modelou em larga medida a flora mediterrânica, isto é, a paisagem mediterrânica é marcadamente antropogénica (Langston, 1998; Williams, 2003).

No dealbar do século XIX e da era industrial, as áreas de floresta densa contínua em Portugal eram diminutas, apesar de já José Bonifácio de Andrada e Silva ter preconizado o plantio de novos bosques em Portugal em 1813, para alimentar a indústria metalúrgica e oferecer protecção ambiental (Silva, 1815). Já no passado tínhamos que importar madeira — pinheiro-da-casquinha da Escandinávia e da Rússia no tempo do Marquês de Pombal, por exemplo — e a melhor construção naval era feita no Brasil ou na Índia (Boxer, 1969). Em finais do século XIX, face ao desaparecimento da floresta de grande parte das serras do país e à crescente industrialização, deu-se uma viragem na política florestal com a publicação em 1888 dos regulamentos de arborização das serras do Gerês e Estrela. Pela primeira vez o Estado, cuja acção até então se tinha limitado à arborização das dunas do litoral, chamou a si a necessidade de arborizar as serras do interior, protegendo os solos da erosão, contribuindo para a regulação dos regimes hidrológicos e aumentando a produtividade — de madeira, lenha, estrumes, carne, leite, lã), «que através de conveniente ordenamento será possível manter indefinidamente em alto nível de rentabilidade» (Mendonça, 1961). Com a regulamentação do Regime Florestal, em 1903, deu-se início a um processo que alterou radicalmente a paisagem florestal do país e que se estendeu até finais do século XX.

O pinheiro-bravo foi a espécie basilar destas arborizações. O seu carácter de espécie pioneira da sucessão ecológica, que lhe permite sobreviver mesmo em solos extremamente degradados, a facilidade de obter as grandes quantidades de sementes necessárias, o seu rápido crescimento e a perspectiva de obter madeira com valor comercial, levaram à utilização do pinheiro-bravo em todo o território, por vezes mesmo em zonas de fraca aptidão para esta espécie. No entanto, a sua elevada capacidade colonizadora dos terrenos deixados livres pelo abandono da agricultura e êxodo rural, terão sido responsáveis por uma parte significativa da sua expansão inicial, uma vez que não existia a capacidade de arborizar uma tal área (cerca de 500 000 hectares) em tão reduzido espaço de tempo (1903-1928).

O esforço de arborização estatal incidiu inicialmente nos terrenos comunitários, embora os resultados práticos fossem de pouca expressão — de 1888 a 1938 teriam sido arborizados apenas 21 082 ha (Mendonça, 1961). Com a «Lei do Povoamento Florestal» (Lei n.º 1971, de 1938) as actividades de florestação conheceram um novo impulso, aumentando-se substancialmente a taxa anual de arborização. Para tal contribuiu não só a maior disponibilidade de recursos financeiros e humanos, mas também a forma autoritária de intervenção do Estado Novo, que como referem Radich e Alves (2000) seria a única diferença fundamental face à legislação anterior.

Na década de 1950 iniciou-se a expansão do eucalipto, em simultâneo com a ênfase colocada pelo Estado na arborização dos terrenos particulares, nomeadamente através da Lei n.º 2069, de 1954. Não obstante esta lei ter falhado os seus objectivos, não tanto pelo seu conteúdo, mas antes pela inadequação dos meios financeiros e dos próprios serviços florestais, teve o mérito de permitir avanços técnicos (na mobilização do solo, produção de plantas, escolha de espécies) que, posteriormente, seriam fundamentais para a rápida expansão do eucaliptal feita pelos proprietários privados (Radich e Alves, 2000). Alves e Pereira (1990) já tinham identificado como factores fundamentais para a expansão do eucalipto a partir dos anos 60 do século XX a elevada aptidão da espécie para uma silvicultura intensiva, o crescimento simultâneo da indústria da celulose, as potencialidades do território para a cultura do eucalipto e a já referida capacidade técnica.

A elevada taxa de expansão do eucaliptal, que atingiu cerca de 700 000 ha no final do século XX, resulta da enorme importância da espécie para a economia nacional. A evolução conjunta da floresta de eucalipto e da indústria da pasta de celulose tornou esta última numa das mais importantes fileiras industriais do país. Saliente-se que a indústria é abastecida em mais de 90 % por matérias-primas nacionais, destinando-se mais de 90 % da produção a exportação (CELPA, 2003).

Actualmente a floresta produtiva ocupa cerca de 38 % do território do Continente. Se contarmos com as áreas de matos, virtualmente florestas incultas, o valor sobe para quase 56 % do território do Continente. A floresta produtiva gera no conjunto do sector aproximadamente 3 % do Valor Acrescentado Bruto da economia nacional (CESE, 1998), o que coloca Portugal em terceiro lugar na UE, a seguir à Finlândia e à Suécia. Segundo o relatório CESE (1998), em 1994 a fileira florestal representava 12 % do valor das exportações portuguesas. Ainda segundo o mesmo relatório, a fileira florestal ocupava 259 000 pessoas, isto é, 6,1 % da população activa empregada do país e cerca de 400 000 proprietários. Para além do valor comercial dos produtos e serviços – madeira, cortiça, caça, frutos e cogumelos – estimado em cerca de 562 milhões de euros em 1993 (CESE, 1998), os serviços do ecossistema florestal tem um valor social e ambiental importante, que não é quantificável monetariamente.

Do ponto de vista do meio ambiente, o fogo é actualmente o principal factor de risco e limitante da produção de bens e serviços comerciáveis. De um ponto de vista socioeconómico um dos pontos fracos do sector florestal reside numa gestão pouco eficaz. Mas a floresta não é toda igual. Os três sistemas mais importantes que cobrem no conjunto 2 822 618 ha ou seja, 84 % da área florestal do país são o pinhal, o montado de sobre e azinho e o eucaliptal. Embora com grande défice de acções de gestão florestal, o pinhal foi encarado pelos silvicultores como a espécie pioneira da sucessão ecológica. Teoricamente, pode ser conduzido, através de uma silvicultura adequada, até uma floresta mista de folhosas de grande biodiversidade. Porém, os incêndios são fortemente limitantes e é aqui que incidem as maiores dificuldades, nomeadamente pela ausência de uma gestão adequada em consequência da deficiente organização colectiva dos proprietários florestais privados (Mendes, 2000). O montado tem enorme valor sociocultural e de biodiversidade, mas a sua gestão sofre das contínuas mutações nas políticas agrícolas e nos mercados agropecuários e está demasiada e crescentemente dependente de um único produto, a cortiça. Actualmente, o estado sanitário de muitos montados é calamitoso (Pereira *et al.*, 1999). A sustentabilidade dos montados está ameaçada pela expansão da mortalidade precoce e pelo abandono rural que permite a alteração do sistema agroflo-

restal em matagal susceptível ao fogo. Quanto ao eucaliptal, a sua área encontra-se estabilizada, concentrando-se os esforços no aumento da produtividade das áreas existentes usando métodos de silvicultura de precisão.

8.1.2 A Floresta e as Alterações Climáticas

Na primeira fase do Projecto SIAM (Pereira *et al.*, 2002) foram identificadas as principais interacções entre os ecossistemas florestais e as alterações climáticas. O clima (em particular a temperatura e a precipitação) determina o crescimento e sobrevivência das plantas, assim como a sua distribuição geográfica. A variação sazonal destas variáveis é de especial importância em climas de influência mediterrânica como o de Portugal Continental. Durante o período das chuvas – Inverno e início da Primavera – a baixa temperatura constitui uma forte limitação à produtividade vegetal; em contrapartida, quando a temperatura é mais elevada, a baixa precipitação induz um período de seca que limita a produtividade. A tolerância das espécies florestais a condições climáticas adversas depende do seu potencial genético de adaptação, variando de espécie para espécie. Por exemplo, o pinheiro-bravo é menos tolerante à seca que o pinheiro-mansinho, sendo substituído por este à medida que a seca aumenta. A vulnerabilidade das espécies florestais é maior durante a fase juvenil, quando o sistema radicular ainda não se encontra completamente desenvolvido, limitando a capacidade de captação de água, e também durante a fase reprodutiva, que necessita de um modo geral de condições ambientais favoráveis para haver uma produção massiva de semente. As árvores adultas têm maior tolerância aos períodos desfavoráveis, quer pelas reservas acumuladas, quer pela maior extensão das suas raízes.

A influência do clima na floresta não pode ser reduzida ao efeito da variação da temperatura média ou da precipitação; também se pode fazer sentir pela ocorrência de fenómenos extremos, como tempestades, vagas de frio ou de calor. Por exemplo, em 2003, na sequência de uma vaga de calor atípica, 5 % do território nacional, correspondente a 15% da área de floresta, ardeu. Este tipo de fenómenos extremos podem tornar-se mais frequentes, assim como a concentração da precipitação no Inverno pode aumentar a probabilidade de tempestades. A destruição repentina e massiva associada a este tipo de fenómenos pode causar grandes prejuízos económicos e ambientais.

A concentração de dióxido de carbono na atmosfera, um dos principais gases com efeito de estufa, é também importante para a produtividade vegetal. O dióxido de carbono é o substrato da fotossíntese e constitui um factor limitante para a produtividade, pelo que o aumento da sua concentração

na atmosfera poderá conduzir a uma maior assimilação de carbono e assim estimular o crescimento. Ao nível da folha poderá ocorrer um aumento da eficiência do uso de água, isto é, do carbono assimilado por unidade de água evaporada, e da concentração de amido e compostos secundários (Ceulemans e Mousseau, 1994).

O efeito fertilizante pelo dióxido de carbono far-se-á notar até que outro factor se torne limitante, como a limitação em nutrientes ou disponibilidade de água. De facto, o efeito de fertilização pelo dióxido de carbono poderá aumentar a produtividade de longo termo nas espécies lenhosas numa média de 30 % (Medlyn *et al.*, 1999; Woodward, 2001), mas há uma tendência para respostas mais baixas em situações de baixa disponibilidade de nutrientes (Poorter, 1998). Este tipo de resposta foi encontrado no sobreiro, em que após quatro anos de crescimento numa concentração de dióxido de carbono dupla da actual se observou um aumento de crescimento de 27 %, mas apenas no regime com fertilização mineral (Maroco *et al.*, 2002).

O clima está relacionado com o fogo pelo controlo que exerce sobre a extensão e severidade da época de fogos e pela quantidade de biomassa combustível presente (Chandler *et al.*, 1983). Viegas e Viegas (1994) ilustraram uma relação entre a área ardida anual e a sazonalidade da precipitação. A precipitação de Janeiro a Maio tem uma correlação não linear com a área ardida, atingindo um máximo para valores intermédios de precipitação. A explicação proposta é que para valores baixos de precipitação o desenvolvimento da vegetação é menor, resultando numa menor carga de biomassa de pequena dimensão (folhas, raminhos, vegetação herbácea) na época de incêndios. Para valores altos de precipitação a reserva de água do solo é abundante, mantendo maiores teores de humidade nos combustíveis durante a época de incêndios.

A ocorrência de fogos não depende apenas de factores climáticos. O relevo acidentado da zona Centro do país, a vegetação perenifolia e pirófila e os Verões quentes e secos concorrem para criar condições óptimas para a ocorrência de fogos florestais. A tendência para o abandono das zonas rurais aumenta a susceptibilidade ao fogo. Como tem acontecido em toda a região mediterrânica, as áreas de agricultura marginal ou foram convertidas em plantações florestais ou abandonadas aos processos da sucessão ecológica, convertendo os terrenos em matagais e matas (Pyne, 1997).

O clima influencia directamente a incidência de pragas e doenças: alterações de temperatura e precipitação afectam a sobrevivência, reprodução, dispersão e distribuição dos herbívoros e patogénicos (Dale *et al.*, 2001). Podem ocorrer ainda efeitos indirectos, tais como alteração da susceptibi-

lidade das plantas devido a *stress*, alterações na composição química que podem afectar a palatibilidade ou a presença de compostos defensivos. As alterações climáticas poderão afectar os organismos já existentes, positiva ou negativamente, e organismos exóticos, nomeadamente das regiões subtropicais, que actualmente não encontram condições climáticas favoráveis, poderão expandir-se para o nosso território.

8.1.3 As Alterações Climáticas e a Diversidade Biológica

A diversidade biológica ou biodiversidade pode ser definida como a variedade de organismos vivos e das suas unidades ecológicas. Esta variedade é entendida ao nível da organização genética, das populações, dos ecossistemas e estrutura das paisagens, bem como em diferentes dimensões espacio-temporais (Corona, 1993; Lapin e Barnes, 1995; Lindenmayer *et al.*, 2000). Actualmente, não sabemos o número de espécies que existem na Terra mas as melhores estimativas apontam para números que podem ir de 10 a 30 milhões de espécies diferentes no mundo. Deste número, conheceremos, de facto, cerca de 1 milhão e 800 mil espécies.

É evidente que a extinção de espécies vem acontecendo desde sempre e por várias razões, principalmente naturais, embora desde o aparecimento do Homem um número indeterminado de espécies já tenha desaparecido, em grande parte por responsabilidade deste. Segundo os registos fósseis, admite-se que cerca de 99 % das espécies que existiram na terra já se extinguíram. Actualmente, a taxa de extinção das espécies é de cerca de 1% por século, isto é, cerca de 100 a 1000 vezes mais elevada do que a taxa de extinção natural das espécies, estimada entre 0,001 a 0,01 por século (Ehrlich e Ehrlich, 1981; Begon *et al.*, 1996; Magurran e May, 1999; Freitas, 2000; Freitas, 2002), excluindo, naturalmente, os breves períodos de extinção em massa provocados por catástrofes naturais imprevisíveis ao nível global (Gould, 1989).

Independentemente da causa, a perda da diversidade biológica assume um carácter singular entre as maiores mudanças antropogénicas porque é irreversível (Freitas, 2002) e esta é a dimensão do problema que está subjacente à assinatura da Convenção sobre a Diversidade Biológica, no Rio de Janeiro, em 1992.

A degradação dos *habitats*, de cuja integridade depende a sobrevivência das espécies, coloca hoje questões essenciais em ecologia. Qual é a capacidade de sobrevivência das espécies face às crescentes pressões e às alterações do seu *habitat*? Qual é a dimensão necessária para a estabilidade do nicho ecológico, permitindo o funcionamento do sistema e garantindo a sua estabilidade (Freitas, 2000; Freitas, 2002)?

A biodiversidade parece ser essencial para o funcionamento dos ecossistemas. É legítimo admitir que um maior número de espécies aumenta a diversidade funcional, ou seja, a amplitude das funções executadas, conduzindo assim a uma maior estabilidade ecológica (Freitas, 2000). Vários estudos têm revelado que quanto mais heterogénico for o *habitat*, maior a capacidade do ecossistema superar o efeito de uma perturbação (Tilman, 1999). São vários os estudos recentes que demonstram uma correlação positiva entre a riqueza em espécies num ecossistema e a sua produtividade, estabilidade e sustentabilidade (Hector *et al.*, 1999; Loreau, 2000).

A relação entre a biodiversidade e as alterações climáticas é evidenciada pela hipótese do seguro (*insurance hypothesis*), segundo a qual um maior número de espécies aumenta o leque das funções ecológicas, assegurando que o ecossistema mantém os seus processos e funções face às alterações climáticas (Loreau e Hector, 2001). Por outro lado, a perda de biodiversidade a nível regional, devido à fragmentação dos *habitats*, restringe o número de colonizadores potenciais e, por conseguinte, reduz as possibilidades de ajustamento do ecossistema às novas condições. Parece haver necessidade de um maior número de espécies para manter a estabilidade face a alterações no clima do que para garantir o funcionamento numa dada condição ambiental (Tilman *et al.*, 2002).

Os processos que mais fortemente contribuem para o empobrecimento específico dos ecossistemas estão relacionados fundamentalmente com a destruição ou degradação dos *habitats* em resultado de processos que ocorrem em diversas escalas espaciotemporais (Figura 8.1). O *habitat* de uma espécie inclui o ambiente físico (por exemplo, clima, solo) e as suas componentes bióticas (por exemplo, espécies e ecossistemas).

Admite-se que as alterações climáticas estão já a conduzir à perda diferencial de populações nas margens mais quentes da sua área de distribuição (Thomas *et al.*, 2004). Este problema é naturalmente agravado pela alteração e fragmentação dos *habitats*. Enquanto que, no passado, os indivíduos que dispersassem de um *habitat* marginal num mundo em aquecimento (ou arrefecimento) poderiam encontrar condições apropriadas para a sua sobrevivência em locais próximos, hoje, é mais provável que fiquem isolados do fragmento mais próximo de *habitat* adequado,

em resultado da expansão das áreas inóspitas ou de *habitats* não apropriados.

A fragmentação reduz a probabilidade de dispersão e fixação dos organismos, bem como o aparecimento ou o reforço de outras populações, com diferente variabilidade genética e capacidade de adaptação a distintas condições ambientais. Corredores artificiais e naturais entre os fragmentos que vão ficando podem tornar-se cada vez mais importantes, ao facilitarem a mudança nas áreas de distribuição em paisagens muito fragmentadas. As áreas protegidas de grande dimensão, com topografia suficiente para abranger um conjunto de *habitats* e gradientes climáticos, serão ainda mais importantes. Em termos de conservação, a actual fragmentação de *habitats*, diminuindo as áreas dos fragmentos e aumentando o espaço entre eles, pode estar a converter regiões «centrais» em áreas marginais ou inabitáveis. Esta situação agrava-se com as alterações climáticas e com a alteração das condições de distribuição das espécies (Freitas, 2000).

Saliente-se que, face às alterações ambientais mais relevantes, as espécies que falharem, quer no reajustamento das suas áreas de distribuição, quer na adaptação às novas condições, serão extintas. Manter o potencial para respostas dinâmicas, como sejam, a evolução adaptativa e as mudanças nas áreas de distribuição, apesar da redução dos efectivos populacionais e da fragmentação dos *habitats*, poderá ser determinante para o impacto dos novos e crescentes desafios antropogénicos que se prevêem ao longo deste século. As espécies restritas a fragmentos isolados de *habitats* e reservas, dependem

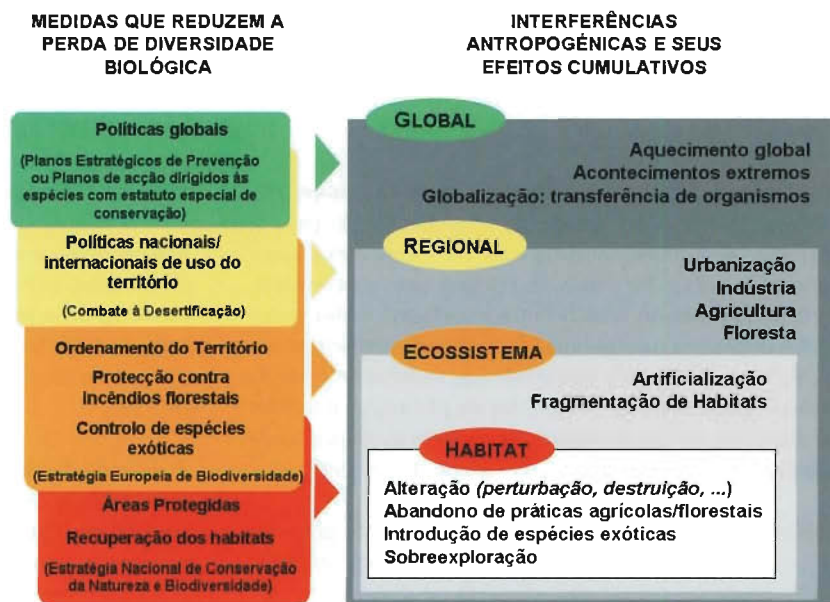


Figura 8.1 Factores que reduzem a diversidade biológica nas diferentes unidades ecológicas e medidas que invertem esta tendência

dos seus limites fisiológicos ou da adaptação evolutiva *in situ*, para sobreviverem ao rápido aquecimento global das próximas décadas.

8.2 ESTUDOS ANTERIORES

8.2.1 Floresta

Na primeira fase do Projecto SIAM o estudo da floresta baseou-se fundamentalmente no estudo da produtividade da floresta potencial, isto é, a floresta natural que existiria potencialmente sem a acção do Homem sobre o território, quer em termos de produtividade, quer em termos de distribuição geográfica, através do modelo biogeográfico e biogeoquímico BIOME4 (Kaplan *et al.*, 2003). Esta abordagem permitiu identificar as tendências principais dos impactos das alterações climáticas nas florestas. Realizou-se também um estudo sobre o efeito das alterações climáticas no risco meteorológico de incêndio, utilizando o modelo Fire-Weather-Index (van Wagner, 1987), que é utilizado em tempo real pelo Instituto de Meteorologia durante a época de fogos.

Com base no trabalho referido (Pereira *et al.*, 2002) pode concluir-se que, em Portugal Continental:

- Os cenários climáticos futuros são concordantes em que o *stress* hídrico aumentará significativamente com a duplicação da concentração actual de CO₂ atmosférico, afectando as comunidades vegetais e animais. É provável um declínio na produtividade na generalidade do território e uma deslocação potencial para norte e oeste das comunidades vegetais actuais;
- A importância do sumidouro de carbono no futuro poderá ser inferior à actual, devido ao declínio generalizado da produtividade e do *stock* de biomassa que se espera em consequência das secas, alterações da distribuição da vegetação e aumento na frequência dos fogos florestais. Uma redução adicional poderá ocorrer devido ao aumento da respiração do solo em consequência de Invernos mais quentes.

Silvicultura

Prevê-se uma diminuição da produtividade florestal na generalidade do território de Portugal Continental, devido ao aumento do período de secura estival, tanto em duração como em intensidade. Na zona Nordeste do país é possível uma manutenção da produtividade potencial, ou mesmo um aumento, devido à subida da temperatura no Inverno, que permitirá prolongar o período de crescimento. Prevê-se uma alteração na distribuição dos tipos florestais dominantes, fundamentalmente uma substituição das espécies com maior exigência de água por espécies mais tolerantes à secura. Na

região Sul, actualmente dominada por espécies adaptadas à secura, poderá haver uma diminuição da área de floresta, que será substituída por matos e prados. Na região Norte, cuja vegetação potencial corresponde a espécies mais exigentes em água, poderá ter lugar uma substituição pelas espécies do Sul.

Fogos Florestais

As alterações climáticas poderão causar um aumento substancial do risco meteorológico de incêndio. Embora não haja alteração do padrão de distribuição geográfica do risco meteorológico de incêndio, verifica-se que as zonas que apresentam actualmente os mais baixos índices de risco de incêndio poderão passar a ser zonas de alto risco, por exemplo Penhas Douradas, Vila Real ou Bragança. O regime dos fogos florestais responde instantaneamente às alterações climáticas, e poderá tornar-se o factor dominante de alteração nas comunidades florestais.

8.2.2 Biodiversidade

No caso da biodiversidade, a análise dos impactos das alterações climáticas sobre a diversidade biológica no âmbito do estudo SIAM (Pereira *et al.*, 2002) baseou-se na utilização de modelos numéricos, revisão bibliográfica e opinião de especialistas, no sentido de identificar os ecossistemas mais vulneráveis aos impactos directos ou indirectos das alterações do clima.

Os resultados então apresentados sugerem que ecossistemas florestais característicos das regiões mais húmidas, por exemplo, os carvalhais caducifólios, poderão sofrer uma redução substancial na sua área de expansão. Por outro lado, a região do Alentejo poderá ser particularmente afectada com diminuição da floresta existente – montados de sobre e azinho – e a sua substituição por comunidades de plantas esclerófitas estruturalmente mais pobres. Por outro lado, o risco de «invasões» por espécies exóticas poderá ampliar-se, quer em resultado do aumento da área das que actualmente já existem (ex.: acácias, pitósporos), ou outras que poderão ser introduzidas ou que, embora actualmente não apresentem características invasoras, poderão acentuar este carácter perante as novas condições climáticas.

É provável que aumentem as áreas «inóspitas», isto é, áreas que suportam um reduzido número de espécies, devido à fragmentação e simplificação dos *habitats* e da paisagem. Os *habitats* favoráveis às espécies actuais poderão ver a sua área reduzida e a distância entre os fragmentos aumentar significativamente. A destruição, perturbação e fragmenta-

ção dos *habitats* pode diminuir o tamanho das subpopulações a níveis críticos, aumentando a dispersão populacional e o *stress* ambiental. Estes factores podem conduzir ao seu desaparecimento a médio-longo prazo, devido a perda genética ou a eventos de origem natural ou antropogénica e, no limite, à extinção do *taxon*. As espécies animais (vertebradas), das quais cerca de 1/3 se encontram actualmente ameaçadas, possuem menos vantagens adaptativas para fazer face a alterações severas dos *habitats* que ocupam actualmente, sendo por isso mais vulneráveis.

Algumas áreas protegidas serão mais vulneráveis às alterações climáticas, nomeadamente as da região Sul. Os impactos sobre cada área serão sobretudo indirectos e vão depender das características (e eventual gestão) de cada ecossistema particular. Uma alteração importante das comunidades estruturantes (como, por exemplo, a redução na área ou localização dos carvalhos perenifólios), pode pôr em questão a delimitação destas áreas, pois objectivos específicos inicialmente definidos de preservação de ecossistemas raros e ameaçados podem deixar de ter significado no contexto das alterações climáticas.

8.3 METODOLOGIA PARA O ESTUDO DE IMPACTO SOBRE AS FLORESTAS

Na sequência do estudo dos impactos das alterações climáticas na floresta potencial (Pereira *et al.*, 2002) considerou-se importante estudar o impacto na floresta que existe na actualidade, dado que a escala de tempo das alterações climáticas é muito inferior à escala de tempo necessária para que ocorram migrações naturais das árvores. A fragmentação dos *habitats* das espécies arbóreas e o artificialismo da sua distribuição torna improvável que a flora possa adaptar-se por processos naturais às alterações climáticas. Tal como já foi referido, o principal factor que condiciona a distribuição da floresta em Portugal é a acção do Homem sobre a paisagem, e se admitirmos que não haverá uma mudança súbita das práticas actuais, é provável que, no espaço de 100 anos, a distribuição da floresta seja semelhante à actual, salvo algum evento catastrófico ou, naturalmente, o impacto das alterações climáticas.

As possíveis mudanças na distribuição geográfica foram também abordadas, procurando-se averiguar quais as áreas que poderão deixar de ter as condições ambientais mínimas para a sobrevivência das espécies em estudo. O presente capítulo centra-se pois no estudo dos impactos na produtividade das

principais espécies florestais de Portugal: o pinheiro-bravo, o eucalipto e o sobreiro¹. Estas três espécies constituem o núcleo da floresta produtiva, sustentando um importante sector da economia nacional.

Analisou-se também de modo sumário o impacto das alterações climáticas no *stock* e na capacidade de sequestro de carbono das florestas. Este é um tema de grande importância no contexto do Protocolo de Quioto, que Portugal ratificou, enquanto membro da União Europeia. Assim, as variações nos *stocks* de carbono das florestas têm que ser contabilizadas no balanço de carbono nacional, no pressuposto que o corte ou os incêndios florestais levarão a uma contribuição líquida para as emissões de gases com efeito de estufa (GEE). Por outro lado, o Protocolo de Quioto consagrou a possibilidade de os países contabilizarem nos seus inventários nacionais o sequestro de carbono por novas florestas e outras alterações do uso do território.

O impacto das alterações climáticas nos *stocks* de carbono está directamente relacionado com as modificações na biomassa e na produtividade das florestas, mas inclui também as alterações no «reservatório» de carbono do solo. Um dos efeitos do aquecimento no Inverno será um decréscimo na PLR devido ao aumento da respiração das plantas e dos outros organismos da floresta (*i.e.* respiração autotrófica e heterotrófica, respectivamente). Por outro lado, as temperaturas elevadas poderão ter como consequência o aumento da decomposição e do consumo respiratório do carbono no solo, levando a um decréscimo do *stock* e à emissão de dióxido de carbono. Mais uma vez a escassez de dados de base não permitiu aprofundar este estudo tanto como seria desejável, limitando-se a análise a casos pontuais, que, no entanto, consideramos que são representativos da tendência de evolução dos *stocks* e das trocas de carbono entre a floresta e a atmosfera.

8.3.1 Produtividade da Vegetação Actual

O estudo da produtividade das espécies florestais actuais foi realizado recorrendo a um modelo de base processual que simula os fluxos de carbono e água em diferentes condições ambientais – o modelo GOTILWA+ (Gracia e Sabaté, 2003). As variáveis de entrada agrupam-se em dados climáticos diários (temperatura, precipitação, radiação global, velocidade do vento e pressão de vapor de água), dados fisiológicos (parâmetros da fotossíntese e condutância estomática), dados estruturais da floresta (estrutura das árvores e distribuição de diâmetros) e dados do local (características

¹ Fazia parte dos objectivos iniciais incluir também a azinheira, mas a escassez de dados sobre esta espécie, fruto da sua actual reduzida importância económica, não o permitiu.

do solo e hidrológicas). A concentração de CO_2 no cenário futuro foi reduzida para 170 ppm de modo a limitar o efeito de fertilização pelo CO_2 a um máximo de 30 %, à semelhança do que foi feito na primeira fase deste projecto.

À semelhança da primeira fase do projecto recorremos aos cenários climáticos gerados pelo modelo climático regional HadRM2 (ver Capítulo 2), mas não foi possível utilizar os cenários climáticos do modelo climático regional HadRM3, visto que as simulações de controlo com o modelo GOTILWA+ produziram resultados pouco satisfatórios.

A fotossíntese é calculada segundo o modelo de Farquhar *et al.* (1980), e a condutância estomática segue a aproximação de Leuning (1995). A respiração autotrófica é separada em respiração de manutenção e de crescimento, e depende da temperatura ambiente. A respiração de manutenção é função da massa viva, enquanto que a respiração de crescimento corresponde ao carbono investido na formação de novos tecidos. A alocação do carbono para as diferentes partes da planta processa-se segundo um conjunto de regras hierarquizadas: em primeiro lugar são repostas as reservas de carbono móvel dos diversos tecidos; o carbono restante é utilizado na substituição das folhas e raízes finas que morreram (naturalmente ou em resultado de *stress*), o carbono remanescente, se existir, é investido em novos tecidos (folhas, raízes e tronco), mantendo a proporcionalidade entre os diversos compartimentos. O solo consiste em duas camadas, orgânica e mineral. A matéria orgânica do solo provém da mortalidade das árvores e da mortalidade anual das folhas, raízes e ramos. Esta matéria orgânica decompõe-se em função da temperatura e da humidade do solo.

A Figura 8.2 ilustra os fluxos de energia e matéria representados no modelo GOTILWA+. Este modelo foi validado simulando o crescimento da floresta da rede EUROFLUX – uma rede europeia de medição dos fluxos de carbono e água em florestas (Kramer *et al.*, 2002). Na presente análise utilizou-se a produtividade do eucalipto como validação sumária, uma vez que apenas para esta espécie estão disponíveis dados de produtividade em Portugal. Para o pinheiro-bravo verificou-se que o intervalo de variação da produtividade corresponde ao preconizado para esta espécie em Portugal (Oliveira *et al.*, 2000). No caso do sobreiro não estão disponíveis dados de produtividade

em volume de madeira, pelo que não foi possível proceder a uma avaliação da distribuição regional da produtividade para esta espécie.

A cada célula da grelha relativa aos dados climáticos foram associados três solos correspondentes a fertilidades alta, média e baixa. As características destes solos foram derivadas a partir da Carta de Solos do Atlas Digital do Ambiente, que foi cruzada com a Carta de Ocupação Florestal, obtendo-se os solos de ocupação florestal. Recorrendo à metodologia de Pinto *et al.* (2003), a cada solo associaram-se as características físicas e ordenaram-se por capacidade de armazenamento de água, que aqui foi utilizada como indicadora da fertilidade, uma vez que o modelo GOTILWA+ não simula os ciclos de nutrientes. Para cada classe de fertilidade seleccionaram-se os solos mais representativos em termos de área florestal em cada célula.

Os resultados foram agrupados em seis regiões – Norte litoral, Norte interior, Centro litoral, Centro interior, Sul litoral e Sul interior – para as quais são apresentados os resultados da produtividade primária líquida e da produtividade em acréscimo de volume de tronco (acréscimo médio anual), excepto para o sobreiro, em que apenas se apresenta a produtividade primária líquida.

8.3.2 Área de Distribuição Potencial

A análise do impacto das alterações climáticas na distribuição espacial basearam-se no pressuposto que, abaixo de um determinado limiar de produtividade primária, uma dada

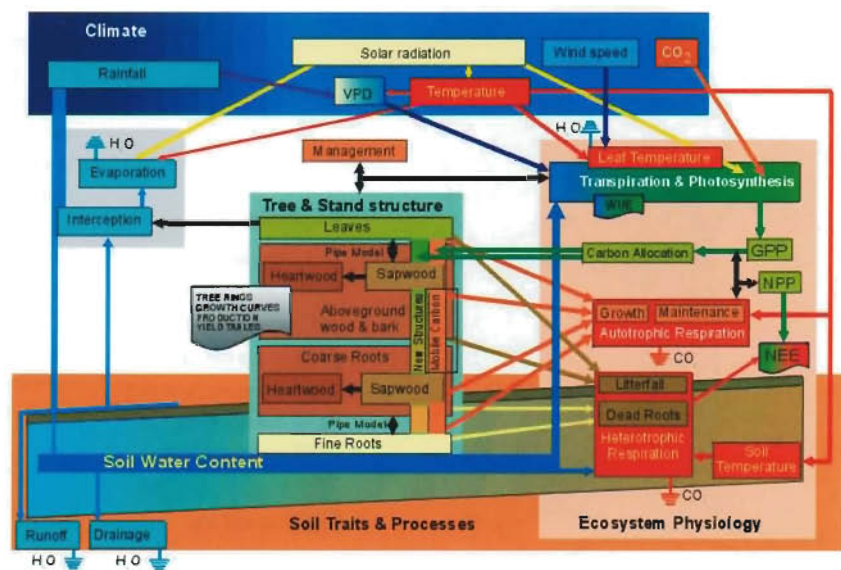


Figura 8.2 Diagrama dos fluxos representados no modelo GOTILWA+

espécie não consegue sobreviver num determinado local. Este limiar foi determinado para cada espécie recorrendo a um sistema de informação geográfica e aos mapas de distribuição actual das espécies (DGF, 2001a), complementados pela zonagem da carta ecológica (IA, 2003). Comparou-se graficamente a distribuição da produtividade com a distribuição espacial das espécies, determinando-se o limite mínimo de produtividade que melhor explica a distribuição potencial actual. Este valor foi depois utilizado para classificar os mapas da produtividade no clima futuro, determi-

nando-se assim as distribuições potenciais respeitantes a este cenário. Assumiu-se que o limite mínimo de sobrevivência no futuro se manterá igual ao actual, embora efeitos de aclimação e/ou melhoramento genético possam contribuir para o modificar.

8.4 IMPACTOS SOBRE A FLORESTA

8.4.1 Distribuição Actual da Floresta

A Figura 8.3 ilustra a distribuição da floresta actual segundo a 3.ª Revisão do Inventário Florestal Nacional (DGF, 2001a). Enquanto a norte do rio Tejo predomina a floresta de copado fechado, em que o pinheiro-bravo e o eucalipto são as espécies dominantes, a sul predomina a floresta aberta, dominada pelos montados de sobre e azinho. A estrutura de propriedade é também diferente: a norte do Tejo a propriedade é de reduzida dimensão, o que coloca sérios entraves à gestão dos espaços florestais, enquanto a sul as propriedades são geralmente de grande dimensão.

Para a análise dos resultados foi considerado útil dividir o território em três grandes regiões (Norte, Centro e Sul), que são subdivididas em interior e litoral. O objectivo foi agrupar zonas com ocupação do território semelhantes e que sejam relativamente homogêneas do ponto de vista climático, facilitando a interpretação dos resultados.

A floresta na região Norte (Figura 8.4) é dominada pelo pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*), que ocupa cerca de 40 % da área florestal e pelo eucalipto (*Eucalyptus globulus*), com uma ocupação de cerca de 35 %. Destaca-se também a elevada proporção de outras folhosas como por exemplo o carvalho-alvarinho (*Quercus robur*) e o carvalho-negral (*Quercus pyrenaica*). O Norte litoral é a região onde o pinheiro-bravo e o eucalipto podem atingir maior produtividade, pela conjugação de temperaturas amenas e elevada disponibilidade hídrica. No interior a influência continental no clima impõe restrições à produtividade vegetal.

A espécie dominante da região Centro é o pinheiro-bravo, que ocupa cerca de 50 % da área florestal (Figura 8.5). Com maior abundância relativa, ocorre por vezes em grandes extensões contínuas. Espécie de alta combustibilidade, a elevada sus-

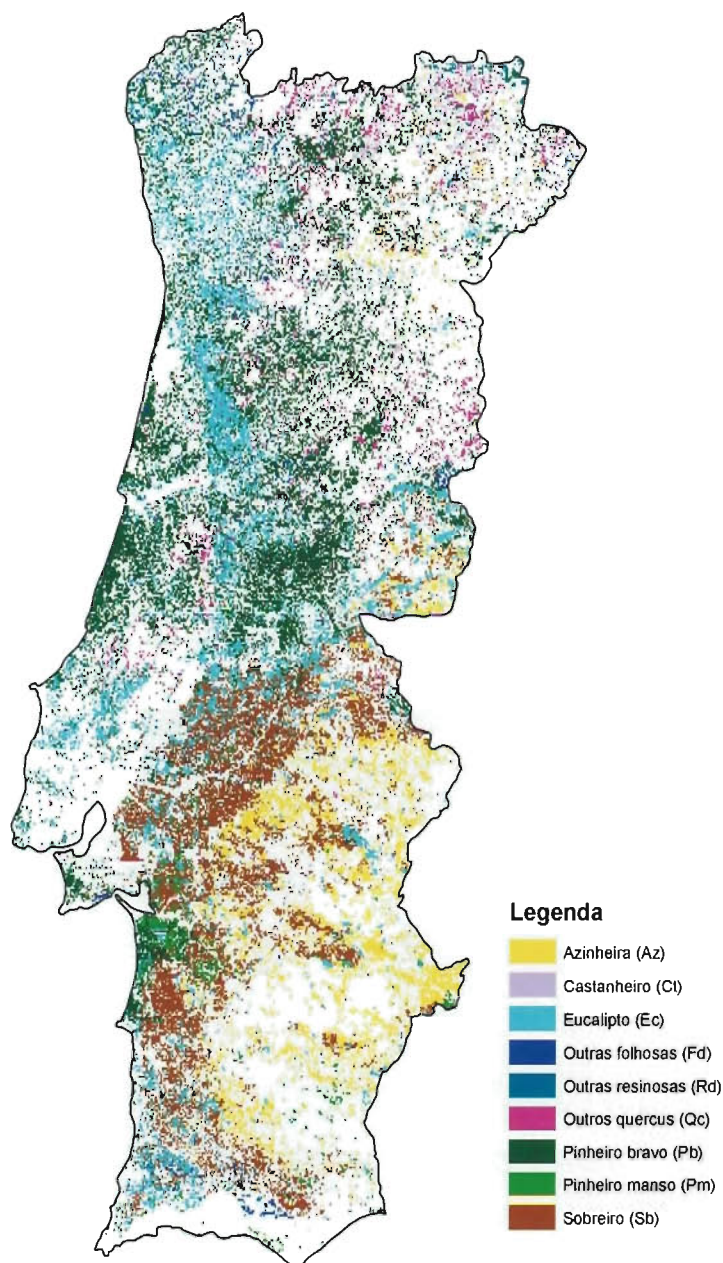


Figura 8.3 – Distribuição da floresta em Portugal (DGF, 2001a)

ceptibilidade aos incêndios resulta em larga medida da falta de compartimentação da paisagem, aliada ao relevo irregular e à deficiente gestão dos povoamentos. O eucalipto é a segunda espécie florestal desta zona. Os melhores povoamentos encontram-se na zona litoral, beneficiando da proximidade ao mar. Na zona interior, a influência continental e as cadeias montanhosas a ocidente ditam um clima mais severo, com Verões quentes e secos e Invernos frios, limitando fortemente a produtividade desta espécie.

A floresta da região Sul é dominada pelas quercíneas perenifólias (Figura 8.6). O sobreiro (*Quercus suber*), menos tolerante que a azinheira (*Quercus rotundifolia*) à secura, domina a zona litoral, sendo substituído pela azinheira à medida que a aridez se acentua. Uma grande parte da área ocupada por estas espécies corresponde aos montados, sistemas agroflorestais de copado descontínuo, frequentemente associados à pro-

dução pecuária extensiva no subcoberto. A baixa densidade dos montados é, sobretudo nas zonas mais áridas, um factor importante para a sobrevivência das árvores, ao aumentar o volume de solo explorável pelas raízes de cada árvore pode obter maior quinhão do recurso mais escasso nesta região, a água.

Na zona litoral encontram-se ainda o pinheiro-bravo e o pinheiro-manso (*Pinus pinca*), predominante em substratos arenosos, e o eucalipto. O pinheiro-manso é particularmente importante na zona de Alcácer do Sal, para a produção de pinhão, e tem conhecido uma grande expansão no interior alentejano, devido à sua tolerância à secura, embora a produtividade seja extremamente baixa. O eucalipto é ainda importante em termos de área, embora a sua produtividade seja geralmente muito baixa, com a excepção da serra de Monchique, mais pluviosa.

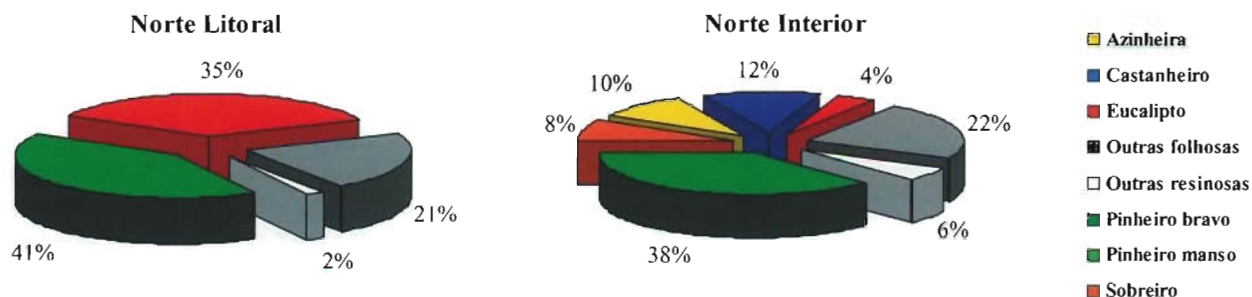


Figura 8.4 – Distribuição da área florestal na região Norte (DGF, 2001b)

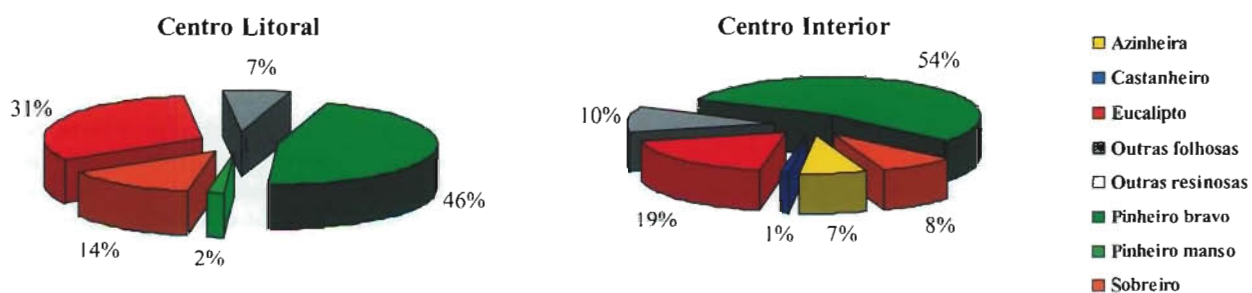


Figura 8.5 – Distribuição da área florestal na região Centro (DGF, 2001b)

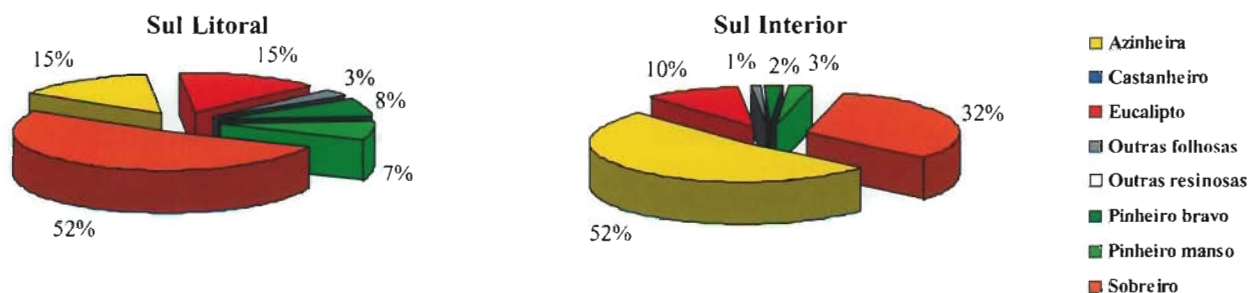


Figura 8.6 – Distribuição da área florestal na região Sul (DGF, 2001b)

8.4.2 Simulação da Produtividade da Floresta Actual

8.4.2.1 Variação Intra-Anual na Produtividade

A produtividade primária líquida (PPL) depende fundamentalmente da radiação solar interceptada pela vegetação, da temperatura ambiente e da água disponível no solo. A Figura 8.7 mostra a variação intra-anual da PPL do pinhal simulada para o clima actual. Distinguem-se quatro fases distintas, que correspondem às estações do ano: durante o Inverno a PPL é baixa, devido às baixas temperaturas e curta duração dos dias (menor radiação incidente); na Primavera a PPL aumenta significativamente, em resultado da elevação da temperatura e da radiação incidente e da disponibilidade de água; no Verão, quando se esgota a água armazenada no solo a PPL torna-se negativa, por as árvores cessarem de fotossintetizar, mantendo-se os gastos respiratórios; no final do Verão, início do Outono, com o reinício da chuva as árvores voltam a fotossintetizar, e como a temperatura e radiação ainda são elevadas, a PPL atinge valores relativamente altos.

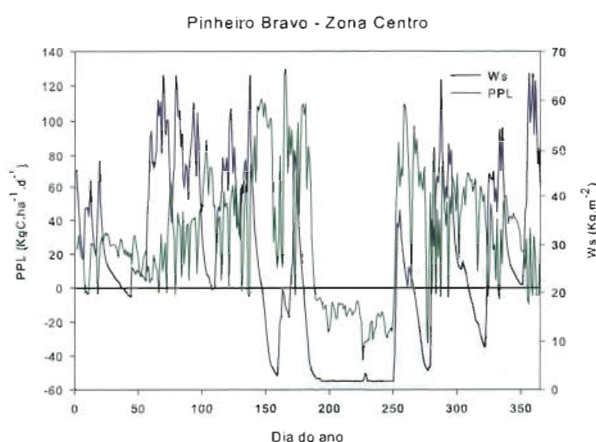


Figura 8.7 – Evolução da Produtividade Primária Líquida (PPL, linha verde) e água do solo (Ws, linha azul) num ano típico do clima actual para o pinheiro-bravo, segundo simulação pelo modelo GOTILWA+

O índice de área foliar (Figura 8.8) apresenta uma variação anual total de cerca de 12 %, atingindo o máximo no final do período de crescimento da Primavera. Quando a secura estival se instala, aumenta a queda de folhada, o que permite reduzir a respiração (a respiração das folhas pode representar até 35 % do carbono fixado diariamente), e também reduzir a superfície evaporativa (transpiração), funcionando como um mecanismo de protecção contra a desidratação. Após o começo das chuvas, no início do Outono, as árvores podem voltar a fotossintetizar rapidamente, pois ainda dispõem de uma área foliar importante.

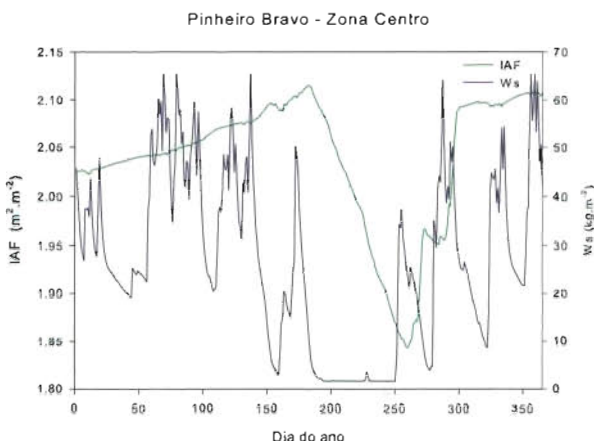


Figura 8.8 – Evolução do Índice de Área Foliar (IAF) e água do solo (Ws) num ano típico do clima actual para o pinheiro-bravo, segundo simulação pelo modelo GOTILWA+

8.4.2.2 Variação Interanual na Produtividade

Eucalipto

Os resultados da simulação com o modelo GOTILWA+ para o eucalipto (Figura 8.9) conseguem reproduzir de forma bastante consistente a produtividade real (Figura 8.10), em particular nas regiões onde a área de eucalipto tem significado: Norte litoral, Centro litoral e interior e Sul litoral. Nestas regiões a produtividade simulada para a classe de fertilidade mais alta aproxima-se da produtividade máxima real, reproduzindo o padrão espacial de distribuição da produtividade. Nas classes de menor fertilidade os valores simulados são mais altos que os reais, o que pode ser explicado em parte por nas simulações não se incluírem factores como ataques de pragas e doenças ou a disponibilidade em nutrientes. Nas regiões onde o eucalipto é uma cultura marginal (Norte interior e Sul interior) os valores simulados são superiores aos dados de produção, o que se pode dever também em parte à simplificação inerente à simulação e também à menor representatividade dos dados de produção. De um modo geral, o modelo consegue capturar bastante bem a variação da produtividade desta espécie no país.

Pinheiro-Bravo

A produtividade simulada do pinheiro-bravo (Figura 8.11) situa-se entre os 12,2 e os 6,7 $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de acréscimo médio anual (AMA) nas regiões Norte litoral e Centro litoral, e os 7,8 e 5,7 $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ no Norte interior e Centro interior, o que está de acordo com Oliveira *et al.* (2000) que referem valores para a produtividade máxima nestas regiões da ordem dos 13 $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. A produtividade

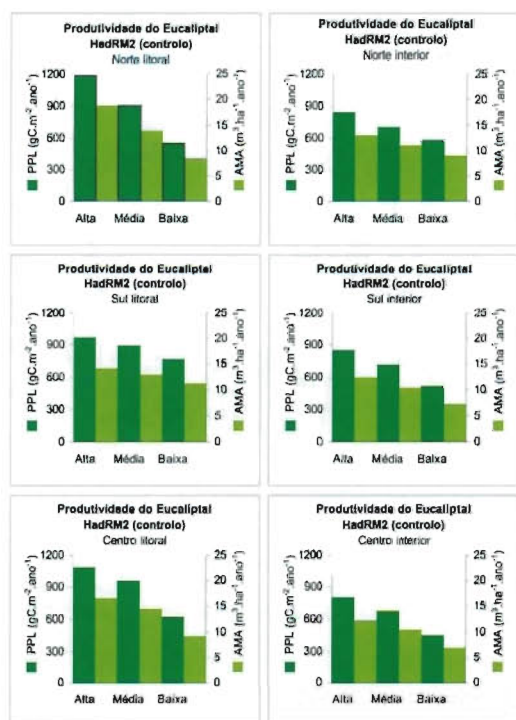


Figura 8.9 – Produtividade Primária Líquida e Acréscimo Médio Anual (aos 12 anos) do eucalipto

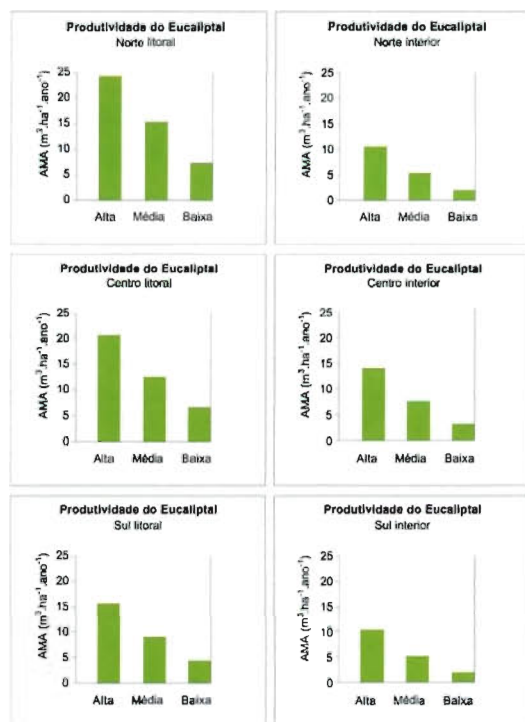


Figura 8.10 – Acréscimo Médio Anual (aos 12 anos) do eucalipto em três classes de fertilidade calculado com o modelo de produção Globulus 2.1 (Tomé *et al.*, 1997)

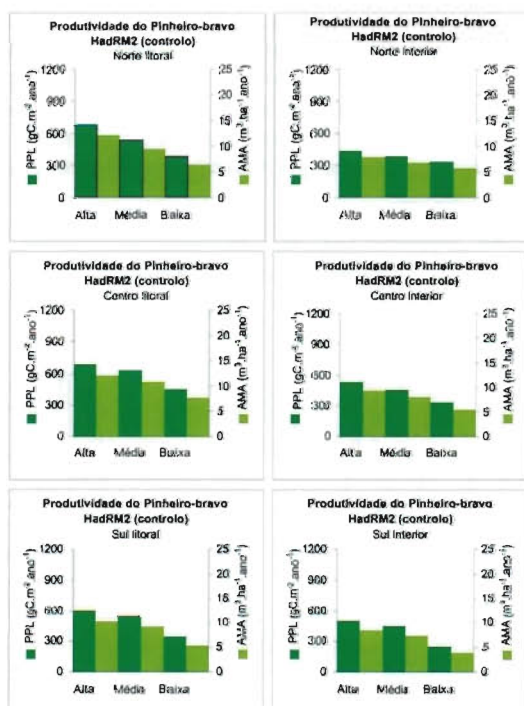


Figura 8.11 – Produtividade Primária Líquida e Acréscimo Médio Anual do pinheiro-bravo em três classes de fertilidade simulada pelo modelo GOTILWA+

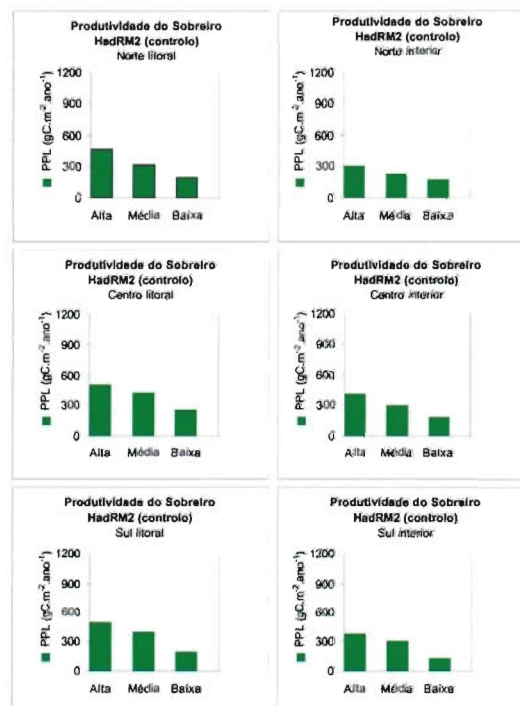


Figura 8.12 – Produtividade Primária Líquida e Acréscimo Médio Anual do sobreiro em três classes de fertilidade simulada pelo modelo GOTILWA+

simulada do pinheiro-bravo no Sul poderá estar algo sobrestimada: Oliveira *et al.* (2000) referem como valor médio para as zonas a Sul do Tejo $4 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, em solos arenosos, o que é comparável com a classe de fertilidade mais baixa, mas poderá haver alguma sobrestimação para os solos mais férteis.

Sobreiro

No caso do sobreiro não existem dados de produtividade que permitam verificar a validade do modelo, pelo que a análise dos resultados deve ser ainda mais cautelosa que para as espécies anteriores. Não obstante, a distribuição da produtividade potencial para esta espécie parece razoável (Figura 8.12), sendo menor no Norte, devido à menor temperatura, atingindo o máximo no Centro litoral, devido à conjugação de humidade elevada e temperatura mais altas, e sendo ligeiramente inferior no Sul litoral, devido à menor precipitação. Nas regiões interiores, as temperaturas mais baixas e a maior aridez limitam a produtividade da espécie.

8.4.3 Simulação da Produtividade da Floresta Actual: Cenário Futuro

8.4.3.1 Variação Intra-Anual da Produtividade

O cenário climático futuro aqui estudado (HadRM2-IS92-a, ver Capítulo 2) é caracterizado por um aumento substancial da temperatura e por uma redução da disponibilidade hídrica para as plantas, em consequência da redução da precipitação anual e, principalmente, da sua concentração no período do Inverno. Em consequência, o período de secura estival inicia-se mais cedo e termina mais tarde, sendo a sua intensidade também maior devido às temperaturas mais elevadas.

A Figura 8.13 mostra a variação intra-anual da PPL do pinhal simulada para o clima futuro. A PPL atinge valores mais elevados mais cedo, devido principalmente ao aumento da temperatura, antecipando-se o início da estação de crescimento.

O início do período de *stress* hídrico também é antecipado, devido à menor precipitação da Primavera e ao aumento da evapotranspiração potencial, mas o principal impacto é na sua duração, que aumenta para praticamente o dobro da duração actual. A PPL é ainda afectada pelo aumento da temperatura, que aumenta as taxas de respiração, sofrendo portanto uma forte redução durante este período. A redução da precipitação do Outono contribui para atrasar o início do período de crescimento de Outono. A PPL neste período é também mais baixa, devido à forte redução da área foliar durante o Verão (Figura 8.14) e à época do ano mais tardia,

em que a radiação incidente é menor devido à menor duração dos dias.

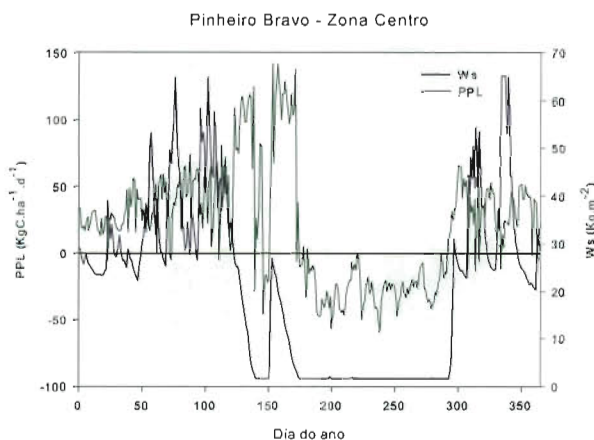


Figura 8.13 – Evolução da Produtividade Primária Líquida (PPL) e água do solo (Ws) num ano típico do clima futuro para o pinheiro-bravo, segundo simulação pelo modelo GOTILWA+

O índice de área foliar (Figura 8.14) apresenta uma variação anual superior (39 %) à simulação do clima actual, devido à maior intensidade e duração da seca estival. A área foliar aumenta durante o Inverno e Primavera, sofrendo uma forte redução durante o Verão. Quando a fotossíntese se reinicia, não há crescimento de novas folhas devido à forte depleção de reservas que ocorreu durante o Verão (recorde-se que no modelo GOTILWA+ a alocação de carbono para construção de novos tecidos apenas ocorre depois de estarem repostas as reservas). A redução de área foliar que se verifica neste período deve-se essencialmente à mortalidade natural das folhas, que não é reposta por haver poucos hidratos de carbono de reserva.

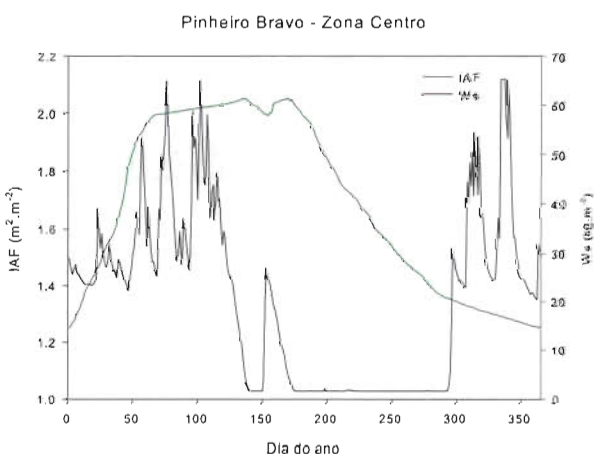


Figura 8.14 – Evolução do Índice de Área Foliar (IAF) e água do solo (Ws) num ano típico do clima futuro para o pinheiro-bravo, segundo simulação pelo modelo GOTILWA+

8.4.3.2 Variação Interanual da Produtividade

Eucalipto

A Figura 8.15 mostra a variação percentual da produtividade do eucalipto no período 2080-2099 em relação ao presente. Verifica-se que o eucalipto poderá aumentar a sua produtividade na região Norte litoral em cerca de 10%, em consequência do aumento de temperatura, que permite maiores taxas de crescimento no Inverno, e do aumento da concentração atmosférica de CO_2 , que aumenta as taxas fotossintéticas e reduz a condutância estomática, reduzindo a transpiração. No entanto, estes ganhos de produtividade estarão provavelmente restritos aos locais de Verões mais húmidos, pela proximidade ao oceano. No Norte interior verifica-se um ligeiro aumento da produtividade primária, mas que não se reflecte em aumento de produção de madeira, porque uma maior proporção do carbono fixado pela fotossíntese tem que ser utilizado na reposição das folhas e raízes finas que se perdem devido à secura estival.

Na região Centro, a produtividade do eucalipto poderá sofrer uma diminuição generalizada. No litoral, a produtividade

em volume de madeira desce cerca de 15 % em média, o que poderá comprometer a viabilidade económica nos locais de menor fertilidade. No interior, a redução de produtividade poderá atingir os 30 %, o que poderá eliminar o interesse por esta espécie, que já hoje apresenta produções baixas nesta região. É, no entanto, na região Sul que o eucalipto sofre o maior impacto, sendo provável que deixe de ter qualquer interesse económico e que encontre sérias dificuldades para sobreviver em grande parte desta região.

Pinheiro-Bravo

A produtividade do pinheiro-bravo no clima futuro (Figura 8.16) poderá aumentar na região Norte litoral, com ganhos de cerca de 23 % em termos de PPL e de 10 % em termos de volume de madeira, devido à maior proporção da PPL investida em folhas e raízes finas. No interior o aumento da PPL (cerca de 7 %) não é suficiente para compensar os gastos acrescidos, havendo uma diminuição da produção em volume de cerca de 12 %. No Centro litoral a produtividade em madeira decresce cerca de 27 % e a PPL cerca de 10 %, enquanto que o aumento de temperatura no interior permite

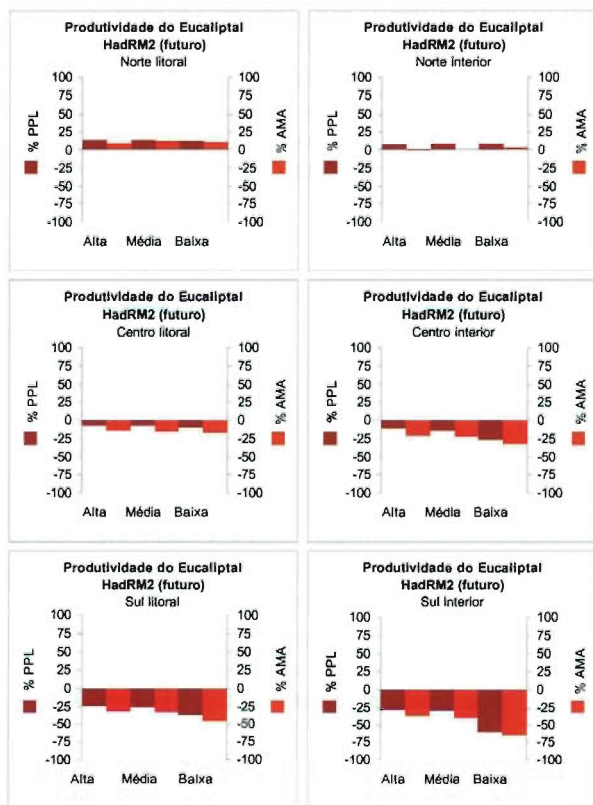


Figura 8.15 - Variação percentual da Produtividade Primária Líquida e Acréscimo Médio Anual (aos 12 anos) do eucalipto no cenário futuro

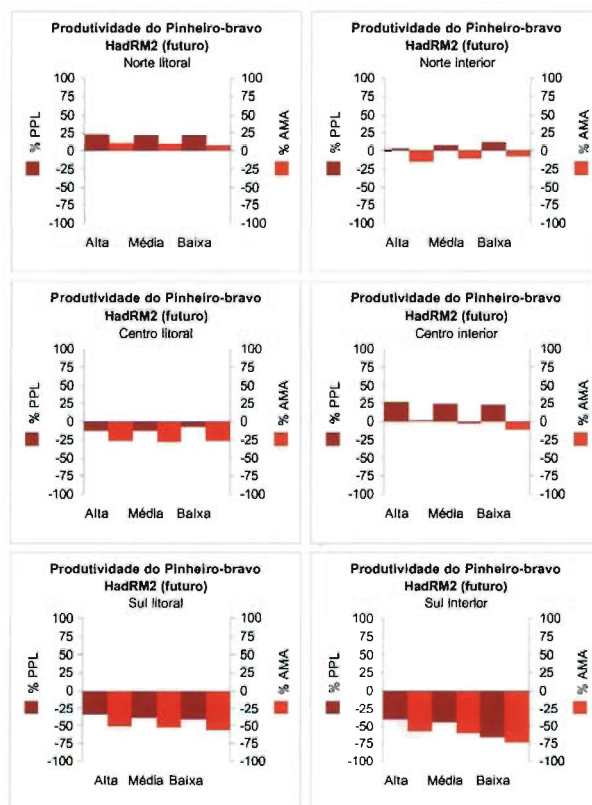


Figura 8.16 - Variação percentual da Produtividade Primária Líquida e Acréscimo Médio Anual (aos 12 anos) do pinheiro-bravo no cenário futuro

um aumento da PPL de 25 %. A produção de madeira no interior decresce nos solos de pior qualidade, mas poderá não se alterar significativamente nos solos melhores. A produtividade primária do pinheiro-bravo reduz-se de 35 a 40 % na região Sul litoral e de 40 a 66 % no interior, com perdas ainda maiores em volume de madeira, o que deverá significar uma forte redução da presença desta espécie nesta região.

Sobreiro

O impacto das alterações climáticas no sobreiro (Figura 8.17) é menos severo que para as outras espécies, devido à sua maior tolerância à secura e a ser explorado normalmente em baixas densidades de árvores – montado – o que resulta numa maior quantidade disponível por planta, admitindo que a competição entre arbustos ou ervas do sub-bosque e as árvores é mínima (Pereira *et al.*, 2004). A PPL do sobreiro aumenta na região Norte, de uma forma mais marcada no litoral que no interior. O aumento de produtividade é maior nos solos mais pobres devido à melhor utilização da água disponível que resulta do alargamento do período de crescimento causado pelo aumento da temperatura. Na região

Centro poderá haver um ligeiro aumento de produtividade no litoral, enquanto que no interior não há alterações significativas da produtividade em relação ao actual. No entanto, também no sobreiro é provável que uma maior proporção da PPL seja canalizada para a reconstituição da copa após períodos de secura intensa, o que significa menor crescimento do lenho e da cortiça e também maior *stress* ambiental, o que as fragilizará em relação ao ataque de pragas e doenças (Pereira *et al.*, 1999).

O impacto negativo na região Sul é muito forte nos solos de fraca capacidade de retenção de água, sugerindo o desaparecimento do sobreiro nestes solos, e moderado a nulo nos solos mais húmidos. No litoral estas quebras de produtividade são particularmente preocupantes, pois é onde se encontra uma parte importante da área de sobreiro. Os problemas de declínio do montado de sobreiro que se verificam na actualidade poderão ser agravados pelo aumento do *stress* ambiental, pondo em risco a perenidade do montado de sobreiro (Pereira *et al.*, 1999).

8.4.3.3 Impacto na Distribuição Potencial da Floresta

A distribuição actual e a distribuição potencial de cada espécie foram utilizadas para determinar qual o limite mínimo de produtividade que melhor explica a distribuição dessa espécie. O objectivo é verificar se a produtividade pode ser utilizada como indicador para a distribuição das espécies, identificando, pelo menos em traços gerais, as zonas onde a espécie pode prosperar ou não. As limitações inerentes à baixa resolução espacial da produtividade (a produtividade é simulada em células climáticas que representam o clima médio de um quadrado com cerca de 50 km de lado), aos próprios dados climáticos e também ao modelo utilizado não permitem obter uma representação exacta da distribuição geográfica das espécies, ou construir mapas detalhados da distribuição da produtividade, pelo que os resultados reflectem apenas a aptidão para uma dada espécie, sem distinguir entre as zonas óptimas e as marginais.

A Figura 8.18 ilustra relativamente bem a distribuição actual do pinheiro-bravo (Figura 8.19), identificando as zonas limitadas pelo frio (Nordeste) e pela secura (Alentejo). Ao aplicar o limite de produtividade ao mapa do cenário climático futuro (Figura 8.20), verifica-se que em toda a região Sul e no Sul da Beira Interior as condições climáticas se tornam inóspitas para o pinheiro, passando o limite sul da área do pinheiro para a zona do Pinhal interior. A norte há uma expansão da área para nordeste, o que significa que a altitude deixará de ser limitante para o pinheiro, devido ao aumento da temperatura.

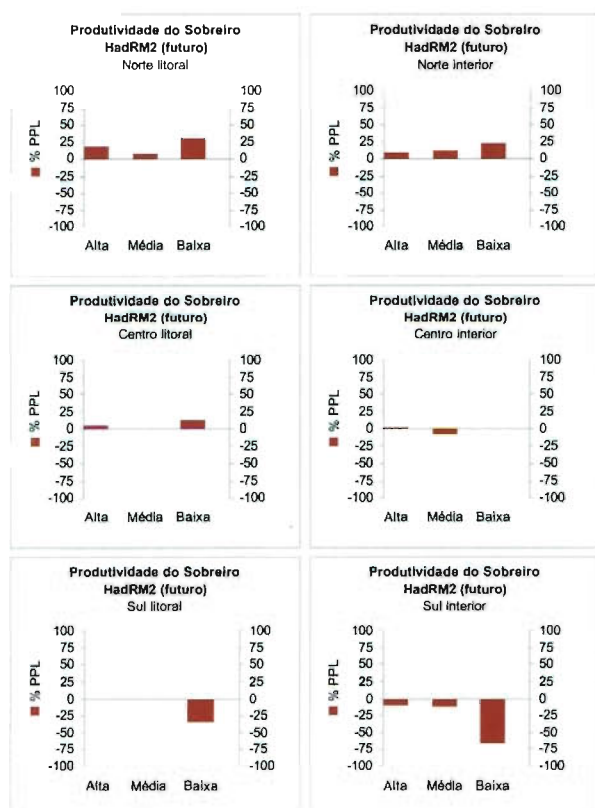


Figura 8.17 Variação percentual da Produtividade Primária Líquida do sobreiro no cenário futuro

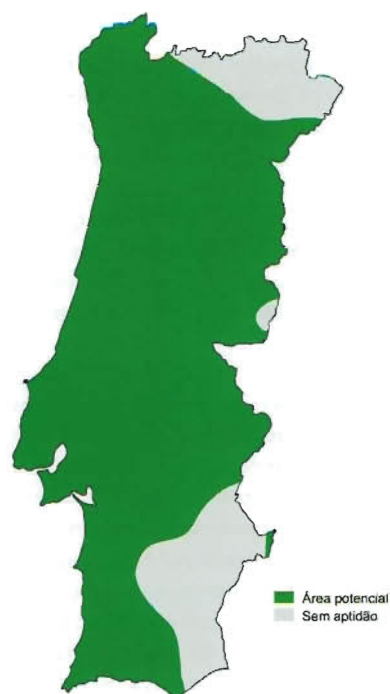


Figura 8.18 – Distribuição potencial actual do pinheiro-bravo, estimada a partir da produtividade no cenário climático de controlo

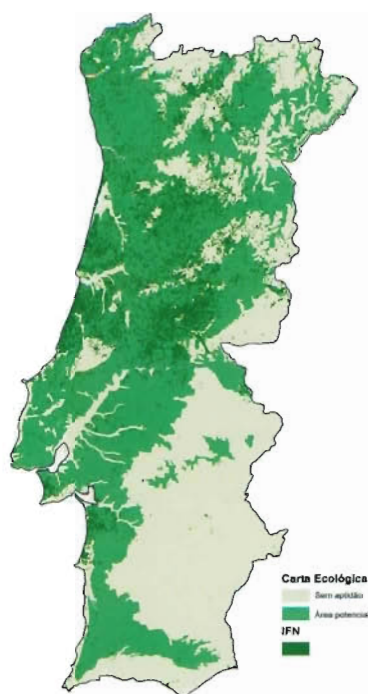


Figura 8.19 – Distribuição do pinheiro-bravo: área potencial (Carta Ecológica – [IA, 2003]) e área actual (Inventário Florestal Nacional [DGF, 2001a])



Figura 8.20 – Distribuição potencial do pinheiro-bravo no cenário climático futuro

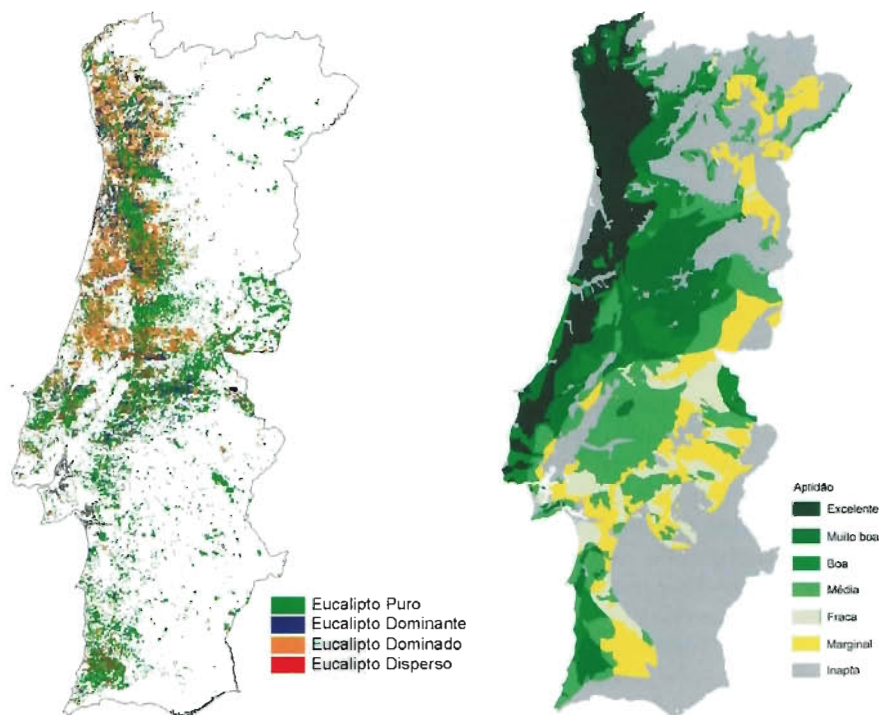


Figura 8.21 – Distribuição do eucalipto: área actual (CELPA) e área potencial (RAIZ) (CELPA, 2004)

Para a análise da distribuição do eucalipto recorreremos ao mapa de distribuição de povoamentos de eucalipto produzido pela CELPA e ao mapa de distribuição das áreas com aptidão para o eucalipto, produzido pelo RAIZ (Figura 8.21). A distribuição actual estimada (Figura 8.22) é bastante semelhante à do pinheiro-bravo, com zonas sem aptidão no Nordeste, no Sul interior e na Beira Interior Sul. A distribuição estimada é notavelmente próxima da distribuição das zonas com aptidão actuais (Figura 8.21). No cenário climático futuro (Figura 8.23) a área de distribuição do eucalipto é praticamente igual à do pinheiro-bravo, com a excepção da serra de Monchique. Note-se que o pinheiro também atinge um máximo local de produtividade nesta zona, mas que se encontra cerca de 10 % abaixo do limite mínimo. Tal como para o pinheiro, a limitação pela altitude deverá deixar de se fazer sentir devido ao aumento de temperatura.

Também o sobreiro apresenta uma área de distribuição potencial que se estende de norte a sul do país (Figura 8.24), embora a área de povoamentos se encontre praticamente reduzida ao Sul litoral e vale do Tejo. A estimativa da distribuição baseada na produtividade é semelhante às espécies anteriores, com uma zona limitada pelo frio no Norte e zonas limitadas pela secura no Sul interior e na Beira Interior Sul. No cenário futuro (Figura 8.26) o sobreiro sofre um impacto moderado, com uma redução da área potencial a sul e na Beira Interior, mas que «empurra» para o limite as zonas onde esta espécie é mais abundante na actualidade. A norte mais uma vez se verifica que o aumento da temperatura elimina as barreiras da altitude.

8.4.3.4 Impacto nos Stocks de Carbono

Como já referimos, o aquecimento poderá ter como consequência decréscimos no *stock* de carbono e na Produtividade Líquida do Ecossistema (PLE), afectando tanto a biomassa vegetal com o reservatório de carbono no solo. Por outro lado, condições de *stress* hídrico mais severo sobre as plantas poderão canalizar uma fracção importante da PPL para componentes de biomassa de vida curta, como as folhas e raízes finas, reduzindo a proporção de biomassa de maior tempo de residência, como o tronco ou as raízes grossas, exacerbando o efeito nos *stocks* de uma redução da produtividade. Perante os cenários descritos anteriormente, será de esperar uma diminuição generalizada do *stock* de carbono na componente biomassa do país. Esta tendência para o decréscimo na PLE poderá ser acentuada quando passamos à análise da PLB – *i.e.*, uma análise de longo prazo e numa escala regional – pelo previsível aumento na frequência de incêndios, que resultará numa perda líquida de carbono e conduzirá a uma diminuição nas classes de idade

da vegetação arbórea, diminuindo desta forma também a biomassa acima do solo. Os incêndios florestais contribuem ainda para as emissões de GEE durante o próprio incêndio. Por exemplo, em 2003 – ano excepcional em que arderam 421 835 ha, dos quais 283 836 ha correspondem a floresta (8,6 % da área florestal total) e 137 999 ha a matos, contra uma média de 107 000 ha/ano de 1980 a 2003 – a quantidade de gases com efeito de estufa (GEE) libertados pelos incêndios correspondeu a cerca de 50 % do valor médio anual registado para o sector dos transportes ao longo da década de 1990 (Silva, 2004).

O armazenamento de carbono no solo depende fundamentalmente da quantidade de biomassa que entra para este reservatório e da taxa de decomposição, que é influenciada pela temperatura, pela humidade e pela composição da biomassa e dos organismos do solo. O aumento da temperatura acelera as taxas de decomposição desde que haja água disponível mas, em situações de *stress* hídrico, a respiração do solo é inibida. No cenário climático futuro é portanto possível que haja um aumento significativo das taxas de decomposição nos períodos de Inverno e Primavera, devido ao aumento simultâneo da temperatura e da disponibilidade de água, mas durante o período de secura estival, quando a temperatura atinge os valores máximos, é provável que a respiração heterotrófica seja baixa. Porém, um fenómeno importante típico das regiões com clima de Verão longo e seco como são as de clima mediterrânico, o chamado efeito de Birch, poderá contrariar esta tendência. Este efeito consiste num surto de libertação respiratória de CO₂ na sequência da re-hidratação do solo quando ocorrem as primeiras chuvas do fim do Verão. Hoje sabemos que este efeito pode contribuir de modo muito substancial para reduzir o sequestro de carbono em sistemas como o montado (Jarvis *et al.*, 2004). O aumento do período anual sem chuva e o espaçamento temporal entre chuvadas sugeridos nos cenários de clima futuro, podem acentuar o significado deste processo para o balanço anual de carbono.

8.4.4 Discussão

Os resultados do estudo da produtividade apontam para um impacto severo das alterações climáticas nas florestas em Portugal. No entanto, a interpretação dos resultados deve ter em conta as limitações inerentes à metodologia utilizada. O modelo utilizado reflecte o conhecimento actual sobre o funcionamento da componente arbórea dos ecossistemas florestais, e está obviamente sujeito às limitações de concepção e de modelação que existem actualmente. Uma das principais fontes de incerteza inerentes ao modelo é a resposta da respiração à variação da temperatura. Os fluxos respiratórios são uma componente fundamental do

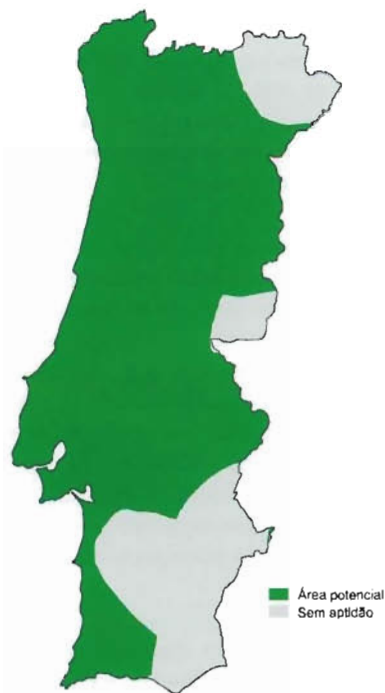


Figura 8.22 – Distribuição potencial actual do eucalipto, estimada a partir da produtividade no cenário climático de controlo

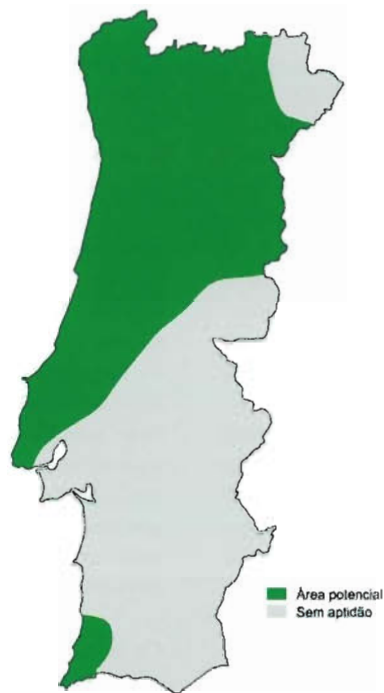


Figura 8.23 – Distribuição potencial do eucalipto no cenário climático futuro

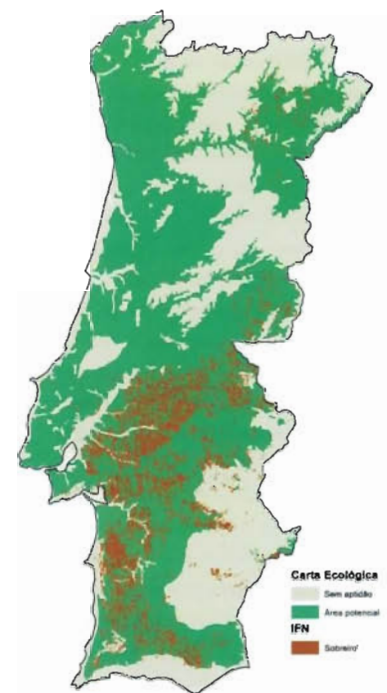


Figura 8.24 – Distribuição do sobreiro: área potencial (Carta Ecológica – [IA, 2003]) e área actual (Inventário Florestal Nacional [DGF, 2001a])

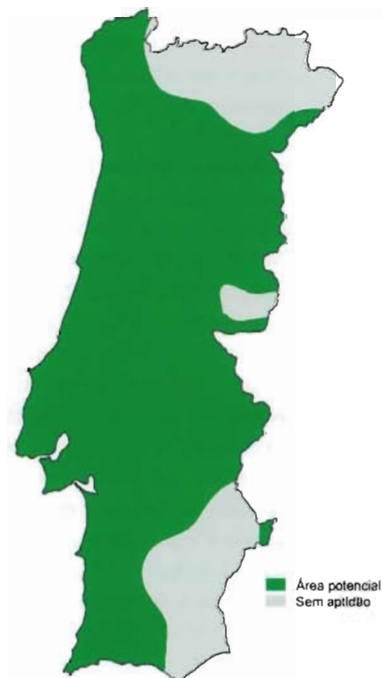


Figura 8.25 – Distribuição potencial actual do sobreiro, estimada a partir da produtividade no cenário climático de controlo



Figura 8.26 – Distribuição potencial do sobreiro no cenário climático futuro

balanço de carbono nos ecossistemas terrestres (Valentini *et al.*, 2000), mas os mecanismos fisiológicos que os governam permanecem ainda pouco conhecidos (Atkin e Tjoelker, 2003). O aumento exponencial da taxa de respiração das plantas com a temperatura é um dos principais factores responsáveis pela redução da produtividade num cenário de alteração climática, aumentando substancialmente a perda de carbono assimilado durante o Verão. Embora se trate de uma resposta fisiológica bem estabelecida, e por isso utilizada na formulação do modelo (Sabaté, 2003), existem evidências experimentais que pode ocorrer uma aclimação da respiração à temperatura ambiente. Pereira *et al.* (1986) e Atkin *et al.* (2000) observaram uma translação da curva de resposta da respiração de plantas de eucalipto à temperatura de tal modo que as taxas de respiração eram da mesma ordem de grandeza no Inverno e no Verão apesar da alteração na temperatura. Uma optimização deste tipo poderá contribuir para mitigar substancialmente os efeitos das altas temperaturas na produtividade, reduzindo os gastos respiratórios no Verão. O mesmo se poderá passar com a respiração heterotrófica do solo. Numa experiência de aquecimento do solo verificou-se que a resposta inicial foi um aumento da respiração heterotrófica, mas passados 4 anos esse aumento cessou, regressando-se aos níveis anteriores (Linder *et al.*, 1999).

Um factor determinante para a ocorrência de vegetação arbórea nas zonas áridas parece ser a manutenção de taxas de transpiração relativamente elevadas durante o período de secura estival devido ao acesso à toalha freática pelas raízes profundas (Gratani *et al.*, 2000; David *et al.*, 2004; Pereira *et al.*, 2001), especialmente no caso de povoamentos do tipo savana como os montados. Isto pode significar que a presença de vegetação arbórea em algumas das zonas mais áridas poderá estar mais dependente do acesso a água subterrânea do que propriamente do clima. O impacto das alterações nas águas subterrâneas perto da superfície pode portanto ser também um factor fundamental para a sobrevivência da floresta nestas zonas.

Uma questão que se salienta é: como se processará a mortalidade das árvores na floresta? Tal como se observou no ponto 3.4.2.1, a resposta imediata das florestas à secura é a redução da PPL. Se as condições se tornarem muito severas poderá ocorrer a morte das plantas. As plantas jovens são as primeiras a ser afectadas, por não possuírem sistemas radiculares profundos e as suas reservas de fotoassimilados serão diminutas, podendo mesmo morrer em eventos de intensidade moderada. Por seu turno, as árvores adultas possuem uma tolerância maior, sendo mais susceptíveis a eventos de maior severidade ou à sucessão de vários anos secos. É provável que os primeiros indícios sejam uma maior dificuldade na regeneração da floresta, tal como já se observa actualmente

nas zonas mais áridas da área de distribuição do sobreiro e azinheira (Sampaio, 2003), e maiores taxas de mortalidade durante os primeiros anos de vida das árvores. Os povoamentos adultos tornar-se-ão mais esparsos, à medida que se processa a mortalidade natural, sem que haja regeneração suficiente para substituir as árvores mortas.

Esta questão é também pertinente para investigar a migração das espécies ao longo de um gradiente geográfico (Pitelka, 1997). Acresce que para além da dinâmica das populações de árvores nos povoamentos, a migração pode ser fortemente limitada pela fragmentação da continuidade florestal devido à acção humana – artificialidade da floresta, urbanização, outras obras de engenharia. Assim, não será de esperar uma importante migração natural de espécies arbóreas pois, para além das limitações geográficas, há que considerar que a rapidez das alterações no clima não será compatível com a dinâmica da colonização de novos territórios pelas árvores.

Os impactos indirectos das alterações climáticas na floresta, nomeadamente no risco de incêndios florestais ou na ocorrência de pragas e doenças, poderão também ter uma influência decisiva. A acção dos agentes bióticos herbívoros (principalmente insectos) e patogénicos (sobretudo fungos e bactérias) pode também contribuir para aumentar a mortalidade na floresta, e, em casos extremos, causar uma destruição maciça. O aumento do *stress* a que as plantas estarão submetidas torna-as mais susceptíveis a ataques de agentes bióticos, e a interacção com outros fenómenos, como os incêndios florestais ou o derrube por tempestades, pode potenciar a sua ocorrência.

As alterações climáticas aumentam fortemente o risco meteorológico de incêndio (Pereira *et al.*, 2002), podendo tornar frequentes eventos como os do Verão de 2003, em que arderam cerca de 280 000 ha de floresta num total de cerca 400 000 ha de área ardida, na sequência de uma vaga de calor (Pereira e Santos, 2003). A resposta rápida do regime de fogos florestais a alterações do clima (Flannigan *et al.*, 1998; Stocks *et al.*, 1998) pode potencialmente ultrapassar os efeitos directos das alterações climáticas na distribuição das espécies florestais. No presente estudo verifica-se que o aumento da intensidade e duração do período de secura estival tem como consequência um aumento da queda de folhada neste período, aumentando a quantidade de biomassa altamente combustível, o que poderá contribuir para facilitar as ignições. A redução do índice de área foliar resultante quer da diminuição da produtividade, quer da redução da densidade arbórea, poderá também contribuir para o aumento da vegetação arbustiva heliófila, aumentando a biomassa combustível. Adicionalmente, durante os períodos de secura estival a taxa de decomposição da folhada reduz-se (Reichstein *et al.*,

2002), podendo contribuir para um aumento da biomassa combustível sobre o solo neste período do ano.

O aumento das chuvadas de grande intensidade poderá ser indicador de uma maior frequência de tempestades, pouco frequentes no nosso clima. As consequências deste tipo de eventos podem ser devastadoras, destruindo num curto espaço de tempo vastas áreas de floresta e potenciando ataques massivos de pragas.

Diversos temas ficaram por abordar ou aprofundar, devido não só a limitações de tempo ou recursos, como também às carências de conhecimento de base sobre o funcionamento dos ecossistemas do nosso país. Fica uma lista dos principais temas que consideramos de particular relevo:

- Aperfeiçoar os modelos de base funcional (leia-se fisiológica) para a simulação dos impactos dos cenários climáticos, tendo em conta a heterogeneidade espacial (incluindo as comunidades multicamada como os montados e a dinâmica ao nível da paisagem) e a variação temporal.
- Utilizar o maior número possível de diferentes cenários climáticos e procurar melhorar a sua discriminação geográfica.
- Analisar os ecossistemas arbustivos.
- Analisar os impactos ao nível do solo.
- Integrar os efeitos indirectos (ex.: fogos e pragas e doenças) das alterações climáticas na produtividade.
- Implementar e manter uma rede de locais de estudo de longo prazo.
- Integrar na modelação as consequências para a gestão e a economia.
- Avaliar o impacto económico de um risco acrescido de incêndio.

8.5 MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

Na primeira fase do Projecto SIAM foi proposto um conjunto de medidas de adaptação (ver Pereira *et al.*, 2002). Optámos por destacar aquelas que nos pareceram de maior importância. Note-se que algumas das medidas listadas dizem respeito à boa gestão florestal independentemente das alterações climáticas. Todavia, a sua pertinência aumenta nos cenários de clima do futuro.

- A gestão florestal deve ser adaptativa, incorporando o conhecimento emergente sobre as interações entre clima e floresta e encarando a gestão como um contínuo processo de aprendizagem (Dale *et al.*, 2001). É essencial a implementação de locais de experimentação de longo termo para a monitorização e investigação de ecossistemas-chave. A investigação deve ser vocacionada para os efeitos do clima em mudança sobre o ecossistema e multidisciplinar, beneficiando das sinergias entre diferentes ramos das ciências biológicas.

- A escolha de espécies a utilizar na arborização deve dar especial atenção ao potencial produtivo do local, em especial à extensão do período de crescimento e à duração da época de secura.
- A tolerância à secura das espécies a utilizar na arborização deve ser superior às condições médias actuais.
- A utilização de espécies exigentes em humidade deve ser restringida aos melhores locais.
- Nas regiões de montanha, o aumento da temperatura, conjugado com o efeito fertilizante do CO₂, poderá aumentar a produtividade, permitindo a utilização de espécies menos tolerantes ao frio.
- Na floresta de produção, os programas de melhoramento genético podem promover a adaptação a temperaturas mais elevadas e a maiores *stresses* hídricos, principalmente para as espécies de elevado valor económico, como o sobreiro, pinheiro-bravo e, eventualmente, eucalipto.
- A redução da densidade de arborização poderá aumentar a probabilidade de sobrevivência das árvores se diminuir os consumos de água. Note-se porém que há efeitos contraditórios nesta medida, (1) porque o efeito pretendido só será conseguido se a água poupada servir para garantir a sobrevivência dos indivíduos de interesse e não a dos competidores (vegetação arbustiva) e (2) porque o desenvolvimento de um sub-bosque abundante devido à abertura do coberto pode incrementar a acumulação de biomassa no sub-bosque e multiplicar o risco de fogo. A silvo-pastorícia com pastagens permanentes pode ser um meio de manter os povoamentos do tipo montado «limpos» e menos susceptíveis ao fogo.
- Os cortes culturais (limpezas e desbastes) devem promover o vigor e estabilidade do povoamento, reduzindo o risco de derrube pelo vento. Em geral tal pode traduzir-se por revoluções longas, formulação de calendários de desbastes adequados, promovendo a estabilidade da árvore individual, e a desramação das árvores para obter madeira de maior qualidade.
- Na preparação do terreno deve ser evitada a mobilização total do solo devido ao maior risco de erosão do solo previsto para o futuro - maior concentração da época da chuva.
- Num cenário de aumento severo do risco de incêndio, a política de gestão de fogos florestais deve visar a sua prevenção e não apenas o combate, que tem eficácia reduzida e custos elevados. A prevenção dos incêndios deve ser objecto de uma abordagem multifacetada, quer de um ponto de vista da silvicultura, quer do ponto de vista da detecção e combate, sem descurar a envolvente ambiental e social. No contexto das mudanças climáticas é essencial uma contínua monitorização e pesquisa, a preparação para actuar em situações extremas do ponto de vista climático e fazer uma gestão adaptativa da floresta, tendo em conta o risco e o regime de fogo.

- Os planos regionais de ordenamento florestal deverão atribuir áreas substanciais a redes de corta-fogos e promover a descontinuidade florestal na paisagem. O planeamento da exploração florestal a nível regional poderá também contribuir para reduzir a continuidade das manchas florestais.
- A monitorização e as medidas de prevenção contra pragas e doenças devem ser reforçadas, incluindo organismos que se possam tornar perigosos no futuro.
- Desenvolvimento e implementação de programas de gestão integrada de pragas e doenças e aumento da investigação nesta área.
- As grandes extensões contínuas de povoamentos monoespecíficos devem ser evitadas, por serem mais susceptíveis a ataques por pragas e doenças, em alternativa deve-se recorrer a povoamentos mistos e à promoção da diversidade nas orlas dos povoamentos.
- O controlo fitossanitário do comércio internacional deve ser reforçado, visando a prevenção de introdução de novos organismos.
- Deve ser promovido o aumento do sequestro de carbono nas florestas.

8.6 BIODIVERSIDADE

No âmbito deste trabalho, o estudo da diversidade biológica centrou-se em dois temas distintos. Numa primeira parte, estuda-se os impactos das alterações climáticas sobre os principais tipos de vegetação. Os ecossistemas seleccionados foram: floresta mista de folhosas, pinhal/eucaliptal e montado e bosques de sobreiro e azinheira. Com base em revisão bibliográfica e no conhecimento de especialistas, salientam-se as principais alterações nestas fitocomunidades (por exemplo, disponibilidade de nichos ecológicos, alteração da complexidade e da estratificação vertical e horizontal da vegetação), com implicações sobre a diversidade biológica.

Numa segunda fase, dada a impossibilidade de tratar todos os grupos de espécies, optou-se por seleccionar o grupo taxonómico das espécies de peixes em meio dulciaquícola pela: 1) existência de mais informação disponível; e 2) pela importância dos sistemas fluviais dulciaquícolas na manutenção da diversidade de espécies da ictiofauna, sobretudo devido ao actual estado de degradação da integridade biótica dos ecossistemas fluviais portugueses (Moreira *et al.*, 2002, e referências nele contidas). Esta análise baseou-se nos cenários climáticos resultantes de simulações realizadas e consistiu numa avaliação por especialistas dos possíveis impactos das alterações climáticas nas mudanças térmicas das águas, que vão afectar os padrões hidrológicos do escoamento, determinantes para o funcionamento de ecossistemas aquáticos e para o uso do solo das bacias de drenagem.

8.6.1 Alterações na Vegetação

8.6.1.1 Simulação da Vegetação Potencial

A aproximação utilizada neste estudo não produzirá informação sobre alterações na riqueza em espécies propriamente dita (Pereira *et al.*, 2002). A abordagem utilizada sustenta-se na aplicação do modelo BIOME4 que permite a simulação da vegetação potencial para cenários de clima futuro. Trata-se de um modelo biogeográfico e biogeoquímico que simula a distribuição de tipos de vegetação potenciais (biomas) de acordo com um conjunto de variáveis climáticas (temperatura média mensal, precipitação, nebulosidade, temperaturas mínimas absolutas), e de propriedades físicas do solo (Kaplan *et al.*, 2003).

A metodologia utilizada para produção dos resultados do modelo BIOME4 para os cenários HadRM3 (A2 e B2) (ver Capítulo 2) foi delineada de forma a ser possível a comparação dos resultados obtidos com as simulações do cenário de controlo efectuadas com o modelo HadRM2, testado anteriormente com resultados satisfatórios. Verificou-se que a aplicação do modelo BIOME4 ao cenário de referência HadRM3 para fins de validação, não reproduziu de forma consistente a vegetação actual. Este facto poderá estar relacionado com uma forte subestimação da precipitação em algumas regiões do Sul do país, reflectindo-se na prescrição de biomas muito simplificados, sem vegetação lenhosa, característicos de climas muito severos e que não reflectem o tipo de vegetação actualmente existente.

Efectuou-se assim uma interpolação das coordenadas da grelha do modelo HadRM3 para as coordenadas da grelha do HadRM2 ao que se seguiu a determinação da diferença entre os cenários futuros do HadRM3 e o cenário de controlo do HadRM3. Estas diferenças foram aplicadas ao cenário de controlo do HadRM2 reproduzindo assim os cenários futuros do HadRM3 - (A2 e B2).

Impactos na Distribuição dos Ecossistemas

A distribuição dos tipos de biomas no cenário de controlo do modelo BIOME4 reproduz, de forma consistente, a distribuição da vegetação actualmente existente (Figura 8.27). A linha a vermelho representa uma divisão aproximada dos dois biomas principais prescritos pelo modelo BIOME4: Floresta mista de regiões quentes e Floresta e matos temperados xerofíticos e esclerofíticos. Tal como já anteriormente constatado (Pereira *et al.*, 2002), parece ocorrer uma ligeira sobreestimação da precipitação sobretudo nas regiões do Centro litoral a norte de Lisboa e ao longo do complexo montanhoso Montejunto-Estrela, onde é prescrito um tipo

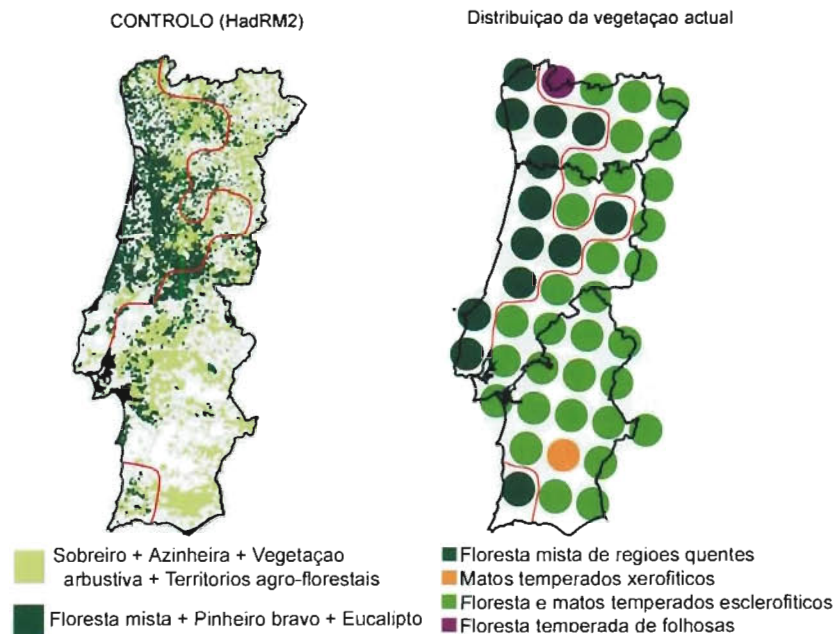


Figura 8.27 – Comparação da distribuição da vegetação actual (CORINE Landcover) (à direita) com a distribuição dos biomas prescritos pelo modelo (à esquerda)

de vegetação mais rico em comparação com a que de facto aí ocorre. Observa-se que o bioma correspondente a Floresta mista de regiões quentes (Figura 8.27), que domina das regiões do Norte e Centro litoral e também na serra de Monchique, é prescrito nas áreas actualmente ocupadas por floresta mista de resinosas e folhosas de entre as quais se destacam as manchas de pinheiro-bravo e eucaliptal. O bioma Floresta e matos temperados esclerofíticos, que ocorre sobretudo nas regiões de influência mediterrânica, surge nas áreas ocupadas por montado, territórios agroflorestais e vegetação arbustiva.

Salienta-se ainda que o bioma Floresta mista temperada é prescrito no Minho, coincidente com a região ecologicamente mais favorável ao desenvolvimento da vegetação e onde ocorrem as espécies florestais mais nobres. Por outro lado, o bioma Matos temperados xerofíticos surge nas regiões mais secas e áridas do Sul do país, onde se encontram fitocenoses típicas de regiões áridas, destacando-se por exemplo o esteval e giestal dos solos esqueléticos do Baixo Alentejo. Os cenários futuros indicam uma alteração acentuada dos tipos de comunidades vegetais potenciais no futuro em comparação com os actualmente existentes.

Pela observação da Figura 8.28, constata-se que, os vários cenários do futuro são coincidentes, ao admitirem que a maior parte do país poderá assistir a uma acentuada alteração da estrutura e composição dos tipos de vegetação

principais. Porém, no cenário futuro HaDRM3 (A2 ou B2), especialmente em algumas regiões do Centro do país, o efeito combinado do aumento das temperaturas nos meses de Inverno (com o aumento da estação de crescimento), e o efeito fertilizante do aumento da concentração de CO_2 na atmosfera, podem induzir a uma maior produtividade vegetal. Tal facto poderá beneficiar o processo de colonização de zonas de maior altitude, até então limitadas pelas baixas temperaturas, mas obviamente apenas quando a qualidade dos solos o permitir.

Os resultados para os cenários climáticos do HadRM3, revelam que o cenário A2 prescreve, comparativamente com o cenário B2, tipos de biomas mais simplificados e característicos de regiões mais áridas, dominadas por vegetação esclerofita e por isso melhor adaptada a condições de deficiência

hídrica. Neste cenário, o bioma caracterizado por matos temperados xerofíticos, surge nas regiões do Alentejo de um modo geral (exceptuando a região da serra de Monchique), na região Centro interior a sul da serra do Açor, assim como na região de Montesinho. Estas áreas são actualmente ocupadas por sobreiro e azinheira, sobretudo azinheira, espécie florestal muito bem adaptada a condições de défice hídrico acentuado. Em algumas zonas, estas espécies encontram-se já nos seus limites climáticos, pelo que a regeneração dos povoamentos num cenário climático mais árido poderá estar seriamente comprometida. A vegetação que terá melhor possibilidade de persistir às novas condições, será dominada por comunidades simplificadas de matagais, muito provavelmente menos diversificadas e altamente susceptíveis ao fogo. Salienta-se que, embora este bioma seja prescrito ao longo do vale do rio Tejo, esta situação não é esperada, dado que, neste caso, a elevada disponibilidade de água que resulta do processo hidrológico não é captada pelo modelo que apenas considera o clima.

Floresta Mista de Folhosas

Estes ecossistemas ocupam actualmente 7 % da área de floresta de Portugal Continental (Figura 8.29) e distribuem-se essencialmente pelas regiões de maior influência atlântica, onde a aridez estival é ligeira e, consequentemente, onde é maior a produtividade primária líquida. De entre as espé-

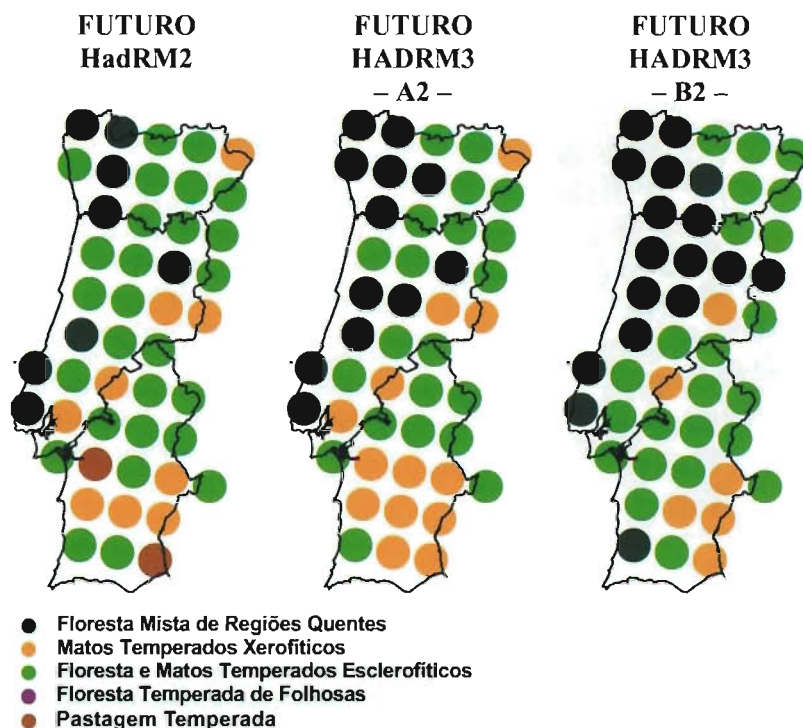


Figura 8.28 – Distribuição dos principais biomas em Portugal Continental de acordo com o cenário de referência (HadRM2), o cenário futuro HadRM2, o cenário futuro HadRM3 (A2) e HadRM3 (B2)

cies indicadoras destes ecossistemas (folhosas perenifólias ou caducifólias), destacam-se o carvalho-alvarinho (*Quercus robur*), o carvalho-negral (*Quercus pyrenaica*) e os bordos (*Acer* spp.). Esta vegetação coabita com espécies características de regiões mediterrâneas como o sobreiro (*Quercus suber*), o medronheiro (*Arbutus unedo*) e o loureiro (*Laurus nobilis*).

Estes ecossistemas incluem os exemplares de vegetação que mais se aproximam da chamada «floresta natural», podendo, inclusive, corresponder a etapas climáticas² mais complexas e por esse motivo mais interessantes do ponto de vista de diversidade biológica. De facto, a sua estrutura complexa, multiestratificada, com idades e dimensões variadas, associada a um subcoberto de arbustos e herbáceas diversificado, propiciam um conjunto de nichos ecológicos preferidos por muitas comunidades de animais, outrora as mais ricas do país (ICN, 1998). Foram, no passado, largamente convertidas em campos agrícolas ou zonas de pastoreio, ou transformaram-se em matagais dominados por tojos e urzes (dos géneros *Ulex* spp. e *Erica* spp., respectivamente) e, as que restaram, ficaram resumidas a pequenos fragmentos. Já no último século (século XX), muitas destas áreas (agrícolas e de pastagem natural/matagais) foram convertidas em

povoamentos de pinhal ou (em menor escala) eucaliptal.

De acordo com os cenários futuros de alteração da vegetação, espera-se uma diminuição deste tipo de ecossistema, particularmente nas regiões onde hoje se fazem sentir as influências do clima mediterrânico e ibérico, isto é, nas zonas do Norte interior. Assim, espécies mais exigentes em humidade como a bétula ou a cerejeira-brava, poderão desaparecer, sobretudo nas áreas mais inóspitas, sendo naturalmente substituídas por outras menos exigentes, como por exemplo, o carvalho-negral ou a azinheira. O principal impacto das alterações climáticas nestes sistemas far-se-á sentir ao nível de perturbações localizadas, eventualmente relacionadas com um aumento da mortalidade pontual de árvores mais velhas e menos resistentes. O espaço aberto criado pela morte das árvores, deixando uma clareira no estrato mais elevado, poderá ser rapidamente substituído por exem-

plares mais novos e «expectantes» dos andares co-dominantes ou dominados. Nestes casos, as espécies pioneiras (como por exemplo o pinheiro-bravo), poderão instalar-se rapidamente no *habitat* perturbado por apresentarem maiores vantagens competitivas, através da dispersão fácil de propágulos abundantes ou pelo desenvolvimento de propágulos já presentes no local. Um factor determinante para a manutenção da estrutura destes ecossistemas será certamente a capacidade das espécies naturalizadas em competir com espécies exóticas invasoras.

De acordo com Capelo (2003), estas formações reliquias vão-se regenerando com as suas próprias espécies, motivado pelo microambiente pedoclimático que a formação mantém enquanto existe. Contudo se a formação for destruída, deixam de existir quaisquer hipóteses de reconstruir tais formações reliquias e típicas de outro passado climático.

Esta sucessão por clareiras resultantes de perturbações locais, seguida da colonização por pioneiras e/ou espécies naturalizadas até à reconstituição do coberto florestal, poderá não constituir uma agressão suficientemente representativa para as fitocenoses e zoocenoses aí existentes, podendo mesmo

² Que atingiram um clímax

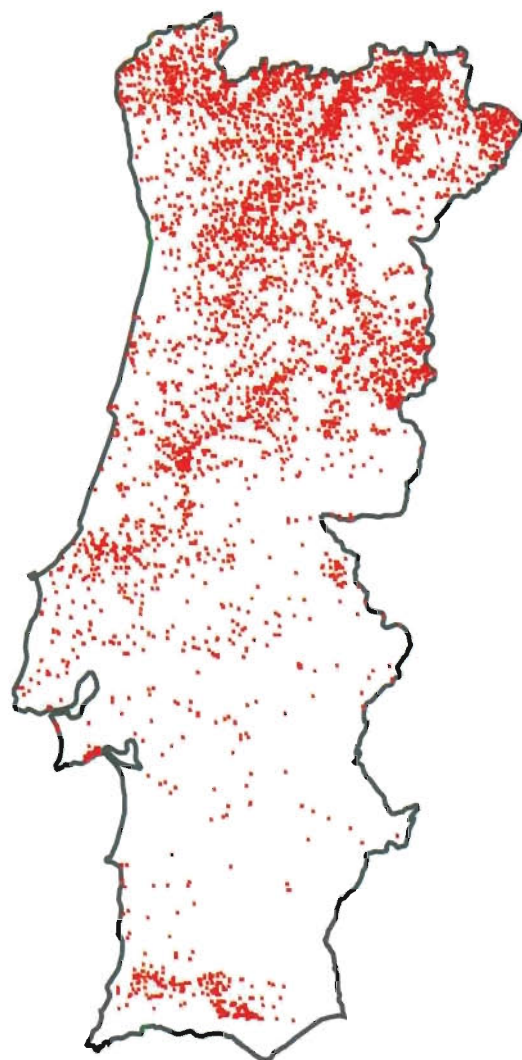


Figura 8.29 Distribuição de floresta mista de folhosas (DGF, 2001a)

incrementar a diversidade biológica devido à criação de novos nichos ecológicos.

É provável que aumente o interesse na exploração agrícola e/ou florestal nestas regiões, sobretudo à custa da expansão de áreas de produção actualmente existentes. Estas regiões favorecidas pelo aumento da produtividade circunscrevem-se ao Minho e Douro Litoral e, eventualmente, às zonas de maior altitude mas obviamente apenas quando a qualidade dos solos o permitir.

Povoamentos de Pinheiro-Bravo e Eucalipto

Estes ecossistemas ocupam a maior extensão de área florestal (51%), espalhando-se um pouco por todo o país mas con-

centrando-se as maiores explorações nas regiões do Norte e Centro litoral (Figura 8.30). O pinhal é a espécie resinosa autóctone mais representativa em Portugal, sendo a sua distribuição actual resultado de intervenção humana. Exceptuando as matas geridas pelo Estado, as manchas de pinhal de particulares apresentam frequentemente uma estrutura irregular, coexistindo em arvoredos com variada estrutura de idade e dimensão. É frequente a ocorrência de um sub-bosque abundante que imita, em composição florística, os matos heliófilos adjacentes (Oliveira *et al.*, 2000).

Os eucaliptais são sistemas artificiais, cuja expansão é recente e representam um modelo de silvicultura intensiva orientado para a produção de lenho, afim da agricultura, com uma estrutura monoespecífica e equiênia. Em muitos casos, a baixa produtividade leva ao abandono da função produtiva e à colonização pela flora autóctone.

Os pinhais e eucaliptais, especialmente os geridos activamente com fins de produção lenhosa exclusiva, são bastante mais pobres em espécies e menos diversificados quando comparados por exemplo com outras fitocomunidades mais heterogêneas como as florestas de mistas de folhosas e resinosas ou como o montado (Onofre, 1986). A principal causa deve-se ao reduzido número de nichos ecológicos em resultado da reduzida complexidade e da pobre estratificação vertical e horizontal da vegetação. A diversidade dos estratos do sub-bosque é mantida artificialmente baixa através das operações de mobilização do solo e remoção da vegetação competidora ao longo das fases de desenvolvimento dos povoamentos (Alves e Pereira, 1990).

De acordo com os cenários de alteração futuros, estes ecossistemas poderão ver a sua área de distribuição circunscrita às regiões do Norte litoral (no cenário mais pessimista) ou poderão estender-se para as regiões do Centro litoral (no cenário mais optimista), verificando-se contudo uma redução significativa e generalizada de produtividade (ver secção 8.4.3). O interesse na exploração económica poderá reduzir-se substancialmente na maior parte das regiões do Centro do país, onde estes povoamentos são actualmente explorados de forma mais intensiva. Tal facto resultará, muito provavelmente, no abandono dos actuais povoamentos existentes no interior, assim como os do litoral em solos mais pobres, podendo porém subsistir os dos solos relativamente mais férteis (mas ainda assim de baixa produtividade). É expectável que os eucaliptais, devido à fraca capacidade de regeneração natural, sejam rapidamente substituídos por comunidades de plantas de porte arbóreo ou arbustivo de carácter invasor e/ou melhor adaptadas a condições de aridez, como por exemplo, espécies do género *Ulex* spp. frequentemente associadas ao sub-bosque desta espécie. Poderão subsistir algumas pequenas manchas com

interesse de exploração apenas nas zonas mais húmidas mas cujas taxas de crescimento serão bastante inferiores às actuais.

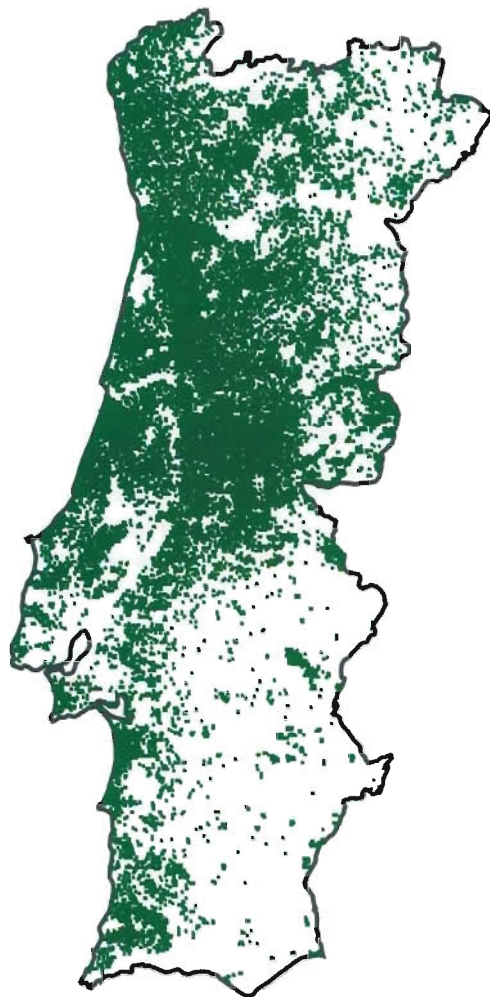


Figura 8.30 – Área de distribuição do pinhal e eucaliptal em Portugal (DGF, 2001a).

Nas últimas décadas, os fogos florestais têm dominado a dinâmica da vegetação. A maior parte da área queimada (isto é, a que resulta dos grandes incêndios), ocorre nos pinhais e áreas de mato do Centro do país e Norte interior do país (Pereira e Santos, 2003). De natureza antrópica, os fogos quando ocorrem a intervalos regulares, e demasiado curtos, impedem que as árvores atinjam a maturidade para frutificarem e produzirem sementes ou esgotam rapidamente a reserva de sementes no solo, acabando as áreas de pinhal por ser substituídas por outro tipo de comunidades estruturalmente mais simples, mas melhor adaptadas a condições de elevada xericidade e elevada frequência de fogos: os matos pirofíticos. As consequências para a dinâmica da vegetação e

eventuais processos de desertificação merecem pois ser estudados com mais pormenor.

As alterações climáticas poderão influenciar os pinhais através do aumento da severidade das condições ambientais e da frequência e intensidade dos incêndios (Pereira *et al.*, 2002). Nos cenários climáticos futuros, dado o prolongamento da estação seca e a intensificação dos défices hídricos, é provável que as árvores cresçam mais lentamente podendo as comunidades sobreviventes perder o valor produtivo. Fogos muito recorrentes poderão acentuar a tendência de eliminação ou degradação do pinhal que já hoje se verifica. No longo prazo, e especialmente nas áreas mais castigadas pelos fogos, é provável que o tipo de comunidades de matos predominantes se caracterize por minissucessões pirofíticas, em que um tipo de comunidade se sucede a si própria e se perpetua através de variações temporais muito curtas ou cíclicas (como o que acontece actualmente nas charnecas de urzes e nas áreas de esteva). A diversidade biológica nestas áreas poderá ser significativamente reduzida caso deixe de existir o efeito de mosaico preferido pelas espécies, mas o contrário poderá suceder nas regiões mais húmidas onde este efeito poderá ser promovido. Se é expectável uma redução da diversidade biológica nas comunidades estruturalmente mais simples, o resultado final depende da complexidade de *habitats* ao nível da paisagem.

Montados e Bosques de Sobreiro e Azinheira

Os montados e os bosques de sobreiro e azinheira ocupam actualmente 37 % (DGF, 2001b) da superfície florestal nacional distribuindo-se pelas regiões mediterrânicas do país, sobretudo no Alentejo (Figura 8.31). Este sistema constitui um dos mais diversificados a nível de fitocenoses (no caso dos bosques) e zoocenoses (no caso dos montados), apresentando uma grande variabilidade de fâcies ou biótopos, bem como recursos tróficos abundantes e distribuídos ao longo do ano. Este facto é resultado, em parte, do elevado grau de artificialização que inclui a associação de uma estrutura arbórea de sobreiro e azinheira de baixa densidade (60-100 árvores por hectare), consociada com culturas agrícolas, pastagens, pousios, pecuária e/ou vegetação arbustiva mais ou menos desenvolvida. Estes sistemas de produção, de carácter extensivo, estão bem adaptados às características edafoclimáticas específicas de cada região e às flutuações anuais da produtividade (Jofre *et al.*, 1999; Pereira e Fonseca, 2003). De facto, vários autores são unânimes no que concerne ao facto dos montados encerrarem maior diversidade biológica em comparação com outros tipos de ecossistemas florestais (Palma *et al.*, 1985; Onofre, 1986; Onofre, 1987; Pereira e Fonseca, 2003). Nos últimos anos, a área de montado tem vindo a aumentar ligeiramente

à custa das rearborizações com sobreiro, mas permanecem os problemas de envelhecimento e mortalidade provocada por pragas e doenças, e à utilização de práticas culturais desadequadas (Alves *et al.*, 1998).

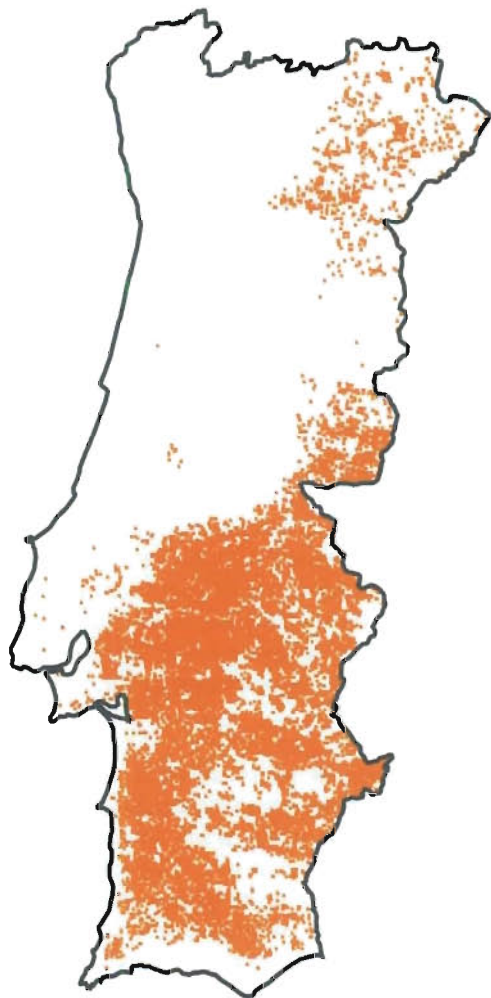


Figura 8.31 Área de distribuição do montado (DGF, 2001a).

De acordo com os cenários de clima futuro, é nas regiões actualmente ocupadas por montado que se esperam os impactos mais severos das alterações climáticas. O sobreiro e a azinheira, espécies que dominam estes sistemas, apresentam características termófilas e xerófilas, estando bem adaptadas à secura estival. Todavia, a situação de muitos povoamentos actualmente existentes e já bastante debilitados, é indiciadora de uma sustentabilidade reduzida face a um cenário climático mais severo. Espera-se, assim, uma mortalidade acentuada das espécies arbóreas, sobretudo do sobreiro, principalmente nas regiões mais quentes e secas do interior, onde ele é já hoje marginal. A azinheira, estando

fisiologicamente melhor adaptada à secura, devido à constituição de um sistema radicular mais profundo (David *et al.*, 2004), poderá persistir em algumas regiões mais húmidas, substituindo eventualmente o sobreiro em muitas regiões mais ocidentais onde ele actualmente é dominante. O desaparecimento do estrato arbóreo é particularmente relevante para as espécies animais que encontram neles locais ideais de nidificação, esperando-se por isso uma redução da diversidade biológica nas regiões mais afectadas. Da alteração de comunidades agora dominadas por sobreiro e futuramente substituídas por azinheira, certamente advirão alterações acentuadas nas comunidades faunísticas.

As áreas agrícolas associadas ao sistema de montado (principalmente os explorados de forma tradicional), sob montados abertos ou em áreas abertas adjacentes, funcionam como *habitats* complementares de alimentação extremamente importantes para muitas espécies da fauna. Todavia, de acordo com as simulações efectuadas no Capítulo 5, espera-se também uma redução acentuada (entre 25-50 %) das culturas de sequeiro no Alentejo, a que se associam as transformações promovidas pelas políticas agrárias da comunidade. Provavelmente, as áreas de exploração agropecuária tenderão também a diminuir.

Os matagais mediterrânicos associados ao montado, etapas de regressão mais avançadas dos bosques de sobreiro e azinheira, constituem *habitats* bastante diversificados quer do ponto de vista florístico, quer faunístico, principalmente os sistemas dominados por matos de porte elevado mais ou menos densos e evoluídos, como os dominados por medronheiros, adernos e carrascos de porte arbóreo ou arbustivo alto. Estas formações, um pouco à semelhança das etapas climáticas – sobreirais e azinhais –, ao proporcionarem mosaicos e possuírem uma estratificação vegetal rica e complexa, constituem *habitats* valiosos de reprodução, abrigo e alimentação para a fauna, nomeadamente para algumas espécies ameaçadas. Estas formações vegetais tenderão a aumentar, substituindo progressivamente as áreas agroflorestais sem interesse de exploração e eventualmente abandonadas. Porém, é expectável que os *habitats* dominados por vegetação arbustiva sejam, a princípio, constituídos por matagais ou charnecas nas suas fases regressivas ou degradativas mais simples, estrutural e fisionomicamente pobres, formadas por matos baixos e incipientes, devido à acentuada degradação do solo (pela seca, erosão, fogo). De um modo geral, esta simplificação das comunidades mais estruturadas e complexas do ponto de vista da composição florística, para estruturas vegetais mais pobres, poderá também reduzir significativamente o valor ou o interesse natural das comunidades de animais que as colonizarão. A densificação da cobertura arbustiva, tenderá ainda a acentuar o risco de incêndio, já exacerbado pelas condições climáticas adversas (Pereira *et*

al., 2002). A incidência de fogos recorrentes e de grandes dimensões tenderá a aumentar o problema já existente da qualidade dos solos, acentuando-se ainda mais os factores de erosão, ao mesmo tempo que perpetua tais comunidades vegetais pobres.

Assim, nas regiões onde ocorram as alterações mais severas é expectável uma redução generalizada de grande parte da área de montado tal como o conhecemos hoje em dia, devido à ruptura de um ecossistema frágil moldado pelo homem e pela natureza, bem como dos bosques, particularmente de sobreiro. A riqueza e diversidade biológica actualmente existente nestas áreas tenderão a ser significativamente reduzidas.

8.6.2 Diversidade Biológica em Meio Aquático

Devido às diferenças hidrológicas que ocorrem no território português, a disponibilidade de água é muito variável ao longo do ano e consoante a região. Por conseguinte, as espécies aquáticas têm de sobreviver em ambientes alternativos de superabundância ou escassez de água, com alguns períodos intermédios, mas decisivos, de investimento biológico em recrutamento e crescimento. A variabilidade hidrológica determina profundamente as formas e os ciclos de vida dos organismos aquáticos, bem como os processos ecológicos existentes na zona do Mediterrâneo (Gasiñ e Resh, 1999). A robustez típica destes ecossistemas aquáticos perante condições hidrológicas naturalmente severas e variáveis pode significar que são resilientes a curto prazo, mas a longo prazo vulneráveis a mudanças climáticas nefastas, cuja influência pode facilmente ser mal interpretada no contexto da grande variabilidade natural destes sistemas.

Além disso, as regiões de tipo mediterrânico apresentam geralmente limitações consideráveis na disponibilidade de água para o desenvolvimento humano, normalmente superadas através do armazenamento de água em albufeiras, da extracção de água do solo ou da superfície e das transferências de água (Davies *et al.*, 1994). Enquanto nos rios europeus localizados mais a norte os problemas de origem humana incidem sobretudo sobre a qualidade da água e a degradação do *habitat*, nos ecossistemas de tipo mediterrânico essas alterações são determinadas e intensificadas por mudanças de origem humana na quantidade e no período em que a água está acessível aos organismos. As mudanças climáticas vão fazer aumentar estas pressões provocadas pela actividade humana sobre os recursos hídricos, pelo que o desenvolvimento social e as políticas de aproveitamento de solos agrícolas serão decisivas para a conservação de cursos de água, a par de esforços legislativos, como a Directiva Quadro para a Política Comunitária da Água (2000/60/CE, de

23 de Outubro) com vista a proteger e recuperar a qualidade ecológica dos ecossistemas aquáticos.

Outro aspecto importante é o do actual grau de degradação da integridade biótica dos ecossistemas fluviais portugueses (Moreira *et al.*, 2002, e referências nele contidas). Há cinco mil anos que a interferência humana se exerce na região ibérica, com enormes mudanças na vegetação e nos tipos de aproveitamento dos solos, incluindo um aumento notório na área da irrigação de campos de cultivo, na última década, mediado por políticas agrícolas europeias. Tanto a utilização acelerada da água do solo ou da superfície como a descarga de águas residuais decorrem a grande ritmo nos sistemas fluviais portugueses, ao passo que os esforços para reverter esta situação permanecem reduzidos ao tratamento primário e secundário de águas residuais, ainda incompleto. Por todo o país se podem observar sintomas de eutrofização e de poluição orgânica, quer em termos do aumento dos níveis de nutrientes em águas superficiais, quer das suas consequências, nomeadamente a mortalidade da ictiofauna e os crescimentos de grandes massas de cianobactérias. Outra das consequências do aumento da utilização dos recursos hídricos ao longo deste século, nomeadamente para rega, foi a construção de barragens e o uso das correspondentes albufeiras. Mais de 170 albufeiras de grandes dimensões foram criadas nos últimos setenta anos, numa rede fluvial onde eram raras as massas de água naturais, alterando profundamente a conectividade dos ecossistemas e a movimentação longitudinal das espécies.

Existe hoje evidência de que o clima está a mudar a um ritmo rápido e a tornar-se numa pressão adicional para os sistemas ecológicos e socioeconómicos, já por práticas não sustentáveis já pela poluição (Santos *et al.*, 2002). Estas mudanças são fundamentalmente de cariz técnico, mas vão afectar os padrões hidrológicos do escoamento, que são determinantes para o funcionamento de ecossistemas aquáticos e para o uso do solo das bacias de drenagem. Neste estudo, tentaremos analisar as possíveis consequências das mudanças climáticas na fauna fluvial dulciaquícola portuguesa, tendo por base os cenários prováveis resultantes de simulações realizadas anteriormente.

8.6.3 Cenário Abiótico sob o Efeito das Mudanças Climáticas

A subida da temperatura da água afectará a estratificação térmica nas albufeiras, que neste momento ocorre entre Maio e Outubro. O período de estratificação prolongar-se-á, com tendência para uma estratificação irregular durante o ano (regime polimítico), com pequenos períodos de mistura de águas sobretudo no Inverno. Todos os processos de

degradação de matéria orgânica que ocorrem no ambiente aquático decorrerão com maior rapidez, enquanto a circulação de nutrientes e a razão produção anual/biomassa instantânea (razão P/B) tenderão a aumentar. Se os níveis de nutrientes se mantiverem altos ou aumentarem, isso levará à manifestação de efeitos de eutrofização ao longo de todo o ano (e não apenas no Verão, como é agora habitual), nomeadamente o crescimento excessivo de vegetação aquática onde quer que as condições de *habitat* e de formas de vida o favoreçam (espécies emergentes em zonas pouco profundas, espécies flutuantes em albufeiras e zonas profundas) e a crescente abundância de fitoplâncton. Quer o processamento de matéria orgânica como a produção/acumulação de biomassa no ambiente aquático conduzirão frequentemente a condições de deficiência ou ausência de oxigénio tanto nos rios como nas albufeiras. Esta variabilidade no oxigénio dissolvido deixará de se dever à evolução sazonal, sendo, ao invés, determinada por processos pontuais, frequentemente imprevisíveis e nocivos para os ciclos de vida de uma parte das espécies aquáticas.

O aquecimento global tem um efeito mais irregular e imprevisível na precipitação do que a temperatura, uma vez que os processos determinantes de pequena escala não estão incorporados em modelos de larga escala (Miranda *et al.*, 2000). Os modelos regionais indicam um aumento da precipitação de Inverno devido a ocorrências diárias de precipitação (até 10 mm/dia) e uma diminuição acentuada da precipitação durante o resto do ano, embora a magnitude seja muito variável, especialmente nas regiões do Centro e Sul do país (aumento até 15 % na precipitação de Inverno e diminuição até 75 % na precipitação de Verão). Em geral, haverá um pequeno aumento da precipitação anual nas bacias do Norte e uma diminuição nas bacias do Centro e do Sul. Na região Norte, a perda anual de precipitação irá variar entre 50-200 mm/ano e 1 mm/dia, na década de 2080.

A diminuição da precipitação levará a uma redução dos caudais gerados, tanto na parte portuguesa das bacias como na parte espanhola, de onde provém actualmente uma quantidade considerável de caudal que circula para Portugal. De acordo com alguns modelos, haverá uma redução progressiva do caudal anual (com variabilidade mais alta), estimada, por exemplo, em valores até 20 % para a bacia do Douro, 15-30 % para as bacias do Vouga e do Mondego, 10-30 % para a bacia do Tejo e até 62 % nas bacias do Guadiana e do Sado, embora provavelmente menos no Algarve (Cunha *et al.*, 2002). Para bacias comuns, foram estimadas em Espanha reduções regionais na ordem dos 13-23 % de água disponível nos próximos 60 anos (Ambiente, 2000). A diminuição do caudal afluente da parte espanhola das bacias fluviais trans-

fronteiriças acentuará a previsível diminuição da quantidade de água disponível nos sistemas portugueses.

Todas as simulações efectuadas referem Verões mais longos e secos e uma degradação associada da qualidade da água, embora em alguns modelos o caudal anual seja compensado pela precipitação de Inverno. Haverá uma tendência para a ocorrência de grandes chuvas nesta estação, especialmente nas regiões a norte. Todas as simulações apontam para um aumento das assimetrias espaciais e temporais da água disponível, consequentemente uma maior dificuldade da distribuição e planeamento dos recursos hídricos.

A entrada e concentração de poluentes e de nutrientes nos rios irão alterar-se consoante as mudanças nos padrões de precipitação, transporte de sedimentos e processos de erosão, também associados às variações do uso do solo e água. De um modo geral, a diminuição do caudal e as assimetrias farão aumentar a concentração de poluentes e acentuar as respectivas consequências, especialmente nas regiões a sul. A capacidade de autodepuração do ecossistema diminuirá e, por conseguinte, a actual situação dos rios organicamente poluídos tenderá a piorar.

A recarga de aquíferos é um aspecto crucial, pois desempenha um papel fundamental no fornecimento de água durante os períodos de seca através das conexões verticais entre o rio, os *habitats* hiporreicos³ e a zona freática. De uma maneira geral, a recarga dos aquíferos segue as tendências da precipitação nas simulações, mas há dúvidas relativamente à forma como os aquíferos irão reagir às mudanças sazonais e interanuais da precipitação, sendo que, no final, tudo irá depender da sua capacidade para armazenar as grandes chuvas de Inverno. É muito provável que a conectividade vertical do sistema fique bastante afectada. O aumento do armazenamento de água em albufeiras e a elevação do nível do mar favorecerão intrusões salinas e um aumento da condutividade e mineralização da água.

As actuais necessidades anuais de água rondam os 10 000 hm³, consumindo a agricultura de regadio cerca de 75 % do total. Temperaturas mais altas (especialmente quando associadas a um nível mais alto de CO₂) podem levar a um aumento da produtividade vegetal e a maiores quantidades de água necessárias para o regadio durante a Primavera e o Verão. Esta água é extraída das albufeiras onde anteriormente foi retida, mas também directamente dos rios, em pequenas extracções pontuais mas de grande efeito cumulativo. Com o aumento da área regada e do volume de rega, a quantidade da água no rio diminui, e as acções de extracção da água contribuirão também para a degradação das condi-

³ Zonas subjacentes a cursos de água, onde as águas subterrâneas e superficiais se misturam.

ções físicas dos *habitats* ribeirinhos, com repercussões importantes e frequentemente evidenciadas nas comunidades de peixes (Mensing *et al.*, 1998), para além de intervirem outros factores, tais como alterações no balanço de nutrientes, e na carga sólida transportada, arrastada e depositada no sistema fluvial (Meador e Goldstein, 2003).

Espera-se que uma maior produtividade dos campos de cultivo, associada a uma maior necessidade de água e também a menos água disponível, especialmente nas regiões a sul, provoque mudanças nos períodos de plantação e colheita, substituição das variedades de cultivo por alternativas geneticamente adaptadas e adaptação de métodos de cultivo a um clima mais seco. A capacidade da agricultura em lidar com as mudanças climáticas, nomeadamente através de uma redução substancial da quantidade de água utilizada e aumento da eficiência do seu uso, será determinante para diminuir os efeitos das alterações dos padrões hidrológicos e por conseguinte a sua influência nos ecossistemas aquáticos. Por outro lado, os actuais mecanismos legislativos europeus tenderão a proteger o ambiente aquático e a estabelecer prioridades ecológicas, nomeadamente incorporando taxas de utilização e os custos indirectos no preço da água, ou seja, fomentando um uso mais eficiente (Richter *et al.*, 2003).

Contudo, se os usos da água e a gestão de recursos hídricos não forem implementados da forma correcta e se as actividades e políticas de cultivo não mudarem, haverá uma maior necessidade de água para a agricultura, geralmente através do armazenamento em albufeiras e de transferências de água, com a instituição de padrões de circulação a-sazonais, nomeadamente a não circulação de água durante o Inverno e a Primavera. Haverá também a tendência para se construírem represas pequenas e não permanentes ao longo de muitos sistemas fluviais para o armazenamento de água a curto prazo, bem como pontos locais, mas múltiplos, de extracção de água. A conectividade longitudinal do sistema fluvial será cada vez mais limitada.

8.6.4 Ictiofauna Fluvial em Cenário de Mudança Climática

8.6.4.1 Águas Salmonícolas e Mistas

A ictiofauna portuguesa apresenta uma grande diversidade, resultante do número de endemismos ibéricos (e alguns portugueses), mas o número de espécies é reduzido à escala da bacia hidrográfica e mais ainda a uma escala espacial inferior (a grande maioria dos locais apresenta menos de cinco espécies presentes). A maioria das espécies indígenas pertence aos ciprinídeos, incluindo várias espécies de barbos (*Barbus* spp.), bogas (*Chondrostoma* spp.) e peque-

nos ciprinídeos dos géneros *Squalius*, *Anaecypris* e outros. O número de espécies exóticas é grande e muitos desses *taxa* apresentam populações numerosas, especialmente a carpa-comum (*Cyprinus carpio*), a perca-sol (*Lepomis gibbosus*) e o achigã (*Micropterus salmoides*), sobretudo em albufeiras mas também em rios.

Os ciprinídeos, como espécies de águas quentes (*i.e.*, espécies com *habitat* térmico onde as temperaturas seleccionadas, preferidas e de crescimento óptimo são superiores a 25 °C), dominam a maior parte dos ecossistemas aquáticos continentais portugueses. De facto, a única espécie piscícola continental portuguesa (excluindo outros *taxa* de Salmonídeos anádromos) cujo *habitat* térmico a classifica como espécie de águas frias (*i.e.*, temperaturas seleccionadas, preferidas e de crescimento óptimo inferiores a 25 °C) é a truta-comum (*Salmo trutta fario*). Portugal representa, aliás, um dos limites sul da distribuição europeia da espécie, que se encontra no nosso país restrita às zonas mais frias do Norte e às mais altas do Centro (Figura 8.32). Além da limitação global na área de ocorrência da truta, que está naturalmente ausente das bacias do Sado, Guadiana, Mira e ribeiras do Algarve, esta apresenta-se nos sistemas fluviais portugueses frequentemente como *taxon* não dominante, sendo geralmente observável um gradiente biótico com dominância da truta nas zonas mais altas e de cabeceiras dos rios (por vezes sendo mesmo a única espécie presente), aparecendo posteriormente os ciprinídeos, cuja importância relativa aumenta até ao total desaparecimento do salmonídeo. Este padrão é frequente, por exemplo, nas bacias hidrográficas do Tejo, Douro e Lima.

Tal como referido por Shuter *et al.* (2002) e assumindo a inexistência de barreiras à livre deslocação das espécies, um dos efeitos mais óbvios do previsto aumento global de temperatura será a expansão das áreas de distribuição das espécies de águas quentes para norte (ou em altitude) e a contracção do *habitat* disponível das espécies de águas frias, também para norte (Figura 8.33). Em Portugal, as consequências deste cenário serão tanto mais gravosas, porquanto o *habitat* da truta poderá também contrair no sentido de jusante para montante, já que as possíveis alterações na hidrologia dos sistemas tenderão a aumentar a intermitência dos troços médios (*e.g.*, através de períodos secos mais prolongados), acrescendo ainda o facto das deslocações de jusante para montante não serem muitas vezes possíveis pela existência de barreiras físicas, tais como barragens, sem meios de transposição ou com estruturas de passagem não funcionais.

As espécies de águas frias são especialmente sensíveis às temperaturas máximas (verificadas no Verão), que lhes limitam a distribuição a sul, enquanto que as espécies de águas quentes, embora possam apresentar temperaturas mínimas letais

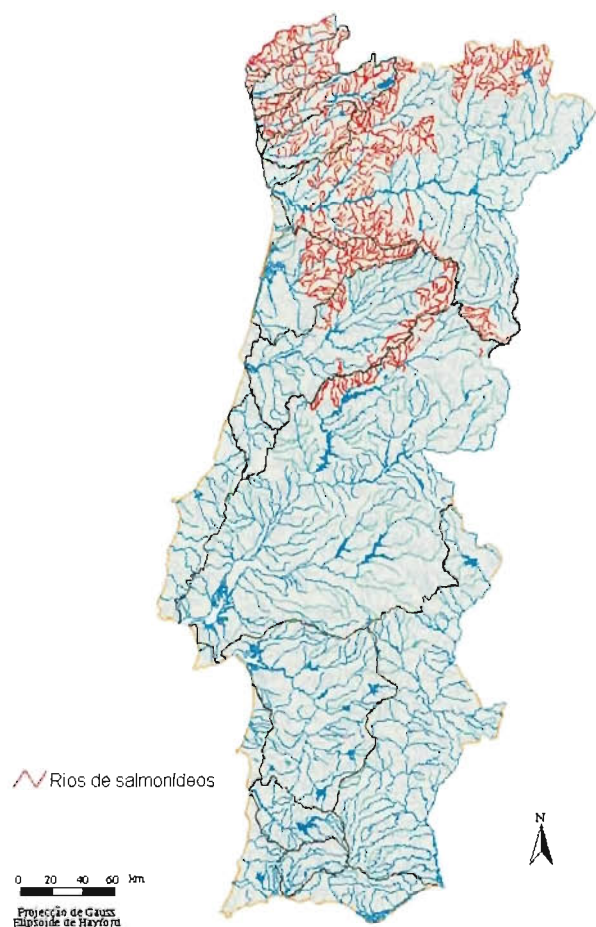


Figura 8.32 – Expressão geográfica actual das águas salmonícolas (Fonte: Plano Nacional da Água, 2002)

que actuem na limitação das áreas colonizadas, geralmente são limitadas pelas temperaturas mínimas capazes de produzir crescimento corporal (para muitos *taxa* temperaturas superiores a 10 °C). Assim, e como primeira consequência do aumento de temperatura na ecologia piscícola de águas interiores portuguesas, observar-se-á uma contracção da área de distribuição da truta e um aumento das áreas colonizáveis com sucesso pelos *taxa* de águas quentes, essencialmente os ciprinídeos ibéricos. Dado o interesse pesqueiro dos salmonídeos, claramente superior ao dos ciprinídeos, e as particularidades das trutas ibéricas, as implicações económicas e de conservação desta consequência serão óbvias, sendo difíceis de contrariar com quaisquer acções de gestão e manejo pesqueiro conhecidas. Em termos globais, e como as espécies piscícolas geralmente vivem próximo do limite máximo de temperatura, já que esse valor não é muito diferente do que optimiza o crescimento corporal, a área de distribuição das espécies de águas quentes poderá também contrair a sul, em particular em conjugação com as previstas alterações na hidrologia dos sistemas fluviais dessa região.

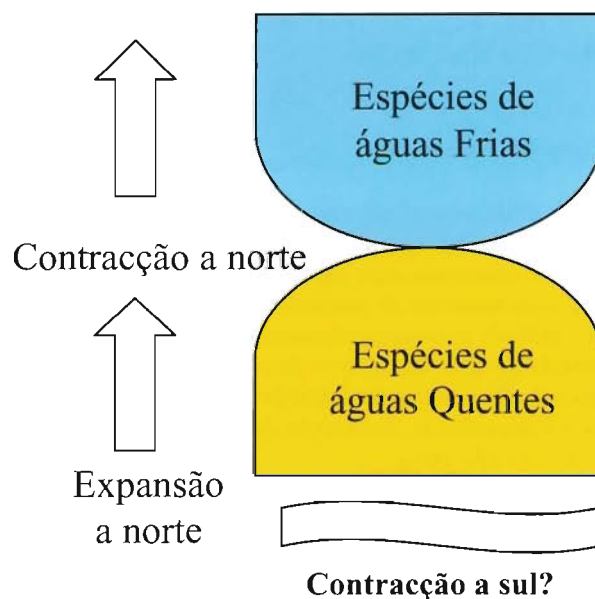


Figura 8.33 – Representação esquemática dos efeitos do aquecimento climático nas áreas de distribuição das espécies piscícolas de águas frias e de águas quentes (adaptado de Shuter *et al.* [2002]).

8.6.4.2 Águas Ciprinícolas

Para além da consequência mais óbvia do previsto aumento de temperatura acima mencionada, e que é também a melhor suportada por análises e inferências realizadas noutras zonas do mundo, sobretudo na América do Norte (Classenman, 2002; Shuter *et al.*, 2002), a fauna piscícola portuguesa poderá, com forte possibilidade, ser igualmente afectada por outros aspectos das alterações climáticas, nomeadamente através das ligações complexas entre factores térmicos e hidrológicos. Assim, propõe-se um modelo global de funcionamento ecológico para avaliar preliminarmente os efeitos das alterações climáticas nas comunidades piscícolas de águas quentes dos rios portugueses (*i.e.* sem salmonídeos), o MOPAQ, modelo conceptual para a organização piscícola global em águas quentes (Figura 8.34). Este modelo é sustentado por observações realizadas na bacia hidrográfica do Guadiana (Godinho *et al.*, 1997; Godinho *et al.*, 1998; Godinho *et al.*, 2000; Godinho, 2003) mas também por informações provenientes de outros cenários biofísicos existentes no Centro e Sul de Portugal.

O MOPAQ é um modelo estruturado espacialmente e assenta em três elementos habitacionais: os afluentes, o rio principal e as albufeiras (*i.e.*, troços ou unidades de canal situados nestes elementos). Todavia, esta base espacial integra igualmente aspectos da variabilidade temporal, já que a cada um dos elementos habitacionais estão associados diferentes padrões temporais de variação ambiental (Hynes, 1970; Resh *et al.*,

1988; Poff e Ward, 1989; Poff e Allan, 1995; Poff *et al.*, 1997; Marchetti e Moyle, 2000).

Controlo Ambiental

O MOPAQ propõe um gradiente ambiental de variação entre os **a**fluentes e o **r**io principal (AF►R), assente em descritores ambientais com significado estatístico, de que se destacam aumentos de profundidade e largura do perímetro molhado (e consequentemente aumentos do volume de *habitat* aquático), decréscimos da probabilidade de dessecação estival (na directa dependência do ponto anterior) e, com menor importância, diminuição da cobertura de vegetação aquática e ribeirinha.

Verifica-se que os afluentes dos rios ibéricos comportam *habitats* aquáticos substancialmente distintos dos existentes no rio principal, desde logo em relação ao seu comportamento hidrológico. Por exemplo, a variação interanual do escoamento atinge razões de 57 para 1 no curso principal do Guadiana enquanto nos afluentes pode atingir razões superiores a 200 para 1. Em junção com esta notável variabilidade interanual, os caudais nos afluentes revelam forte intermitência, tornando-se no período seco uma sucessão de troços isolados que diminuem de dimensão com a progressão do estio. Na bacia do Degebe os cursos de água de menor número de ordem (*sensu* Strahler, 1957) chegam a secar ao longo de 95 % do seu percurso (Ilhéu *et al.*, 2001). O período estival de secura é, obviamente, muito importante para a ictiofauna, em função da rápida deterioração das condições ambientais nos *habitats* em contracção e de onde os peixes não podem fugir, destacando-se como principal *stress* ambiental a elevada flutuação diária das concentrações de oxigénio dissolvido – resultante da acção conjunta das altas temperaturas, altas taxas fotossintéticas diurnas, altas taxas respiratórias nocturnas, redução nas taxas de diluição e redução da turbulência (Gasith e Resh, 1999, e referências nele contidas).

Podem ser identificados, em ligação com o gradiente ambiental enunciado, quatro grupos taxonómico-ecológicos centrais na organização das comunidades piscícolas – os pequenos ciprinídeos nativos como o escalo e a pardelha, *Squalius* spp., os grandes ciprinídeos nativos (*i.e.*, as várias espécies de barbos) e duas espécies exóticas, a perca-sol, *Lepomis gibbosus*, e o achigã, *Micropterus salmoides*. Os padrões de variação de vários parâmetros demográficos são no geral semelhantes entre os grandes e os pequenos ciprinídeos nativos e entre os dois centarquídeos exóticos, mas divergem substancialmente entre as duas famílias.

O MOPAQ propõe como mecanismo ecológico central a desigual capacidade das espécies piscícolas presentes para

fazer face a condições de intermitência, em particular à dessecação dos *habitats* aquáticos. A capacidade de sobreviver à dessecação pode ter na sua origem características morfológicas, fisiológicas ou comportamentais (Burlerson *et al.*, 2001), que para muitos dos *taxa* nativos não são conhecidas. Todavia, vários membros da família dos ciprinídeos revelam uma grande tolerância à desoxigenação da água enquanto que os centarquídeos exóticos são relativamente intolerantes (Cooper e G.N., 1946; Gee *et al.*, 1978; Klinger *et al.*, 1982; Rahel, 1984; Matthews, 1987).

Em relação aos pequenos ciprinídeos ibéricos, o escalo do Sul, *Squalius pyrenaicus*, aparece associado a grande parte dos troços intermitentes de rios ibéricos (Magalhães, 1993a; Prenda, 1993; Godinho, 2003). As espécies de maiores dimensões, como os barbos, poderão apresentar tolerâncias que diminuem com o tamanho, não só porque as exigências metabólicas individuais aumentam com a dimensão dos peixes (Kushlan, 1974; Kushlan, 1976; Moyle e Cech, 1996; Burlerson *et al.*, 2001) mas também porque nos *habitats* mais isolados e confinados é superior o risco dos maiores exemplares serem mortos por predadores terrestres como a lontra, *Lutra lutra*, e várias espécies de aves (Reis, 1983; Grimmett e Jones, 1989), e este efeito regulador destes predadores nas populações piscícolas não deve ser menosprezado.

Assim, as maiores classes de dimensão dos barbos do Guadiana podem ver a sua presença nos afluentes restringida por factores abióticos mas também bióticos (restrição que aumenta à medida que caminhamos para as cabeceiras), embora estes ambientes possam ser tolerados ou mesmo favoráveis para os jovens, que em consequência desta forte partição de *habitat* parecem funcionar como uma entidade ecológica distinta (Moyle e Vondracek, 1985). Concordando com esta interpretação, no Guadiana os jovens barbos apareceram associados com *Squalius* sp. e segregados dos maiores exemplares da própria espécie durante o Verão (Godinho *et al.*, 1997).

Os gradientes ecológicos contidos no MOPAQ demonstram uma boa correspondência com as estratégias de vida descritas para as espécies ciprinícolas do Centro e Sul do país e concordam com as previsões de outros modelos que procuram explicar a estruturação de comunidades fluviais, *e.g.* o modelo do *habitat temple* de (Southwood, 1977) e seu posterior desenvolvimento (Townsend e Hildrew, 1994) e de modelos específicos criados para a ictiofauna (Schlosser, 1987; Prenda, 1993). Noutros rios ibéricos de características mediterrânicas os ciprinídeos nativos, em particular os de menor dimensão média, apresentam maturação precoce (a partir do primeiro ano de idade), desovas múltiplas, longevidade reduzida e dietas generalistas, que incluem vegetação (Herrera *et al.*, 1988; Lobon-Cervia, 1988; Velasco *et*

al., 1990; Encina e Granado-Lorencio, 1991; Herrera e Fernandez-Delgado, 1992; Rodriguez-Ruiz, 1992; Magalhães, 1993a; Magalhães, 1993b; Fernandez-Delgado e Herrera, 1994; Herrera e Fernandez-Delgado, 1994; Peris *et al.*, 1994; Collares-Pereira *et al.*, 1995; Granado-Lorencio, 1996), estratégias associadas à adequação a ambientes instáveis e intermitentes. Alguns estudos recentes (rios Degebe, Caia e Névora) identificaram para *Barbus comiza* e *Barbus micrucephalus* uma dieta omnívora, com a ingestão frequente de material vegetal, e sugeriram desovas múltiplas para o escalo do Sul (Pires *et al.*, 1999). Estas estratégias adequam as espécies piscícolas à dureza e variabilidade do ambiente aquático dos rios ibéricos através de uma considerável resistência e/ou resiliência às perturbações ambientais, como sejam as secas de duração não previsível (Pearsons *et al.*, 1992).

Por outro lado, os dois centarquídeos exóticos dominantes reproduzem-se a partir dos dois/três anos de idade e apresentam longevidades máximas moderadas (Godinho, 2003). No entanto, a perca-sol apresenta características mais altriciais¹ do que o achigã, com um período de desova mais extenso que pode incluir desovas múltiplas (Fox e Crivelli, 1998; Gutiérrez-Estrada, 2000) e uma dieta mais generalista, que pode incluir zooplâncton, macroinvertebrados, peixe e, em determinadas ocasiões, vegetação aquática (Godinho e Ferreira, 1996; Godinho e Ferreira, 1998). Alguns trabalhos sugerem que a perca-sol apresenta uma tolerância superior à de outros centarquídeos para sobreviver na presença de baixos teores de oxigénio dissolvido na água (Hall e Ehlinger, 1989; Mittelbach *et al.*, 1995). Estes atributos ecológicos podem em parte explicar o aparente sucesso da perca-sol em Portugal e na Península Ibérica, podendo também ajudar a compreender a sua maior penetração nos afluentes (por exemplo, do Guadiana) por comparação com o achigã, espécie que revela dificuldades na colonização de troços intermitentes noutros sistemas fluviais (Meffe, 1984; Moyle e Cech, 1996; Moyle e Lighth, 1996; Rodriguez-Ruiz, 1998).

Em rios com grande variabilidade hidrológica e ambiental e no contexto ibérico de quase ausência de lagos naturais, as albufeiras construídas representam sistemas artificiais, reorganizando por completo a estrutura e o funcionamento dos *habitats* fluviais. A maioria das albufeiras do Centro e Sul encontram-se identificadas como do tipo complexo-de-águas-quentes de acordo com Godinho *et al.* (1998), e podem ser enquadradas no final do gradiente ambiental e funcional existente entre os afluentes e o rio principal, determinando um outro gradiente – afluentes, rio, albufeiras (AF►R►AL)

– ao longo do qual se estruturariam presentemente a maior parte das associações piscícolas ciprinícolas portuguesas (Figura 8.34).

Os escassos estudos ibéricos que abordaram a evolução inicial das comunidades piscícolas após a construção de uma albufeira, com informação quantitativa anterior à sua implantação, documentaram profundas alterações na composição da comunidade presente (Granado-Lorencio e Garcia-Novo, 1981; Granado-Lorencio e Garcia-Novo, 1985; Zapata e Granado-Lorencio, 1993), mesmo antes das espécies exóticas surgirem (Rodriguez-Ruiz, 1998). De acordo com estes trabalhos, as espécies de ciprinídeos fluviais não potamódromos² (e portanto incapazes de se deslocarem para reprodução em troços fluviais afastados da albufeira) são as primeiras a desaparecer, eventualmente por perda dos *habitats* de desova e alimentação. Por outro lado, os ciprinídeos potamódromos retidos nas albufeiras terão um sucesso inconstante em função da maior ou menor ligação longitudinal e funcional da albufeira com os sistemas fluviais a montante. Durante períodos secos esta conexão pode ser interrompida, impedindo assim a reprodução e o posterior recrutamento dos barbos e das bogas de boca recta (Granado-Lorencio e Garcia-Novo, 1981; Granado-Lorencio e Garcia-Novo, 1985; Rodriguez-Ruiz, 1998), o que parece ter-se verificado nas albufeiras da Tapada Grande e de Monte Novo (Guadiana) durante a seca que se registou entre 1991 a 1995 (Godinho, 2003). De acordo com o MOPAQ, a comunidade piscícola expectável nos troços represados dos cursos médios, sem a existência destas estruturas artificiais, seria dominada por pequenos ciprinídeos e pelos jovens dos grandes ciprinídeos. Esta comunidade potencial é radicalmente diferente da que hoje habita nas albufeiras, dominada como são pelos centarquídeos, cuja capacidade reprodutiva na própria albufeira configura uma melhor adaptação às condições ambientais que se verificam nestes sistemas.

O MOPAQ postula, assim, serem primordialmente os factores abióticos, fortemente modelados pela hidrologia, a segregar as espécies piscícolas ao longo do gradiente AF►R►AL através das distintas capacidades de tolerância aos ambientes criados por intensidades crescentes de intermitência hidrológica e da diferente adaptabilidade das espécies a sistemas lacustres, embora possa também ocorrer um efeito complementar das relações bióticas na organização da comunidade piscícola. A informação entretanto recolhida em inventários piscícolas realizados em bacias portuguesas que não a do Guadiana mas igualmente com a presença dos Centarquí-

¹ As larvas de peixe dizem-se altriciais quando são pouco desenvolvidas e em grande número, em contraste com as larvas precoces que são em menor número e apresentam-se mais desenvolvidas.

² Espécies potamódromas são aquelas que migram durante o seu ciclo de vida entre diferentes massas de água doce.

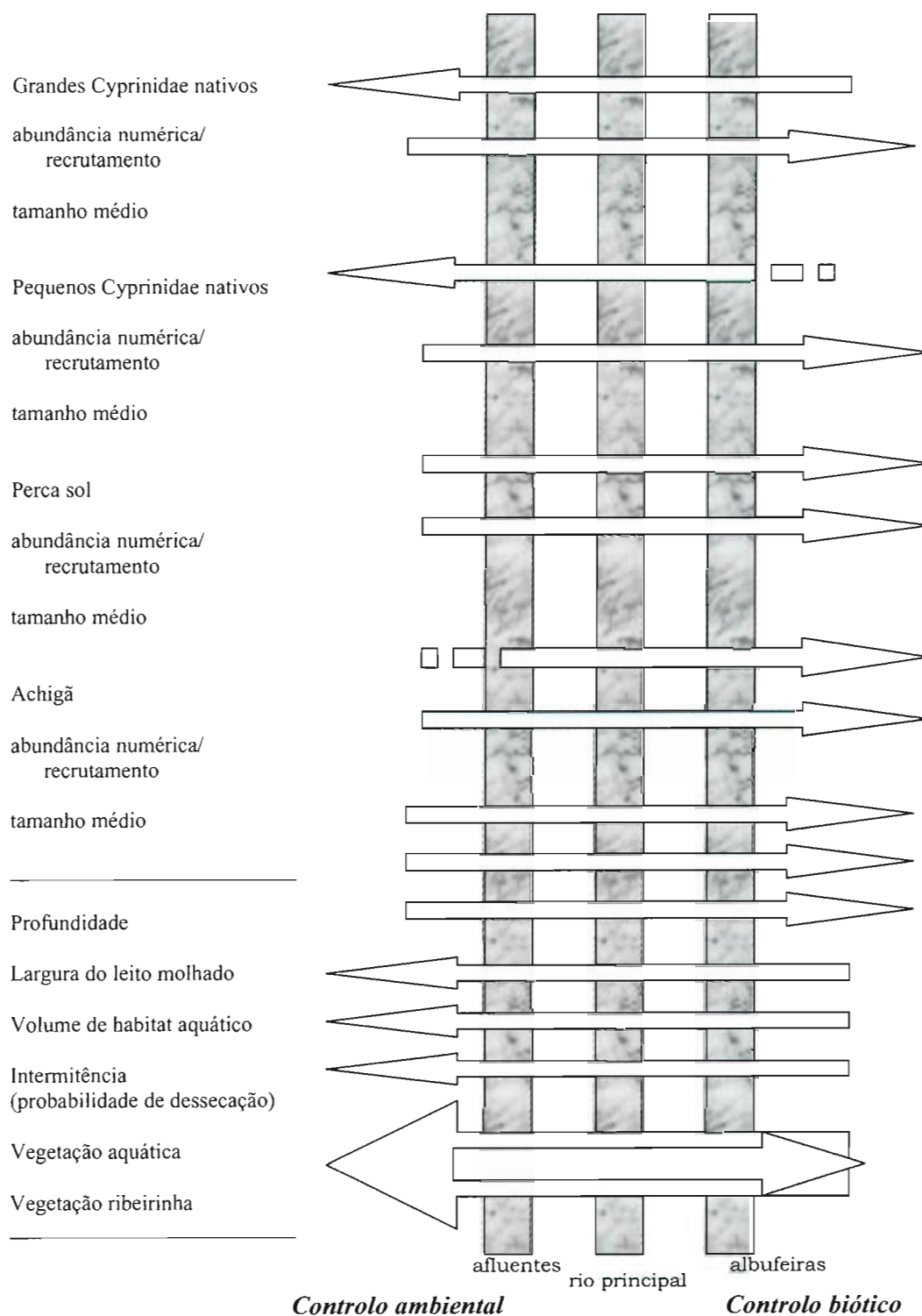


Figura 8.34 – Modelo conceptual de organização de associações piscícolas de águas quentes (MOPAQ). As setas representam a direcção de variação para cada descritor. As setas descontinuas representam gradientes que, no seu início, são pouco relevantes. O controlo ambiental é efectuado pelos factores ambientais através da diferente capacidade das espécies piscícolas para tolerar intensidades crescentes de intermitência hidráulica, enquanto que o controlo biótico é exercido sobretudo pela piscivoria do achigã através da distinta vulnerabilidade das várias espécies e classes de dimensão.

deos, parece demonstrar a aderência geral do MOPAQ a estes padrões (e.g. Oliveira e Ferreira, não publicado; Godinho *et al.*, 2000). Também outros dados recolhidos em áreas restritas da bacia do Guadiana são concordantes, na generalidade, com o modelo formulado (Collares-Pereira *et al.*, 1998; Pires *et al.*, 1999; Corbacho e Sanchez, 2001), sugerindo uma vez mais a sua robustez.

É pois, assim, num cenário natural de grande variabilidade ambiental e hídrica, já actualmente exacerbado pelo continuado aumento das utilizações de água e profundamente alterado pela construção de inúmeras infra-estruturas hidráulicas, que se organizam no presente as comunidades piscícolas ibéricas, ricas em formas endémicas e com a presença importante de *tava* exóticos. Tal como antes referido, a hidrologia do sistema é fundamental na estruturação das associações piscícolas, pelo que as previstas alterações hidrológicas, em particular o aumento da intermitência de alguns sistemas fluviais, será um importante factor modificador das comunidades actualmente observadas (Magoulick e Kobza, 2003).

Um dos aspectos centrais a ter em conta nas alterações hidrológicas produzidas pelas alterações climáticas globais residirá no aumento das secas, nomeadamente da sua intensidade, frequência e duração. Embora a ictiofauna de rios intermitentes tenha adquirido um leque de formas de adaptação (Lake, 2003), os efeitos do aumento das secas poderão ser nefastos e inesperados. As espécies de peixes dos rios com condições abióticas severas podem ser relativamente mais resistentes a pressões térmicas e de oxigénio (Matthews, 1987) e podem também ter uma maior tolerância fisiológica (Matthews e Maness, 1979) do que as espécies de sistemas menos variáveis. Todavia, tem sido provado que a perda de corrente prolongada ou permanente nas regiões áridas origina o desaparecimento de espécies (Cross e Moss, 1987) embora, na realidade, pouco se saiba sobre os efeitos dos períodos de seca prolongados provocados pela influência humana (Matthews e Marsh-Matthews, 2003), pelo que as previsões sobre a influência de secas mais intensas na ictiofauna portuguesa será sempre fortemente especulativa.

Noutras zonas do mundo, os efeitos da seca demonstrados com maior frequência são o declínio de populações de peixes, a deterioração ou destruição de *habitats*, mudanças no tipo e na estrutura de comunidades, efeitos negativos oriundos de alterações na qualidade da água, deslocamentos de/ou para albufeiras e aglomerações de peixes em *habitats* reduzidos, embora tenham sido identificadas outras consequências de menor importância (Matthews e Marsh-Matthews, 2003). Contudo, estes autores especulam sobre o facto de este declínio populacional, muitas vezes relacionado com a

seca, poder resultar de uma simples sequência ecológica ou poder envolver outros mecanismos como reacções fisiológicas e determinados aspectos genéticos.

Com efeito, uma seca apresenta efeitos directos que incluem a perda de conectividade da água superficial, do *habitat* e do rio, e efeitos indirectos que incluem a deterioração da qualidade da água (maior afastamento dos extremos dos parâmetros de qualidade), a alteração dos recursos alimentares e mudanças nas relações interespecíficas (Lake, 2003). De acordo com alguns estudos, a recuperação biótica de secas sazonais segue sequências previsíveis, ao passo que as secas supra-sazonais (menos frequentes) podem ser caracterizadas por populações densas de espécies transitórias e, por vezes, pelo desaparecimento da biota original. Há indícios de que a maioria das secas de curta duração irá deixar poucas marcas permanentes na ictiofauna e de que a recuperação será rápida (Matthews e Marsh-Matthews, 2003). Contudo, existem lacunas de conhecimento consideráveis no que se refere aos efeitos das secas de longa duração (décadas a séculos), cuja frequência aumentará em resultado das alterações climáticas.

Assim, para os ciprinídeos ibéricos de maiores dimensões (essencialmente os barbos, mas também outras espécies), as alterações na hidrologia dos sistemas de águas quentes do Sul poderão resultar na contracção dos *habitats* disponíveis, sobretudo para os exemplares adultos, embora as albufeiras possam em parte contrariar esta previsão, ao serem usadas pelos grandes exemplares quando não em fase de reprodução (Godinho *et al.*, 1998). Contudo, a oferta destes «novos» *habitats* pode não ser suficiente para contrariar o efeito do aumento da intermitência dos sistemas fluviais. Acresce que, tal como antes referido, as albufeiras tenderão a tornar-se ambientes menos favoráveis para os peixes em geral, em resultado da eutrofização, de estratificações mais prolongadas e da maior utilização da água armazenada, com o correspondente aumento da instabilidade.

Por outro lado, longos períodos com caudal reduzido ou inexistente farão aumentar o número de barreiras de pequena escala no leito fluvial e, dessa forma, favorecerão a fragmentação de populações de espécies como os barbos e as bogas, impedindo movimentações metapopulacionais (Gotelli e Taylor, 1999). A recuperação dessas populações potamódromas, que utilizam *habitats* lóticos de desova, frequentemente localizados a montante dos troços habitados pelos adultos, será também mais demorada e difícil, sendo mais frequentes os anos com reprodução fraca ou sem sucesso (Godinho *et al.*, 2000). O efeito global para estes *tava* será assim negativo, resultando na contracção das áreas utilizadas e em alterações da dinâmica e estrutura populacional, com populações desequilibradas e com estruturas etárias incompletas. Todavia,

o crescimento de algumas populações nos *habitats* ocupados pela espécie poderá não apresentar decréscimo e ser mesmo superior, tendo em atenção os aumentos de produtividade primária previstos.

Para os pequenos ciprinídeos, as alterações da hidrologia em resultado das alterações do clima podem apresentar efeitos contraditórios em função do sistema fluvial em causa. Assim, este grupo específico tenderá a ver os seus *habitats* contraírem nos rios já com elevados graus de intermitência, onde o efeito das secas tenderá a ser mais prolongado e a recuperação das populações mais demorada, podendo mesmo passar a ser impossível a partir de um determinado limiar de intermitência. Este grupo pode, no entanto, apresentar uma expansão do *habitat* disponível, não só para norte e em altitude (tal como referido anteriormente) mas nas próprias bacias do Sul, já que troços que hoje apresentam caudal mais permanente podem passar a revelar características de maior intermitência, o que poderá favorecer estes *taxa*, não apenas em relação aos grandes ciprinídeos, mas sobretudo em relação a *taxa* exóticos, como a perca-sol e o achigã, que actualmente parecem contribuir para limitar os *habitats* colonizáveis por estas espécies em rios do Sul (Godinho e Ferreira, 1998).

Por fim, e para os *taxa* exóticos perca-sol e achigã, o aumento da intermitência irá resultar na diminuição dos *habitats* disponíveis, sobretudo para o achigã, e no aumento dos desequilíbrios populacionais que já actualmente se observam nas populações destas duas espécies em rios e em albufeiras, designadamente com um recrutamento anual fortemente instável, cenário que se tenderá a agravar-se.

8.6.5 Medidas para a Preservação da Biodiversidade

As medidas de adaptação referidas neste capítulo sobrepoem-se em larga medida às propostas para o sector da floresta e às já indicadas em Pereira *et al.* (2002), não constituindo recomendações alternativas à forma de gestão que deve ou deveria ser praticada presentemente.

As recomendações para este sector deverão passar pela:

a) Monitorização

Fixação e manutenção de estações terrestres e aquáticas a longo prazo com identificação dos indicadores bioecológicos a monitorizar.

b) Investigação

Investigação com desenvolvimento experimental sobre os efeitos nas espécies, *habitats* ou ecossistemas, imputáveis directa ou indirectamente ao aquecimento global.

c) Mitigação

- Desenvolvimento de planos estratégicos de gestão para as espécies, unidades habitacionais ou ecossistemas mais susceptíveis, tendo em conta os cenários resultantes da aplicação dos *modelos climáticos*.
- Inserção das consequências e definições de projecções climáticas nos instrumentos de planeamento e ordenamento existentes ou a elaborar.
- Mitigação directa dos efeitos das alterações climáticas que poderá passar pela translação de espécies e criação de corredores ecológicos no sentido de fomentar a movimentação activa ou passiva de populações-alvo, favorecimento ou restrição de espécies.

8.7 CONCLUSÕES

O aumento de *stress* ambiental implícito nos cenários das alterações climáticas faz prever uma alteração nas áreas dos territórios de prosperidade para as actuais espécies de árvores. É provável que haja uma tendência para a substituição das espécies actuais por espécies mais tolerantes à secura, o que se poderá traduzir numa migração – natural ou induzida – de sul para norte e do interior para o litoral. Nas zonas montanhosas do Norte o aumento da temperatura poderá permitir que espécies como o sobreiro ou o pinheiro-bravo prosperem a maiores altitudes, expandindo a sua área potencial. Nas regiões onde, no presente, já se verificam os efeitos de uma aridez acentuada (como, por exemplo, o interior alentejano), poderão ser ultrapassados os limites ambientais para a sobrevivência da floresta.

Em paralelo, a produtividade vegetal poderá aumentar no Norte do país, mais no litoral que no interior, sendo as espécies mais adaptadas à secura e às temperaturas elevadas mais beneficiadas pelas alterações climáticas, ao passo que as espécies com maiores exigências em humidade apresentam aumentos de produtividade mais modestos e localizados. O Centro litoral será menos afectado já que um *stress* ambiental mais severo poderá ser contrabalançado pelo efeito fertilizante da concentração elevada de CO₂ na atmosfera. A importância deste efeito dependerá da espécie. A produtividade vegetal sofrerá um decréscimo moderado no Centro interior, que se poderá tornar mais notório no Sul, em particular no interior.

Os cenários possíveis sugerem maior risco de incêndio, devido a um possível aumento da biomassa de maior combustibilidade e ao aumento do risco meteorológico de incêndio. Esta tendência poderá ser reforçada pela menor produtividade esperada, que poderá constituir um desincentivo ao investimento na gestão silvícola.

Embora a escassez de dados de base e a complexidade dos processos não permitisse uma quantificação das variações no *stock* e na capacidade de sequestro de carbono nas florestas nacionais perante os cenários de alteração climática, limitando-se a análise a casos pontuais, parece evidente uma diminuição na capacidade para as florestas sequestrarem carbono no futuro. Um tal decréscimo, resultante da concorrência de factores como menores produtividades, taxas de respiração mais elevadas e, eventualmente, maior incidência de fogos, limita a capacidade de mitigação do efeito de estufa pelas florestas.

Em termos de biodiversidade é de esperar uma tendência para a dominância de comunidades estruturalmente mais simples. Enquanto nas regiões Norte e Centro os impactos variam desde um aumento da área potencial de comunidades de carácter atlântico (floresta mista temperada quente) até um aumento da área potencial das comunidades mais xéricas (florestas e matos temperados esclerofíticos), consoante o cenário climático considerado; na região Sul há uma tendência, comum a todos os cenários, para o aumento da área de matos xerofíticos e mesmo para áreas dominadas apenas por espécies anuais.

Em relação à diversidade biológica em meio fluvial, prevê-se uma maior acessibilidade dos nutrientes para os produtores primários, maior intensidade e período de crescimento destes, com sintomas crescentes de eutrofização. Este facto terá, como consequência, o aumento dos períodos de carência de oxigénio e do volume de água afectada com aumento

da «dureza» das condições abióticas dos ecossistemas. Prevê-se ainda perda da conectividade vertical e longitudinal dos ecossistemas fluviais com perda dos *habitats* disponíveis para as espécies. Em relação aos grandes ciprinídeos ibéricos, espera-se uma redução da conectividade longitudinal e de áreas de recrutamento a montante, enquanto que para os pequenos ciprinídeos, se espera uma expansão nos *habitats* novos em sistemas maiores e mais a norte. Estas espécies tenderão a sofrer menor pressão biótica por parte das espécies exóticas que também sofrerão uma redução do seu *habitat*.

Os impactos das alterações climáticas na floresta podem ter consequências negativas para a economia, pondo em perigo a competitividade das indústrias florestais (pasta celulósica, cortiça, aglomerados, mobiliário) e a manutenção dos mais de 250 000 postos de trabalho (CESE, 1998). Por outro lado, a diminuição da produtividade e a eventual degradação de algumas florestas põem em risco a continuidade da prestação dos serviços ambientais, tais como a regulação do regime hidrológico, a protecção dos solos contra a erosão, a manutenção da biodiversidade ou a utilização para fins recreativos.

O custo social de alterações desta magnitude justifica:

- Uma melhoria da organização e dos meios de prevenção e combate aos incêndios florestais.
- Investimento na reconversão e na gestão adaptativa da floresta tendo em conta as alterações climáticas.
- Reforço da investigação científica de longo termo relacionada com as alterações climáticas.

8.8 REFERÊNCIAS

- Alves, A. A. M. e J. S. Pereira, 1990, Impactes Ambientais e Socio-económicos do Eucaliptal em Portugal, Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Departamento de Engenharia Florestal 105.
- Alves, J. M. S., M. D. E. Santos, J. C. Costa, J. H. G. Gonçalves e M. F. Lousã, 1998, Habitats Naturais e Seminaturais de Portugal Continental, Lisboa, Instituto de Conservação da Natureza ICN.
- Ambiente, Ministério de Medio, 2000, Plan Hidrológico Nacional de España – Análisis Ambientales, Madrid.
- Atkin, O. K., C. Holly e M. C. Ball, 2000, Acclimation of snow gum *Eucalyptus pauciflora* leaf respiration to seasonal and diurnal variations in temperature: the importance of changes in the capacity and temperature sensitivity of respiration, *Plant, cell and environment* 23(1): 15-26.
- Atkin, O. K. e M. G. Tjoelker, 2003, Thermal acclimation and the dynamic response of plant respiration to temperature, *Trends in Plant Science* 8: 313-361.
- Begon, M., J. L. Harper e C. R. Townsend, 1996, *Ecology*, Oxford, Blackwell Science.
- Boxer, C. R., 1969, *The Portuguese seaborne empire, 1415-1825*, London, Hutchinson.
- Burleson, M. L., D. R. Wilhelm e N. J. Smatresk, 2001, The influence of fish size on the avoidance of hypoxia and oxygen selection by largemouth bass, *Journal of Fish Biology* 59: 1336-1349.
- Capelo, J., 2003, Formações reliquias de folhosas, Comunicação Pessoal.
- Casselman, J. M., 2002, Effects of temperature, global extremes, and climate change on year-class production of warmwater, coolwater, and coldwater fishes in the great lakes basin, *American Fisheries Society Symposium* 32: 39-60.
- CELPA, 2003, Boletim Estatístico, Lisboa, CELPA.
- CELPA, 2004, A floresta, CELPA, Lisboa, <http://www.celipa.pt/>
- CESE, 1998, Livro Verde da Cooperação Ensino Superior-Empresa. Sector Florestal, Lisboa, CESE.
- Ceulemans, R. e M. Mousseau, 1994, Tansley Review no. 71. Effects of Elevated Atmospheric CO₂ on Woody Plants, *New Phytologist* 127(3): 425-446.
- Chandler, G., P. Cheney, P. Thomas, L. Traubad e D. Williams, 1983, *Fire in Forestry*, New York, John Wiley and Sons.
- Collares-Pereira, M. J., M. F. Magalhães, A. M. Geraudes e M. M. Coelho, 1995, Riparian ecotones and spatial variation of fish assemblages in Portuguese lowland streams, *Hydrobiologia* 303: 93-101.
- Collares-Pereira, M. J., A. M. Pires, M. M. Coelho e I. G. Cowx, 1998, Towards a conservation strategy for *Anaocypris hispanica*, the most endangered non-migratory fish in portuguese streams, Stocking and introduction of fish, I. G. Cowx, Oxford, *Blackwell Science*: 437-449.
- Cooper, G. P. e W. G. N., 1946, Relation of dissolved oxygen to winter mortality of fish in Michigan lakes, *Transactions of the American Fisheries Society* 76: 23-33.
- Corbacho, C. e J. M. Sanchez, 2001, Patterns of species richness and introduced species in native freshwater fish faunas of a mediterranean-type basin: the Guadiana river (southwest Iberian Peninsula), *Regulated Rivers: Research and Management* 17: 699-707.
- Corona, P., 1993, Applying biodiversity concepts to plantation forestry in northern Mediterranean landscapes, *Landscape and Urban Planning* 24: 23-31.
- Cross, F. B. e R. E. Moss, 1987, Historic changes in fish communities and aquatic habitats in plains streams of Kansas. Community and evolutionary ecology of North American stream fishes, W. J. Matthews e D. C. Heins, University of Oklahoma Press, 155-165.
- Cunha, L. V., R. Oliveira e V. Nunes, 2002, Water Resources, In *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures* – SIAM Project, F. D. Santos, Forbes, K. e Moita, R. (eds.), Lisboa, Gradiva, 135-171.
- Dale, V. H., L. A. Joyce, S. Menulty, R. P. Neilson e E. Al, 2001, Climate change and forest disturbances, *Bioscience* 51(9): 723.
- David, T. S., M. I. Ferreira, S. Cohen, J. S. Pereira e D. J. S., 2004, Constraints on transpiration from an evergreen oak tree in southern Portugal, *Agricultural and Forest Meteorology* 122: 193-205.
- Davies, B. R., M. C. Thoms, K. F. Walker, O'Keefe e J. A. Gore, 1994, Dryland rivers: their ecology, conservation and management, *The rivers handbook: hydrological and ecological principles*, P. Calow e G. E. Petts, Oxford, Blackwell Scientific Publications: 484-511.
- DGE, 2001a, Inventário Florestal Nacional. Direcção-Geral de Florestas, Lisboa, <http://www.dgf.min-agricultura.pt/ifn/index.htm>.
- DGE, 2001b, Inventário Florestal Nacional – 3.ª Revisão 1995-1998, Lisboa, Direcção-Geral de Florestas.
- Ehrlich, P. R. e A. H. Ehrlich, 1981, *Extinction – The causes and consequences of the disappearance of species*, New York, USA, Random House.
- Encina, L. e C. Granado-Lorencio, 1991, Diet and feeding chronology of three iberian fish species, *Ecology International Bulletin* 19: 43-64.
- Farquhar, G. D., S. V. Caemmerer e J. A. Berry, 1980, A Biochemical-Model of Photosynthetic CO₂ Assimilation in Leaves of C-3 Species, *Planta* 149(1): 78-90.
- Fernandez-Delgado, C. e M. Herrera, 1994, Population structure, growth and reproduction of *Tropidophoxinellus alburnoides* in an intermittent stream of the Guadalquivir river basin (southern Spain), *Archiv für hydrobiologie* 130: 359-369.
- Flannigan, M. D., Y. Bergeron, O. Engelmarm e B. M. Wotton, 1998, Future wildfire in circumboreal forests in relation to global warming, *Journal of vegetation science* 9: 477-482.
- Fox, M. G. e A. G. Crivelli, 1998, Body size and reproductive allocation in a multiple spawning centrarchid, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55: 737-748.
- Freitas, H., 2000, Biodiversidade e Conservação dos Ecossistemas Terrestres, Provas de Agregação, Universidade de Coimbra.
- Freitas, H., 2002, Land-use/Land-cover changes and biodiversity loss, *Encyclopedia of Life Support Systems*, Oxford, UK, EOLSS, Eolss Publishers.
- Gasith, A. e V. H. Resh, 1999, Streams in mediterranean climate regions: abiotic influences and biotic responses to predictable seasonal events, *Annual Review of Ecology and Systematics* 30: 51-81.
- Gee, J. H., R. F. Tallman e H. J. Smart, 1978, Reactions of some Great Plains fishes to progressive hypoxia, *Canadian Journal of Zoology* 56: 1962-1966.
- Godinho, F. N., 2003, Ecologia do achigã «*Micropterus salmoides*» e da perca-sol «*Lepomis gibbosus*» no Baixo Guadiana: a mediação ambiental das interações bióticas, Dissertação de Doutoramento, Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa.
- Godinho, F. N. e M. T. Ferreira, 1996, The application of size-structure índices to *Micropterus salmoides* (Lacepède, 1802) and *Lepomis gibbosus* (L., 1758) populations as a management tool for southern Iberian reservoirs, *Publicaciones Especiales Instituto Español de Oceanografía* 21: 275-281.
- Godinho, F. N. e M. T. Ferreira, 1998, Fish assemblage in relation to environmental gradients in Portuguese reservoirs, *Aquatic Living Resources* 11(5): 325-334.
- Godinho, F. N., M. T. Ferreira e J. M. Santos, 2000, Variation in fish community composition along an Iberian river basin from low to high discharge: relative contributions of environmental and temporal variables, *Ecology of Freshwater Fish* 9: 20-29.
- Godinho, F. N., M. T. Ferreira e P.-C. M.L., 1998, Fish assemblage composition in relation to environmental gradients in Portuguese reservoirs, *Aquatic Living Resources* 11: 325-334.

- Godinho, F. N., M. T. Ferreira e R. M. V. Cortes, 1997, Composition and spatial organization of fish assemblages in the lower Guadiana basin, southern Iberia, *Ecology of Freshwater Fish* 6: 134-143.
- Gotelli, N. J. e C. M. Taylor, 1999, Testing metapopulation models with stream-fish assemblages, *Evolutionary Ecology Research* 1: 835-845.
- Gould, S. J., 1989, *Wonderful life: The Burgess Shale and the Nature of History*. New York, W.W. Norton.
- Gracia, C. A. e S. Sabate, 2003, GOTILWA+, Barcelona, <http://www.crea.uab.es/gotilwa+/>.
- Granado-Lorencio, C., 1996, Ecología de Peces. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, *Serie Ciencia* 45.
- Granado-Lorencio, C. e F. Garcia-Navo, 1981, Cambios ictiológicos durante las primeras etapas de la sucesión en el embalse de Arrocampo, *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* 4: 224-242.
- Granado-Lorencio, C. e F. Garcia-Navo, 1985, Fish community in a new reservoir in southern Spain, *Proceedings of the Symposium on Small Hydropower and Fisheries*. F. W. Olson, White, R. G. E. Hamre, R. H. Bethesda, Maryland, American Fisheries Society: 485-488.
- Gratani, L., P. Pesoli, M. F. Crescente, K. Aichner e W. Larcher, 2000, Photosynthesis as a temperatura indicator in *Quercus ilex* L., *Global and Planetary Change* 24: 153-163.
- Grimmett, R. F. e T. A. Jones, 1989, *Important bird areas in Europe*, International Council for Bird Preservation.
- Gutiérrez-Estrada, J. C., Pulido-Calvo, I. E. Fernandez-Delgado, C., 2000, Age-structure, growth and reproduction of the introduced pumpkinseed, *Lepomis gibbosus*, in a tributary of the Guadalquivir river (Southern Spain), *Limnética* 19: 21-29.
- Hall, D. J. e T. J. Ehlinger, 1989, Perturbation, planktivory, and pelagic community structure: the consequences of winterkill in a small lake, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 46: 2203-2209.
- Hector, A., B. Schmid, C. Beierkuhnlein, M. C. Caldeira, M. Diemer, P. G. Dimitrakopoulos, J. A. Finn, H. Freitas, P. S. Giller, J. Good, R. Harris, P. Höglberg, K. Huss-Danell, J. Joshi, A. Jumpponen, C. Körner, P. W. Leadley, M. Loreau, A. Minns, C. P. H. Mulder, G. O'Donovan, S. J. Otway, J. S. Pereira, A. Prinz, D. J. Read, M. Scherer-Lorenzen, E.-D. Schulze, A.-S. D. Siamantziouras, E. M. Spelm, A. G. Terry, A. Y. Troumbis, F. I. Woodward, S. Yachi e J. H. Lawton, 1999, Plant Diversity and Productivity Experiments in European Grasslands, *Science* 286: 1123-1127.
- Herrera, M. e C. Fernandez-Delgado, 1992, The life-history patterns of *Barbus bocagei* sclateri in a tributary stream of the Guadalquivir river basin, southern Spain, *Ecology of Freshwater Fishes* 1: 42-51.
- Herrera, M. e C. Fernandez-Delgado, 1994, The age, growth and reproduction of *Chondrostoma toxostoma willkommii* in a seasonal stream in the Guadalquivir river basin (southern Spain), *Journal of Fish Biology* 44: 11-22.
- Herrera, M., J. A. Hernando, C. Fernandez-Delgado e M. Bellido, 1988, Age, growth and reproduction of the barbel *Barbus sclateri* in a first order stream in southern Spain, *Journal of Fish Biology* 33: 371-381.
- Hynes, H. B. N., 1970, *The ecology of running waters*, University of Toronto Press, Toronto.
- IA, 2003, Atlas do Ambiente Digital. Instituto do Ambiente, Lisboa. <http://www.ambiente.pt/atlas/est/index.jsp>.
- ICN, 1998, Primeiro Relatório de Portugal a submeter à Conferência das Partes da Convenção sobre a Diversidade Biológica, Lisboa, Ministério do Ambiente, 79.
- Ilhéu, M., P. Guilherme, J. Bernardo e M. Morais, 2001, Dynamics of fish assemblages in summer pools in a Mediterranean stream. Em: *2nd Symposium for European Freshwater Sciences, Abstract Book*, Toulouse, France, Université Paul Sabatier, 76.
- Jarvis, P. G., A. Rey, C. Petsikos, M. Rayment, J. S. Pereira, J. Banza, J. S. David, F. Miglietta e R. Valentini, 2004, Drying and wetting of soils stimulates decomposition and carbon dioxide emission: the «Birch Effect», Comunicação Pessoal.
- Joffre, R., S. Rambal e J. P. Ratte, 1999, The dehesa system of southern Spain and Portugal as a natural ecosystem mimic, *Agroforestry Systems* 45: 57-79.
- Kaplan, J. O., N. H. Bigelow, I. G. Prentice, S. P. Harrison, P. J. Bartlein, T. R. Christensen, W. Cramer, N. V. Matveyeva, A. D. McGuire, D. F. Murray, V. Y. Razzhivin, B. Smith, D. A. Walker, P. M. Anderson, A. A. Andreev, L. B. Brubaker, M. E. Edwards e A. V. Lozhkin, 2003, Climate change and arctic ecosystems II: Modeling, paleodata-model comparisons, and future projections, *Journal of Geophysical Research*, 108: 1-17.
- Klinger, S. A., J. J. Magnuson e G. W. Gallep, 1982, Survival mechanisms of the Central mudminnow (*Umbra limmi*), fathead minnow (*Pimephales promelas*) and brook stickleback (*Culaea inconstans*) for low oxygen in winter, *Environmental Biology of Fishes* 7: 113-120.
- Kramer, K., I. Leinonen, H. H. Bartelink, P. Berbigier, M. Borghetti, C. Bernhofer, E. Cienciala, A. J. Dolman, O. Froer, C. A. Gracia, A. Granier, T. Grunwald, P. Hari, W. Jans, S. Kellomäki, D. Loustau, F. Magnani, T. Markkanen, G. Matteucci, G. M. J. Mohren, E. Moors, A. Nissinen, H. Peltola, S. Sabate, A. Sanchez, M. Sontag, R. Valentini e T. Vesala, 2002, Evaluation of six process-based forest growth models using eddy-covariance measurements of CO₂ and H₂O fluxes at six forest sites in Europe, *Global Change Biology* 8(3): 213-230.
- Kushlan, J. A., 1974, Quantitative sampling of fish populations in shallow freshwater environments, *Transactions of the American Fisheries Society* 103: 348-352.
- Kushlan, J. A., 1976, Environmental stability and fish community diversity, *Ecology* 57: 821-825.
- Lake, P. S., 2003, Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters, *Freshwater Biology* 48: 1161-1172.
- Langston, N. E., 1998, People and nature, *Ecology*. S. I. Dodson, T. F. H. Allen, S. R. Carpenter, A. R. Ives, R. L. Jeanne, J. F. Kitchell, N. E. Langston e M. G. Turner. Oxford, New York, Oxford University Press: 25-75.
- Lapin, M. e B. V. Barnes, 1995, Using the landscape ecosystem approach to access species and ecosystem diversity, *Conservation Biology* 9: 1148-1158.
- Leuning, R., 1995, A Critical-Appraisal of a Combined Stomatal-Photosynthesis Model for C-3 Plants, *Plant Cell and Environment* 18(4): 339-355.
- Lindenmayer, D. B., C. R. Margules e D. B. Botkin, 2000, Indicators of biodiversity for ecologically sustainable forest management, *Conservation Biology* 14: 944-950.
- Linder, S., S. Kellomäki e M. Marek, 1999, Description of new facilities. Ecocraft: Predicted Impacts of Rising Carbon Dioxide and Temperature on Forests in Europe at Stand Scale – Final Report, P. Jarvis. Edinburgh, University of Edinburgh.
- Lobon-Cervia, J., 1988, Feeding strategy of the barbel (*Barbus bocagei*) with relation to benthos composition, *Archiv für Hydrobiologie* 114: 83-95.
- Loreau, M., 2000, Biodiversity and ecosystem functioning: recent theoretical advances, *Oikos* 91: 3-17.
- Loreau, M. e A. Hector, 2001, Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments, *Nature* 412(7276).
- Magalhães, M. F., 1993a, Effects of season and body-size on the distribution and diet of the iberian chub *Leuciscus pyrenaicus* (Gunther) in a lowland basin, *Journal of Fish Biology* 42: 875-888.
- Magalhães, M. F., 1993b, Feeding of an iberian stream cyprinid fish assemblage: seasonality of resource use in a highly variable environment, *Oecologia* 93: 253-260.

- Magoulick, D. D. e R. M. Kobza, 2003, The role of refugia for fishes during drought: a review and synthesis, *Freshwater Biology* 1186-1198: 48.
- Magurran, A. E. e R. M. May, 1999, Evolution of Biological Diversity, Oxford, Oxford University Press, 329.
- Marchetti, M. P. e P. B. Moyle, 2000, Effects of flow regime on fish assemblages in a regulated California stream, *Ecological Applications* 11: 530-539.
- Maroco, J. P., E. Breia, T. Faria, J. S. Pereira e M. M. Chaves, 2002, Effects of long-term exposure to elevated CO₂ and N fertilization on the development of photosynthetic capacity and biomass accumulation in *Quercus suber* L., *Plant Cell and Environment* 25(1): 105-113.
- Matthews, W. J., 1987, Physicochemical tolerance and selectivity of stream fishes as related to their geographical ranges and local distribution, Community and evolutionary ecology of North American stream fishes, W. J. Matthews e D. C. Heins, University of Oklahoma Press: 111-120.
- Matthews, W. J. e E. Marsh-Matthews, 2003, Effects of drought on fish across axes of space, time and ecological complexity, *Freshwater Biology* 48: 1232-1253.
- Matthews, W. J. e J. D. Maness, 1979, Critical thermal maxima, oxygen tolerances and success of cyprinid fishes in southwestern river, *The American Midland Naturalist* 102: 374-377.
- Meador, M. R. e R. M. Goldstein, 2003, Assessing water quality at large geographic scales: relations among land use, water physicochemistry, riparian condition and fish community structure, *Environmental Management* 31: 504-517.
- Medlyn, B. E., F. W. Badcock, D. G. G. De Pury, C. V. M. Barton, M. Broadmeadow, R. Ceulemans, P. De Angelis, M. Forstreuter, M. E. Jach, S. Kellomaki, E. Laitat, M. Marek, S. Philippot, A. Rey, J. Strassmeyer, K. Laitinen, R. Liozon, B. Portier, P. Robertz, K. Wang e P. G. Jarvis, 1999, Effects of elevated CO₂ on photosynthesis in European forest species: a meta-analysis of model parameters, *Plant Cell and Environment* 22(12): 1475-1495.
- Meffe, G. K., 1984, Effects of abiotic disturbance on coexistence of predator-prey fish species, *Ecology* 65: 1525-1534.
- Mendes, A. M. S. C., 2000, Tendências evolutivas da agricultura e das zonas rurais. Estudo Prospectivo. Estratégias para a Formação Profissional Agrária (2000-2006), A. Oliveira-Das-Neves. Lisboa, Instituto de Estudos Sociais e Económicos e Quaternaire Portugal.
- Mendonça, J. C., 1961, 75 anos de actividade na arborização das serras, Lisboa, Direcção-Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas, 139.
- Mensing, D. M., S. M. Galatowitsch e J. R. Tester, 1998, Anthropogenic effects on the biodiversity of riparian wetlands of a northern landscape, *Journal of Environmental Management* 53: 349-377.
- Miranda, P., F. Coelho, A. Tomé e M. Valente, 2002, 20th Century Portuguese Climate and Climate Scenarios, In Climate Change in Portugal, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project, F. D. Santos, K. Forbes e R. Moita (eds.), Lisboa, Gradiva, 454.
- Mittelbach, G. G., M. Turner, D. J. Hall, J. E. Rettig e C. W. Osenberg, 1995, Perturbation and resilience: a long term whole-lake study of predator extinction and reintroduction, *Ecology* 76: 2347-2360.
- Moreira, I., M. T. Ferreira, C. R., P. P. e P. R. Almeida, 2002, Ecossistemas aquáticos e ribeirinhos: ecologia, gestão e conservação, Lisboa, Plano Nacional da Água, Instituto da Água, Direcção de Serviços de Planeamento, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente.
- Moyle, P. B. e B. Vondracek, 1985, Persistence and structure of the fish assemblage in a small California stream, *Ecology* 66: 1-13.
- Moyle, P. B. e J. J. Cech, 1996, Fishes: an introduction to ichthyology, New Jersey, Prentice Hall.
- Moyle, P. B. e T. Ligth, 1996, Fish invasions in California: do abiotic factors determine success? *Ecology* 77: 1666-1670.
- Oliveira, Â. C., J. S. Pereira e A. V. Correia, 2000, A Silvicultura do Pinheiro-Bravo, Centro PINUS, 111.
- Onofre, N., 1986, Sobre o ordenamento dos meios florestais para a conservação das aves não cinegéticas, *1.º Congresso Florestal Nacional*, Lisboa, 328-340.
- Onofre, N., 1987, Avifauna de montados de sobreiro, *Cortiça*: 56-57.
- Palma, L., N. Onofre e L. Oliveira, 1985, Situação actual e perspectivas de conservação da fauna silvestre nos povoamentos de sobreiro e azinho – sua importância como factor de valorização ecológica e económica. *Congresso sobre o Alentejo – Semeando novos ramos*, Évora, 1487-1502.
- Pearsons, T. N., H. W. Li e G. A. Lamberti, 1992, Influence of habitat complexity on resistance to flooding and resilience of stream fish assemblages, *Transactions of the American Fisheries Society* 121: 427-436.
- Pereira, J. M. C. e M. T. N. Santos, 2003, Áreas Queimadas e Risco de Incêndio em Portugal, Lisboa, Direcção-Geral das Florestas.
- Pereira, J. S., M. C. Barros e J. M. Rodrigues, 1999, As causas da mortalidade do sobreiro revisitadas, *Revista Florestal* 12(1/2): 20-23.
- Pereira, J. S., J. D. Tenhunen, L. O. L., W. Beyschlag, A. Meyer e M. M. David, 1986, Seasonal and diurnal patterns in leaf gas exchange of *Eucalyptus Globulus* trees growing in Portugal, *Can. J. For. Res.* 16: 177-184.
- Pereira, J. S., A. V. Correia, A. C. Correia, M. Branco, M. Bugalho, M. C. Caldeira, S. C. Cruz, H. Freitas, Â. C. Oliveira, P. J. M. C., R. M. Reis e M. J. Vasconcelos, 2002, Forest and Biodiversity, In Climate Change in Portugal, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project, F. D. Santos, K. Forbes e R. Moita (eds.), Lisboa, Gradiva, 454.
- Pereira, J. S., J. S. David, T. S. David, M. C. Caldeira e M. M. Chaves, 2004, Carbon and water fluxes in mediterranean-type ecosystems – constraints and adaptations, Progress in Botany, U. L. K. Esser, W. Beyschlag e J. Murata, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 65: 467-498.
- Pereira, P. M. e M. P. Fonseca, 2003, Nature vs. nurture: the making of the montado ecosystem, *Conservation Ecology* 7: 7.
- Peris, S. J., A. Martín e J. C. Velasco, 1994, Age, growth and reproduction of the cyprinid *Tropidophoxinellus alburnoides* (Stephanidis, 1974) in river Agueda, west-central Spain, *Archiv für Hydrobiologie* 131: 341-352.
- Pinto, P. A., A. P. Brandão, F. Lemos e R. Braga, 2003, Operacionalização de uma carta de solos 1:1 000 000. *O solo – factor de qualidade ambiental. Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo*, Escola Superior Agrária de Coimbra, SPCS, 27.
- Pires, A. M., I. G. Cowx e M. M. Coelho, 1999, Seasonal changes in fish community structure of intermittent streams in the middle reaches of the Guadiana basin, Portugal, *Journal of Fish Biology* 54: 235-249.
- Pitelka, L. F., 1997, Plant Migration and Climate Change – Understanding plant migration is essential to predicting responses to global warming, *American scientist* 85(10).
- Poff, N. L. e J. V. Ward, 1989, Implications of streamflow variability and predictability for lotic community structure: a regional analysis of streamflow patterns, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 46: 1805-1818.
- Poff, N. L. e J. D. Allan, 1995, Functional organization of stream fish assemblages in relation to hydrological variability, *Ecology* 76: 606-627.

- Poff, N. L., J. D. Allan, M. B. Bain, J. R. Karr, K. D. Prestegard, B. D. Richter, R. E. Sparks e K. L. Strömberg, 1997, The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration, *Bioscience* 47: 769-784.
- Poorter, H., 1998, Do slow-growing species and nutrient-stressed plants respond relatively strongly to elevated CO₂? *Global Change Biology* 4(6): 693-697.
- Prenda, J. M., 1993, Uso del habitat en algunas poblaciones de animales acuáticos de un río del sur de España. Influencia de las interacciones bióticas, Ph.D. Sevilla, Universidade de Sevilla.
- Pyne, S. J., 1997, Vestal fire: an environmental history, told through fire, of Europe and Europe's encounter with the world, Seattle, University of Washington Press, xvii, 639.
- Radich, M. C. e A. A. M. Alves, 2000, Dois séculos de floresta em Portugal, Lisboa, Portugal, CELPA.
- Rahel, F. J., 1984, Factors structuring fish assemblages along a bog successional gradient, *Ecology* 65: 1276-1289.
- Reichstein, M., J. D. Tenhunen, J. M. Ourcival, S. Rambal, S. Dore e R. Valentini, 2002, Ecosystem Respiration in two Mediterranean evergreen holm oak forests: Drought Effects and Decomposition Dynamics, *Functional Ecology* 16(27-39).
- Reis, M. S., 1983, Status and distribution of the portuguese mustelids, *Acta Zoologica Fennica* 174: 213-216.
- Resh, V. H., A. V. Brown, A. P. Covich, M. E. Gurtz e H. W. Li, 1988, The role of disturbance in stream ecology, *Journal of the North American Benthological Society* 7: 433-455.
- Richter, B. D., R. Mathews, D. L. Harrison e R. Wigington, 2003, Ecological sustainable water management: managing river flows for ecological integrity, *Ecological Applications* 13: 206-234.
- Rodríguez-Ruiz, A., 1992, Relación entre la comunidad ictica y la estructura del habitat en un río de régimen mediterráneo, Unpublished Ph.D. Sevilla, University of Sevilla.
- Rodríguez-Ruiz, A., 1998, Fish species composition before and after construction of a reservoir on the Guadalete river (SW Spain), *Archiv für hydrobiologie* 142: 353-369.
- Sabaté, S., 2003, Respiration in the GOTILWA+ model. Comunicação Pessoal.
- Sampaio, T. S. P., 2003, Avaliação da tolerância à secura num ensaio de proveniências da *Quercus suber* L. Relatório de Licenciatura em Engenharia Florestal, Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior de Agronomia, 84.
- Santos, F. D., K. Forbes e R. Moita, 2002 (eds.), Climate change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project, Lisboa, Gradiva.
- Schlösser, I. J., 1987, A conceptual framework for fish communities in small headwater streams. Community and evolutionary ecology of North American stream fishes, W. J. Matthews e D. C. Heins, University of Oklahoma Press: 17-24.
- Shuter, B. J., C. K. Minns e N. Lester, 2002, Climate change, freshwater fish, and fisheries: case studies from Ontario and their use in assessing potential impacts, *American Fisheries Society Symposium* 32: 77-88.
- Silva, J. B. A., 1815, Memória sobre a necessidade e utilidade do plantio de novos bosques em Portugal, *Actas da Academia Real das Ciências de Lisboa*: 140-152.
- Silva, T., 2004, Estimativa das emissões atmosféricas originadas por incêndios em Portugal Continental ao longo do período compreendido entre 1990 e 1999, Relatório (Licenciatura em Engenharia Florestal), Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior de Agronomia, 89.
- Southwood, T. R., 1977, Habitat, the template for ecological strategies? *Animal Ecology* 46: 337-365.
- Stocks, B. J., M. A. Fosberg, T. J. Lynham, L. Mearns, B. M. Wotton, Q. Yang, J. Jin, K. Lawrence, G. R. Hartley, J. A. Mason e D. W. Mckenney, 1998, Climate change and forest fire potential in Russian and Canadian Boreal Forests, *Climatic Change* 38: 1-13.
- Strahler, A. N., 1957, Quantitative analysis of watershed geomorphology, *American Geophysical Union Transactions* 38: 913-920.
- Thomas, C. D., A. Cameron, G. R. E., M. Bakkenes, L. J. Beaumont, Y. Lollingham, B. F. N. Erasmus, M. F. Siqueira, A. Grainger, L. Hannah, L. Hughe, B. Huntley, A. S. V. Jaarsveld, G. F. Midgley, L. Miles, M. A. Ortega-Huerta, A. T. Peterson, O. L. Phillips e S. E. Williams, 2004, Extinction risk from climate change, *Nature* 427: 145-148.
- Tilman, D., 1999, The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles, *Ecology* 80(5): 1456-1474.
- Tilman, D., J. Knops, D. Wedin e P. Reich, 2002, Experimental and observational studies of diversity, productivity, and stability, The Functional Consequences of Biodiversity, A. P. Kinzig, S. W. Pacala e D. Tilman, Princeton, Princeton University Press, 42-70.
- Tomé, M., A. Falcão e A. Amaro, 1997, GLOBULUS v1.0.0: a regionalized growth simulator for eucalypt plantations in Portugal. Modelling Growth of Fast-Grown Tree Species., Valdivia, Chile, IUFRO, 138-145.
- Townsend, C. R. e A. G. Hildrew, 1994, Species traits in relation to a habitat template for river systems, *Freshwater Biology* 31: 265-275.
- Valentini, R., G. Matteucci, A. J. Dolman, E. D. Schulze, C. Rebmann, E. J. Moors, A. Granier, P. Gross, N. O. Jensen, K. Pilegaard, A. Lindroth, A. Grelle, C. Bernhofer, T. Grunwald, M. Aubinet, R. Ceulemans, A. S. Kowalski, T. Vesala, U. Rannik, P. Berbigier, D. Loustau, J. Guomundsson, H. Thorgeirsson, A. Ibrom, K. Morgenstern, R. Clement, J. Moncrieff, L. Montagnani, S. Minerbi e P. G. Jarvis, 2000, Respiration as the main determinant of carbon balance in European forests, *Nature* 406(6800): 861-865.
- Van Wagner, G. E., 1987, Development and structure of the Canadian forest fire weather index system, Canadian Forest Service.
- Velasco, J., P. A. Rincón e J. Lobon-Cervia, 1990, Age, growth and reproduction of the cyprinid *Rutilus lemmingii* (Steindachner, 1866) in the river Huebra central Spain, *Journal of Fish Biology* 36: 169-180.
- Viegas, D. X. e M. T. Viegas, 1994, A relationship between rainfall and burned area for Portugal, *International Journal of Wildland Fire* 4(1): 11-16.
- Williams, M., 2003, Deforesting the earth: from prehistory to global crisis, Chicago, University of Chicago Press, xxvi, 689.
- Woodward, F. I., 2001, Potential impacts of global elevated CO₂ concentrations on plants, *Current Opinion in Plant Biology* 5: 207-211.
- Zapata, S. C. e C. Granado-Lorencio, 1993, Age, growth and feeding of the exotic species *Lepomis gibbosus* in a spanish cooling reservoir, *Archiv für Hydrobiologie* 90: 561-573.

9

Pescas

Carlos Sousa Reis (Coordenador)

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Ricardo Lemos

SIAM

Diogo Alagador

SIAM

ÍNDICE

SUMÁRIO EXECUTIVO	347
EXECUTIVE SUMMARY	348
9. PESCAS	349
9.1 INTRODUÇÃO	349
9.2 MATERIAL E MÉTODOS	349
9.2.1 Elaboração e Análise de Um Diagrama de Pressões Ambientais	350
9.2.2 Modelação Estatística da Resposta do Carapau-Branco e Pescada ao Aquecimento Global	350
9.2.3 Análise das Simulações de Modelos Climáticos	355
9.2.3.1 Estimação de Impactos	355
9.3 RESULTADOS	355
9.3.1 Avaliação do Diagrama de Pressões Ambientais	355
9.3.1.1 Enfraquecimento do Vento e Aumento da Estratificação Térmica	355
9.3.1.2 Enfraquecimento do Regime de Aloramento na Costa Ocidental	355
9.3.1.3 Impactos da Modificação do Regime de Aloramento sobre as Comunidades Planctónicas	356
9.3.1.4 Evolução da Abundância e Composição dos Recursos	356
9.3.1.5 Surgimento de Novas Espécies	357
9.3.1.6 Conclusões	357
9.3.2 Modelação Aplicada a Dois Recursos: Carapau-Branco e Pescada	358
9.3.2.1 Ciclos de Abundância Populacional	358
9.3.2.2 Potencial de Regeneração Populacional	360
9.3.2.3 Efeitos Climáticos Regionais	361
9.3.3 Análise das Simulações do Modelo HadRM3	362
9.3.3.1 Temperatura da Água do Mar à Superfície	362
9.3.3.2 Vento	362
9.3.3.3 Subida do Nível do Mar	363
9.3.3.4 Conclusões	365
9.4 IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NO SÉCULO XXI	365
9.4.1 Introdução	365
9.4.2 Impactos sobre a Produtividade Planctónica	365

9.4.3 Impactos Gerais sobre a Abundância e Composição dos Recursos	366
9.4.3.1 Impactos sobre o Sucesso Reprodutor	366
9.4.3.2 Impactos sobre a Mortalidade Natural das Populações	366
9.4.3.3 Sinergias entre Alterações Climáticas e Pescas	367
9.4.4 Impactos sobre a Abundância e Distribuição do Carapau-Branco e Pescada-Branca	368
9.4.4.1 Ciclos de Abundância Populacional	368
9.4.4.2 Potencial de Regeneração Populacional	369
9.4.4.3 Efeitos Climáticos Regionais	369
9.4.5 Impactos sobre a Disponibilidade dos Recursos	370
9.4.5.1 Impactos da Redistribuição Latitudinal dos Recursos	370
9.4.5.2 Impactos sobre a Pesca de Grandes Pelágicos Migradores	373
9.4.6 Impactos sobre as Zonas Costeiras	373
9.4.7 Impactos sobre a Aquacultura	373
9.4.8 Outros Impactos	373
9.4.9 Conclusões	374
9.5 MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO	374
9.5.1 Introdução	374
9.5.2 Medidas Propostas sob o Cenário A2	374
9.5.2.1 Estratégia Geral de Adaptação	374
9.5.2.2 Adaptação aos Impactos sobre a Abundância dos Recursos	374
9.5.2.3 Adaptação aos Impactos sobre a Disponibilidade de Recursos	376
9.5.2.4 Adaptação aos Impactos sobre as Zonas Costeiras	376
9.5.3 Medidas Propostas sob o Cenário B2	377
9.5.3.1 Estratégia Geral de Adaptação	377
9.5.3.2 Adaptação aos Impactos sobre o Ecossistema Marinho	377
9.5.3.3 Adaptação aos Impactos sobre a Disponibilidade de Recursos	377
9.5.3.4 Adaptação aos Impactos sobre a Abundância de Recursos	378
9.5.3.5 Adaptação aos Impactos sobre as Zonas Costeiras	378
9.6 INVESTIGAÇÃO FUTURA	378
9.7 CONCLUSÕES	379
9.8 REFERÊNCIAS	380

SUMÁRIO EXECUTIVO

No seguimento dos trabalhos realizados no âmbito da primeira fase do Projecto SIAM, a equipa das Pescas estabeleceu como objectivos para o presente trabalho: 1) analisar a evolução provável do clima no século XXI sob diferentes cenários de emissões, através de modelos de circulação global de última geração (HadCM3 e HadRM3); 2) identificar e caracterizar os impactos ecológicos, sociais e económicos, directos e indirectos, das alterações climáticas sobre os recursos haliêuticos, ecossistemas associados, comunidades piscatórias e aquacultura em Portugal; 3) identificar as estratégias de adaptação e medidas que podem ser tomadas para mitigar e preparar o sector das pescas português para a situação emergente; 4) contribuir para a divulgação destes conhecimentos aos grupos de interesse (*stakeholders*) do sector.

Dadas as incertezas quanto à evolução da sociedade e economia mundiais ao longo do século XXI, foram considerados dois cenários estabelecidos pelo *Special Report on Emissions Scenarios* que diferem em pontos-chave como a evolução demográfica, a pressão sobre os recursos naturais e o uso de combustíveis fósseis. A evolução de parâmetros oceânicos e atmosféricos, estimada pelos modelos HadCM3 e HadRM3 até 2100, foi comparada com observações feitas entre 1941 e 2000, com o propósito de identificar alterações no sinal ou na intensidade das alterações climáticas.

No respeitante ao segundo objectivo, a estimação de impactos foi dividida em: a) uma análise global das vias de impacto das alterações climáticas sobre mais de cem *stocks* ícticos continentais e sobre as actividades piscatórias a eles associadas; b) uma pormenorização dos impactos regionais das alterações climáticas sobre os *stocks* de pescada e carapau-branco; c) um estudo dos impactos sobre os recursos haliêuticos (incluindo peixes, crustáceos e cefalópodes) e aquacultura no estuário do Sado.

Atendendo às diferentes características socioeconómicas dos cenários de emissões estudados e à magnitude dos impactos estimados, foram elaborados dois conjuntos de propostas de adaptação e mitigação para o sector das pescas e aquacultura. Em cada um, procurou-se identificar as estratégias mais eficazes e consentâneas com a evolução expectável do sector, assim como as dificuldades e constrangimentos que ocorrerão com maior probabilidade. Nas sessões de divulgação dos resultados das duas fases do Projecto SIAM foram testados e melhorados alguns destes conceitos, assim como as necessidades mais imediatas para a preparação do sector face às alterações climáticas.

EXECUTIVE SUMMARY

Following the work carried out in the first stage of Project SIAM, the Fisheries team set as objectives for the present work: a) to analyse the likely evolution of climate in the 21st century under different emissions scenarios, by means of the latest generation of general circulation models (HadCM3 and HadRM3); 2) to identify and characterize the ecological, social and economical, direct and indirect impacts of climate change on Portuguese fisheries resources, associated ecosystems, fishing communities and aquaculture; 3) to identify measures that can prepare the Portuguese fisheries sector for mitigation and adaptation; and 4) to contribute in outreaching this knowledge to the sector's stakeholders.

Given the uncertainties as to the evolution of world society and economy throughout the 21st century, two scenarios established in the Special Report on Emissions Scenarios (A2 and B2) were considered, which differ in key-points such as the evolution of demography, the pressure on natural resources and the use of fossil fuels. The evolution of oceanic and atmospheric parameters, estimated by HadCM3 and HadRM3 models up to 2100, was compared with observations made between 1941 and 2000, with the purpose of identifying changes in the signal and magnitude of climate change.

Regarding the second objective, the estimation of impacts was divided into: a) a general analysis of climate change impact pathways on over one hundred fish stocks of Continental Portugal and on associated fishing communities; b) a detailed analysis of regional impacts of climate change on hake and jack mackerel stocks; and c) a study of impacts on aquaculture and fish, crustacean and mollusc stocks in the Sado estuary.

In the light of the different socio-economical aspects and magnitudes of climate change that characterize each analyzed emissions scenario, two sets of proposals were elaborated, regarding the mitigation and adaptation of Fisheries and Aquaculture sector. In each, an attempt was made to identify the most effective measures consistent with the expectable evolution of the sector, as well as the most likely difficulties and constraints. In outreach sessions, where results from the two stages of project SIAM were discussed, some of these concepts were tested and improved as well as the sector's more immediate needs that will allow it to prepare for climate change.

9. Pescas

Carlos Sousa Reis (Coordenador), Ricardo Lemos, Diogo Alagador

9.1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os indícios de que a Terra se encontra numa fase de aquecimento avolumaram-se. Em 1995, o Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas, composto por 2500 especialistas, concluiu que «o balanço de evidências aponta para uma influência humana discernível sobre o clima global» (Houghton *et al.*, 1995). Desde então, o esforço de compreensão das respostas dos sistemas terrestres e aquáticos à variabilidade climática foi reforçado, numa perspectiva de melhor adaptar a gestão dos recursos naturais às alterações antropogénicas que se prevêem. Actualmente existe um número considerável de grupos de estudo dedicados à problemática das alterações climáticas, associados ou não a organizações governamentais, sendo evidente um interesse redobrado da comunidade científica por este assunto, pelo que a produção e assimilação de novo conhecimento tem sido muito rápida.

No domínio dos oceanos, diversos trabalhos têm demonstrado que a biologia e a ecologia dos recursos pesqueiros são influenciadas pela dinâmica do clima, e que na segunda metade do século XX foram profundas as respostas dos ecossistemas a alterações relativamente pequenas da temperatura da água do mar, da direcção e intensidade dos ventos, da precipitação e do escoamento dos rios, entre outros factores. Embora cada vez melhor fundamentada, a noção de que as alterações climáticas afectam e continuarão a afectar os recursos pesqueiros ainda não foi devidamente inserida nas políticas de avaliação e gestão, nomeadamente na Política Comum de Pescas (PCP) Europeia, incluindo a designada Nova PCP, em vigor a partir de Janeiro de 2003. Confrontadas com os problemas da sobrepesca, da destruição dos *habitats* naturais dos recursos e da fragilidade económica do sector, as políticas de pesca enfrentam assim mais um conjunto de dificuldades para uma gestão sustentável, donde resulta uma necessidade premente de reforma e/ou actualização.

Em Portugal, a equipa das Pescas do Projecto SIAM foi formada com os seguintes objectivos: 1) analisar cenários climáticos produzidos por modelos de circulação global de última geração, assim como os aspectos socioeconómicos que lhes estão associados; 2) identificar e caracterizar os impactos ecológicos, sociais e económicos, directos e indirectos, das alterações climáticas sobre os recursos haliéuticos, ecossistemas associados, comunidades piscatórias e aquacultura em Portugal; 3) identificar as estratégias de adaptação

e medidas que podem ser tomadas para mitigar e preparar o sector português das pescas para a adaptação; 4) contribuir para a divulgação destes conhecimentos aos grupos de interesse (*stakeholders*) do sector, através de sessões em locais relevantes.

Numa primeira fase do projecto (1999-2001; Sousa Reis *et al.*, 2002), seleccionámos três recursos de elevado valor económico e com longo historial de exploração em Portugal – o polvo-comum (*Octopus vulgaris*), a sardinha (*Sardina pilchardus*) e o atum-rabilho (*Thunnus thynnus*) – e com base nestes procurámos avaliar a extensão dos impactos das alterações climáticas sobre o sector das pescas nacional. Com fundamento na bibliografia existente e em análises de séries temporais, verificámos que os extremos ambientais, o regime de afloramento costeiro e os fenómenos oceânicos e atmosféricos de larga escala parecem ser os factores ambientais mais relevantes para a dinâmica dos três *stocks*, respectivamente. Esta diversidade de relações faz sentido à luz das suas diferentes características biológicas e ecológicas e atesta a complexidade na previsão das respostas dos recursos haliéuticos portugueses às alterações climáticas antropogénicas que se esperam para o século XXI. De acordo com o modelo de circulação regional que analisámos – o modelo Hadley Centre for Climate Prediction and Research, HadRM2 –, a evolução do clima nos próximos 100 anos poderá diferir de zona para zona na costa continental portuguesa, conduzindo a respostas espacialmente heterogéneas dos *stocks*. Contudo, detectámos ainda algumas deficiências nas simulações deste modelo, pelo que sugerimos alguma precaução na análise dos resultados obtidos.

Nesta segunda fase do Projecto SIAM (2002-2003), procurámos diversificar as espécies-alvo investigadas, por um lado, e focalizar a análise de impactos e medidas de avaliação sobre uma zona estuarina (o estuário do Sado - ver Capítulo 10), por outro. Simultaneamente, procedemos à divulgação dos resultados da primeira fase junto dos grupos de interesse, e procurámos integrar o *feedback* obtido na realização dos trabalhos decorrentes.

9.2 MATERIAL E MÉTODOS

À semelhança da primeira fase do projecto, a metodologia que seguimos consistiu em: 1) modelar a resposta dos orga-

nismos marinhos às alterações climáticas, com enfoque dado às espécies de interesse comercial; 2) analisar as previsões dos modelos climáticos de 3.^a geração do Hadley Centre, HadCM3 (Gordon *et al.*, 2000) e HadRM3, para o final do século XXI (2071-2100), sob dois cenários de emissões indicados pelo Special Report on Emissions Scenarios (SRES), A2 e B2, descritos no Capítulo 11; 3) estimar impactos e propor medidas de adaptação e mitigação.

9.2.1 Elaboração e Análise de Um Diagrama de Pressões Ambientais

De forma a examinar algumas das respostas dos recursos haliéuticos portugueses ao aquecimento global, elaborámos um Diagrama de Pressões Ambientais (DPA; Figura 9.1) inspirado no trabalho de DeAngelis e Cushman (1990) e fundamentámos-lo com algumas referências bibliográficas, nas quais os processos indicados no DPA foram detetados.

Dadas as inúmeras vias de impacto actualmente conhecidas ou postas como hipótese, não pudemos considerar a sua totalidade neste diagrama. Assim, cingimo-nos às que pudessem ser confrontadas com dados históricos (1941-2000) relativos à evolução do clima e das pescas em Portugal e remetemos as restantes para a secção 9.4. A metodologia seguida na investigação dos dados históricos encontra-se na Tabela 9.1. Em adição a esta, investigámos o registo recente (1990-2000) de espécies tipicamente subtropicais em águas ibéricas, como indicador das alterações na distribuição latitudinal dos recursos face ao aquecimento global.

9.2.2 Modelação Estatística da Resposta do Carapau-Branco e Pescada ao Aquecimento Global

Com este estudo procurámos dar um contributo científico, aplicando os progressos decorrentes de outros estudos à análise de dois recursos de elevada importância nas pescas nacionais (carapau-branco e pescada) que, por apresentarem posicionamentos ecológicos distintos, permitiram expandir o conhecimento dos impactos de alterações climáticas, a diferentes níveis da nossa costa (isto é: nas águas superficiais e nas águas junto ao fundo).

O carapau-branco, *Trachurus trachurus*, é, pelo seu interesse inclusivamente económico e explorativo (Figura 9.3), um recurso intensamente estudado, tendo sido abordados vários aspectos respeitantes aos efeitos climáticos sobre a sua população (Borges, 1990; Borges e Gordo, 1991; Iversen *et al.*, 2002).

Trata-se de uma espécie bentopelágica, movendo-se ao longo da coluna de água, mas com alguma dependência alimentar dos fundos. Em adulto é predador piscívoro, mas sazonalmente alimenta-se de zooplâncton (Murta *et al.*, 1993), especialmente copépodes. Apresenta um crescimento lento e a maturação sexual é atingida aos 23-24 cm de comprimento total, nas nossas águas (Borges, 1996). As entidades internacionais gestoras das pescas consideram a ocorrência de três *stocks* biologicamente definidos no Atlântico Nordeste, ocorrendo o *stock* sul na costa portuguesa, golfo da Gasconha e Nordeste de África. Este *stock* apresenta grandes migrações sazonais para norte, nomeadamente nos períodos de alimentação (Lockwood e Johnson, 1977). Os períodos de postura ocorrem de Fevereiro a Maio e em Setembro (Borges e Gordo, 1991), com centros reprodutivos ao largo das fozes do Douro, Tejo e Sado (Borges, 1996).

A pescada, *Merluccius merluccius*, é uma espécie demersal, mais sedentária, habitando preferencialmente o talude continental (Agnew, 1989), tendo contudo uma distribuição repartida consoante o estágio de vida em causa (*i.e.*: adultos em postura e juvenis na parte superior da plataforma continental). Ao longo do século foi alvo continuado de exploração (Figura 9.4), registando padrões de captura diversificados, como forma de ultrapassar as quebras de produção verificadas ciclicamente (Anónimo, 1985).

À primeira vista o seu ciclo de vida pareceria pouco influenciado por processos atmosféricos, no entanto, são conhecidas movimentações regulares ao longo do perfil da plataforma continental, nas épocas reprodutivas (entre Janeiro e Abril), atingindo águas menos profundas, sujeitas aos processos de afloramento costeiro e plumas fluviais, na foz dos principais rios (Pérez e Pereiro, 1985). Tem um crescimento lento, atingindo a maturação sexual no decurso do seu sétimo ano de vida, com aproximadamente 40 cm de comprimento (Serrão, 1989). Em adulta é piscívora, mas os seus estados larvares estão dependentes das comunidades zooplancónicas, nomeadamente copépodes e eufausiáceos, que se desenvolvem mais junto à costa (Cabral, 1992), e dependentes de processos regenerativos da produção primária (*i.e.*: afloramento costeiro).

A prossecução dos trabalhos foi definida no sentido de integrar diferentes níveis de resposta populacional aos processos climáticos, focando os grandes ciclos de flutuabilidade populacional, o espaço de distribuição de ambos os *stocks*, e os aspectos intervenientes à escala regional e geracional. Foram recolhidos dados mensais de desembarques publicados pela Direcção-Geral das Pescas e Aquicultura, e de esforço de pesca afecto a cada arte para ambas as espécies, numa série temporal de 1927 a 2000, cobrindo três regiões de Portugal Continental. Sempre que disponível foram calculados os

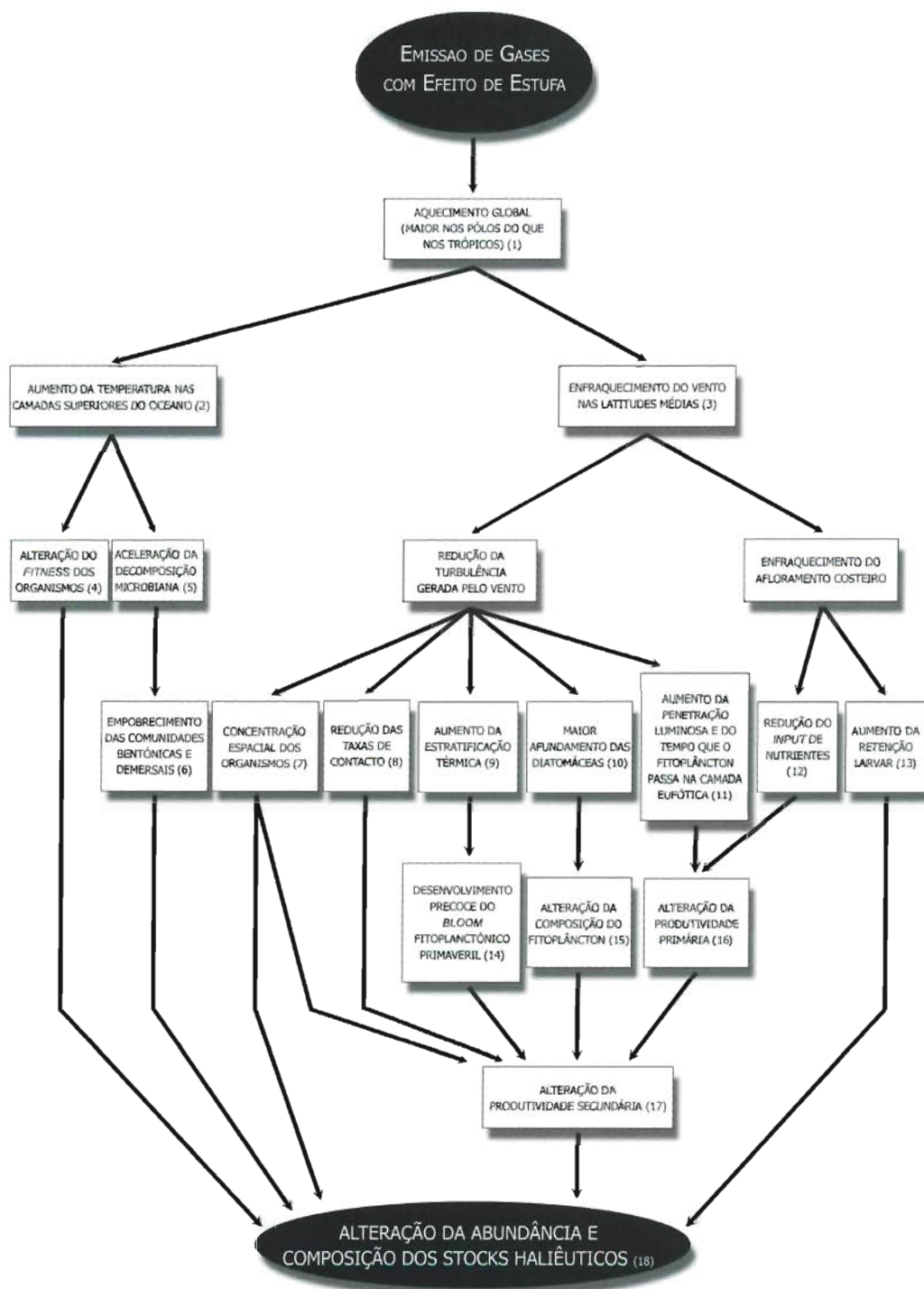


Figura 9.1 – Diagrama de Pressões Ambientais sobre os recursos haliêuticos. Referências: 1) Christy *et al.* (2001); 2) Levitus *et al.* (2000); 3) Belvèze e Erzini (1984), Roemmich e McGowan (1995), Dias *et al.* (1996), Sameoto (2001); 4) Pörtner *et al.* (2001), Pörtner (2001, 2002); 5) Petersen e Curtis (1980), Hargrave *et al.* (1985); 6) Ursin (1984); 7) Moser e Pommeranz (1999); 8) MacKenzie e Kiorboe (1995); 9) Roemmich e McGowan (1995), Sameoto (2001); 10) Turpin e Harrison (1979); 11) Huntsman e Barber (1976); 12) Roemmich e McGowan (1995); 13) Demareq e Faure (2000); 14) Reid *et al.* (1982); 15) Sameoto (2001); 16) Botsford *et al.* (2003); 17) Roemmich e McGowan (1995), Kang *et al.* (2002); 18) Murawski (1993), Schwartzlose *et al.* (1999)

Tabela 9.1 – Variáveis utilizadas para testar alguns dos processos descritos no Diagrama de Pressões Ambientais (Figura 9.1)

Variável	Fonte	Descrição
Temperatura da água do mar	Comprehensive Ocean-Atmospheric Data Set – COADS (www.cdc.noaa.gov/coads) e National Oceanographic Data Center – NODC (www.nodc.noaa.gov)	Sendo seleccionadas seis regiões (Figura 9.2), calculámos médias mensais da temperatura da água do mar à superfície e avaliámos a significância das tendências ao longo do tempo. O mesmo procedimento foi aplicado para dados de temperatura até 125 m de profundidade na região C2.
Direcção e velocidade do vento	Instituto de Meteorologia (IM)	Médias anuais da velocidade do vento em cinco estações costeiras do IM: Porto (serra do Pilar), cabo Carvoeiro, Lisboa (Instituto Geofísico), Sagres e Faro (Figura 9.2). Para as primeiras quatro estações, calculámos ainda a média mensal da componente meridional (norte-sul) do vento, associada ao afloramento costeiro na costa ocidental, e avaliámos a significância das tendências ao longo do tempo.
Índice da Oscilação do Atlântico Norte (NAO)	Climatic Research Unit (www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao.htm)	Calculada como a diferença entre a pressão atmosférica (ao nível do mar) padronizada em Reiquiavique e em Gibraltar (Jones <i>et al.</i> , 1997). Hurrell (1995, 1996) e Trigo <i>et al.</i> (2002) descrevem a influência da NAO sobre o clima no sector Atlântico Europeu; Marshall <i>et al.</i> (2001) fazem uma revisão geral dos impactos climáticos associados à NAO.
Índice de Cor do Fitoplâncton (ICF)	Sir Allister Hardy Foundation – SAHFOS (www.sahfos.org)	Baseado nos registos do Continuous Plankton Recorder (CPR) a oeste da Galiza (área F4 da SAHFOS), já que a dinâmica temporal do fitoplâncton nesta região é semelhante à da costa ocidental portuguesa. Batten <i>et al.</i> (2003) comprovaram que o ICF fornece indicações fidedignas da densidade de fitoplâncton na costa ocidental ibérica. Warner e Hays (1994) fazem uma descrição detalhada do CPR.
Densidade de zooplâncton	Instituto Hidrográfico – IH e SAHFOS. Dados compilados pelo NODC	Dados de 1971-1974 (IH) e 1997-1999 (SAHFOS).
Desembarques e valor por espécie	Direcção-Geral das Pescas e Aquicultura – DGPA	Desembarques (ton) e valor de transacção em lota (€) de 150 espécies em portos nacionais, entre 1989 e 1990.
Desembarques anuais por espécie	FAO – <i>software Fishstat</i> (www.fao.org)	Desembarques anuais (1950-1999) em Portugal, em toneladas, de espécies capturadas na área 27 da FAO.
Caracterização de cada espécie em termos do <i>habitat</i> ocupado	<i>Fishbase</i> (www.fishbase.org)	<p>Categorias:</p> <ul style="list-style-type: none"> • pelágica: ocorre sobretudo na coluna de água entre 0 e 200 m, não se alimentando de organismos bentónicos; • bentopelágica: vive e/ou alimenta-se sobre ou perto do fundo, assim como em meia-água, entre 0 e 200 m; • associada a recifes: vive e/ou alimenta-se sobre ou perto de recifes, entre 0 e 200 m; • demersal: vive e/ou alimenta-se sobre ou perto do fundo, entre 0 e 200 m; • batipelágica: ocorre sobretudo em mar aberto abaixo de 200 m, não se alimentando de organismos bentónicos; • baridemersal: vive e/ou alimenta-se sobre ou perto do fundo, abaixo dos 200 m.
Nível trófico médio (NTM)	<i>Fishbase</i>	Distinguindo os <i>habitats</i> , calculámos o NTM como a média anual dos níveis tróficos das espécies consideradas ponderados pelos respectivos desembarques anuais (Pauly <i>et al.</i> , 1998).
Índices anuais de biodiversidade de Simpson, um ecológico (G_t) e outro económico (N_t)	Baseados nos dados da FAO	$G_t = \frac{\sum_{i=1}^s (D_{i,t})^2}{\left(\sum_{i=1}^s D_{i,t}\right)^2} \quad N_t = \frac{\sum_{i=1}^s (D_{i,t} \times V_i)^2}{\left(\sum_{i=1}^s D_{i,t} \times V_i\right)^2}$ <p>onde s designa o número de espécies presentes na base de dados da FAO, $D_{i,t}$ o valor da desembarques da espécie i no ano t ($t = 1950, 1951, \dots, 1999$) e V_i o valor da espécie i, de acordo com os dados da DGPA. Segundo Kasulo e Perrings (em preparação), que definiram estes índices, uma perda de biodiversidade reflecte-se num aumento do valor dos dois índices, que variam entre 0 (quando s tende para infinito) e 1 (quando apenas uma espécie é explorada), tendo-se ainda que $N_t - G_t > 0$ quando o conjunto de espécies exploradas é dominado por espécies de elevado valor comercial e vice-versa. Os dois índices foram calculados para cada um dos <i>habitats</i> considerados.</p>

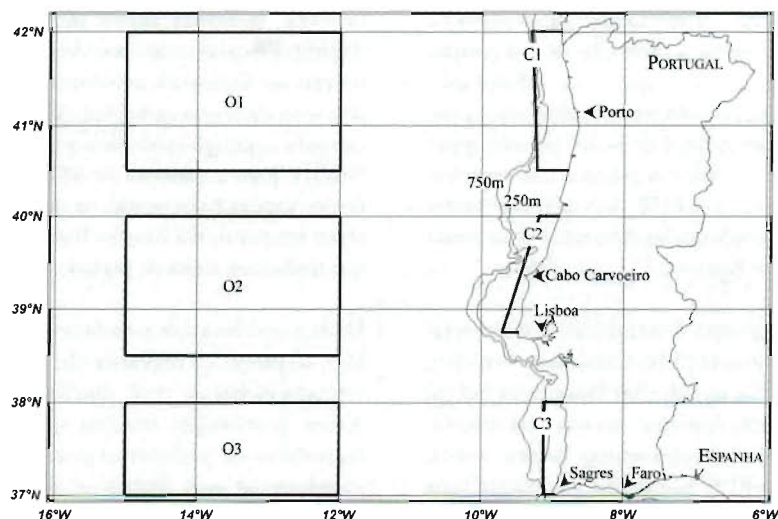


Figura 9.2 – Localização das regiões oceânicas de referência (O1, O2 e O3) e das regiões costeiras (C1, C2 e C3) em que foi analisada a evolução da temperatura da água do mar. As estações do IM cujos registos de vento foram analisados (Porto, cabo Carvoeiro, Lisboa, Sagres e Faro) também se encontram assinaladas

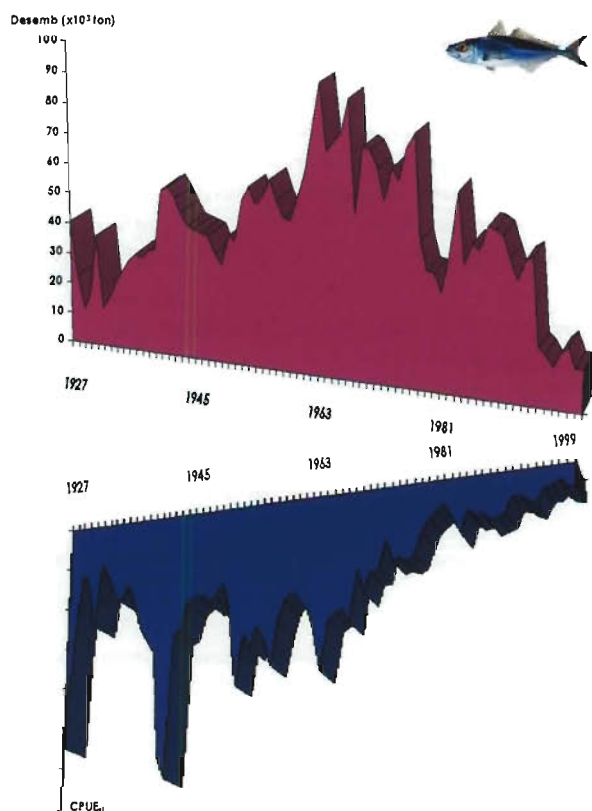


Figura 9.3 – Desembarques anuais (em cima) e Capturas por Unidade de Esforço (em baixo) de carapau-branco, *Trachurus trachurus*, em Portugal Continental, durante o período 1927-1999 (nota: reconhece-se que, durante as décadas de 1960 e 1970 foram englobadas as pescas ocorridas em águas de Marrocos)

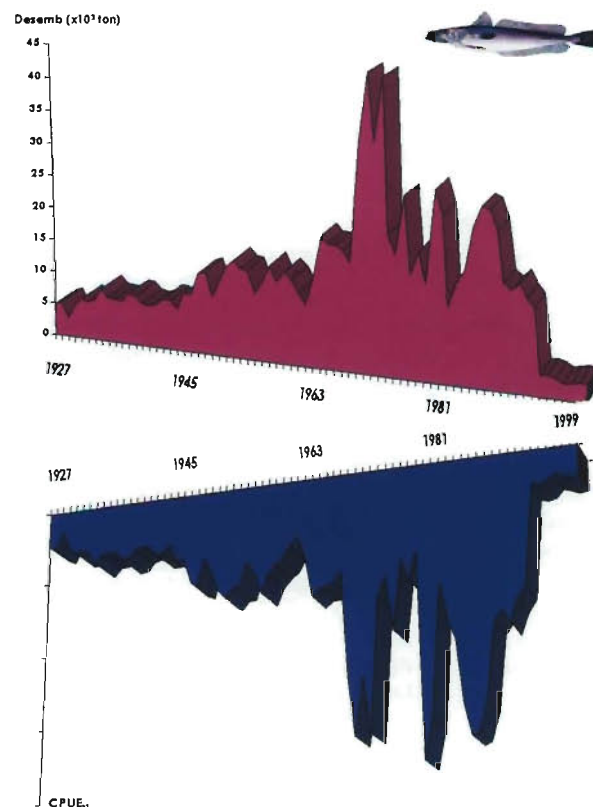


Figura 9.4 – Desembarques anuais (em cima) e Capturas por Unidade de Esforço (em baixo) de pescada, *Merluccius merluccius*, em Portugal Continental, durante o período 1927-2000 (nota: reconhece-se que, durante as décadas de 1960 e 1970 foram englobadas as pescas ocorridas em águas de Marrocos)

«pesos» afectos a cada arte, cuja média aplicada a períodos previamente definidos, permitiu a obtenção de um padrão geral das pescarias aplicadas a cada espécie (*i.e.*: esforço aplicado de cada arte). A conjugação do produto (desembarques) e dos meios de sua obtenção (esforço de pesca) permite gerar uma medida simples de abundância relativa das espécies: captura por unidade de esforço (CPUE_{rel}). A aglutinação das medidas de abundância geradas pelas diferentes artes numa única seguiu o disposto por Sparre e Venema (1998).

No caso particular de Portugal Continental, a diferenciação regional, *i.e.*: costa Noroeste (NW: Caminha a Peniche), costa Sudoeste (SW: Peniche ao cabo Sardão) e costa Sul (S: Sagres a Vila Real de Santo António), derivou das diferenças fisiográficas no litoral (desembocaduras de rios, cabos, afloramentos rochosos, perfil da plataforma continental) que traduzem ao largo diferentes padrões de correntes atlânticas, correntes mediterrânicas, regimes de afloramento e respostas biológicas (Monteiro, 1982). Foram analisados factores oceânicos e atmosféricos que se presumem influenciar de forma directa as oscilações populacionais de recursos marinhos. Assim, fez-se uso da temperatura média mensal à superfície do mar (SST), velocidade média mensal de ventos indutores de afloramento costeiro, índice médio mensal e de Inverno da Oscilação do Atlântico Norte (NAO) (Tabela 9.1), e escoamento mensal acumulado dos principais rios em estações próximas do litoral dados do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos do Instituto Nacional da Água).

Segundo Csirke (1995), a variação populacional das espécies marinhas consiste em ritmos internos e respostas a factores

externos, definindo ritmos de flutuabilidade cíclicos com diferentes escalas temporais. Assim, e seguindo uma linha de referências bibliográficas (Glantz, 1990; Solow, 2002) pretendeu-se analisar essa variação à macroescala, focando-se a atenção para os grandes processos oceânicos e atmosféricos (p. ex.: NAO) e para a variação da SST. Utilizaram-se ferramentas de decomposição espectral, na qual se fez a desintegração das séries temporais em funções harmónicas, seleccionando-se as que traduziam ciclos de período mais elevado.

Dada a continuidade populacional verificada no meio marinho, os processos regionais são largamente dependentes da resposta global do *stock*, distribuído por uma vasta região. Assim, procurou-se integrar esta componente na análise, fazendo uso de parâmetros globais de fertilidade e dinâmica populacional para ambos os *stocks*, decorrentes de campanhas anuais efectuadas sob a égide do International Council for the Exploration of the Sea (ICES, 2002, 2003). Os dados daqui obtidos foram analisados em modelos de correlação com os parâmetros oceânicos e atmosféricos que melhor se ajustam à variabilidade verificada.

A abundância de uma população assenta no contexto ambiental em que se insere e é determinada por um conjunto intrincado de factores, donde se salientam os climáticos. Da consciência da complexidade destes processos deriva a construção sintetizada de modelos estatísticos, que, bem analisados, permitem a percepção de aspectos particulares e isolados dessas variações. Neste trabalho, fizemos a aplicação de *Lag Analysis* para a determinação das variáveis de explicação mais provável e seus desfasamentos (Stergiou *et*

Tabela 9.2 – Variáveis utilizadas para estimar os impactos das alterações climáticas sobre o sector das pescas

Variável	Fonte	Descrição
Alteração da mortalidade natural (ΔM)	<i>Fishbase</i> Pauly (1980) Levitus e Boyer (1994; http://iri.ldeo.columbia.edu/SOURCES/ . LEVITUS94)	Com base na equação de Pauly, nos dados biológicos e ecológicos do <i>Fishbase</i> e no atlas de temperatura de Levitus e Boyer, estimámos o efeito do aumento da temperatura em 1 °C sobre a taxa de mortalidade natural de cada espécie: $\Delta M = M_{t+1} - M_T$, sendo T a temperatura média anual registada à profundidade média de distribuição da espécie considerada.
Alteração do risco de inanição ($\Delta Q/B$)	<i>Fishbase</i> Palomares e Pauly (1998) Levitus e Boyer (1994)	Num processo análogo ao acima descrito, estimámos o efeito do aumento da temperatura em 1 °C sobre a taxa de consumo por unidade de biomassa populacional.
Produtividade dos recursos	<i>Fishbase</i> Musick (1999)	Musick categorizou a produtividade de cada recurso íctico como elevada, média, baixa ou muito baixa, consoante a taxa intrínseca de crescimento anual, o parâmetro K da equação de crescimento de von Bertalanffy, a fecundidade anual, a idade de primeira maturação e a longevidade.
Distribuição geográfica dos recursos ícticos	Whithead <i>et al.</i> (1986)	Límites setentrionais e meridionais da distribuição dos recursos ícticos portugueses

et al., 1997) numa previsão da variação da abundância esperada para cada espécie, com o *input* de dados hidroclimáticos decorrentes dos Modelos Climáticos, nomeadamente HadRM3 (cenários A2).

9.2.3 Análise das Simulações de Modelos Climáticos

Neste trabalho, utilizámos os resultados dos modelos de circulação gerais e regionais do UK Hadley Centre for Climate Prediction and Research, HadCM3 e HadRM3 respectivamente, para averiguar as alterações no valor médio e na sazonalidade da velocidade do vento, temperatura da água do mar à superfície e nível do mar. Estas alterações são previstas até ao final do século XXI sob dois cenários do SRES, A2 e B2.

9.2.3.1 Estimação de Impactos

Em face dos cenários estudados, estimámos os impactos das alterações climáticas sobre o sector das pescas no século XXI com recurso ao DPA (Figura 9.1) e a bibliografia adicional sobre outras vias de impacto. Para este fim utilizámos ainda o material descrito na Tabela 9.2.

9.3 RESULTADOS

9.3.1 Avaliação do Diagrama de Pressões Ambientais

9.3.1.1 Enfraquecimento do Vento e Aumento da Estratificação Térmica

Entre 1941 e 2000, a média anual da velocidade do vento nas quatro estações do Instituto de Meteorologia localiza-

das na costa ocidental decresceu significativamente (Figura 9.5), a uma taxa média de $-0,01\text{m/s/ano}$. Em contraste, o vento intensificou-se ligeiramente na costa algarvia durante o mesmo período, sem no entanto atingir valores próximos dos registados na costa ocidental.

Os resultados observados estão em concordância com a evolução da Oscilação do Atlântico Norte (NAO; Figura 9.5), comprovando a existência de uma correlação negativa entre a NAO e a velocidade do vento na região meridional do Atlântico Norte (Pershing, 2001). Ao actuar em conjunto com o aquecimento global, a redução da turbulência gerada pelo vento promoveu o aumento da temperatura apenas nas camadas superiores do oceano, sobretudo nos meses mais quentes do ano (Figura 9.6). Em consequência, a estratificação térmica sazonal intensificou-se, com as potenciais consequências indicadas no Diagrama de Pressões Ambientais (DPA; Figura 9.1).

9.3.1.2 Enfraquecimento do Regime de Afloramento na Costa Ocidental

Numa análise mais fina e direccionada para o afloramento costeiro na costa Ocidental portuguesa, em que recorremos a médias mensais da componente meridional do vento e da temperatura da água do mar à superfície (SST), observámos um enfraquecimento notório do regime de afloramento entre 1941 e 2000 (Lemos e Pires, 2004), consentâneo com o DPA e com o exposto na secção anterior: em toda a extensão desta costa, os ventos de norte (favoráveis ao afloramento) enfraqueceram significativamente em vários meses do ano, sobretudo entre Abril e Setembro, e intensificaram-se apenas em Março; a SST aumentou consistentemente ao longo do ano nas regiões costeiras ($+0,010\text{ }^{\circ}\text{C/ano}$) e a uma taxa muito inferior nas regiões de referência ($+0,002\text{ }^{\circ}\text{C/ano}$). A Figura 9.7 exemplifica o enfraquecimento do afloramento em Julho.

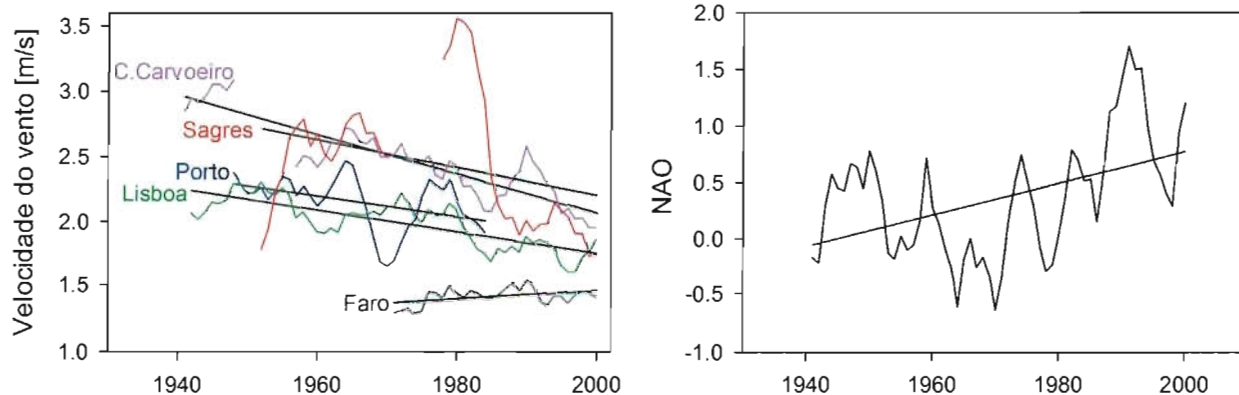


Figura 9.5 Evolução da média anual da velocidade do vento (esquerda) e da NAO (direita), entre 1941 e 2000. A todas as variáveis foi aplicada uma média móvel de 5 anos

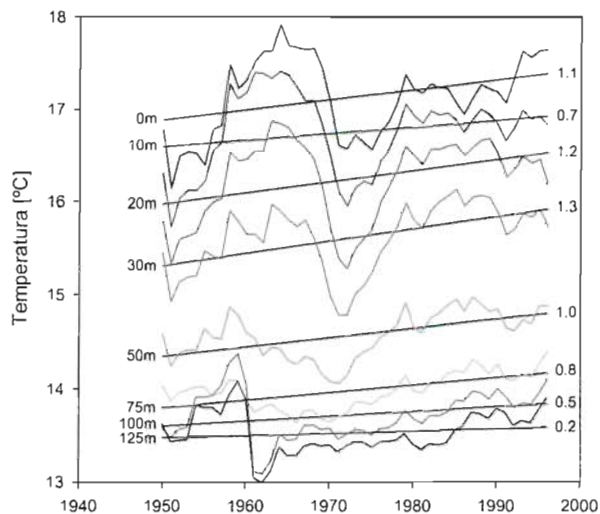


Figura 9.6 – Evolução (1950-1997) da temperatura média da água do mar no semestre Abril-Setembro, na região da plataforma continental portuguesa entre o cabo da Roca e Ilhavo (ver Figura 9.2), a diferentes profundidades (estão representadas médias móveis de 7 anos). As estimativas das tendências de longo prazo ($\pm 0,01$ °C/ano) encontram-se à direita das rectas que as representam

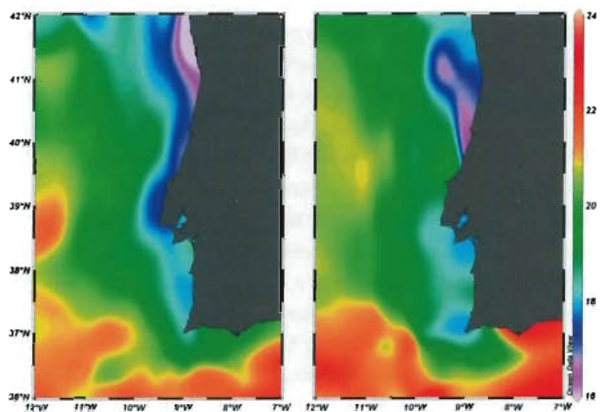


Figura 9.7 – Média da temperatura do mar à superfície (°C) no mês de Julho, em 1951-1970 (esquerda) e 1981-2000 (direita)

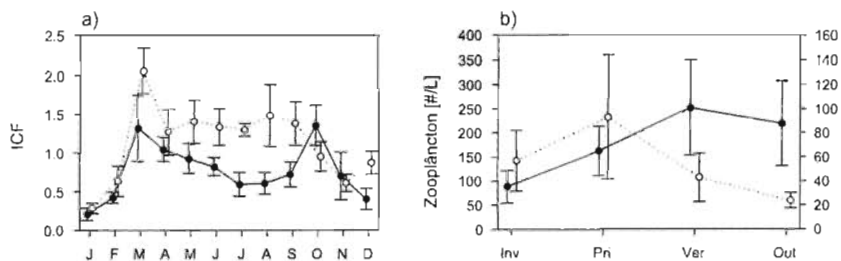


Figura 9.8. Comparação de valores médios e intervalos de confiança de 95% de: a) Índice de Cor do Fitoplâncton (ICF) mensal, nos períodos 1951-1970 (pontos pretos) e 1981-2000 (pontos brancos), na costa Ocidental galega; b) densidade sazonal de zooplâncton nos períodos 1971-1974 (pontos pretos, escala da esquerda) e 1997-1999 (pontos brancos, escala da direita), na plataforma continental portuguesa, entre o cabo Carvoeiro e Caminha

9.3.1.3 Impactos da Modificação do Regime de Afloramento sobre as Comunidades Planctónicas

Como mostra a Figura 9.8a, a modificação do regime de afloramento costeiro foi acompanhada por uma mudança notória na abundância e sazonalidade do fitoplâncton, com aumento da produtividade anual.

Assim, concluímos que durante o período considerado os impactos adversos do enfraquecimento do vento sobre a produtividade primária foram suplantados pelos efeitos positivos (cf. Sameoto, 2001). Se existiu, a antecipação do *bloom* fitoplanctónico primaveril prevista por Pershing (2001) terá sido inferior a um mês, já que a data deste se manteve em Março.

Com base em dados de cruzeiros do Instituto Hidrográfico no início da década de 1970 e em dados do CPR do final da década de 1990, pesquisámos ainda a evolução produtividade secundária na costa portuguesa. Atendendo à Figura 9.8b, o pico na abundância de zooplâncton passou do Verão (Julho-Setembro) para a Primavera (Abril-Junho), possivelmente em resposta à maior densidade de fitoplâncton existente logo em Março. Dadas as diferentes metodologias de amostragem empregues nos dois períodos, os valores absolutos dos dois registos não são comparáveis, pelo que não nos é possível saber se esta produtividade aumentou ou diminuiu ao longo do tempo. Por outro lado, a reduzida quantidade e qualidade dos dados recolhidos impede-nos de atribuir um grau de confiança satisfatório à observação feita.

9.3.1.4 Evolução da Abundância e Composição dos Recursos

Entre 1950 e 1999, a evolução dos desembarques de espécies pelágicas e bentopelágicas foi muito semelhante à das espécies demersais e batidemersais (Figura 9.9a). Contudo, o contributo das primeiras aumentou ao longo do tempo, passando de 90 % em 1950 para quase 95 % em 1999, à semelhança do que Frank *et al.* (1990) registaram à mesma latitude mas na costa atlântica da América do Norte. Como mostra a Figura 9.9b, parece existir uma correlação estreita entre este fenómeno e a evolução da temperatura da água do mar: ambas as variáveis exibem tendências positivas e significativas ao longo do tempo e existe um paralelismo marcado nos períodos em que as observações se encontram acima ou abaixo das respectivas tendências.

Numa análise do nível trófico médio, observámos uma redução gradual na relevância de espécies de baixo nível trófico (como a sardinha, o carapau e a cavala) entre os recursos pelágicos e batipelágicos, enquanto que entre os recursos demersais as espécies de elevado nível trófico perderam alguma da sua preponderância (Figura 9.10a). Por outro lado, verificámos uma redução significativa no valor do pescado em todos os recursos explorados, indicada por $N_t - G_t$ (Figura 9.10b). A maior dominância de espécies de

baixo valor económico nos desembarques é preocupante sobretudo entre as espécies pelágicas e bentopelágicas, já que a tendência negativa é mais forte.

9.3.1.5 Surgimento de Novas Espécies

Na última década, algumas espécies características da ictiofauna atlântica africana foram registadas a norte do seu anterior limite de distribuição, em regiões tão setentrionais como a costa da Galiza (Tabela 9.3).

Estas observações têm paralelismo com os acontecimentos recentes no mar do Norte, onde a intrusão de águas quentes através do canal da Mancha foi acompanhada pelo aumento do número de espécies típicas de regiões meridionais (Corten e van de Kamp, 1996).

9.3.1.6 Conclusões

Com base nos dados recolhidos, concluímos que alguns dos processos indicados no Diagrama de Pressões Ambientais (Figura 9.1) foram observados na costa portuguesa entre 1941 e 2000: o vento afrouxou, o regime de afloramento costeiro enfraqueceu, o gradiente térmico entre a superfície e o fundo aumentou e parecem ter

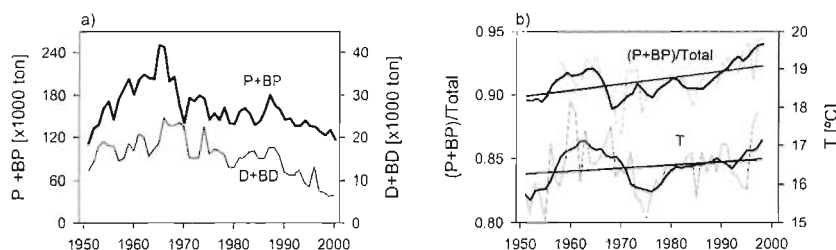


Figura 9.9 – Evolução dos valores anuais de: a) desembarques de espécies pelágicas e bentopelágicas (P+BP) e demersais e batidemersais (D+BD); b) contributo de P e BP para os desembarques totais e temperatura da água do mar à superfície na região C2 (encontram-se representadas as observações originais, médias móveis de 7 anos e tendências de longo prazo)

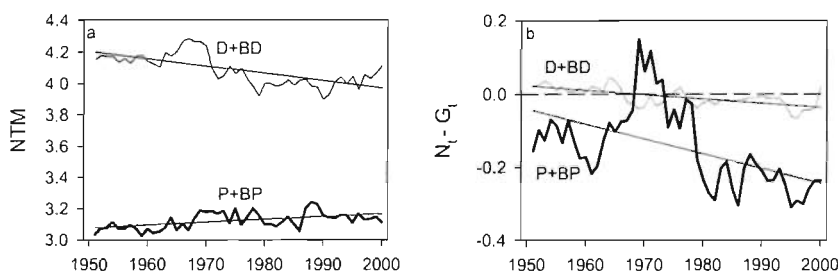


Figura 9.10 – Evolução dos valores anuais de: a) nível trófico médio (NTM); b) $N_t - G_t$ distinguindo as espécies pelágicas e bentopelágicas (P+BP) das demersais e batidemersais (D+BD)

Tabela 9.3. Registos recentes de surgimentos de espécies ícticas a norte do seu anterior limite setentrional de distribuição. V.C. – valor comercial.

Nota: embora *L. mormyrus* seja citada por Bauchot e Hureau (1990) como presente no golfo da Biscaia, Sierra e Portilla (1993) referem que esta espécie parece não ter sido registada em águas galegas anteriormente ao seu trabalho

Espécie	Nome comum	Local de novo registo	Ref.	Distribuição	V.C.	Ref.
<i>Dentex canariensis</i>	Dentão-das-canárias	Cádiz	Otero <i>et al.</i> (1998)	C. Bojador - Angola	+	Bauchot e Hureau (1990)
<i>Fistularia petimba</i>	Corneta-rosada	Cádiz	Cárdenas <i>et al.</i> (1997)	C. Branco e C. Verde - Angola	-	Fritzsche (1990)
<i>Aluterus monocerus</i>	Peixe-porco (Açores)	Cádiz	Galeote <i>et al.</i> (1998)	Regiões tropicais de África	+	Harmelin-Vivien e Quéro (1990)
<i>Caranx crysos</i>	Narêu-azul	Galiza	Bañón Díaz e Casas Sánchez (1997)	Senegal - Angola	+	Smith-Vaniz <i>et al.</i> (1990)
<i>Lithognathus mormyrus</i>	Ferreira	Galiza	Sierra e Portilla (1993)	Golfo da Biscaia (?) - África do Sul	+	Bauchot e Hureau (1990)

ocorrido modificações na produtividade primária e secundária, tanto a nível anual como sazonal. Possivelmente em resposta a estas mudanças ambientais, várias espécies surgiram na costa ibérica a norte dos seus limites anteriores. Ao mesmo tempo, as espécies ícticas demersais parecem ter-se ressentido mais destas alterações do que as pelágicas, atendendo ao decréscimo do seu contributo para os desembarques totais e ao declínio dos desembarques de espécies de elevado nível trófico, indicativo do empobrecimento da comunidade. Entre as espécies pelágicas, as alterações físicas do meio também parecem estar relacionadas com uma alteração composicional dos desembarques, sendo o contributo das espécies de baixo nível trófico menor ao longo do tempo, em sinal da sua maior dependência do afloramento costeiro. Para além destas observações devemos frisar que houve uma redução dos desembarques totais no período considerado e ainda os seguintes aspectos, que sugerem cautela na interpretação dos resultados:

- a) A qualidade dos registos da FAO não é constante ao longo do tempo, o que pode enviesar os resultados obtidos.
- b) Os desembarques anuais constituem indicadores muito grosseiros da abundância dos recursos.
- c) O padrão de exploração dos recursos haliêuticos portugueses sofreu numerosas transformações ao longo do período estudado, sobretudo após a entrada de Portugal na UE.
- d) A pesca concorre com as alterações climáticas para a evolução a longo prazo na abundância e composição dos recursos; por exemplo, o empobrecimento das comunidades demersais pode dever-se não só às alterações climáticas mas também à sobreexploração ou aos efeitos nocivos dos arrastos sobre os ecossistemas (ver p. ex. Watling e Norse, 1998).

9.3.2 Modelação Aplicada a Dois Recursos: Carapau-Branco e Pescada

9.3.2.1 Ciclos de Abundância Populacional

A análise dos grandes ciclos temporais de variação populacional em carapau-branco e pescada capturados na costa continental portuguesa evidenciou a NAO e a SST como os factores que, respectivamente, melhor se ajustam aos processos em causa, actuando de forma diferenciada ao longo da costa (Tabela 9.4).

As Figuras 9.11 e 9.12 representam as componentes harmónicas de maior período afectas à variação da abundância relativa de ambas as espécies e às respectivas variáveis climáticas com coeficiente de correlação mais elevado. Trata-se de uma abordagem adaptada do trabalho de Csirke (1995), que a implementou para outras espécies de pelágicas.

Para ambas as espécies foram determinadas variações cíclicas de diferente período, possivelmente relacionadas com as diferentes estratégias ecológicas de vida, que dispõem às populações capacidades dinâmicas diferenciadas. O carapau-branco com uma maturação sexual antecipada em relação à pescada, dispõe de uma resiliência acrescida, que atenua a inércia da resposta populacional às alterações ambientais, promovendo ciclos de período mais curto (14 anos na análise efectuada). Para a pescada a regra de variação a NW e SW gera ciclos de 35 anos, divergindo do verificado a S, onde o padrão evolutivo é definido por ciclos de período mais curto (aproximadamente 17 anos), devidos, segundo Pereiro *et al.* (1980), à maior instabilidade populacional resultante do maior dinamismo hidrológico na costa sul (*i.e.*: maior variabilidade nas condições hidrológicas na costa) e das respostas populacionais decorrentes da coexistência com uma espécie de nicho ecológico semelhante: a pescada-negra, *Merluccius senegalensis* (Grant e Leslie, 2001). Em comum encontraram-se igualmente gradientes latitudinais nos desfaseamentos das respostas biológicas (*i.e.*: desfaseamentos a NW mais curtos) e assincronias entre as curvas de variação de abundância para as três regiões, facto que se poderá ligar ao tempo de propagação da resposta ao longo dos contínuos populacionais (Cushing, 1978).

A semelhança comportamental entre os processos temporais longos de NAO_m e carapau-branco faz supor que os factores climáticos determinem a abundância relativa da espécie. A evidência de um desfaseamento temporal (*lag*) curto (1 a 2 anos) entre os extremos de variação de ambos os ciclos sugere uma actuação primária nas fases iniciais de desenvolvimento (*i.e.*: larvas e pré-recrutas) mais susceptíveis à variabilidade ambiental (Smith, 1978) ou sobre a acomodação ambiental da população, traduzindo-se em deslocações dos centros populacionais em latitude ou longitude (Murawski, 1993; Barange, 2002), logo na vulnerabilidade de captura. De qualquer forma é evidenciada a relação negativa entre as variáveis, contrariamente ao encontrado por Reid *et al.* (2001) para o mar do Norte. Os investigadores salientaram contudo a especificidade da área de estudo e desaconselharam a extrapolação dos resultados para outras áreas. Para Marshall *et al.* (2001) e Trigo *et al.* (2002) índices positivos da NAO aliam-se ao fortalecimento do regime de ventos de leste, à latitude de Portugal Continental. Admitindo uma tradução desse efeito sobre as correntes dominantes (Figura 9.13), poderá ser promovida a advecção das populações pesqueiras para o largo, nomeadamente durante os meses de Inverno. Dessa forma, poderá ser promovida a realocação das populações costeiras para regiões mais inacessíveis às pescarias (Owen, 1989; Graham e Largier, 1997), e também a disrupção dos padrões migratórios do *stock* (nomeadamente para norte), potenciando novas rotas de deslocação que minimizem o *stress* fisiológico e que facilitem a acomodação

Tabela 9.4. Coeficientes de correlação mais significativos (nível de significância de 0,05) e respectivo desfasamento (*lag*) entre a abundância relativa ($CPUE_{std}$) de ambas as espécies e os factores oceânico e atmosféricos em análise, para as três regiões da costa portuguesa (NW, SW, S). NAO_{inv} – índice médio da NAO nos meses de Inverno (DJF); SST_{out} – SST média no mês de Outubro; SST_{dez} – SST média no mês de Dezembro

	Carapau-branco		Pescada		
	NAO_{inv}	<i>lag</i>	SST_{out}	SST_{dez}	<i>lag</i>
NW	-0,28	1	--	0,31	0
SW	-0,31	2	--	0,32	1
S	-0,42	2	0,43	--	3

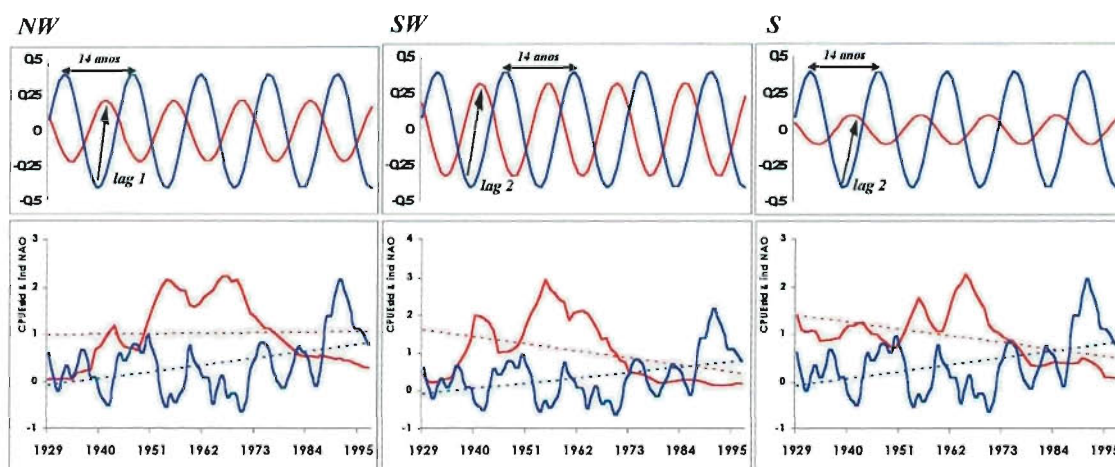


Figura 9.11 – Variação cíclica de longo período da abundância relativa ($CPUE_{std}$) de carapau-branco, *Trachurus trachurus*, e NAO_{inv} nas três regiões de estudo (NW – costa Noroeste; SW – costa Sudoeste; S – costa Sul). Em baixo os dados alisados a 5 anos (a cheio) e a tendência linear (pontado); em cima as séries harmónicas obtidas (vermelho – abundância relativa; azul – índice NAO_{inv}). A amplitude das harmónicas indica o grau de ajustamento das séries respectivas aos dados brutos

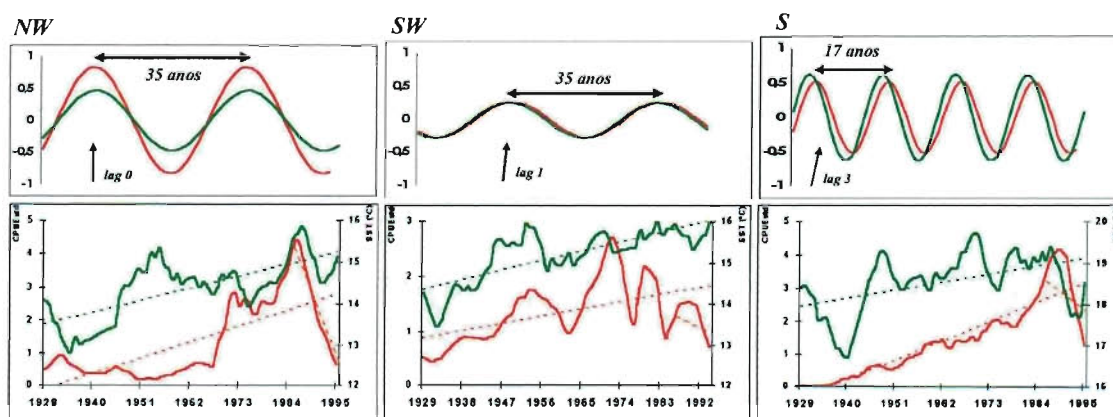


Figura 9.12 – Variação cíclica de longo período da abundância relativa ($CPUE_{std}$) de pescada, *Merluccius merluccius*, e SST_{out} (NW, SW) SST_{dez} (S) nas três regiões de estudo (NW – costa Noroeste; SW – costa Sudoeste; S – costa Sul). Em baixo os dados alisados a 5 anos (a cheio) e a tendência linear para o período 1928-2000 (pontado vermelho) e tendência linear pós-1984 (pontado laranja); em cima as séries harmónicas obtidas (vermelho – abundância relativa; azul – SST). A amplitude das harmónicas indica o grau de ajustamento das séries respectivas aos dados brutos

das populações de carapau-branco às alterações climáticas previstas (Csirke, 1995).

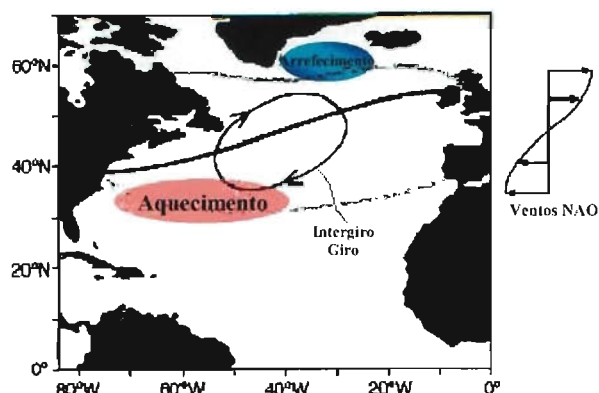


Figura 9.13 – Efeito do aumento do sinal NAO sobre os ventos e a circulação oceânica no Atlântico Nordeste (adaptado de Marshall *et al.*, 2001)

A evolução a longo termo da população de pescada parece derivar dos ciclos de variação de SST. Esta associação é determinada numa relação directa, em que SST_{Dez} e SST_{Out} mais elevadas fazem supor incrementos na abundância populacional. Moser *et al.* (1997) abordou uma afinidade semelhante, decorrente principalmente da dinâmica da base alimentar de uma espécie congénere do Pacífico. Como espécie de afinidade boreal, encontrando nas nossas águas o seu limite sul de distribuição (ver secção 9.4.4.1), seria útil uma análise da tolerância térmica (Sharp, 1998) de forma a determinar limites em que a variação da temperatura seja favorável ou desfavorável à abundância das populações na região. De qualquer forma, a tendência térmica crescente verificada ao longo do século XX parece ter favorecido a espécie na costa

portuguesa. Contudo, quando se olha para a variação da abundância nos últimos anos (*i.e.*: 1986 a 2000) observa-se um decréscimo tendencial o que sugere o alcançar de um limiar de tolerância térmica nos meses em análise.

9.3.2.2 Potencial de Regeneração Populacional

As Figuras 9.14 e 9.15 representam, respectivamente, a evolução recente da Biomassa do Stock Reprodutor (SSB) e do número de recrutas ponderado pela SSB, nos *stocks* sul de carapau-branco e pescada. Um padrão comum em ambas as espécies é o efeito marcante da SST sobre a SSB e do regime de ventos sobre o potencial de recrutamento. Na verdade, a SST determina um efeito ecológico bivalente (Roemmich e McGowan, 1995), em que, se por um lado, um pequeno e gradual aumento térmico induz reacções metabólicas mais rápidas (*i.e.*: crescimento acelerado) (Crawshaw, 1977; Bartsch, 2002), por outro, quando associada com outros processos de dinamismo das águas costeiras, decreta a produtividade primária, elo alimentar básico dos ecossistemas marinhos (Hewitt *et al.*, 1985). Assim, não se mostra linear a discussão do seu efeito sobre os *stocks* em causa, para mais que numa espécie (*i.e.*: carapau-branco) se relaciona positivamente garantindo um maior potencial reprodutivo, enquanto na pescada conduz a menores SSB.

O efeito do vento sobre o sucesso de recrutamento é coincidente para ambas as espécies e, embora o mês de maior impacto seja diferente, respeitam ambos a períodos iniciais de postura. Ora, se bem que em Dezembro e Fevereiro não se encontrem massas larvares densas nas águas costeiras nacionais, os processos climáticos sobre a coluna de água podem promover o acondicionamento nutricional ao longo da costa durante o Inverno (Cunha, 2001), favorecendo a produti-

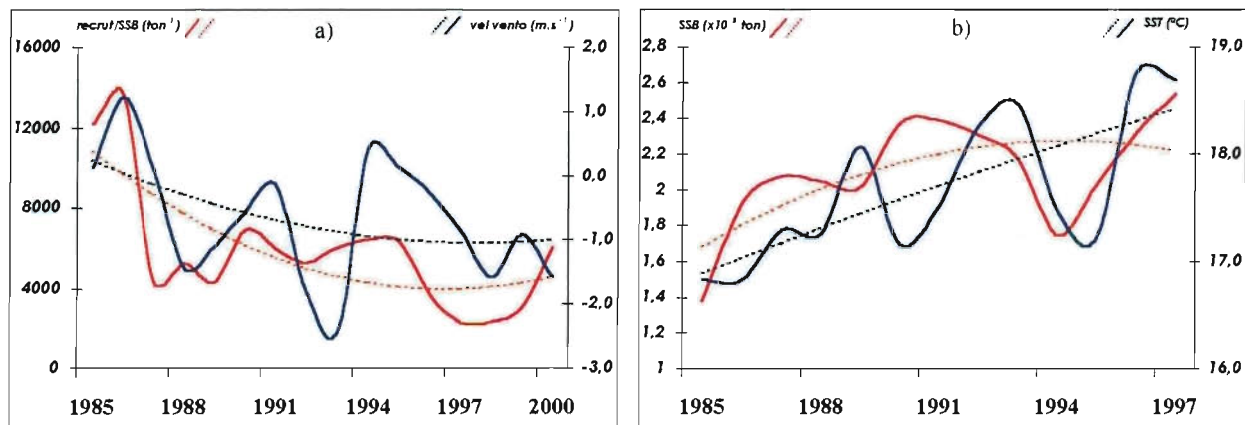


Figura 9.14 - Variação do potencial de recrutamento (a) e biomassa do stock reprodutor (SSB) (b) nos *stocks* sul de carapau-branco, *Trachurus trachurus*. São representadas as variações das variáveis climáticas de maior correlação (velocidade média mensal do vento em regime Norte/Sul, em Dezembro, $r = 0.72$, e temperatura média mensal à superfície do mar em Janeiro, SST, $r = 0.55$). A tracejado as linhas de tendência

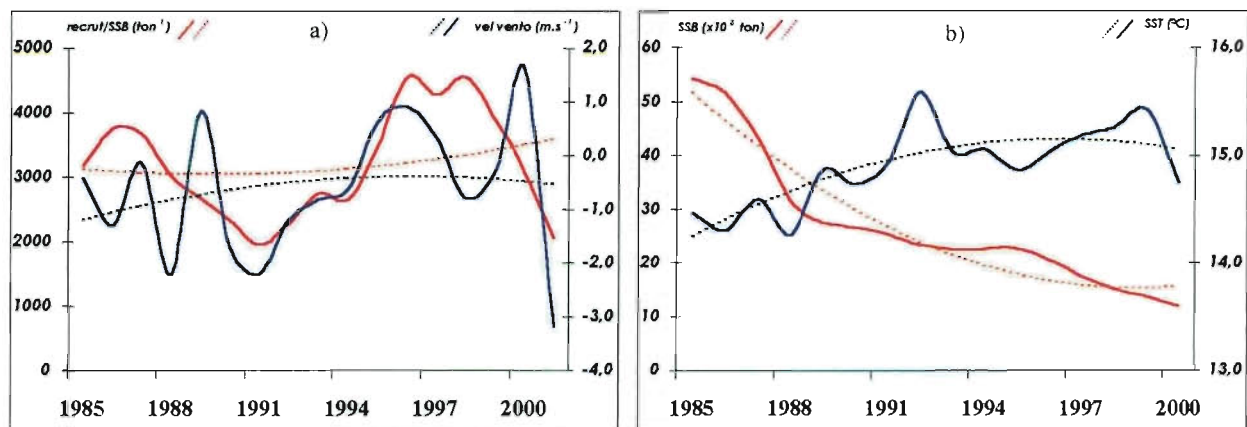


Figura 9.15 – (a) Variação do potencial de recrutamento e (b) biomassa do stock reprodutor (SSB) nos stocks sul de pesca, *Merluccius merluccius*. São representadas as variações das variáveis climáticas de maior correlação (velocidade média mensal do vento em regime Norte/Sul, em Fevereiro, $r = 0,51$, e temperatura média mensal à superfície do mar em Junho, SST, $r = -0,41$). A tracejado as linhas de tendência

vidade primária durante a Primavera, que, num efeito de sucessão garantirão em poucas semanas, consoante a capacidade de resposta do meio, agregados zooplancónicos diversificados que servirão de base alimentar às larvas, nos seus diferentes estádios (Cunha, 2001). Processos de sincronia a este nível foram propostos por Cushing e Dickson (1976), sob o nome de *match-mismatch theory* (ver secção 9.4.3.1).

9.3.2.3 Efeitos Climáticos Regionais

Com a redução da escala de análise, tanto na vertente geográfica, como na espacial, foram encontradas diferenças de evolução populacional nos diferentes estádios de desenvolvimento das espécies, justificando o estudo em classes de comprimento, que não tendo um sentido biológico evidente, têm um sentido no domínio pesqueiro e comercial (Smith, 1978).

De qualquer forma, foram encontrados os modelos estatísticos mais significantes, onde variáveis oceânicas e atmosféricas regionais se associam à abundância relativa verificada (Figuras 9.16 e 9.17). Pode observar-se que a intensidade do vento e o escoamento fluvial na foz dos principais rios são os grandes determinantes do estado populacional, conforme o encontrado por Csirke (1995) e para espécies congénicas.

Se, para o carapau-branco o efeito decisivo do regime de ventos se faz sentir mais nos meses de Verão, para a pescada há uma extensão temporal do período de maior acção ambiental, para os meses de Primavera. Na verdade, o conhecimento de ambas as espécies na costa portuguesa faria prever estes resultados, pois as posturas de pesca ocorrem preferencialmente no 1.º trimestre do ano (Anónimo, 1985), enquanto o pico das posturas em carapau-branco se faz sentir em Abril/Maio (Borges, 1996), permitindo antever o efeito acrescido dos processos de

alforamento costeiro na promoção alimentar das fases larvares de ambas as espécies, especialmente no decorrer dos dois a três meses de vida planctónica (Brodeur e Percy, 1992).

Também o escoamento fluvial, interagindo com o regime de ventos, apresenta uma relação positiva, favorecendo o crescimento populacional. Mais uma vez, os modelos sugerem diferenças nos períodos de maior intervenção da variável ambiental para ambas as espécies.

A acção dos regimes de vento faz prever a mediação de processos de afloramento costeiro que actuam em vários planos ecológicos, promovendo a circulação das águas costeiras e o aporte nutricional às camadas superficiais, facultando meios de desenvolvimento fitoplanctónico, gerando turbulência na coluna de água, e alterando a distribuição espacial dos organismos derivantes (e.g. larvas e ovos). O efeito globalizante e interactuante destes processos dificulta a predição de respostas biológicas (MacKenzie e Leggett, 1991). A acção fluvial sobre as águas costeiras é marcada pelo «cargamento» de material silicioso e mineralizante que, promovendo a produção primária, gera também correntes de turbulência nos planos batimétrico e costeiro, redistribuindo as frentes termo-halinas ao longo da plataforma continental (Massapina, 1990). É nestas regiões que se localizam preferencialmente os centros gravíticos das populações de zooplancóntes (Brodeur e Ware, 1992), atraindo assim uma enorme variedade de espécies predadoras (Brodeur e Percy, 1992; Cushing, 1995).

Em suma, o efeito climático sobre o carapau-branco parece mais limitado à escala intra-anual, com fortes dependências nos meses de Inverno e Verão. Para a pescada observam-se relações mais complexas tomando acção preferencialmente durante a Primavera e Verão.

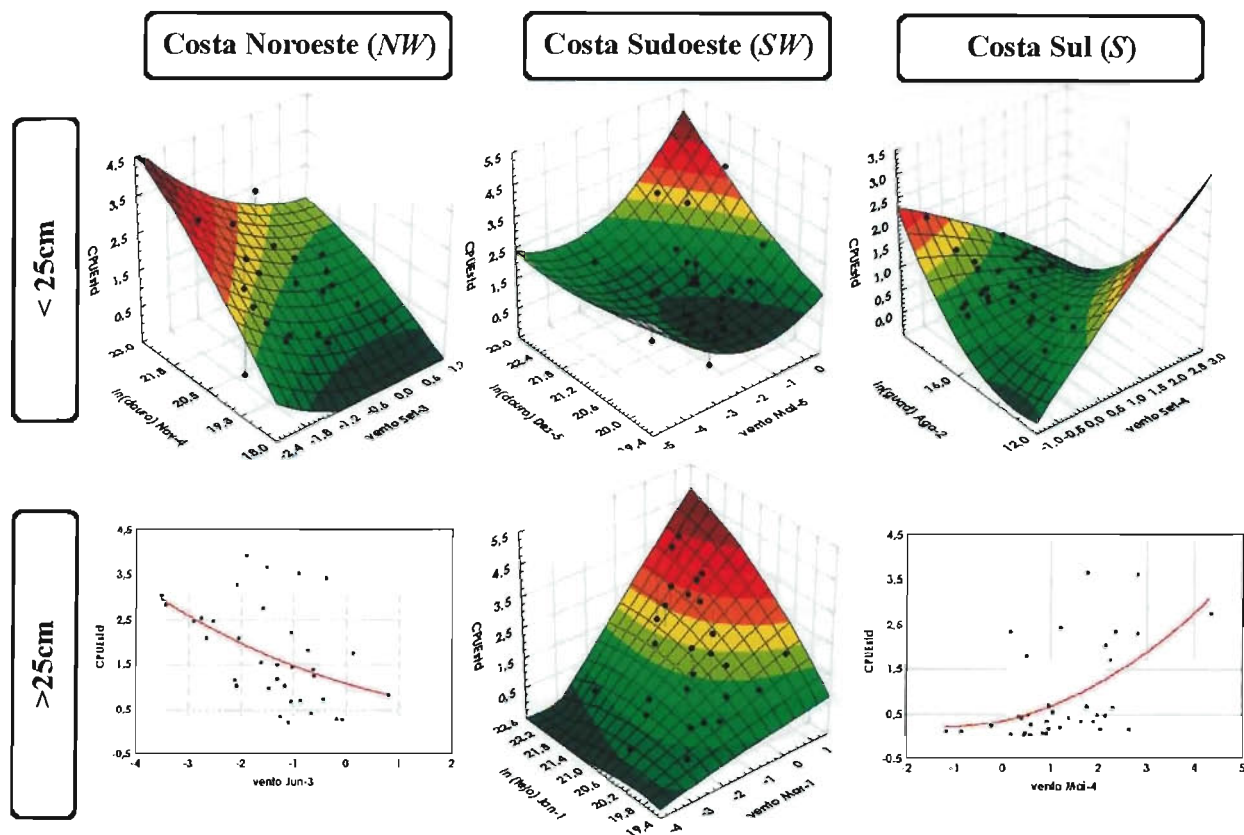


Figura 9.16 – Modelos de correlação com desfasamentos para a abundância relativa de classes dimensionais de carapau-branco (< 25 cm; > 25 cm), *Trachurus trachurus*, nas três regiões em análise (NW; SW; S). $\ln(douro)xxx$ – logaritmo do escoamento mensal acumulado na foz do Douro; $\ln(tejo)xxx$ – logaritmo do escoamento mensal acumulado na foz do Tejo; $\ln(guad)xxx$ – logaritmo do escoamento mensal acumulado na foz do Guadiana; $ventoxxx$ – velocidade média mensal do vento em regime paralelo à costa; xxx – mês e desfasamento (lag) a que se reporta

9.3.3 Análise das Simulações do Modelo HadRM3

9.3.3.1 Temperatura da Água do Mar à Superfície

Relativamente à simulação de controlo do modelo HadRM3, que emula a situação actual (1971-2000), observámos nas simulações realizadas sob os cenários A2 e B2 um aumento significativo da temperatura da água do mar à superfície até ao final do século XXI (2071-2100), na ordem de +2 °C no cenário A2 (Figura 9.18) e +1 °C no cenário B2. Este aquecimento é relativamente invariante em toda a costa continental portuguesa e ao longo do ano.

Porém, numa análise mais detalhada, detectámos no modelo HadRM3 uma incapacidade de simulação do afloramento costeiro na costa ocidental portuguesa – comparem-se, por exemplo, as Figuras 9.7 e 9.19.

Esta deficiência foi também detectada por McAvaney *et al.* (2001) numa análise do modelo global de 3.ª geração do

Hadley Centre (HadCM3), sugerindo que este não consegue recriar as condições de afloramento costeiro presentes nas costas continentais ocidentais (incluindo da América e África). Por esse motivo, optámos por reter apenas a informação de que nos cenários A2 e B2 é previsto um aumento da temperatura da água do mar à superfície na costa portuguesa.

9.3.3.2 Vento

Numa análise de médias anuais, a simulação A2 evidenciou um ligeiro enfraquecimento do vento nas zonas costeiras relativamente à simulação de controlo. Já na simulação B2 não observámos quaisquer alterações relevantes (Figura 9.20).

A diferença mais notória entre os dois cenários foi encontrada nos meses de Verão, em que o cenário B2 apontou para um fortalecimento do vento ao largo da costa ocidental, sucedendo o oposto para o cenário A2. Porém, em ambos

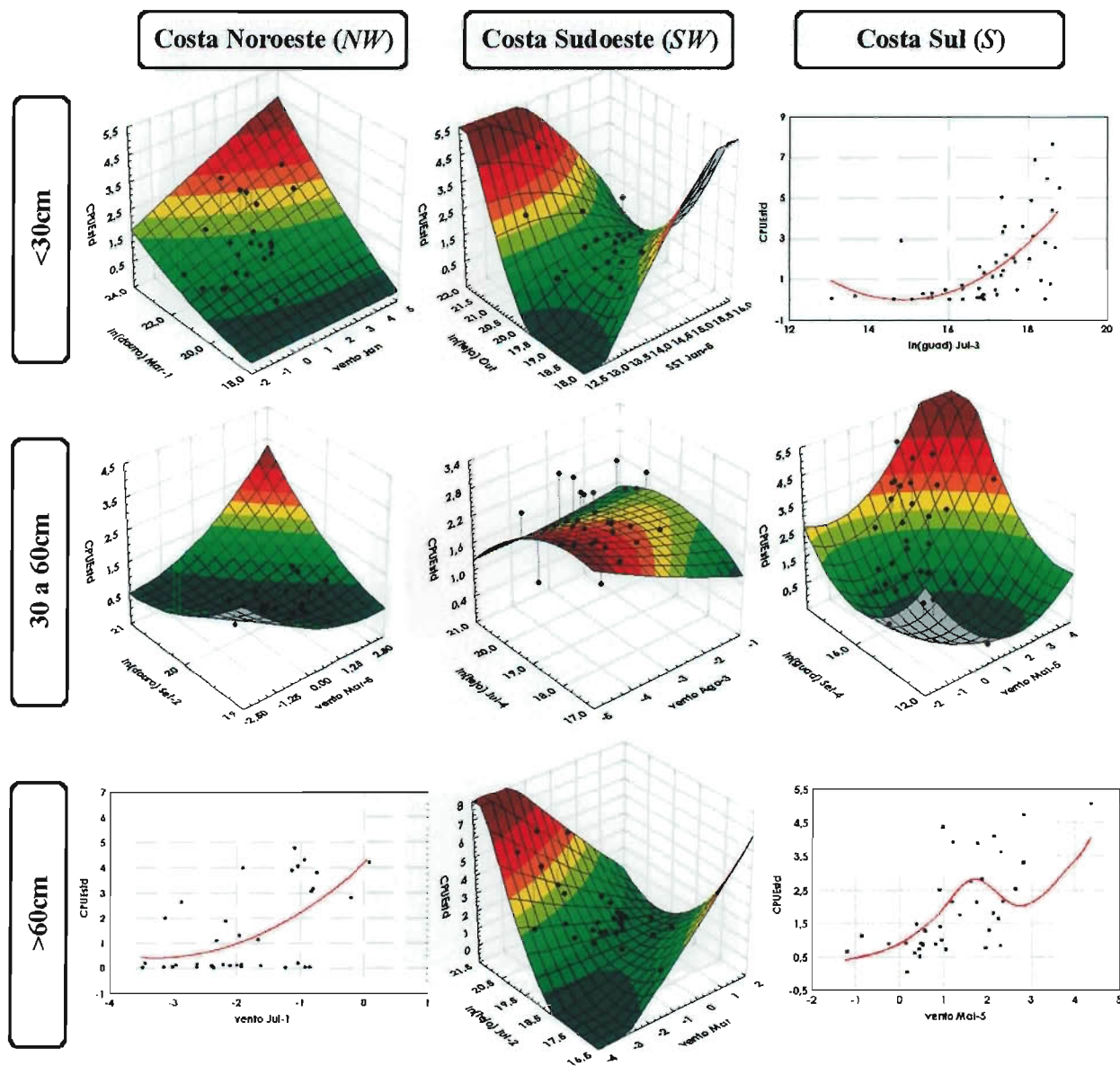


Figura 9.17 – Modelos de correlação com desfasamentos para a abundância relativa de classes dimensionais de pescada (< 30 cm; 30 a 60 cm; > 60 cm), *Merluccius merluccius*, nas três regiões em análise (NW; SW; S). $\ln(\text{douro})xxx$ – logaritmo do escoamento mensal acumulado na foz do Douro; $\ln(\text{tejo})xxx$ – logaritmo do escoamento mensal acumulado na foz do Tejo; $\ln(\text{guad})xxx$ – logaritmo do escoamento mensal acumulado na foz do Guadiana; $\text{vento}xxx$ – velocidade média mensal do vento em regime paralelo à costa; $SSTxxx$ – temperatura à superfície do mar; xxx – mês e desfasamento (lag) a que se reporta

os casos as diferenças em relação à simulação de controlo foram muito pequenas (em módulo menores que 0,3 m/s), o que está de acordo com a análise global do modelo HadCM3 feita por Mote e Mantua (2002). Em contraste, Hsieh e Boer (1992) e Bopp *et al.* (2001) associaram ao aquecimento global um afrouxamento marcado dos ventos favoráveis ao afloramento costeiro, baseando-se para tal em modelos climáticos com diferentes graus de complexidade (simples, no primeiro caso, e sofisticados, no segundo).

9.3.3.3 Subida do Nível do Mar

Em termos globais, o modelo HadCM3 prevê uma subida do nível médio do mar até ao final do século XXI, na ordem de +30 cm para o cenário B2 e +40 cm para o cenário A2 (Church *et al.*, 2001). De acordo com a Figura 11.13 de Church *et al.* (2001), a subida do mar prevista para a costa continental portuguesa parece ser próxima dos valores médios indicados para cada cenário.

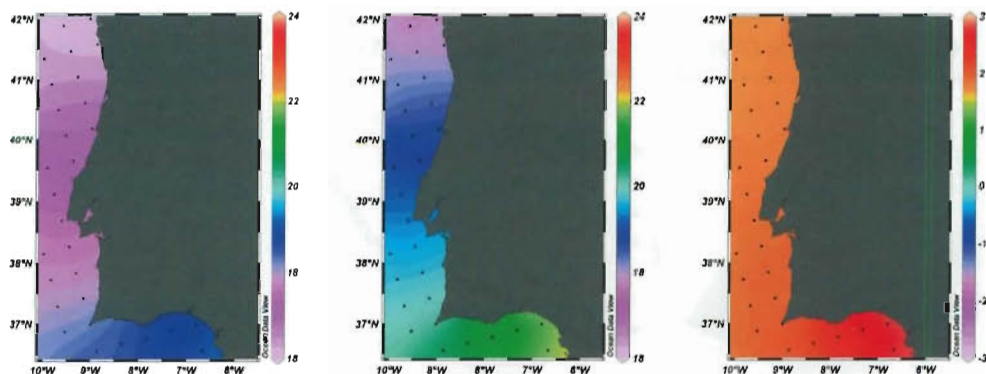


Figura 9.18 Média anual da temperatura da água do mar à superfície (°C), nas simulações de controlo (esquerda) e A2 (centro), e diferença entre simulações (direita). Os pontos da grelha do modelo HadRM3 encontram-se assinalados

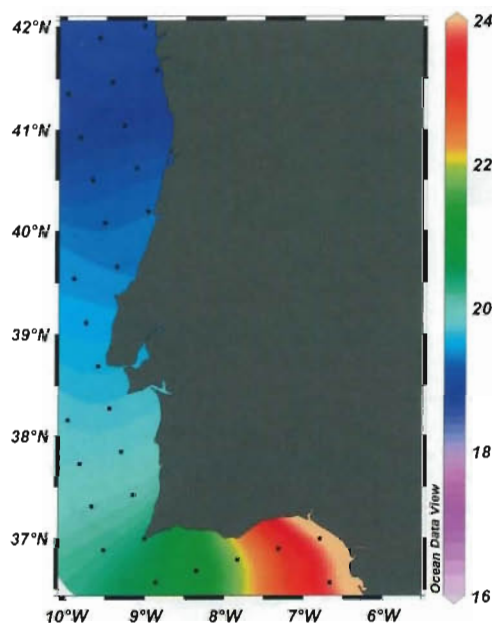


Figura 9.19 - Média da temperatura da água do mar à superfície no mês de Julho, na simulação de controlo do modelo HadRM3

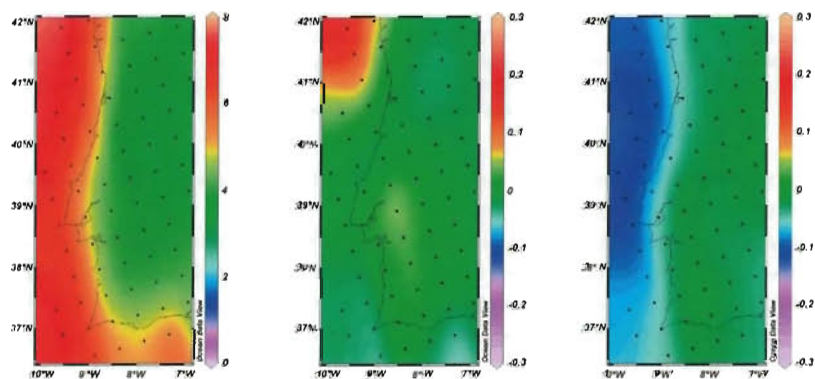


Figura 9.20 Média anual da velocidade do vento (m/s) na simulação de controlo (esquerda) e diferença entre as simulações B2 (centro) e A2 (direita) e o controlo

9.3.3.4 Conclusões

Quando comparadas com os dados do clima costeiro nos últimos 60 anos, as projecções do modelo HadRM3 para 2071-2100 indiciam a continuação e intensificação de alguns fenómenos observados nos últimos 60 anos. No que diz respeito à temperatura da água do mar, os cenários A2 e B2 produzem tendências maiores do que actualmente registadas nas regiões oceânicas: $+0,02$ °C/ano e $+0,01$ °C/ano, contra $+0,002$ °C/ano observados entre 1941 e 2000. Notamos contudo que se restringirmos a análise dos dados históricos ao período 1981-2000 obtemos uma tendência bastante mais forte ($+0,013$ °C/ano), o que confere maior verosimilhança às projecções. Um outro facto a notar é que as tendências registadas junto à costa e ao largo são muito semelhantes no modelo HadRM3. Na nossa opinião, esta homogeneidade espacial deve-se à reduzida resolução do modelo e à sua fraca capacidade em emular os sistemas de afloramento costeiro, pelo que poderá não ser suportada por modelos vindouros sujeitos aos mesmos cenários de emissões.

Relativamente ao vento, a diminuição da velocidade média anual registada no período 1911-2000 parece não ser continuada por qualquer um dos cenários: apesar de no cenário A2 o enfraquecimento do vento ocorrer apenas na costa ocidental (Figura 9.20), à semelhança do que acontece actualmente (Figura 9.5), a redução projectada até 2071-2100 é inferior a $0,02$ m/s, o que traduz uma tendência muito ténue. Mais uma vez, consideramos que sob estes cenários de emissões o afrouxamento do vento junto à costa poderá ser um pouco maior do que é apontado pelo modelo HadRM3, em sinal de um enfraquecimento geral dos sistemas de afloramento costeiro (ver Hsieh e Boer, 1992; Cox *et al.*, 2000; Bopp *et al.*, 2001).

Por último, no tocante à subida do nível médio do mar, as taxas de aumento apontadas pelos dois cenários são bastante maiores do que as tendências registadas no século XX (Taborda e Dias, 1989; Dias e Taborda, 1988, 1992; Kol *et al.*, 2002). Para uma discussão detalhada deste assunto, propomos a consulta de Andrade *et al.* (2002) e do Capítulo 4.

9.4 IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NO SÉCULO XXI

9.4.1 Introdução

À semelhança dos processos físicos, também os processos biológicos observados no século XX e resumidos na Figura 9.1 deverão exibir uma continuidade e intensificação ao longo do século XXI. Sendo as alterações ambientais de

igual sinal nos dois cenários estudados, embora de maior amplitude no cenário A2, é provável que os impactos sobre os recursos haliêuticos, ecossistemas associados, comunidades piscatórias e aquacultura em Portugal sejam também semelhantes, mas com maior importância sob o cenário A2. Com fundamento em bibliografia referente à problemática do aquecimento global nas próximas décadas, foi-nos ainda possível ponderar a relevância de algumas das vias de impacto representadas na Figura 9.1 e estabelecer outras, numa tentativa de fornecer um quadro mais geral de todas as possibilidades.

9.4.2 Impactos sobre a Produtividade Planctónica

Fundamentados em modelos climáticos análogos ao HadCM3 mas acoplados a um modelo biogeoquímico, que incorpora a produção fito e zooplancónica, Bopp *et al.* (2001) concluíram que a fracção de carbono orgânico exportado dos primeiros 100 m de profundidade para o resto do oceano diminuirá globalmente durante o século XXI, em resultado das alterações climáticas de origem antropogénica. Contudo, para as regiões oceânicas entre 30 °N e 60 °N, estes autores detectaram um efeito de compensação entre a redução no fornecimento de nutrientes para a camada superficial do oceano, por um lado, e a melhoria da eficácia fotossintética e ampliação da estação produtiva, por outro (Figura 9.1; ver também Pershing, 2001). Assim, na costa continental portuguesa, é possível que os impactos sobre a produtividade planctónica sejam pouco severos à escala anual, mas ao mesmo tempo poderão ocorrer modificações na sazonalidade da produção. Em termos de composição específica, Frank *et al.* (1990) sublinharam que, com a redução da turbulência gerada pelo vento, as espécies de diatomáceas muito comuns nos sistemas de afloramento costeiro tenderão a dar lugar aos dinoflagelados, melhor adaptados a massas de água estratificada. Em resultado, a teia trófica tenderá a alongar-se, com menor quantidade de energia disponível para os níveis tróficos superiores (sobre este assunto ver Ryther, 1969).

Relativamente ao zooplâncton, Ikeda *et al.* (2001) analisaram a resposta de vários processos fisiológicos de copépodes marinhos a variações da temperatura. De acordo com os resultados obtidos, o aumento da temperatura está associado a um metabolismo mais rápido, particularmente para organismos com maior peso corporal, sendo este acompanhado por um crescimento mais rápido mas menos eficiente, ou seja, com menor aproveitamento do alimento consumido. Assim, face ao aquecimento global, os blooms fitoplanctónicos poderão ser acompanhados por máximos zooplancónicos com menor desfaseamento temporal e menor produção.

9.4.3 Impactos Gerais sobre a Abundância e Composição dos Recursos

9.4.3.1 Impactos sobre o Sucesso Reprodutor

Em consequência das alterações climáticas, são de esperar ao longo do século XXI alterações notórias no sucesso reprodutor dos recursos haliêuticos portugueses, com repercussões no recrutamento às pescas.

Em primeiro lugar, o aumento da temperatura está geralmente associado a uma maturação sexual precoce e a um menor tamanho dos adultos, entre os animais ectotérmicos (Atkinson, 1994, 1995). Dado que a fecundidade de um peixe aumenta em regra com o seu tamanho (p. ex. Marteinsdottir e Begg, 2002), concluímos que ocorrerá uma diminuição do potencial reprodutor médio dos recursos haliêuticos, em resposta ao aquecimento global.

Em segundo lugar, as alterações climáticas poderão ter impactos sobre a produção de biomassa íctica ao sincronizar ou dessincronizar os períodos de maior produção de descendentes e do seu alimento (ver Cushing, 1990):

- A reconfiguração da sazonalidade na produção fito e zooplancónica, causada pelo aquecimento global, poderá fornecer às primeiras fases do ciclo de vida de alguns recursos mais alimento do que actualmente, sucedendo o oposto para outros. Em princípio, as espécies que desovam nos meses de Inverno serão beneficiadas pela antecipação do *bloom* fitoplancónico primaveril, ao passo que as espécies que se reproduzem no final da Primavera ou no Verão poderão ser afectadas pelo enfraquecimento do afloramento (Figura 9.21).
- Para as espécies que se reproduzem sazonalmente, sendo a iniciação do processo de maturação sexual despoletada por temperaturas elevadas (reduzidas), o aumento da temperatura poderá provocar uma antecipação (retardamento) da reprodução em algumas semanas (ver p. ex. Marak e Livingston, 1970), e poderá provocar o prolongamento (encurtamento) do período de desova. Adicionalmente, o tempo que medeia a postura e a eclosão será encurtado pelo aumento da temperatura, com particular impacto sobre as espécies que produzem ovos pequenos (Pauly e Pullin, 1988; Figura 9.22).

Apesar dos seus aspectos benéficos, sabe-se também que o afloramento costeiro transporta ovos e larvas pelágicas para longe da costa, onde as condições são desfavoráveis para a sua sobrevivência (ver p. ex. Demarcq e Faure, 2001; Borges *et al.*, 2003). Por esse motivo, o enfraquecimento poderá contribuir para um aumento da retenção e concentração de larvas e do seu alimento junto à costa, com repercussões positivas sobre o sucesso reprodutor (Figura 9.1).

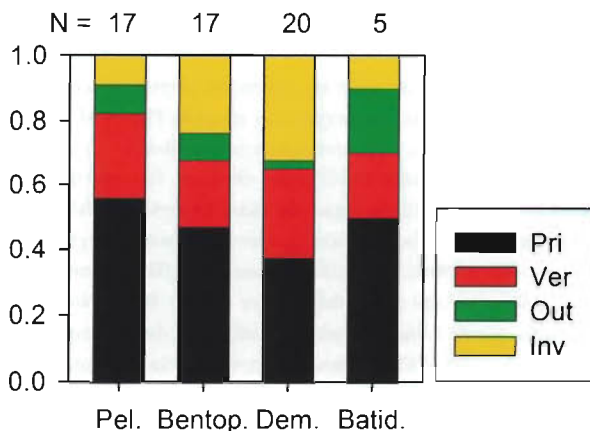


Figura 9.21 – Percentagem de espécies (discriminando *habitats*: Pel.-Pelágico; Bentop.-Bentopelágico; Dem.-Demersal; Batid.-Batidemersal) que se reproduzem na Primavera, Verão, Outono e Inverno. N – número de espécies com informação disponível na base de dados (*Fishbase*)

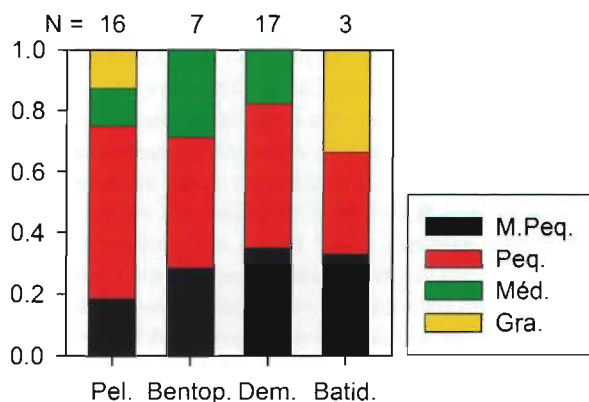


Figura 9.22 – Percentagem de espécies (discriminando *habitats*) que possuem ovos grandes ($\Phi > 2,0$ mm), médios ($1,5 \text{ mm} < \Phi \leq 2,0$ mm), pequenos ($1,0 \text{ mm} < \Phi \leq 1,5$ mm) e muito pequenos ($\Phi < 1,0$ mm)

Por último, as alterações climáticas poderão modificar os padrões de migração de algumas espécies, assim como a localização e dimensão das zonas de desova e alimentação, beneficiando ou comprometendo o sucesso reprodutor (Sousa Reis *et al.*, 2002).

9.4.3.2 Impactos sobre a Mortalidade Natural das Populações

Em consequência do aquecimento global, o metabolismo de espécies ectotérmicas como os peixes e os invertebrados marinhos forçosamente aumentará, levando a uma maior actividade e taxa de contacto entre presas e predadores, ou seja, a uma maior mortalidade natural dos organismos (ver

Pauly, 1980). Se toda a teia trófica respondesse da mesma forma ao aquecimento global, este fenómeno levaria a uma aceleração dos fluxos de matéria e energia pelo ecossistema, com o aumento das taxas de consumo e de crescimento, reprodução precoce e encurtamento da longevidade média. Contudo, tal não é provável que aconteça pois, tal como discutimos na secção 9.4.2, a produtividade planctónica poderá diminuir em resposta ao enfraquecimento do afloramento. Assim, as maiores necessidades alimentares das populações que ocupam níveis tróficos superiores poderão não ser supridas (Mountain, 2002), o que terá reflexo no aumento da mortalidade natural. Dado que o aumento da temperatura será maior nas camadas superiores do oceano, as espécies que dependem uma porção considerável do ciclo de vida próximo da superfície serão possivelmente as mais afectadas. A este facto acresce que, entre os recursos portugueses, as espécies pelágicas e demersais são à partida as mais sensíveis ao aumento da temperatura (Figura 9.23), uma vez que muitas delas têm taxas de crescimento elevadas (o que implica um elevado consumo alimentar) e reduzido tamanho enquanto adultas (sendo por isso propensas à predação).

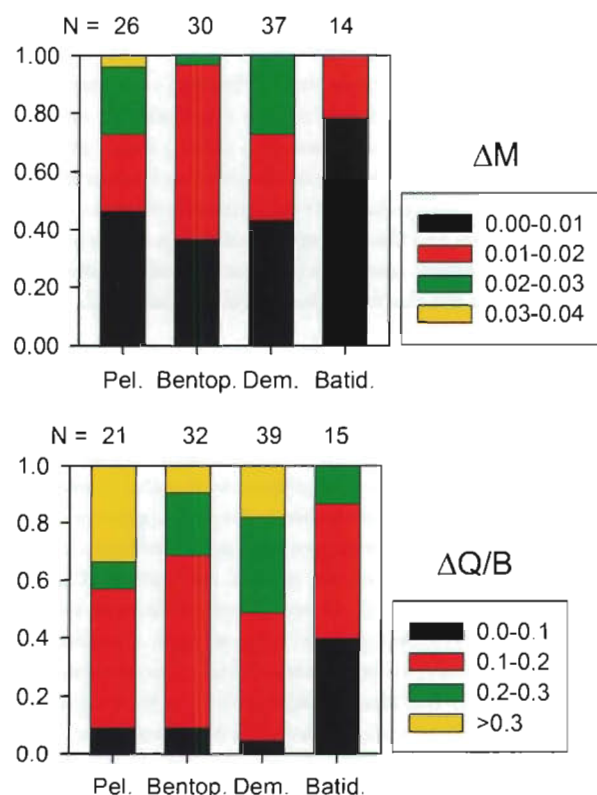


Figura 9.23 – Impacto do aumento da temperatura (em 1 °C) sobre os riscos de predação (ΔM ; à esquerda) e inanição ($\Delta Q/B$; à direita). Para cada *habitat*, são representadas as percentagens de espécies que se situam dentro de cada uma de quatro categorias

Entre outros potenciais impactos sobre a sobrevivência das populações contam-se ainda o aumento do *stress* térmico estival / diminuição do *stress* térmico invernal (Kennedy *et al.*, 2002), a alteração de fenómenos de parasitismo (Frank *et al.*, 1990) e a modificação das relações presa-predador por redistribuição espacial (Mountain e Murawski, 1992; Murawski, 1993): ao deslocarem-se em profundidade ou em latitude, as populações mais sensíveis ao aumento da temperatura podem encontrar ou libertar-se de potenciais predadores. Dada a complexidade dos ecossistemas marinhos (Cury *et al.*, 2001) e a falta actual de dados sobre os limites de tolerância térmica de cada espécie (ver também a secção 9.4.5.1), não nos é possível precisar a extensão destes impactos sobre os recursos portugueses.

9.4.3.3 Sinergias entre Alterações Climáticas e Pescas

Actuando em simultâneo com o clima, os impactos da exploração dos recursos tendem a ser mais severos para espécies pouco produtivas, *i.e.*, espécies de ciclo de vida longo, com crescimento lento e reduzida fecundidade (Musick, 1999). Tal como noutras regiões do globo, os *stocks* batidomais portugueses tendem a destacar-se dos restantes por conterem uma elevada proporção de espécies pouco produtivas (Figura 9.24). Porém, atendendo a que as alterações climáticas e a exploração dos recursos serão mais intensas sobre a plataforma continental do que sobre o talude, é provável que as sinergias detrimenais entre clima e pescas sejam mais importantes entre as espécies pelágicas, bentopelágicas e demersais pouco produtivas.

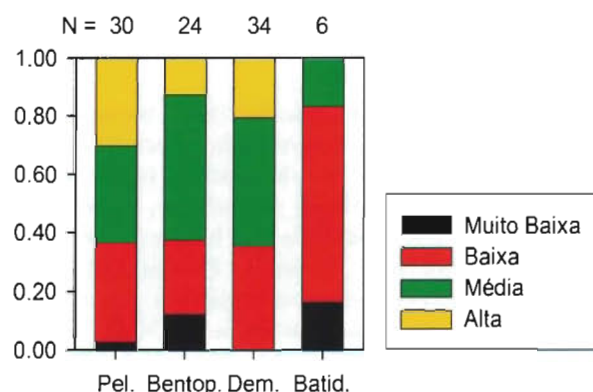


Figura 9.24 – Produtividade dos *stocks* portugueses. Para cada *habitat*, são representadas as percentagens de espécies que se situam dentro de cada uma das categorias definidas por Musick (1999)

9.4.4 Impactos sobre a Abundância e Distribuição do Carapau-Branco e Pescada-Branca

São relatadas a nível bibliográfico diferentes vias de actuação dos processos climáticos sobre a biologia dos *stocks* dos principais recursos costeiros (Beamish, 1993; 1995). De entre os factores que mais se evidenciam como determinantes na evolução da abundância dessas populações realçam-se os grandes processos à escala das bacias oceânicas (*i.e.*: El Niño Southern Oscillation, ENSO, e North Atlantic Oscillation, NAO) e processos de actuação mais localizada que, actuando na vertente temporal, determinam alterações na abundância populacional. É o caso da SST, dos regimes de afloramento costeiro, da intensidade dos ventos, do escoamento fluvial costeiro, etc.

Seguidamente far-se-á a análise destes processos sob a óptica dos resultados obtidos, realçando as tendências de evolução futura.

9.4.4.1 Ciclos de Abundância Populacional

Reconhecidos desde há muito, os ciclos de capturas dos principais recursos derivaram até meados do século XX entre patamares de condição biológica mais ou menos sustentáveis, já que a fases de tendência negativa se seguiam fases de forte pujança, às quais a classe pesqueira se adaptava bem. No final da 2.^a Guerra Mundial com o desenvolvimento tecnológico aplicado à pesca, a pressão pesqueira aumentou, decorrendo assim uma menor resiliência das principais espécies, *i.e.*, menor capacidade de resposta às alterações ambientais (Caddy e Gulland, 1983). Este facto traduziu-se ainda na ocorrência de ciclos de capturas, mas agora aplicados sobre uma tendência de decréscimo constante (Kawasaki, 1984).

Carapau-Branco

A grande associação entre a abundância de carapau-branco e o índice NAO está bem documentada, principalmente na base do relacionamento com alterações no regime hidrográfico em bacias fechadas ou semifechadas, como o mar do Norte (Iversen *et al.*, 2002), o mar Báltico (Borges *et al.*, 1996) e o Atlântico Norte (Fromentin e Planque, 1996). Para a costa portuguesa existem alguns estudos que caracterizam as alterações hídricas associadas aos índices NAO (Trigo *et al.*, 2002). Segundo o modelo HadRM3 são esperados para o presente século incrementos nos índices NAO_{im}, o que parece influir negativamente com a abundância de carapau-branco na costa portuguesa. Esta tendência parece advir da predominância de ventos de leste durante o Inverno alterando a deslocação para as regiões de alimentação a norte e nos

locais de reprodução (Fromentin e Planque, 1996) e diminuição na vulnerabilidade às pescas, sob o padrão actual de exploração.

Quando se transpõe o comportamento populacional verificado ao longo do século XX para o presente século espera-se que o carácter tendencial da variação de abundância se sobreponha às flutuações populacionais cíclicas. Nos períodos de variação crescente de abundância esta ritmicidade opor-se-á à tendência decrescente dominante.

Pescada

Contrariamente ao carapau-branco, as populações costeiras de pescada parecem afectadas por processos mais localizados, facto que poderá decorrer dos menores movimentos migracionais da espécie (Smith, 1978; Csirke, 1995). O predomínio da SST_{out} como factor explicativo da evolução inter-decadal da abundância de pescada, permite inferir sobre a importância da estabilização ambiental sobre as primeiras fases do ciclo de vida do *stock*. Na verdade, sendo uma espécie eminentemente demersal, associada aos fundos da vertente continental, não seria esperada uma associação tão clara com um factor ocorrente à superfície. No entanto, esta relação poderá decorrer de duas diferentes abordagens de actuação: ou sobre as fases larvares e períodos de desova, como documentado por Moser *et al.* (1997), altura em que os indivíduos fomentam movimentações para águas menos profundas; ou numa via indirecta, actuando sobre as camadas superficiais da coluna de água, onde se gera a produção orgânica nas águas costeiras, e que, por processos multietápicos culminem nos elos finais da teia trófica (Pauly *et al.*, 1998; Tanasichuk, 1999).

Tal como referido por Eiane *et al.* (1998), a análise efectuada parece sugerir um predomínio do segundo processo de actuação, já que a rapidez da resposta populacional (Figura 9.12) não reflecte a lentidão característica da incidência sobre os processos larvares. Assim a diferenciação regional no sinal de resposta poderá advir no predomínio de diferentes comunidades zooplantónicas nas regiões em análise (Cunha, 2001) (ver secção 9.4.2). Outro factor explicativo poderá decorrer da existência de um valor térmico absoluto que optimize os processos populacionais, tal como descrito por (Bartsch, 2002), que alia o gradiente térmico entre o fundo e a superfície com a condição fisiológica das larvas. Antevendo a tendência decrescente dos últimos anos da população de pescada, ao se atingir o limiar de tolerância térmica para o desencadear dos processos reprodutivos (*trigger* térmico), descrito por Agnew (1989) como 16 °C, a NW e SW prevê-se uma redução tendencial da abundância populacional para o presente século, marcada por flutuações cíclicas.

A sul, o reduzido período da flutuabilidade populacional poderá ser explicado, segundo Grant e Leslie (2001), pela coexistência com uma espécie concorrente, *Merluccius senegalensis*, gerando competição e menor eficácia populacional de aproveitamento de recursos; maior instabilidade; e períodos de regulação populacional menores (Csirke, 1995). O esperado aumento de SST faz pressupor a colonização das águas nacionais por *Merluccius senegalensis* gerando maior competição ecológica que se poderá traduzir em ciclos de período reduzido até à extinção completa dos mesmos, motivando um decréscimo constante da população.

9.4.4.2 Potencial de Regeneração Populacional

Carapau-Branco

Fazendo uso dos cenários SRES, que prevêem uma pequena diminuição da velocidade do vento à superfície e o consequente atenuar da intensidade de afloramento costeiro, espera-se o decréscimo do potencial de recrutamento para o *stock* de carapau-branco, aliado a uma redistribuição dos centros populacionais por acomodamento às alterações esperadas na SST (acréscimo de 1 a 2 °C). O efeito térmico expressar-se-á igualmente no favorecimento da SSB, numa via bipartida de aumento do efectivo populacional com capacidades reprodutivas e/ou no aumento dos pesos médios do referido efectivo (Parrish e Mallicoate, 1995). Esta análise será tanto mais fiável quanto menor for a limitação alimentar, facto que, segundo Neill *et al.* (1994), só ocorre em pequenos períodos ao longo do ciclo anual, em mares temperados.

Face às alterações climáticas previstas espera-se uma queda da abundância do *stock* de carapau-branco, o incremento da biomassa com potencial regenerador, mas com menor potencial de recrutamento, quer por via de diminuição da fertilidade (não analisada), quer por via do aumento da mortalidade natural em pré-recrutas.

Pescada

Contrariamente ao esperado para o carapau-branco, o *stock* de pescada terá uma menor plasticidade ecológica para fazer face às alterações climáticas previstas, tal como o encontrado por Moser *et al.* (1997) para uma espécie congénica. À esperada redução do manancial por efeito do aumento da SST (ver ciclos de abundância populacional) alia-se o decréscimo da biomassa populacional com capacidades reprodutivas e a diminuição dos recrutas gerados por unidade de biomassa. Ou seja, vislumbra-se um cenário de um *stock* sem capacidade reguladora que responderá às alterações com um deslocamento para norte dos centros

populacionais para fazer face ao aumento da SST. A deslocação prevista será proporcional às alterações verificadas e reflectir-se-á nas capturas da frota pesqueira portuguesa actuante na costa nacional.

9.4.4.3 Efeitos Climáticos Regionais

Carapau-Branco

De entre as variáveis climáticas em estudo, tanto a intensidade do vento indutor de afloramento costeiro como o escoamento acumulado dos principais rios justificam em maior extensão a variação da abundância da espécie, nas três regiões analisadas. Há, no entanto, para as classes dimensionais em estudo diferentes padrões de resposta, o que determinará no futuro diferentes modos de variação. A Tabela 9.5 representa as tendências evolutivas para a espécie, usando como projecção do clima em 2080-2100 a média dos cenários climáticos A2 e B2 de HadRM3.

Verifica-se uma resposta tendencialmente negativa, sendo que a classe de menores dimensões (< 25 cm) parece ser afectada em maior extensão, com diminuições de abundância mais relevantes. Este facto derivará da redução prevista no recrutamento, determinado pela redução da velocidade média do vento e dos escoamentos das principais bacias hidrográficas. Para a classe de maior dimensão, as alterações climáticas previstas para a região S, nomeadamente a reduzida intensificação do vento de oeste, produz um efeito positivo.

A esta complexidade de resposta podem-se associar ainda os processos que ocorrem em mar alto, nomeadamente com uma redistribuição dos *stocks* e alteração nas rotas migratórias, motivado aqui pelo aumento esperado da SST em toda a bacia oceânica.

Pescada

Tal como para o carapau-branco, a abundância relativa de pescada é altamente influenciada pelos processos derivados do escoamento fluvial dos principais rios na costa e que dependem em grande parte da gestão humana aplicada tanto em Portugal como Espanha (no caso dos rios ibéricos), e também pela alteração do regime de ventos costeiros. Estes processos analisados aqui numa perspectiva costeira coincidem com os períodos de deslocação litoral da espécie (Pereiro *et al.* 1980), em que os processos reprodutivos estão no auge. As larvas daí derivadas são favorecidas por processos que facilitem a sua permanência em áreas de abundância de recursos alimentares.

Tabela 9.5 – Variação prevista para 2080-2100 da abundância relativa de classes de comprimento (< 25 cm; > 25 cm) de carapau-branco, *Trachurus trachurus*, nas três regiões em análise. As setas indicam a intensidade da variação

	NW			SW			S		
< 25	-13,9 %	↘		- 11,2 %	↘		+ 0,7 %	=	
> 25	-3,8 %	=		- 12,5 %	↘		+ 7,5 %	↗	

Tabela 9.6 – Variação prevista para 2080-2100 da abundância relativa de classes de comprimento (< 30 cm; 30 a 60 cm; > 60 cm) de pescada, *Merluccius merluccius*, nas três regiões em análise. As setas indicam a intensidade da variação

	NW			SW			S		
<30	-31,4 %	↓		- 47,5 %	↓		+ 2,9 %	=	
30 a 60	-14,7 %	↘		- 2,2 %	=		+ 4,8 %	=	
> 60	- 2,8 %	=		- 5,9 %	↘		+19,3 %	↑	

Na Tabela 9.6 observam-se as variações esperadas para a espécie ao longo da costa portuguesa face às alterações climáticas alicerçadas no cenário A2 HadRM3. A resposta global é complexa, realçando-se gradientes de respostas esperadas, tanto a nível das classes de dimensões, como a nível das regiões. Ou seja, classes dimensionais menores e distribuições mais setentrionais parecem ser afectadas mais negativamente, traduzindo-se mesmo num aumento da abundância esperada para o Sul. O circuito evolutivo daqui emergente faz pressupor a ocorrência de um conjunto de factores populacionais que acomoda as variações, no sentido da estabilização do efectivo, tal como o referido por Werner *et al.* (1996). Neste caso, em particular, a readaptação do recurso às alterações climáticas e à pesca, no sentido da deslocação em profundidade e redução do comprimento total, torna a espécie mais inacessível às capturas.

9.4.5 Impactos sobre a Disponibilidade dos Recursos

9.4.5.1 Impactos da Redistribuição Latitudinal dos Recursos

À luz de vários trabalhos já realizados (p. ex.: Kennedy, 1990; Pörtner *et al.*, 2001; Pörtner, 2001, 2002), podemos afirmar com confiança que o aquecimento global modificará

a distribuição biogeográfica de muitas espécies marinhas e estuarinas, por acção directa da temperatura sobre o *fitness* dos organismos. Infelizmente, não são conhecidos os limites de tolerância térmica para a maioria das espécies ícticas da região Médio-Atlântica (Kennedy *et al.*, 2002), pelo que a monitorização histórica da sua ocorrência em regiões bem definidas, junta com a realização de campanhas oceanográficas (ver Dulcie e Grbec, 2000), fornece actualmente as melhores indicações sobre a redistribuição espacial dos organismos em resposta ao aquecimento global. Como complemento, Kennedy *et al.* (2002) sugerem o recurso à extensão geográfica que cada espécie ocupa como indicador da sua tolerância térmica, reconhecendo porém que outros factores concorrem com a temperatura na delimitação dos limites de distribuição. Na Figura 9.25 encontra-se a extensão ocupada por 127 espécies com interesse comercial em Portugal, distinguindo os *habitats* ocupados.

Com base na Figura 9.25, podemos identificar alguns recursos que poderão desaparecer de parte ou da totalidade da costa continental portuguesa em resposta ao aumento da temperatura da água do mar, designadamente os que não ocorrem na costa atlântica africana. Em compensação, recursos hoje pouco abundantes ou inexistentes nas águas portuguesas mas presentes no Nordeste de África poderão tornar-se comuns ao longo do tempo e fomentar o surgimento de pescarias alternativas. Além dos referidos na Tabela 9.3

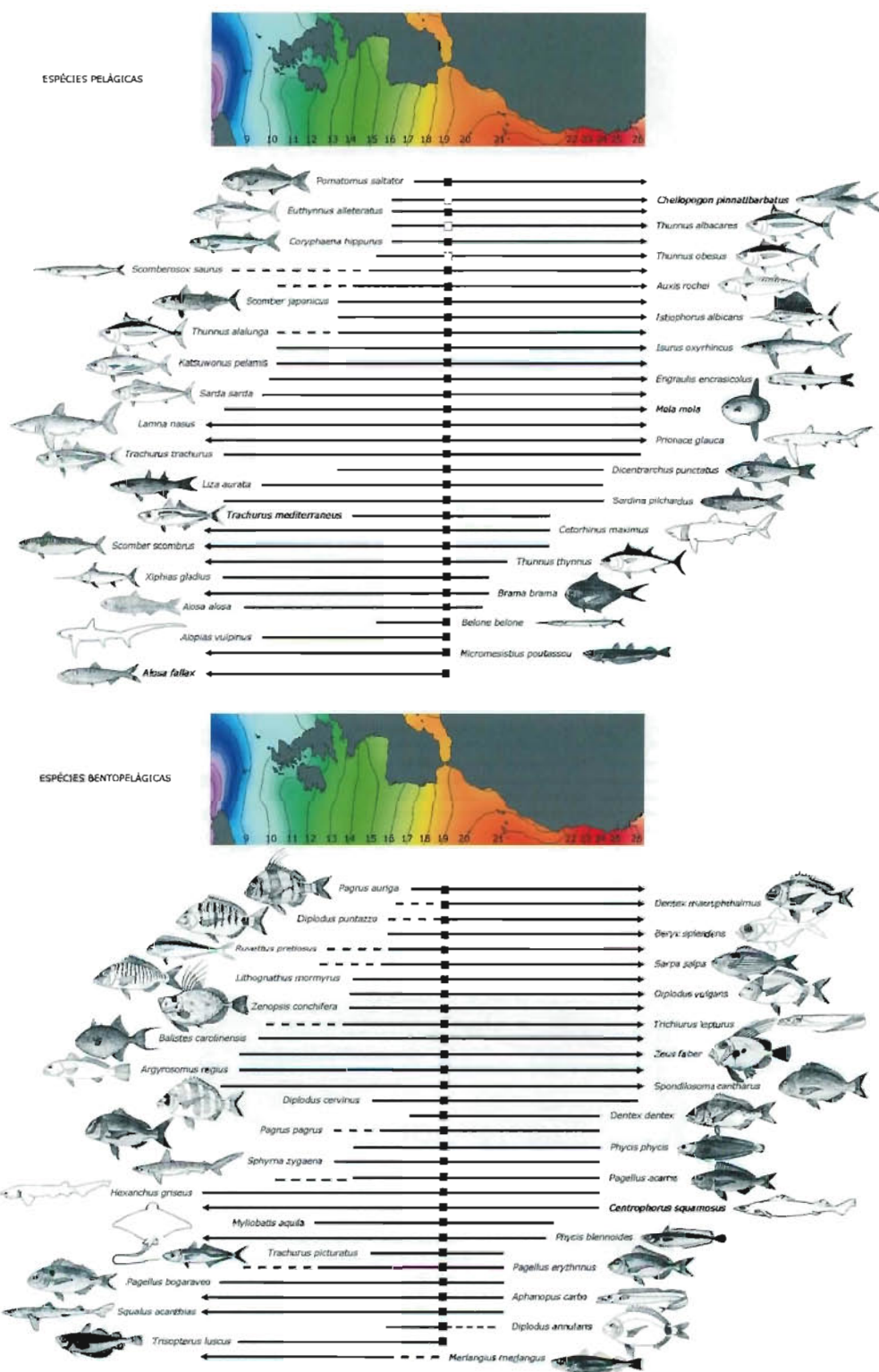


Figura 9.25 – Extensão geográfica (segundo Whitehead *et al.*, 1986) de 127 espécies ícticas com interesse comercial em Portugal. Os quadrados a cheio indicam espécies presentes no Mediterrâneo. As setas indicam distribuições que se estendem para além da região considerada. No mapa encontram-se as isotérmicas (°C) médias anuais à superfície do mar, segundo Levitus e Boyer (1994)

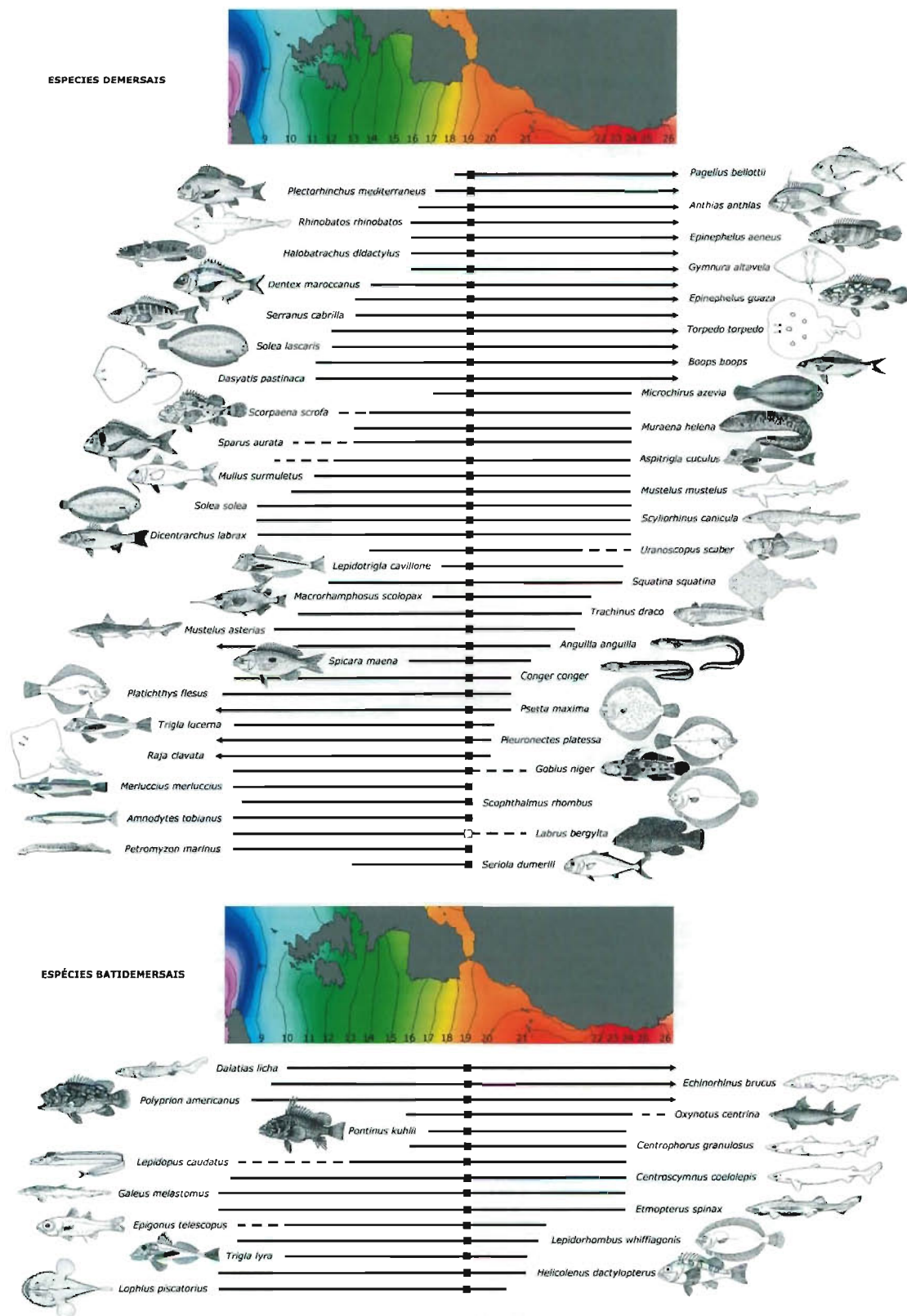


Figura 9.25 (cont.)

salientamos a unha (*Acanthurus monroviae*), o charro-amarelo (*Caranx rhonchus*), a pescada-negra (*Merluccius senegalensis*) e o calafate-fosco (*Umbra rouschus*).

9.4.5.2 Impactos sobre a Pesca de Grandes Pelágicos Migradores

No tocante aos atuns e espécies similares, o aquecimento das camadas superficiais do oceano poderá afectar diversos aspectos das suas migrações, nomeadamente a sua iniciação, a profundidade a que são executadas e os trajectos percorridos. Estes impactos serão mais significativos entre as espécies predominantemente tropicais, uma vez que são mais sensíveis à temperatura (FAO, 2001), e implicarão uma alteração na sua disponibilidade às pescas, em particular nas regiões autónomas dos Açores e da Madeira. Bettencourt (1975) e Fialho (1987), por exemplo, discutiram o impacto da temperatura e da profundidade da termoclina sobre as pescarias insulares de atuns. Em Portugal Continental, o enfraquecimento estival dos ventos favoráveis ao afloramento aproximará as frentes térmicas da costa, com consequente redução do esforço de deslocação exigido à frota palangreira (ver Santos, 1994) e com potencial aumento dos rendimentos das artes fixas costeiras (ver Lemos e Gomes, *in press*).

9.4.6 Impactos sobre as Zonas Costeiras

A subida cada vez mais rápida do nível médio do mar constitui a alteração ambiental costeira mais dramática entre todas as resultantes do aquecimento global. Por um lado, existe a possibilidade da taxa de elevação do nível do mar exceder a capacidade de adaptação dos ecossistemas costeiros (entre os quais os sapais), com inevitável perda parcial ou total de *habitats* vitais para as primeiras fases do ciclo de vida de muitos recursos haliéuticos. Por outro, a intensa ocupação humana das zonas costeiras poderá impedir o recuo para terra destes *habitats*, num fenómeno designado por «compressão costeira» (*coastal squeeze*; Doody, 2001). A este processo acrescerá o efeito detrimental de outras actividades humanas, como a construção de barragens, as dragagens e a extracção de inertes em zonas costeiras, já que todas contribuem para uma menor disponibilidade de sedimentos necessários para minorar os efeitos da subida do mar.

O aumento da temperatura, por sua vez, terá impactos sobre as taxas de crescimento e sobrevivência dos organismos aquáticos, incluindo as algas e plantas de que dependem as comunidades ícticas (Short e Neckles, 1999). Segundo alguns autores (Dale e Nordberg, 1993; Hallegraeff, 1993; Belgrano *et al.*, 1999), existe uma correlação positiva entre a frequência

de explosões populacionais de algas tóxicas e a temperatura, pelo que os riscos de contaminação dos recursos marinhos poderão aumentar no futuro. De forma mais directa, o aquecimento global poderá modificar e/ou deslocar os centros de produção íctica nas zonas costeiras. Numa tentativa de detalhar e avaliar estes e outros impactos sobre as zonas costeiras portuguesas, realizámos um estudo centrado sobre o estuário do Sado, que se encontra no Capítulo 10.

9.4.7 Impactos sobre a Aquacultura

A moluscicultura é uma actividade de grande importância económica e social em Portugal. Por se realizar nas zonas costeiras, poderá sofrer do processo de «compressão costeira» discutida no ponto anterior, assim como dos efeitos nocivos das marés «vermelhas». Adicionalmente, o aumento da temperatura no Verão poderá provocar mortalidades massivas em algumas espécies de bivalves, quer por via directa quer pelo favorecimento de fenómenos de parasitismo, ao passo que nos meses de Inverno a sobrevivência e o crescimento poderão ser beneficiados por temperaturas mais amenas. No Capítulo 10 faz-se uma análise mais pormenorizada sobre os impactos das alterações climáticas sobre a ostricultura no estuário do Sado.

A partir de 1986, com a entrada de Portugal na UE, assistiu-se a um forte incremento na aquacultura nacional. De acordo com dados recolhidos pelo CESE (2000), a piscicultura de água doce tem estabilizado em redor das 2000 toneladas nos últimos anos, ao passo que a piscicultura de peixes marinhos tem aumentado gradualmente. Por ser geralmente realizada em regime extensivo ou semiextensivo, em zonas costeiras, a piscicultura de espécies marinhas é particularmente sensível a factores ambientais e à sua variabilidade, donde se reveste de particular importância a estimação dos impactos das alterações climáticas. Mais uma vez remetemos para o Capítulo 10 a realização deste estudo, em que se deu prioridade ao estudo da produção de dourada (*Sparus aurata*) no estuário do Sado.

9.4.8 Outros Impactos

De acordo com o trabalho desenvolvido pela equipa das Zonas Costeiras (Capítulo 4) sobre o clima de ondas futuro, o modelo HadCM3 (cenário IS92a) aponta para o aumento da ocorrência de tempestades na costa Ocidental, durante os meses de Inverno. A concretizar-se, este aumento terá consequências importantes para a actividade piscatória, para as infra-estruturas costeiras de apoio à pesca e talvez também para algumas comunidades piscatórias situadas em zonas costeiras.

9.4.9 Conclusões

Pelo exposto nesta secção 4, é notória a diversidade de processos através dos quais os recursos haliéuticos portugueses poderão sofrer impactos das alterações climáticas. Em complemento à Figura 9.1, construímos um segundo diagrama que resume os potenciais impactos discutidos (Figura 9.26).

Faça à complexidade da teia trófica e das respostas dos elos que a constituem, a principal conclusão que podemos tirar é que, de uma forma directa ou indirecta, a abundância e distribuição de (quase) todos os recursos tenderão a modificar-se face às modificações projectadas. Por diversas vias, as espécies que actualmente caracterizam o ecossistema costeiro português poderão ser substituídas por outras, com maior resistência à temperatura, maior eficácia de conversão alimentar, maior potencial reprodutor e/ou com melhor rácio entre a abundância de presas e a de predadores. De qualquer forma, atendendo ao que foi exposto nas secções 9.4.2 e 9.4.3.2, cremos que a matéria e energia do ecossistema tenderá a concentrar-se nos níveis tróficos inferiores, com consequente redução da produtividade global dos recursos haliéuticos (Figura 9.27).

Por último, salientamos que existem duas fontes adicionais de impactos sobre os recursos portugueses: a variabilidade climática natural (ver Klyashtorin, 2001) e a acção humana directa, na forma da exploração dos recursos, poluição, destruição de *habitats* e introdução de espécies exóticas. A primeira pode agir aleatoriamente a favor ou contra as alterações climáticas antropogénicas (Kennedy *et al.*, 2002), ao passo que a segunda tende a agravar os seus impactos negativos. Dada a divergência na evolução populacional e socioeconómica prevista sob os dois cenários de emissões, havendo maiores pressões sobre o ambiente e recursos no cenário A2 (Capítulo 10), a acção humana directa poderá aumentar ainda mais os impactos previstos.

9.5 MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

9.5.1 Introdução

Ao contrário dos cenários de emissões do SRES de tipo I (A1 e B1), os cenários estudados não são caracterizados por um crescimento acelerado nas áreas da ciência e tecnologia, essencial para lidar com alterações climáticas que poderão ocorrer em períodos de tempo relativamente curtos. Por esse motivo, as estratégias tomadas no sector das pescas tenderão sempre mais para a mitigação do que para uma adaptação rápida e eficiente. Segundo Healey (1990), a mitigação é actualmente a opção preferida pela indústria das pescas

e pelos organismos responsáveis pelo aconselhamento e implementação de medidas de gestão, já que favorece dois aspectos: a manutenção de uma oferta estável e o reforço da relevância da gestão sobre as pescas. Contudo, o mesmo autor refere que as medidas de mitigação comportam dispendios muito elevados face a alterações ambientais persistentes e de larga escala, pelo que serão ineficazes e inviáveis a longo prazo. Em conclusão, Healey (1990) defende que a estabilidade do sector deve dar lugar à plasticidade quando num ambiente em mudança, e que as medidas de adaptação devem ser enfatizadas relativamente à mitigação. Tendo em conta estas considerações, podemos afirmar que os cenários de tipo 2 serão caracterizados por um menor sucesso global no ajustamento às alterações climáticas, comparativamente aos cenários de tipo 1.

Atendendo às diferenças na magnitude dos impactos e no perfil de evolução socioeconómica sob cada cenário (Capítulo 10), é igualmente dedutível que as estratégias de adaptação propostas para cada um tenderão a divergir. Assim, nesta secção 5, faremos a descrição das medidas propostas para cada cenário em subsecções distintas.

9.5.2 Medidas Propostas sob o Cenário A2

9.5.2.1 Estratégia Geral de Adaptação

Sob este cenário, apontámos diversos impactos que poderão ser significativos para o desempenho do sector das pescas português ao longo do século XXI. Cientes desta probabilidade, os decisores terão de avaliar até que ponto será eficaz uma estratégia de Adaptação que acompanhe as alterações do clima e ecossistemas em tempo real (ou até com relativo atraso) ou se é preferível tentar prevê-las e preparar o sector em antecipação, com auxílio de ferramentas como os modelos de circulação global. Na continuidade do comportamento actual, cada frota pesqueira (cerco, arrasto, artesanal, etc.) tenderá a procurar a melhor solução para os problemas com que se deparar, seguindo um objectivo e calendário próprios. Desta forma, a estratégia de adaptação será globalmente mais flexível mas poderá conduzir a soluções subóptimas, em que o regime de exploração realizado por uma frota impede a sustentabilidade de outra(s).

9.5.2.2 Adaptação aos Impactos sobre a Abundância dos Recursos

Atendendo ao cariz regionalista do cenário A2, antevemos uma fraca probabilidade de sucesso para os acordos internacionais de pesca, significando que a produção local será a única forma a suprir as necessidades de consumo. Contudo,

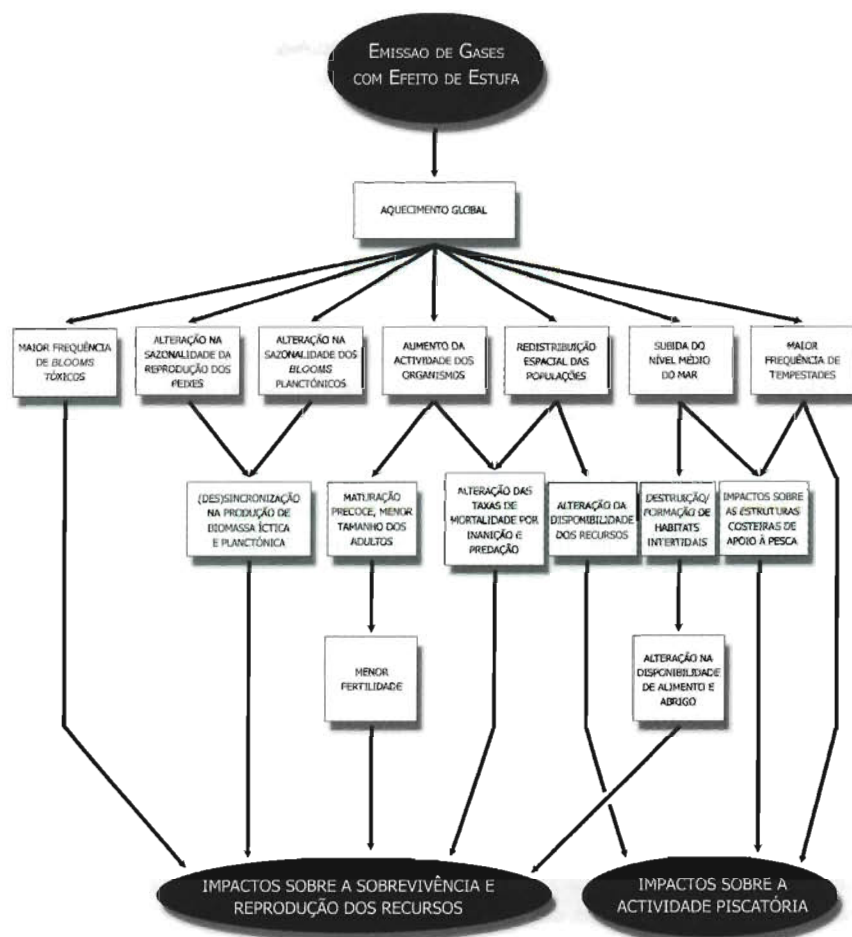


Figura 9.26 Diagrama de impactos das alterações climáticas, complementar à Figura 9.1. Para referências consultar texto

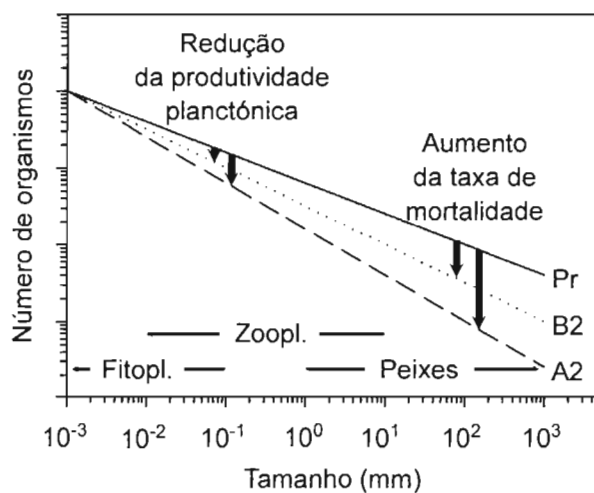


Figura 9.27 Impacto provável das alterações climáticas sobre o espectro de tamanhos do ecossistema continental português. O eixo vertical é arbitrário. Pr - Presente; A2 e B2 - Cenários de emissões do SRES. Sobre espectros de tamanhos ver p. ex. Sheldon e Parsons (1967) e Sheldon *et al.* (1977)

as dificuldades em cumprir as metas propostas serão cada vez maiores, dada a redução da produtividade dos ecossistemas costeiros. Em resposta, as importações de pescado tenderão a aumentar de forma significativa e será forte a pressão sobre alternativas à pesca. Neste contexto, cremos que a piscicultura (semiextensiva, intensiva e em *offshore*) será fortemente promovida, apesar dos eventuais impactos ambientais desta actividade nas zonas costeiras.

Por outro lado, a menor abundância dos recursos haliêuticos tenderá a forçar um regime de exploração mais eficiente, com redução dos desperdícios e concentração sobre as espécies mais produtivas, pelo que as actividades a elas associadas receberão forte investimento a nível da investigação e desenvolvimento (I&D), com o objectivo de obter as melhores soluções de Adaptação. Neste sentido, será dada grande importância ao desenvolvimento de modelos plurianuais e multiespecíficos de elevada fiabilidade, que relacionem a dimensão dos *stocks* com o esforço de pesca exercido por cada frota, factores ambientais e outros parâmetros bióticos, embora os mecanismos que associam as variáveis estudadas possam não ser completamente conhecidos.

Presentemente, os modelos multiespecíficos têm conhecido alguns desenvolvimentos importantes, o que tem reforçado a defesa do seu uso na gestão e avaliação de *stocks* como alternativa à tradicional abordagem monoespecífica (ver p. ex.: Nuengsigkapan e Spence, 2001; Zabel *et al.*, 2003). Porém, como salientam DeAngelis e Cushman (1990), estes modelos poderão não ser capazes de incorporar os efeitos das alterações climáticas antropogénicas a longo prazo, uma vez que não são estritamente direccionados para relações de causa-efeito. Assim, a sua revisão periódica será necessária para manter o regime de exploração dos recursos sempre dentro dos níveis óptimos. A monitorização terá então um papel importante na detecção de mudanças na associação entre variáveis, ao passo que o rápido reajustamento do esforço de pesca – por meio dos totais admissíveis de capturas (TACs), quotas, tamanhos mínimos de captura, dimensão das malhas e defesos espaciotemporais – favorecerá o objectivo colocado. Para satisfazer estes requisitos, terão de ser criados organismos altamente especializados, burocratizados e independentes entre si, o que terá como desvantagem uma menor flexibilidade do sector na ocorrência de alterações ecossistémicas importantes (Healey, 1990).

Dada a elevada pressão do consumo e a estratégia delineada, os riscos de sobreexploração dos recursos manter-se-ão consideráveis. Por outro lado, a focalização dos esforços de I&D e Adaptação sobre as espécies mais valiosas promoverá dois aspectos preocupantes:

- Uma tendência crescente de desenvolvimento de frotas multiespecíficas em contraste com o declínio da pesca

artesanal; esta medida levará à inevitável redução da diversidade do mercado e da equidade entre entidades associadas ao sector do mar.

- Um aumento das tensões internacionais acerca da exploração de *stocks* transfronteiriços (ver p. ex.: Miller *et al.*, 2001; McKelvey *et al.*, 2002).

9.5.2.3 Adaptação aos Impactos sobre a Disponibilidade de Recursos

Para avaliarmos as medidas de adaptação relativas à migração latitudinal de alguns recursos, em resposta ao aquecimento global, temos de conjecturar sobre o futuro da Política Comum de Pescas. Se admitirmos o livre acesso dos mares europeus a todas as frotas dos países integrantes da UE, então a migração dos recursos poderá ser acompanhada de um aumento das deslocações realizadas pela frota portuguesa, o que tornará necessário o gasto de mais combustível e o desenvolvimento de uma frota melhor apetrechada para viagens longas. Caso contrário (ou como alternativa), a diversificação da oferta – nomeadamente pela proposta de recursos que se tornem mais abundantes na costa portuguesa – poderá ter um papel importante na adaptação aos impactos sobre a disponibilidade.

9.5.2.4 Adaptação aos Impactos sobre as Zonas Costeiras

Em consequência da subida do nível do mar e do aumento da frequência de tempestades de Inverno, cremos que será inevitável reforçar a estrutura dos portos, zonas de descarga/desembarque e outras infra-estruturas costeiras associadas às pescas. Como medida adicional, a construção de quebra-mares avançados poderá ser necessária para reduzir o impacto das ondas sobre as estruturas de protecção. Notamos contudo que o elevado custo deste tipo de operações poderá conduzir à centralização da actividade piscatória, com repercussões negativas para os centros de menores dimensões, já que exigirá deslocações mais prolongadas e maior consumo de combustível, tanto em terra como no mar.

Das três propostas feitas por Titus (1998) sobre a política de protecção das zonas intertidais relativamente à subida do nível do mar – evitar desenvolvimento, adiar acção ou defender o Domínio Público Marítimo –, as duas primeiras constituirão as medidas de Adaptação mais prováveis sob o cenário A2. Neste caso, o Estado tenderá a compensar os proprietários de estruturas e terrenos ameaçados pela subida do nível do mar, reduzindo ao mesmo tempo os subsídios a empreendimentos situados na orla costeira. A delimitação de

cotas mínimas para a construção de novas estruturas e o reabastecimento de praias poderão ser outras medidas tomadas, mas a protecção activa dos *habitats* intertidais poderá não constituir uma prioridade. Consequentemente, a migração vertical dos sapais e bancos de macrófitas marinhas será dificultada, podendo ocorrer uma compressão costeira bastante forte nas zonas do país mais densamente povoadas.

9.5.3 Medidas Propostas sob o Cenário B2

9.5.3.1 Estratégia Geral de Adaptação

Atendendo à menor severidade dos impactos previstos sob o cenário B2, o pendor paliativo e incremental característico dos cenários SRES de tipo 2 será neste caso mais pronunciado do que sob o cenário A2. Devido às preocupações ambientais mais fortes, as abordagens precaucionais (FAO, 1995, 2001; UN, 1995) e ecossistémicas (WWF, 2002) conhecerão neste caso um desenvolvimento mais marcado e um enraizamento mais forte nas estratégias de avaliação e gestão de *stocks*. Por exemplo, as medidas tradicionais de avaliação das capturas máximas sustentáveis darão lugar a conceitos novos como as capturas ecologicamente sustentáveis (Zabel *et al.*, 2003), nas quais se promove a estabilidade do meio marinho como um todo.

Contudo, como refere Degnbol (2002), a inclusão de considerações ecossistémicas na gestão das pescas implicará um aumento significativo das incertezas, da diversidade de objectivos e do número de partes intervenientes nos processos de decisão, com repercussões sobre a estrutura dos organismos de avaliação e gestão de *stocks*. Por esse motivo, a legitimidade, a eficácia e a eficiência da política de gestão sofrerão intensas pressões e comportarão custos elevados, em particular num ambiente em mudança. Entre as alternativas estratégicas disponíveis – aumento da capacidade de previsão, desenvolvimento e monitorização de indicadores, e redução do esforço de pesca e/ou criação de reservas marinhas (Degnbol, 2002) –, as duas últimas serão provavelmente enfatizadas sob o cenário B2, havendo assim uma maior capacidade de detectar e mitigar alterações abruptas na composição dos ecossistemas, designadas por *regime shifts* (ver p. ex.: Reid *et al.*, 2001; Hare e Francis, 1994).

9.5.3.2 Adaptação aos Impactos sobre o Ecossistema Marinho

Sob este cenário, haverá maior motivação para uma análise aprofundada da evolução dos ecossistemas aquáticos em resposta às alterações climáticas. Desse modo, a investigação tida como necessária para a adaptação do sector das pescas

centrar-se-á não só nos recursos mais valiosos do ponto de vista económico, mas também sobre os *habitats* e as espécies de que estas dependem. Conscientes do comportamento caótico do ambiente aquático (Wilson *et al.*, 1994), que limita a precisão das estimativas obtidas para um determinado custo, os decisores poderão optar pela monitorização de um conjunto limitado de indicadores relativos ao estado do ecossistema e das pescas a médio prazo (ver p. ex.: Garcia e Staples, 2000; EEA, 2003), subsequentes à definição de Objectivos de Qualidade Ecológica (Anónimo, 1999).

Paralelamente, admitimos que no cenário B2 se promoverão as medidas robustas de protecção dos recursos, como recifes artificiais e reservas marinhas, sendo estas últimas consideradas actualmente como mecanismos vitais para a gestão ecossistémica das pescas (ver revisão por Roberts e Hawkins, 2000). Encontrando-se a actividade piscatória severamente limitada, as reservas marinhas constituirão ainda locais privilegiados para investigar o impacto isolado das alterações climáticas sobre a evolução dos ecossistemas marinhos e, em particular, sobre o sucesso de recrutamento dos *stocks* haliéuticos (Soto, 2002; Hoffman, 2003).

9.5.3.3 Adaptação aos Impactos sobre a Disponibilidade de Recursos

À semelhança do cenário A2, o cenário B2 é também caracterizado pelas assimetrias entre regiões e pelo fraco sucesso da cooperação internacional, que levarão à provável circunscrição das pescas portuguesas à área sob jurisdição nacional. Sob a pressão de reduzir o consumo energético, o financiamento tenderá a promover o redireccionamento das frotas em lugar do apetrechamento das embarcações para uma pesca mais longínqua. Neste caso, cada província costeira do país tenderá a especializar-se na pesca dos recursos localmente mais abundantes e a pesca artesanal ou pequena pesca poderá conhecer um forte crescimento. Sendo evidente que as medidas de gestão convencionais não são aplicáveis à pesca artesanal (Berkes *et al.*, 2001), deverão ser reforçadas (Mahon, em preparação):

- a co-gestão e outras abordagens participativas;
- o aumento da capacidade de participação das associações de pescadores na co-gestão;
- a integração do conhecimento empírico dos pescadores nas medidas de avaliação e gestão;
- os sistemas de controlo baseados em indicadores ecológicos e económicos (Garcia e Staples, 2000).

Se as alterações climáticas não causarem impactos muito deletérios no seu conjunto sobre os ecossistemas costeiros, como se prevê, a diversidade da oferta de produtos da pesca poderá mesmo aumentar.

9.5.3.4 Adaptação aos Impactos sobre a Abundância de Recursos

Em resposta a uma eventual quebra de produtividade do ecossistema costeiro, a produção em aquacultura tornar-se-á a alternativa mais viável sob o cenário B2, no âmbito do esforço de auto-suficiência local que o caracteriza. Apesar do efectivo populacional e da pressão de consumo não crescerem tanto como no cenário A2, os sistemas de aquacultura semiextensiva poderão não suprir as necessidades existentes, além de requererem vastas áreas de zonas costeiras muito valorizadas e contribuirão (em maior ou menor grau) para a poluição e eutrofização dos corpos de água. Como alternativa mais viável, as aquaculturas intensivas auto-suficientes (*i.e.*, capazes de garantir a produção contínua de várias gerações de peixes e do seu alimento, com base em matéria orgânica vegetal) poderão cumprir o objectivo traçado: estando situadas em terra e ligadas a estações de tratamento de águas residuais, serão ao mesmo tempo económicas (em termos de espaço ocupado) e ecológicas (em termos de impactos ambientais). O reforço da I&D neste domínio será por esse motivo importante, uma vez que actualmente a auto-suficiência destes estabelecimentos não foi ainda atingida.

Ao agir em conformidade com as abordagens precaucionais e ecossistémicas, a gestão das pescas poderá deparar-se com algumas dificuldades, entre as quais:

- A impulsão das pescarias a novos recursos ou a explorações populacionais temporárias de recursos já explorados poderá ser retardada pelo princípio da precaução, com consequente perda de lucros consideráveis.
- O esforço de manutenção do *status quo* do ecossistema poderá conduzir a medidas excessivas e ineficazes de protecção de um *stock* e das espécies com ele directamente relacionadas, já que na realidade a redução do seu efectivo é uma consequência inevitável das alterações climáticas.
- Para favorecer a recuperação de *stocks* mais afectados pelas alterações climáticas, poderá ser necessário impor medidas restritivas à exploração de *stocks* menos afectados, o que comportará inevitáveis conflitos de interesses.

9.5.3.5 Adaptação aos Impactos sobre as Zonas Costeiras

Em resposta a uma subida do nível médio do mar mais suave do que sob o cenário A2, a defesa de algumas infra-estruturas costeiras poderá ser acompanhada pela **retirada de outras** para cotas altimétricas mais elevadas, sendo ainda vital que todos os projectos futuros de construção de novas estruturas considerem à partida as previsões de subida do mar.

Segundo Titus (1998), a política designada por *rolling easement* poderá ser bastante eficiente e segura a médio e longo prazo para a protecção das zonas costeiras. Embora permita um nível considerável de desenvolvimento da orla costeira, esta política defende a sobrevivência do Domínio Público Marítimo face à subida do mar pelo recurso a um conjunto de mecanismos institucionais que forcem as actividades humanas (em particular de privados) a dar prioridade à migração da linha de costa. Ao ser proibida a construção de esporões, paredões ou outras estruturas que contribuam para a compressão costeira, será possível a adaptação dos *habitats* subtidais e intertidais, com benefícios expectáveis para o recrutamento de muitos recursos haliêuticos.

9.6 INVESTIGAÇÃO FUTURA

Pela sua natureza, prever as respostas dos organismos marinhos às alterações climáticas constitui um exercício especulativo. Logo à partida, existem incertezas quanto ao sinal e intensidade da resposta física dos sistemas de afloramento costeiros ao aquecimento global, causadas tanto pelas diferentes bases de dados e metodologias empregues como pelas insuficiências actuais dos modelos de circulação global (GCMs) – a título de exemplo, propomos a comparação do trabalho de Bakun (1990) com os de Roemmich e McGowan (1995) e de Lemos e Pires (2004), ou entre os resultados dos modelos HadRM2 (Sousa Reis *et al.*, 2002) e HadRM3 (presente trabalho). Assim, parte da investigação futura terá necessariamente de começar pelo melhoramento dos GCMs, no sentido de conferir maior confiança às estimativas e à análise das tendências passadas e futuras.

Em adição ao problema anterior, devemos admitir que presentemente ignoramos a verdadeira extensão dos efeitos das alterações climáticas sobre os ecossistemas terrestres e aquáticos, em todo o espectro de tamanhos dos organismos. Segundo Cury *et al.*, (2001), ainda poderão ser necessárias algumas décadas para que a comunidade científica consiga refinar conceitos e obter dados que lhe permita fortalecer as teorias sobre o funcionamento dos ecossistemas marinhos. Entretanto, a adaptação da avaliação e gestão de *stocks* terá de continuar a recorrer a modelos que podem não ser extrapoláveis para além das condições originais em que foram formulados (ver p. ex.: Sousa Reis *et al.*, 2002; presente trabalho). A respeito da pesquisa sobre estes assuntos nos próximos anos, DeAngelis e Cushman (1990) propuseram a seguinte estratégia, que nós subscrevemos:

- 1) Identificar, por meio de modelos e outras fontes de informação, as vias de impacto que poderão influenciar de forma mais significativa a evolução de pescarias importantes;
- 2) Focar a atenção no melhoramento da precisão dos modelos que representam estas vias; continuar o refinamento

por corroboração com dados recolhidos anualmente, mas estimar igualmente as incertezas e incorporá-las nos modelos;

- 3) Considerar a modelação como uma forma de gerar gamas de possíveis resultados em vez de previsões bem definidas.

Por último, o estudo dos impactos directos das actividades humanas sobre os ecossistemas marinhos ainda não forneceu informações suficientes para ser satisfatoriamente integrado numa análise conjunta de alterações climáticas, recursos e actividades piscatórias. Contudo, nos últimos anos, o desenvolvimento de modelos computadorizados como o Ecopath/ Ecosym (Pauly *et al.*, 2000) permitiram colmatar um pouco esta falta, pelo que julgamos que num futuro próximo poderá ser proveitoso o uso deste tipo de *software* em conjunto com os resultados dos GCMs.

9.7 CONCLUSÕES

Em nosso entender, a principal conclusão que se pode retirar deste trabalho é que existem diversas indicações que

apontam para respostas dos recursos haliçúticos portugueses a alterações climáticas decorrentes já no século XX, e que nos próximos 100 anos estas poderão tornar-se ainda mais acentuadas, com o agravamento do aquecimento global de origem antropogénica. Face às incertezas existentes, a melhor abordagem que pode ser tomada para a formulação de medidas de adaptação e mitigação consiste em: 1) considerar diferentes cenários igualmente verosímeis sobre a evolução da sociedade e economia mundiais e das emissões dos gases com efeito de estufa; 2) estimar os impactos associados a cada cenário, incluindo a maior quantidade possível de informação sobre as respostas dos ecossistemas marinhos às condições ambientais; 3) promover a discussão com os grupos de interesse do sector das pescas, a fim de procurar as melhores medidas de adaptação consistentes com a evolução provável do sector e definir as necessidades de consumo e da Política Comum das Pescas. Desta forma, será possível concertar de maneira informada e em antecipação as estratégias necessárias para um reajustamento eficaz da gestão das pescas, o que poderá constituir uma via mais viável do que a adaptação *ad hoc*.

9.8 REFERÊNCIAS

- Agnew, D.J., 1989, The distribution and biology of hake *Merluccius merluccius* subject to the Northern Ireland spring fishery, ICES CM: G58, 5 pp.
- Andrade, C., M.C. Freitas., 2002, Coastal Zones, pp. 173-219. In Santos, F.D., K. Forbes, R. Moita, (eds.) Climate change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures. SIAM Project, Gradiva, Lisboa.
- Anónimo, 1985, Mar territorial e ZEE. Estudo dos recursos e da pesca. Contribuição para os trabalhos da Ficha Técnica de Gestão das Pescas, GEPP, Lisboa, 347 pp.
- Anónimo, 1999, Workshop on Ecological Quality Objectives (Eco-QOs) for the North Sea. 1-3 September 1999, Scheveningen, The Netherlands, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, TemaNord 1999: 591, 75 pp.
- Atkinson, D., 1994, Temperature and organism size: a biological law for ectotherms? *Advances in Ecological Research* 25: 1-58.
- Atkinson, D., 1995, Effects of temperature on the size of aquatic ectotherms: exceptions to the general rule, *Journal of Thermal Biology* 20: 61-74.
- Bakun, A., 1990, Global climate change and intensification of coastal upwelling, *Science* 247: 198-201.
- Bañón Díaz, R., J.M. Casas Sánchez, 1997, Primera cita de Caranx crysos (Mitchill, 1815) en aguas de Galicia, Boletín Inst. Esp. Oceanogr. 13 (1-2): 79-81.
- Barange, M., 2002, Influence of climate variability and change on the structure dynamics and exploitation of marine ecosystems. In Hester, R.E., Harrison, R.M. (eds.), *Global environmental change: Royal Society of Chemistry*: 57-82.
- Bartsch, J., 2002, Modelling the temperature mediation of growth in larval fish, *Fish. Oceanogr.* 11: 310-314.
- Batten, S., A.W. Walne, M. Edwards, S.B. Groom, 2003, Phytoplankton biomass from continuous plankton recorder data: an assessment of the phytoplankton colour index, *J. Plankton Res.* 25(7): 697-702.
- Bauchot, M.-L., J.C. Hureau, 1990, Sparidae, pp. 790-812. In Quéro, J.C., Hureau, J.C., Karrer, C., Post, A., Saldanha, L. (eds.) Check-list of the fishes of the eastern tropical Atlantic (CLOFETA), JNICT, Lisboa; SEI, Paris; UNESCO, Paris, Vol. 2.
- Belgrano, A., O. Lindahl, B. Hernroth, 1999, North Atlantic Oscillation primary productivity and toxic phytoplankton in the Gullmar Fjord, Sweden (1985-1996), *Proceedings of the Royal Society of London (B)* 266: 425-430.
- Belvéze, H., K. Erzini, 1984, The influence of hydroclimatic factors on the availability of the sardine (*Sardina pilchardus* Walbaum) in the Moroccan Atlantic fishery, Pp. 285-327. In Sharp, G.D., Csirke, J. (eds.), *Proceedings of the expert consultation to examine the changes in abundance and species composition of neritic fish resources*, San José, Costa Rica, 18-29 April 1983, FAO Fish Rep. Ser. 291.
- Berkes, F., R. Mahon, P. McConney, R. Pollnac, R. Pomeroy, 2001, Managing small-scale fisheries: Alternative directions and methods, *IDRC*, Ottawa, Canada, 309 pp.
- Bettencourt, M.L., 1975, A pesca do atum e alguns aspectos da interacção oceano-atmosfera na região dos Açores, *Serv. Meteor. Nac.*, Mem. 221, RT 1222, 64 pp.
- Bopp, L., P. Monfray, O. Aumont, J.L. Dufresne, H. Le Treut, G. Madec, L. Terray, J.C. Orr, 2001, Potential impact of climate change on marine export production, *Global Biogeochem. Cycles* 15 (1): 81-99.
- Borges, M.F., 1990, Multiplicative catch-at-age analysis of scad *Trachurus trachurus* from western Iberian waters, *Fish. Res.* 9: 333-353.
- Borges, M.F., 1996, The population biology of horse mackerel *Trachurus trachurus* in the Northeast Atlantic. Instituto Nacional de Investigação das Pescas, Tese, 180 pp.
- Borges, M.F., Gordo, L.S., 1991, Spatial distribution by season and some biological parameters of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) in the Portuguese continental waters (division Ixa), ICES CM 1991/H: 54, 8 pp.
- Borges, M.F., A.M.P. Santos, N. Crato, H. Mendes, B. Mota, 2003, Sardine regime shifts off Portugal: a time series of catches and wind conditions, *Scientia Marina* 67(Suppl. 1): 235-244.
- Borges, M.F., A. Silva, P. Abaunza, A. Eltink, P. Lucio, M. Walsh, J.C. Pulard, J. Casey, J. Iversen, D. Skagen, F. Sanchez, 1996, Changes on horse mackerel (*Trachurus trachurus*) catch distribution in the NE Atlantic, ICES CM 1996/S: 26, 8 pp.
- Boisford, L.W., C.A. Lawrence, E.P. Dever, A. Hastings, J. Largier, 2003, Wind strength and biological productivity in upwelling systems: an idealized study, *Fisheries Oceanography* 12 (4-5): 235-259.
- Brodeur, R.D., D.M. Ware, 1992, Long term variability in zooplankton biomass in the subarctic Pacific Ocean, *Fish. Ocean.* 1 (1): 32-38.
- Brodeur, R.D., W.G. Pearcy, 1992, Effects of environmental variability in trophic interactions and food web structure in a pelagic upwelling ecosystem, *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 84: 101-118.
- Cabral, H., 1992, Ecologia alimentar da pescada, *Merluccius merluccius*, e verdelho, *Micromesistius poulassou*, na costa portuguesa. Relatório de Estágio Profissionalizante, Faculdade Ciências Universidade Lisboa, 246 pp.
- Caddy, J.F., J.A. Gulland, 1983, Historical patterns of fish stocks, *Marine Policy* 7(4): 267-278.
- Cárdenas, S., D.A. Berastegui, J.M. Ortiz, 1997, First record of *Fistularia petimba* Lacepède, 1803 (Pisces, Fistulariidae) off the coast of Cadiz (southern Iberian Peninsula), *Boletín Inst. Esp. Oceanogr.* 13 (1-2): 83-86.
- CESE (Conselho para a Cooperação Ensino Superior – Empresa), 2000, Livro verde da cooperação Ensino Superior – Empresa: sector do mar e recursos marinhos, CESE, Lisboa, 219 pp.
- Christy, J.R., R.A. Clarke, G.V. Gruza, J. Jouzel, M.E. Mann, J. Oerlemans, M.J. Salinger, S.-W. Wang, 2001, Observed climate variability and change, pp. 99-181. In Houghton, J.T., et al. (eds.) *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Church, J.A., J.M. Gregory, P. Huybrechts, M. Kuhn, K. Lambeck, M.T. Nuan, D. Qin, P.L. Woodworth, 2001, Changes in sea level, pp. 639-694. In Houghton, J.T., et al. (eds.) *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Corten, A., G. van de Kamp, 1996, Variation in the abundance of southern fish species in the southern North Sea in relation to hydrography and wind, *ICES J. Mar. Sci.* 53: 1113-1119.
- Cox, P.M., R.A. Betts, C.D. Jones, S.A. Spall, I.J. Totterdell, 2000, Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model, *Nature* 408: 184-187.
- Csirke, J., 1995, Fluctuations in abundance of small and mid-sized pelagics, *Scientia Marina* 59(3-4): 481-490.
- Cunha, M.E., 2001, Physical control of biological processes in a coastal upwelling system: comparison of the effects of coastal topography, river run-off and physical oceanography in the northern and southern parts of western portuguese coastal waters, Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 252 pp + App.
- Cury, P., L. Shannon, Y.-J. Shin, 2001, The functioning of marine ecosystems, *Reykjavik Conference on Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem*, Reykjavik, Iceland, 1-4 October 2001.
- Cushing, D.H., 1978, Biological effects of climate change, *Rapp. P-v Réun. Cons. Int. Explor. Mer* 173: 107-116.

- Cushing, D.H., 1990, Plankton production and year class strength in fish populations: an update of the match/mismatch hypothesis, *Adv. Mar. Biol.* 26: 249-293.
- Cushing, D.H., 1995, The long-term relationship between zooplankton and fish, *ICES J. Mar. Sci.* 52: 611-626.
- Cushing, D.H., R.R. Dickson, 1976, The biological response in the sea to climatic changes, *Advances Marine Biology* 14: 1-122.
- Dale, B., K. Nordberg, 1993, Possible environmental factors regulating prehistoric and historic blooms of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* in the Kattegat-Skagerrak region of Scandinavia, pp. 53-57. In Smayda, T.J., Shimizu, Y. (eds.), Toxic phytoplankton blooms in the sea, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- DeAngelis, D.L., R.M. Cushman, 1990, Potential application of models in forecasting the effects of climate change on fisheries, *Trans. Am. Fish. Soc.* 119: 224-239.
- Degnbol, P., 2002, The ecosystem approach and fisheries management institutions: the noble art of addressing complexity and uncertainty with all onboard and on a budget, IIFET 2002 Conference, August 19-22, Wellington, New Zealand, Paper 171, 11 pp.
- Demarcq, H., V. Faure, 2000, Coastal upwelling and associated retention indices derived from satellite SST. Application to *Octopus vulgaris* recruitment, *Oceanol. Acta* 23 (4): 391-408.
- Dias, C.A.; G. Pestana, E. Soares, V. Marques, 1996, Situação actual do recurso sardinha nas divisões VIIIc e IXa do Conselho Internacional para a Exploração do Mar, *Relat. Cient. Téc. Inst. Port. Invest. Marít.*, 25 pp.
- Dias, J., R. Taborda, 1988, Evolução recente do nível médio do mar em Portugal, *Anais do Instituto Hidrográfico* 9: 89-97.
- Dias, J., R. Taborda, 1992, Tidal gauge data in deducing secular trends of relative sea level and crustal movements in Portugal, *Journal of Coastal Research* 8: 655-659.
- Doody, J.P., 2001, Coastal conservation and management: an ecological perspective, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA, 306 pp.
- Dulčić, J., B. Grbec, 2000, Climate change and Adriatic ichthyofauna, *Fish. Oceanogr.* 9(2): 187-191.
- EEA (European Environment Agency), 2003, An indicator-based approach to assessing the environmental performance of European marine fisheries and aquaculture, *Technical Report* 87, 362 pp.
- Eiane, K., D.L. Aksnes, M.D. Ohman, 1998, Advection and zooplankton fitness. *Sarsia* 83(2), 87-93.
- FAO (Food and Agriculture Organisation), 1995, Code of Conduct for Responsible Fisheries, FAO Fisheries Technical Paper 350.
- FAO, 2001, Research Implications of adopting the precautionary approach to management of tuna fisheries, FAO Fisheries Circular 963.
- Fialho, G.L., 1987, Os atuns nas ilhas adjacentes: auxílio na sua captura por métodos de detecção remota, Academia de Marinha, Lisboa, 20 pp.
- Frank, K.T., R.I. Perry, K.F. Drinkwater, 1990, Predicted response of Northwest Atlantic invertebrate and fish stocks to CO₂-induced climate change, *Trans. Am. Fish. Soc.* 119: 353-365.
- Fritzsche, R.A., 1990, Fistulariidae, pp. 654-655. In Quéro, J.C., Hureau, J.C., Karrer, C., Post, A., Saldanha, L. (eds.) Check-list of the fishes of the eastern tropical Atlantic (CLOFETA). JNICT, Lisboa; SEI, Paris; UNESCO, Paris, Vol. 2.
- Fromentin, J.M., B. Planque, 1996, *Calanus* and environment in the eastern North Atlantic. II. Influence of the North Atlantic Oscillation on *C. finmarchicus* and *C. helgolandicus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 134: 111-118.
- Galeote, M.D., Otero, J.G., Arias, A.M., 1996, Primera cita para la Península Ibérica de *Aluterus monocerus* (Linnaeus, 1758) (Pisces, Monacanthidae), *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* 12 (2): 151-153.
- Garcia, S.M., Staples, D.J., 2000, Sustainability reference systems and indicators for responsible marine capture fisheries: a review of concepts and elements for a set of guidelines, *Marine and Freshwater Research* 51: 385-426.
- Glantz, M., 1990, Does history have a future? Forecasting climate change effects on fisheries by analogy, *Fisheries* 15: 39-44.
- Gordon, C., C. Cooper, C.A. Senior, H.T. Banks, J.M. Gregory, T.C. Johns, J.F.B. Mitchell, R.A. Wood, 2000, Simulation of SST, sea ice extents, and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments, *Clim. Dyn.* 16: 147-168.
- Graham, W., J.L. Largier, 1997, Upwelling shadows as nearshore retention sites: the example of Monterey Bay, *Cont. Shelf Res.* 17: 509-532.
- Grant, W.S., R.W. Leslie, 2001, Inter-ocean dispersal is an important mechanism in the zoogeography of hakes (Pisces: *Merluccius* spp.), *Journal of Biogeography* 28: 699-706.
- Hallegraeff, G.M., 1993, A review of harmful algal blooms and their apparent global increase, *Phycologia* 32: 79-99.
- Hare, S. R., R. C. Francis, 1994, Climate change and salmon production in the northeast Pacific Ocean, pp. 357-372. In: Beamish, R. J. (ed.) Climate Change and Northern Fish Populations. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 121.
- Hargrave, B.T., K.F. Harding, T.C. Drinkwater, T.C. Lambert, W.G. Harrison, 1985, Dynamics of the pelagic food web in St. Georges Bay, southern Gulf of St. Lawrence, *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 20: 221-240.
- Harmelin-Vivien, M.L., J.C. Quéro, 1990, Monacanthidae, pp. 1061-1066. In Quéro, J.C., Hureau, J.C., Karrer, C., Post, A., Saldanha, L. (eds.) Check-list of the fishes of the eastern tropical Atlantic (CLOFETA). JNICT, Lisboa; SEI, Paris; UNESCO, Paris, Vol. 2.
- Healey, M.C., 1990, Implications of climate change for fisheries management policy, *Trans. Am. Fish. Soc.* 119: 366-373.
- Hoffman, J., 2003, Designing reserves to sustain temperate marine ecosystems in the face of climate change, pp. 123-155. In Hansen, L.J., Biringer, J.L., Hoffman, J.R. (eds.) Buying time: a user's manual for building resistance to climate change in natural systems. WWF (www.panda.org).
- Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, K. Maskell, (eds.) 1995, Climate Change: The Science of Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 572 pp.
- Hsieh, W.W., G.J. Boer, 1992, Global climate change and ocean upwelling, *Fish. Oceanogr.* 1 (4): 333-338.
- Hurrell, J.W., 1995, Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation, *Science* 269: 676-679.
- Hurrell, J.W., 1996, Influence of variations in extratropical winter-time teleconnections on Northern Hemisphere temperature, *Geophys. Res. Lett.* 23: 665-668.
- ICES (International Council for the Exploration of the Seas), 2002, Report of the Working Group on the Assessment of Mackerel, Horse Mackerel, Sardine and Anchovy. ICES C. M. 2002/ACFM:06.
- ICES, 2003, Report on the assessment of southern shelf hake, monk and megrim, ICES CM 2004/ACFM: 2, 460 pp.
- Ikeda, T., Y. Kanno, K. Ozaki, A. Shinada, 2001, Metabolic rates of epipelagic marine copepods as a function of body mass and temperature, *Mar. Biol.* 139: 587-596.
- Iversen, S.A., M.D. Skogen, E. Svendsen, 2002, Availability of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) in the north-eastern North Sea, predicted by the transport of Atlantic water, *Fish. Oceanogr.* 11: 245-250.
- Jones, P.D., T. Jónsson, D. Wheeler, 1997, Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and south-west Iceland, *Int. J. Climatol.* 17: 1433-1450.

- Kang, Y.S., J.Y. Kim, H.G. Kim, J.H. Park, 2002, Long-term changes in zooplankton and its relationship with squid, *Todarodes pacificus*, catch in Japan/East Sea, *Fisheries Oceanography* 11 (6): 337-346.
- Kasulo, V., C. Perrings, Fishing down the value chain: modelling the impact of biodiversity loss in freshwater fisheries – the case of Malawi (em preparação).
- Kawasaki, T., 1984, Why do some fishes have wide fluctuations in their number? – a biological basis of fluctuation from the viewpoint of evolutionary ecology, pp. 1065-1080, In: Sharp, G.D., Csirke, J. (eds.) *Proceedings of the Expert Consultation to Examine Changes in Abundance and Species Composition of Neritic Fish Resources*, FAO Fish. Rep. 291 (3).
- Kennedy, V.S., 1990, Anticipated effects of climate change on estuarine and coastal fisheries, *Fisheries* 15(6): 16-25.
- Kennedy, V.S., R.R. Twilley, J.A. Kleypas, J.H. Cowan Jr., S.R. Hare, 2002, Coastal and marine ecosystems and global climate change - potential effects on US resources: Pew Centre on Global Climate Change, 64 pp.
- Klyashtorin, L.B., 2001, Climate change and long-term fluctuations of commercial fisheries, FAO Fish. Tech. Pap. 410: 91 pp.
- Kol, H., R. Taborda, S. Guerra, 2002, Sea level data acquisition and validation at the IPCC tide gauges, *Proceedings 3.ª Assembleia Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica*, Valencia, España, 1-2.
- Lemos, R.T., J.F. Gomes, in press, Do local environmental factors induce daily and yearly variability in bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) trap catches? Ecological Modelling.
- Lemos, R.T., H.O. Pires, 2004, The upwelling regime off the west Portuguese coast, 1941-2000, *Int. J. Climatol.* 24(4): 511-524.
- Levitus, S., J.I. Antonov, T.P. Boyer, C. Stephens, 2000, Warming of the world ocean, *Science* 287: 2225-2229.
- Levitus, S., T.P. Boyer, 1994, World Ocean Atlas 1994, Volume 4: Temperature, NOAA Atlas NESDIS 4. U.S. Department of Commerce, Washington D.C., 117 pp.
- Lockwood, S.J., P.O. Johnson, 1977, Horse mackerel. Lab Leaflet MAFF Direct, *Fish. Res.* 38, 18 pp.
- Mahon, R., Adaptation of fisheries and fishing communities to the impacts of climate change in the CARICOM region (em preparação).
- MacKenzie, B.R., T. Kjørboe, 1995, Encounter rates and swimming behaviour of pause-travel and cruise larval fish predators in calm and turbulent laboratory environments, *Limnol. Oceanogr.* 40 (7): 1278-1289.
- MacKenzie, B.R., W.C. Leggett, 1991, Quantifying the contribution of small-scale turbulence to the encounter rates between larval fish and their zooplankton prey: the effects of wind and tide, *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 73: 149-160.
- Marak, R.R., R. Livingston, 1970, Spawning dates of Georges Bank haddock, *International Commission for the Northwest Atlantic Fisheries Research Bulletin* 7:56-58.
- Marshall, J., Y. Kushnir, D. Battisti, P. Chang, A. Czaja, R. Dickson, J. Hurrell, M. McCartney, R. Saravanan, M. Visbeck, 2001, North Atlantic climate variability: phenomena, impacts and mechanisms, *Int. J. Climatol.* 21: 1863-1898.
- Marteinsdottir, G., G.A. Begg, 2002, Essential relationships incorporating the influence of age, size and condition on variables required for estimation of reproductive potential in Atlantic cod *Gadus morhua*, *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 235: 235-256.
- Massapina, M.C.V., 1990, Estrutura e dinâmica das comunidades zooplanctónicas na costa ocidental de Portugal (Porto-Figueira da Foz), Instituto Nacional de Investigação das Pescas, Lisboa, 147 pp.
- McAvaney, B.J., C. Covey, S. Joussaume, V. Kattsov, A. Kitoh, W. Ogana, A.J. Pitman, A.J. Weaver, R.A. Wood, Z.-C. Zhao, 2001, Model evaluation, pp. 471-524, In: Houghton, J.T., et al. (eds.) *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- McKelvey, R.W., L.K. Sandal, S.I. Steinshamn, 2002, Fish wars on the high seas: a straddling stock competition model, *International Game Theory Review* 4(1): 53-69.
- Miller, K.A., G. Munro, R. McKelvey, P. Tyedmyers, 2001, Climate, uncertainty and the Pacific Salmon Treaty: insights on the harvest management game, pp. 1-14, In: Johnston, R.S., Shriver, A.L. (eds.) *Microbehaviour and macroresults, Proceedings of the tenth biennial conference of the International Institute of Fisheries Economics and Trade (IIFET)*, 10-15 July, Corvallis, OR.
- Monteiro, J.H., J.A. Dias, L.C. Gaspar, A.M. Possolo, 1982, Recent marine sediments of the portuguese continental shelf. In *Seminar on Actual Problems of Oceanography in Portugal*, JNIC'T / Nato, Marine Sciences Panel, Lisboa, 89-96.
- Moser, H.G., N.C.H. Lo, P.F. Smith, 1997, Vertical distribution of Pacific hake eggs in relation to stage of development and temperature, *CalCOFI Rep.* 38: 120-126.
- Moser, H.G., T. Pommeranz, 1999, Vertical distribution of eggs and larvae of northern anchovy, *Engraulis mordax*, and of the larvae of associated fishes at two sites in the Southern California Bight, *Fish Bull* 97: 920-943.
- Mote, P.C., N.J. Mantua, 2002, Coastal upwelling in a warmer future, *Geophys. Res. Lett.* 29(23): 2138.
- Mountain, D.G., 2002, Potential Consequences of Climate Change for the Fish Resources in the Mid-Atlantic Region, *Am. Fish. Soc. Symp.* 32: 185-194.
- Mountain, D.G., S.A. Murawski, 1992, Variation in the distributions of fish stocks on the northeast continental shelf in relation to their environment, *ICES Marine Science Symposia* 195: 424-432.
- Murawski, S.A., 1993, Climate change and marine fish distributions: forecasting from historical analogy, *Transactions of the American Fisheries Society* 122: 647-658.
- Murta, A.G., M.F. Borges and H. Cabral, 1993, Analysis of stomach contents of horse mackerel and mackerel in the Portuguese waters (Division IXa) 1990-1992, *ICES C.M.* 1993/H:39.
- Musick, J.A., 1999, Criteria to define extinction risk in marine fishes, *Fisheries* 24(12): 6-14.
- Neill, W.H., J.M. Miller, H.M. Van Der Veer, K.O. Winemiller, 1994, Ecophysiology of marine fish recruitment: a conceptual framework for understanding interannual variability, *Netherlands J. Sea Res.* 32(2): 135-152.
- Nuengsigkapien, P., C. Spence, 2001, Summary of the Reykjavik Conference on Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem, 1-4 October 2001, *Sustainable Development* 61 (1): 1-11.
- Otero, J.D., M.D. Galeote, A.M. Árias, 1998, First record for the European ichthyofauna of *Dentex (Cheimereus) canariensis* Steindachner, 1881, *Journal of Fish Biology* 52 (6): 1305-1308.
- Owen, R.W., 1989, Microscale and finescale variations of small plankton in coastal and pelagic environments, *J. Mar. Res.* 47: 197-240.
- Palomares, M.L.D., D. Pauly, 1998, Predicting food consumption of fish populations as functions of mortality, food type, morphometrics, temperature and salinity, *Mar. Freshwater Res.* 49: 447-453.
- Parrish, R., D. Mallicoate, 1995, Variation in the condition factors of California pelagic fishes and associated environment factors, *Fish. Oceanogr.* 4(2): 171-190.
- Pauly, D., 1980, On the interrelationship between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks, *J. Cons. int. Explor. Mer* 39 (2): 175-192.
- Pauly, D., R.S.V. Pullin, 1988, Hatching time in sperical, pelagic marine fish eggs in response to temperature and egg size, *Environ. Biol. Fishes* 22(4): 261-271.
- Pauly, D., V. Christensen, J. Dalsgaard, R. Froese, F. Torres Jr., 1998, Fishing down food webs, *Science* 279: 860-863.
- Pauly, D., V. Christensen, C. Walters, 2000, Ecopath, Ecosym and Ecospace as tools for evaluating ecosystem impact of fisheries, *ICES J. Mar. Sci.* 57: 697-706.

- Pereiro, F.J., A. Fernandez, S. Iglesias, 1980, Relationships between depth and age, and recruitment indexes of hake, *Merluccius merluccius* on Galicia and Portugal shelf, ICES CM 1980/G: 32, 7 pp.
- Pérez, N., F.J. Pereiro, 1985, Aspectos de la reproducción de la merluza *Merluccius merluccius* de la plataforma galega y cantábrica, *Bol. Inst. Esp. Ocean.* 2(3): 39-47.
- Pershing, A.J., 2001, Response of large marine ecosystems to climate variability: patterns, processes and methods, PhD Thesis, Univ. Cornell, 133 pp.
- Petersen, G.H., M.A. Curtis, 1980, Differences in energy flow through major components of subarctic, temperate and tropical marine shelf systems, *Dana* 1: 53-64.
- Pörtner, H.O., 2001, Climate change and temperature-based biogeography: oxygen limitation of thermal tolerance in animals, *Naturwissenschaften* 88: 137-146.
- Pörtner, H.O., 2002, Climate change and the physiological basis of temperature dependent biogeography: systematic to molecular hierarchy of thermal tolerance in animals, *Comparative Biochemistry and Physiology (A)*, 132 (4): 739-761.
- Pörtner, H.O., B. Berdal, R. Blust, O. Brix, A. Colosino, B. De Watcher, A. Giuliani, T. Johansen, T. Fischer, R. Knust, G. Lannig, G. Naevdal, A. Nedenes, G. Nyhammer, F.J. Sartoris, I. Serendero, P. Sirabella, S. Thorkildsen, M. Zakhartsev, 2001, Climate induced temperature effects on growth performance, fecundity and recruitment in marine fish: developing a hypothesis for cause and effect relationships in Atlantic cod (*Gadus morhua*) and common eelpout (*Zoarces viviparus*), *Continental Shelf Research* 21: 1975-1997.
- Reid, P.C., H.G. Hunt, et al., 1982, An exceptionally large and early phytoplankton bloom of diatoms in the Southern Bight of the North Sea, January to April 1977, *British Phycological Journal* 17 (2): 238.
- Reid, P.C., M.F. Borges, E. Svendsen, 2001, A regime shift in the North Sea circa 1988 linked to changes in the North Sea horse mackerel fishery, *Fish. Res.* 5(5): 163-171.
- Roberts, C.M., J.P. Hawkins, 2000, Fully-protected marine reserves: a guide, WWF Endangered Seas Campaign, 1250 24th Street, NW, Washington, DC 20037, USA and Environment Department, University of York, York, YO10 5DD, UK.
- Roemmich, D., J. McGowan, 1995, Climate warming and the decline of zooplankton in the California Current, *Science* 267: 1324-1326.
- Ryther, J.H., 1969, Photosynthesis and fish production in the sea, *Science* 166: 72-76.
- Santos, A.M.P., 1994, Satellite oceanography applications to the swordfish fishery off Portugal's continental west coast, PhD Thesis, Univ. Lisboa, Portugal, 200 pp.
- Sameoto, D., 2001, Decadal changes in phytoplankton color index and selected calanoid copepods in continuous plankton recorder data from the Scotian Shelf, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58:749-761.
- Schwartzlose, R.A., J. Alheit, A. Bakun, T.R. Baumgartner, R. Cloete, R.J.M. Crawford, W.J. Fletcher, Y. Green-Ruiz, E. Hagen, T. Kawasaki, D. Lluch-Belda, S.E. Lluch-Cota, A.D. MacCall, Y. Matsuura, M.O. Nevarez-Martínez, R.H. Parrish, C. Roy, R. Serra, K.V. Shust, M.N. Ward, J.Z. Zuzunaga, 1999, World-wide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations, *S. Afr. J. Mar. Sci.* 21: 289-347.
- Serrão, E., 1989, Comunidades exploradas por arrasto demersal na plataforma continental portuguesa. Relatório de estágio profissionalizante, Faculdade Ciências Universidade Lisboa, 180 pp.
- Sharp, G.D., 1998, The case for dome-shaped response curves by fish populations, pp. 503-524. In: Durand, M.H., Cury, P., Mendelsshon, R., Roy, C., Bakun, A., Pauly, D. (eds.) *Global versus Local Changes in Upwelling Systems* (Report from CEOS Workshop, Monterey, California, Sep. 1994, ORSTOM Editions, Paris.
- Sheldon, R.W., T.R. Parsons, 1967, A continuous size spectrum for particulate matter in the sea, *J. Fish. Res. Bd. Canada* 24: 909-915.
- Sheldon, R.W., W.H. Sutcliffe Jr., M.A. Paranjape, 1977, The structure of the pelagic food chain and the relationship between plankton and fish production, *J. Fish. Res. Bd. Canada* 34: 2344-2353.
- Short, F.T., H.A. Neckles, 1999, The effects of global climate change on seagrasses, *Aquatic Botany* 63: 169-196.
- Sierra, A., M. Portilla, 1993, Notas sobre la primera cita de *Lithognathus mormyrus* L., 1758 (Sparidae) en las rías baixas gallegas, *MOL - Bol. Soc. Ciencias Galicia* 1: 9-11.
- Smith, P.E., 1978, Biological effects of ocean variability: time and space scales for biological response, *Rapports des Réunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 173: 117-127.
- Smith-Vaniz, W.F., J.C. Quéro, M. Desoutter, 1990, Carangidae, pp. 729-755. In Quéro, J.C., Hureau, J.C., Karrer, C., Post, A., Saldanha, L. (eds.) *Check-list of the fishes of the eastern tropical Atlantic (CLOFETA)*, JNICT, Lisboa; SEI, Paris; UNESCO, Paris, Vol. 2.
- Solow, A.R., 2002, Fisheries recruitment and the North Atlantic Oscillation, *Fish. Res.* 5(4): 295-297.
- Sousa Reis, C.A., M. Dornelas, R. Lemos, R. Santos, 2002, Fisheries, pp. 415-452. In F.D. Santos, K. Forbes, R. Moita, (eds.), *Climate change in Portugal: scenarios, impacts and adaptation measures*, Gradiva, Lisboa.
- Soto, C.G., 2002, The potential impacts of global climate change on marine protected areas, *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 11 (3): 181-195.
- Sparre, P., S.C. Venema, 1998, Introduction to Tropical Fish Stock Assessment - Part 1 Manual. FAO Fisheries Technical Paper 306/1, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 396 pp.
- Stergiou, K.I., E.D. Christou, G.D. Petrakis, 1997, Modelling and forecasting monthly fisheries catches: comparison of regression, univariate and multivariate time series methods, *Fish. Res.* 29: 55-95.
- Taborda, R., J. Dias, 1989, Recent sea level rise in Portugal (based on tide-gauge data), *Gaia* 1: 11-12.
- Tanasichuk, R.W., 1999, Interannual variation in the availability of euphausiids as prey for Pacific hake (*Merluccius productus*) along the southwest coast of Vancouver Island, *Fish. Oceanogr.* 8: 150-156.
- Titus, J.C., 1998, Rising seas, coastal erosion, and the takings clause: how to save wetlands and beaches without hurting property owners, *Maryland Law Review* 57(4): 1279-1399.
- Trigo, R., T.J. Osborn, J.M. Corte-Real, 2002, The North Atlantic Oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms, *Climate Research* 20: 9-17.
- Turpin, D.H., P.J. Harrison, 1979, Limiting nutrient patchiness and its role in phytoplankton ecology, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 39: 151-166.
- UN (United Nations), 1995, United Nations Conference on Straddling Fish Stocks and Highly Migratory Fish Stocks (vários documentos acessíveis em http://www.un.org/Depts/los/fish_stocks_conference/fish_stocks_conference.htm)
- Ursin, E., 1984, The tropical, the temperate and the arctic seas as media for fish production, *Dana* 3: 43-60.
- Warner, A.J., G.C. Hays, 1994, Sampling by the continuous plankton recorder survey, *Prog. Oceanogr.* 34: 237-256.
- Watling, L., E.A. Norse, 1993, Disturbance of the seabed by mobile fishing gear: a comparison to clearcutting, *Conservation Biology* 12 (6): 1180-1197.
- Werner, F.E., R.I. Perry, R.G. Lough, C.E. Naimie, 1996, Trophodynamic and advective influences on George Bank larval cod and haddock, *Deep-Sea Res.* 43: 1793-1822.

- Whitehead, P.J.P., M.L., Bauchot, C., Hureau, J., Nielsen, E., Tortonese, (eds.) 1986, Fishes of the North Eastern Atlantic and the Mediterranean (F.NAM), UNESCO, Paris.
- Wilson, J.A., J.M. Acheson, M. Metcalfe, P. Kleban, 1994, Chaos, complexity and community management of fisheries, *Marine Policy* 18; 291-305.
- WWF (World Wide Fund for Nature), 2002, Policy proposals and operational guidance for ecosystem-based management of marine capture fisheries, WWF Australia, 63 pp.
- Zabel, R.W., C.J. Harvey, S.L. Katz, T.P. Good, P.S. Levin, 2003, Ecologically sustainable yield, *American Scientist* 91: 151-157.

10

Estudo de Caso da Região do Sado

Coordenação: Pedro M.A. Miranda⁽¹⁾⁽²⁾, Ricardo Moita⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾

Clima: Maria Antónia Valente⁽¹⁾

Recursos Hídricos: Luís Veiga da Cunha⁽³⁾, Luís Ribeiro⁽⁴⁾, Rodrigo Proença de Oliveira⁽⁵⁾, João Nascimento⁽⁴⁾⁽¹⁸⁾, Luís Nunes⁽⁶⁾, Amélia Carvalho Dill⁽⁶⁾

Agricultura: Ana Paiva Brandão⁽⁷⁾, Pedro Aguiar Pinto⁽⁷⁾, Ricardo Braga⁽⁸⁾⁽¹⁸⁾

Florestas e Biodiversidade: João Santos Pereira⁽⁷⁾, Alexandre Vaz Correia⁽⁷⁾, Alexandra Cristina Correia⁽⁷⁾⁽¹⁸⁾, Nuno Onofre⁽⁹⁾, Helena Freitas⁽¹⁰⁾

Zonas Costeiras: César Andrade⁽²⁾⁽¹¹⁾, Maria Conceição Freitas⁽²⁾⁽¹¹⁾, Pedro Brito⁽¹²⁾, Alexandra Amorim⁽¹⁸⁾, Andreia Barata⁽¹³⁾, Geadas Cabaço⁽¹³⁾

Pescas: Carlos Sousa Reis⁽²⁾, Ricardo Lemos⁽¹⁸⁾, Diogo Alagador⁽¹⁸⁾

Saúde Humana: Elsa Casimiro⁽¹⁸⁾, José M. Calheiros⁽¹⁴⁾, Carla Sousa⁽¹⁵⁾, Carlos Alves-Pires⁽¹⁵⁾, Margarida Collares Pereira⁽¹⁵⁾, Margarida Cardoso⁽¹⁴⁾, Odete Afonso⁽¹⁵⁾, Paulo de Almeida⁽¹⁵⁾, Paulo Nogueira⁽¹⁶⁾, Rita Sousa⁽¹⁶⁾

Energia e Cenários Socioeconómicos: Ricardo Aguiar⁽¹⁷⁾, Marta Oliveira⁽¹⁷⁾, Helder Gonçalves⁽¹⁷⁾

(1) Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa

(2) Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

(3) Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

(4) CVRM – Centro de Geossistemas do Instituto Superior Técnico

(5) Chiron, Sistemas de Informação, S.A.

(6) CVRM – Centro de Geossistemas da Universidade do Algarve

(7) Instituto Superior de Agronomia

(8) Escola Superior Agrária de Elvas

(9) Estação Florestal Nacional

(10) Universidade de Coimbra

(11) Centro de Geologia da Universidade de Lisboa

(12) INETI, Departamento de Geologia Marinha

(13) HIDROPROJECTO, S.A.

(14) Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar, Porto

(15) Instituto de Higiene e Medicina Tropical, Lisboa

(16) Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge

(17) INETI, Departamento de Energias Renováveis

(18) SIAM

(19) ECOPROGRESSO

SUMÁRIO

SUMÁRIO EXECUTIVO	387
EXECUTIVE SUMMARY	388
10. ESTUDO DE CASO DA REGIÃO DO SADO	389
10.1 INTRODUÇÃO	389
10.2 A BACIA HIDROGRÁFICA E O ESTUÁRIO DO RIO SADO	389
10.2.1 Reserva Natural do Estuário do Sado	391
10.2.2 População	393
10.3 CENÁRIOS DE ALTERAÇÃO CLIMÁTICA NA REGIÃO DO SADO	393
10.3.1 Temperatura e Precipitação Observadas no Vale do Sado	393
10.3.2 Cenários de Alteração Climática na Região do Sado	394
10.4 CENÁRIOS SOCIOECONÓMICOS PARA A REGIÃO DE SETÚBAL	394
10.5 RECURSOS HÍDRICOS	396
10.5.1 Escoamento Superficial	396
10.5.2 Recursos Hídricos Subterrâneos na Bacia do Sado	396
10.5.3 Utilização da água	397
10.5.3.1 Agricultura	398
10.5.3.2 Produção de Energia	398
10.5.3.3 Abastecimento Público	399
10.5.3.4 Turismo	399
10.5.4 Impactos das Alterações Climáticas nos Recursos Hídricos	399
10.5.4.1 Disponibilidade de Água	399
10.6 AGRICULTURA	402
10.6.1 Agricultura no Vale do Sado	402
10.6.2 Impactos das Alterações Climáticas na Agricultura	402
10.6.2.1 Trigo	403
10.6.2.2 Milho	406
10.6.2.3 Arroz	408
10.6.2.4 Pastagens	410
10.6.3 Rega	411
10.6.3.1 Milho	411
10.6.3.2 Arroz	413
10.6.4 Medidas de Adaptação	413
10.6.4.1 Trigo	416
10.6.4.2 Milho	417
10.6.4.3 Pastagens	418
10.6.5 Conclusões	418
10.7 FLORESTAS	419
10.7.1 Floresta no Vale do Sado	419
10.7.2 Metodologia	420
10.7.2.1 Eucalipto	421
10.7.2.2 Pinheiro-Bravo	421
10.7.2.3 Sobreiro	421
10.7.3 Resultados	421
10.7.3.1 Resultados Obtidos com Dados Climáticos do Modelo HadRM2 – Produtividade Actual (Cenário de Controlo HadRM2)	421
10.7.3.2 Produtividade Futura (Cenário Futuro HadRM2)	421
10.7.4 Conclusões	423
10.8 ZONAS COSTEIRAS	423
10.8.1 Hidrodinâmica do Rio Sado	423
10.8.2 Metodologia	424
10.8.3 Cenários	424
10.8.3.1 Contexto Geomorfológico	425
10.8.3.2 O Modelo Matemático de Propagação de Maré no Estuário do Sado	426
10.8.4 Resultados	426
10.8.4.1 Conteúdos Morfo-sedimentares	426
10.8.4.2 Evolução Morfológica do Estuário do Sado (1968-2002)	428
10.8.4.3 Variação da Descarga Sólida Associada à Bacia Hidrográfica do Estuário do Sado	430
10.8.4.4 Variação do Prisma de Maré do Estuário do Sado (1968-2002)	430
10.8.4.5 Modelação Numérica	431
10.8.5 Conclusões	436
10.9 PESCAS	438
10.9.1 Recursos Haliéuticos do Estuário do Sado	438
10.9.1.1 Pesca	441
10.9.1.2 Moluscicultura e Apanha de Poliquetas	441
10.9.1.3 Piscicultura	441
10.9.2 Impactos sobre os Recursos Haliéuticos e Medidas de Adaptação	443
10.9.2.1 Impacto do Aumento da Temperatura sobre o Metabolismo	444
10.9.2.2 Impacto do Aumento da Temperatura sobre o Processo de Maturação Sexual	444
10.9.2.3 Alteração na Localização e Dimensão dos Nichos Térmicos Óptimos (NTOs)	445
10.9.2.4 Impacto do Aumento da Influência Oceânica	445
10.9.2.5 Alteração na Distribuição dos <i>Habitats</i> Intertidais e Subtidais	445
10.9.2.6 Discussão	445
10.9.2.7 Medidas de Adaptação	448
10.9.3 Impactos sobre a Piscicultura e Medidas de Adaptação	448
10.9.3.1 Modificações Estruturais Devidas ao Aumento do Nível do Mar	448
10.9.3.2 Modificações na Produção Piscícola	448
10.9.3.3 Aumento dos Riscos de Anóxia Noturna	450
10.9.3.4 Riscos de Doenças	451
10.9.3.5 Orçamentação e Conclusões	451
10.10 SAÚDE HUMANA	451
10.10.1 Saúde Humana do Distrito de Setúbal	451
10.10.2 Impactos Potenciais das Alterações Climáticas na Saúde Humana	452
10.10.2.1 Mortalidade Associada ao Calor	453
10.10.2.2 Agentes de Doença Transmítidos por Vectores	454
10.10.2.3 Agentes de Doença Transmítidos por Mosquitos	454
10.10.2.4 Agentes de Doença Transmítidos por Flebótomos	456
10.10.2.5 Agentes de Doença Transmítidos por Carraças	458
10.10.3 Medidas de Adaptação	460
10.10.4 Conclusões	461
10.11 ENERGIA	462
10.11.1 Sector Energético na Bacia do Sado	462
10.11.2 Dados Climáticos	462
10.11.3 Oferta de Energia	462
10.11.3.1 Centrais Térmicas	462
10.11.3.2 Outros Sistemas	464
10.11.4 Procura de Energia	465
10.11.4.1 Residências	465
10.11.4.2 Serviços: Escritórios	466
10.11.4.3 Hotéis	466
10.11.4.4 Serviços: Piscinas	467
10.11.4.5 Transportes: Ar Condicionado	467
10.12 BIODIVERSIDADE	469
10.12.1 Metodologia	469
10.12.1.1 Construção das Bases de Dados	470
10.12.2 Resultados	471
10.12.3 Discussão	472
10.13 NOTAS FINAIS	472
10.14 REFERÊNCIAS	474

SUMÁRIO EXECUTIVO

O rio Sado é o centro de uma importante sub-região portuguesa. No clima actual, o rio é caracterizado por grande variabilidade interanual do escoamento, devida à variabilidade da precipitação na bacia, totalmente localizada no Sul de Portugal. O estuário do Sado é uma das regiões húmidas mais relevantes da Europa, sede de muitas espécies de vida selvagem e alvo de protecção legal com o estatuto de área protegida. A Reserva Natural é, no entanto, obrigada a coexistir com diversas actividades humanas, incluindo os sectores tradicionais de agricultura, floresta e pesca, importantes indústrias e um sector turístico em rápido desenvolvimento. A interacção entre estes diferentes interesses, em conjunto com existência de vulnerabilidades próprias associadas à variabilidade climática, tornam esta região um bom caso de estudo para a avaliação dos impactos da mudança climática.

A avaliação de impactos na região do Sado baseia-se em dois pressupostos fundamentais: em primeiro lugar, a temperatura média subirá significativamente no próximo século, em segundo lugar esperamos uma redução da duração da estação de chuva com perda de uma fracção importante da precipitação total anual. A primeira hipótese é fortemente apoiada pelos resultados de todos os modelos climáticos, apesar de existir alguma incerteza acerca da sua amplitude. A segunda hipótese é também apoiada pela maioria dos modelos, mas está associada a uma muito maior incerteza. A alteração conjugada da temperatura e precipitação vai perturbar o equilíbrio dos ecossistemas naturais e da sociedade humana na região.

Esperam-se mudanças muito importantes, afectando todos os sectores da região do Sado. Menos precipitação, mais concentrada no Inverno e com grande variabilidade interanual, vai desequilibrar os reservatórios subterrâneos de água e ameaçar espécies selvagens do estuário e na região circundante. As actuais espécies florestais perderão produtividade até um nível economicamente insustentável. As culturas agrícolas serão seriamente afectadas, requerendo novas selecções de espécies e alterações de prática agrícola, com maior dependência da rega. As pescas terão de adaptar-se à substituição de espécies por espécies exóticas. As actividades humanas necessitarão de um nível de consumo de energia mais elevado, para fazer face à alteração climática. Finalmente, espera-se um aumento da frequência de doenças relacionadas com temperaturas elevadas e do risco de ocorrência de doenças transmitidas por vectores.

EXECUTIVE SUMMARY

The Sado river is at the heart of a vulnerable subregion of Portugal. In the present climate, it is characterized by significant interannual variability of its flow, driven by corresponding variability of precipitation in the basin, completely located in southern Portugal. The Sado estuary is part of one of the most relevant wet areas in Europe, home of many different species of wild animals, and is protected by environmental law. Within the river basin many human activities, including the traditional sectors of agriculture, forestry and fisheries, important industries and, increasingly, tourist infrastructures. The coexistence of these different interest in the Sado area, together with intrinsic climate related vulnerabilities already present in the region, make it a good case study for climate change impact assessment.

The analysis of climate impacts in the Sado region is based on two main assumptions: first, mean temperature will increase significantly in the XXI century, second, the annual cycle of precipitation will change, with a shorter wet season and a significant loss of annual precipitation. The first assumption is strongly supported by all climate models, although with different intensities of warming. The second assumption is also supported by most models but it comes with a larger implied uncertainty. Both changes contribute to make life difficult for ecosystems and people in the region.

Large changes affecting most sectors are expected in the Sado region. Less rain, more concentrated in winter and highly variable from year to year, will put stress on the important natural underground water reservoirs, and will threaten wild species both near the estuary and elsewhere. Current forest species will lose productivity below the level of economic sustainability. The lifecycles of the main crops will be severely affected, requiring changes in crop selection and a different management of agriculture, probably much more dependent on artificial water supply. Fisheries will have to adapt to exotic species. A reduced river outflow accompanied by a global sea rise will affect the estuary dynamics. Human activities will require a higher energy consumption to maintain an acceptable level of comfort. Finally, the frequency of heat stress related illnesses is expected to rise, as well as the risk of propagation of vector borne diseases.

10. Estudo de Caso da Região do Sado

Coordenação: Pedro M.A. Miranda, Ricardo Moita.

Clima: Maria Antónia Valente. *Recursos Hídricos:* Luís Veiga da Cunha, Luís Ribeiro, Rodrigo Proença de Oliveira,

João Nascimento, Luís Nunes, Amélia Carvalho Dill. *Agricultura:* Ana Paiva Brandão, Pedro Aguiar Pinto, Ricardo Braga.

Florestas e Biodiversidade: João Santos Pereira, Alexandre Vaz Correia, Alexandra Cristina Correia, Nuno Onofre.

Helena Freitas. *Zonas Costeiras:* César Andrade, Maria Conceição Freitas, Pedro Brito, Alexandra Amorim, Andreia Barata.

Geadas Cabaço. *Pescas:* Carlos Sousa Reis, Ricardo Lemos, Diogo Alagador. *Saúde Humana:* Elsa Casimiro, José M. Calheiros,

Carla Sousa, Carlos Alves-Pires, Margarida Collares Pereira, Margarida Cardoso, Odete Afonso, Paulo de Almeida,

Paulo Nogueira, Rita Sousa. *Energia e Cenários Socioeconómicos:* Ricardo Aguiar, Marta Oliveira, Hélder Gonçalves.

10.1 INTRODUÇÃO

Enquanto que os cenários de mudança climática são, por natureza, de carácter global, o seu impacto sobre os diferentes sistemas ocorre em todas as escalas espaciais, sendo os impactos sectoriais à escala local, em muitos aspectos, os mais relevantes. O seu cálculo envolve, no entanto, diversos desafios, que vão desde a obtenção de cenários climáticos aplicáveis a essa escala, até ao cálculo do seu impacto nos diferentes sectores e à análise de efeitos indirectos, por meio da interacção entre os diferentes sistemas envolvidos.

O estudo da mudança climática num país com a dimensão de Portugal, mas em que existem importantes gradientes climáticos, obriga à utilização de dados numa malha espacial muito fina, quando comparada com a resolução dos modelos de circulação global. Neste capítulo, levar-se-á o refinamento espacial ainda um pouco mais longe, discutindo com algum detalhe os impactos na mudança climática numa sub-região carismática de Portugal Continental: o vale do rio Sado. O objectivo desta análise pioneira é sistematizar ideias e testar metodologias de análise que permitam verificar, a uma escala mais fina, as conclusões globais deste exercício de avaliação dos impactos potenciais da mudança climática. É convicção dos autores que este tipo de estudos detalhados é uma peça essencial do processo de discussão dos riscos associados à mudança climática e do processo de preparação da sociedade para as medidas de mitigação e de adaptação que terão de ser tomadas nos próximos anos.

A escolha do vale do Sado como caso de estudo deveu-se a um conjunto de qualidades e vulnerabilidades ambientais que são características desta região. Encontrando-se no Sul do país, faz parte de uma região muito vulnerável em termos hídricos, num contexto de redução da precipitação e/ou de encurtamento do período de chuvas e de aumento da evapotranspiração. Em termos agrícolas e florestais, é uma região com recursos importantes, largamente dependentes da disponibilidade de água. Em termos de biodiversidade,

o estuário do Sado é a sede de uma das mais importantes zonas húmidas da Europa, sensível não só a variações climáticas directas como a modificações do caudal do Sado e a alterações da interacção com o oceano Atlântico, associadas a mudanças no nível do mar. Em termos humanos, a zona do vale do Sado conjuga importantes instalações industriais, com actividades económicas tradicionais ao nível rural e da pesca e com um crescente sector turístico. A vulnerabilidade e diversidade desta região tornam-na num objecto de estudo particularmente rico.

10.2 A BACIA HIDROGRÁFICA E O ESTUÁRIO DO RIO SADO

A bacia do Sado (Figura 10.1), formada em associação com abatimentos tectónicos sucessivos, é hoje uma extensa planície preenchida por sedimentos cenozóicos que, abrindo-se desde o leito do rio até à cota 100-150 m, define uma faixa deprimida alongada segundo duas orientações principais: a bacia do Baixo Sado, com orientação NW-SE estende-se desde o estuário até à região de Grândola e Ferreira do Alentejo; a bacia do Alto Sado, com orientação NE-SW, termina a montante junto às colinas de Colos e Santa Luzia. O enchimento sedimentar é feito essencialmente por areias, cascalheiras, arenitos, argilas e calcários mais ou menos margosos, constituindo séries litológicas que vão do Miocénico ao Holocénico.

O domínio externo do estuário do Sado (Figura 10.2) coincide com um baixio arenoso de 47 km² de superfície cuja região apical corresponde ao banco do Cambalhão. O canal de acesso ao estuário entalha este baixio em cerca de 6 km para SW da embocadura, com profundidades que diminuem progressivamente em direcção ao oceano e são mantidas por dragagem periódica no passe da barra em torno da cota -12 m. O banco exterior encontra-se abrigado da agitação marítima predominante na costa ocidental devido à saliência do cabo Espichel e ao desfásamento em longitude entre

aquele promontório e a restinga de Tróia, em consequência da presença do maciço da Arrábida. Desta forma, a costa de Tróia é apenas actuada por ondulação com rumos para sul do oeste e apresenta um nível energético baixo.

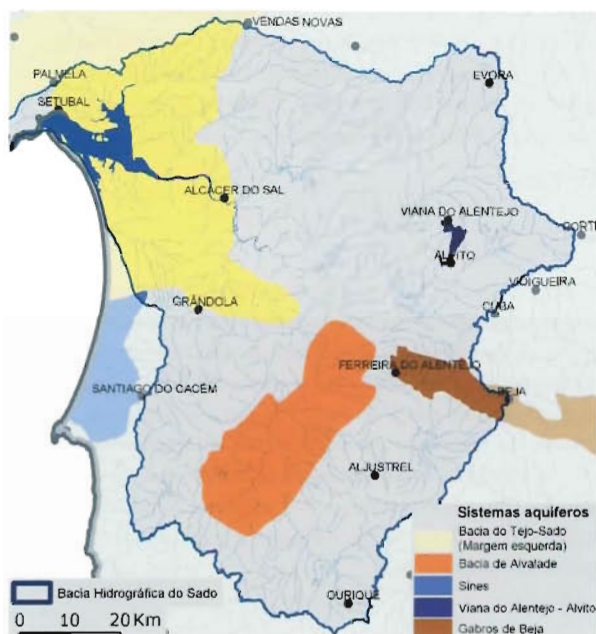


Figura 10.1 - Bacia hidrográfica do Sado. Linhas de água e aquíferos

O domínio interno apresenta duas direcções de alongamento preferencial: a mais importante estende-se por 37,5 km segundo NW-SE, desde a embocadura até Alcácer do Sal; a segunda, com orientação NNE-SSW, prolonga-se por 25 km desde a região de Águas de Moura até à Comporta. Com uma área inundada de cerca de 150 km², o estuário tem uma profundidade média de 8 m e máxima de 50 m junto à margem Norte, próximo do Outão. No interior do estuário o canal de acesso bifurca-se em dois canais (canal Norte e canal Sul), separados por baixios arenosos, como os da Cibra, Campanário, Cabecinha, Carraca e Escama Ferro.

Segundo a classificação de Pritchard (1960), o estuário do Sado é um estuário de barreira; esta é formada pela península de Tróia, uma restinga arenosa com cerca de 10 km de comprimento e 0,5 a 1,5 km de largura. A barra de maré, que apresenta profundidade máxima de cerca de 50 m e largura de aproximadamente 2 km, é constrangida a sul pelo extremo norte da península de Tróia e a norte pela serra da Arrábida; a janela definida por esta embocadura é suficientemente estreita para dificultar a propagação da agitação oceânica para o estuário interno. Porém, existem neste domínio ondas de geração local, cuja importância na dinâmica sedimentar ainda não se encontra estudada.

A zona costeira do estuário suporta usos do solo e densidades populacionais diversificadas (Figura 10.3). Na margem

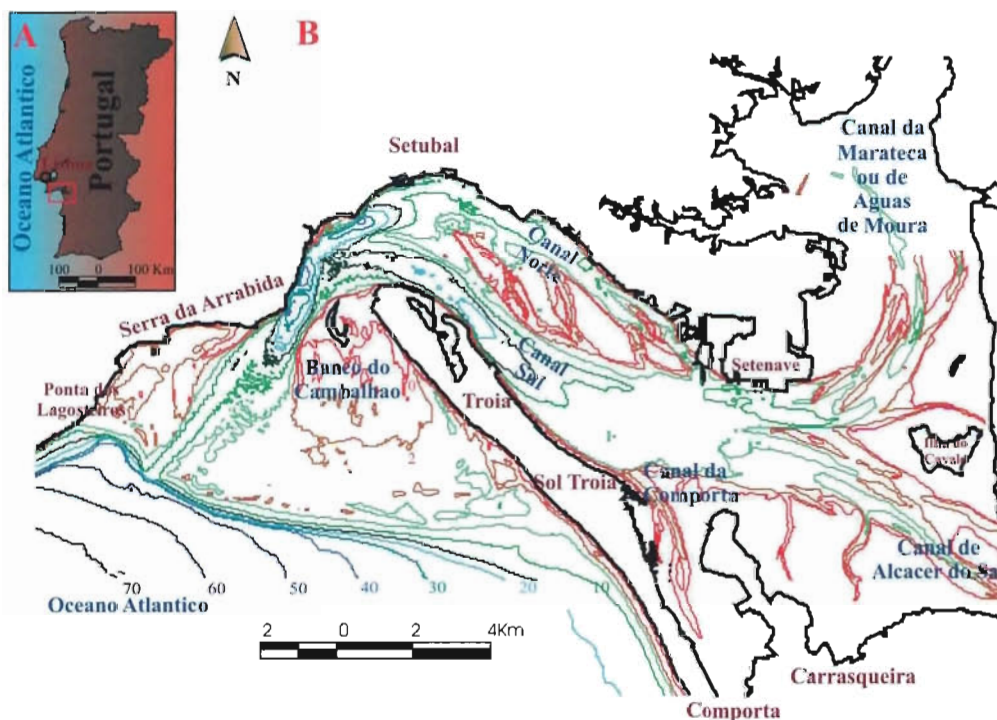


Figura 10.2 - Estuário do Sado, toponímia e organização morfológica

direita existe grande pressão antrópica associada à cidade de Setúbal, traduzida por forte desenvolvimento urbano e industrial e pela presença de um dos mais importantes portos portugueses. As infra-estruturas decorrentes deste desenvolvimento conduziram à artificialização intensa da margem até ao canal de Águas de Moura (ou da Marateca). A restante margem direita e a margem esquerda têm ocupação e densidade populacional significativamente mais baixas.

À excepção do extremo norte da península de Tróia, sede de infra-estruturas turísticas, e da área da cidade e porto de Setúbal, a zona costeira do estuário do Sado encontra-se protegida pelo regime de Reserva Natural. Nos 23 160 ha que constituem a Reserva Natural do Estuário do Sado mantêm-se as actividades tradicionais da pesca, da agricultura (com destaque para o cultivo de arroz), salineira, resinosa e corticeira. A fraca rentabilidade da produção de sal marinho tem levado a que muitas das marinhas estejam a ser convertidas em pisciculturas. Uma parte significativa da costa estuarina está protegida por diques, quer para represar água doce, quer para impedir a inundação de maré. O estuário

tem ainda extensas zonas intertidais ocupadas por rasos de maré e sapais (Figura 10.3), que se concentram fundamentalmente na margem direita do canal de Águas de Moura, na área da ilha do Cavalo, na região da Carrasqueira e margeando a face interna da restinga de Tróia, na área da Malha da Costa.

10.2.1 Reserva Natural do Estuário do Sado

A bacia do rio Sado inclui um importante património natural, constituído pela extraordinária diversidade das comunidades biológicas que habitam permanentemente ou de forma periódica o estuário. A Reserva Natural do Estuário do Sado (RNES) foi criada em Outubro de 1980 e inclui uma área total de 23 160 hectares, dos quais cerca de 13 000 correspondem ao estuário, abrangendo parte dos concelhos de Setúbal, Palmela, Alcácer do Sal e Grândola (ver Figura 10.4). A RNES inclui-se no plano da Rede Natura 2000 com a classificação de Zona de Protecção Especial (Directiva Aves), Sítio da Lista Nacional (Directiva Nacional).



Figura 10.3 – Ocupação do solo nas margens do estuário do Sado



Figura 10.4 – Reserva Natural do Estuário do Sado

Estando a RNES numa zona de interface entre o continente e o oceano, caracteriza-se por uma grande diversidade morfológica ao nível do perfil longitudinal e transversal, dando origem a uma passagem ininterrupta de nutrientes e matéria orgânica de origem continental, que é em parte responsável pela elevada produtividade da zona costeira envolvente (Hidromod, 1996). Esta elevada produção primária das comunidades vegetais dos sapais e do fitoplâncton das águas reflecte-se numa abundância e diversificação das cadeias alimentares, contribuindo para uma elevada diversidade biológica.

É possível encontrar no estuário do Sado, desde a linha da costa até às zonas de maior fixação dos solos, um gradiente

de *habitats* que caracterizam uma sucessão ecológica, com uma ecologia e associações vegetais específicas. Entre estes *habitats* encontram-se as praias e dunas (móveis, fixas e arborizadas), sapais, pântanos, lagoas, cursos de água temporários e permanentes, prados salgados imersos e emersos, caniçais, matos halófitos e esclerófitos, charnecas, vegetação ripícola com coberto arbóreo caducifólio, pinhal, eucaliptal e montado de sobreiro. É ainda possível encontrar grandes herdades associadas a importantes áreas de exploração agrícola (principalmente culturas arvenses e arroz), bem como áreas de pesca e de apanha de moluscos e crustáceos, áreas de salinicultura e de aquacultura extensiva e áreas de ocupação urbana (ICN 2003).

Sendo o estuário do Sado o segundo maior estuário português e um dos maiores da Europa, esta zona húmida é particularmente importante do ponto de vista ictiológico, malacológico e ornitológico, constituindo uma importante área de passagem e internada para um grande número de espécies de aves aquáticas, principalmente as do grupo das limícolas, anatídeos e galeirões. Os registos de contagens de aves destes grupos efectuadas até ao momento, e de acordo com uma metodologia compatível, revelam contagens anuais da ordem dos 27 000 indivíduos em média na RNES (Costa e Guedes, 1994, 1996) nos meses de Outubro a Março. É ainda de salientar a presença da população sedentária de roaz-corvineiro, o único mamífero marinho residente em Portugal Continental (Moreira *et al.*, 1999).

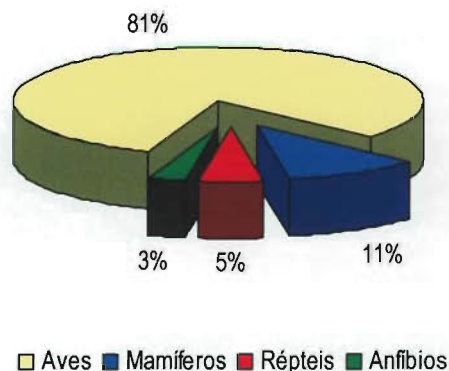


Figura 10.5 – Distribuição das espécies inventariadas na RNES pelas quatro Classes taxonómicas de vertebrados terrestres: aves, mamíferos, répteis e anfíbios

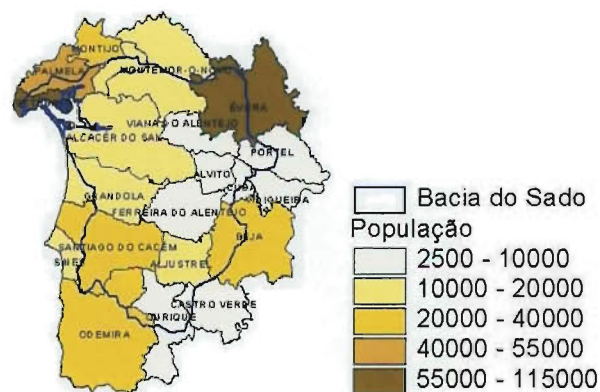


Figura 10.6 – Divisões administrativas e população actual na bacia do Sado

10.2.2 População

A Figura 10.6 apresenta a distribuição de população pelos diferentes concelhos da bacia do Sado. Em termos populacionais realça-se a importância dos concelhos de Setúbal e Palmela, na zona do estuário, e de Évora, no seu limite Noroeste.

10.3 CENÁRIOS DE ALTERAÇÃO CLIMÁTICA NA REGIÃO DO SADO

10.3.1 Temperatura e Precipitação Observadas no Vale do Sado

As estações de Setúbal, Alcácer do Sal e Alvalade do Sado posicionam-se ao longo do rio Sado, desde a foz para montante. A evolução das temperaturas máxima e mínima nestas estações desde a década de 1940 até 2002 encontra-se representada na Figura 10.7, juntamente uma estimativa da sua tendência nos períodos anterior e posterior a 1975 ano de mudança da tendência da temperatura média global (Karl *et al.*, 2000). As três séries apresentam tendências com sinais semelhantes aos encontrados noutras estações de Portugal Continental e Ilhas, detectando-se nomeadamente um período de arrefecimento anterior à década de 1970 seguido de aquecimento até ao final do século XX. A elevada variabilidade interanual observada nestes dados dificulta no entanto a interpretação das tendências detectadas.

A estação de Setúbal é a que regista as temperaturas máximas mais baixas e as mínimas mais altas devido a estar situada na costa, junto à foz do Sado. No caso das três estações apresentadas, quanto mais afastada da foz está a estação, maior é a temperatura máxima e menor é a mínima. Deste modo, Alvalade do Sado é a estação que apresenta as temperaturas máximas mais elevadas e as mínimas mais baixas, por estar situada numa região interior mais a sul. Esta é também a estação que regista a maior tendência: a temperatura máxima desde 1975 aumentou 0,53°C/década.

Verifica-se ainda que, tomando 1975 como ano de inversão das tendências, a amplitude térmica tem vindo a aumentar em Alcácer do Sal e em Alvalade do Sado, mantendo-se constante em Setúbal. Verificou-se anteriormente que a amplitude térmica em Lisboa (secção 2.2.1.2) e Beja (Miranda *et al.*, 2002), estações mais próximas destas estações no vale do Sado, tem vindo a diminuir desde 1975. No entanto, em Évora a amplitude térmica aumentou no último quartel do século XX (Miranda *et al.*, 2002), pelo que o sinal da amplitude térmica não é homogêneo no Sul do país.

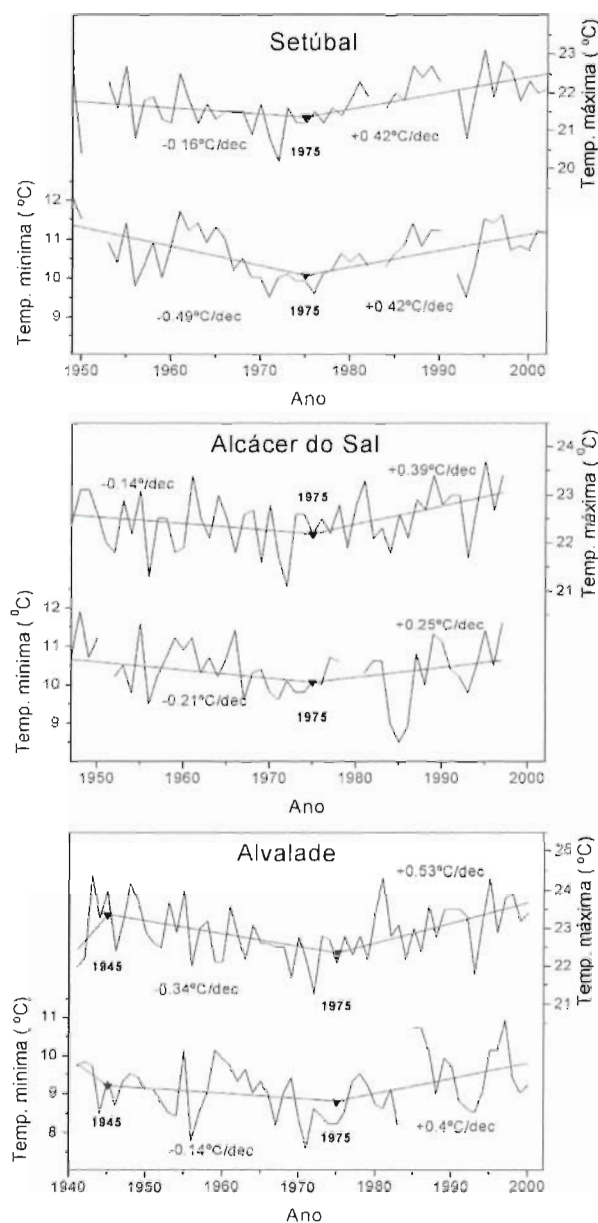


Figura 10.7 – Evolução das temperaturas máxima e mínima em três estações no vale do Sado (Setúbal, Alcácer do Sal e Alvalade do Sado). Ajustes lineares e tendências calculadas pelo método de Tomé e Miranda (2004) utilizando os anos de inversão (1945 e 1975) propostos por Karl *et al.* (2002)

A precipitação anual nas três estações do vale do Sado analisadas está representada na Figura 10.8. Em Setúbal a precipitação anual média no período 1961-1990 (732 mm) é superior à de Alcácer do Sal (568 mm) e de Alvalade (564 mm). As tendências da precipitação são pouco claras, em face da variabilidade interanual, e são prejudicadas por falhas de observação na última década.

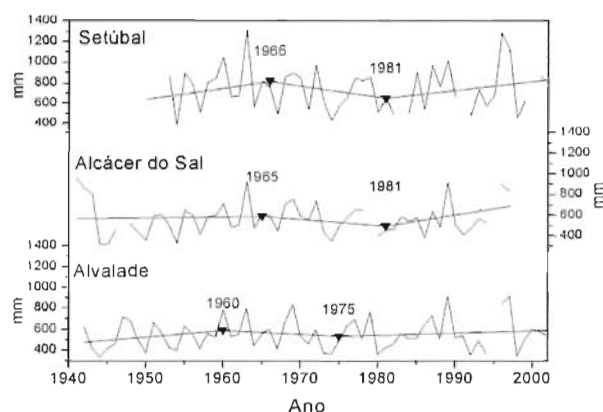


Figura 10.8 Evolução da precipitação anual em Setúbal, Alcácer do Sal e Alvalade do Sado

Considerando a distribuição da precipitação em toda a bacia (Figura 10.9), verifica-se que, num ano médio, a precipitação da bacia do Sado é ligeiramente superior a 600 mm/ano. É a segunda bacia com menor precipitação de Portugal, seguida apenas pela bacia portuguesa do rio Guadiana (da ordem dos 570 mm). Este valor, associado a temperaturas médias anuais entre os 15 a 16 °C e a taxas claramente superiores de evapotranspiração potencial (superiores a 1100 mm/ano), implicam um défice de recursos hídricos no balanço hídrico final em alguns anos hidrológicos. Diversas albufeiras em cursos de água e alguns aquíferos bastante produtivos constituem uma reserva hídrica para a estação seca cuja duração é bastante pronunciada nesta zona.

Como se pode ver na Figura 10.9, a distribuição da precipitação na bacia hidrográfica está condicionada por dois factores: a topografia e a distância à costa. As cotas mais elevadas estão associadas à serra de Monfórado, na zona Norte, e à serra de Grândola, na zona Oeste, onde a precipitação média anual atinge os 923 mm. O oposto ocorre na zona Sudeste da bacia que corresponde à península alentejana, onde a precipitação anual não ultrapassa os 600 mm.

À semelhança da variabilidade espacial, a variação sazonal da precipitação é também muito acentuada, como se observa na Figura 10.10, que representa a diferença entre a precipitação que ocorre no mês de Janeiro, onde o valor mínimo é de 50 mm, e no mês de Agosto, onde o valor máximo é de cerca de 10 mm, embora neste mês em cerca de um terço da bacia os valores não atinjam os 2,5 mm. Confirmando esta assimetria patente nos valores de precipitação ao longo do ano, refira-se que do total da precipitação que ocorre na bacia do Sado, 75 % se situa entre os meses de Novembro e Abril.

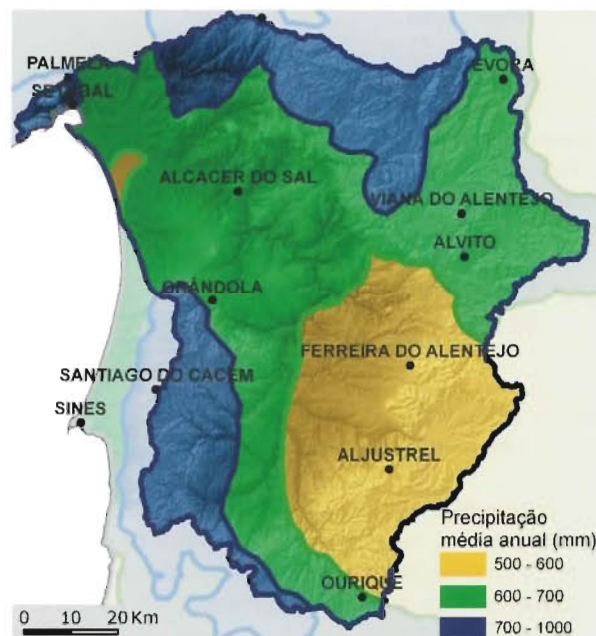


Figura 10.9 – Precipitação média anual na bacia do Sado

10.3.2 Cenários de Alteração Climática na Região do Sado

Os cenários climáticos utilizados no estudo da região do Sado foram descritos detalhadamente no Capítulo 2. Dada a necessidade de recorrer a informação numa malha relativamente fina e dadas as características da informação necessária para cada um dos estudos sectoriais, recorreu-se essencialmente a dados do modelo global HadCM3 e dos modelos regionais HadRM2 e HadRM3. No estudo sobre recursos hídricos, utilizou-se ainda informação histórica para produzir cartas de precipitação com grande detalhe e as diferenças entre simulações do clima actual e do clima futuro, nos diferentes cenários, para calcular anomalias, obtendo-se cartas da precipitação média futura por composição das observações com as anomalias simuladas.

10.4 CENÁRIOS SOCIOECONÓMICOS PARA A REGIÃO DE SETÚBAL

Os quatro cenários SRES (A1FI, A2, B1 e B2) implicam condições futuras do sistema energético muito distintas da actual. Os documentos veiculados sob a alçada do IPCC permitem uma adaptação desses cenários para o caso português. Na Tabela 10.1 apresentam-se alguns dados socioeconómicos de base para Portugal, com alguns dos mais pertinentes trans-

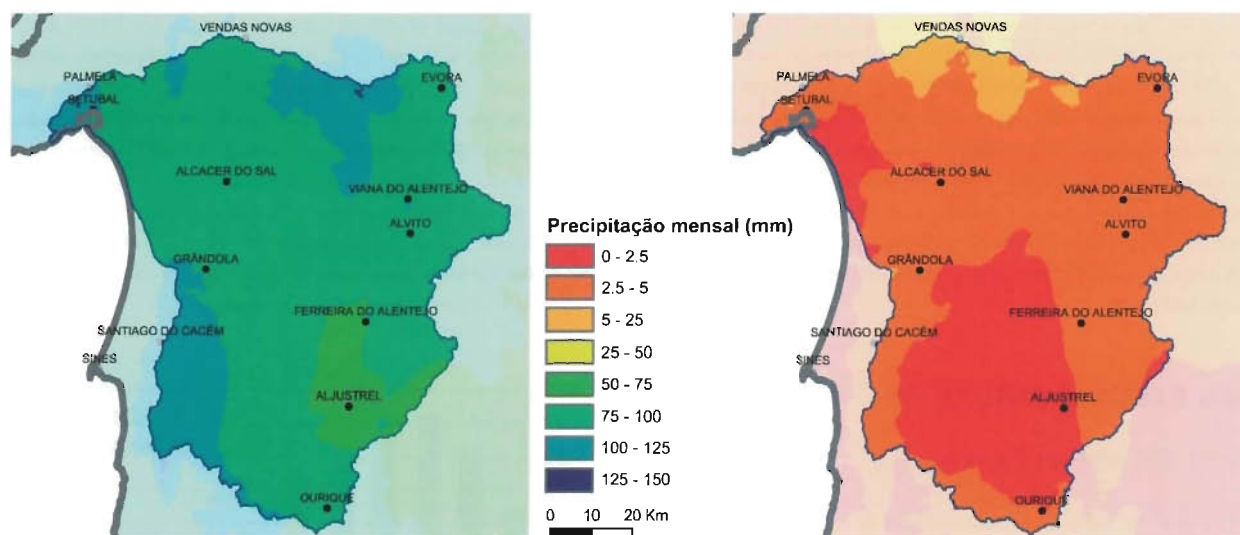


Figura 10.10 Precipitação média mensal nos meses de Janeiro e Agosto

postos para a zona de Setúbal, a principal área populacional da bacia do Sado. Estes valores, e outros utilizados de seguida, foram obtidos de um modelo integrado de energia e emissões de gases com efeito de estufa em Portugal, em construção no âmbito do Projecto Mitigation Strategies in Portugal (MISP, FFCUL).

Como comentário a estes cenários realça-se que a pressão populacional na zona da bacia do Sado se agrava bastante no cenário A2, agrava-se um pouco nos cenários A1 e B1, e reduz-se um pouco no cenário B2. Isto resulta de uma combinação entre evolução da população nacional total e as diferentes tendências de *urbanização* e *litoralização* em cada

Tabela 10.1 – Cenários SRES socioeconómicos básicos para população e certos equipamentos

	1991	2001	A1	A2	B1	B2
População total	9 867 147	10 355 824	9 689 500	10 675 600	9 689 500	8 923 800
Lisboa e vale do Tejo	33 %	33 %	35 %	35 %	34 %	32 %
Rácio para Pop. total						
Habitantes na zona	3 290 795	3 468 869	3 391 300	3 736 400	3 294 400	2 855 600
Setúbal: distrito	22 %	23 %	25 %	25 %	25 %	25 %
Rácio para Pop. LVT						
Habitantes na zona	712 594	788 459	847 800	934 100	823 600	713 900
Setúbal: NUTS III	19 %	21 %	22 %	22 %	22 %	22 %
Rácio para Pop. LVT						
Habitantes na zona	640 493	714 589	746 100	822 000	724 800	628 200
Setúbal: cidade	15 %	14 %	17 %	17 %	16 %	15 %
Rácio para Pop. total						
Habitantes na zona	103 634	113 937	111 900	123 300	108 700	94 200
Residências	3.35	2.92	1.90	2.20	1.90	2.00
Pessoas/família						
Setúbal: distrito		(270 020)	446 200	421 600	433 500	357 000
Automóveis de passageiros		456	700	580	650	580
por 1000 habitantes						
por residência		1.33	1.33	1.28	1.24	1.16
Setúbal: distrito	—	(359 500)	593 450	541 800	535 300	414 100

cenário. No entanto deve-se salientar que em todos os casos, devido a factores como a redução da dimensão das famílias e o crescimento de actividade económica, aumenta muito na zona o número de equipamentos – tais como residências (permanentemente ocupadas) e automóveis de passageiros. Acrescente-se ainda como factor de pressão sobre a zona, o aumento do turismo em todos os cenários, o que em parte resulta das próprias alterações climáticas tornarem o clima da zona ainda mais atractivo, nomeadamente para a actividade balnear.

10.5 RECURSOS HÍDRICOS

10.5.1 Escoamento Superficial

O regime de escoamento superficial da bacia do Sado está profundamente dependente da sazonalidade e da existência de 11 barragens (Psuty e Moreira, 2000) que contribuem para a sua regularização. Devido à dispersão temporal da precipitação, o escoamento na bacia do Sado apresenta-se com uma acentuada assimetria temporal, ocorrendo a quase totalidade do escoamento anual nos meses de Inverno.

O caudal do Sado apresenta grande variabilidade interanual e sazonal, pelo que se podem estimar valores médios anuais ou sazonais muito diferentes, de acordo com as séries temporais utilizadas. Durante o semestre húmido (de Outubro a Abril) observam-se frequentemente caudais de 60 a 100 m³/s e durante o semestre seco (de Maio a Setembro) o caudal médio pode descer para valores inferiores a 1 m³/s durante Julho e Agosto (Martins *et al.*, 2001; Cabeçadas, 1993 *in* MARETEC, 2000). De acordo com os dados referidos no Plano Nacional da Água (INAG, 2001) o caudal médio natural do rio é de 40 m³/s e o caudal de ponta é de 470 m³/s. Valores apontados por outros autores para o caudal médio anual do rio variam entre 1 m³/s (Martins, 1979), 8 m³/s, 34 m³/s (Loureiro *et al.*, 1983)¹, 38 m³/s (Cunha *et al.*, 2002)² e 40 m³/s (MARETEC, 2002). Para além do Sado, dois outros canais desagüam directamente no estuário: o canal da Marateca, com caudais negligenciáveis que excepcionalmente alcançam 12 m³/s em regime de ponta, e o canal da Comporta, que tem contribuição praticamente nula (Psuty e Moreira, 2000).

A Figura 10.11 mostra que é em Fevereiro que o escoamento atinge o seu valor máximo, três meses após o mês em que ocorre maior precipitação. Esta discordância temporal é explicada pelo tempo de residência da bacia, dependente, entre outros factores, da morfologia da bacia e da recarga natural dos

aquíferos. O que acontece é que estes, após um Verão seco, retêm a água que precipita nas linhas de cabeceira, sendo estas zonas consideradas áreas preferenciais de recarga. À medida que os níveis piezométricos se vão restabelecendo, a fracção da precipitação que escore superficialmente vai aumentando, atingindo o seu valor máximo no mês de Fevereiro e descendo drasticamente no mês seguinte. Após este mês, no caso de não ocorrer precipitação, as linhas de água são alimentadas exclusivamente pelos aquíferos que encontram aqui os canais preferenciais de descarga.

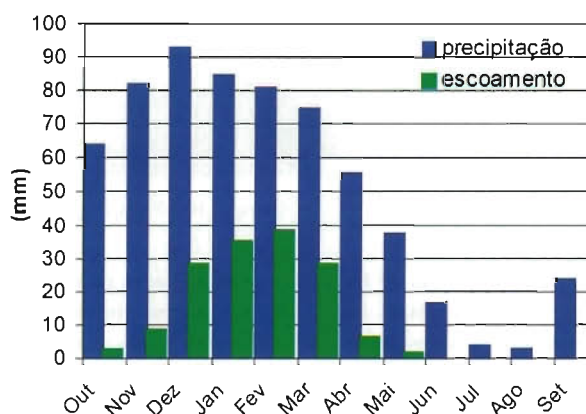


Figura 10.11 Precipitação e escoamento mensais na bacia do Sado

10.5.2 Recursos Hídricos Subterrâneos na Bacia do Sado

À semelhança do território nacional, a bacia hidrográfica do Sado (Figura 10.1) apresenta uma realidade hidrogeológica diversificada. Como se mostra na Figura 10.12, os aquíferos que ocorrem nesta bacia variam entre o tipo poroso (sistema

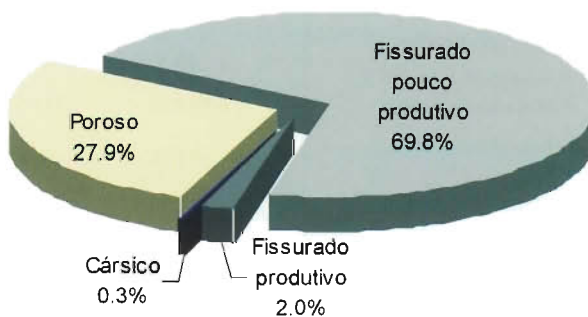


Figura 10.12 Tipos de aquífero que ocorrem na bacia hidrográfica do Sado

¹ Valor calculado a partir de escoamento médio anual de 1 082 355x10³ m³ (Loureiro *et al.*, 1983).

² Valor calculado a partir de escoamento médio anual de 155 mm (Cunha *et al.*, 2002).

aquífero da bacia do Tejo-Sado) e o tipo fissurado onde se inclui o sistema aquífero dos gabros de Beja e os aquíferos pouco produtivos da zona Sul portuguesa e da zona de Ossa Morena. Para além destes aquíferos, ocorre ainda o sistema aquífero de Viana-Alvito, do tipo carbonatado embora com menor representatividade espacial.

À excepção das formações da zona Sul portuguesa e Ossa Morena, onde o aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos é gerido à escala local, os sistemas aquíferos presentes na bacia hidrográfica do rio Sado são de extrema importância à escala regional e nacional no que concerne à gestão dos recursos hídricos.

Conhecendo os valores das taxas de recarga de cada aquífero, assim como a dispersão espacial da precipitação média anual, é possível estimar a disponibilidade hídrica subterrânea média anual em regime de recarga natural. Na Figura 10.13 pode-se observar a grande variabilidade espacial da disponibilidade anual deste recurso. Os valores variam entre os $0,05 \text{ hm}^3/\text{km}^2$ obtidos nas áreas de menor infiltração, até valores da ordem dos $0,2 \text{ hm}^3/\text{km}^2$ em aquíferos onde ocorrem as maiores infiltrações, nomeadamente os que integram a unidade hidrogeológica da bacia do Tejo-Sado.

Piezometria

O estudo da variabilidade espaciotemporal da piezometria permite conhecer o sentido de fluxo subterrâneo, o grau de depleção do aquífero e a magnitude de dependência dos sistemas aos fenómenos climáticos. Na bacia hidrográfica do Sado estão unicamente disponíveis dados de 9 piezómetros, num período que decorre desde Janeiro de 1979 a Janeiro de 1993. Estes piezómetros encontram-se localizados na zona da bacia a norte de Grândola. A par de uma grande variabilidade, a maioria das séries piezométricas indica tendências negativas, consideradas significativas pelo teste estatístico de Mann-Kendal. Estes resultados sugerem que poderá estar a ocorrer um cenário de sobreexploração, onde as recargas não compensam a exploração efectuada.

10.5.3 Utilização da água

Na bacia hidrográfica do rio Sado os principais utilizadores de água provêm dos seguintes sectores: abastecimento para consumo humano, turismo, agricultura, indústria e produção de energia. Todos eles têm especificidades próprias, nomeadamente ao nível das necessidades, dos consumos, dos retornos de água ao sistema e de qualidade da água. Como se pode ver na Figura 10.14 (e também na Figura 10.15) cerca de 93,08 % da água captada nesta bacia tem

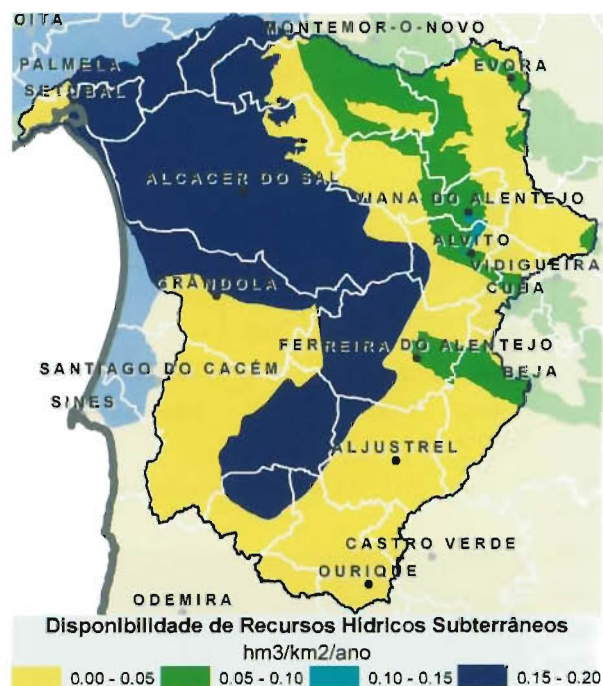


Figura 10.13 – Disponibilidade de recursos hídricos subterrâneos

como destinatários a agricultura e a produção de energia. Os restantes 6,92 % distribuem-se pela indústria (4,83 %), o abastecimento ao consumo humano (2,04 %) e o turismo (0,05 %).

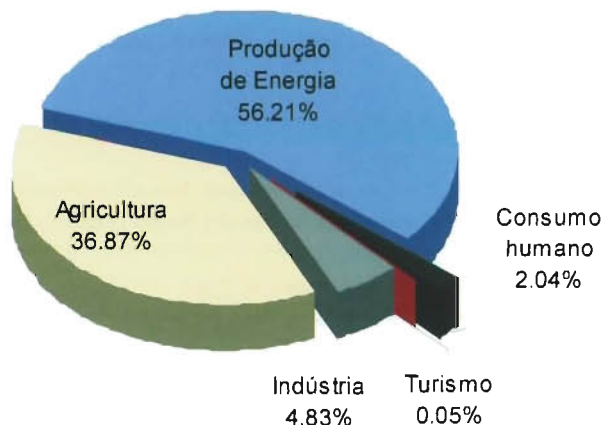


Figura 10.14 – Distribuição dos consumos por sector. Fonte: PNA

Além dos consumos de água é importante analisar os retornos da água ao sistema. Na Figura 10.16 observa-se que cerca de 65 % da água consumida pelo sector da produção de energia retorna ao sistema. Já o sector agrícola ao permitir apenas um retorno de 20 % de água é o maior consumidor de água efectivo. O retorno dos restantes sectores situa-se entre os 85 e 90 %, tornando-os ainda menos

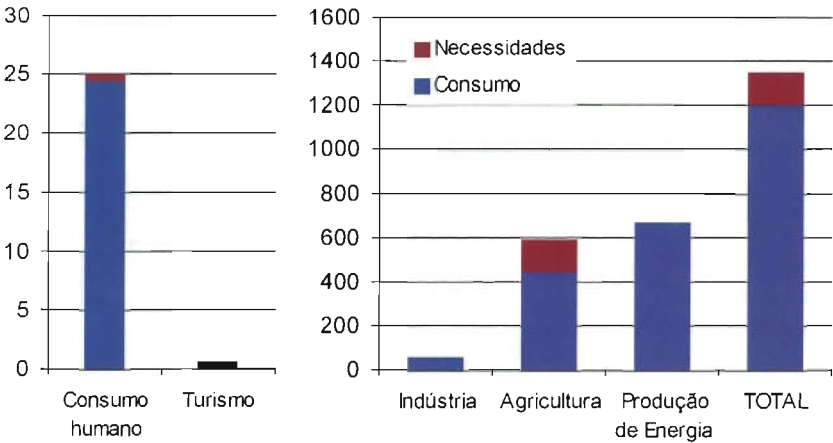


Figura 10.15 – Necessidades e consumos por sector (hm³). Fonte: PNA

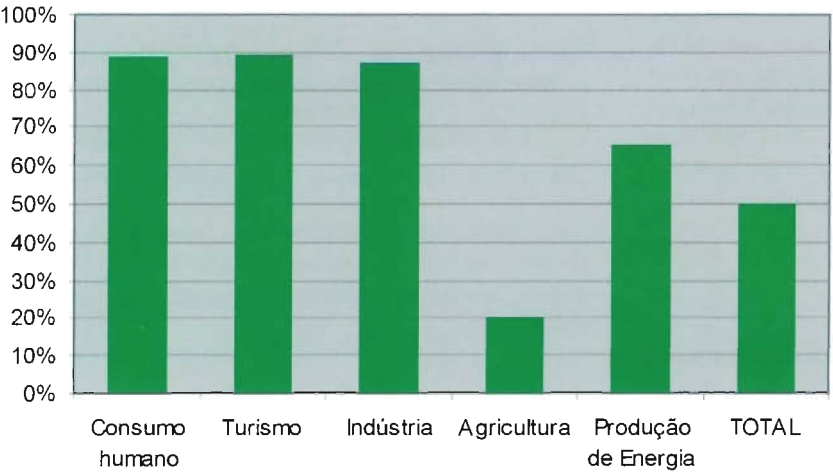


Figura 10.16 – Percentagem do retorno por sector (%). Fonte: PNA

Tabela 10.2 – Características das albufeiras e dos principais açudes da bacia do Sado (Fonte: IDRHa)

Albufeiras	Capacidade útil (hm³)	Uso
Alvito	130,0	Rega
Campilhas	26,2	Rega
Fonte Serne	3,6	Rega
Monte da Rocha	70,0	Rega e abastecimento urbano
Odivelas	70,0	Rega
Pego do Altar	93,6	Rega, indústria e central hidroeléctrica
Roxo	89,5	Rega e abastecimento urbano
Vale do Gaio	63,0	Rega e central hidroeléctrica
Açudes	Capacidade Útil (hm³)	Uso
Monte do Gato	0,596	Rega
Monte Miguéis	0,825	Rega

expressivos no consumo efectivo de água da bacia hidrográfica.

Segue-se uma breve descrição das principais características de cada um destes sectores no que concerne os consumos e necessidades de água.

10.5.3.1 Agricultura

A agricultura é o principal consumidor de água armazenada nas oito albufeiras e nos dois principais açudes existentes nesta bacia. Na Tabela 10.2 estão representados os volumes armazenados em cada albufeira e os usos a que se destinam. Na Figura 10.17 pode observar-se a localização das albufeiras e dos perímetros de rega públicos, actuais e futuros, principalmente associados ao Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva.

10.5.3.2 Produção de Energia

Das oito barragens, a do Pego do Altar, do Vale do Gaio e de Campilhas foram originalmente construídas para regadio e produção de energia eléctrica. No entanto, após 1970 o aproveitamento hidroeléctrico da barragem de Campilhas foi desactivado tendo fornecido, no período de laboração uma produtividade anual média de 0,5+ GWh (IDRHa, 2002). Além das barragens hidroeléctricas do Pego do Altar e do Vale do Gaio (que produzem em média 5,2 e 2,6 GWh por ano) existe presentemente uma central termoelectrica nesta bacia hidrográfica que utiliza água para arrefecimento. Deve-se referir que o sector da produção de energia é do tipo não consumptivo pois o retorno de água ao sistema aproxima-se dos 100 %, embora apresente inconvenientes resultantes das alterações nos regimes de caudal, da modificação da qualidade da água e da diminuição dos volumes de sedimentação (para jusante).

10.5.3.3 Abastecimento Público

A água da bacia hidrográfica do Sado que tem como destino o abastecimento público provém essencialmente de captações subterrâneas, tais como furos, poços e nascentes, responsáveis por mais de 70 % do fornecimento na larga maioria da região, com excepção dos concelhos de Évora e de Palmela (abastecidos por água superficial) e de Santiago de Cacém e Alvito (com abastecimento misto). A água superficial consumida provém das albufeiras do Roxo e do Vale da Rocha.

10.5.3.4 Turismo

Dentro do sector do turismo deve destacar-se a rega de campos de golfe como principal parcela de consumo de água, consumindo cerca de 0,348 hm³ anuais. Os restantes 0,248 hm³ são usados essencialmente para o abastecimento de água a unidades hoteleiras. Deve contudo referir-se aqui a ínfima parcela que este sector representa na totalidade.

10.5.4 Impactos das Alterações Climáticas nos Recursos Hídricos

10.5.4.1 Disponibilidade de Água

Recursos Hídricos Superficiais

Para a previsão dos regimes de escoamento superficiais futuros das diferentes bacias, utilizaram-se as séries históricas de precipitação e temperatura, alteradas pelas anomalias dos modelos climáticos. O modelo hidrológico utilizado foi o de Temez (Santos *et al.*, 2002). Como dados de entrada, o modelo Temez utiliza os dados mensais de precipitação e evapotranspiração potencial. O *output* do modelo inclui os valores mensais de escoamento, de infiltração e de evapotranspiração real. Na previsão das disponibilidades hídricas da bacia hidrográfica do Sado, são usadas sete sub-bacias cuja localização pode ser vista na Figura 10.18.

Após as simulações do modelo hidrológico utilizando os cenários futuros identificaram-se algumas diferenças entre os cenários climáticos. Na Figura 10.19 está representada a variação do escoamento médio anual para os horizontes de 2050 e de 2100. Conclui-se que o cenário A2c, referente ao modelo HadCM3, é o mais pessimista. Até ao ano 2050 existem diferenças notórias entre as previsões obtidas pelos cenários A2c e B2a, com valores da ordem dos +30 % e -50 % respectivamente. Estes resultados sugerem a importância que terão no futuro as decisões socioeconómicas na disponibilidade dos recursos hídricos.



Figura 10.17 Infra-estruturas hidroagrícolas



Figura 10.18 Bacias simuladas pelo modelo Temez

Por sua vez, as simulações realizadas até ao ano 2100 revelaram de igual modo existir diferenças evidentes nos impactos hídricos dos diferentes cenários, com valores de cerca de

+13 % para o cenário B2a e de -80 % para o A2c, relativamente ao escoamento actual. O resultado das simulações com as anomalias do modelo HadRM2 aproxima-se do cenário B2a, traduzindo-se numa subida de 5 % no volume de escoamento superficial até ao ano 2100.

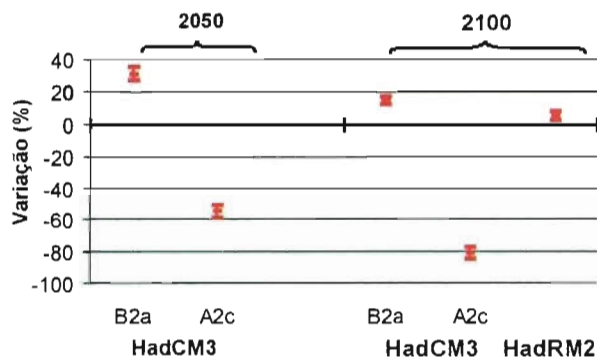


Figura 10.19 – Variação do escoamento médio anual para 2050 e 2100

Conhecidas as variações anuais previstas por cada modelo, importa conhecer a distribuição dessas variações ao longo do ano. A Figura 10.20 ilustra as variações do escoamento superficial nas várias estações do ano até 2050, simuladas com as anomalias dos cenários referentes ao modelo HadCM3. Nesta figura, verifica-se que o cenário B2a prevê uma acentuada concentração do escoamento no Inverno, seja pelo aumento do escoamento nesta estação e na do Outono, seja pela diminuição acentuada do escoamento nos meses de Verão (entre 30 e 60 %). O cenário A2c, por sua vez, prevê que até ao ano 2050 ocorra uma descida do escoamento em todas as estações do ano, mais acentuada nos meses de Verão.

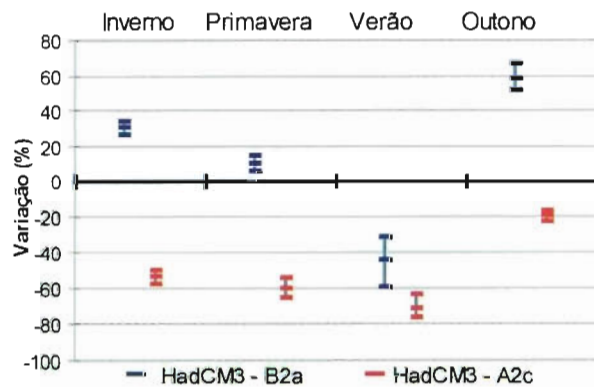


Figura 10.20 – Variação sazonal do escoamento para 2050

A Figura 10.21 mostra a variação do escoamento até ao final do século XXI. Como se pode ver o modelo HadRM2 e o cenário B2a apresentam algumas semelhanças nos resulta-

dos das suas simulações, ou seja, uma diminuição do escoamento entre a Primavera e o Outono, e um aumento de até cerca de 10 % nos meses de Inverno. Realce para os resultados obtidos na previsão utilizando o modelo HadRM2, para os meses de Outono, cenário onde poderá ocorrer um desaparecimento do escoamento nas bacias estudadas.

O cenário A2c também prevê um aumento da assimetria dos valores de escoamento entre o Verão e o Inverno. No entanto, ao contrário dos restantes cenários, este prevê uma diminuição de 70 a 80 % nos meses de Inverno agravando-se essa tendência nas restantes estações.

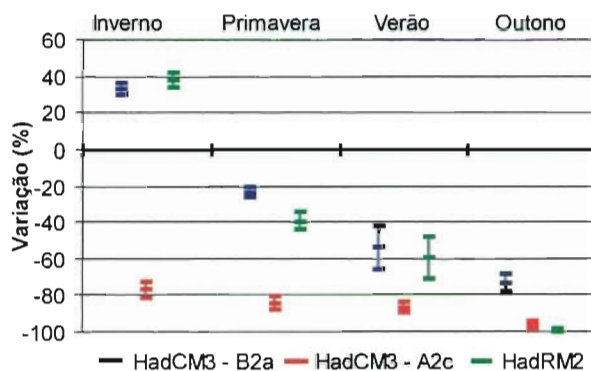


Figura 10.21 – Variação sazonal do escoamento para 2100

Recursos Hídricos Subterrâneos

Para o conhecimento do impacto das alterações climáticas nos recursos hídricos subterrâneos dos aquíferos da bacia hidrográfica do Sado utilizaram-se duas metodologias: o modelo hidrológico Temez (calibrado com os índices de infiltração de cada sub-bacia) e um modelo de correlação recarga vs. piezometria, baseado nas variações da precipitação obtidas pelos diferentes cenários de simulação.

A principal vantagem da utilização do modelo Temez é que, pese embora basear-se numa descrição algo simplificada do aquífero, permitir simular explicitamente a resposta do aquífero face às alterações sazonais dos regimes de precipitação, principalmente no que concerne ao fenómeno, detectado em vários cenários, de concentração da pluviosidade nos meses de Inverno. É expectável que esta situação venha a ter consequências na diferenciação dos regimes de recarga dos aquíferos.

Os resultados dos valores de infiltração obtidos pela aplicação do modelo de Temez (ver Figura 10.22), confirmam uma vez mais a discrepância entre os diferentes cenários. Até ao ano 2050, o modelo prevê, para o cenário B2a, um aumento da recarga dos aquíferos entre os 10 a 15 %. Pelo contrário,

para o cenário A2c, prevê que os valores da recarga desçam 40 a 47 % relativamente ao valor actual. Considerando o grau de variação da precipitação como indicador do grau de variação da recarga, verificar-se-ia um aumento de 6 %, no cenário B2a, e uma descida de -27,50 % até 2050, no cenário A2c. Relativamente às variações da recarga até ao ano 2100, o modelo Temez prevê uma diminuição de 65 a 75 % da recarga, no cenário A2c, no qual se verifica uma descida de -41,7% da precipitação. Ainda para 2100, se se utilizarem os dados de precipitação do modelo HadRM2 (cenários IS92a), é estimada uma diminuição dos valores de recarga entre os 15 % e os 20 %, enquanto que no cenário B2a, se mantém o valor da recarga.

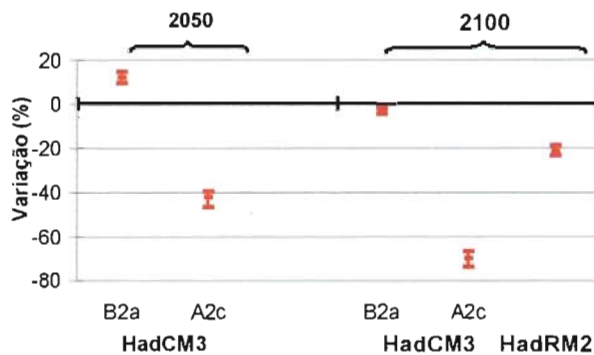


Figura 10.22 - Variação da recarga média anual para 2050 e 2100

Uma análise efectuada por estações do ano (Figuras 10.23 e 10.24) mostra, por outro lado, que para todos os cenários modelados se prevê uma redução notória da recarga na Primavera e no Verão, até aos limites temporais de 2050 e 2100. No Outono, embora o cenário B2a implique uma subida de 30 % das recargas até ao ano 2050, o que é contrário ao cenário A2c (-15 %), todos os cenários indicam para o ano 2100 uma diminuição acentuada daqueles valores. Para o Inverno, verifica-se uma grande discrepância de valores, variando entre os +50 % (variação da precipitação calculada pelo HadRM2) e -60 % (resultado do Temez para o cenário A2c).

Piezometria

Outro parâmetro indicador do grau de disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos é a piezometria. Neste estudo estudaram-se as variações das séries piezométricas em função das variações detectadas nas séries de precipitação. Esta relação foi conseguida através da comparação da magnitude das tendências mensais observadas nas séries piezométricas com a magnitude das tendências das séries pluviométricas observadas no mês anterior. Os piezómetros e as estações meteorológicas são apresentados na Figura 10.25.

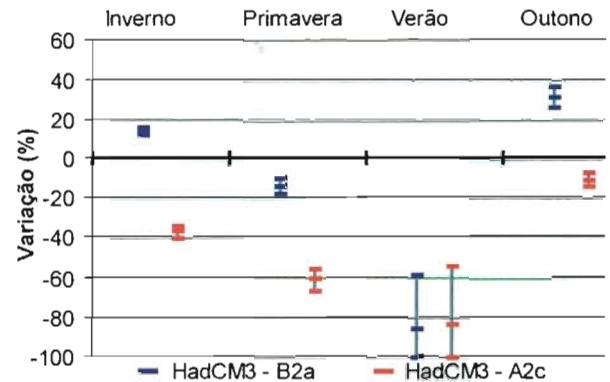


Figura 10.23 - Variações sazonais da recarga para 2050

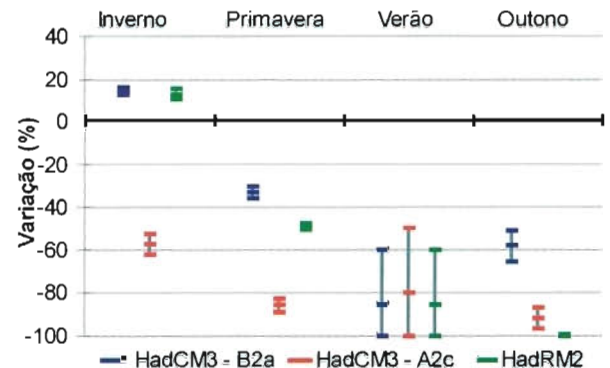


Figura 10.21 - Variações sazonais da recarga para 2100

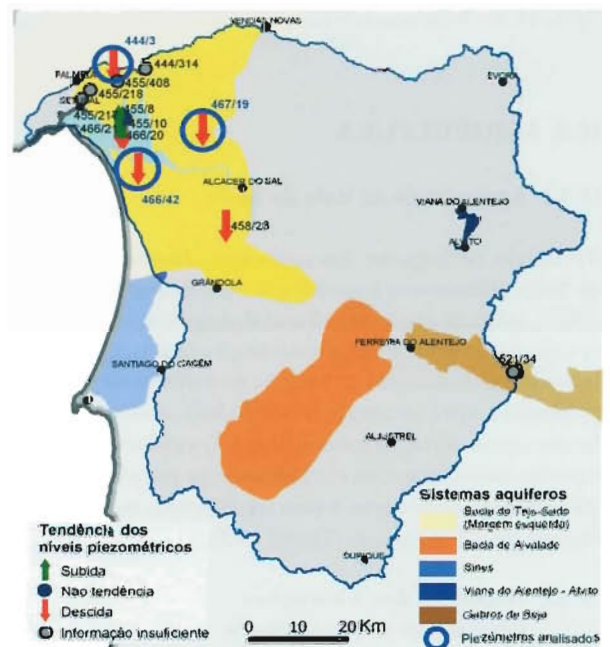


Figura 10.25 - Piezómetros e estações meteorológicas consideradas para o estudo da influência das variações da pluviometria nas variações da piezometria

Observações actualmente disponíveis na zona de estudo (Figura 10.25) indicam que existe uma correlação entre a precipitação e o nível piezométrico. Com base nos modelos lineares que associam a variação da piezometria à variação da precipitação, e conhecendo-se as projecções futuras para a precipitação, é possível prever a descida (ou subida) dos níveis piezométricos em cada uma das estações analisadas, tal como se mostra na Figura 10.26. Como se observa no gráfico, à excepção do cenário B2a para o ano 2050 que prevê um aumento pouco significativo, todos os cenários prevêem descidas dos níveis piezométricos nos aquíferos da bacia hidrográfica do rio Sado até 2050 e 2100, que podem atingir valores da ordem dos -7 m, até ao final do século XXI, no caso do cenário A2c.

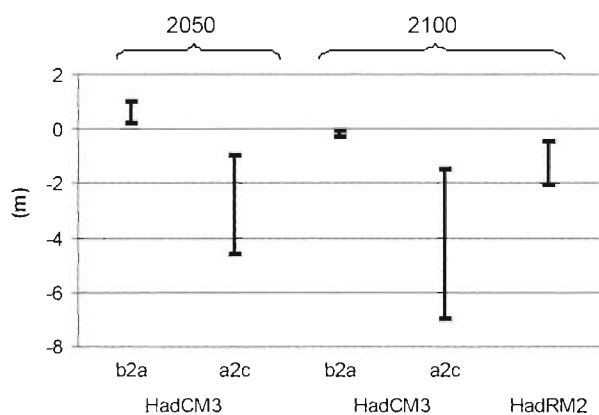


Figura 10.26 Rebaixamentos piezométricos previstos para os anos 2050 e 2100

10.6 AGRICULTURA

10.6.1 Agricultura no Vale do Sado

No estudo de impacto das mudanças climáticas no vale do Sado utilizou-se a metodologia descrita em Pinto *et al.*, (2002), aplicada não só às culturas do trigo e do milho como às culturas do arroz e das pastagens e forragens. O arroz foi incluído por duas razões: 1) a região do Alentejo é a principal produtora a nível nacional e o vale do Sado tem uma contribuição significativa para esta posição; 2) a cultura apresenta especificidades únicas no seu cultivo (rega por alagamento). As pastagens e forragens foram consideradas devido à sua elevada área de ocupação (Tabela 10.3).

10.6.2 Impactos das Alterações Climáticas na Agricultura

Para avaliar o comportamento das culturas num cenário de alteração climática recorreu-se ao uso de modelos de simu-

lação (Pinto *et al.*, 2002). Os resultados obtidos num cenário futuro foram comparados com os alcançados nas condições actuais. No caso dos cereais, os modelos utilizados pertencem à família CERES, enquanto que o modelo CROPGRO foi o escolhido na simulação das pastagens e forragens (Jones *et al.*, 2003). Estes modelos fazem parte da aplicação DSSAT 1.0 (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) (Hoogenboom *et al.*, 2001), tendo sido feita a sua validação e calibração com dados de ensaios de campo de pelo menos cinco anos.

O valor da produtividade (kg/ha), simulada, tanto na situação de controlo como na situação futura, para os diferentes cenários e culturas, será utilizado para avaliar os impactos das alterações climáticas. No caso dos cereais, a produtividade refere-se à produção de grão por unidade de área, e no caso das pastagens e forragens representa a quantidade de matéria seca acumulada na parte aérea da planta. Por simplificação, as pastagens e forragens serão identificadas simplesmente por pastagens.

As produtividades estimadas são potenciais, essencialmente dependentes das condições climáticas e das características dos solos. As produtividades não reflectem integralmente a situação real, uma vez que não foram considerados vários factores que condicionam a produção. Entre os factores que limitam os resultados finais e que não foram considerados nas simulações incluem-se a dimensão da propriedade, o declive do terreno, pragas e doenças, infestantes e a disponibilidade de água de rega.

Os modelos foram corridos com dados climáticos que reproduzem as condições climáticas actuais (controlo) e futuras tal como são simuladas pelos modelos HadRM, versão 2 e 3 (Jones *et al.*, 1995 e 1997; Hulme *et al.*, 2002). Os dados edáficos considerados foram os correspondentes às manchas de solo existentes no vale do Sado (Pinto *et al.*, 2003). Estas manchas encontram-se delimitadas nas Figuras 10.27 e seguintes.

Os resultados das produtividades actuais e futuras serão apresentados na forma de mapas. A análise da diferença percentual de produtividade na situação de controlo e na situação futura permite inferir sobre os potenciais impactos num contexto de alteração climática. No caso dos dados do modelo HadRM3, as diferenças de produtividade foram calculadas entre os resultados do cenário de controlo da simulação A2 e os dos cenários futuros A2 e B2.

As decisões técnicas consideradas foram idênticas para as condições climáticas actuais e futuras. Desta forma, as diferenças obtidas na produção, entre a situação actual e futura, serão atribuídas à alteração climática e aos aumentos da

Tabela 10.3 – Área, percentagem da área da cultura na SAU* do concelho, e produção de trigo, milho, arroz nos concelhos do vale do Sado, no ano agrícola de 2001-2002 (INE, 2001; DRAAL, 2002). Área e percentagem da área de pastagens e forragens na SAU* do concelho nos concelhos do vale do Sado, no ano agrícola de 1998-1999 (INE, 2001)

Concelhos	Trigo			Milho			Arroz			Pastagens e forragens	
	Área (ha)	% SAU	Produção (t)	Área (ha)	% SAU	Produção (t)	Área (ha)	% SAU	Produção (t)	Área (ha)	% SAU
Alcácer do Sal	5 075	5,6	6 574	812	0,9	7 243	6 400	7,1	41 600	70 499	78,0
Aljustrel	12 558	32,1	22 953	1 532	3,9	13 558	87	0,2	479	4 991	12,8
Alvito	1 469	9,4	2 402	95	0,6	950	0	0,0	0	6 868	44,0
Beja	33 656	37,1	71 529	232	0,3	2 320	0	0,0	0	23 877	26,3
Castro Verde	7 486	15,7	12 329	24	0,1	204	0	0,0	0	5 945	12,5
Cuba	2 956	22,0	6 430	26	0,2	260	0	0,0	0	3 960	29,5
Évora	18 075	16,6	29 099	476	0,4	4046	0	0,0	0	52 064	47,9
Ferreira do Alentejo	9 358	19,3	21 168	1 227	2,5	10 859	568	1,2	3 124	10 293	21,2
Grândola	426	0,9	520	418	0,9	3 716	497	1,1	3 086	28 135	62,6
Montemor-o-Novo	4 203	4,7	6 283	708	0,8	5 717	607	0,7	3 339	49 459	54,7
Odemira	4 019	5,2	5 220	2 660	3,4	17 822	531	0,7	2 974	33 684	43,3
Ourique	3 302	7,6	5 360	162	0,4	1 374	0	0,0	0	27 467	63,6
Portel	3 283	8,5	5 356	97	0,2	808	0	0,0	0	26 228	67,5
Santiago de Cacém	3 566	5,1	5 101	2 215	3,2	17 720	626	0,9	3 881	27 368	39,4
Vendas Novas	440	2,5	597	123	0,7	1 046	262	1,5	1 467	13 540	77,1
Viana do Alentejo	2 025	5,9	3 001	262	0,8	2 116	0	0,0	0	21 401	62,6

* SAU – Superfície Agrícola Utilizada: superfície da exploração que inclui terras aráveis (limpa e sobcoberto de matas e florestas), horta familiar, culturas permanentes e pastagens permanentes. Os dados relativos à SAU correspondem ao ano agrícola de 1998-1999

concentração de gases de efeito de estufa. Os resultados de produtividade indicados são os valores médios desta variável por concelho. As medidas de adaptação serão igualmente apresentadas por concelho. A Tabela 10.4 apresenta a produtividade média de cada cultura e o seu desvio-padrão (ver eqs. [5-1] e [5-2]), calculados com base nos dados dos dois modelos climáticos, na situação de controlo e em cenários de aquecimento global, no vale do Sado. As diferenças percentuais de produtividade entre a situação actual e futura foram igualmente calculadas por cultura.

10.6.2.1 Trigo

O efeito das alterações climáticas na cultura do trigo foi simulado pelo modelo CERES-Wheat (Jones *et al.*, 2003). Na Tabela 10.5 estão definidas as práticas culturais para as condições de controlo e de futuro.

Na situação de controlo do modelo climático HadRM2, os concelhos localizados na zona Norte do vale do Sado são

os mais produtivos ($> 2\,000\text{ kg/ha}$), sendo os concelhos de Odemira e de Ourique os de menor produtividade (Tabela 10.6). Nos cenários futuros, os concelhos do Norte e Centro são os que sofrem um maior decréscimo de produtividade, enquanto que o concelho de Castro Verde apresenta um acréscimo de aproximadamente 6 % (Figura 10.27). Deve notar-se que estes resultados podem ser atribuídos à diversidade de tipos de solo existentes, uma vez que resultados semelhantes não estão agrupados por área de influência climática. Por outro lado, tratando-se o trigo de uma planta C_3 (Pinto *et al.*, 2002) e de uma cultura de Outono-Inverno para a qual a temperatura nas condições actuais é um factor limitante, os aumentos de produtividade projectados devem-se ao facto de se preverem aumentos de temperatura e da concentração de dióxido de carbono.

As diferenças significativas entre os resultados de controlo das duas simulações (HadRM2 e HadRM3, ver Capítulo 2) implicam diferenças igualmente significativas nas produtividades simuladas para o «clima actual». No entanto, as estruturas espaciais são semelhantes, *i.e.* os concelhos mais

Tabela 10.4 – Resumo dos resultados obtidos para a produtividade (média e desvio-padrão) e diferenças percentuais entre a situação actual e a futura para a região do vale do Sado, por cultura e por modelo climático

Cultura		Produtividade (kg/ha)					Variação da produtividade %		
		HadRM2		HadRM3					
		Controlo	IS92a	Controlo	A2	B2			
Trigo	\bar{x} (kg/ha)	2 506	2219	2835	2562	2451	-11	-10	-14
	σ (kg/ha)	741	593	861	789	726			
Milho	\bar{x} (kg/ha)	11 358	8208	9500	7225	8048	-28	-24	-15
	σ (kg/ha)	559	997	562	941	778			
Arroz	\bar{x} (kg/ha)	5 613	1064	3129	393	812	-81	-87	-74
	σ (kg/ha)	1 524	1577	1083	469	806			
Pastagem	\bar{x} (kg/ha)	3 342	3755	3239	3458	3434	12	7	6
	σ (kg/ha)	953	845	951	804	817			



Figura 10.27 – Diferenças de produtividade de trigo entre as situações actual e futura, com os dados climáticos dos modelos HadRM2-IS92a (a) e HadRM3 – cenários A2 (b) e B2 (c). As linhas indicam a delimitação das manchas de solo e a grelha do modelo HadRM. Os dados estão agrupados por concelho

e menos produtivos são os mesmos com os dados dos dois modelos. Nos cenários futuros observa-se um decréscimo generalizado da produtividade, sendo este particularmente acentuado no concelho de Ourique no caso do cenário A2 (-13 %) e no concelho de Portel no cenário B2 (-18 %). Nos dois cenários considerados as diferenças são sempre negativas (-20 a 0 %), sendo de realçar que com os dados do cenário B2 é maior o número de concelhos com decréscimos entre -20 e -10 % (Figura 10.27). As perdas de produtividade estão relacionadas com o stress hídrico desta cultura de sequeiro, porque apesar do factor limitante da temperatura ter sido ultrapassado, os cenários projectam uma diminuição da precipitação em todas as estações do ano, nomeadamente nas simulações HadRM3. A redução da duração da cultura foi entre 11 a 15 % como se pode observar na Tabela 10.7.

As perdas de produtividade simuladas nos diferentes concelhos e cenários encontram-se entre os -20 % e os 0 %. As

únicas excepções ocorrem nos concelhos de Évora (<-20 %) e de Castro Verde (+6 %), no caso dos dados do HadRM2, cenários IS92a, Figura 10.27a).

Tabela 10.5 – Práticas culturais definidas para a simulação do trigo

	Variedade	Anza
Sementeira	Data de sementeira	15 Novembro
	Data de emergência	25 Novembro
	Densidade de sementeira	444 sementes/m ²
	Taxa de emergência	85%
Adubação	Total azoto aplicado	160 kg N/ha
	Total fósforo aplicado	60 kg N/ha
	Total potássio aplicado	40 kg N/ha

Tabela 10.6 – Produtividade de trigo (kg/ha) simulada, para as situações actual e futura, com os dados climáticos dos modelos HadRM2 e HadRM3 – cenários A2 e B2

Concelhos	Cenários Climáticos				
	HadRM2		HadRM3		
	Controlo	IS92a	Controlo	A2	B2
Alcácer do Sal	2794	2446	3200	2911	2830
Aljustrel	2512	2458	2882	2675	2536
Alvito	3192	2720	3346	3093	2925
Beja	2595	2190	2959	2644	2506
Castro Verde	1908	2021	2317	2042	1935
Cuba	3064	2689	3365	2988	2753
Évora	3090	2460	3426	3034	2849
Ferreira do Alentejo	2991	2644	3221	3069	2916
Grândola	2147	1926	2446	2223	2148
Montemor-o-Novo	2933	2443	3233	2901	2808
Odemira	1570	1393	1911	1710	1666
Ourique	1586	1513	1830	1590	1558
Portel	3073	2709	3482	3102	2865
Santiago de Cacém	2292	2120	2559	2400	2275
Vendas Novas	2912	2387	3215	2886	2861
Viana do Alentejo	3134	2684	3487	3150	3072

Tabela 10.7 – Duração da cultura do trigo

Concelhos	Cenários Climáticos							
	HadRM2			HadRM3				
	Controlo	IS92a	Dif	Controlo	A2	B2	Dif A2	Dif B2
	dias	dias	%	dias	dias	dias	%	%
Alcácer do Sal	197	154	-22	191	165	172	-15	-11
Aljustrel	197	154	-22	190	162	169	-15	-11
Alvito	203	157	-23	192	163	170	-15	-11
Beja	198	155	-22	192	163	171	-15	-11
Castro Verde	198	157	-21	191	162	169	-15	-11
Cuba	203	158	-22	194	161	172	-15	-11
Évora	207	161	-22	200	170	178	-15	-11
Ferreira do Alentejo	199	154	-22	190	162	169	-15	-11
Grândola	196	155	-21	193	164	171	-15	-11
Montemor-o-Novo	203	158	-22	196	167	174	-15	-11
Odemira	204	160	-21	198	167	176	-15	-11
Ourique	203	160	-21	192	164	171	-15	-11
Portel	202	158	-22	194	164	172	-15	-11
Santiago de Cacém	194	153	-21	192	163	170	-15	-11
Vendas Novas	202	157	-22	195	167	173	-14	-11
Viana do Alentejo	200	155	-22	195	166	173	-15	-11

Os dados do modelo HadRM3 implicam produtividades mais elevadas tanto no controlo como nos cenários de aquecimento global. De facto, a temperatura de controlo do HadRM3 no Verão é superior à do HadRM2, favorecendo a produtividade sem redução do ciclo vegetativo. Nos cenários futuros, embora se tenha estimado uma redução global da duração da cultura, esta é mais acentuada com os dados do HadRM2 do que com os dados do HadRM3 (Tabela 10.7).

10.6.2.2 Milho

O modelo CERES-Maize (Jones *et al.*, 2003) foi utilizado no estudo da cultura do milho. Na Tabela 10.8 estão referidas as considerações técnicas assumidas para esta cultura. A rega foi definida como sendo óptima. Como o milho é uma cultura regada por aspersão, considerou-se que a aplicação do adubo azotado poderia ser efectuada sempre que necessário.

Tabela 10.8 – Práticas culturais definidas para a simulação do milho

Sementeira	Variedade	Pioneer 345
	Data de sementeira	30 Abril
	Data de emergência	10 Maio
	Densidade da sementeira	8,5 sementes/m ²
	Taxa de emergência	95%
Adução	Total azoto aplicado	automático
Rega	Profundidade preenchida à capacidade campo	40 cm
	Método	aspersão

Para a situação de controlo obtiveram-se valores médios de produtividade entre 10 710 e 11 715 kg/ha com os dados do modelo HadRM2. Os maiores valores de produtividade são atingidos nos concelhos de Odemira e Santiago de Cacém. Nos cenários futuros ocorre um decréscimo de produtividade em todos os concelhos analisados. Os concelhos que no presente produzem potencialmente mais milho por unidade de área são aqueles que registam uma menor diminuição de produtividade no futuro (Tabela 10.9 e Figura 10.28a). É no concelho de Odemira que a cultura do milho apresenta um menor encurtamento do seu ciclo vegetativo (Tabela 10.10). Num cenário de aumento de temperatura, as taxas de desenvolvimento são mais aceleradas, resultando uma menor duração das culturas e, por esse motivo, um menor período fotossintético, o que irá contribuir para uma menor produção (Pinto *et al.*, 2002).

Para a situação actual, os dados de controlo do modelo HadRM3 (cenários A2 e B2) implicam que o concelho de Odemira seja a zona mais produtiva do vale do Sado, enquanto que nos cenários futuros o concelho mais produtivo é o de Santiago de Cacém (Tabela 10.9). Nesses cenários, as produtividades estimadas são inferiores às actuais. Os decréscimos são mais marcados nos concelhos do interior do que nos do litoral, e são mais acentuados no cenário A2 do que no cenário B2 (Figuras 10.28b,c). Em qualquer dos cenários observa-se uma relação clara entre a duração da cultura e a produtividade estimada. A duração do milho, nos diferentes concelhos, é menor no cenário A2 do que no B2, e os ciclos da cultura quando esta é semeada nos concelhos do interior são mais curtos do que quando semeada no litoral (Tabela 10.10). Na situação actual, a duração do ciclo é idêntica nas duas versões do modelo HadRM, uma vez que se fixou a data de colheita no dia 31 de Outubro.

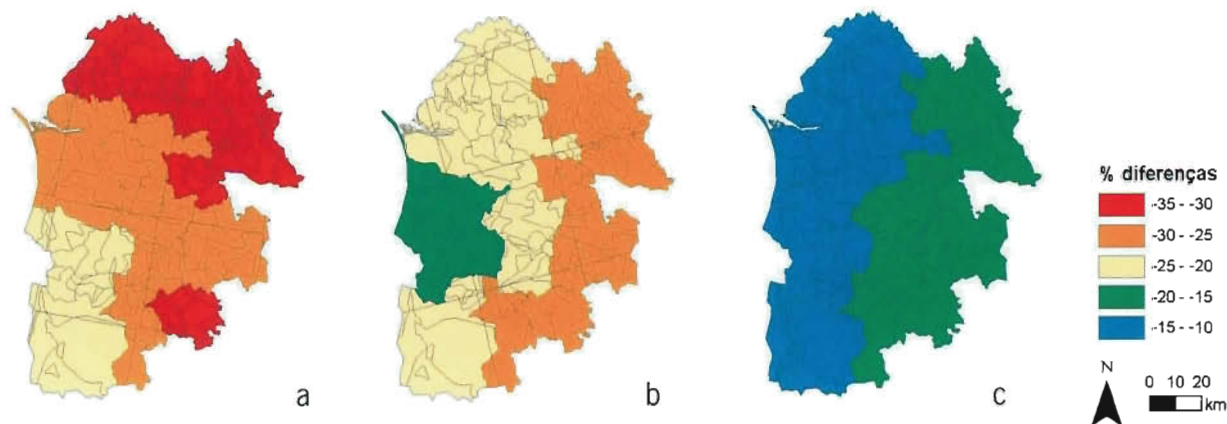


Figura 10.28 – Diferenças de produtividade de milho entre as situações actual e futura, com os dados climáticos dos modelos HadRM2 IS92a (a) e HadRM3 – cenários A2 (b) e B2 (c).

Tabela 10.9 – Produtividade de milho (kg/ha) simulada, para as situações actual e futura, com os dados climáticos dos modelos HadRM2 e HadRM3 – cenários A2 e B2.

Concelhos	Cenários Climáticos				
	HadRM2		HadRM3		
	Controlo	IS92a	Controlo	A2	B2
Alcácer do Sal	11 370	8293	9705	7625	8395
Aljustrel	11 401	8422	9524	7175	7980
Alvito	11 408	7895	9563	7094	8002
Beja	10 987	7761	9123	6399	7460
Castro Verde	10 710	7372	9115	6520	7423
Cuba	11 472	7893	9417	6618	7786
Évora	11 404	7781	9551	6925	7857
Ferreira do Alentejo	11 377	8324	9508	7342	8076
Grândola	11 213	8159	9429	7546	8189
Montemor-o-Novo	11 237	7775	9571	7328	8139
Odemira	11 715	9105	9821	7815	8489
Ourique	11 366	8336	8987	6405	7291
Portel	11 189	7629	9271	6519	7596
Santiago de Cacém	11 679	8949	9593	7956	8557
Vendas Novas	11 489	7993	9657	7408	8251
Viana do Alentejo	11 344	8058	9625	7248	8225

Tabela 10.10 – Duração da cultura do milho

Concelhos	Cenários Climáticos							
	HadRM2			HadRM3				
	Controlo	IS92a	Dif	Controlo	A2	B2	Dif A2	Dif B2
	dias	dias	%	dias	dias	dias	%	%
Alcácer do Sal	184	105	-43	184	104	110	-43	-40
Aljustrel	184	104	-43	184	101	106	-45	-42
Alvito	184	102	-45	184	101	106	-45	-42
Beja	184	102	-45	184	99	104	-46	-43
Castro Verde	184	102	-44	184	100	105	-46	-43
Cuba	184	102	-45	184	99	104	-46	-43
Évora	181	103	-44	184	102	107	-45	-42
Ferreira do Alentejo	184	104	-44	184	102	107	-45	-42
Grândola	184	107	-42	184	105	110	-43	-40
Montemor-o-Novo	184	105	-43	184	104	110	-43	-40
Odemira	184	113	-39	184	106	112	-43	-39
Ourique	184	108	-41	184	101	106	-45	-42
Portel	184	102	-45	184	99	104	-46	-43
Santiago de Cacém	184	109	-41	184	105	110	-43	-40
Vendas Novas	184	106	-43	184	104	110	-43	-40
Viana do Alentejo	184	103	-44	184	103	109	-44	-41

Na situação actual, verifica-se que a diferença de produtividade obtida com os dados das duas simulações de controlo dos modelos climáticos para cultura do milho é oposta à calculada para o trigo. Isto é, no caso do milho, obtêm-se para o clima actual valores médios de produtividade superiores com os dados do modelo HadRM2 do que os obtidos com os dados do modelo HadRM3. As temperaturas actuais mais elevadas no Verão, estimadas pelo modelo HadRM3, podem justificar este facto. A localização das zonas mais e menos produtivas coincidem em ambas as versões do modelo. No cálculo das diferenças de produtividade entre cenários (Figura 10.28, Tabela 10.9), os dados do cenário B2 do HadRM3 conduzem a diferenças menos pessimistas, com decréscimos percentuais de produtividade entre os 10 e os 20 %. Nos outros cenários, observam-se perdas de até o dobro desses valores.

10.6.2.3 Arroz

Na simulação da cultura do arroz recorreu-se ao modelo CERES-Rice (Jones *et al.*, 2003) da colecção DSSAT 4.0 (Hoogenboom *et al.*, 2004). Em 1996, de acordo com Braga (1996), o estado de evolução do modelo CERES-Rice não permitia que este estimasse a produtividade potencial da cultura do arroz para as condições edafoclimáticas do vale do Sado. Uma das razões então apontadas foi o facto do modelo não incluir o efeito de regulação térmica assegurado pela lâmina de água. Outra limitação do modelo registada foi a não distinção das cultivares *indica* e *japonica* no que respecta às temperaturas base de desenvolvimento, temperatura óptima para a fotossíntese, e à sensibilidade do aumento de peso dos grãos em relação às altas e baixas temperaturas. Para além destas limitações, Braga (1996) referiu ainda como outras possíveis deficiências do modelo a forma de cálculo da temperatura média do ar, do desenvolvimento do peso das folhas ao longo do ciclo, e dos efeitos da temperatura na fotossíntese, no peso final dos grãos e na senescência das folhas. Assim, embora este modelo tenha sido continuamente melhorado (e esteja actualmente incorporado na versão DSSAT 4.0) a simulação da cultura do arroz, para a região em estudo, continua a ter algumas limitações.

A adaptação da cultura do arroz à zona em análise é em parte justificada por a cultura resistir de alguma forma aos solos salinos, o que é importante numa região em que algumas áreas estão sujeitas à acção da água do mar. Por outro lado, algumas zonas do vale encontram-se alagadas no Inverno o que dificulta a instalação de culturas nesse período, e como não existem muitas culturas alternativas capazes de resistir à asfixia radical, as culturas de Primavera-Verão surgem como solução. O arroz é então uma cultura adaptada aos condicionamentos edafoclimáticos do vale do Sado. Estas razões

juntamente com as referidas na introdução deste capítulo justificam a apresentação dos resultados das simulações, embora estes tenham que ser considerados com precaução.

Neste estudo recorreu-se ao modelo CERES-Rice (Jones *et al.*, 2003) mesmo não estando o modelo correctamente calibrado e validado para as condições edafoclimáticas da zona do vale do Sado. A razão da escolha do modelo CERES-Rice deveu-se ao facto deste pertencer à família CERES. Estes modelos (CERES-Wheat, Maize e Rice) necessitam dos mesmos dados de entrada e são idênticos quanto à sua forma de funcionamento. Na Tabela 10.11 estão enumeradas as opções técnicas necessárias para definir a simulação da cultura do arroz.

Tabela 10.11 – Práticas culturais definidas para a simulação do arroz

Sementeira	Variedade	Ringo
	Data de sementeira	6 Maio
	Data de emergência	16 Maio
	Densidade de sementeira	700 sementes/m ²
Adubação	Taxa de emergência	70%
	Total azoto aplicado	automático
Rega	Profundidade preenchida à capacidade campo	30 cm
	Método	alagamento

Tanto na situação de controlo como nos cenários futuros os concelhos do litoral são os que possuem maiores produtividades. As diferenças de produtividade entre o controlo e os cenários futuros são negativas, com maiores decréscimos nos concelhos do interior (Figura 10.29). Os valores da produtividade são menores no cenário A2 do que no cenário B2 (Tabela 10.12). De facto, o aumento de temperatura é mais acentuado no cenário A2, enquanto que o número de dias de duração da cultura é maior no cenário B2 (Tabela 10.13). A maior redução do ciclo vegetativo no cenário A2 será responsável por um menor período fotossintético, logo menor produtividade do que no cenário B2. A duração do ciclo foi espacialmente constante na situação de controlo porque a data de colheita foi estabelecida no dia 31 de Outubro, tal como na cultura do milho.

No caso do arroz, observam-se diferenças muito grandes entre as duas estimativas das produtividades de controlo (Tabela 10.12), indicando a sensibilidade elevada desta cultura aos factores climáticos. De facto as diferenças de produtividade absoluta (kg/ha) observadas entre as duas

Tabela 10.12 – Produtividade de arroz (kg/ha) simulada, para as situações actual e futura, com os dados climáticos dos modelos HadRM2 e HadRM3 – cenários A e B

Concelhos	Cenários Climáticos				
	HadRM2		HadRM3		
	Controlo	IS92a	Controlo	A2	B2
Alcácer do Sal	5801	878	3123	663	1133
Aljustrel	5269	729	2597	101	289
Alvito	4677	441	2370	89	248
Beja	4460	432	1981	25	72
Castro Verde	4570	508	2464	0	0
Cuba	4707	133	1921	3	7
Évora	4771	460	2171	19	411
Ferreira do Alentejo	5175	696	2646	138	391
Grândola	6470	1570	3879	732	1421
Montemor-o-Novo	5010	669	3080	517	963
Odemira	6955	2242	4852	855	1637
Ourique	6531	1395	2751	106	212
Portel	4486	390	1924	0	23
Santiago de Cacém	7172	2215	4167	745	1634
Vendas Novas	5528	904	3175	569	994
Viana do Alentejo	4990	579	2796	388	713

Tabela 10.13 – Duração da cultura do arroz

Concelhos	Cenários Climáticos							
	HadRM2			HadRM3				
	Controlo	IS92a	Dif	Controlo	A2	B2	Dif A2	Dif B2
	dias	dias	%	dias	dias	dias	%	%
Alcácer do Sal	178	110	-38	178	111	113	-38	-36
Aljustrel	178	109	-39	178	109	111	-39	-37
Alvito	178	109	-39	178	109	111	-39	-38
Beja	178	108	-39	178	108	110	-39	-38
Castro Verde	178	108	-39	178	108	110	-39	-38
Cuba	178	109	-39	178	108	110	-39	-38
Évora	178	110	-38	178	110	113	-38	-37
Ferreira do Alentejo	178	109	-39	178	109	112	-39	-37
Grândola	178	110	-38	178	110	113	-38	-36
Montemor-o-Novo	178	110	-38	178	111	113	-38	-36
Odemira	178	113	-37	178	112	115	-37	-36
Ourique	178	111	-38	178	109	111	-39	-38
Portel	178	109	-39	178	108	110	-39	-38
Santiago de Cacém	178	110	-38	178	110	113	-38	-37
Vendas Novas	178	110	-38	178	111	113	-38	-36
Viana do Alentejo	178	110	-38	178	110	113	-38	-37

simulações de controlo são mais significativas que entre os vários cenários futuros, implicando diferenças acentuadas entre as duas versões do modelo climático nos cálculos das perdas relativas de produtividade.

10.6.2.4 Pastagens

O modelo escolhido para simular as pastagens foi o CROP-GRO (Jones *et al.*, 2003) da série DSSAT 4.0 (Hoogenboom *et al.*, 2004). A produtividade destas culturas foi avaliada pelo peso seco acumulado da parte aérea (kg/ha). Na Tabela 10.14 encontram-se as definições das simulações efectuadas. A cultivar Billion da espécie de nome vulgar azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) foi utilizada para a calibração/validação do modelo. Durante o ciclo da cultura apenas se considerou um corte no dia 30 de Junho. Os resultados são apresentados na Tabela 10.15.

Tabela 10.14 – Práticas culturais definidas para a simulação de pastagens

	Variedade	Billion
Sementeira	Data de sementeira	1 Novembro
	Data de emergência	11 Novembro
	Densidade de sementeira	300 sementes/m²
	Taxa de emergência	90 %
Adubação	Total azoto aplicado	80 kg N/ha
	Total fósforo aplicado	72 kg N/ha
	Total potássio aplicado	60 kg N/ha
Colheita	Data de colheita	30 Junho

Na situação de controlo, a zona Nordeste do vale do Sado destaca-se como a de maior produtividade (Tabela 10.15). Nos cenários futuros (IS92a), estimam-se aumentos de pro-

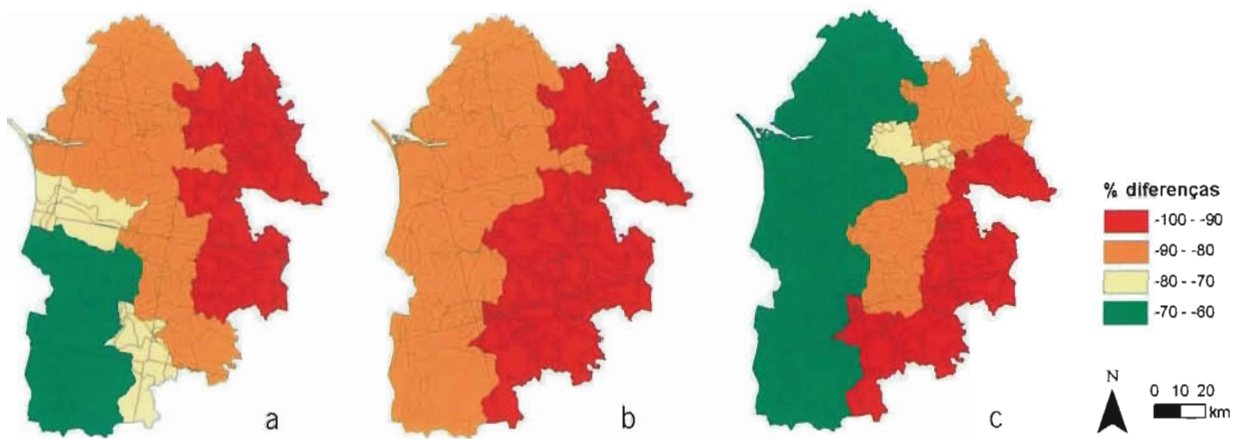


Figura 10.29 – Diferenças de produtividade de arroz entre as situações actual e futura, com os dados climáticos dos modelos HadRM2-IS92a (a) e HadRM3 – cenários A2 (b) e B2 (c)

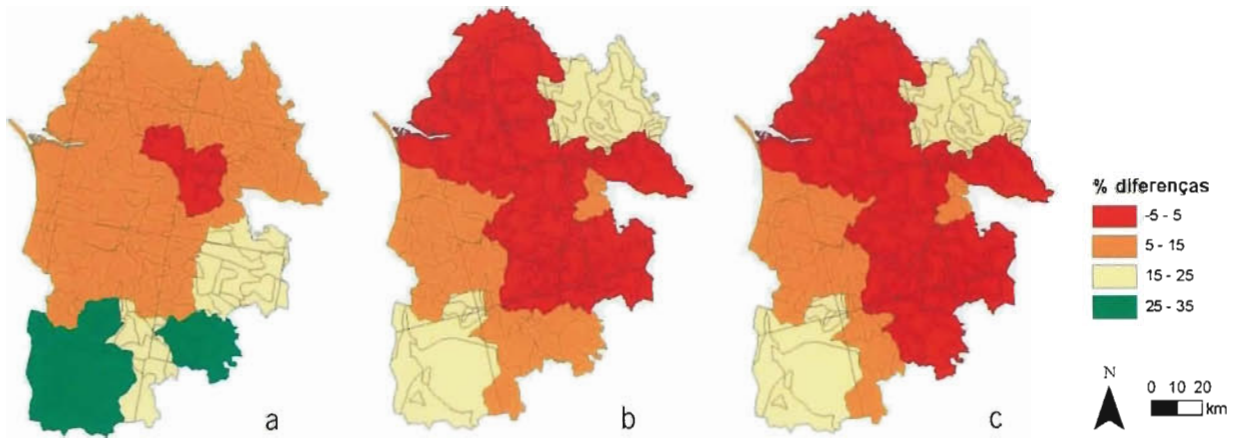


Figura 10.30 – Diferenças de produtividade de pastagens entre as situações actual e futura, com os dados climáticos dos modelos HadRM2-IS92a (a) e HadRM3 – cenários A2 (b) e B2 (c)

Tabela 10.15 – Produtividade das pastagens (kg/ha) simulada, para as situações actual e futura, com os dados climáticos dos modelos HadRM2 e HadRM3 – cenários A e B

Concelhos	Cenários Climáticos				
	HadRM2		HadRM3		
	Controlo	IS92a	Controlo	A2	B2
Alcácer do Sal	3883	4121	3657	3741	3776
Aljustrel	3476	3993	3736	3823	3768
Alvito	4320	4513	4061	4130	4120
Beja	3363	3941	3587	3656	3640
Castro Verde	2535	3219	2797	3015	2891
Cuba	4156	4511	3803	4022	4001
Évora	3834	4209	3243	3793	3734
Ferreira do Alentejo	3969	4230	3997	3993	3988
Grândola	3026	3415	2830	3044	3045
Montemor-o-Novo	3710	3981	3510	3649	3683
Odemira	2080	2714	2198	2616	2597
Ourique	2174	2696	2288	2611	2481
Portel	4112	4488	3910	4032	4019
Santiago de Cacém	3323	3714	3113	3303	3278
Vendas Novas	3655	3964	3544	3653	3709
Viana do Alentejo	4290	4438	3961	4002	4024

produtividade em todos os concelhos. Nos concelhos de Viana do Alentejo e do Alvito as diferenças calculadas, apesar de positivas, são inferiores a 5 % (Figura 10.30a). Como a data de corte considerada foi a mesma nas simulações do presente e do futuro, a duração do ciclo é para todas as situações de 241 dias, independentemente dos dados climáticos utilizados.

De entre os cenários SRES considerados, o cenário A2 é o que permite maiores aumentos de produtividade (Figura 10.30b), possivelmente devido aos maiores índices de CO₂. Nos cenários A2 e B2 o concelho de Ferreira do Alentejo é o único em que se observa decréscimo de produtividade (Tabela 10.15). É possível estabelecer-se um paralelo entre os resultados alcançados por esta cultura e o trigo, visto que se definiu previamente que as pastagens teriam um ciclo de Outono-Inverno, que seriam culturas de sequeiro e porque as duas culturas (pastagens e trigo) são plantas C₃ (Pinto *et al.*, 2002).

As duas versões do modelo climático implicam resultados muito próximos para a situação de controlo, apesar de o valor médio das produtividades de matéria seca do conjunto dos concelhos do vale do Sado ser mais elevado quando se usam os dados do HadRM2. Também no futuro com os dados do modelo HadRM2 os resultados de produtividade são superiores aos simulados com os dados do HadRM3. As produ-

tividades registadas com os dados dos cenários A2 e B2 são muito próximas, com uma diferença média de 20 kg/ha.

10.6.3 Rega

O sector agrícola é um importante consumidor de água e as produtividades alcançadas pelas culturas de regadio dependem da existência de águas subterrâneas ou de água de reservas hídricas. Neste estudo estimou-se a variação das necessidades de rega nos cenários climáticos. Esta análise foi realizada para as culturas de milho e de arroz, considerando que a rega seria aplicada, nas condições actuais e futuras, sem limitações.

10.6.3.1 Milho

Os concelhos localizados no Sul e na zona interior do vale do Sado são os que requerem maiores consumos de água. Nos cenários de aquecimento, o concelho de Évora é aquele que regista um maior acréscimo no consumo de água (22 %, dados HadRM2), verificando-se uma redução do gradiente Norte-Sul das necessidades de água, consequência dos maiores aumentos das necessidades de rega nos concelhos a

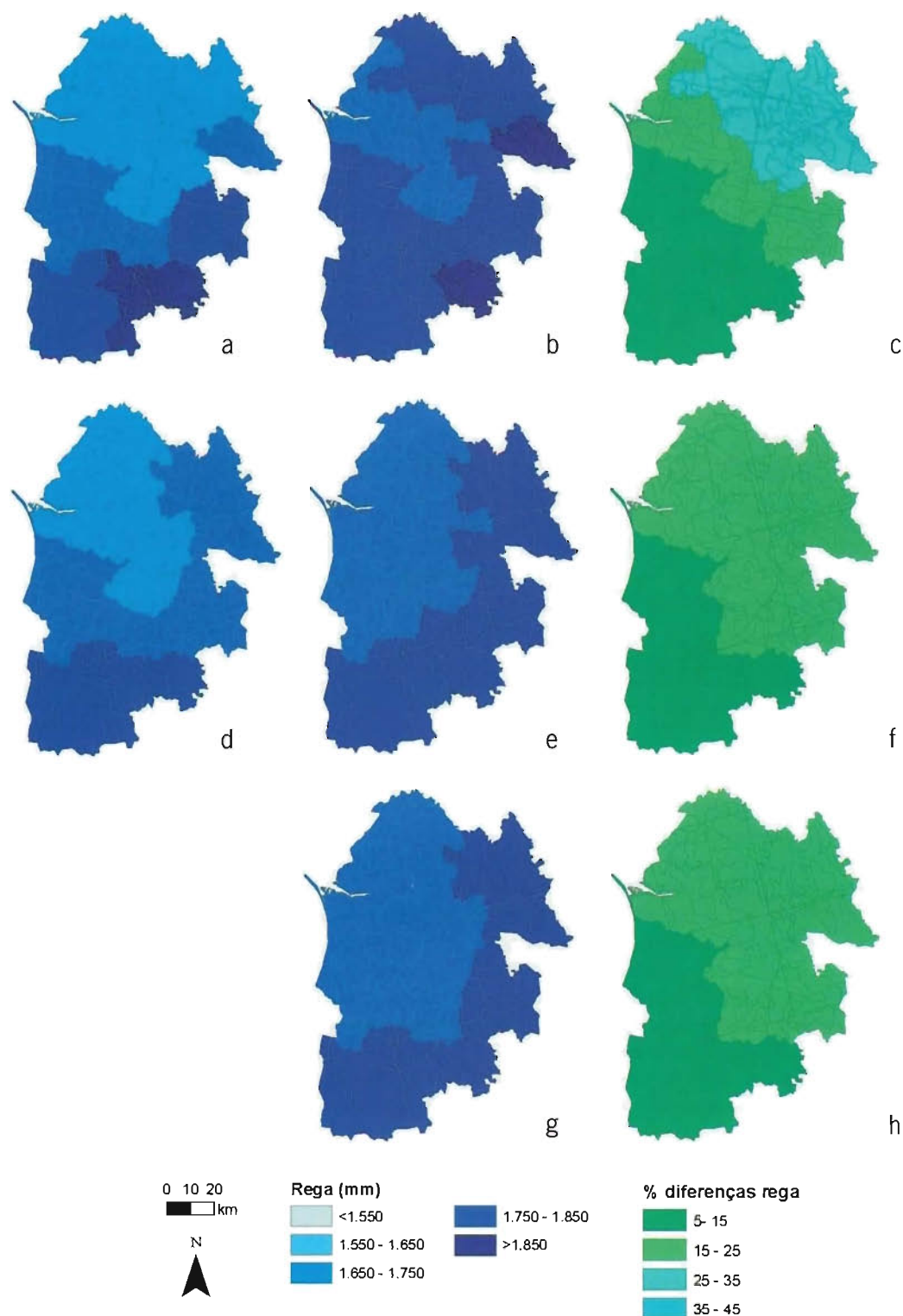


Figura 10.31 – Volume de rega estimado para a cultura de milho: para a situação actual com os dados climáticos dos modelos HadRM2 (a) e HadRM3 (d); para a situação futura com os dados climáticos dos modelos HadRM2 (b) e HadRM3 – cenários A2 (c) e B2 (g); e diferenças entre futuro e actual com os dados climáticos dos modelos HadRM2 (e) e HadRM3 – cenários A2 (f) e B2 (h)

norte. No caso dos cenários A2 e B2, simulados pelo modelo HadRM3, as variações das necessidades de rega são mais modestas, entre -0.8 a 11 %, sendo menos importantes no cenário B2 do que no cenário A2. O concelho de Odeneira é o único que apresenta um decréscimo das necessidades de rega com os dados de ambos os cenários (Figura 10.31).

10.6.3.2 Arroz

No caso da cultura do arroz, tal como na cultura do milho, os concelhos mais interiores e a sul do vale do Sado são os que requerem maiores consumos de água. Todavia, é de realçar que os volumes de rega da cultura do arroz foram superiores aos aplicados na cultura do milho. Os maiores consumos na cultura do arroz justificam-se pela existência permanente ou frequente de uma lâmina de água de altura variável sobre a superfície do solo, disponibilizando água para a evaporação. De facto, o método de rega no arroz é o de alagamento permanente ou semipermanente. Este método tem uma eficiência de rega muito baixa, embora a sua utilização se prenda mais com a necessidade de termorregulação do que com a estrita cobertura das necessidades hídricas da cultura. Por isso, quer o consumo de água na situação presente quer o consumo de água no cenário futuro não são estimativas fiáveis, uma vez que a quantidade de água efectivamente utilizada é bastante maior, o que dificulta as estimativas da variação de consumo. As distribuições das necessidades de rega são apresentadas na Figura 10.32, tendo as necessidades de rega estimadas pelo modelo CERES-Rice sido corrigidas, por adição de 1000 mm, a fim de incluir o efeito da lâmina de água e a ineficiência do método de rega.

Com os dados HadRM2-IS92a nota-se um aumento das necessidades de água em todos os concelhos, em especial no concelho de Évora (43 %), onde também se registou o maior aumento das necessidades de rega no caso do milho. Os dados HadRM3 (A2 e B2) são igualmente responsáveis por acréscimos do consumo de água em todos os concelhos. Ao comparar os dois cenários constata-se que os aumentos são menores no cenário B2, sendo em ambos os cenários mais acentuados nos concelhos do Norte.

10.6.4 Medidas de Adaptação

Todos os anos os agricultores têm que decidir quando, onde e quais as culturas anuais que devem ser semeadas. Num contexto de alterações climáticas, numa primeira análise, as ferramentas a utilizar podem ser as que os agricultores actualmente já consideram no planeamento da sua actividade (Pinto *et al.*, 2002).

O principal objectivo da tomada de medidas de adaptação será evitar o *stress* hídrico e o *stress* térmico (Pinto *et al.*, 2002). De facto, a principal conclusão que se retira dos resultados nas secções anteriores é que a redução da duração das culturas está intimamente relacionada com um decréscimo de produtividade. No caso do trigo e das pastagens, culturas de sequeiro, o objectivo será assegurar que as plantas se desenvolvam num período em que as culturas não estejam em *stress* hídrico, ou seja, se possível um período em que a precipitação e água do solo sejam suficientes para a evapotranspiração. No caso do milho e do arroz, culturas de Primavera-Verão, o encurtamento da cultura relaciona-se com uma aceleração da satisfação das suas necessidades térmicas e radiativas, tendo sido o *stress* hídrico compensado uma vez que a rega foi aplicada sem limitações. O valor a pagar, em termos de rega acrescida, foi calculado na secção anterior.

No futuro, os agricultores irão reagir de forma dinâmica às mudanças climáticas. A alteração da data de sementeira será uma das respostas mais imediatas. A vantagem da mudança da data de sementeira será utilizar dias mais amenos e evitar temperaturas elevadas durante o período de enchimento do grão (Rosenzweig *et al.*, 1998).

Para todas as culturas consideradas, a mudança da data de sementeira poderá ser uma medida capaz de prolongar o período de tempo em que as culturas estão no campo, aumentando a produtividade. Para além da alteração da data de sementeira, especialmente para as culturas de Primavera-Verão, a utilização de cultivares de ciclo longo capazes de aproveitarem as condições climáticas futuras poderá também evitar o encurtamento da duração das culturas, e consequentemente o decréscimo futuro de produtividade. Esta última medida não será, no entanto, avaliada neste estudo.

O zero de vegetação, temperatura abaixo da qual o crescimento da planta é inibido, determina a data de sementeira. A germinação apenas ocorre para valores de temperatura do solo superiores ao zero de vegetação (trigo entre 0° a 3 °C; milho entre 9° a 10 °C) (Éliard, 1999). O período entre a sementeira e a germinação é maior e o crescimento das plântulas é retardado quando os valores de temperatura do solo são baixos (Villalobos *et al.*, 2002). Para a generalidade dos concelhos, a Figura 10.33 justifica a mudança de datas de sementeira nos cenários de aquecimento global. Assim, a data de sementeira do trigo, cultura de Outono-Inverno, deverá ser atrasada em relação à data actual. Esta mudança justifica-se porque as temperaturas médias na situação de controlo dos meses de sementeira – Outubro/Novembro ocorrem, na situação futura, um mês mais tarde (Novembro/Dezembro, respectivamente). Embora na maior parte das situações o atraso proporcione melhores resultados, em

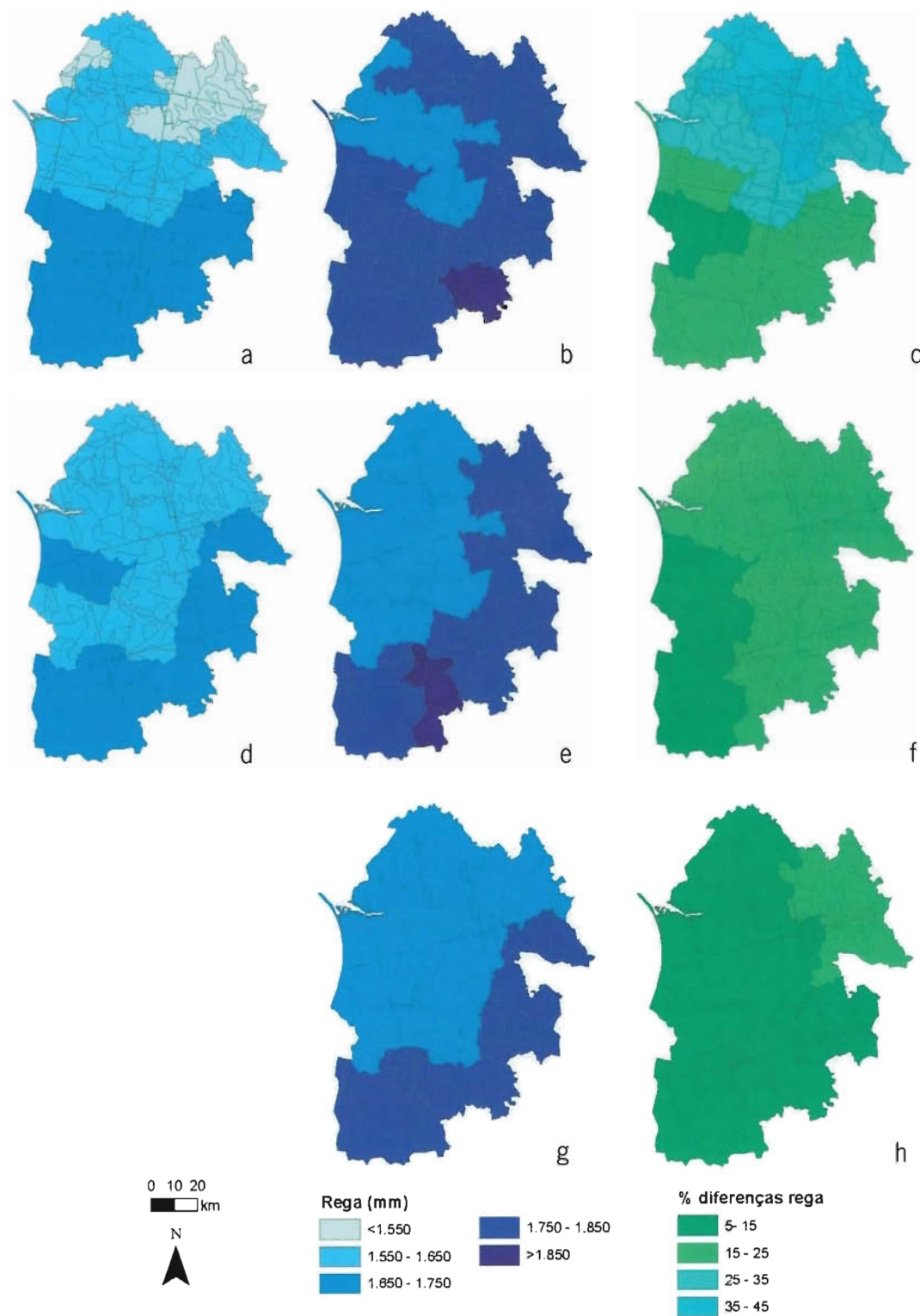


Figura 10.32 – Volume de rega estimado para a cultura do arroz: para a situação actual com os dados climáticos dos modelos HadRM2 (a) e HadRM3 (d), para a situação futura com os dados climáticos dos modelos HadRM2 (c) e HadRM3 – cenários A2 (e) e B2 (g), e diferenças entre futuro e actual com os dados climáticos dos modelos HadRM2 (b) e HadRM3 – cenários A2 (f) e B2 (h)

algumas combinações de solo/clima para a cultura do trigo e nomeadamente para as pastagens (cultura de Outono-Inverno) uma antecipação da data de sementeira implica resultados mais favoráveis.

No caso das culturas de Primavera-Verão (milho), cuja sementeira acontece actualmente entre os meses de Março e Maio, a sementeira deverá ser antecipada no futuro para os primeiros meses do ano, uma vez que as temperaturas nestes meses se aproximam das temperaturas de controlo dos meses de Março a Maio.

O início da estação de crescimento das culturas de Primavera-Verão é definido pelo primeiro mês do ano em que a média das temperaturas mínimas é superior a 7 °C, com uma probabilidade de 80 %. Enquanto que o fim deste período é definido pelo último mês em que, com idêntica probabilidade, a média das temperaturas mínimas é superior a este valor (Faria *et al.*, 1990).

A data de sementeira foi a medida considerada neste estudo de adaptação. Em todas as combinações existentes de solo/

/clima e para as culturas de trigo, milho e pastagens após o cálculo das diferenças entre situação futura e inicial, com os dados das duas versões do modelo climático, alterou-se a data de sementeira unicamente nos casos em que a diferença foi negativa. Depois da escolha das combinações que necessitavam de ser adaptadas, alterou-se a data de sementeira (com atrasos ou adiantamentos sucessivos de 10 dias) até que as diferenças calculadas entre futuro adaptado e futuro não adaptado apresentassem um valor positivo e fossem significativamente diferentes (para um nível de significância de 0,05). Assim, não se tentou maximizar a produtividade adaptada, mas tão-somente verificar a vantagem de realizar adaptação.

Na Tabela 10.16 encontram-se os resultados das produtividades obtidas nas condições actuais, futuras sem e com adaptação, e as diferenças percentuais de produtividade entre a situação futura sem adaptação e o controlo, e situação futura com adaptação e o controlo, para todos os cenários em análise e para as culturas de trigo, milho e pastagens. As medidas de adaptação apenas foram testadas para os dados futuros do HadRM2 (cenário IS92a) e dados HadRM3 no cenário A2.

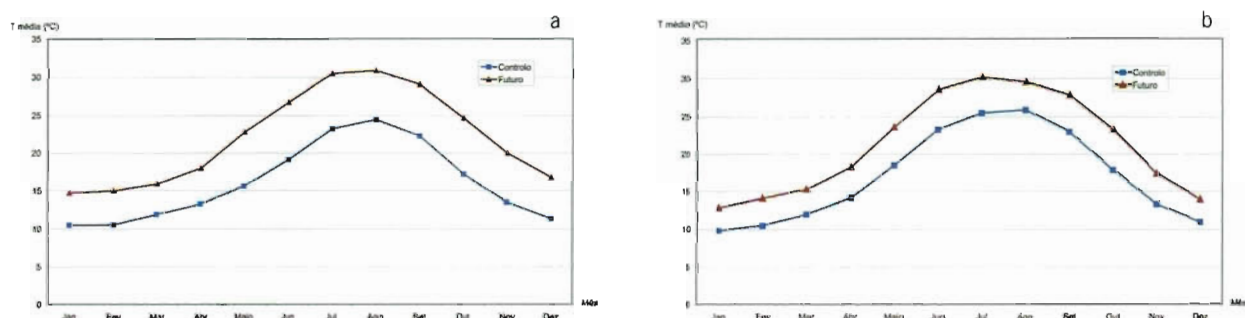


Figura 10.33 Valores da temperatura média mensal estimados para a situação de controlo e futura com o modelo HadRM2 (a) e HadRM3, cenário A2 (b) (para uma célula climática localizada no vale do Sado)

Tabela 10.16 – Resumo dos resultados obtidos para a produtividade média para a situação actual, futura (sem adaptação) e futura com adaptação e diferenças percentuais entre a situação actual e futura (sem adaptação), e situação actual e futura com adaptação para a região do vale do Sado, por cultura e por modelo climático

Cultura		Cenários Climáticos						Diferenças para o actual			
		HadRM2			HadRM3			η_0			
		IS92a		Controlo	A2		Controlo	Não adaptado		Adaptado	
		Não adap.	Adap.		Não adap.	Adap.		RM2 IS92a	Rm3 A2	RM2 IS92a	Rm3 A2
Trigo	$\bar{x}_r, x(\text{kg/ha})$	2506	2219	2554	2835	2562	2682	-11	-10	2	-5
Milho	$\bar{x}_r, x(\text{kg/ha})$	11358	8208	9350	9500	7225	8263	-28	-24	-18	-13
Pastagem	$\bar{x}_r, x(\text{kg/ha})$	3342	3755	3782	3239	3458	3531	12	7	13	9

A data de sementeira indicada para cada concelho é a que corresponde a uma maior área de ocupação.

Neste processo de escolha de melhores datas de sementeira consideraram-se datas-limite, ou seja, a data de sementeira das culturas de Outono-Inverno não será posterior ao dia 25 de Dezembro nem anterior ao dia 2 de Outubro, e a sementeira das culturas de Primavera-Verão não poderá ocorrer antes de dia 1 de Janeiro. Nos casos das culturas de Outono-Inverno em que o atraso da sementeira até dia 25 de Dezembro não conduzi-se a uma diferença significativamente diferente e positiva, testou-se o adiantamento da data. Ao adiantar de 10 em 10 dias (a partir da data de sementeira de dia 15 de Novembro) as datas apenas foram alteradas quando as diferenças entre futuro adaptado e futuro não adaptado passaram a ser positivas ou menos negativas, ou positivas e significati-

vamente diferentes. Em contrapartida, nas situações em que as diferenças observadas foram inferiores às calculadas com atraso de sementeira não se testaram mais datas de sementeira antecipadas, mas considerou-se a data (15 de Novembro ou datas de atraso) que conduziu a um resultado mais favorável.

10.6.4.1 Trigo

No caso do trigo, estudou-se a variação da produtividade quer para atrasos (até 40 dias) da data de sementeira, quer para adiantamentos dessa data. A Figura 10.34 mostra a distribuição das datas de sementeira optimizadas para cada concelho, incluindo atrasos e adiantamentos conforme o caso, e o seu impacto na produtividade simulada. Em geral, a alteração proposta para a data de sementeira traduz-se num aumento da produtividade (Figura 10.34b,e).

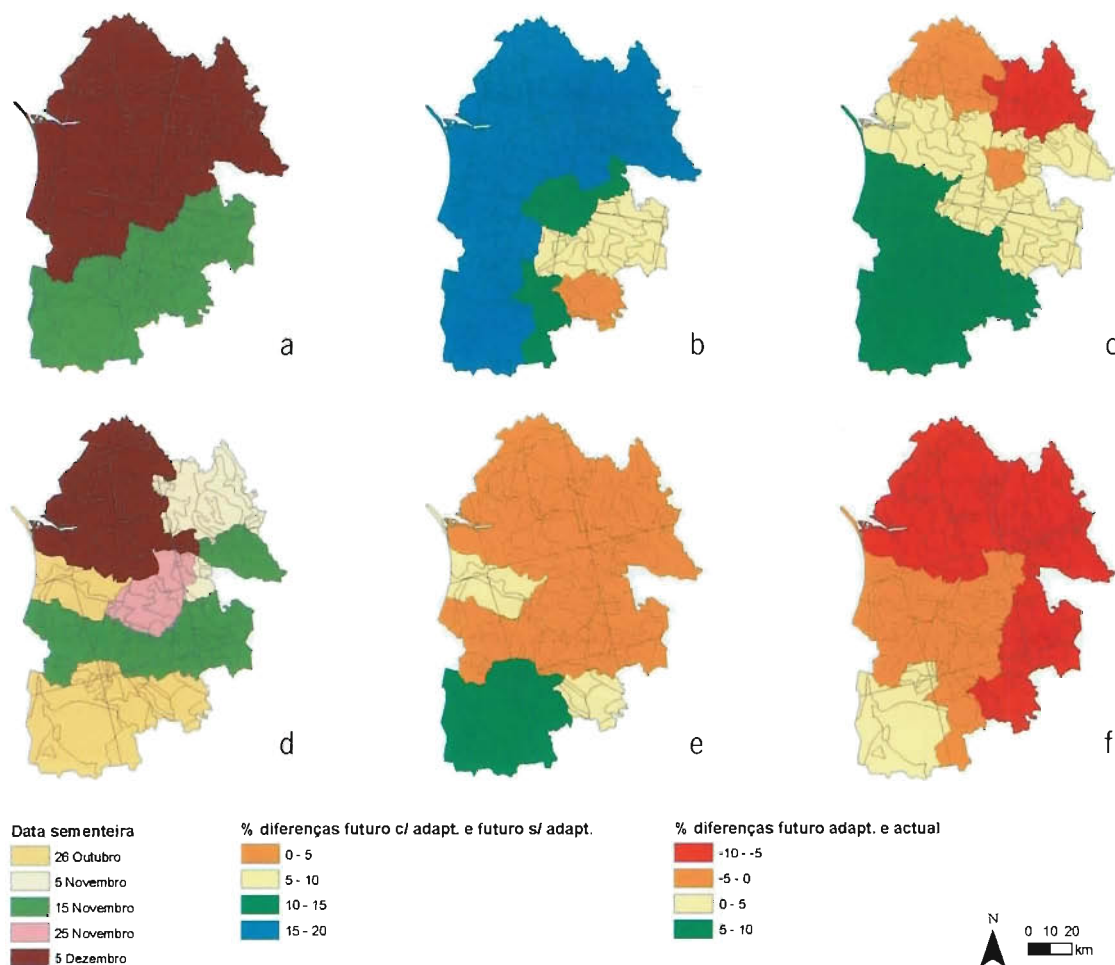


Figura 10.34 – Modificações no desempenho da cultura de trigo por alteração das datas de sementeira. Painel superior: simulações HadRM2-1892a; Painel inferior: simulações HadRM3-A2. Mapas: (a,d) datas de sementeira por concelho; (b,e) ganhos de produtividade devidos à mudança de data de sementeira; (c,f) ganhos de produtividade em relação à situação actual, após mudança de data de sementeira

No caso do cenário HadRM2-IS92a a recuperação de produtividade por adaptação é suficiente para justificar ligeiros aumentos de produtividade em relação à situação de controlo em cerca de 2/3 da bacia, na zona Sul, acompanhados por ligeiras diminuições na região restante, obtendo uma variação ligeiramente positiva (+2 %, Tabela 10.16). No caso do cenário HadRM3-A2, mais desfavorável, a recuperação de produtividade é menor e revela-se insuficiente para compensar as perdas estimadas sem adaptação (Figura 10.34f).

10.6.4.2 Milho

Nas condições actuais definiu-se a data de sementeira do milho no dia 30 de Abril. Nas condições futuras, optou-se por uma estratégia de adiantamento, na tentativa de evitar que a cultura sofresse *stress* térmico na fase final do ciclo

vegetativo. Esta antecipação é permitida porque se prevê no futuro uma redução do risco de geadas no início da Primavera (Pinto *et al.*, 2002).

De facto, em qualquer dos cenários climáticos, a antecipação da sementeira traduziu-se por uma recuperação significativa da produtividade em todos os concelhos (Figura 10.35b, f), justificada por um aumento da duração da cultura entre +22 % (HadRM2-IS92a) e +17 % (HadRM3-A2). Contudo, a importante recuperação de produtividade devida à alteração das datas é claramente insuficiente para compensar as perdas previstas para os cenários não adaptados (Figura 10.35d, h), especialmente no caso do cenário HadRM2-IS92a. No que se refere à rega, a medida de adaptação proposta tem também um impacto positivo, traduzido numa redução das necessidades de água de rega até -10%, em relação aos gastos no cenário futuro não adaptado (Figura 10.35c, g).

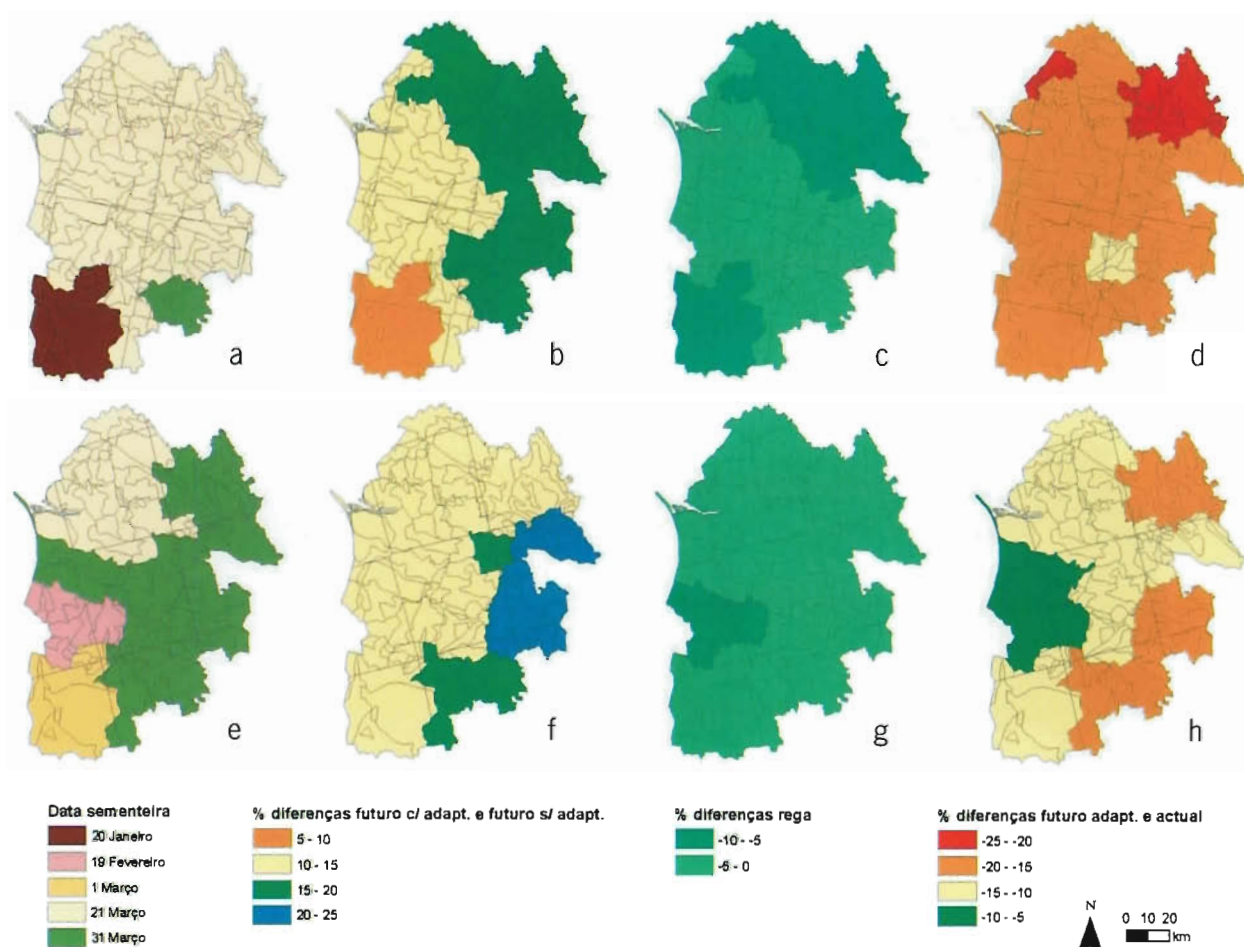


Figura 10.35 – Modificações no desempenho da cultura de milho por alteração das datas de sementeira. Painel superior: simulações HadRM2-IS92a; Painel inferior: simulações HadRM3-A2. Mapas: (a,e) datas de sementeira por concelho; (b,f) ganhos de produtividade devidos à mudança de data de sementeira; (c,g) poupança de água de rega devida à mudança da data de sementeira; (d,h) perdas de produtividade em relação à situação actual, após mudança de data de sementeira

10.6.4.3 Pastagens

No caso das pastagens, as simulações dos cenários sem adaptação já tinham conduzido a aumentos da produtividade simulada (Figura 10.30). Com os dados do cenário A2 do modelo HadRM3 cerca de 27 % das combinações solo/clima apresentam melhorias adicionais da produtividade simulada (até 10 %, consoante os concelhos) mediante antecipação das datas de sementeira entre os 10 e 30 dias. Os resultados agrupados a nível de concelho mostram que para a maior parte dos concelhos a data de sementeira deverá acontecer no dia 1 de Novembro, mas em quatro concelhos a data de sementeira deverá acontecer preferencialmente no dia 22 de Outubro (Figura 10.36d). As diferenças entre futuro adaptado e não adaptado apesar de serem todas positivas são, em algumas situações, não significativas (Figura 10.36b,e). Com

a antecipação da data de sementeira a cultura prolongou o tempo em que esteve no campo, uma vez que a data de colheita considerada foi idêntica à estabelecida para as condições actuais mas a data de sementeira foi antecipada até ao máximo de 30 dias.

10.6.5 Conclusões

Na região do vale do Sado as pastagens são as únicas culturas estudadas que apresentam um aumento generalizado da produtividade simulada nos cenários futuros considerados. Pelo contrário, para o trigo, milho e arroz estima-se um decréscimo de produção de grão por unidade de área. Nestes casos, a aceleração do ciclo vegetativo, responsável por uma diminuição do período fotossintético, conduz à diminuição

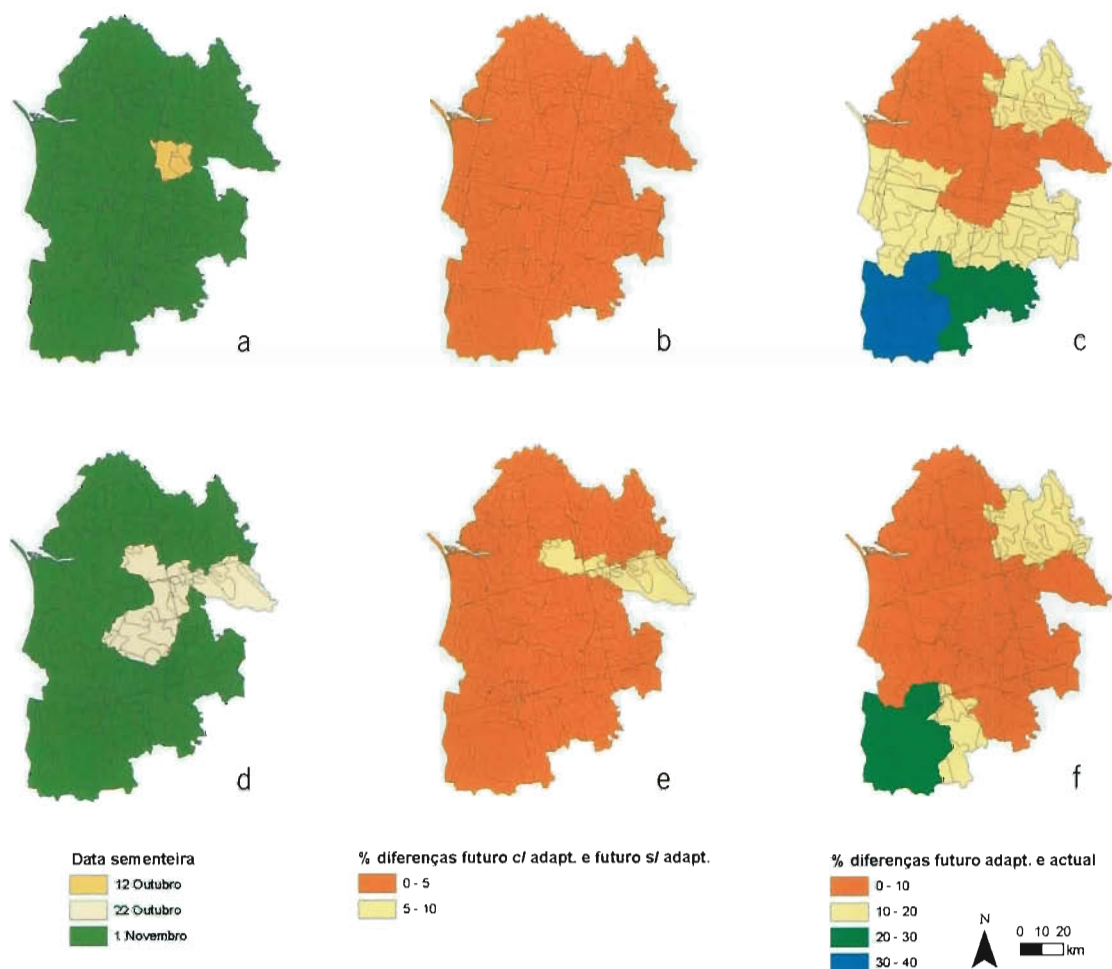


Figura 10.36 – Modificações no desempenho da cultura de pastagens por alteração das datas de sementeira. Painel superior: simulações HadRM2-IS92a; Painel inferior: simulações HadRM3-A2. Mapas: (a,d) datas de sementeira por concelho; (b,e) ganhos de produtividade devidos à mudança de data de sementeira; (c,f) ganhos de produtividade em relação à situação actual, após mudança de data de sementeira

da produtividade. Para as culturas de Primavera-Verão o decréscimo de produtividade é mais acentuado no cenário A2 do que no cenário B2 do modelo HadRM3 (Tabela 10.4), enquanto que o contrário se verifica nas culturas de Outono-Inverno. Em relação à situação de controlo, a variação assumida das variáveis climáticas é menos drástica no cenário B2 do que no A2.

Nas simulações apresentadas encontraram-se diferenças sistemáticas entre os resultados obtidos com os dados do modelo HadRM2 e do modelo HadRM3. Na situação de controlo, representativa do clima actual, essas diferenças são totalmente devidas a diferenças de formulação dos modelos, traduzidas, no HadRM2, por Invernos ligeiramente mais quentes e Verões ligeiramente mais frios que o observado, e no HadRM3, por Invernos ligeiramente mais frios e Verões ligeiramente mais quentes que o observado. Em consequência destas diferenças sistemáticas, simulam-se com o HadRM2 produtividades mais elevadas para as culturas de regadio e pastagens, e mais baixas para a cultura de trigo. Os dois modelos apresentam também diferenças sistemáticas no que se refere à precipitação, exageradamente reduzida no cenário de controlo do HadRM3, que no entanto foram corrigidas estatisticamente.

Os consumos de água na situação actual e futura são mais elevados para a cultura do arroz do que para o milho. Os aumentos são superiores para o arroz, mas há um comportamento semelhante da distribuição espacial dos concelhos mais e menos gastadores. Este maior aumento de rega na cultura do arroz não significa que as necessidades do arroz serão superiores às do milho nos cenários futuros, uma vez que a aplicação de água no arroz por alagamento não se restringe à satisfação das exigências hídricas como se explicou anteriormente (10.6.3).

Nas simulações de milho e pastagens mostrou-se ser possível melhorar as produtividades futuras de forma significativa, mediante alteração das datas de sementeira. No entanto, quando se compara a situação actual com os cenários futuros, as melhorias de produtividade do milho são insuficientes para compensar as perdas resultantes da mudança climática. As consequências da alteração das datas de sementeira do trigo não foram tão claras, tendo-se obtido recuperações significativas de produtividade num dos cenários (HadRM2-IS92a) mas não no outro (HadRM3-A2).

A data de sementeira é uma das possíveis medidas de adaptação. Este estudo indica que ela deverá ser considerada seriamente, visto ser possível em muitos casos limitar as perdas de produtividade associadas à mudança climática. Por outro lado, os resultados apresentados mostram a necessidade de esta variável ser considerada a uma escala da mancha de solo

e dos dados climáticos. Em trabalhos futuros deverão considerar-se outras medidas, nomeadamente o recurso a culturas melhor adaptadas às condições climáticas futuras.

10.7 FLORESTAS

10.7.1 Floresta no Vale do Sado

A floresta da bacia do Sado (Figura 10.37) é fundamentalmente representada pelo sobreiro que ocupa mais de metade da superfície total florestal da área. Segue-se a azinheira com 18 % e o pinheiro-bravo, pinheiro-manso e eucalipto com percentagens de área variando entre os 8 e 18 %. A área de outra floresta de folhosas e resinosas é inferior a 1 % da área total de floresta da bacia.

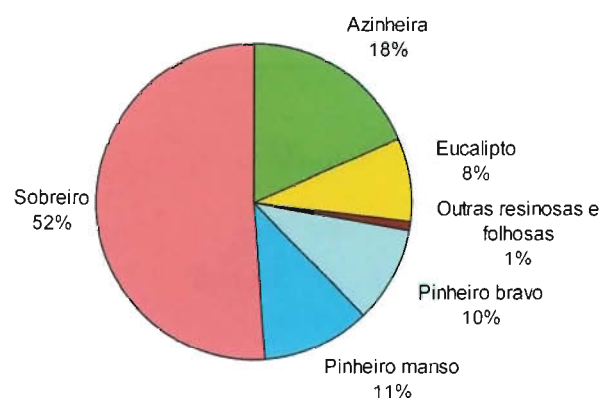


Figura 10.37 – Principais espécies florestais na bacia do Sado (valores em % de área florestal)

Tabela 10.17 – Valor dos produtos florestais na produção (DGF, 2003)

	€ m ⁻¹	€ kg ⁻¹
Madeira de eucalipto	21,72	-
Madeira de pinheiro	32,48	-
Cortiça	-	2,91
Cortiça (custo de extração)	-	0,24
Cortiça (total)	-	2,67

Pode-se estimar, com base no Sistema de Informação de Cotações de Produtos Florestais na Produção (DGF, 2003, Tabela 10.17), um valor potencial da floresta na bacia do Sado em cerca de 26,5 milhões de euros por ano. Este é um valor de referência, baseado na produtividade do pinhei-

ro-bravo e eucalipto em volume de madeira e na produtividade do sobreiro em acréscimo de diâmetro. Das várias fontes de incerteza destacam-se as que tendem a sobrestimar a produtividade, nomeadamente a definição dos solos, a forma de cálculo não ter em conta nem as diferentes qualidades de produtos, nem as perdas devido a fogos, ataques por pragas e doenças ou opções de gestão.

Tabela 10.18 – Valor estimado da floresta na bacia do Sado por espécie

	Área (ha)	Valor médio (€/ha ¹ .ano ⁻¹)	Valor total (€/ano ⁻¹)
Sobreiro	191 594	1308,94	250 785 050
Pinheiro-bravo	43 993	216,46	106 05 025
Eucalipto	31 652	209,06	6 617 167
Total	—	—	265 441 428

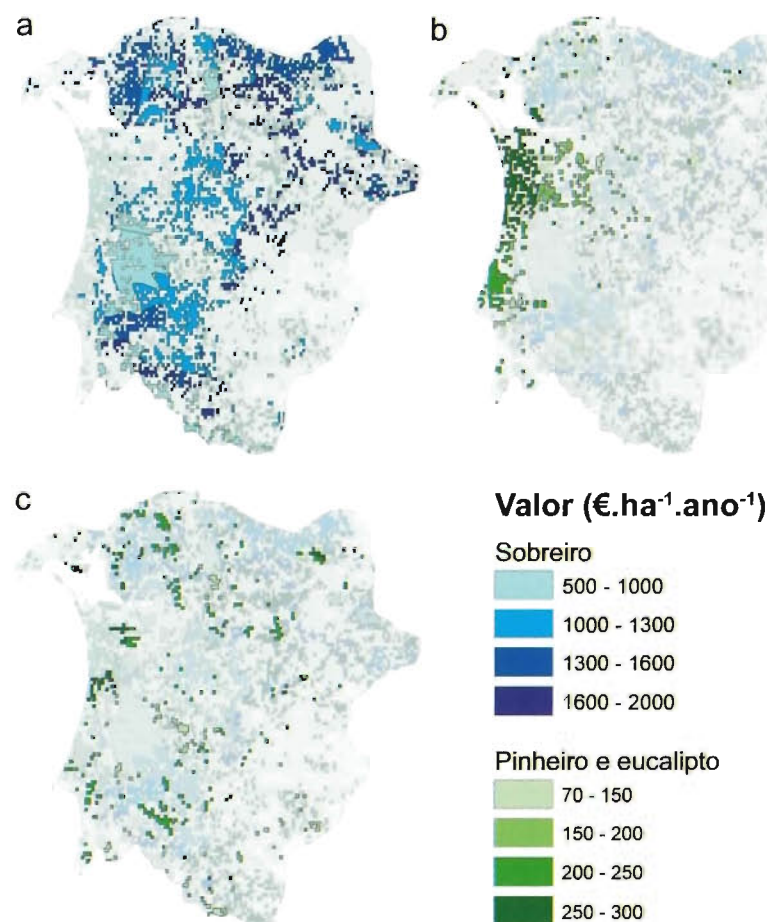


Figura 10.38 – Valor monetário estimado da floresta na bacia do Sado (€/ha¹.ano⁻¹): a) sobreiro; b) pinheiro-bravo; c) eucalipto.

A Figura 10.38 mostra a distribuição espacial do valor monetário da floresta para cada espécie. Embora o padrão seja semelhante ao da PPL, podendo observar-se os mesmos gradientes Norte-Sul e Oeste-Este, e a variação devida aos diferentes solos numa mesma zona climática, é interessante verificar que não há uma correspondência exacta entre a Figura 10.38 e a Figura 10.39. A variação da proporção da PPL que é investida na formação de lenho do tronco condiciona a produtividade deste órgão, explicando as diferenças observadas.

10.7.2 Metodologia

A análise dos impactos das alterações climáticas na floresta da bacia do Sado baseou-se em simulações realizadas com o modelo de base processual GOTILWA+, à semelhança da análise realizada para Portugal Continental. O Gotilwa+ é um modelo mecanístico/determinístico para povoamentos florestais monoespecíficos (Growth of Trees Is Limited by Water) desenvolvido pela Universidade de Barcelona no CREAM (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, <http://www.creaf.uab.es>). Trata-se de um modelo que simula os processos de crescimento da floresta e explora como estes podem ser influenciados pelo clima, estrutura do povoamento, técnicas de gestão, características do solo e alterações climáticas. Este modelo tem sido usado para explorar a resposta de diferentes florestas à disponibilidade de água em regiões mediterrânicas e zonas áridas e semiáridas, o efeito das alterações climáticas na dinâmica da floresta, nos fluxos de carbono e o efeito da gestão nos stocks e fluxos de carbono. Sendo um modelo baseado em processos, é muito exigente em parâmetros fisiológicos dos povoamentos em estudo.

As espécies simuladas foram o pinheiro-bravo, o eucalipto e o sobreiro. Não foi possível estudar a azinheira e o pinheiro-mansinho por falta de dados relativos à fisiologia e aos sistemas de produção.

Os dados climáticos disponíveis para este estudo têm uma resolução espacial de cerca de 50x50 km. Os resultados apresentam uma muito maior resolução espacial, devida ao detalhe permitido pela Carta dos Solos de

Portugal (Atlas do Ambiente Digital - DGA). Para cada tipo de solo da bacia do Sado foi simulada a produtividade da floresta sob a influência dos cenários climáticos HadRM2.

A Carta dos Solos de Portugal consiste de Unidades Pedológicas, segundo o esquema da FAO, representadas por manchas de unidades pedológicas dominantes. Pela sua escala (1:1 000 000), é adequada para uma análise a nível regional, mas não permite distinguir as variações das características dos solos dentro de uma mesma unidade pedológica.

10.7.2.1 Eucalipto

O modelo de gestão adoptado para o eucalipto consiste em exploração em revolução curta (apenas 1.ª rotação) de 12 anos, com uma densidade inicial de 1200 árvores por hectare. Utilizou-se a mesma parametrização do estudo para Portugal Continental. A produtividade foi avaliada através da média do período simulado apresentando-se os resultados da Produtividade Primária Líquida e do valor em euros correspondente ao acréscimo de volume de madeira.

10.7.2.2 Pinheiro-Bravo

O modelo de gestão adoptado foi o de exploração em regime de alto fuste, iniciando-se a simulação com uma densidade de 639 árvores por hectare, a que corresponde um diâmetro médio (a 1,3 m do solo) de 20 cm. Realizam-se desbastes a cada 10 anos, reduzindo-se a densidade para 500 árvores por hectare no primeiro desbaste e para 400 árvores por hectare no segundo. No cenário climático futuro (HadRM2-1S92a) apenas foi simulado o primeiro desbaste por a série de dados ser apenas de 19 anos, o que não permite avaliar o efeito desta intervenção. Nos restantes cenários climáticos foram simulados dois desbastes, desde que os povoamentos sobrevivissem.

A produtividade foi avaliada através da média do período simulado, apresentando-se os resultados da Produtividade Primária Líquida e do valor em euros correspondente ao acréscimo de volume de madeira do povoamento principal, ou seja, excluindo o volume retirado em desbaste.

10.7.2.3 Sobreiro

A avaliação da produtividade do sobreiro baseou-se no crescimento de um povoamento com 90 árvores por hectare e com um diâmetro médio (a 1,3 m do solo) de 32 cm (circunferência à altura do peito de 1 m). O modelo GOTILWA+ não permite simular o crescimento de cortiça, nem o descorticação, pelo que a produção de cortiça foi estimada a partir do diâmetro

das árvores, recorrendo-se à seguinte equação (Ribeiro e Tomé, 1999), que estima a produção num ciclo de 9 anos:

$$\ln(\text{peso}) = 3.0071 + 2.0039 \cdot \ln(\text{CAP})$$

$\text{CAP} = \text{circunferência à altura do peito sem cortiça}$

A produtividade foi avaliada através da média do período simulado, apresentando-se os resultados da Produtividade Primária Líquida e do valor da cortiça em euros. O valor da cortiça corresponde a um ciclo de produção de 9 anos, ou seja, não se contabiliza o período que a árvore precisa para entrar em plena produção (cerca de 15 anos para a primeira extração de cortiça de reprodução).

10.7.3 Resultados

10.7.3.1 Resultados Obtidos com Dados Climáticos do Modelo HadRM2 – Produtividade Actual (Cenário de Controlo HadRM2)

A Figura 10.39 mostra a Produtividade Primária Líquida (PPL) potencial estimada para a bacia do Sado, para a área florestal da 3.ª Revisão do Inventário Florestal Nacional (DGF, 2001) com o cenário climático de controlo do modelo HadRM2. Como se pode observar nas Figuras b), c) e d) a espécie mais importante é o sobreiro, seguindo-se o pinheiro-bravo e o eucalipto. Quanto à produtividade, são o eucalipto e o pinheiro-bravo que apresentam uma PPL mais elevada, o que está relacionado não só com a fisiologia das espécies mas também com a densidade aqui considerada.

A PPL varia fundamentalmente com a precipitação, havendo um gradiente Norte-Sul e Oeste-Este, e com a fertilidade do solo (aqui a fertilidade refere-se apenas à capacidade de armazenamento de água, uma vez que o modelo GOTILWA+ não simula os ciclos de nutrientes).

10.7.3.2 Produtividade Futura (Cenário Futuro HadRM2)

A Figura 10.40 mostra o impacto das alterações climáticas na PPL da floresta da bacia do Sado. A diminuição da PPL é extremamente elevada para todas as espécies, indicando claramente uma tendência para a degradação da floresta nesta região. Embora o aumento da temperatura permita atingir maiores taxas fotossintéticas no Inverno, quando existe maior quantidade de água disponível no solo, este aumento da produtividade não é suficiente para compensar o prolongamento do período de secura, resultando num saldo anual negativo. Verifica-se que o factor determinante para a produtividade neste cenário climático é a disponibilidade

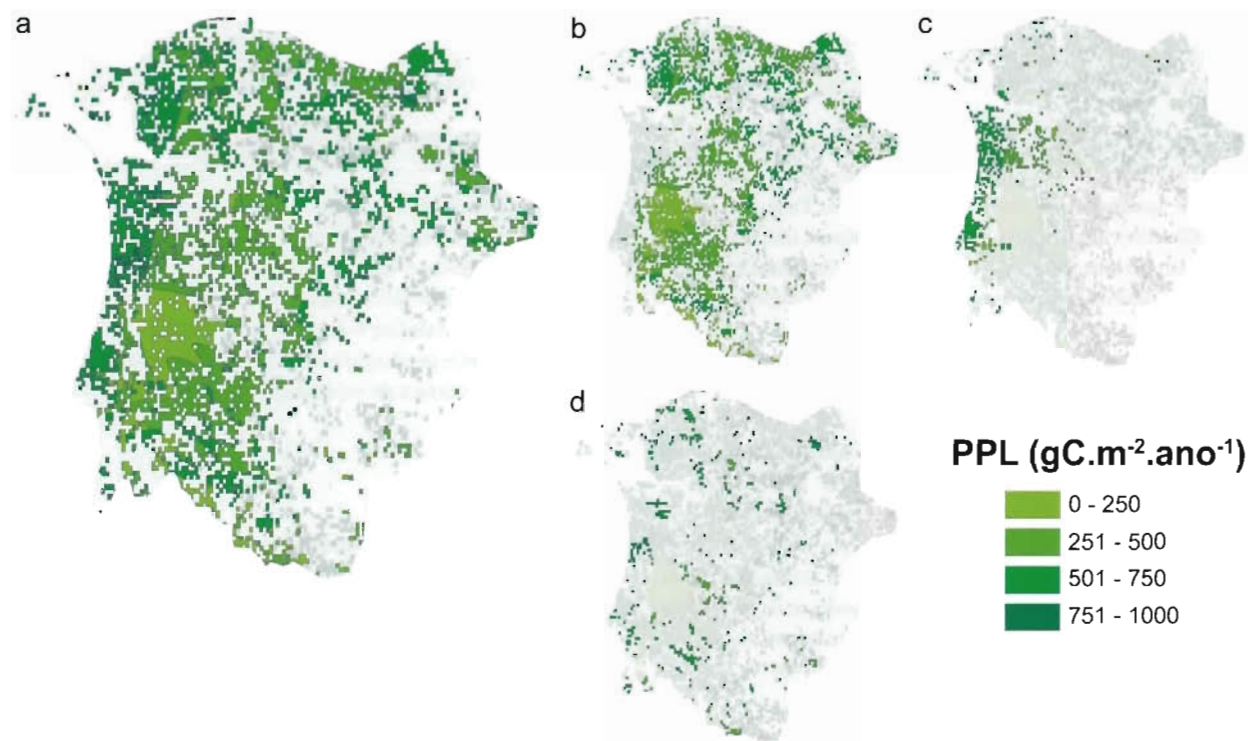


Figura 10.39 Produtividade Primária Líquida da floresta na bacia do Sado – pinheiro-bravo, eucalipto e sobreiro ($\text{gC.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$) sob o clima actual do modelo HadRM2: a) todas as espécies; b) sobreiro; c) pinheiro-bravo; d) eucalipto

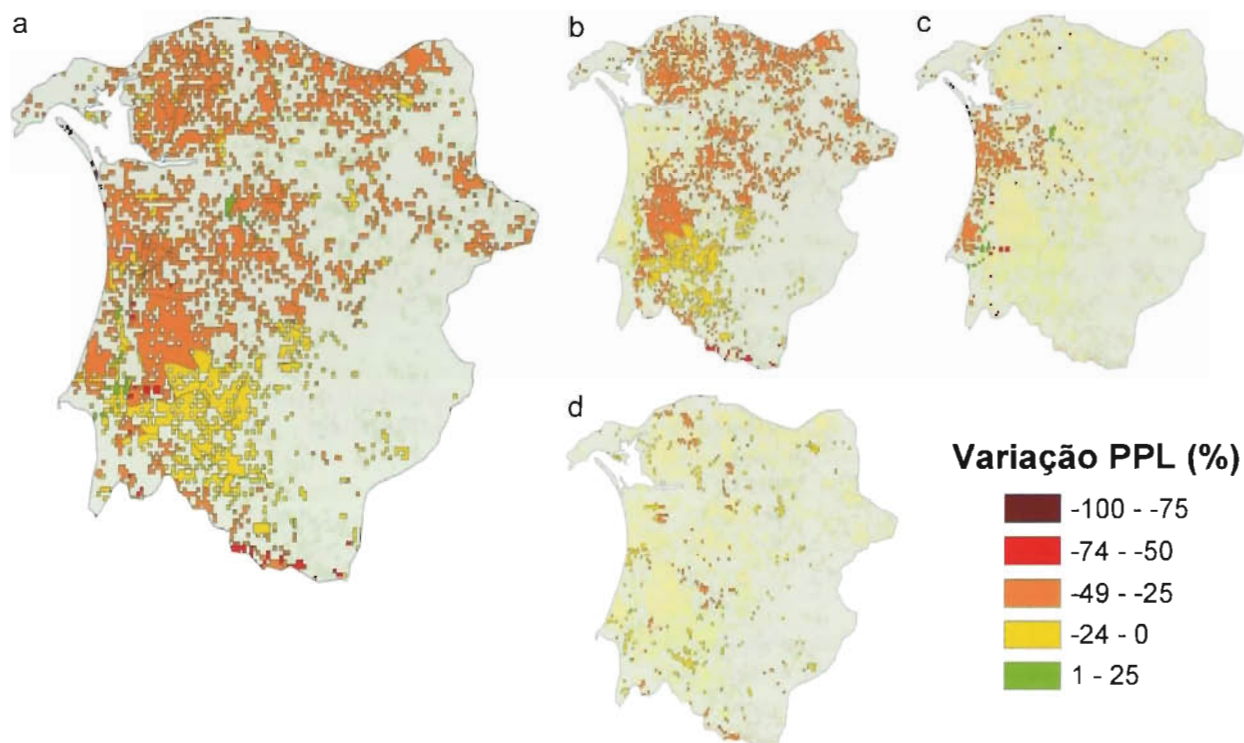


Figura 10.40 Diminuição da PPL na bacia do Sado (% do cenário de controlo) sob o clima do modelo HadRM2: a) todas as espécies; b) sobreiro; c) pinheiro-bravo; d) eucalipto

de água no solo. As maiores quebras de produtividade ocorrem nos solos de reduzida capacidade de retenção de água, enquanto que as perdas são mais moderadas nos solos de melhores características.

A PPL do sobreiro sofre um decréscimo acentuado em toda a área, de 25 a 50 % no Norte e de 0 a 25 % no Sul. Esta diferença deve-se à distribuição da precipitação, que é mais favorável no Sul, que no Norte. As quebras de produtividade mais acentuadas (50-100 %) devem-se essencialmente às características dos solos. Estes resultados apontam para um aumento importante do *stress* hídrico no futuro, que poderá ultrapassar o limite fisiológico de sobrevivência do sobreiro. Um outro factor a ter em conta é a capacidade de regeneração do montado. É provável que esta se torne ainda mais problemática que na actualidade, pois o período de secura aumenta tanto em extensão como em intensidade. Lembrando que na actualidade taxas de insucesso superiores a 50 % na regeneração com sobreiro não são inconituas, um cenário provável será o progressivo desaparecimento do montado por morte dos exemplares adultos e falta de regeneração. No que diz respeito à produção de cortiça, é provável que deixe de ser viável devido ao *stress* acrescido que a tiragem de cortiça representa.

O pinheiro-bravo sofre uma redução da PPL entre 25 a 50 % na generalidade da área. Esta diminuição pode ser ainda mais severa no caso dos solos muito pobres, como é o caso das dumas da península de Tróia, mas também se verificam aumentos ligeiros de PPL nos solos de maior capacidade de retenção de água. Saliente-se que a produtividade em lenho sofre sempre uma redução maior que em PPL, dado que o aumento da aridez implica um maior investimento em folhas e raízes, em detrimento do lenho.

O eucalipto sofre uma diminuição da PPL de 0 a 50 %, cuja variação depende fundamentalmente das características dos solos. Note-se que no caso do eucalipto a duração da simulação é menor (12 anos) que para as outras espécies, o que causa uma sobrestimação da PPL.

10.7.4 Conclusões

O impacto das alterações climáticas do cenário HadRM2 na floresta da bacia do Sado é bastante severo, pondo em questão a rentabilidade da floresta de produção, tal como existe nos dias de hoje. No que diz respeito às espécies madeiras (pinheiro e eucalipto), é evidente que, sob as condições deste cenário climático, deixarão de ter qualquer interesse económico.

O declínio do montado irá aumentar necessariamente sob um clima mais severo, podendo eventualmente conduzir ao

desaparecimento do montado em parte da sua área actual. O *stress* do descortiçamento poderá também contribuir para incrementar a mortalidade desta espécie. A sua viabilidade poderá reduzir-se às zonas com maior disponibilidade de água, como as encostas expostas a norte, zonas de solos profundos e com acesso ao lençol freático. É de realçar que os impactos calculados para os recursos hídricos subterrâneos apontam para um decréscimo de cerca de 20 % na recarga anual média (Figura 10.22) e também para um decréscimo no nível dos piezómetros, o que pode acentuar ainda mais os impactos negativos.

A regeneração do sobreiro e azinheira tornar-se-á provavelmente ainda mais problemática que no presente, à medida que o clima se torna mais severo. As plantas jovens poderão estar sujeitas a um maior *stress*, criando dificuldades acrescidas ao seu estabelecimento. Nas zonas mais secas é provável que estas dificuldades se façam sentir com maior intensidade, devendo as soluções para a arborização contemplar a utilização de espécies e/ou variedades com alta tolerância à secura, provenientes de programas de melhoramento genético ou espécies exóticas de regiões semiáridas.

A severidade do impacto das alterações climáticas na floresta da bacia do Sado é tal que não parece possível a existência de floresta de produção tal como existe nos dias de hoje. As espécies madeiras (o eucalipto e o pinheiro-bravo) serão as mais afectadas, pela sua maior exigência em água, sendo provável que deixem de ser viáveis, quer do ponto de vista económico, quer do biológico.

Outros impactos indirectos, como os incêndios florestais, cujo risco de ocorrência poderá aumentar drasticamente, poderão sobrepor-se aos impactos directos. Dado o longo ciclo de vida da floresta, a recorrência de eventos extremos, tais como períodos de secura prolongados ou fogos florestais de grande intensidade, poderão contribuir para acelerar a degradação da floresta e causar graves danos, mesmo em cenários de alteração climática menos severos que os utilizados no presente estudo. Acresce ainda que o aumento do risco de ocorrência de eventos catastróficos constituirá, sem dúvida, um forte desincentivo ao investimento por parte dos proprietários, o que poderá acentuar a tendência para a degradação dos espaços florestais.

10.8 ZONAS COSTEIRAS

10.8.1 Hidrodinâmica do Rio Sado

No estuário do Sado, as marés são semidiurnas e regulares. O estuário é do tipo mesotidal-elevado: na embocadura as amplitudes variam de 1,3 m em águas mortas a 3,5 m em

águas vivas, com máximo de 3,9 m (Instituto Hidrográfico, 2002). A amplitude de maré eleva-se para o interior do estuário, alcançando a preia-mar de águas vivas (PMAV) 3,99 m junto à Herdade do Pinheiro e 4,14 m em Montalvo, contra 3,63 m no Outão e 3,71 m junto à Setenave (Carta Hidrográfica 82 de 1961 do Instituto Hidrográfico). Para montante de Montalvo a amplitude amortece significativamente (PMAV médio 3,64 m em Alcácer do Sal) e continua a diminuir, embora o limite da maré dinâmica ocorra 25 km para montante (Vale e Sundby, 1982). Os atrasos na estofa de PM relativamente à mesma fase no Outão são também crescentes para o interior do estuário, da ordem de 40 min. na Herdade do Pinheiro, 1 h em Montalvo e 1 h 10 min. em Alcácer. O prisma de maré viva na embocadura ascende a $3,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ e o de maré média orçará pela metade desse valor.

Face ao reduzido caudal do rio a influência do oceano é preponderante no estuário. O escoamento é forçado principalmente pela maré, ocorrendo normalmente a mistura de águas apenas na zona superior do estuário.

Segundo Wollast (1978), a zona entre a Setenave e a ilha do Cavalo, com salinidades de 31 a 33,5 ‰ (Verão), comporta-se como uma zona tampão, separando duas áreas do estuário com características diferentes (Figuras 10.2 e 10.3): o baixo estuário (a jusante) caracteriza-se por um forte gradiente da temperatura e um fraco gradiente da salinidade, evidenciando carácter mais marinho; no alto estuário (a montante), observa-se fraco gradiente da temperatura e forte gradiente de salinidade, indicando maior influência fluvial. Os baixo e alto estuários são separados por uma zona com fronteiras difusas que varia de posição com as condições ambientais, nomeadamente o caudal fluvial.

Âmbar *et al.* (1982) classificaram o estuário como fracamente estratificado no diagrama de Hansen e Rattray, usando dados de 1978, obtidos em período de fraco caudal. A tendência para a estratificação é maior no canal Sul do que no Norte e apenas no canal de Alcácer a estratificação é significativa e persistente (Wollast, 1978; INAG, 2001). Habitualmente, o restante estuário é quase homogénico na vertical, estratificando em circunstâncias especiais de cheia ou baixa-mar. A salinidade média é de 30 ‰, podendo atingir um gradiente transversal de 2 ‰ (INAG, 2001).

De acordo com Âmbar *et al.* (1982) existe acentuada assimetria dos regimes de propagação da maré nos canais Sul e Norte. O canal Sul, mais profundo, apresenta correntes de maior intensidade e escoas maiores caudais. O canal Norte reage mais rapidamente à transição da vazante para a enchente, invertendo correntes na estofa de baixa-mar no Outão enquanto o canal Sul se mantém ainda em vazante.

A referida assimetria é também marcada pelo campo de correntes residuais integradas na vertical, que são de jusante para montante no canal Norte e em sentido inverso no canal Sul.

O baixo estuário é dominado por dois vórtices residuais (Martins, 1999; Martins *et al.*, 2000; MARETEC, 2001): um vórtice ciclónico, localizado na zona central do estuário e um vórtice anticiclónico a jusante (Figura 10.41). Este segundo vórtice, melhor definido e mais intenso, sugere uma circulação preferencial pelo Norte durante a enchente e pelo Sul durante a vazante. Para o exterior do estuário o campo de correntes residuais é dominado por um forte jacto de vazante ao longo do canal de acesso e por dois vórtices adjacentes, sobre os bancos arenosos da Figueirinha e do Cambalhão, com sentidos anticiclónico e ciclónico, respectivamente.

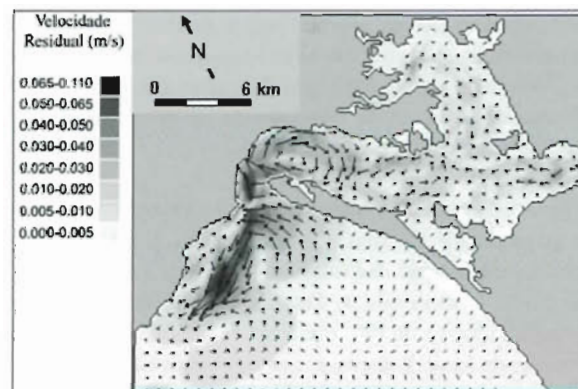


Figura 10.41 – Exemplo de campo de correntes residuais no estuário do Sado (MARETEC, 2001)

10.8.2 Metodologia

Neste estudo utilizou-se como elemento de trabalho um modelo numérico de propagação da maré que foi corrido em cenários (escoamentos e nível do mar) e contextos geomorfológicos distintos.

10.8.3 Cenários

O IPCC (2001) produziu um conjunto de cenários de evolução possível do nível do mar até 2100. Até ao horizonte temporal de 2050 as diferenças entre cenários são muito subtis, no que se refere ao nível médio do mar, crescendo na segunda metade do século XXI. Para efeitos de modelação do impacto da elevação do nível médio na hidrodinâmica estuarina, os valores mínimos (15 e 12 cm) são muito baixos, pelo que terão consequências muito reduzidas nos padrões de circulação,

não tendo, por isso, sido considerados neste estudo. Por outro lado, atendendo à semelhança entre os cenários A2 e B2 (valores médio e máximo de 40 e 35 cm e 75 e 65 cm, respectivamente) em termos de elevação do nível médio à escala secular, optou-se por utilizar apenas os valores médio e máximo do cenário A2 por ser o mais extremo. No entanto, em termos de uso do solo, aqueles dois cenários diferem: em B2, o uso da margem estuarina, incluindo terrenos recuperados ao domínio intertidal para fins agrícolas ou outros aproveitamentos com interesse económico, será mantido. Esta opção implica a manutenção das estruturas de protecção contra a inundação e assume que estas serão alteadas em função do ritmo de elevação do nível médio do mar. Em A2, privilegia-se uma economia que terá reflexos na desvalorização económica da faixa costeira do estuário do ponto de vista agrícola, levando ao abandono de campos potencialmente inundáveis que poderão ser devolvidos ao estuário. Nesta perspectiva a batimetria, topografia e geometria limite do estuário foram objecto de duas representações distintas: numa, conservam-se os diques de protecção actualmente existentes (margens intervenionadas), com uma cota de topo que previna inundação qualquer que seja o cenário de elevação do nível do mar; noutra, retiraram-se estas estruturas na sua totalidade (margens renaturalizadas). As corridas efectuadas para o horizonte temporal de 2100 foram realizadas em ambas as representações: para a situação de referência a modelação efectuou-se apenas com a representação que mantém a ocupação actual das margens. Um resumo das condições de simulação encontra-se na Tabela 10.19.

10.8.3.1 Contexto Geomorfológico

No que respeita ao contexto geomorfológico, foram seguidas duas abordagens distintas: a) estuário estático – o modelo numérico foi corrido com nível do mar mais alto mas com uma representação morfológica invariante e semelhante à actual; b) estuário dinâmico – o modelo numérico foi corrido sobre representação morfológica distinta da actual, construída com base nas tendências evolutivas observadas desde 1968 e extrapoladas para o horizonte temporal de 2100.

Para a avaliação destas tendências evolutivas, foram seleccionados cinco levantamentos hidrográficos publicados pelo Instituto Hidrográfico em 2002, 1995, 1979, 1968 e 1930. Todas as cartas foram rasterizadas e georreferenciadas, e vectorizou-se a informação batimétrica bem como os polígonos dos diagramas de compilação das cartas de 1979, 1995 e 2002 utilizados posteriormente, depois de simplificados, nos exercícios de comparação. Foi também processada a informação topográfica das 10 cartas militares do IGeoE na escala 1:25 000 que abrangem o estuário, com especial incidência na faixa de cotas inferiores a 10 m (NM). Partindo da informação vectorizada, produziu-se, para cada um dos mapas considerados, um modelo digital de terreno (MDT), e mapearam-se e quantificaram-se (sob a forma de uma taxa anual média de sedimentação/erosão) as variações morfológicas por subtracção dos diversos MDT, tendo em atenção as datas indicadas nos diagramas de compilação.

A classificação de conteúdos morfossedimentares das margens do estuário fundamentou-se na informação da Carta Militar de Portugal, em fotointerpretação e observações de campo. As manchas cartografadas foram lançadas sobre suporte fotográfico georreferenciado e digitalizadas. Classificaram-se os conteúdos morfossedimentares em sete categorias que foram combinadas com os dados do MDT de 2002, obtendo-se um critério altimétrico expedito que permitiu associar intervalos de cotas a cada conteúdo morfossedimentar.

A fim de avaliar o impacto das modificações climáticas na descarga sólida afluente ao estuário do Sado, utilizaram-se as aproximações de Langbein e Schumm (1958) e de Teixeira e Andrade (1997), na situação de referência (clima actual, e em diferentes cenários climáticos futuros. A descarga sólida calculada foi transformada em taxa de sedimentação anual, integrada no espaço (TS); estes valores foram aferidos por comparação com a variação do espaço de acomodação oferecido pelo estuário resultante da evolução do prisma de maré de águas vivas, estimado a partir das equações de Jarrett (1976).

Tabela 10.19 – Condições de simulação do estuário nos diferentes cenários (A, B)

Cenários	Época	Margens	Designação
0 (situação de referência)	Estio	A (Intervencionadas)	C0 Est A
	Húmida		C0 Hum A
1 (nível médio 40 cm mais alto)	Húmida		C1 Hum A
		B (Renaturalizadas)	C1 Hum B
2 (nível médio 80 cm mais alto)	Húmida	B (Renaturalizadas)	C2 Hum B

10.8.3.2 O Modelo Matemático de Propagação de Maré no Estuário do Sado

O modelo matemático do estuário do Sado assenta no algoritmo desenvolvido por Leendertse (1971, 1987) e é constituído por três módulos, do Sistema de Modelos Matemáticos da HIDROPROJECTO, S.A. cuja descrição pode ser encontrada em Hidroprojecto (2003): hidrodinâmica, qualidade da água e de dispersão de substâncias dissolvidas ou em suspensão na coluna de água e traçadores lagrangianos que, no caso presente, não foi utilizado.

A malha de cálculo elaborada para o estuário do Sado e para a região costeira adjacente é constituída por 275×385 células, com dimensões de 100×100 m. O estuário é representado até ao limite de propagação da maré, cerca de 25 km para montante de Alcácer do Sal, tendo o troço a montante desta localidade sido esquematizado sob a forma de um canal regular que conserva o volume do protótipo. A fronteira Sul situa-se na plataforma continental, na vizinhança da batimétrica dos 50 m.

A informação hidrográfica foi complementada com elementos topográficos entre os 0 e os 10 m, digitalizados a partir das cartas topográficas 454, 455, 465, 466 publicadas pelo IGeoE, à escala 1:25 000, por forma a abranger e melhorar a definição das zonas marginais previsivelmente inundáveis em condições de sobrelevação do nível médio do mar. Considerou-se como cota não inundável a curva de 7 m acima do Zero Hidrográfico.

Condições de Fronteira

Na fronteira Sul do modelo foram especificadas séries temporais de alturas de maré, com a duração de 15 dias, correspondendo ao semiperíodo da lunação. As alturas de maré foram calculadas para o porto de Setúbal, através de síntese harmónica com o programa *WXTide32*, disponível em www.wxtide32.com.

Consideraram-se dois intervalos de 7½ dias, correspondendo a metade do período da semilunação. O primeiro intervalo, compreendido entre 10 e 25 de Março de 2003, foi seleccionado por forma a abranger marés vivas máximas, enquanto o segundo, de 7 a 21 de Junho de 2003, abrange

um período de marés vivas médias, de acordo com a Tabela de Marés de 2003, publicada pelo Instituto Hidrográfico (Tabela 10.20).

Nas fronteiras Leste e Norte do modelo foram especificadas diferentes condições de caudal: na fronteira Leste especificaram-se valores correspondentes às afluências provenientes da totalidade da bacia hidrográfica, retirando as afluências directas ao estuário, e na fronteira Norte especificaram-se valores correspondentes às afluências do canal da Marateca.

Os valores utilizados foram obtidos a partir da análise da série de 60 anos de caudais médios mensais, disponíveis no SNIRH, para a estação hidrométrica do Moinho da Gamitinha, bem como dos caudais previstos para as diversas cheias no respectivo Plano de Bacia Hidrográfica (INAG, 2001). Foram considerados dois cenários baseados nos valores característicos de estiagem (0 m³/s no rio Sado e na ribeira da Marateca) e de estação húmida (100 m³/s no rio Sado e 10 m³/s na ribeira da Marateca) que foram extrapolados para a totalidade da área das sub-bacias hidrográficas.

10.8.4 Resultados

10.8.4.1 Conteúdos Morfossedimentares

A distribuição espacial dos conteúdos morfossedimentares das margens do estuário do Sado tem as seguintes características distintivas principais:

a) raso de maré fundos aplanados extensos, com relevo reduzido, horizontais a levemente basculados ou convexos, desprovidos de vegetação halófitas, arenosos a lodosos, escassamente acanalados; habitualmente em agração, ocupam preferencialmente a secção inferior do domínio intertidal e estendem-se em continuidade para fundos com as mesmas características morfológicas, mas sempre imersos (espraia-dos);

b) sapal superfícies aplanadas, horizontais, construídas em sedimento lodoso e colonizadas por vegetação halófitas característica; inclui o domínio de alto sapal (o baixo sapal está ausente) e ocupa preferencialmente a região superior do domínio intertidal, nivelando em situações extremas com o PMAV médio ou máximo. Morfologia fortemente dissecada por canais anastomosados e meandrizados, com frequentes charcas salgadas isoladas (*salt pans*). Confinam geralmente com a margem terrestre por meio de um resalto natural ocupado por praia de areia ou resalto artificial (estrutura construída, de

Tabela 10.20 – Elementos de marés para o porto de Setúbal. Cotas em m referidas ao ZH

PM max	PM AV	PM AM	NM	BM AM	BM AV	BM min
3,82	3,45	2,65	2,00	1,36	0,52	0,12

defesa) e passam aos rasos de maré adjacentes por meio de um escarpado vivo;

c) raso de maré e sapal, indiferenciados – extensões em que a superfície é maioritariamente ocupada por raso de maré, mas contendo numerosos elementos dispersos de pequena extensão e formando relevo de alto sapal, separados por canais largos. O baixo sapal continua ausente e as margens dos bancos de alto sapal apresentam sintomas de escarpamento marginal;

d) sapal renaturalizado – regiões delimitadas por diques de contenção, parcial a integralmente degradados, indicando utilização agrícola anterior, mas hoje devolvidos à actividade natural da sedimentação intra-estuarina, e colonizados em parte ou no todo por vegetação halófila característica de alto sapal;

e) praia estuarina – domínio intertidal superior, virado ao estuário e ocupado por areia;

f) salina/piscicultura – elementos de superfície subtraídos ao domínio intertidal do estuário, ocupados por actividades salíneas ou de produção piscícola (inclui explorações abandonadas mas subtraídas à actividade da maré pela manutenção de diques em bom estado de conservação);

g) arrozal – elementos de superfície subtraídos ao domínio intertidal do estuário ou a baixas aluviais, supratidais, adjacentes, maioritariamente utilizadas para o cultivo de arroz (inclui explorações abandonadas, com diques de contenção em bom estado de conservação).

A margem do estuário é dominada pela classe «Arrozal», que perfaz cerca de 39 % da área; distribui-se por todo o estuário interno com especial incidência a sul, na região da Comporta e da Carrasqueira e a este, no canal de Alcácer, realçando a importância da actividade agrícola na redução de espaço originalmente intertidal, essencial ao funcionamento do estuário enquanto zona húmida. As manchas correspondentes às salinas e pisciculturas totalizam cerca de 11 % da área marginal e concentram-se na zona Norte do estuário (periféricas ao canal da Marateca). As praias não têm

praticamente representação, ocupando apenas 0,5 % da superfície e ocorrem principalmente na fachada interna da península de Tróia. Os sapais constituem hoje 8 % da ocupação marginal, organizados em faixa estreita e descontínua ao longo da linha de costa estuarina, cujas dimensões prejudicam a sua representação em MDT com a resolução utilizada. A única mancha de tamanho considerável ocorre a leste da Setenave, merecendo ainda referência as ocorrências adjacentes à fachada interna da restinga de Tróia, nomeadamente na depressão da Caldeira e junto à Malha da Costa. Os sapais renaturalizados, que constituem 3,5 % do zonamento morfológico, concentram-se principalmente a norte da Comporta e na ilha do Cavalo. Os rasos de maré ocupam 28 % da margem estuarina, concentrando-se principalmente a sul, entre a Comporta e a Carrasqueira, e a norte, nas margens do canal da Marateca. As manchas de raso de maré e sapal indiferenciados constituem 10 % da superfície marginal, concentrando-se na margem direita do canal da Marateca e marginando pelo leste os arrozais da Carrasqueira.

A comparação das fotografias aéreas de 1976 com os ortofotomapas de 1995, as observações de campo, e a comparação dos elementos recolhidos no presente estudo com os dados de Moreira (1987), sugerem que o baixo sapal regrediu francamente nos últimos 15-25 anos e que o alto sapal mostra em regra sintomas de erosão marginal. No caso concreto da palafita da Carrasqueira, os pescadores são unânimes em descrever a morte dos prados de *Spartina maritima* e o desa-

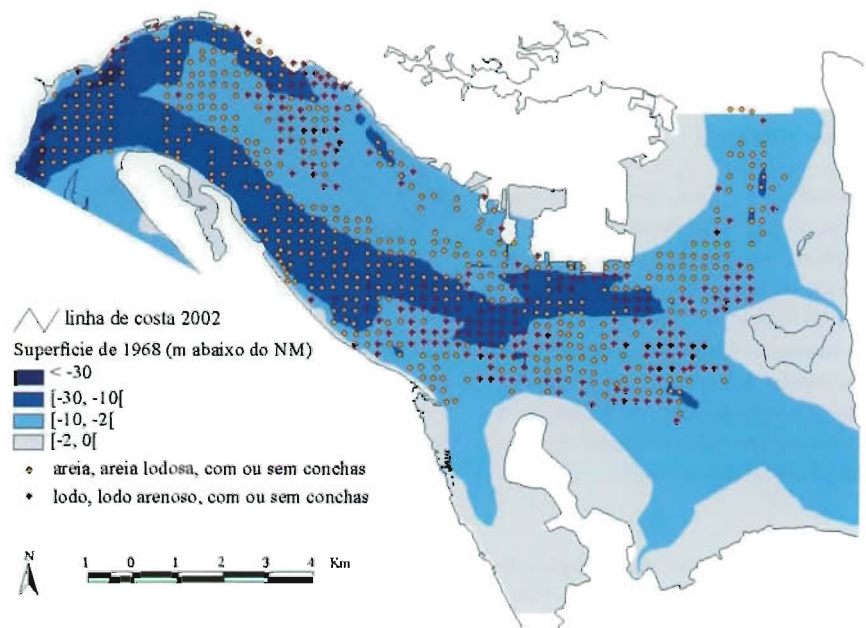


Figura 10.42 Distribuição e caracterização dos sedimentos de fundo (adaptado da carta de 1968 do Instituto Hidrográfico)

parecimento do baixo sapal em favor da expansão dos rasos de maré e de um estado de assoreamento dos fundos que prejudica a navegação. Estas observações sugerem que existe fluxo de sedimentos coesivos nas margens estuarinas, sendo que parte do assoreamento que caracteriza os espriados subtidais e rasos de maré pode resultar da erosão marginal de antigos sapais e redeposição dos sedimentos lançados em circulação.

A caracterização dos sedimentos de fundo do estuário interno do Sado fundamenta-se no estudo de Rodrigues (1992) e nas cartas batimétricas de 1930 e de 1968 do Instituto Hidrográfico, que associam a sondas hidrográficas informação qualitativa acerca da natureza dos fundos (Figura 10.12). Ambas as fontes de informação cobrem apenas parte do estuário, incidem fundamentalmente sobre os canais, utilizam descritores sedimentológicos pobres não comparáveis entre si e não esclarecem a metodologia utilizada. A informação que se pode retirar deste tipo de dados sugere que a maior parte dos sedimentos de fundo são de natureza arenosa ou areno-lodosa, com ou sem conchas, com dimensões mais grosseiras na zona da embocadura e no eixo dos canais principais.

Os sedimentos finos, com ou sem conchas, ocorrem preferencialmente ao longo da margem Norte, estendendo-se até aos bancos intertidais e também nos fundos baixos para onde desembocam os canais da Comporta e de Alcácer. Os domínios intertidal e dos espriados pouco profundos não foram até à data caracterizados do ponto de vista do conteúdo sedimentar.

10.8.4.2 Evolução Morfológica do Estuário do Sado (1968-2002)

A partir da subtração dos diferentes pares de MDTs foi possível mapear e quantificar a variação morfológica do estuário

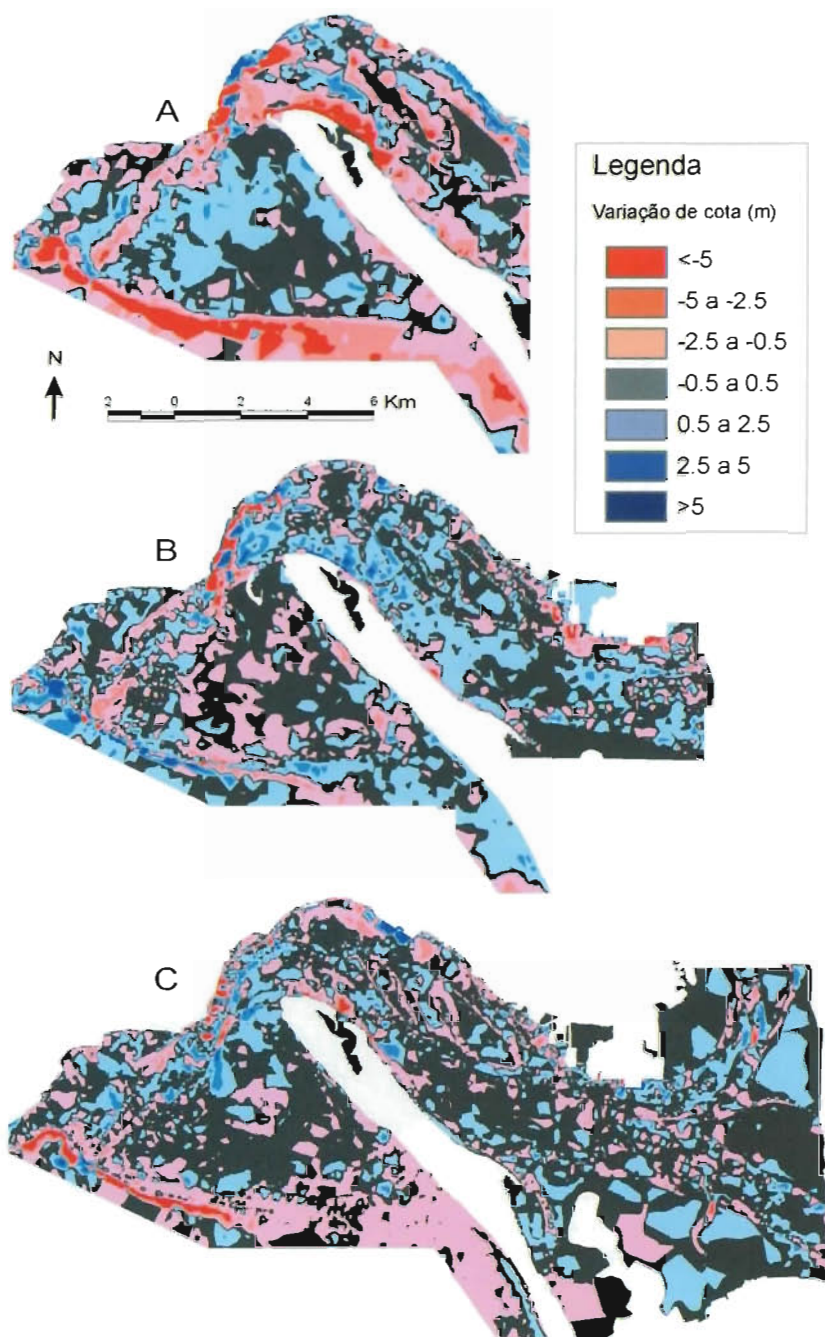


Figura 10.13 – Variação morfológica do estuário do Sado entre: A – 1930 e 1968; B – 1968 e 1979; C – 1979 e 1995-2002

rio em três períodos: de 1930 a 1968, de 1968 a 1979 e de 1979 a 1995-2002 (Figura 10.43). Apesar da variabilidade local, é possível discernir alguma consistência nas tendências de variação morfológica dominantes nas principais unidades morfossedimentares do estuário, como a superfície e o bordo do delta de vazante, o canal de acesso ao estuário, os dois

canais principais do estuário interno e os fundos espraia-dos que se estendem para montante (Figura 10.43). Embora apresentem diferentes taxas de variação volumétrica (ou mesmo inversão de sinal) nos vários períodos de comparação, estas unidades mostram maior coerência de comportamento evolutivo no seu interior do que quando comparadas com unidades contíguas.

O talude exterior do delta de vazante apresenta sintomas de erosão, dominante em toda a sua extensão nas comparações 1930-1968 e 1979-2002 (mais intensos no primeiro caso) e restritos ao bordo superior no período 1968-1979. A superfície deste delta apresenta variação volumétrica moderada, com tendência para perda de sedimento.

O canal principal de acesso e algumas áreas da margem Norte reflectem os efeitos das dragagens e aterros que localmente aí têm sido realizados, como por exemplo no passe da barra e nos fundos adjacentes aos estaleiros da Setenave. Em frente à terminação da restinga de Tróia os fundos mostram tendência persistente para acreção, sugerindo estrangulamento progressivo da secção da barra de maré.

De modo geral, o estuário interno evolui no sentido da acreção, apesar de a intensidade e distribuição das tendências serem variáveis no tempo e no espaço e, no que respeita aos canais, o assoreamento é mais evidente no canal Sul.

A taxa de sedimentação calculada para todo o estuário, e considerando todas as comparações é, em média, de + 9 mm/ano, com contribuição de + 20 mm/ano da região interna e de -2 mm/ano da região externa. Estes resultados indicam que o sistema é um poço sedimentar intenso, especialmente no estuário interno. De notar que estes valores resultam da média de dados parciais contrastantes: -22 mm/ano (1930-1968), + 47 mm/ano (1968-1979) e +0,1 mm/ano (1979-2002). Para o intervalo 1979-2002, as taxas médias de sedimentação calculadas a partir da subtração dos MDTs e discriminadas por polígonos que, nos seus traços gerais, representam domínios morfossedimentares do estuário, são apresentadas na Figura 10.44.

O talude do delta exterior apresenta as mais elevadas taxas de erosão que excedem em seis vezes as da respectiva superfície. Todo o restante estuário mostra acreção: o canal de vazante e os bancos adjacentes a poente exibem intensidade semelhante à da superfície do delta mas de sinal oposto; a região da embocadura de maré é caracterizada por um valor muito elevado; nos canais interiores e nos rasos de maré a intensidade do assoreamento parece aumentar para montante e para as margens. Os bancos de areia interiores e a secção oeste do estuário interno têm vindo a assorear essencialmente com areia, parte da qual poderá ser proveniente do delta de vazante. Em contraste, a secção mais interior do estuário e os rasos de maré apresentam acreção por sedimentos de carácter mais lodoso provenientes de terra.

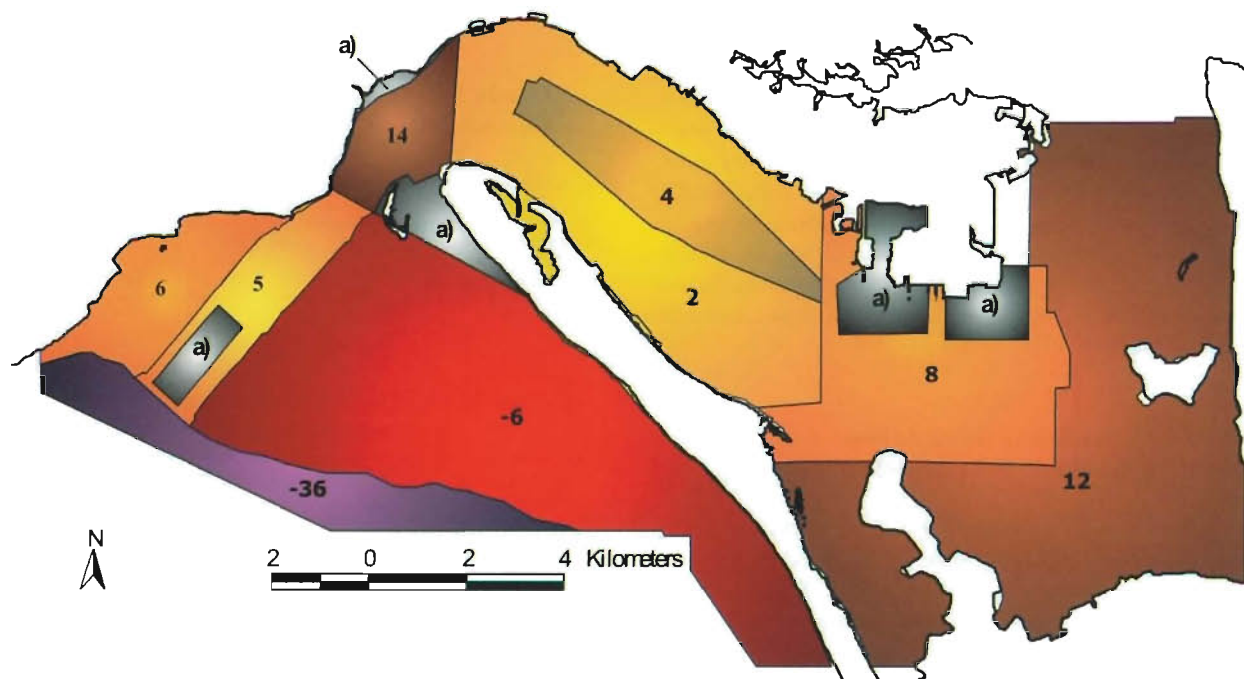


Figura 10.11 Taxas de erosão/assoreamento no estuário do Sado integradas pelos polígonos de corte

Tabela 10.21 – Parâmetros climáticos (P-precipitação; Pef-precipitação efectiva), estimativas de produção sedimentar específica (PE) e taxas de sedimentação equivalentes (TS)

		P (m)	PE (m ³ km ⁻² ano ⁻¹)	TS (mm ano ⁻¹)
Teixeira e Andrade (1997)	(situação de referência)	0,622	231	7,3
		Pef (mm)	PE (m ³ km ⁻² ano ⁻¹)	TS (mm ano ⁻¹)
Langbein e Schumm (1968) *	(situação de referência)	480	250	7,9
Langbein e Schumm (1968) **	(situação de referência)	700	181	5,7
	2050	640 (1) 560 (2)	203 225	6,4 7,1
Langbein e Schumm (1968) ***	2100	680 (3) 420 (4)	189 271	5,9 8,5

*Cálculo efectuado com precipitação média anual de 622 mm.

** Cálculo efectuado com escoamento médio anual de 155 mm (Cunha *et al.*, 2002).

***Cálculo efectuado com escoamento médio anual: 1) reduzido a 80%; 2) reduzido a 50%; 3) reduzido a 60%; 4) reduzido a 25%. Estas reduções correspondem a cenários indicados em Cunha *et al.* (2002).

10.8.4.3 Variação da Descarga Sólida Associada à Bacia Hidrográfica do Estuário do Sado

Os resultados de descarga sólida associada à bacia hidrográfica do estuário do Sado obtidos a partir das aproximações numérica e gráfica acima referidas, constam da Tabela 10.21. A área de bacia hidrográfica considerada foi reduzida a 70 % para excluir a superfície a montante das principais albufeiras de barragem que funcionam como armadilhas sedimentares muito eficientes.

Pode constatar-se que a situação de referência é caracterizada por produção específica da ordem de 200 m³km⁻²ano⁻¹ à qual corresponde taxa de sedimentação média de 7 mm/ano, sendo os valores obtidos pelas diferentes metodologias bastante consistentes. Em horizontes temporais futuros, a redução do escoamento superficial parece não ter grande influência na produção específica e consequentemente na taxa de sedimentação, que se manterão na mesma gama de valores (Tabela 10.21).

10.8.4.4 Variação do Prisma de Maré do Estuário do Sado (1968-2002)

A parametrização proposta por Jarrett (1976) foi já testada com sucesso noutros ambientes do litoral de Portugal influenciados pela maré (Andrade, 1990; Teixeira, 1994; Freitas, 1995). No presente estudo tomaram-se os valores de $C = 3,039 \times 10^{-4}$ e $k=1,05$ para as constantes empíricas. Os resultados obtidos para o estuário do Sado apresentam-se na Figura 10.45 e na Tabela 10.22.

Observa-se uma tendência para diminuição do prisma de maré ao longo dos últimos 34 anos (Tabela 10.22). Esta variação foi mais importante no intervalo 1968-1977 em que o prisma de maré diminuiu, em média anual, de 1 % do valor inicial. A evolução posterior a 1977 caracteriza-se por redução anual de 0,2 %. A evolução da secção da barra reflecte principalmente assoreamento da margem Sul, mantendo-se a profundidade do canal e a configuração da margem Norte sem modificações significativas.

Tabela 10.22 – Secções da barra do Sado e estimativas do prisma de maré de águas vivas

	1968	1977	2002
Secção (m ²)	36 325	33 050	31 025
Prisma de maré (x 10 ⁶ m ³)	4,12	4,04	3,80

Tabela 10.23 – Taxas de sedimentação equivalentes

Datas	1968-1977	1977-2002	1968-2002
Taxa de sedimentação (mm ano ⁻¹)	26	6	11

Admitindo que a diminuição do prisma de maré tem correspondência directa com a perda de espaço de acomodação no interior do estuário e que essa perda foi integralmente deter-

minada por sedimentação, as diferenças volumétricas atrás estimadas podem ser, uma vez mais, convertidas em taxas de sedimentação equivalentes, com os resultados apresentados na Tabela 10.23.

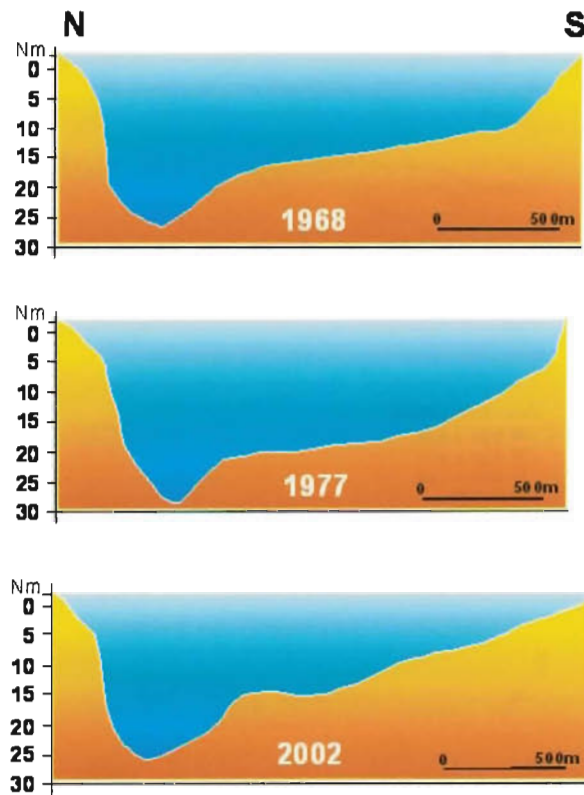


Figura 10.45 – Evolução da secção da barra do Sado entre 1968 e 2002

10.8.4.5 Modelação Numérica

Calibração

A calibração do modelo de propagação de maré foi efectuada em situação de águas vivas e mortas, correspondendo a intervalos temporais de 15 dias e 3 dias, respectivamente, por comparação das observações de níveis realizadas nos marégrafos de Tróia, Outão, Cais Comercial e Setenave, com as séries geradas pelo modelo numérico. O modelo numérico reproduz bastante bem os níveis de maré, detectando-se apenas ligeiros desfasamentos com tendência de atraso do modelo nas simulações em maré morta e ligeiro desvio nas alturas mínimas da maré predita. A Figura 10.46 apresenta um exemplo do escoamento no estuário, em maré viva, simulado numericamente.

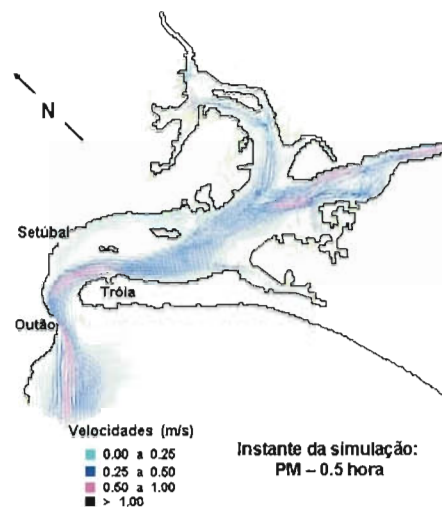


Figura 10.46 – Campos de velocidade instantânea em maré viva simulados

Correntes Residuais e Transporte Residual

Na situação de referência os campos de correntes residuais calculados para uma maré média parecem não ser significativamente influenciados pelas variações de caudal fluvial, apresentando-se muito semelhantes em época húmida e de estiagem, indicando a predominância da influência da maré na definição do escoamento. Podem identificar-se três regiões com diferentes padrões de circulação residual: o domínio externo, o baixo estuário e o alto estuário. No domínio externo, as correntes residuais definem um vórtice anticiclónico sobre o banco da Figueirinha e outro, ciclónico, na região do Cambalhão e do delta exterior. No canal de acesso os campos residuais indicam dominância de vazante, com as maiores intensidades localizadas na secção mais estrangulada, encostadas ao extremo da península de Tróia. Na margem oposta, junto ao Outão, observam-se correntes de menor intensidade e a favor da enchente. No baixo estuário a circulação residual é caracterizada pela presença de dois grandes vórtices, com circulação anticiclónica a jusante e ciclónica a montante, observando-se as correntes mais intensas na zona em que os dois vórtices coalescem. No alto estuário, a circulação exibe um padrão mais complexo, sendo condicionada por diversos vórtices de dimensões mais reduzidas.

De forma geral, em estuário estático, nos cenários 1 e 2 a organização espacial dos principais campos de correntes residuais é pouco alterada. Em particular pode estabelecer-se que:

- em CH Hum A as correntes parecem ser mais intensas no canal Norte e junto à Carrasqueira e mais fracas na mar-

gem W do canal da Marateca, bem como no canal que separa a ilha do Cavalo da margem estuarina; também no estuário externo se observa ligeira intensificação das correntes residuais de vazante junto à península de Tróia;

- em C1 Hum B a modificação mais significativa relativamente ao cenário anterior resulta da inundação de parte dos actuais campos da Carrasqueira, levando a uma reorganização local do campo de correntes em intensidade e direcção;
- em C2 Hum B os efeitos da inundação extremam-se na região da Carrasqueira e ilha do Cavalo, que se apresentam fragmentadas, interferindo com a intensidade e orientação do campo de correntes residuais nas vizinhanças (Figura 10.47; no estuário externo e particularmente nas vizinhanças do extremo da península de Tróia, observa-se modificação das correntes residuais bem como da região afectada por intensidades elevadas.

A comparação entre a situação de estuário estático e a de estuário dinâmico (assoreado) conduz às seguintes observações:

- em C1 Hum B observa-se uma redução da intensidade das correntes residuais, com excepção da região montante do canal de Alcácer. Parece não haver variação significativa da organização espacial do campo de correntes residuais, antes e após assoreamento;
- em C2 Hum B as intensidades das correntes residuais são semelhantes; observam-se porém pequenas diferenças, bem localizadas, no padrão dos campos das velocidades residuais que não prejudicam a manutenção do dispositivo regional (por exemplo, na margem direita, a norte da ilha do Cavalo e junto à Mitrena; a norte da Carrasqueira; na margem esquerda, imediatamente a este da Carrasqueira). O facto de estas perturbações se observarem junto às margens, com coluna de água reduzida, sugere que possam resultar da progradação dos fundos intertidais induzida pelo assoreamento inoposto.

Na situação de referência os campos de transporte residual também não se modificam apreciavelmente com a variação de caudal fluvial, apresentando-se muito semelhantes em época húmida (C0 Hum A) e de estiagem (C0 Est A). Tal como no caso das correntes residuais, no baixo estuário reconhecem-se dois vórtices associados ao transporte residual. Junto à confluência dos canais Norte e Sul e estendendo-se para o exterior da barra de maré, encostado à margem Norte define-se uma região de máxima intensidade de transporte residual, preferencialmente a favor da vazante. No canal Sul observam-se igualmente valores elevados de transporte residual, sem nunca atingir os extremos encontrados na região do Outão.

Em estuário estático, da situação de referência para o cenário 1 e deste para o cenário 2 observa-se uma intensificação

dos valores de transporte residual, mantendo-se contudo a mesma organização espacial (Figura 10.48).

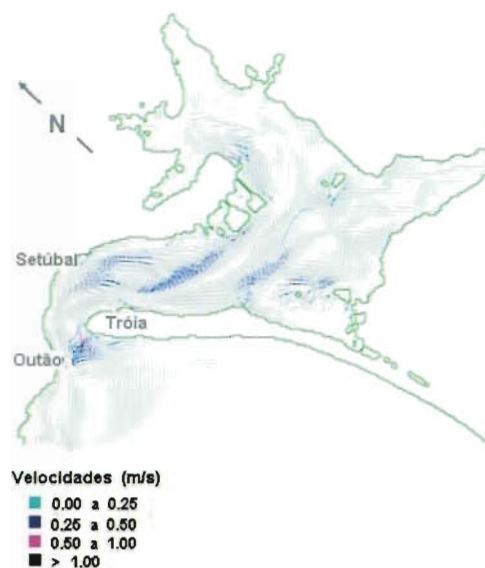


Figura 10.47 – Campos de velocidades residuais em maré média num dos cenários de simulação

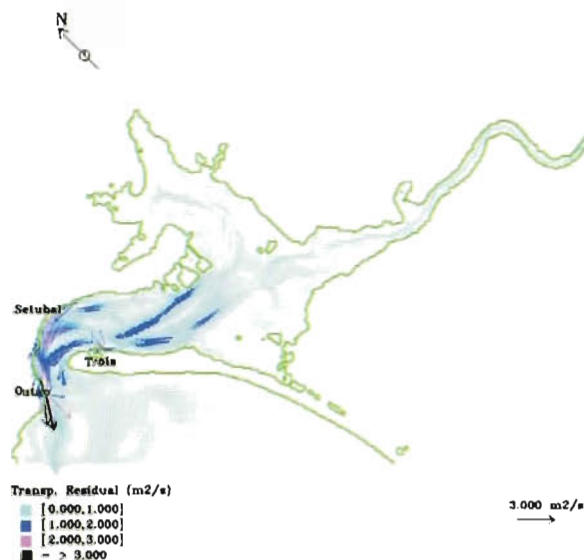


Figura 10.48 – Campos de transporte residual em maré média num dos cenários de simulação (C2 Hum B)

A comparação entre a situação de estuário estático e a de estuário dinâmico (assoreado) relativamente ao transporte residual sugere um tipo de variação para este semelhante ao observado para as velocidades residuais em qualquer dos cenários.

Campos de Correntes Instantâneas

Foram analisados campos de correntes instantâneas em vários momentos do ciclo de marés vivas. Na situação de referência, de modo geral, não se observam diferenças significativas em estio e época húmida, com excepção da região mais interna do estuário, nomeadamente no canal de Alcácer, onde, em época húmida as correntes de vazante são potenciadas relativamente à mesma fase de maré em situação de estio e o inverso se passa durante a enchente.

De forma geral, em situação de estuário estático, nos cenários 1 e 2, a organização espacial dos principais campos de correntes instantâneas em qualquer fase do ciclo da maré é pouco alterada.

A comparação entre a situação de estuário estático e a de estuário dinâmico (assoreado) conduz às seguintes observações, válidas nas fases de enchente e vazante:

- em C1 Hum A e C2 Hum A observa-se, regra geral, decréscimo das velocidades instantâneas na região da embocadura de maré e no estuário intermédio, bem como em extensão significativa da região montante dos canais de Alcácer e da Marateca; em contraste, na maior parte da extensão destes canais, bem como nos canais Norte e Sul, junto ao bordo Oeste do banco do Cambalhão e na margem Oeste da embocadura de maré, ocorre acréscimo da velocidade instantânea; estes resultados sugerem concentração do escoamento ao longo do eixo dos canais principais em consequência dos padrões de assoreamento impostos ao modelo.

A comparação, em estuário dinâmico (assoreado), entre os cenários 1 e 2, com margens intervenionadas (situação A), em época húmida e para as fases de enchente e de vazante, sugere um acréscimo generalizado das velocidades instantâneas, com excepção da região montante do canal da

Marateca e jusante do canal de Alcácer, onde as velocidades decrescem com o nível do mar mais elevado.

Alturas de Água

Simularam-se as séries temporais de altura de água em marés equinociais em 22 estações preferencialmente alinhadas em secções transversais em diferentes domínios do estuário mas com incidência nas regiões marginais. Comparou-se o nível máximo obtido em cada estação (preia-mar de águas vivas equinociais PMAV) nos diferentes cenários com o nível equivalente no Outão com os resultados representados na Tabela 10.24.

Verificam-se diferenças de nível crescentes para o interior do estuário (de 13 a 35 cm), correspondendo ao efeito de amplificação da maré, o que concorda com as observações experimentais. Na situação de referência, os níveis mantêm-se semelhantes ou aumentam ligeiramente (2 cm no máximo) em época húmida relativamente à de estiagem. A subida do nível do mar em +10 cm não tem expressão significativa nas diferenças de nível máximo se as margens se conservarem intervenionadas (C1 Hum A; porém, em C1 Hum B, assiste-se regra geral a uma diminuição das diferenças em 2 a 4 cm, sugerindo gradientes mais baixos no interior do estuário no máximo PMAV. Em C2 Hum B os resultados são menos lineares, observando-se manutenção, aumento ou diminuição de diferenças de nível em diferentes estações.

Por outro lado, não se observam diferenças assinaláveis no comportamento da maré em cada estação virtual quando se compara a situação de referência em época de estio (C0 Est A) e húmida (C0 Hum A). Do mesmo modo, todas as estações exibem comportamento muito semelhante da curva de evolução de nível de água em função da maré nos diferentes cenários de elevação do nível médio e em estuário está-

Tabela 10.24 – Diferenças de nível de água (cm) em PMAV máximo entre seis estações maregráficas virtuais e o Outão

Cenário	Época	Situação	Estação					
			Desmagnetização	3	4	10	12	14
0	Estiagem	A	13	15	20	25	25	35
			15	15	20	27	27	35
1	Húmida	B	15	16	20	26	28	35
2			15	14	18	24	25	21
			13	13	20	24	25	34

rico: as fases de PM e BM coincidem e as curvas assinalam essencialmente amplitudes de oscilação idênticas, em torno de um nível médio do mar mais elevado em 40 ou 80 cm, relativamente à situação de referência (simulações C1 Hum A e C2 Hum B). A diferença de cota que afecta o nível médio mantém-se, regra geral, nas cotas máximas e mínimas alcançadas nos momentos de preia-mar e baixa-mar, em águas vivas e mortas. Não se detectou, assim, variação apreciável da amplitude da maré nem da duração das fases de enchente e de vazante em cenários de elevação distintos.

Já a simulação de renaturalização das margens implícita na comparação dos cenários C1 Hum A e C1 Hum B introduz respostas mensuráveis em algumas estações, particularmente nas do estuário interno. Assim, as estações do Outão e Desmagnetização mantêm comportamento semelhante nos dois cenários, mas nas restantes observa-se, em consequência da renaturalização, tendência para atraso no instante do PMAV e ligeira diminuição (da ordem de alguns cm) da cota de PM, sendo esta diferença maior nas estações mais internas; os elementos disponíveis sugerem ainda que as cotas e fases de BM em águas vivas se mantêm invariáveis mas são inconclusivos quanto à situação de águas mortas.

A comparação entre a situação de estuário estático e a de estuário dinâmico (assoreado) conduz às seguintes observações, válidas em qualquer cenário de elevação do nível médio e de intervenção nas margens:

- tanto em marés vivas como mortas, áreas previamente subtidais passam ao domínio intertidal e em águas vivas, elementos de superfície intertidais aumentam o tempo de emersão;
- nas estações localizadas sobre canais a amplitude de maré tende a diminuir ligeiramente;
- detecta-se uma tendência geral para um ligeiro atraso na estofa de preia-mar, que, contudo, tem dimensão próxima do passo temporal de registo do modelo numérico; será, pois, inferior a 10-15 minutos.

Salinidade

Contrariamente às alterações descritas nos restantes parâmetros físicos e dinâmicos do estuário, a salinidade apresenta variações muito significativas que dependem da localização do ponto de medida, da amplitude e fase da maré, do caudal afluente de terra e do cenário considerado. Qualquer das estações apresenta variação da concentração em sal associada à oscilação de nível da maré, que aumenta durante a enchente e diminui durante a vazante mas de forma assimétrica, isto é, a taxa de variação da salinidade durante a enchente é supe-

rior à que caracteriza a vazante. Regra geral, a oscilação da salinidade observada em qualquer maré e em qualquer cenário, é menor nas vizinhanças imediatas da embocadura e nas estações internas mais afastadas da influência directa dos canais de Alcácer, canais Norte e Sul. A variabilidade observada em cada estação nos diferentes cenários é também maior em ciclo de águas vivas; em marés mortas as diferenças podem mesmo ser imperceptíveis, particularmente nos pontos de medida mais afastados dos eixos de escoamento fluvial principais (Figura 10.49).

Na situação de referência, a passagem de época de estio (C0 Est A) para húmida (C0 Hum A) traduz-se por diminuição apreciável na concentração de sal em todas as estações, variável entre 3 ‰ e <1 ‰, maior nas estações que apresentam máxima variabilidade sazonal, e mínima nas que se encontram abrigadas. Essa diminuição é preferencialmente conseguida à custa de diluição mais intensa perto do baixa-mar, mantendo-se em preia-mar os níveis de concentração máxima praticamente invariáveis, ou aumentando escassamente (Figura 10.49).

Em situação de cenário estático, a elevação do nível médio de 40 cm com manutenção de margens intervencionadas (situação C1 Hum A) traduz-se por nova descida da concentração mínima em sal em algumas estações, sem expressão equivalente nos valores máximos, mas de importância muito inferior à que caracteriza as diferenças entre estações seca e húmida.

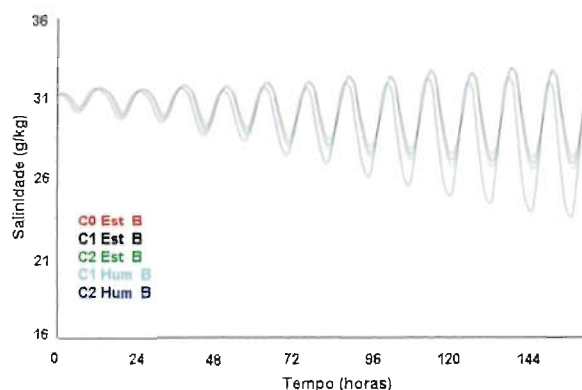


Figura 10.49 – Distribuição da salinidade na estação da Setenave em diferentes cenários

A renaturalização das margens, em situação de nível médio 40 cm mais elevado, simulada por comparação dos cenários em época húmida ou seca (C1 Hum A e C1 Hum B; C1 Est A e C1 Est B) tem expressão reduzida na generalidade das estações; apenas nas mais internas se observa tendência para aumento da salinidade perto da preia-mar em ciclo de

águas mortas. A passagem ao cenário 2 é novamente acompanhada por diminuição dos valores de salinidade mínima alcançados na generalidade das estações e sentida preferencialmente nas estações mais abrigadas da influência dos canais principais.

Os resultados referentes à distribuição da salinidade em diferentes instantes do ciclo de maré sugerem que, em traços gerais, se assiste a incremento da salinidade no estuário acompanhando a subida do nível médio do mar. A cunha salina invade o canal de Alcácer, localizando-se a isoalina de 5 ‰ na simulação C2 Hum B 2 km mais para o interior em PMAV, relativamente à situação de referência. Porém, o fundo de saco do esteiro da Marateca reage com sinal oposto à mesma solicitação (Figura 10.50).

A comparação entre a situação de estuário estático e a de estuário dinâmico (assoreado), com margens intervenionadas (situação A) e em época húmida sugere que as variações na salinidade são regra geral inferiores a 2 ‰ em qualquer fase do ciclo da maré e, excepcionalmente, em águas vivas, podem alcançar 5 ‰. Em maré média e em preia-mar, com o nível do mar mais elevado que o actual assiste-se, regra geral, a uma diminuição da salinidade no interior do estuário, mais importante em C1 que em C2, com excepção da margem Oeste da embocadura e na margem direita, entre Setúbal e a Setenave, onde a salinidade aumenta. Em situação de estuário dinâmico, a diferença obtida na salinidade entre C1 e C2 é no sentido de um aumento na generalidade do estuário, à excepção da zona da embocadura de maré, faixa adjacente ao litoral Setúbal-Setenave, baías abrigadas e região montante dos canais afluentes de terra, onde a salinidade diminui.

Domínio Intertidal

Neste estudo optou-se por uma abordagem de natureza linear, simplificando os problemas que decorrem dos equilíbrios

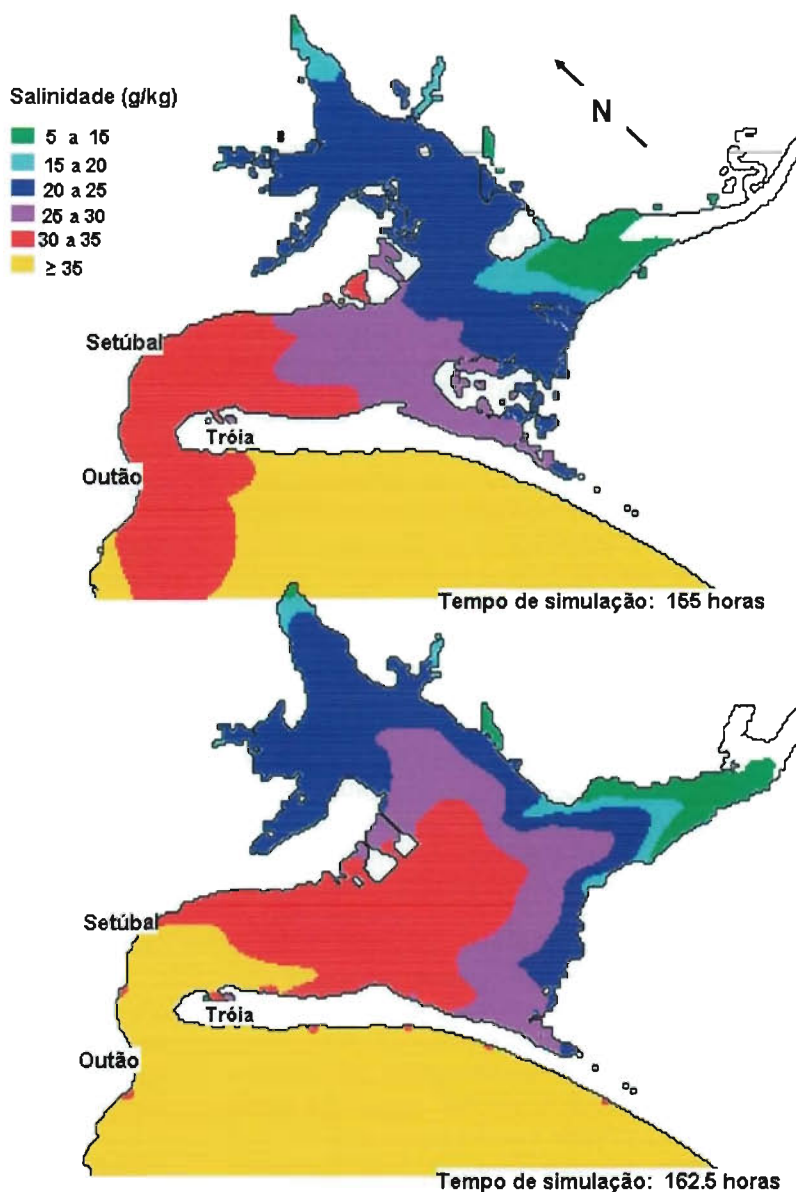


Figura 10.50 Campos de salinidade em dois instantes da maré no cenário C2 Hum B

dinâmicos que regem a resposta morfológica do estuário ao forçamento das correntes, sendo estas, de facto, retroactivas com aquelas. Os resultados apresentados a seguir reportam-se apenas à situação de estuário estático, em condições de forçamento impostas por elevações de nível do mar de 0,4 e 0,8 m. Com esta abordagem simula-se e prospecta-se a evolução da faixa intertidal em qualquer cenário de inundação, como se a elevação do nível de base fosse rápida, isto é, significativamente superior à capacidade de resposta estuarina em termos de sedimentação. As simulações que conservam ou eliminam as estruturas de contenção marginal da maré (diques) tentam de alguma forma ponderar a influência

da renaturalização das margens na evolução das dimensões do domínio intertidal, em comparação com as alterações introduzidas pelo forçamento «natural» do sistema.

Os resultados apresentados a seguir reportam-se a uma situação de referência em que a região estuarina foi caracterizada por meio da grade 100x100 m (utilizada nas simulações hidrodinâmicas) amputada do troço montante do canal de Alcácer (cerca de 4 km para montante da sua confluência com o corpo estuarino principal) e da região Sul (muito artificializada) do canal da Comporta, cerca de 4 km a sul daquela localidade. Considerou-se como domínio útil de referência a superfície limitada pela curva de nível dos 10 m (NM), que totaliza 177 km². De acordo com os resultados anteriores, assumiu-se que as marejolas se propagarão na totalidade do domínio sem atraso nem variação significativa de amplitude; a faixa intertidal correspondente à situação de águas vivas foi ligeiramente maximizada e limitada em qualquer dos cenários de elevação do nível de base pelas cotas de 0 e -1 m (ZH). A Tabela 10.25 resume os impactos previstos em ambos os cenários de elevação de nível médio do mar, mantendo as margens artificializadas ou renaturalizando-as.

Os resultados sugerem que, no cenário 1 (A e B), a superfície intertidal em águas vivas se mantém aproximadamente invariante, tal como a área subtidal e a faixa intertidal inferior. As diferenças mais significativas encontram-se na faixa intertidal de águas mortas e correspondem a uma perda de 3 a 4%. Pode concluir-se que o dispositivo morfológico do estuário é capaz de acomodar uma elevação de 0,4 m no nível médio, respondendo essencialmente por meio de uma manutenção do domínio intertidal, quer por translação, quer por substituição de elementos da sua superfície. No cenário 2 (A e B) assiste-se ao crescimento da superfície subtidal mas a uma diminuição do domínio intertidal em qualquer regime de marés; nestas condições, a morfologia do estuário é incapaz de conservar a extensão total deste domínio porque a

inclinação das margens não permite a inundação de novos elementos de superfície.

Em qualquer dos cenários, a renaturalização das margens conduz a um ganho de superfície intertidal que é bastante significativo.

10.8.5 Conclusões

O estuário do Sado, tal como sistemas semelhantes, comporta-se globalmente como um eficiente reservatório e sumidouro sedimentar. Este efeito observa-se nos domínios interno e externo, independentemente da variabilidade local encontrada nos padrões de deposição/erosão, tanto no tempo como no espaço.

A taxa de acreção determinada no domínio interno do estuário desde 1930 excede, de modo geral, a taxa de elevação do nível médio do mar, verificada desde o século XIX (2 mm/ano). Numa bacia estuarina com elevados valores de acreção sedimentar relativamente à subida do nível de base, seria de esperar uma expansão significativa do domínio intertidal (sapais e rastos de maré) ao longo do tempo. Porém, os resultados obtidos entre 1976 e 1995 sugerem ligeira redução superficial das manchas de alto sapal e eliminação do baixo sapal. As observações de terreno confirmam esta tendência, propondo-se um mecanismo de reajuste morfológico à custa da transferência sedimentar dos sapais para os rastos de maré, que pode ser já consequência da subida recente do nível médio do mar.

A redução do escoamento superficial que se admite vir a ocorrer em horizontes temporais futuros, acompanhada de aumento do índice de aridez, parece não influenciar significativamente a descarga sólida afluente ao estuário e, consequentemente, as taxas de sedimentação, que se manterão numa gama de valores semelhante à actual.

Tabela 10.25 – Variação da extensão de diferentes domínios altimétricos do estuário do Sado nos diferentes cenários, relativos ao domínio de referência

Profundidades dos fundos (m – ZH)	Cenários					
	0		1		2	
	A	B	A	B	A	B
Superiores a 0	45 %	45 %	47 %	47 %	53 %	53 %
[-2, 0]	27 %	27 %	28 %	28 %	25 %	25 %
[-2,65, -1,36]*	16 %	17 %	12 %	14 %	8 %	12 %
[-1, 0]**	37 %	44 %	36 %	44 %	32 %	41 %

* Níveis de maré em águas mortas; ** níveis de maré em águas vivas.

Dos resultados das simulações pode concluir-se que a influência da variação do caudal afluente ao estuário do Sado nos campos de corrente instantânea, nos campos de corrente e de transporte residuais e na evolução dos níveis de água, é pequena quando comparada com as alterações introduzidas pela elevação do nível médio do mar.

O estudo dos campos de correntes residuais e instantâneas em diversos momentos do ciclo de maré sugere

que qualquer dos cenários apresenta um padrão de circulação semelhante ao actual nos seus traços principais. Em situação de estuário estático, as intensidades aumentam, regra geral, com a elevação do nível médio do mar de 40 para 80 cm. A qualquer dos cenários corresponde uma área inundável maior, implicando aumento do prisma de maré. Com uma morfologia invariante, a tendência para intensificação das correntes pode resultar do forçamento de caudais superiores através de secções praticamente idênticas.

No que respeita ao campo de correntes e transportes residuais, a principal diferença nos resultados obtidos em estuário estático e dinâmico corresponde a uma redução geral das intensidades neste último caso, quando o nível do mar é elevado de 40 cm, isto é, quando a taxa de assoreamento é mais significativa face ao ritmo de inundação. No que respeita aos campos de correntes instantâneas, os resultados sugerem maior concentração do escoamento ao longo do eixo dos canais principais, em consequência dos padrões de assoreamento impostos ao modelo. Também em situação de estuário dinâmico, as intensidades aumentam, regra geral, com a elevação do nível médio do mar de 40 para 80 cm, visto que o ritmo de inundação é, neste caso, mais significativo face à taxa de assoreamento.

O estudo da variação de níveis da água com a maré sugere que as modificações introduzidas pela renaturalização das margens em estuário estático são, aparentemente, mais importantes que as que resultam de elevação simples do nível médio do mar, mantendo-se a morfologia invariante. No último caso, parece assistir-se à manutenção dos gradientes hidráulicos que caracterizam a superfície da água no estuário na mesma fase da maré. Cabe aqui notar que a resolução espacial utilizada neste exercício de modelação é claramente insuficiente para revelar alterações específicas, resultantes de inundação no domínio intertidal, cuja morfologia e dimensões se modificam nos diferentes cenários simulados. Destas situações são exemplo a ilha do Cavalo e a península da Carrasqueira, actualmente defendidas por diques e que são submersas em parte ou na sua totalidade se ocorrer renaturalização das margens.

Em situação de estuário dinâmico e comparativamente à situação de morfologia invariante prevê-se uma tendência para ligeiro atraso na estofa de preia-mar, a amplitude de maré poderá diminuir também ligeiramente nas regiões mais profundas e haverá modificação dos tempos de imersão em elementos de superfície actualmente localizados no domínio intertidal do estuário. Dependendo das relações entre taxa de sedimentação e ritmo de inundação, variáveis no espaço, alguns elementos do fundo podem modificar a sua localização nos domínios infra, inter ou supratidal.

Contrariamente aos restantes parâmetros estudados, a salinidade mostra-se bastante sensível à localização do ponto de observação, particularmente no que respeita ao campo de influência dos canais de maré que drenam o eixo de Alcácer do Sal e à proximidade da barra. Existem contrastes de salinidade (embora de intensidade variável de local para local mas, regra geral, inferiores a 2 ‰ em qualquer fase do ciclo da maré e a 5 ‰ em águas vivas) quando se comparam épocas de estiagem e húmida. Os resultados sugerem que a renaturalização das margens, em qualquer dos cenários de evolução de nível médio, tem menos importância nas alterações da salinidade do que a consideração de níveis médios iguais ou mais elevados que o actual ou a consideração de época de estiagem ou húmida.

Em situação de estuário estático, regra geral, a tendência de elevação do nível médio é acompanhada por aumento da variabilidade sazonal do teor em sal, sendo as diferenças maiores associadas principalmente a diluição durante as fases da maré próximas da baixa-mar. As estações mais afastadas da influência do canal de Alcácer mostram diferenças notáveis do cenário 1 para o cenário 2 em estação seca e húmida, contrariamente ao que se observa nos eixos de escoamento principais onde a elevação sucessiva do nível médio do mar perde expressão em termos da concentração em sal, quando comparada com a introduzida pelos contrastes sazonais. A elevação do nível médio do mar traduz-se, em regra, por incremento da salinidade no estuário, com expressão importante na localização da cunha salina que se desloca para montante no canal de Alcácer. Obtiveram-se, porém, respostas de sinal oposto na região da Marateca. Em situação de estuário dinâmico, a subida do nível médio do mar é acompanhada de aumento da salinidade (embora apenas da ordem de 2 ‰) na generalidade do estuário onde a circulação é mais eficiente. Com o estuário assoreado, a salinidade é inferior à obtida com morfologia invariante e, uma vez mais, a situação é extremada quando o nível do mar sobe de apenas 40 cm.

Independentemente das observações anteriores, válidas para a generalidade do estuário, as diferenças observadas de cenário para cenário e destes para a situação de referência não têm sempre o mesmo sinal nem ocorrem sempre nos mesmos locais, implicando uma resposta específica em cada zona.

No que respeita às variações do domínio intertidal do estuário em fundo estático, conclui-se que o seu dispositivo morfológico é capaz de acomodar uma elevação de 0,1 m no nível médio, mantendo invariante a extensão daquele domínio. Já com uma elevação de 0,3 m no nível médio a inclinação das margens não permite a inundação de novos elementos de superfície e assiste-se a uma redução generalizada dos fundos intertidais.

Apesar de todo o investimento e esforço científico dedicado nas duas últimas décadas à zona costeira portuguesa e em particular às zonas húmidas, ainda estamos longe de dispor dos elementos técnicos de base necessários para compreender a dinâmica morfológica e sedimentar destes ambientes, o que é fundamental para avaliar impactos futuros resultantes das alterações climáticas. Para maximizar a eficácia de um estudo de caso como o que se apresenta neste trabalho, visando o estudo de impactos potenciais e a concepção de medidas de mitigação/adaptação àquelas alterações, são requeridos esforços adicionais na obtenção e aperfeiçoamento de: 1) cenários de variação do nível do mar com valor regional; 2) investigação dos padrões e ritmos de evolução de conteúdos morfossedimentares de zonas húmidas a diferentes escalas temporais; 3) modelos numéricos e empíricos que relacionem de forma inter e retroactiva o escoamento, o balanço sedimentar e a resposta morfológica; 4) elementos de carácter económico, ecológico, social, cultural e paisagístico a incorporar em estudos multidisciplinares. O sucesso destas áreas de investigação depende de maior investimento na: 1) construção e difusão de bases de dados pluridisciplinares de que se salientam, porque fundamentais, o levantamento topo-hidrográfico de alta resolução da faixa intertidal portuguesa, a repetição sistemática destes levantamentos bem como da topografia e hidrografia das zonas húmidas e a monitorização dos parâmetros físico-químicos mais relevantes; 2) formação de jovens investigadores nestas áreas do Saber e aumento do número de técnicos dedicados a estes problemas; 3) melhoramento da articulação e interacção institucional entre as autoridades centrais, locais, comunidade científica, técnica, investidores e utilizadores.

10.9 PESCAS

10.9.1 Recursos Haliéuticos do Estuário do Sado

Graças à sua localização geográfica, à influência marinha predominante e à grande diversidade de *habitats* intertidais e subtidais que engloba, nomeadamente bancos de macrófitas marinhas, ostras e plataformas vasosas, o estuário do Sado possui uma elevada riqueza específica em termos de recursos haliéuticos, incluindo espécies com afinidades boreais e subtropicais.

O estudo da fauna aquática do estuário do Sado deu-se sobretudo após a fase de industrialização que ocorreu na margem Norte, sendo de destacar os trabalhos realizados por equipas do INETI, Universidade Nova e ICN. Actualmente, existe um conhecimento razoável sobre os vários elos do ecossistema estuarino, havendo uma focalização sobre os padrões de distribuição espacial e temporal das espécies residentes, sazonais e ocasionais (Lopes da Cunha, 1994).

Peixes

O estuário do Sado apresenta uma comunidade ictica extremamente diversificada, estando inventariadas 111 espécies (Cabral, 1999). Este valor de riqueza específica é invulgarmente alto, tendo em conta a ictiofauna de outros sistemas estuarinos da costa portuguesa ou mesmo de outras regiões europeias (Elliot e Dewailly, 1995). Além das espécies residentes, que completam o seu ciclo de vida no meio estuarino, é para as espécies marinhas cujos juvenis migram sazonalmente para o estuário do Sado que este apresenta um papel mais importante (Cabral, 1999). Com reduzida expressão numérica, também ocorrem ao estuário algumas espécies migradoras catádromas. A Tabela 10.26 resume os principais recursos icticos do estuário.

Moluscos

Entre os cefalópodes, o choco-vulgar (*Sepia officinalis*) é a espécie mais comum no estuário do Sado, podendo ser inclusivamente encontrado próximo de Alcácer do Sal, onde a salinidade é muito baixa (Serrano, 1992). Na parte inferior do estuário, o choco-elegante (*Sepia elegans*) e a lula-vulgar (*Loligo vulgaris*), surgem de forma esporádica, com efectivos muito reduzidos (Costa *et al.*, 1997). Já o polvo-comum (*Octopus vulgaris*), é mais frequente e abundante, embora seja também uma espécie predominantemente marinha.

Alguns outros moluscos de elevada importância económica são o búzio-canilha (*Bolinus brandaris*), a amêijoia (*Ruditapes decussata*), o herbigão (*Cerastoderma edule*), o canivete ou lingueirão (*Solen marginatus*) e a lambujinha (*Scrobicularia plana*). Devido à degradação ambiental, a ostra-portuguesa (*Crassostrea angulata*) não tem hoje a relevância que possuiu até à década de 1970, encontrando-se praticamente confinada ao canal de Alcácer (Dias, 1994), onde pode coexistir com uma espécie introduzida, *Crassostrea gigas*.

Crustáceos

De acordo com Antunes *et al.* (1991), Lopes da Cunha e Antunes (1991a, 1991b) e Antunes e Lopes da Cunha (1995), ascende a 24 o número de espécies de camarões assinaladas no estuário do Sado. Destas, o camarão-negro (*Crangon crangon*) é de longe o decápode mais abundante, exibindo por vezes uma dominância muito acentuada (Costa *et al.*, 1997). Também bastante comum em toda a região, o camarão-branco-legítimo (*Palaemon serratus*) é dominante nos locais próximos do oceano (Antunes *et al.*, 1991), o mesmo sucedendo nos locais de salinidades muito baixas com o camarão-de-água-doce (*Palaemon longirostris*; Costa *et al.*, 1997).

Tabela 10.26 – Principais recursos ícticos do estuário do Sado, com indicação da sua abundância relativa

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	ABUN.	FEN.	V.C.	I.C.
Família Torpedinidae					
<i>Torpedo marmorata</i>	Tremelga-marmoreada	Pc	M	-	\$
<i>Torpedo torpedo</i>	Tremelga-de-olhos	Cm	V	-	\$
Família Rajidae					
<i>Raja clavata</i>	Raia-lenga	Cm	V	-	\$
<i>Raja undulata</i>	Raia-curva	Cm	V	-	\$
Família Clupeidae					
<i>Alosa fallax</i>	Savelha	Pc	MA	V-B/III-H/II+V	\$
<i>Sardina pilchardus</i>	Sardinha	Cm	V	-	\$\$
Família Engraulidae					
<i>Engraulis encrasicolus</i>	Biqueirão	Mc	R	-	\$
Família Anguillidae					
<i>Anguilla anguilla</i>	Enguia	Pc	MC	CT	\$\$
Família Congridae					
<i>Conger conger</i>	Congro	Cm	V	CT	\$\$
Família Belonidae					
<i>Belone belone</i>	Agulha	Pc	M	-	\$
Família Merlucciidae					
<i>Merluccius merluccius</i>	Pescada-branca	Pc	M	I	\$\$
Família Gadidae					
<i>Pollachius pollachius</i>	Juliana	Pc	M	CT	\$
<i>Trisopterus luscus</i>	Faneca	Pc	M	CT	\$\$
<i>Phycis phycis</i>	Abrótea-da-costa	Pc	M	-	\$
Família Moronidae					
<i>Dicentrarchus labrax</i>	Robalo-legítimo	Cm	VP	CT	\$\$
<i>Dicentrarchus punctatus</i>	Robalo-baila	Pc	M	-	\$\$
Família Carangidae					
<i>Trachurus trachurus</i>	Carapan	Pc	V	-	\$\$
Família Mullidae					
<i>Mullus surmuletus</i>	Salmonete-legítimo	Cm	V	CT	\$\$
Família Sparidae					
<i>Borops borops</i>	Boga-do-mar	Pc	M	CT	\$
<i>Diplodus annularis</i>	Sargo-alecorraz	Mc	V	CT	\$\$
<i>Diplodus cervinus</i>	Sargo-veado	Pc	M	CT	\$\$
<i>Diplodus puntazzo</i>	Sargo-bicudo	Pc	M	CT	\$\$
<i>Diplodus sargus</i>	Sargo-legítimo	Cm	V	CT	\$\$
<i>Diplodus vulgaris</i>	Sargo-safia	Mc	V	CT	\$\$
<i>Lithognathus mormyrus</i>	Ferreira	Pc	M	CT	\$
<i>Pagellus acarne</i>	Besugo	Pc	M	CT	\$\$

Tabela 10.26 – Continuação

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	ABUN.	FEN.	V.C.	I.C.
<i>Pagellus bogaraveo</i>	Goraz	Pc	M	CT	\$\$
<i>Pagrus auriga</i>	Pargo-sêniola	Pc	M	-	\$\$
<i>Pagrus pagrus</i>	Pargo-legítimo	Pc	M	CT	\$\$
<i>Sarpa salpa</i>	Salema	Cm	V	CT	\$
<i>Sparus aurata</i>	Dourada	Pc	M	CT	\$\$
<i>Spundylusoma cantharus</i>	Choupa	Mc	V	CT	\$
Familia Labridae					
<i>Labrus bergyllta</i>	Bodião-reticulado	Cm	R	-	\$
<i>Symphodus melops</i>	Bodião-vulgar	Cm	R	-	\$
Familia Mugilidae					
<i>Liza aurata</i>	Tainha-garrento	Mc	V	-	\$
<i>Liza ramada</i>	Tainha-fataça	Pc	MC	-	\$
<i>Mugil cephalus</i>	Tainha-olhalvo	Pc	V	-	\$
Familia Scorpaenidae					
<i>Scorpaena notata</i>	Rascasso-escorpião	Pc	M	-	\$
<i>Scorpaena porcus</i>	Rascasso-de-pintas	Pc	M	-	\$
Familia Triglididae					
<i>Trigla lucerna</i>	Cabra-cabaço	Cm	V	-	\$
<i>Trigloporus lastoviza</i>	Cabra-riscada	Pc	M	-	\$
Familia Citharidae					
<i>Citharus linguatula</i>	Carta-de-bico	Pc	M	-	\$
Familia Scophthalmidae					
<i>Scophthalmus rhombus</i>	Rodovalho	Pc	M	CT	\$\$
Familia Bothidae					
<i>Arnoglossus laterna</i>	Carta-do-mediterrâneo	Mc	R	-	\$
<i>Arnoglossus thori</i>	Carta-pontuada	Mc	R	-	\$
Familia Pleuronectidae					
<i>Platichthys flesus</i>	Solha-das-pedras	Cm	M	CT	\$\$
Familia Soleidae					
<i>Dicologlossa cuneata</i>	Lingua	Pc	M	CT	\$
<i>Microchirus azevia</i>	Azevia	Pc	M	CT	\$
<i>Monochirus hispidus</i>	Cascarra	Mc	R	-	\$
<i>Solea lascaris</i>	Linguado-da-arçia	Pc	M	CT	\$\$
<i>Solea senegalensis</i>	Linguado-branco	Cm	VP	CT	\$\$
<i>Solea vulgaris</i>	Linguado-legítimo	Mc	VP	CT	\$\$
Familia Batrachoididae					
<i>Halobatrachus didactylus</i>	Charroco	Mc	R	-	\$

Notas: (ABUN.: Mc – muito comum, Cm – comum, Pc – pouco comum), fenologia (FEN.: R – residente, M – migrador anádromo, MC – migrador catádromo, V – marinho que utiliza o estuário como viveiro, VP – marinho que usa o estuário como viveiro preferencial, M – marinho), valor conservacionista (V.C.: V – vulnerável, I – estatuto indeterminado, K – estatuto insuficientemente conhecido, CT – ameaçado comercialmente, B/III – incluído no anexo III da Convenção de Berna, H/II+V – incluído nos anexos II e V da Directiva *Habitats*) e importância comercial (I.C.: \$\$ – elevada, \$ – média). Adaptado de Costa *et al.* (1997)

Relativamente aos caranguejos, foram até hoje assinaladas no estuário do Sado 21 espécies diferentes, das quais se destacam pela sua abundância o caranguejo-verde (*Carcinus maenas*) e a grifa (*Liocarcinus depurator*; Costa *et al.*, 1997). A Tabela 10.27 resume as principais espécies ocorrentes no estuário.

Anelídeos Poliquetas

Espécies de anelídeos poliquetas como a minhoca (*Nereis diversicolor*), o minhocão (*Marphysa sanguinea*) e o casulo (*Diotra neapolitana*), utilizadas como isco fresco na pesca profissional e desportiva, apresentam grande interesse económico no estuário do Sado (Castro, 1989).

10.9.1.1 Pesca

A descrição da actividade piscatória no estuário do Sado apresenta duas dificuldades. A primeira resulta da inexistência de registos sobre o volume de pescado e respectivo valor, considerando unicamente o esforço de pesca realizado no estuário do Sado. A segunda tem a ver com a componente ilegal ou clandestina desta actividade, sob múltiplas formas. Assim, a descrição que se segue versa apenas as artes de pesca mais frequentemente utilizadas e as principais espécies-alvo a elas associadas.

No estuário e zona costeira adjacente, cerca de 95 % das embarcações de pesca profissional (num total de aproximadamente mil) são de pequena dimensão (<7 m), de boca aberta, propulsionadas por motores fora de bordo e registadas como de pesca «local» (Anónimo, 1992). Adicionalmente, existe um número apreciável de pequenas motoras de redes de emalhar e cerco (rapas), cuja acção é feita em muitos casos dentro do próprio estuário. De notar ainda que é significativa a actividade de pesca dita «não profissional», que utiliza embarcações registadas na Marinha de Recreio e explora bivalves (em mergulho), peixes e cefalópodes (com linha e anzol ou toneiras). Por último, a pesca desportiva a partir de terra e no mar é também uma prática com crescente interesse e relevância socioeconómica, multiplicando-se o número de intervenientes, as zonas de actuação e as espécies-alvo.

De todas as espécies encontradas no estuário, o choco-vulgar é talvez a que possui hoje maior importância económica, já que uma parte significativa da frota artesanal se dirige a esta pesca e também porque cerca de 10 a 30 % do volume de capturas nacionais desta espécie provém do estuário do Sado e da região costeira adjacente (Serrano, 1992). A principal arte de pesca utilizada é a rede de tresmalho ou solheira,

sendo também empregues toneiras e covos «iscados» com chocos fêmeas vivas «que atraem os machos». A época de pesca ao choco-vulgar estende-se de Fevereiro a Outubro e envolve principalmente as populações piscatórias da Gâmbia e da Carrasqueira.

À parte da pesca ao choco-vulgar, a actividade mais representativa no estuário continua a ser a das redes de emalhar e tresmalho dirigidas a espécies icticas como o linguado, o charroco, o salmoneite, a choupa e a dourada (Morais, 1992). Outras artes de pesca autorizadas no interior do estuário são os covos – para a captura de caranguejos como *Carcinus maenas* – e os alcatruzes – para a pesca de polvo-comum (*Octopus vulgaris*). Embora ilegais, são ainda empregues artes como o arrasto (de vara e de portas) e a tapada (Cabral, 1999).

10.9.1.2 Moluscicultura e Apanha de Poliquetas

O colapso da ostreicultura no final da década de 1960 marcou uma quebra muito assinalável na exploração de bivalves no estuário do Sado. Sendo a subprodução ainda hoje evidente, o cultivo controlado de bivalves foi direccionado para outras espécies, entre as quais a ostra *Crassostrea gigas* (sobretudo no canal de Alcácer), a amêijoia-boia (sobretudo na caldeira de Tróia), a conquinha (*Donax trunculus*), a amêijola (*Callista chione*), o pé-de-burro (*Venus verrucosa*) e as nava-lhas (*Solen marginatus* e *Ensis siliqua*).

Paralelamente, a concessão de parcelas para a exploração de anelídeos poliquetas e a sua apanha no estuário intensificou-se a partir da década de 1970, passando a deter um valor económico considerável para a região (Castro, 1989). Embora sujeita a várias medidas legais, esta actividade é na prática pouco regulada em termos dos locais de apanha, esforço aplicado, épocas de defeso e instrumentos utilizados (Dias, 1994).

10.9.1.3 Piscicultura

O estuário do Sado é uma das regiões do nosso país com condições mais favoráveis para o desenvolvimento da piscicultura, graças ao clima ameno e à relativa qualidade das suas águas, apesar dos impactos das indústrias envolventes. Com a entrada de Portugal na Comunidade Europeia em 1986 e os apoios estruturais a esta actividade, a piscicultura registou neste estuário um incremento notável, nomeadamente através da reconversão de salinas inactivas (Figura 10.51).

Actualmente, assiste-se a uma fase de relativa estabilidade em termos de crescimento, havendo nos produtores grande

Tabela 10.27 – Principais crustáceos com interesse comercial existentes no estuário do Sado

NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	ABUND.	I.C.
Subordem Natantia			
Família Penaeidae			
<i>Penaeus kerathurus</i>	Gamba-manchada	Pc	\$\$
Família Processidae			
<i>Processa edulis</i>	Camarão-nica	Pc	\$
<i>Processa canaliculata</i>	Camarão-processa	Pc	\$
Família Palaemonidae			
<i>Palaemon elegans</i>		Cm	\$
<i>Palaemon serratus</i>	Camarão-branco-legítimo	Mc	\$
<i>Palaemon adspersus</i>		Cm	\$
<i>Palaemon longirostris</i>	Camarão-de-água-doce	Pc	\$
<i>Palaemonetes varians</i>	Camarinha	Pc	\$
Família Crangonidae			
<i>Crangon crangon</i>	Camarão-negro	Mc	\$
Subordem Reptantia			
Família Portunidae			
<i>Polydora henslowi</i>	Pilado	Cm	\$
<i>Liocarcinus corrugatus</i>	Navalheira-rugosa	Pc	\$
<i>Liocarcinus depurator</i>	Grifa	Mc	\$
<i>Necora puber</i>	Navalheira-felpuda	Pc	\$
<i>Carcinus maenas</i>	Caranguejo-verde	Mc	\$
Família Majidae			
<i>Maja squinado</i>	Santola	Pc	\$\$

Notas: Abundância relativa (Mc – muito comum, Cm – comum, Pc – pouco comum) e importância comercial (I.C.: \$\$ – elevada, \$ – média). Adaptado de Costa *et al.* (1997)

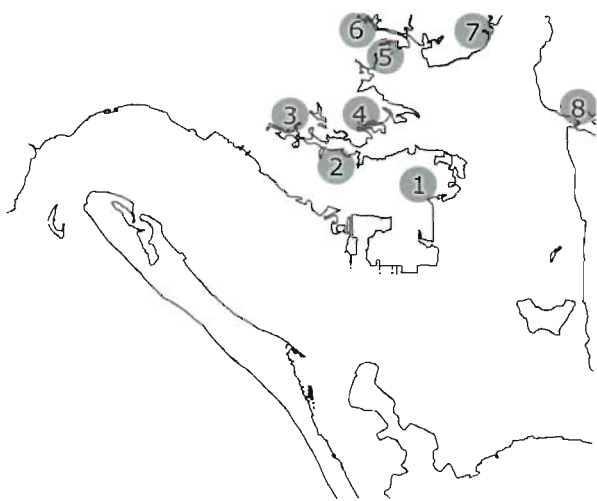


Figura 10.51 – Localização das principais zonas de implantação de piscicultura no estuário do Sado (Serra, com. pess.: 1 – M. da Cabra; 2 – Mitrena; 3 – Praias do Sado; 4 – Faralhões; 5 – Mouriscas; 6 – Cotoxia/Pinheiro Torto; 7 – Musga/Gâmbia; 8 – Sachola)

motivação para o aumento da carga dos tanques, a produção de alevins em maternidades e a diversificação das espécies cultivadas (Serra, comunicação pessoal). Reconhece-se ainda a necessidade de incrementar a investigação sobre os aspectos da biologia das espécies e dos sistemas de produção, mas os maiores constrangimentos surgem a nível da sustentabilidade económica das empresas e do *marketing* associado à produção.

As principais espécies cultivadas no estuário são a dourada (*Sparus aurata*) e o robalo (*Dicentrarchus labrax*), constituindo respectivamente cerca de 80 % e 15 % da produção aquícola total. O cultivo de outras espécies autóctones, como o linguado-legítimo (*Solea solea*), o linguado-branco (*Solea senegalensis*), o sargo (*Diplodus vulgaris*), a enguia (*Anguilla anguilla*) e o choco-vulgar (*Sepia officinalis*), compõe os restantes 5 % da produção. Apesar de enriquecidos em azoto e fósforo, os efluentes destas explorações parecem não ter um impacto significativo sobre a qualidade da água do estuário (Brogueira *et al.*, 1991; Monteiro e Oliveira, 1994).

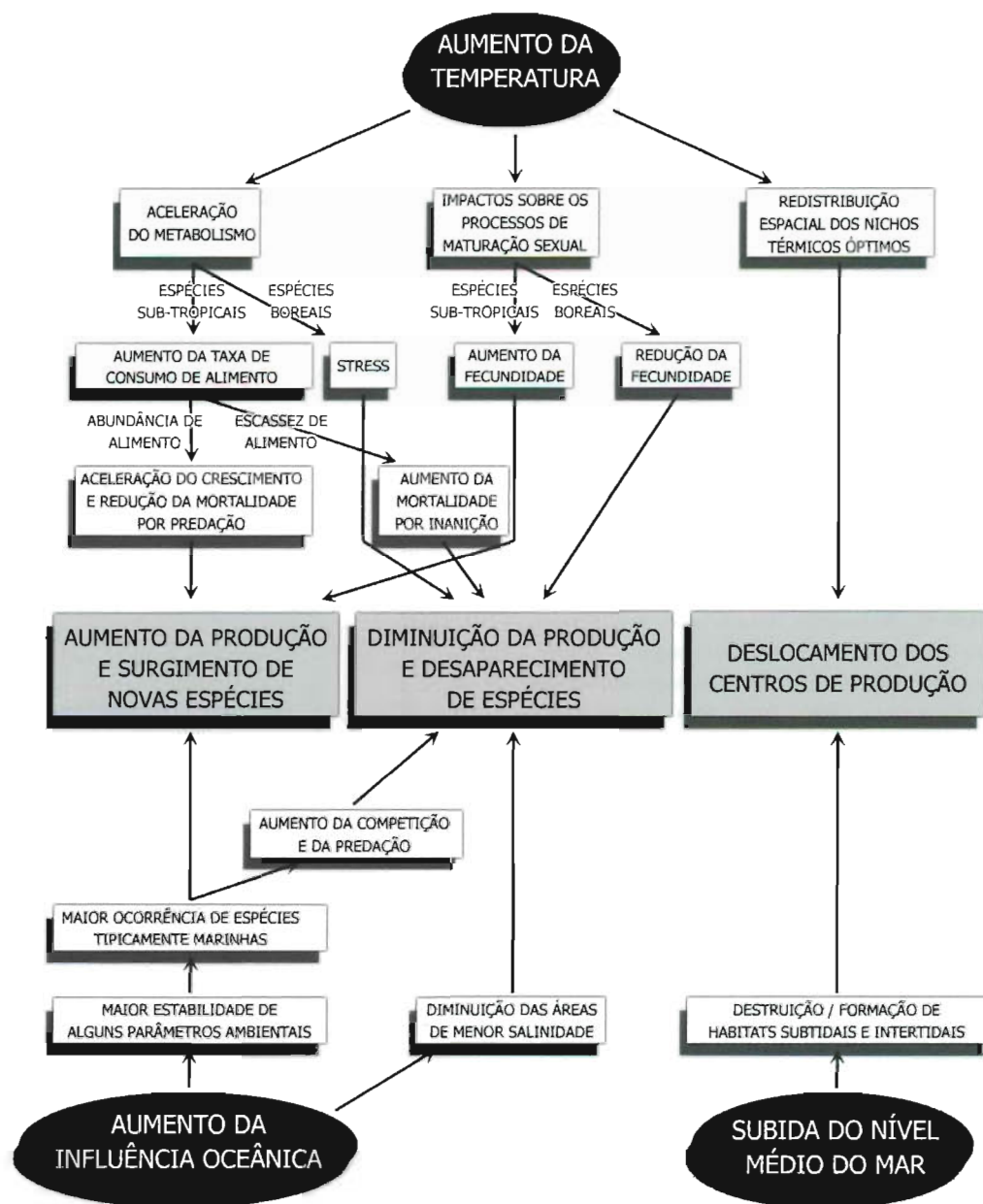


Figura 10.52 – Principais impactos (a cinzento) e vias de impacto (a branco) das mudanças climáticas (a preto) sobre os recursos haliêuticos do estuário do Sado

10.9.2 Impactos sobre os Recursos Haliêuticos e Medidas de Adaptação

De forma simplificada, os cenários de mudança climática utilizados neste estudo projectam uma diminuição significativa da precipitação sobre a bacia do Sado e, em consequência, uma redução do caudal deste rio. Acrescendo a este fenómeno a previsão da subida do nível da água do mar, implicando uma maior entrada de água pela embocadura do

estuário, conclui-se que a influência oceânica no estuário se tornará progressivamente maior ao longo do século XXI, com deslocação da cunha salina para montante. Estas alterações, a somar às alterações de temperatura do ar e do mar, terão certamente impacto significativo no sector das pescas.

A Figura 10.52 resume aquelas que poderão ser as principais vias de impacto das alterações climáticas sobre os recursos haliêuticos do estuário do Sado.

Tabela 10.28 – Óptimos térmicos para algumas espécies que ocorrem no estuário do Sado

Espécie	Óptimo térmico	Referência
<i>Anguilla anguilla</i>	25-27 °C	Degani <i>et al.</i> (1988)
<i>Dicentrarchus labrax</i>	24-26 °C	Blanquet (1993)
<i>Liza aurata</i>	23-25 °C	Probotov e Tereshchenko (1951)
<i>Maja squinado</i>	8-17 °C	Frederich e Pörtner (2000)
<i>Octopus vulgaris</i>	17,5-20 °C	Giménez e Garcia (2002)
<i>Platichthys flesus</i>	18-22 °C	Fonds <i>et al.</i> (1992)
<i>Sepia officinalis</i>	25-27 °C	Pascual (1978)
<i>Sparus aurata</i>	26-28 °C	Libralato (1998)

10.9.2.1 Impacto do Aumento da Temperatura sobre o Metabolismo

Tratando-se de espécies ectotérmicas, *i.e.*, que não controlam a sua temperatura corporal, os recursos haliéuticos do estuário do Sado são fortemente influenciados pela temperatura da água que os rodeia, uma vez que todos os processos fisiológicos são mediados por enzimas cuja actividade depende da temperatura. Como regra geral, nos animais ectotérmicos existe uma gama estreita de temperaturas que maximizam o crescimento dos indivíduos (óptimo térmico), assim como dois limites críticos de temperatura (um inferior e outro superior) para além dos quais um ou mais processos vitais cessam devido à desactivação enzimática. Tanto os limites críticos como o óptimo térmico diferem de espécie para espécie, razão pela qual o aumento da temperatura da água não tem um efeito uniforme em todos os recursos; como exemplo indicamos os óptimos térmicos de algumas espécies existentes no estuário (Tabela 10.28).

Assim, enquanto que para algumas espécies um eventual aquecimento da água é prejudicial, por ser atingido o limite crítico superior, para outras o crescimento torna-se mais rápido e, por esse motivo, aumentam as probabilidades de sobrevivência dos indivíduos, com consequente aumento da produtividade. Porém, se o alimento for escasso – por exemplo, porque é sensível a temperaturas elevadas –, o aumento do metabolismo pode conduzir a uma menor taxa de crescimento ou até mesmo à perda de peso (Figura 10.53); consequentemente, o *fitness* da população diminui, assim como a sua produtividade.

10.9.2.2 Impacto do Aumento da Temperatura sobre o Processo de Maturação Sexual

Para além de diferir entre espécies, o óptimo térmico também varia em certos casos com a idade dos organismos, espe-

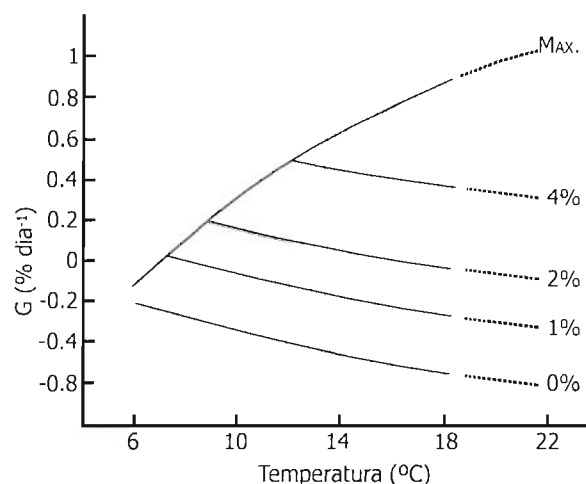


Figura 10.53 – Influência da temperatura e da disponibilidade de alimento (% peso dia⁻¹) sobre a taxa de crescimento (G, % peso dia⁻¹) do robalo (*Dicentrarchus labrax*). As estimativas baseiam-se em peixes com peso médio igual a 15 g (Russel *et al.*, 1996).

cialmente quando o ciclo de vida é composto por várias fases (Coutant, 1987). Por exemplo, von Westernhagen (1970) refere que temperaturas invernais superiores a 12 °C estão associadas a elevadas mortalidades dos ovos da solha-das-pedras (*Platichthys flesus*).

Em particular, o processo de maturação sexual é bastante sensível à temperatura ambiente, sendo frequentemente mediado por esta. Para as espécies que requerem temperaturas baixas (<12 °C) a fim de atingirem a maturação sexual, como p. ex. o robalo (Blanquet, 1998) e a ostra (Schuller, 1998), o aumento significativo da temperatura da água pode comprometer a reprodução dos indivíduos e, em consequência, a produtividade da população a curto/médio prazo. Em oposição, o potencial reprodutor de espécies características de águas quentes pode aumentar e estas podem gradualmente substituir as primeiras na teia trófica do estuário.

10.9.2.3 Alteração na Localização e Dimensão dos Nichos Térmicos Óptimos (NTOs)

Num estudo de quatro espécies dulciaquícolas (lúcio, truta-de-lago, picão-verde e coregono-de-lago), Christie e Regier (1988), comprovaram a importância da dimensão do *nicho térmico ótimo* (NTO) para a produtividade dos recursos haliêuticos: sem excepção, as capturas destas espécies em 21 lagos norte-americanos estavam significativamente correlacionadas com a área e/ou o volume do NTO. Face a estes resultados, Magnuson *et al.* (1990) e Stefan *et al.* (2001) utilizaram o NTO como medida do impacto das alterações climáticas sobre a produtividade de populações ícticas lacustres. No presente trabalho, será exemplificada a aplicação desta abordagem com recurso a três espécies que utilizam o estuário do Sado como viveiro, maioritariamente nos meses de Verão (JJA): o choco-vulgar (*Sepia officinalis*), a solha-das-pedras (*Platichthys flesus*) e o robalo (*Dicentrarchus labrax*).

Atendendo ao *habitat* ocupado por cada espécie, estimou-se a dimensão da área (no caso do choco-vulgar e da solha-das-pedras) ou volume (no caso do robalo) do NTO, com base nos dados de temperatura da água à superfície fornecidos por Gordo *et al.* (2002)¹ e nos dois cenários considerados (B2 e A2). Como mostra a Figura 10.54, o eventual aquecimento da água está associado ao surgimento de uma região no estuário do Sado em que a temperatura média estival se encontra dentro do ótimo térmico do robalo e do choco-vulgar, o que pode favorecer a produtividade destas populações. Paralelamente, dá-se o desaparecimento da área do estuário na qual a temperatura se encontra dentro do ótimo térmico da solha-das-pedras. Este último indicio, conjugado com as considerações feitas por Cabral *et al.* (2001) acerca da relação entre o aumento da temperatura e o decréscimo na abundância desta espécie no estuário do Tejo, leva a crer que a solha-das-pedras poderá desaparecer do estuário do Sado em resposta a um aquecimento pronunciado.

Admitindo que os animais procuram activamente o ótimo térmico dentro da sua área de actividade, desde que outros parâmetros (salinidade, pH, poluentes, etc.) não sejam inibidores (p. ex., Jobling, 1999), espera-se ainda um deslocamento significativo do centro de produção do robalo em consequência do aumento da temperatura da água: num cenário de aquecimento pronunciado (A2), o esteiro da Marateca começa por constituir o principal centro de produção (quando a temperatura é 1 °C maior do que actualmente), sendo depois substituído pela região da península da Mitrena, onde a profundidade é maior.

10.9.2.4 Impacto do Aumento da Influência Oceânica

Por possuir já hoje em dia forte influência oceânica, o estuário do Sado parece não ser favorável à ocorrência de espécies dulciaquícolas ocasionais, ao passo que as espécies marinhas ocasionais são muito comuns (p. ex., Cabral, 1999). Com a subida do nível médio do mar e a redução da precipitação, as flutuações de alguns parâmetros ambientais dentro do estuário perderão amplitude e tornar-se-ão mais semelhantes às das regiões costeiras. Em consequência, aumentará a probabilidade de algumas espécies marinhas colonizarem o estuário ou tornarem-se mais abundantes: como exemplo indicam-se o polvo-comum, a gambá-manchada e vários esparídeos (Tabela 10.26). Se encontrarem nos esteiros ambientes favoráveis, estas espécies poderão ganhar importância considerável como recursos do estuário, mas ao mesmo tempo poderão competir com ou preda- indivíduos de espécies residentes ou que utilizam o estuário como viveiro. Entre estas, as potencialmente mais afectadas serão as menos tolerantes à elevada salinidade, uma vez que ficarão confinadas a áreas muito menores que as actuais: como exemplo indicam-se o camarão-de-água-doce, a camarinha e a grifa.

10.9.2.5 Alteração na Distribuição dos Habitats Intertidais e Subtidais

Com a subida do nível médio do mar, as comunidades vegetais existentes nas margens do estuário responderão, favorecendo as espécies tolerantes à salinidade e a maiores tempos de submersão, em detrimento das espécies intolerantes. Esta substituição dinâmica geralmente modifica a capacidade de retenção de sedimento por parte das comunidades, permitindo-lhes acompanhar a subida do nível do mar. Contudo, a contínua dragagem dos canais de navegação e a intensificação do uso da terra nas zonas costeiras pode comprometer todo o processo (Jones, 1994). No estuário do Sado, este problema parece ser mais grave na margem Norte, uma vez que a densidade populacional, a actividade industrial e a circulação de embarcações são aí superiores. Os impactos da subida do nível médio do mar serão por esse motivo mais pronunciados nesta zona e poderão incluir uma perda significativa de *habitats* vitais para a alimentação e protecção de juvenis e adultos de espécies aquáticas com interesse comercial, entre outras.

10.9.2.6 Discussão

As alterações climáticas podem conduzir a uma grande variedade de modificações na fisiologia e distribuição das

¹ Por falta de dados sobre a variação da temperatura da água em função da profundidade, não nos foi possível ter em consideração este factor no processo de estimação das áreas e volumes do NTO.

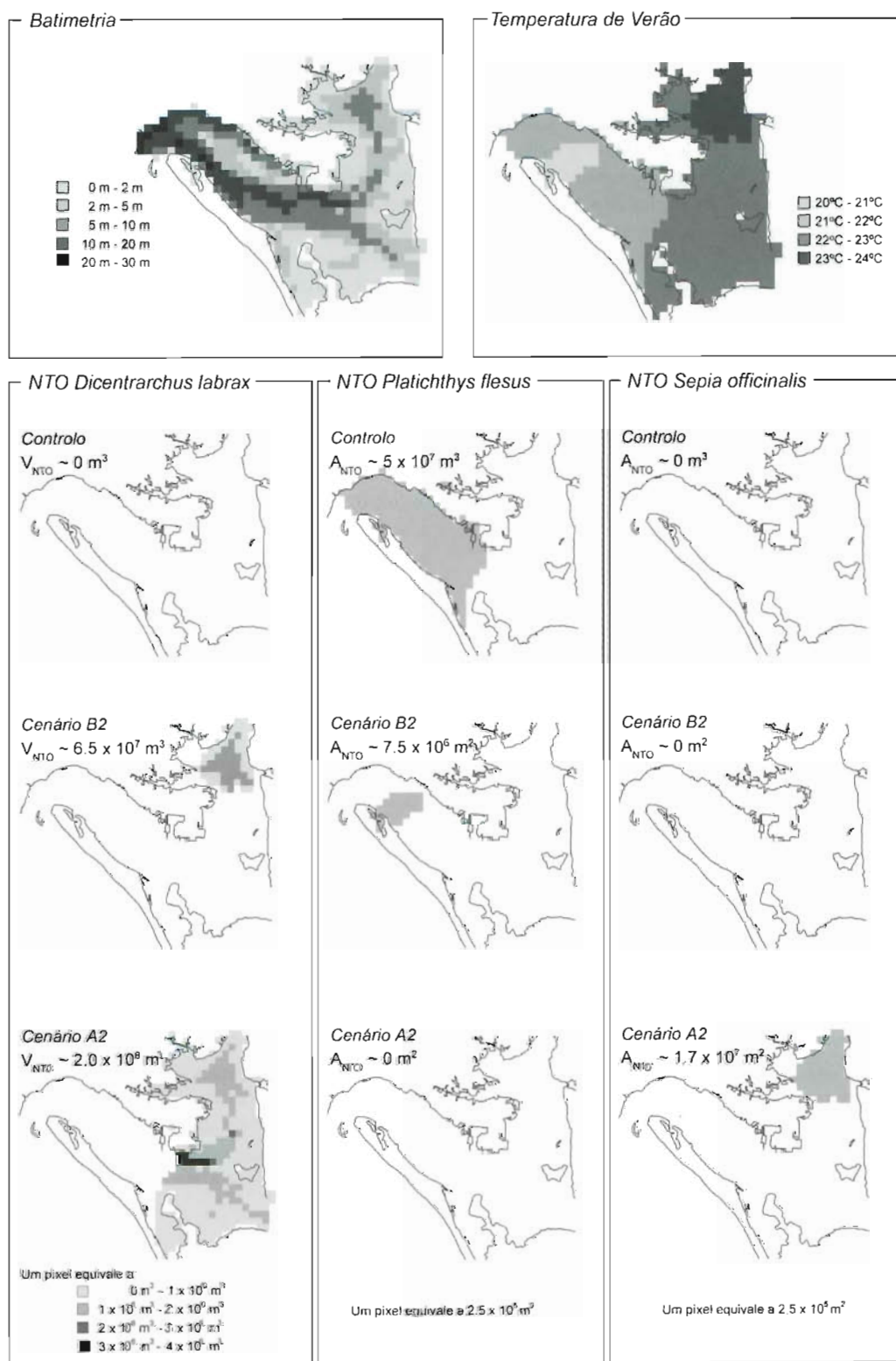


Figura 10.54 – Impacto do aumento da temperatura, sob os cenários B2 e A2 do HadRM3, sobre a área (A) ou volume (V) do nicho térmico ótimo (NTO) do robalo (*Dicentrarchus labrax*), solha-das-pedras (*Platichthys flesus*) e choco-vulgar (*Sepia officinalis*).

espécies existentes no estuário do Sado, assim como ao desaparecimento e introdução de espécies. Atendendo às lacunas existentes no conhecimento da sua biologia, ecologia e relações tróficas, conclui-se que é difícil precisar quais serão os recursos mais beneficiados e quais os recursos postos em perigo.

Como alternativa, uma comparação entre as actuais comunidades de diferentes sistemas costeiros portugueses pode fornecer indicações úteis sobre a resposta dos recursos a diferentes regimes de temperatura e precipitação. Nomeadamente, a comparação entre os recursos icticos do estuário do Sado e os de três sistemas localizados a sul – o estuário do Mira, a ria de Alvor e a ria Formosa –, onde a temperatura da água é superior e os caudais dos rios são inferiores, pode

sugerir quais as espécies mais ameaçadas de desaparecer do estuário do Sado devido ao aquecimento da água e à redução da precipitação. Da consulta de uma revisão bibliográfica realizada por Lopes da Cunha (1994) obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 10.29, onde sobressai que a maioria dos recursos icticos existentes no estuário do Sado ocorrem igualmente nos outros três sistemas. Contudo, existem sete espécies que lhe são exclusivas e 16 que ocorrem apenas noutro sistema.

Se bem que outros factores concorram com a temperatura para justificar as diferentes composições faunísticas encontradas, é provável que algumas destas 23 espécies sejam as mais susceptíveis a um eventual aquecimento da água. Numa perspectiva de exploração dos recursos continentais

Tabela 10.29 – Presença (P) de recursos icticos do estuário do Sado, no estuário do Mira (E.M.) e rias Formosa (R.F.) e de Alvor (R.A.). As espécies sinalizadas com um asterisco (*) são residentes ou utilizam o estuário como viveiro. Dados de Lopes da Cunha (1994)

Nome Científico	E.M.	R.A.	R.F.	Nome Científico	E.M.	R.A.	R.F.
<i>Torpedo marmorata</i>			P	<i>Pagrus auriga</i>			
<i>Torpedo torpedo*</i>	P			<i>Pagrus pagrus</i>			P
<i>Raja clavata*</i>				<i>Sarpa salpa*</i>	P	P	P
<i>Raja undulata*</i>	P			<i>Sparus aurata</i>	P	P	P
<i>Alosa fallax</i>		P	P	<i>Spondylusoma cantharus*</i>	P	P	P
<i>Sardina pilchardus*</i>	P	P	P	<i>Labrus bergylta*</i>	P		
<i>Engraulis encrasicolus*</i>	P	P	P	<i>Symphodus melops*</i>	P	P	
<i>Anguilla anguilla</i>	P	P	P	<i>Liza aurata*</i>	P	P	P
<i>Conger conger*</i>	P		P	<i>Liza ramada</i>	P	P	P
<i>Belone belone</i>			P	<i>Mugil cephalus*</i>		P	P
<i>Merluccius merluccius</i>				<i>Scorpaena notata</i>	P		P
<i>Pollachius pollachius</i>				<i>Scorpaena porcus</i>	P		P
<i>Trisopterus luscus</i>			P	<i>Trigla lucerna*</i>	P	P	P
<i>Phycis phycis</i>				<i>Trigloporus lastoviza</i>			
<i>Dicentrarchus labrax*</i>	P	P	P	<i>Citharus linguatula</i>			
<i>Dicentrarchus punctatus</i>			P	<i>Scophthalmus rhombus</i>		P	P
<i>Trachurus trachurus*</i>		P	P	<i>Arnoglossus laterna*</i>	P		P
<i>Mullus surmuletus*</i>	P	P	P	<i>Arnoglossus thori*</i>	P		P
<i>Boops boops</i>	P	P	P	<i>Platichthys flesus</i>	P		
<i>Diplodus annularis*</i>	P	P	P	<i>Dicologlossa cuneata</i>			P
<i>Diplodus cercinus</i>	P	P	P	<i>Microchirus azevia</i>	P		
<i>Diplodus puntazzo</i>	P	P	P	<i>Monochirus hispidus*</i>			P
<i>Diplodus sargus*</i>	P	P	P	<i>Solea lascaris</i>			P
<i>Diplodus vulgaris*</i>	P	P	P	<i>Solea senegalensis*</i>	P	P	P
<i>Lithognathus mormyrus</i>			P	<i>Solea vulgaris*</i>	P		P
<i>Pagellus acarne</i>			P	<i>Halobatrachus didactylus*</i>	P	P	P
<i>Pagellus bogaraveo</i>			P				

portugueses, os impactos sobre as espécies residentes ou que utilizam o estuário do Sado como viveiro são mais preocupantes. Assim, as espécies sinalizadas na Tabela 10.29 com asterisco e pouco comuns noutros sistemas são aquelas sobre as quais as alterações climáticas podem ter um efeito mais gravoso. As raíãs e as tremelgas, devido às suas características biológicas (reduzida fecundidade, crescimento lento e maturação sexual tardia), são talvez as espécies mais sensíveis às modificações do meio aquático, pelo que estes recursos poderão sofrer impactos significativos.

10.9.2.7 Medidas de Adaptação

Numa primeira análise, os recursos mais ameaçados pelas alterações climáticas parecem ser de importância secundária para as pescas no estuário do Sado. Exceptuando a enguia e alguns crustáceos (camarão-de-água-doce e camarinha), não existe para estas espécies uma pesca dirigida, pelo que a regulação da mortalidade de pesca sobre elas infligida parece ser impraticável. De qualquer forma, a substituição de alguns recursos poderá ser inevitável. De acordo com Brody e Hlohowskyj (1998), este processo é autónomo e não requer programas públicos relevantes. Igualmente, o aumento do interesse pela pesca desportiva deverá aumentar de forma gradual e autónoma, à medida que espécies marinhas como os esparídeos listados na Tabela 10.26 se tornarem mais comuns dentro do estuário.

Por outro lado, os problemas associados à subida do nível do mar deverão ser abordados de forma activa, p. ex. pelo Plano de Ordenamento da Reserva Natural do Estuário do Sado, a fim de minimizar a destruição dos sapais e dos bancos de fanerogâmicas. Neste âmbito, é provável a existência de conflitos com instituições públicas e privadas interessadas no uso e desenvolvimento das zonas costeiras. O conjunto de medidas tomadas poderá definir de forma significativa a extensão dos impactos das alterações climáticas sobre a capacidade do estuário do Sado se manter como viveiro dos recursos aquáticos que actualmente o utilizam para esse fim.

Na zona da ilha do Cavalo e no esteiro da Marateca, a delimitação de bancos de mitigação, onde toda a pesca e apanha sejam proibidas, poderá também minimizar a perda de *habitats* para alguns recursos. A sensibilização das populações para a relevância destes bancos é neste caso fundamental, competindo-lhes participar no seu desenvolvimento e promover a sua exploração sustentada.

Por último, deverá ser minimizada a construção de barreiras físicas que se opõem à migração de algumas espécies (save-lha, enguia, tainha-fataça) e deverá ser feito um investimento na gestão e fiscalização da pesca destes recursos.

10.9.3 Impactos sobre a Piscicultura e Medidas de Adaptação

10.9.3.1 Modificações Estruturais Devidas ao Aumento do Nível do Mar

Para o bom funcionamento de uma piscicultura, é necessário proceder com alguma regularidade à renovação da água que se encontra nos tanques. Graças à concepção destes e à existência de marés, a água flui sem qualquer esforço através de todo o complexo, sendo a bombagem de água exterior necessária apenas em dias de marés mortas ou em situações de emergência. O sistema de comportas, responsável pela comunicação entre o meio exterior e os vários tanques, está perfeitamente adaptado ao regime actual de marés. As margens dos tanques também são em geral pouco elevadas e encontram-se parcialmente cobertas por vegetação, que lhes confere estabilidade.

Com esta breve descrição pretendeu-se evidenciar a susceptibilidade das pisciculturas do estuário do Sado à subida do nível médio do mar: se esta de facto ocorrer será forçoso elevar todas as estruturas a fim de manter a sua funcionalidade. Por se tratar de um processo gradual, é provável que a subida do nível do mar não obrigue a obras inoportáveis para o funcionamento dos estabelecimentos. Em princípio, a elevação das margens e comportas deverá ser feita uma ou duas vezes por década, de preferência em simultâneo com a regularização habitual dos fundos, já que esta pode fornecer o sedimento necessário para as obras.

Atendendo aos dois cenários estudados, é imediato que os custos associados à elevação das comportas e margens são maiores no cenário A2, já que a subida do nível do mar prevista é superior.

10.9.3.2 Modificações na Produção Piscícola

Para estimar a alteração na produção piscícola provocada pelo aumento da temperatura, foi construído um modelo de simulação de uma empresa de piscicultura dirigida à principal espécie cultivada no estuário do Sado – a dourada (*Sparus aurata*), com as seguintes propriedades:

- São explorados sete tanques, com um volume total igual a 15 000 m³.
- No primeiro ano de simulação (Ano 0), são adquiridos ou produzidos em maternidades 1500 alevins (5 g de peso) em Março, Julho, Agosto e Setembro e 3000 alevins em Abril, Maio e Junho, sendo cada abastecimento colocado num só tanque.
- O crescimento individual diário da dourada e o seu consumo diário de alimento seguem as equações indicadas por Libralato (1998).

- Os peixes são alimentados *ad libitum*.
- A eficiência de absorção alimentar é 95 % e a taxa de assimilação do alimento absorvido é 90 %.
- A temperatura varia ao longo do ano de acordo com as funções:

$T = 18.2 - 6.6 \cos(2\pi(\text{dia} - 31)/365)$, na situação actual (controlo);

$T = 19.2 - 6.6 \cos(2\pi(\text{dia} - 31)/365)$, sob o cenário B2;

$T = 20.2 - 6.6 \cos(2\pi(\text{dia} - 31)/365)$, sob o cenário A2.

A primeira equação foi obtida com base nos dados recolhidos por Ribeiro *et al.* (2000), enquanto a segunda e a terceira derivam das anomalias térmicas previstas pelos cenários B2 (+1,0 °C) e A2 (+2,0 °C) (Figura 10.55).

- Existe um número suficiente de arejadores para impedir que se estabeleçam condições de anóxia nocturna.
- Os peixes são removidos de um tanque quando atingem o tamanho comercial, igual a 350 g (Santinha, 1998).
- São possíveis dois regimes de reabastecimento dos tanques: no primeiro, a densidade ictica é mantida constante pela *substituição imediata* de animais com tamanho comercial por alevins; na segunda, o reabastecimento de um tanque só é feito no mesmo mês que no Ano 0, sendo colocada a mesma quantidade que tinha sido retirada – *substituição «constrangida»*.
- A taxa de sobrevivência anual ronda 90%.

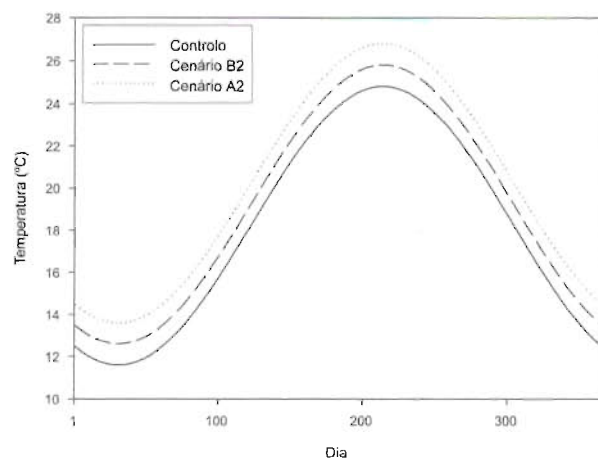


Figura 10.55 Variação da temperatura ao longo do ano num tanque de aquicultura do estuário do Sado, de acordo com a situação de controlo baseada nos dados de Ribeiro *et al.* (2000) e os cenários B2 e A2

O programa desenvolvido (IACAD - Impactos das Alterações Climáticas sobre a Aquicultura de Dourada) encontra-se disponível em regime de *shareware*. Na Tabela 10.30 encontram-se os resultados de uma simulação de 100 anos.

Em regime de substituição «constrangida», tal como nas actuais pisciculturas do estuário do Sado, assiste-se com o aumento da temperatura da água a uma redução significativa no tempo que medeia a colocação dos alevins e a retirada dos peixes com tamanho comercial (-13,6 %, para +1 °C, e -19,2 %, para +2 °C). Todavia, por estar restrita a uma estratégia de repovoamento fixa no tempo, os benefícios do aumento da temperatura na produção não são evidentes – os tanques passam a estar vazios por períodos mais longos, ao passo que o escoamento e o consumo anual de ração não se alteram de forma significativa.

Já no caso de se fazer uma modificação de regime de repovoamento os resultados são bem diferentes: para além da redução no tempo de produção, o reabastecimento imediato dos tanques possibilita à empresa de piscicultura funcionar todo o ano com a mesma densidade ictica nos tanques (1 peixe/m³), pelo que o escoamento anual é significativamente superior (+53,2 %, para +1 °C, e +78,6 %, para +2 °C). A compra ou produção anual de alevins é também maior, assim como os gastos em ração, mas estes aumentos não são tão elevados como o aumento de produção, em especial no cenário A2. Este facto deve-se por um lado à maior proporção de alevins que sobrevivem até atingirem o tamanho comercial (dado que se desenvolvem mais depressa) e por outro ao incremento da eficácia de conversão associado à subida da temperatura.

A chave para estes resultados encontra-se no comportamento da dourada durante o Inverno: actualmente, a temperatura da água desce abaixo de 13 °C nos meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro, pelo que os peixes se alimentam e movem pouco, sendo o crescimento muito lento ou podendo até haver perda de peso. Atendendo a isto, os piscicultores preferem hoje em dia adoptar o regime de substituição «constrangida», já que a substituição imediata comportaria um aumento do tempo de produção. Sob cenários de aquecimento tal já não acontece, graças às maiores taxas de crescimento invernal, e o regime de substituição imediata torna-se potencialmente mais interessante. Dois aspectos sobre a mudança de regime devem contudo ser mencionados:

- 1) O aumento da necessidade de alevins provenientes de maternidades obrigará à sua produção em muito maior escala do que actualmente. Para tal, serão necessárias novas infra-estruturas situadas na Reserva Natural do Estuário do Sado ou na sua periferia.
- 2) Sendo parte do alimento não assimilado excretado sob a forma de compostos dissolvidos na água, é de supor que a poluição/enriquecimento dos efluentes das pisciculturas aumentará com a mudança de regime, a menos que se dê uma franca melhoria da qualidade das rações, com aumento das taxas de ingestão e conversão. De acordo com os estudos de Brogueira *et al.* (1994) e Monteiro e Oli-

Tabela 10.30 – Simulação do impacto do aumento da temperatura sobre a produção de dourada numa piscicultura fictícia. Para cada variável é estimada a média e o Intervalo de Confiança de 95 % para a média (IC95 %), assim como a alteração percentual relativamente à simulação de controlo em regime de substituição «constrangida» (APRC)

	Controlo		Cenário B2		Cenário A2	
<i>Substituição «constrangida»</i>	\bar{x} (IC95%)	APRC	\bar{x} (IC95%)	APRC	\bar{x} (IC95%)	APRC
Tempo de produção (dias)	513,6 (513,5; 513,7)	-	444,0 (443,9; 444,1)	-13,6 %	415,0 (415,0; 415,1)	-19,2 %
Escoamento anual (x1000 peixes / ano)	19,5 (17,2; 21,9)	-	19,9 (16,0; 23,8)	+1,9 %	20,1 (16,1; 24,0)	+2,7 %
Compra ou produção de alevins (x1000 peixes / ano)	22,5 (19,8; 25,2)	-	22,5 (18,1; 26,9)	+0 %	22,5 (18,1; 26,9)	+0 %
Gastos em ração (ton / ano)	14,6 (13,7; 15,4)	-	14,2 (13,5; 14,9)	-2,6 %	14,5 (14,3; 14,8)	-0,3 %
Ração não assimilada (kg / ano)	72,8 (68,5; 77,1)	-	71,0 (67,7; 74,3)	-2,6 %	72,6 (71,4; 73,9)	-0,3 %
	Controlo		Cenário B2		Cenário A2	
<i>Substituição imediata</i>	\bar{x} (IC95%)	APRC	\bar{x} (IC95%)	APRC	\bar{x} (IC95%)	APRC
Tempo de produção (dias)	553,5 (553,4; 553,6)	+7,8 %	479,9 (479,8; 480,0)	-6,6 %	419,1 (419,0; 419,2)	-18,4 %
Escoamento anual (x1000 peixes / ano)	25,4 (23,0; 27,9)	+30,2 %	29,9 (28,3; 31,6)	+53,2 %	34,9 (33,5; 36,2)	+78,6 %
Compra ou produção de alevins (x1000 peixes / ano)	29,6 (26,8; 32,4)	+31,6 %	34,2 (32,3; 36,0)	+51,8 %	39,2 (37,6; 40,7)	+74,0 %
Gastos em ração (ton / ano)	19,1 (18,7; 19,5)	+30,9 %	22,0 (21,8; 22,2)	+50,9 %	24,1 (24,0; 24,2)	+65,4 %
Ração não assimilada (kg / ano)	95,3 (93,3; 97,3)	+30,9 %	109,9 (108,6; 110,9)	+51,2 %	120,4 (120,0; 120,8)	+65,4 %

veira (1994), as pisciculturas do estuário do Sado parecem não provocar impactos significativos sobre o meio receptor; porém, nesses mesmos estudos salienta-se a necessidade de monitorizar as consequências de um eventual redimensionamento destes estabelecimentos, de modo a que não ocorra eutrofização do meio exterior.

10.9.3.3 Aumento dos Riscos de Anóxia Nocturna

Como foi referido no ponto anterior, o aumento da temperatura provoca uma aceleração do crescimento da dourada, encurtando o tempo de produção. Na realidade, não se trata apenas da taxa de crescimento que aumenta, mas sim de todos os processos metabólicos. Se, por um lado, uma dourada consome mais alimento e cresce mais por unidade de tempo, também está mais activa e consome mais oxigénio (Libralato, 1998). Este aspecto é particularmente importante

nas noites mais quentes do ano, uma vez que o consumo de oxigénio por parte dos peixes e de outros organismos existentes nos tanques (p. ex. algas e bactérias) pode levar à sua rápida depleção. Com o intuito de evitar este fenómeno letal para os peixes, os piscicultores do estuário do Sado possuem arejadores de pás (*paddlewheels*) em todos os tanques e mantêm-nos activos nessas noites. Segundo Bird e Cassells (2001), os arejadores de pás são muito eficazes na miscigenação e oxigenação da água de um tanque, permitindo a formação de uma camada de sedimento bem oxidado. Para comprovar a sua eficiência, considere-se o seguinte exemplo: num tanque com 200 m³ são colocadas 600 douradas com peso médio igual a 300 g; numa noite em que a água se encontra a 25 °C, o consumo de oxigénio por parte dos peixes é próximo de 24 gO₂/h, ao passo que um arejador de pás com dimensão média (consumo = 1kw/h) consegue injectar na água cerca de 2100 gO₂/h, segundo Bird e Cassells (2001). É no entanto de notar que em certas pisciculturas o contri-

buto dos peixes para o consumo total de oxigénio é bastante reduzido, não ultrapassando por vezes 10 % (Brogueira *et al.*, 1994). Por este motivo, a manutenção do teor de oxigénio dissolvido acima dos níveis mínimos de segurança (5 mg/L; Klein, 1959) requer por vezes o uso de dois arejadores nos tanques maiores.

Sob os cenários de aquecimento, é portanto de prever um aumento dos riscos de anóxia nocturna, agravados pela redução da solubilidade do oxigénio na água com o aumento da temperatura. Como medidas de adaptação, propõe-se o uso de mais arejadores por tanque e uma gestão cuidada da densidade íctica e da ração fornecida, a fim de evitar um excesso de consumo de oxigénio, quer por parte dos peixes quer por parte dos organismos decompositores e microalgas.

10.9.3.4 Riscos de Doenças

Outro resultado da intensificação da actividade dos peixes é o aumento da taxa de contactos físicos entre animais, com consequente aumento do *stress* e da transmissibilidade de doenças. Entre as doenças encontradas em *S. aurata* no estuário do Sado encontram-se parasitoses e bacterioses, provocadas por agentes encontrados naturalmente na microfauna e flora aquática do estuário (Menezes, 1994). Em resposta ao aumento destes riscos face aos cenários de aquecimento, salienta-se a importância do manuseio correcto dos peixes, do eficaz funcionamento do circuito hidráulico e da correcta dosagem diária de ração. O desenvolvimento de sistemas de monitorização sanitária e de medidas de combate a patologias não lesivas para o ambiente deve igualmente ser fomentado.

10.9.3.5 Orçamentação e Conclusões

Como complemento final a esta análise, propõe-se a orçamentação da piscicultura fictícia definida em 4.1.2. sob os três cenários térmicos e os dois regimes de repovoamento considerados (também incluída no programa IACAD). As Tabelas 10.31 e 10.32 contêm os parâmetros necessários para a estimação do orçamento e a Tabela 10.33 apresenta os resultados finais.

Como mostra a Tabela 10.33, os cenários de aquecimento e subida do nível médio do mar estão associados a um potencial aumento da rentabilidade da aquacultura de dourada, não obstante o aumento dos encargos. Porém, à medida que a produção for aumentando, o valor da dourada tenderá a diminuir e, consequentemente, aumentará a necessidade de diversificar as espécies cultivadas e dos produtos a propor ao consumidor. Com o propósito de aumentar a competitividade das pisciculturas do estuário do Sado, deverá ser

diversificada a produção de espécies autóctones, incluindo cefalópodes e crustáceos. O desenvolvimento de Sistemas de Informação Geográfica e de modelos computadorizados para o estudo das interações aquacultura-ambiente e para a previsão dos impactos das alterações climáticas devem ser fomentados, assim como a formação (cursos, seminários, etc.) de produtores e outros agentes, focando aspectos ambientais como p. ex. códigos de conduta ambiental.

Para a prosperidade das empresas, será também fundamental o reforço das redes nacionais e internacionais que liguem os vários agentes da aquacultura: empresários, investigadores, autarcas, financiadores e seguradoras.

10.10 SAÚDE HUMANA

10.10.1 Saúde Humana do Distrito de Setúbal

No que se refere à saúde humana, utilizar-se-á o distrito de Setúbal como região para o estudo de caso. Esta decisão baseou-se no facto de os dados necessários (demográficos, saúde e ambientais) se encontrarem disponíveis para este nível de agregação. Este distrito tem uma população residente de aproximadamente 790 000 habitantes, e a região definida para o estudo é composta por zonas urbanas, suburbanas, industriais e rurais. Esta região também inclui grandes áreas de zonas húmidas e parques naturais com vida selvagem.

Na região seleccionada, 15 % da população tem idade igual ou inferior a 14 anos, 71 % entre 15 e 64 anos, e 14 % tem idade superior ou igual a 65 anos. As taxas de natalidade, mortalidade e mortalidade infantil são, respectivamente, de 11,4, 10,8 e 4,9 por 100 000 habitantes (INE 2001a, INE 2001b).

Está bem documentado que alterações ambientais podem ter impactos significativos na saúde humana (Watson *et al.* 1998). No caso de Portugal, episódios de calor extremo ocorridos no século XIX foram motivo de preocupação para os cientistas da época que se debruçavam sobre questões relacionadas com Saúde Pública (Alcôforado *et al.*, 1999). Estudos mais recentes (Falcão *et al.*, 2003) ilustram aumentos da mortalidade, em Portugal, associados a períodos de ondas de calor.

O clima temperado do distrito de Setúbal e as condições ecológicas únicas que rodeiam o estuário são ideais para a sobrevivência de numerosos tipos de vectores (mosquitos, carraças, etc.). Não é pois surpreendente que registos históricos revelem que os habitantes da região sofreram, com frequência, de doenças transmitidas por vectores, das quais a malária era a mais comum. Por outro lado, a literatura

Tabela 10.31 – Estimativas de parâmetros de produção de uma piscicultura fictícia, sob dois regimes de exploração e três cenários distintos

	Substituição «constrangida»			Substituição imediata		
	Controlo	B2	A2	Controlo	B2	A2
Escoamento anual (×1000 peixes/ano)	19,5	19,9	20,1	25,4	29,9	34,9
Alevins (×1000/ano)	22,5	22,5	22,5	29,6	34,2	39,2
Ração (ton/ano)	14,6	14,2	14,5	19,1	22,0	24,1
Valor comercial (€/kg)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Actividade dos arejadores (# meses/ano)	6	6	9	6	6	9
Número de arejadores (#)	7	7	14	7	7	14
Manutenção e elevação de comportas e margens (€/ano)	500	600	800	500	600	800

Tabela 10.32 – Estimativas de custos fixos associados a uma piscicultura fictícia

Pessoal técnico (€/ano)	7000,00
Manutenção do equipamento, instalações, etc. (€/ano)	500,00
Compra ou produção de alevins (€/kg)	0,20
Preço da ração (€/kg)	0,50
Funcionamento de cada arejador (€/dia)	0,60
Processamento final: embalagens, gelo, etc. (€/kg)	0,12

Tabela 10.33 – Orçamento anual da piscicultura fictícia considerada

(×1000€/ano)	Substituição «constrangida»			Substituição imediata		
	Controlo	B2	A2	Controlo	B2	A2
Rendimento bruto	27,4	27,9	28,1	35,6	41,9	48,9
Despesas em ração	7,3	7,1	7,3	9,5	11,0	12,0
Despesas na compra ou produção de alevins	4,5	4,5	4,5	5,9	6,8	7,8
Despesas em pessoal técnico e manutenção	8,8	8,9	10,6	8,8	8,9	10,6
Despesas no processamento final	0,8	0,8	0,8	1,1	1,3	1,5
Rendimento líquido	6,0	6,6	4,9	10,3	14,0	16,9
Rend. bruto / despesas	1,28 : 1	1,31 : 1	1,21 : 1	1,41 : 1	1,50 : 1	1,54 : 1

internacional sugere que, devido às alterações climáticas, são as localizações com clima temperado que estão em maior risco de se tornarem zonas mais favoráveis para a transmissão deste tipo de doenças.

10.10.2 Impactos Potenciais das Alterações Climáticas na Saúde Humana

Os mecanismos pelos quais se admite que as alterações climáticas podem afectar a saúde humana são variados. Podem

ser directos, tais como a exposição a condições térmicas extremas ou inundações. Outros envolvem mecanismos intermédios e múltiplos, tais como os que afectam a dinâmica da transmissão de doenças transmitidas por vectores ou pela água. McMichael e Githeko (2001) consideram que, à escala global, os impactos negativos para a saúde excedem os impactos positivos.

As projecções sobre a extensão e direcção dos impactos potenciais das alterações climáticas na saúde são dificultadas pelo facto de envolverem muitos factores que são complexos

e mal compreendidos. Dadas estas limitações, é fundamental que a ênfase seja colocada na descrição e desenvolvimento de medidas que conduzam à redução da vulnerabilidade das populações. Assim, esta secção identifica e descreve as preocupações actuais de saúde pública que podem vir a ser agravadas sob a influência de alterações climáticas no distrito de Setúbal. Medidas de adaptação que podem ajudar a atenuar estes impactos são discutidas na secção seguinte.

É escassa a literatura científica que ilustre a existência de mudanças no estado de saúde dos portugueses devido às mudanças observadas no clima. O capítulo da saúde humana do Projecto SIAM I (Casimiro e Calheiros, 2002) analisou estes estudos e avaliou os impactos potenciais das alterações climáticas em Portugal. Nesse estudo optou-se por uma abordagem a nível nacional em detrimento de uma abordagem local.

No presente estudo foi avaliada, no contexto dos cenários climáticos para o distrito de Setúbal, a maioria dos impactos que tinham sido estudados no SIAM I a nível nacional para averiguar a sua pertinência neste contexto. Na Tabela 6.1 (Capítulo 6) apresentam-se os potenciais impactos identificados.

Alguns dos impactos descritos na Tabela 6.1 foram estudados com maior detalhe numa tentativa de avaliar a vulnerabilidade da população às alterações climáticas e de identificar mecanismos que permitam evitar ou reduzir essas consequências. A metodologia usada para a avaliação dos impactos foi semelhante à utilizada no estudo anterior. Durante a avaliação de cada resultado, foram considerados os seguintes pontos:

- O impacto estudado constitui um problema actual de saúde da região?
- Existem registos históricos que indiquem que o impacto foi um problema de saúde no passado?
- Qual a relação clima-saúde para o impacto?
- Supondo que as relações clima-saúde, acima indicadas, são válidas para todos os cenários de clima futuro, que alterações na saúde podemos esperar?

Os dados relativos a observações do clima utilizados neste estudo foram fornecidos pelo Instituto de Meteorologia. Para os cenários de clima futuro, foram utilizados os dados do Hadley Centre for Climate Prediction and Research (Reino Unido). Os dados de controlo (linha de base) basearam-se no respectivo cenário A2 para os períodos de 1961 a 1990. No que se refere às projecções climáticas futuras foram utilizados os cenários A2 e B2 para os períodos de 2070-2100.

10.10.2.1 Mortalidade Associada ao Calor

Está bem documentado que períodos prolongados de temperatura elevada provocam *stress* térmico, agravam os sintomas

de doenças preexistentes e conduzem a um aumento significativo da mortalidade (Kilbourne *et al.* 1982, Keatinge *et al.* 1986, Rooney *et al.* 1998). A maior parte desse aumento da mortalidade está relacionado com doenças cardiovasculares, cerebrovasculares e respiratórias, sendo mais elevado nas pessoas idosas e nos indivíduos com doenças preexistentes (Paixão e Nogueira, 2002).

As populações urbanas são das mais vulneráveis a estes impactos na saúde devido, em grande parte, ao efeito de «ilha de calor» presente nestas áreas (McGeehin e Mirabelli, 2001). Acresce que a poluição do ar é tipicamente mais elevada em áreas urbanas, pelo que os seus residentes ficam ainda mais vulneráveis face aos níveis elevados de poluição que acompanham, com frequência, as ondas de calor.

Vários estudos indicam que diferentes ondas de calor têm diferentes impactos na mortalidade. Factores como a intensidade, duração e a época em que ocorrem são determinantes do nível de impacto na saúde (Smoyer, 1993). Por exemplo, uma onda de calor que ocorra durante a Primavera afectaria, tipicamente, um maior número de indivíduos do que se a mesma ocorresse no Verão ou Outono. Por outro lado, ondas de calor mais prolongadas afectarão um maior número de indivíduos.

A análise das temperaturas extremamente elevadas que ocorreram em Junho de 1981 permitiram identificar uma ocorrência de 1900 mortes em excesso em menos de duas semanas (García *et al.* 1999). Uma década mais tarde, episódios de calor excessivo resultaram em mortalidade diária ainda mais elevada (Dessai, 2002; Paixão e Nogueira, 2002). O distrito de Setúbal registou uma das taxas mais elevadas de mortes em excesso durante estes períodos. Os valores estimados para o número de mortes em excesso na região encontram-se na Tabela 10.34. Estudos preliminares sobre a mortalidade registada durante as ondas de calor de Junho de 2000 e de Agosto de 2003 também revelam a ocorrência de mortes em excesso na região (Falcão *et al.*, 2003).

**Tabela 10.34 – Distrito de Setúbal:
Mortalidade observada e esperada
associada a ondas de calor**

Onda de calor	Mortes adicionais	Varição da mortalidade
Junho 1981	81	+80 %
Julho 1990	48	+30 %
Maio 1991	52	+30 %
Julho 1991	106	+70 %

Fonte: García *et al.*, 1999; Paixão e Nogueira, 2002

No distrito de Setúbal, considera-se que estamos perante uma onda de calor quando a temperatura máxima diária atinge, ou ultrapassa, os 32 °C durante pelo menos dois dias consecutivos (Garcia *et al.*, 1999; Paixão e Nogueira, 2002). Esta definição de onda de calor foi utilizada neste relatório aquando da análise dos dados do modelo climático regional HadRM3 para a identificação de potenciais episódios de ondas de calor no futuro para a região em causa. A Figura 10.56 indica claramente que se prevê um aumento da frequência das ondas de calor na região de Setúbal. Também indica um aumento da duração média desses episódios. Apesar da aclimatização a estas temperaturas mais altas ser possível através de medidas de adaptação ao nível comportamental, fisiológico e técnico, não se prevê que tal venha a acontecer ao mesmo ritmo para os diferentes grupos da população, pelo que os referidos aumentos da mortalidade relacionada com o calor deverão ocorrer entre a população mais vulnerável da região de Setúbal.

10.10.2.2 Agentes de Doença Transmitidos por Vectores

As doenças transmitidas por vectores são doenças infecciosas transmitidas aos seres humanos e a outros vertebrados por invertebrados (vectores) como mosquitos, carraças e flebótomos, infectados por agentes patogénicos. Estas doenças apresentam, frequentemente, padrões sazonais distintos que sugerem claramente que são dependentes do clima.

A transmissão da doença é influenciada pela co-presença de reservatórios adequados, de populações de vectores e de agentes patogénicos em número suficiente para manter a

transmissão. A transmissão aos seres humanos requer contacto (exposição) com o vector infectado com o parasita. Esta exposição é influenciada por uma grande variedade dos factores incluindo o comportamento humano, circunstâncias socioeconómicas, práticas de gestão ambiental e de cuidados de saúde primários. A transmissão da doença ocorre quando todos os factores acima indicados são favoráveis. Um clima apropriado é também necessário, não sendo, contudo, uma condição suficiente para a transmissão deste tipo de doenças aos seres humanos.

A informação referente aos dados, actuais e históricos, da prevalência das doenças, dos vectores e dos parasitas foi compilada a partir dos registos oficiais e de outro material científico relevante. Os dados referentes à relação clima-doença foram estabelecidos, tendo por base limiares climáticos obtidos em laboratório ou em modelos desenvolvidos a partir de dados de estudos de campo realizados na região. Estas relações foram consideradas em conjunto com resultados dos modelos climáticos regionais HadRM2 e HadRM3, de forma a determinar eventuais mudanças nos níveis de risco potencial de transmissão da doença na área em estudo.

10.10.2.3 Agentes de Doença Transmitidos por Mosquitos

A região de Setúbal tem um clima temperado que favorece a transmissão deste tipo de doenças. Estudos de campo indicam que há mais de 20 espécies de mosquitos na região, algumas das quais reconhecidas como capazes de serem vectores de agentes causadores de doença nos seres humanos (Ribeiro *et al.*, 1988; Ribeiro *et al.*, 1996; Sousa e Almeida, comunicação pessoal, 2002).

Os registos oficiais revelam que, nas últimas três décadas, não foram contraídas localmente doenças transmitidas por mosquitos. No entanto, o trabalho corrente de vários investigadores indica que a malária e a febre do Nilo Ocidental são, actualmente, doenças com potencial interesse para a saúde pública na área de estudo. A avaliação destas duas doenças é apresentada nesta secção.

Malária

Os registos históricos da malária indicam que o vale do Sado era uma das regiões de Portugal com as mais eleva-

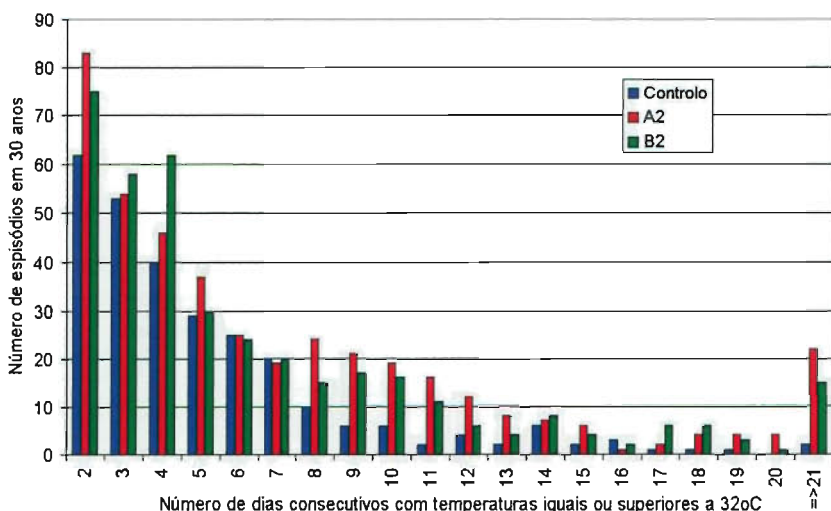


Figura 10.56 Potenciais episódios de ondas de calor em Setúbal. Onda de calor foi definida como o período de dois ou mais dias com temperatura máxima igual ou superior a 32 °C. Os dados climáticos utilizados são do modelo HadRM3

das taxas de incidência e de gravidade da malária. Em 1906, Jorge e Sarmento relataram que, dentro do distrito de Setúbal, as taxas de incidência mais elevadas se verificavam nos concelhos de Alcácer do Sal e Palmela (Jorge e Sarmento, 1906). Na década de 1930, com o apoio da Fundação Rockefeller, foi criado em Águas de Moura o Instituto de Malariologia. Este centro desempenhou um papel fundamental no estudo, prevenção e erradicação da malária em Portugal e, de um modo particular, na região do Sado.

Os estudos efectuados na região do vale do Sado revelaram que o mosquito *Anopheles atroparvus* era o vector responsável pela transmissão da malária na região. Os agentes patogénicos envolvidos eram estirpes autóctones de *Plasmodium falciparum*, *Plasmodium vivax* e, em menor escala, de *Plasmodium malariae*. O *P. falciparum* chegou a ser responsável por cerca de 75 % dos casos de malária. A transmissão da doença era mais elevada nas regiões de cultura intensiva do arroz (Ministério do Fomento, 1916). Os estudos da avaliação de risco conduzidos cerca do ano de 1960 concluíram que por cada 16 000 litros do arroz produzido, se perdia uma vida humana devido à malária. Os registos mostraram também que o maior número de casos ocorria no Verão e Outono e que, a maioria dos casos se verificava em crianças com menos de 10 anos (Vasconcellos, 1960).

A malária foi erradicada da região na década de 1950. Actualmente, não há registo de qualquer caso autóctone de malária. No entanto, verifica-se neste distrito a ocorrência de uma média anual de cerca de 10 casos importados (DGS, 2001). Estes casos são diagnosticados em indivíduos que regressaram de Angola, Guiné-Bissau e Moçambique. A maioria dos casos importados é devida a estirpes tropicais (africanas) de *P. falciparum*.

A presença disseminada na região de *An. atroparvus*, o vector já mencionado das espécies europeias de plasmódios, tem sido confirmada por diversos estudos de campo em curso (Sousa e Almeida, comunicação pessoal). Embora se considere que, presentemente, os referidos vectores não se encontram infectados pelos parasitas da malária, a presença deste mosquito, em densidades elevadas, pode constituir um factor de interesse para a saúde pública.

A literatura disponível indica que os dois parâmetros climáticos mais sensíveis para a transmissão da malária são a relação entre a temperatura e a probabilidade de sobrevivência do mosquito adulto, e a relação entre a temperatura e a taxa de desenvolvimento do parasita no interior do mosquito adulto. Dos dois, este último parece ser o parâmetro mais sensível. A estirpe *P. vivax* não se desenvolve a temperaturas inferiores a 14,5 °C e *P. falciparum* abaixo dos 16 °C, enquanto que a proporção de sobreviventes diminui

muito rapidamente com temperaturas acima dos 35 °C. Para a maioria das espécies de anofeles, a sobrevivência do mosquito adulto abaixo dos 10 °C e acima dos 40 °C é muito limitada (Martens, 1998).

Estes limiares de temperatura foram utilizados nesta avaliação como indicadores de períodos favoráveis para o desenvolvimento dos plasmódios e para a sobrevivência dos anofeles. Contudo, uma vez que outros factores abióticos, tais como locais com água (potenciais viveiros de mosquitos), humidade e baixas altitudes, são reconhecidamente factores que também favorecem a transmissão da doença, as interpretações dos resultados apresentados abaixo devem ser cautelosas, uma vez que não foi possível considerá-los nos modelos utilizados.

A Figura 10.57 ilustra que o clima actual é, por si só, conducente à sobrevivência dos anofeles e ao desenvolvimento dos plasmódios. O facto de nenhum caso local de malária estar relatado nas estatísticas oficiais é uma indicação de que a população local de mosquitos não se encontra, actualmente, infectada com parasitas de malária. Assim, o risco potencial actual de contrair malária na região é muito baixo.

Os cenários das alterações climáticas usados neste estudo indicam ser provável que o clima na área do estudo se torne mais favorável à sobrevivência dos anofeles e ao desenvolvimento dos plasmódios e, assim, estar favorecida, potencialmente, a transmissão da doença (Figura 10.57). Se não estiverem presentes vectores infectados, o risco potencial de contrair malária deverá manter-se muito baixo. Contudo, se se viesse a verificar a introdução na região de uma população de mosquitos infectados e se estes cenários de alterações climáticas fossem admitidos, seria de prever que o risco potencial de contrair malária aumentasse. No entanto, não seriam de prever níveis de risco elevados, uma vez que os seres humanos infectados (hospedeiros) seriam tratados, o que reduziria as taxas de prevalência dos parasitas, para além do facto de que esta espécie de mosquitos ter uma baixa atracção pelos seres humanos, preferindo alimentar-se em animais (Sousa e Almeida, comunicação pessoal, 2002).

Se considerarmos os cenários anteriormente descritos, os riscos potenciais de contrair malária devida a *P. falciparum* são mais baixos do que os para a malária devida a *P. vivax*. Tal fica a dever-se a duas razões concomitantes: em primeiro lugar, as condições climáticas actuais e futuras são menos favoráveis para o desenvolvimento de *P. falciparum* (Figura 10.57) e, em segundo lugar, de acordo com os resultados de um ensaio *in vivo* (Ribeiro *et al.*, 1989), a espécie *An. atroparvus*, originária daquela região, era refractária a uma estirpe africana de *P. falciparum*. Contudo, a susceptibilidade de *An. atroparvus* em Portugal necessita de ser reavaliada no que

se refere a estirpes de *P. falciparum* que são continuamente importadas de áreas endémicas tropicais.

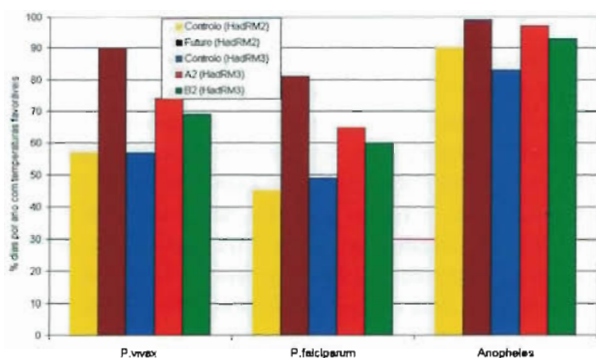


Figura 10.57 – Distrito de Setúbal: Períodos de temperatura favorável ao desenvolvimento de plasmódios e à sobrevivência de anofeles adultos

Febre do Nilo Ocidental

O agente responsável pela febre do Nilo Ocidental é um flavivírus. Trata-se de uma infecção assintomática em 80 % dos casos, ou que pode originar uma doença semelhante a uma síndrome gripal, mas cujas manifestações mais graves podem progredir para uma meningo-encefalite que pode ser fatal. A doença também pode ser mortal para cavalos e aves.

Os estudos serológicos efectuados em Portugal, durante o período de 1966-1970 em mamíferos e aves selvagens, mostraram que alguns arbovírus e o vírus da febre do Nilo Ocidental tinham estado activos (Filipe e Andrade, 1990). Numa outra investigação, este vírus foi isolado de uma colecção de *An. atroparvus* capturados em Portugal em 1969 (Filipe, 1972). O inquérito serológico nacional de 1980 identificou o distrito de Setúbal como sendo o distrito com a segunda taxa de seropositividade mais elevada (11,3 %) para arbovírus na população portuguesa. A maioria destes indivíduos apresentava anticorpos para o vírus do Nilo Ocidental (Filipe, 1983). Estes e outros resultados levaram os peritos nacionais a concluir que Portugal pode ter tido uma epidemia pelo vírus no período compreendido entre 1962 e 1966 (Filipe, 1983).

Até ao presente, o vírus foi isolado em populações de *An. atroparvus* em Portugal, em 1969, em 1996 (Filipe, 1983; Fernandes *et al.*, 1998; Almeida, comunicação pessoal) e novamente em 2004. Contudo, nenhuma correspondeu a mosquitos capturados no distrito de Setúbal. Estudos recentes, realizados com o objectivo de detectar a presença de

infecções por arbovírus em mosquitos portugueses, confirmam a presença de diversas espécies de mosquitos, tais como *Anopheles atroparvus*, *Culex pipiens*, *Culex theileri*, *Ochlerotatus caspius* e *Ochlerotatus detritus* (Galão *et al.*, 2002). Estas espécies são reconhecidamente vectoras de diversos arbovírus na Europa e em outros continentes (Huback e Halouzka, 1999; Lundström, 1999).

Considerando que o distrito de Setúbal é um santuário para aves migratórias, e o facto de, como referimos, no passado se ter isolado o vírus na região, os programas de vigilância epidemiológica são de máxima importância. Os surtos recentes da febre do Nilo Ocidental nos EUA são um exemplo inequívoco de como uma doença inexistente numa dada região se pode tornar endémica num continente em apenas 2 a 3 anos, com consequências graves para a saúde pública.

Vários estudos revelam que as diversas espécies de anofeles requerem, em regra, temperaturas entre os 10 e os 40 °C para a sobrevivência do adulto (Martens, 1998). Neste estudo, utilizou-se esta gama de temperaturas favorecedoras da sobrevivência do vector como um indicador dos períodos potencialmente favoráveis à transmissão da doença.

A Figura 10.57 mostra que as actuais temperaturas na região são favoráveis à sobrevivência dos anofeles. Estudos recentes em aves selvagens perto da área do estudo confirmam a existência de seropositividade para diversos arbovírus (Formosinho *et al.*, 2002). Considerando estes factos e, ainda, que para a região não existe relato recente de vectores infectados e transmissão local aos seres humanos, é razoável concluir-se que o risco actual de contrair a febre do Nilo Ocidental no distrito de Setúbal é baixo.

É provável que o período de sobrevivência do mosquito venha a aumentar em cenários climáticos futuros (Figura 10.57). As alterações do clima podem também vir a determinar taxas mais elevadas da prevalência do parasita, uma vez que os hospedeiros infectados (aves) podem vir a mudar a sua área de distribuição. Do exposto, pode concluir-se que o risco potencial de contrair a febre do Nilo Ocidental, na área em apreço, pode vir a aumentar de um nível baixo para um nível médio.

10.10.2.4 Agentes de Doença Transmitidos por Flebótomos

As leishmanioses constituem um grupo de doenças infecciosas causadas por um protozoário do género *Leishmania*. A leishmaniose visceral (LV), também conhecida por «Kala-azar», é endémica em Portugal. Os protozoários são transmitidos a partir de reservatórios animais aos seres humanos

pela picada das fêmeas de insectos do género *Phlebotomus* e *Lutzomyia*.

As crianças e os indivíduos imunodeprimidos são os mais vulneráveis à LV. A co-infecção Leishmania/Vírus da Imunodeficiência Humana (VIII) é considerada, actualmente, uma «doença emergente» no Sul da Europa, sendo os utilizadores de drogas intravenosas o grupo da população de maior risco. Durante a década passada, assistiu-se, em Portugal, a uma diminuição significativa do número de casos de LV em crianças, ao mesmo tempo que se observou um aumento da infecção em indivíduos imunodeprimidos. Durante o período 1990-1997, encontravam-se infectados com *Leishmania* mais de 2 % dos doentes com sida na região de Lisboa e Vale do Tejo, a qual incorpora os dados de saúde do distrito de Setúbal. Porém, a maioria era clinicamente assintomática para a leishmaniose (Campino, 1998).

Desde 1950 que os casos humanos de LV têm diminuído significativamente no distrito de Setúbal. No período 1995-2000, foram notificados quatro casos (DGS, 2001). Admite-se que, devido à subnotificação, a incidência da doença possa ser mais elevada uma vez que, durante o mesmo período, foram hospitalizados dez doentes no distrito (IGIF, 2002). Não obstante, admite-se que as infecções humanas na região sejam acidentais, uma vez que os vectores preferem efectuar as suas refeições sanguíneas nos cães e outros animais domésticos (Pires, 2000).

A revisão aprofundada da leishmaniose em Portugal, realizada em 1952, revelou que o vale do Sado era uma das regiões endémicas de LV em Portugal. De facto, constatou-se que a região apresentava o segundo número mais elevado de casos. Concluiu-se também que Alcacer do Sal tinha a incidência mais elevada da doença no país (Ramos e Farinhote, 1952). Os estudos efectuados na década de 1980 revelaram, no entanto, que a problemática da leishmaniose em Alcacer do Sal se tinha alterado (Abranches e Pires, 1980; Abranches *et al.*, 1983). O mesmo grupo identificou focos selváticos endémicos da infecção no Parque Natural da Arrábida, na península de Setúbal. Este último ciclo endémico continua presente na região. Cães e raposas são os principais reservatórios, com uma prevalência da infecção por *Leishmania infantum* MON-1 de 10,9 % e de 5,8 %, respectivamente. Os vectores envolvidos na transmissão da doença são *Ph. perniciosus* e *Ph. ariasi* (Pires, 1984).

Os estudos de campo efectuados em 1983-1984 indicam que *Ph. ariasi* e *Ph. perniciosus* adultos estão disseminados pela região, sendo a última espécie a mais abundante (Pires, 1985). Encontraram-se ambas infectadas com *Leishmania*, ocorrendo os períodos de actividade máxima durante a noite. O estudo concluiu que *Ph. perniciosus* é, muito provavel-

mente, o responsável pelo ciclo doméstico de transmissão da LV na região e *Ph. ariasi* pelo ciclo selvático. Presentemente, nesta região, estão a realizar-se novos estudos no âmbito dos vectores e do reservatório canino (Alves-Pires e Afonso, comunicação pessoal).

Sabe-se que a distribuição das espécies de flebótomos é extremamente dependente das condições ambientais. Estudos laboratoriais demonstraram que os flebótomos são sensíveis às temperaturas extremas e à humidade baixa. A sobrevivência de *Ph. ariasi* é máxima entre 5 e 30 °C (Rioux *et al.*, 1985). A temperatura máxima tolerável para a sobrevivência de *Ph. perniciosus* é desconhecida, enquanto que a temperatura mínima requerida para o seu desenvolvimento é de 15 °C (Tesh, 1992).

Para as três regiões endémicas de Portugal – a região do Alto Douro, o Parque Natural da Arrábida e o Algarve, procedeu-se a uma análise por regressão linear que incluiu os dados mensais de campo para *Ph. perniciosus* (Pires, 2000) conjuntamente com os dados climáticos observados para cada região, tendo em vista estabelecer e analisar a relação vector-clima. Os resultados indicam que a densidade modelada do vector é significativa e independentemente influenciada pela temperatura média mensal, pela humidade relativa e pela precipitação. A relação estabelecida traduz-se pela seguinte equação:

$$\text{Densidade de } Ph. \text{ perniciosus adulto} = 12,19 + 0,95 \cdot \text{Tmed} - 0,49 \cdot \text{humidade relativa} + 0,08 \cdot \text{Precipitação. (R}^2=0,7507; p<0,001).$$

Este modelo foi subsequentemente utilizado para determinar as potenciais alterações na densidade de *Ph. perniciosus* adulto no distrito de Setúbal, tendo por base os dados de clima dos modelos HadRM3 e HadRM2. Foram utilizados dois pressupostos nos referidos cenários:

- 1) Os flebótomos podem sobreviver em todas as condições climáticas, incluindo as que se encontram fora dos limites modelo (pressuposto «sem limites»).
- 2) Os flebótomos não sobrevivem quando as temperaturas médias diárias são iguais ou superiores a 28 °C (pressuposto designado por «Tmed limite»).

Estudos laboratoriais indicam que a temperatura ótima para o desenvolvimento de *Leishmania infantum* nos vectores é 25 °C. Os valores máximo e mínimo da temperatura que limitam o desenvolvimento não foram determinados (Rioux *et al.*, 1985). Os estudos que utilizaram *Leishmania mexicana amazonensis* revelaram que a temperatura igual ou superior a 23 °C a colonização do parasita nos flebótomos era muito limitada, tornando a transmissão praticamente impossível (Leaney, 1977). Uma vez que o desenvolvimento do agente patogénico depende da sobrevivência e do desenvolvimento do vector, e que este último parece ser limitado a temperaturas iguais ou

inferiores a 15 °C, utilizou-se no presente estudo uma gama de temperaturas de 15-28 °C indicativa dos períodos favoráveis ao desenvolvimento de *Leishmania* sp no vector.

Vários factores influenciam o risco de transmissão da doença, incluindo a actividade do vector adulto e o grau de infecciosidade do agente patogénico nos vectores e reservatórios. Os resultados aqui apresentados (Figuras 10.58 e 10.59) indicam que o clima actual no distrito é apropriado para a actividade do vector adulto e também para o desenvolvimento intravectorial de *Leishmania* durante os meses mais temperados.

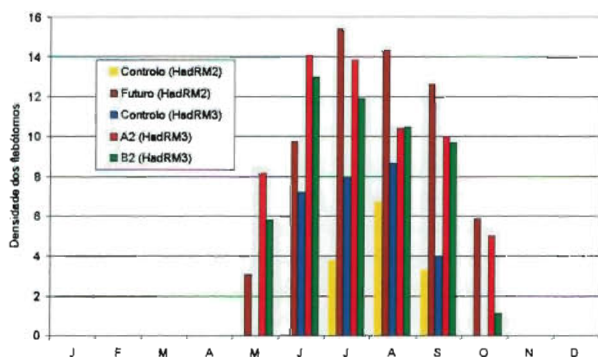


Figura 10.58 – Distrito de Setúbal: Densidade modelada para *Ph. perniciosus* adulto, considerando a sobrevivência do vector fora dos limites do modelo

Os estudos de campo efectuados na região encontraram *Ph. perniciosus* e hospedeiros infectados com *Leishmania* (Pires, 1931). Parece pois razoável concluir que o risco potencial actual de transmissão de LV aos seres humanos na região é médio. Este nível de risco seria mais elevado se o vector preferisse efectuar as suas refeições sanguíneas na população humana, em vez de cães e outros animais.

Os resultados da modelação da densidade do vector, apresentados nas Figuras 10.58 e 10.59, indicam aumentos potenciais para todos os cenários climáticos futuros e para os pressupostos considerados. Os mesmos resultados sugerem, também, o alargamento do número de meses durante os quais os flebotomos adultos se encontrarão activos.

A Figura 10.60 mostra um aumento anual do número total de dias dentro da gama de temperatura favorável para ambos os cenários futuros. Contudo, este aumento não é uniforme ao longo do ano. Os quatro meses mais quentes (Junho-Setembro) apresentam menos dias dentro da gama de temperaturas favoráveis. É interessante notar que estes são os meses que, actualmente, apresentam a maior densidade de flebotomos, e a maioria dos dias dentro da escala de temperatura favorável para o desenvolvimento de *Leishmania*.

constituindo, por estes motivos, os meses com maior risco potencial de transmissão da doença. Pelas razões expostas, é possível admitir não ser provável que se venham a observar aumentos do risco potencial da transmissão de LV na região devido às alterações climáticas. Também não se afigura provável que venham a ocorrer diminuições, tendo em conta as densidades do vector previstas no modelo para os referidos meses serem francamente mais elevadas. Consequentemente, o risco de transmissão de LV deverá permanecer num nível médio na região do estudo.

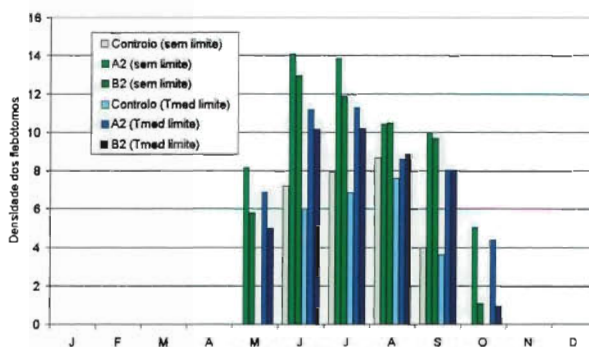


Figura 10.59 – Distrito de Setúbal: Densidade modelada para *Ph. perniciosus* adulto. Os resultados dos cenários considerados são descritos: a) considerando a sobrevivência do vector em todas as condições de clima (sem limites), incluindo as situações fora dos limites do modelo b) considerando a sobrevivência do vector só para temperaturas iguais ou superiores a 28 °C (Tmed limite). Os dados climáticos utilizados são os do modelo HadRM3

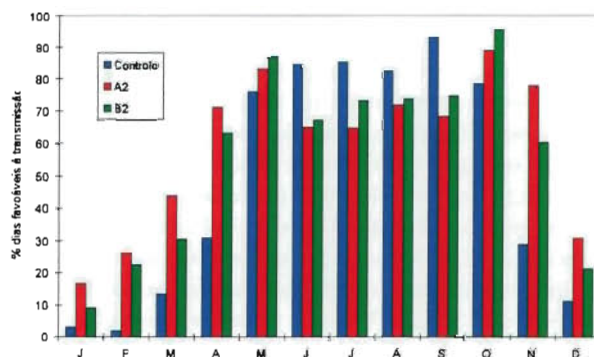


Figura 10.60 – Distrito de Setúbal: Períodos de temperatura favorável ao desenvolvimento de *Leishmania* no vector, usando temperaturas médias diárias previstas pelo modelo HadRM3 e uma gama de temperatura favorável de 15-28 °C

10.10.2.5 Agentes de Doença Transmitidos por Carrças

O distrito de Setúbal possui condições climáticas e uma flora e fauna favoráveis à existência de diferentes espécies de ixodídeos (carrças), com capacidade para transmitir diferen-

tes agentes patogénicos aos seres humanos (Dias *et al.*, 1994; Caeiro, 1999). Das doenças transmitidas por ixodídeos, a febre escaro-nodular e a doença de Lyme são actualmente as infeções com maior impacto na saúde pública.

Febre Escaro-Nodular

A febre escaro-nodular (FEN), também denominada por febre botonosa, é uma doença endémica em Portugal. O agente etiológico é a bactéria *Rickettsia conorii*. O período de incubação da FEN varia, em média, entre 3 e 7 dias. O quadro clínico inicia-se, em geral, de uma forma brusca ou rapidamente progressiva caracterizada pelo aparecimento de sinais e sintomas como febre alta, atingindo 39-40 °C, prostração, cefaleias, astenia, anorexia, náuseas, vômitos, dor abdominal e fotofobia. Estes sintomas são acompanhados por um exantema e por um sinal característico: a escara de inoculação ou *tache-noir*. Apesar de geralmente considerada uma doença benigna, existem alguns factores de risco conhecidos que podem agravar o quadro da doença, tais como a idade avançada, deficiência da glucose-6-fosfato-desidrogenase (G6PD), patologias concomitantes como diabetes e alcoolismo crónico (Walker e Fishbein, 1991).

As estatísticas de saúde oficiais indicam que, no ano de 2000, no distrito de Setúbal, a taxa de incidência da FEN foi de 2,95 por 100 000 habitantes (DGS, 2001). Contudo, face à subnotificação, admite-se que a taxa de incidência real seja bastante mais elevada.

A FEN é caracterizada por uma sazonalidade estival, ocorrendo cerca de 88 % dos casos entre Julho e Setembro (DGS, 2001). O aumento do número de casos nesta época do ano coincide com a ocorrência de condições climáticas mais favoráveis à actividade e ao desenvolvimento do ciclo de vida do *Rhipicephalus sanguineus*, o vector da doença (Caeiro, 1992). De facto, verifica-se que em relação à presença de outras espécies de ixodídeos nesta região, *R. sanguineus* é bastante abundante e tem uma grande capacidade de sobrevivência a diferentes condições ambientais. Quer em zonas rurais quer urbanas, esta carraça está intimamente associada ao cão. Um estudo de seroprevalência numa população de cães do distrito de Setúbal mostrou que 85 % destes tinham anticorpos anti-*Rickettsia conorii* (Bacellar *et al.*, 1995).

Com a finalidade de se avaliar a relação entre a incidência da doença e os dados climáticos da região, utilizaram-se o número de casos mensais de FEN notificados no distrito de Setúbal de 1990 a 1997 e dados do clima. Através de uma análise de regressão linear múltipla estabeleceu-se o modelo que se apresenta a seguir. Os dados utilizados na respectiva elaboração foram agrupados por estação do ano.

$$\begin{aligned} \text{Número de casos de FEN notificados} = & -8,9857 \\ & -0,2627 \times T_{\text{max}} - 0,5346 \times T_{\text{min}} + 1,2495 \times T_{\text{med}} + 0,0085 \\ & \times \text{Precipitação. (R}^2 = 0,6721, p < 0,001). \end{aligned}$$

Esta relação foi usada para avaliar as potenciais mudanças no número de casos da FEN por estação do ano, utilizando os dados do modelo climático regional HadRM2 e HadRM3. Deve referir-se que, apesar da subnotificação existente em todo o país, se teve em consideração que o nível de notificação da doença permanece semelhante ao actual, e que a relação se mantém linear. A Figura 10.61 indica a ocorrência de aumentos potenciais do número de casos de FEN em todos os cenários climáticos utilizados. Também sugere que, embora o Verão permaneça como a estação com a maioria dos casos, é provável um aumento dos casos de FEN na Primavera e Outono, devido às alterações climáticas.

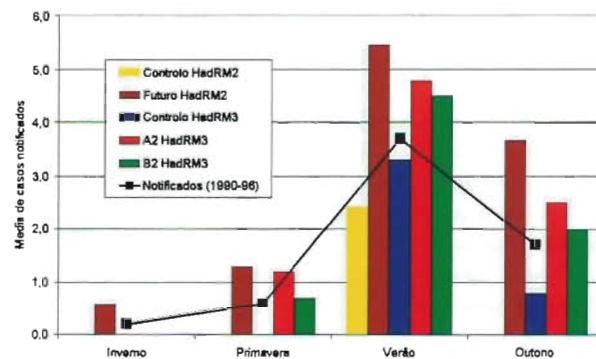


Figura 10.61 Distrito de Setúbal: Casos notificados e modelados de FEN por estação do ano

Doença de Lyme

A doença de Lyme emergiu na Europa como a doença transmitida por artrópodes mais relevante, com taxas de incidência particularmente elevadas em países do Centro da Europa, como a Áustria e a Eslovénia. Frequentemente, a doença tem manifestações dermatológicas características, podendo afectar também os sistemas nervoso e musculoesquelético e, mais raramente, o coração (O'Connell, 1995).

Em Portugal, o primeiro caso clínico de doença de Lyme foi descrito em 1989 (de Moraes *et al.*, 1989), embora se suspeitasse da presença da doença há vários anos (Filipe *et al.*, 1990). Estudos serológicos subsequentes confirmaram a presença de anticorpos para *Borrelia burgdorferi* sensu lato (s.l.) na população humana. A doença passou a ser de declaração obrigatória em 1999. No ano 2000 foram notificados dois casos na região de estudo (DGS, 2001). É de esperar que a

incidência e a prevalência da doença sejam mais elevadas nesta região devido a subnotificação e subdiagnóstico.

A doença de Lyme é causada por uma espiroqueta (bactéria) designada, inicialmente, por *Borrelia burgdorferi*. Durante a última década, diversas espécies de carrças do complexo *B. burgdorferi* (s.l.) foram isoladas em Portugal (Núncio *et al.*, 1993; de Michelis *et al.*, 2000; Baptista *et al.*, 2000, 2003). A espécie *B. lusitaniae* foi a primeira a ser isolada no país, a partir do vector *Ixodes ricinus* capturado na região de Setúbal (Núncio *et al.*, 1993; Le Fleche *et al.*, 1997). Esta mesma espécie foi, muito recentemente, isolada, pela primeira vez, em Portugal, da pele de uma doente com uma lesão crónica de cerca de dez anos de evolução (Collares-Pereira *et al.*, 2004). Este isolamento, igualmente inédito a nível mundial, sugere um papel patogénico desta espécie para o Homem. Uma vez que o artrópode *I. ricinus* é reconhecido como o vector-competente para os agentes do complexo *B. burgdorferi* (s.l.) na Europa, admite-se que esta espécie de carrça desempenhe um papel principal na transmissão dos agentes da doença de Lyme no distrito de Setúbal.

As carrças *I. ricinus* estão presentes em todo o território de Portugal Continental (Caciro, 1999). Na região em estudo há diversos hospedeiros tais como pássaros, pequenos mamíferos, carneiros, gado e cães, nos quais a carrça se pode alimentar (Dias *et al.*, 1994). Os seres humanos são hospedeiros acidentais para a carrça em qualquer estágio do ciclo de vida (O'Connell 1995).

As populações que vivem ou que trabalham nas florestas ou áreas rurais possuem um risco mais elevado de exposição aos vectores infectados (Núncio *et al.*, 1992). Tendo em conta que um número suficiente de hospedeiros e vectores competentes existem na região, para além do facto de diversas estirpes patogénicas de *B. burgdorferi* (s.l.) estarem presentes, através do registo de infeções humanas por *B. garinii* e *B. lusitaniae* (Collares-Pereira *et al.*, 2004), é de admitir que o actual risco de transmissão da doença ao Homem é de nível médio.

O clima pode ter impacto na distribuição de *I. ricinus* (Lindgren *et al.*, 2000) e na sua actividade (Caciro, 1992; Randolph *et al.*, 2002). Por outro lado, uma vez que a distribuição das carrças é mais influenciada pela disponibilidade de hospedeiros e tipo de utilização da terra e práticas agrícolas, do que pelas condições climáticas por si só (Filipe, 1969; Mawby e Lovett, 1998), não se afigura apropriado determinar se a distribuição actual do vector potencial irá sofrer alterações utilizando apenas cenários de alterações climáticas.

Por outro lado, as variações sazonais bem documentadas nos padrões de actividade do vector são um exemplo excelente de como o seu número é influenciado por circunstâncias cli-

máticas. Por exemplo, contrastando com o Norte da Europa, o vector *I. ricinus* é encontrado durante todo o ano na Península Ibérica, sendo mais abundante durante os meses mais frios (Caciro, 1999). Isto pode ser explicado pelo facto deste vector ser sensível ao calor prolongado e à baixa humidade do solo. Alguns estudos relatam que a transmissão dos agentes de doença abaixo de 7 °C é extremamente rara (Sonenshine, 1993) e que as espécies de *I. ricinus* requerem, geralmente, temperaturas entre 15 e 30 °C para poderem prosseguir para o estágio seguinte do seu ciclo de vida (Caciro, 1992). Na presente avaliação utilizou-se um intervalo de temperaturas entre 7 e 30 °C como indicador dos períodos favoráveis para a transmissão da doença.

A Tabela 10.35 não revela qualquer aumento anual significativo no número de dias dentro desta gama de temperaturas, para todos os cenários climáticos considerados. Os resultados apresentados na Figura 10.62 mostram que, efectivamente, os meses mais quentes têm menos dias dentro da gama favorável, enquanto se prevêem aumentos nos meses mais frescos. Uma vez que a carrça é mais activa durante os meses mais frios, considera-se não ser provável que o risco de transmissão dos agentes de doença venha a diminuir. De facto, é mais provável que o risco de transmissão na região venha a aumentar do actual nível médio para um nível de risco «médio-elevado».

Tabela 10.35 – Períodos potencialmente favoráveis à transmissão da doença de Lyme no distrito de Setúbal

Cenário Climático	Porcentagem de dias por ano dentro da gama de temperaturas favoráveis
HadRM2 – Controlo	97
HadRM2 – Futuro	88
HadRM3 – Controlo	92
HadRM3 – A2	91
HadRM3 – B2	92

10.10.3 Medidas de Adaptação

As medidas da adaptação que visam reduzir os impactos sobre a saúde humana resultantes das alterações climáticas podem ser consideradas no âmbito das habituais estratégias preventivas em saúde pública, nomeadamente: medidas de prevenção primárias, secundárias e terciárias (McMichael e Kovats, 2000). Neste estudo, procedeu-se a um esforço consciente de concentração nas medidas preventivas primárias e

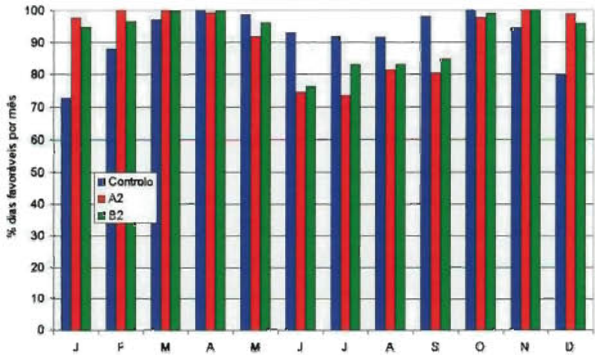


Figura 10.62 – Períodos favoráveis à transmissão da doença de Lyme no distrito de Setúbal usando temperaturas médias diárias do modelo HadRM3 e considerando a gama de temperatura favorável de 7-30 °C

secundárias de adaptação que se consideram benéficas para a sociedade, independentemente dos impactos previstos, devidos às mudanças climáticas, se poderem vir a revelar incorrectos. As medidas de adaptação sugeridas encontram-se enumeradas na Tabela 6.6 (Capítulo 6).

10.10.4 Conclusões

Neste relatório, procedeu-se à avaliação dos impactos potenciais sobre a saúde resultantes das alterações climáticas no distrito de Setúbal. Foram identificados diversos impactos adversos sobre a saúde, os quais constituem actualmente preocupações de saúde pública na região e que poderão vir a intensificar-se na dependência das alterações climáticas em curso. Estes incluem:

- Doença e mortalidade associadas a ondas de calor.
- Aumento da prevalência de doenças respiratórias e cardiovasculares associadas à deterioração da qualidade do ar.
- Aumento do número de mortes, acidentes, e alterações mentais associadas a inundações, tempestades, secas e fogos florestais.
- Aumento da incidência de doenças veiculadas pela água e alimentos.

- Alteração na incidência de doenças transmitidas por vectores e roedores.

O impacto potencial das alterações climáticas na mortalidade associada às ondas de calor e a doenças transmitidas por vectores foi avaliado, numa tentativa de estimar a vulnerabilidade da população e identificar medidas de adaptação que possibilitem evitar/reduzir estes impactos. Não foi possível efectuar avaliações idênticas para todos os impactos acima indicados dadas as insuficiências na informação, nos recursos e no tempo disponível.

Mortes associadas com o calor ocorrem em períodos de onda de calor observados na região em estudo. As pessoas idosas e com as doenças preexistentes, nomeadamente dos sistemas circulatório e respiratório, são as mais vulneráveis a estas condições. Para o distrito de Setúbal, os cenários decorrentes das alterações climáticas indicam que os episódios de onda de calor se podem tornar mais frequentes e intensos podendo dar origem a aumentos de mortalidade afectando, predominantemente, os referidos grupos vulneráveis da população. Medidas de adaptação tais como sistemas de alerta precoce e programas de consciencialização do público poderão contribuir para reduzir a vulnerabilidade da população.

Os agentes de doença transmitidos aos seres humanos por vectores tais como mosquitos, flebótomos e carraças constituem problemas de saúde pública na região desde há várias décadas. As potenciais mudanças no risco de transmissão deste grupo de doenças encontram-se sintetizadas na Tabela 10.36. Medidas de adaptação, tais como a monitorização de parasitas e vectores, constituem uma necessidade urgente. É igualmente desejável promover investigação adicional tendo em vista identificar os factores ambientais que afectam a dinâmica da transmissão deste grupo de doenças zoonóticas na região.

O presente estudo confrontou-se com as limitações e insuficiências dos dados de saúde e ambientais na região estudada e, ainda, com um número significativo de lacunas do conhe-

Tabela 10.36 – Alterações potenciais do nível de risco de transmissão de agentes de doença transmitidos por vectores no distrito de Setúbal

Doença	Vector	Nível de Risco Actual	Nível de Risco Previsto (alterações climáticas)
Malária	Mosquito	Muito baixo	Baixo
Febre do Nilo Ocidental	Mosquito	Baixo	Médio
Leishmaniose	Flebótomo	Médio	Médio
Febre escaro-nodular	Carraça	Alto	Alto
Doença de Lyme	Carraça	Médio	Médio-alto

cimento no que se refere às relações entre a saúde e o clima. Por tais motivos muitas incertezas foram incorporadas nas avaliações efectuadas. As lacunas anteriormente mencionadas devem ser encaradas de modo a virem a possibilitar avaliações mais aprofundadas dos impactos em apreço. Além disso, uma vez que se deve admitir a possibilidade de ocorrência de impactos não previstos sobre a saúde, resultantes da mudança do clima, as melhorias recomendadas nos sistemas de vigilância e monitorização adquirem carácter de urgência.

10.11 ENERGIA

10.11.1 Sector Energético na Bacia do Sado

Do ponto de vista da Energia, as zonas mais importantes da bacia do Sado (Figura 10.6) serão aquelas onde se regista a **preponderância de sistemas** de oferta de energia, e aquelas onde se regista o maior consumo de energia (zonas urbanas), no horizonte temporal para o qual são calculados os impactos, o período 2050-2100, ou nominalmente 2070.

Com respeito a centrais termoeléctricas, há a registar a presença da Central de Setúbal. Pode-se estimar que, por questões de segurança de abastecimento, presença de relevantes infra-estruturas, e proximidade à Área Metropolitana de Lisboa, sob qualquer cenário SRES essa central ainda estará presente, mais ou menos no mesmo local, muito embora a sua relevância nacional deva ser diferente de cenário para cenário. Com respeito à geração distribuída de energia (e.g. sistemas solares térmicos e fotovoltaicos), serão as zonas urbanas as de maior interesse. Com respeito à procura de energia, esta estará concentrada nas zonas urbanas no que respeita aos particulares, e nas regiões de Setúbal e Évora no que respeita a empresas (em particular, Indústria e Turismo).

Assim, do ponto de vista da Energia, a zona de mais interesse, de um ponto de vista combinado climático e energético, será a de Setúbal seguida de Évora.

10.11.2 Dados Climáticos

A utilização dos dados climáticos produzidos por modelos de circulação atmosférica em aplicações energéticas requer a sua prévia correcção. No caso dos dados do modelo HadRM2, dado o reduzido viés encontrado para a situação de referência (Aguilar *et al.*, 2002), os dados foram utilizados sem correcção, com excepção dos dados de radiação solar, que foram corrigidos aditivamente com coeficientes de correcção estimados com base na climatologia actinométrica

do Projecto P-CLIMA (Aguilar, 1998). No entanto, os dados HadCM3 para quatro cenários SRES (A1F1, A2, B1, B2) apresentam **considerável viés**, não apenas no caso da irradiação solar, mas também para a temperatura e humidade, exigindo correcção antes da sua utilização em modelos de balanço energético.

Assim, os dados climáticos mensais de Setúbal foram obtidos da climatologia P-CLIMA já referida. Devido ao método de estimação espacial empregue neste Projecto (krigagem com efeito de pepita não nulo), trata-se de dados representativos de uma região de 5-20 km em torno de Setúbal, o que para o presente efeito é mais adequado que a utilização de dados para uma estação meteorológica específica. Além disso os dados de irradiação solar são assim obtidos de forma coerente com os dos outros parâmetros.

Foram em primeiro lugar calculadas as anomalias absolutas entre simulações HadCM3 do nó «Centro» para o período de referência e para o período futuro. Em princípio, estas anomalias seriam adicionadas à climatologia-base para obter a climatologia sob os cenários SRES. No entanto, em alguns casos, os valores excediam limites físicos (caso da radiação solar) ou observados (caso de médias mensais de temperatura superior à máxima diária absoluta observada durante todo o período de referência). Estes problemas mantiveram-se no caso de usar anomalias relativas. Assim as climatologias foram estimadas tendo em conta diferenças absolutas para certos limiares, nomeadamente extremos diários absolutos observados ou estimados para o período de referência. Resultaram assim os dados climáticos listados na Tabela 10.37 e seguintes. O *software* CLIMED, na versão 2.1, foi utilizado para geração de séries meteorológicas horárias de irradiação solar horizontal global, directa e difusa, temperatura e humidade.

10.11.3 Oferta de Energia

10.11.3.1 Centrais Térmicas

A Central Térmica de Setúbal compreende quatro grupos de 250 MW a fuelóleo. Encontra-se relativamente perto do rio Sado, utilizando água do estuário para refrigeração (cerca de 170 000 dm³/ano). A grande maioria desta água é devolvida ao rio. Esta utilização causa impactos biológicos, em particular devido ao aquecimento das águas devolvidas e à colmatção dos filtros por ictiofauna.

Os impactos directos na eficiência termodinâmica da Central devido ao aumento de temperatura da água de refrigeração (concomitante com o aumento de temperatura ambiente, são estimados em -0,1 %, sendo portanto não significativos.

Tabela 10.37 – Média mensal da irradiação solar global horizontal diária (MJ/m²) para a zona de Setúbal

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Base	7,3	10,5	14,1	19,5	23,4	25,0	26,1	23,9	17,5	12,4	8,5	6,7	16,3
A1	7,5	10,6	13,9	21,1	26,1	28,7	29,9	26,5	19,9	13,9	9,0	7,0	17,9
A2	7,4	10,3	14,1	20,4	25,6	28,1	29,4	26,6	19,5	13,3	9,0	6,9	17,6
B2	7,5	10,7	13,3	19,8	24,9	27,6	28,8	25,9	19,5	13,1	8,9	6,7	17,2
B1	7,5	10,3	14,1	20,4	24,8	27,5	29,4	25,5	18,6	13,0	9,5	7,1	17,4

Tabela 10.38 – Média mensal da temperatura ambiente mínima (°C) para a zona de Setúbal

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Base	6,1	6,9	7,9	9,4	11,7	14,1	15,9	16,0	15,2	12,9	8,7	6,3	10,9
A1	8,8	10,4	11,7	13,3	17,0	21,2	24,1	23,7	22,5	18,1	12,1	9,0	16,0
A2	8,7	9,3	10,5	11,8	15,6	19,3	22,1	22,4	20,7	17,6	11,4	8,0	14,8
B2	7,6	9,2	10,2	11,2	14,5	17,7	19,9	20,1	19,3	16,0	10,6	7,3	13,6
B1	7,3	8,9	9,4	11,0	14,2	17,3	20,8	20,0	18,7	15,8	9,9	6,8	13,4

Tabela 10.39 – Média mensal da temperatura ambiente máxima (°C) para a zona de Setúbal

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Base	15,1	16,0	17,7	20,0	23,1	25,1	29,1	29,5	27,3	23,2	18,3	15,1	21,6
A1	18,5	19,4	21,4	25,3	31,5	36,5	41,8	40,6	37,0	30,3	22,3	18,3	28,6
A2	18,0	18,7	20,3	23,5	29,5	33,6	39,5	39,0	34,6	29,0	21,6	17,3	27,1
B2	17,3	18,4	19,4	21,9	27,2	31,6	36,5	35,6	33,6	27,1	20,8	16,1	25,4
B1	17,1	18,1	19,2	22,4	27,0	31,2	37,9	35,4	32,1	26,3	21,0	16,9	25,4

Tabela 10.40 – Humidade relativa média mensal (%) para a zona de Setúbal

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Base	82	80	77	74	71	68	63	62	68	75	80	81	73
A1	81	78	74	66	55	43	33	38	47	60	75	79	66
A2	82	76	74	69	59	48	37	41	52	65	76	80	60
B2	82	78	76	72	65	54	45	48	52	69	78	81	63
B1	82	78	76	71	66	53	39	50	59	68	74	78	65

As variações de escoamento superficial são irrelevantes para a Central no sentido em que esta se localiza à entrada do estuário e portanto não sofre com eventual redução de escoamentos.

O aumento do nível do mar é também pouco relevante para a Central por duas razões. Em primeiro lugar, o ritmo estimado de subida é muito lento (cerca de 1 cm/ano) em relação ao tempo de renovação das estruturas de captação e rejeição de água, e aliás, até mesmo ao da central em si. Em segundo lugar, a Central já se encontra protegida por estruturas portuárias e portanto é aí que se localizará o maior esforço de combate à subida do nível do mar.

Em resumo, para a Central de Setúbal o impacto directo das alterações climáticas será pouco significativo – e em todo o caso muito menor que o impacto das medidas de mitigação que estão a ser consideradas.

10.11.3.2 Outros Sistemas

A produção hidroeléctrica na bacia do Sado é pouco relevante no panorama nacional e é dominada pela importância de outras utilizações da água na região, nomeadamente agricultura e consumo humano. Para além disso, as necessidades hídricas para utilizações prioritárias (*e.g.* agricultura) deverão aumentar devido, por exemplo, a uma maior necessidade de rega, e as disponibilidades anuais deverão manter-se ou diminuir. Nestas condições é de esperar que a produção de energia hidroeléctrica deixe de ser relevante na região do Sado.

Por outro lado, os cenários SRES, em particular A2, B1 e B2, incluem uma significativa porção de energia obtida de produção descentralizada, em particular de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos. Para todos os cenários prevê-se uma maior disponibilidade de radiação solar, o que aumenta naturalmente o desempenho ou a competitividade económica destes sistemas. A temperatura também é um parâmetro com alguma importância. A subida em alguns graus favorece o uso de sistemas térmicos (pois diminui as necessidades de energia), e é suficientemente pequena para não prejudicar significativamente o rendimento de sistemas fotovoltaicos.

Para sistemas térmicos de aquecimento de águas quentes domésticas, os estudos do SIAM com o modelo HadRM2 conduziram a uma estimativa de aumento de desempenho importante, da ordem de 9 % em

energia fornecida, para a região onde se engloba a bacia do Sado.

No presente trabalho voltaram a fazer-se estudos de desempenho de sistemas térmicos segundo moldes semelhantes aos utilizados no SIAM I (sistemas doméstico típico com colectores planos, contudo usando desta vez a versão 4.5 do *software* SOLTERM desenvolvida no INETI para a Iniciativa Pública «Água Quente Solar para Portugal» (AQSSP) do Programa E1 do Ministério da Economia. Os resultados são detalhados na Tabela 10.41 e significam, em resumo, uma melhoria de desempenho muito importante, entre 22 % (cenário B2) e 34 % (cenário A1), avaliada pela redução de área de colectores necessária para suprir uma mesma fracção (75 %) das necessidades de energia. Note-se que tendo em conta a experiência com a Iniciativa Pública AQSSP, este indicador de redução de área de colector agora usado foi considerado mais adequado que o utilizado no SIAM I. Note-se ainda a importância da redução da carga térmica, que como é natural também existe no aquecimento de águas por meios mais clássicos, e assim contribui para a redução da procura de energia nos cenários SRES.

Foram ainda feitos estudos de desempenho de sistemas térmicos industriais, nomeadamente pré-aquecimento a 60 °C de água para produção de vapor, em sistemas funcionando nos dias úteis, e para um caudal de processo de 0,5 l/s. Utilizou-se o mesmo *software* SOLTERM 4.5 e admitiu-se um sistema típico de *passagem única* e colectores do tipo CPC. Os resultados são detalhados Tabela 10.42 e traduzem-se numa melhoria de desempenho de cerca de 14 % (cenário B2) a 24 % (cenário A1), avaliada pela redução da área de colectores óptima tendo em conta as necessidades de água quente.

Quanto aos sistemas fotovoltaicos, para sistemas ligados à rede, os estudos efectuados com dados do modelo HadCM3 para um cenário semelhante ao A1FI conduziram a um aumento de desempenho modesto, da ordem de 1%, para a região onde se engloba a bacia do Sado.

Tabela 10.41 – Ensaios de impacto para sistemas de aquecimento de águas quentes domésticas

Cenário	Carga (MW _{th})	Área (m ²)	Desempenho (kWh/m ²)	Redução de carga	Redução de área de colectores
Base	3660	5,70	131		
B1	3257	4,37	559	11 %	23 %
B2	3241	4,15	546	11 %	22 %
A2	3065	4,11	559	16 %	28 %
A1	2897	3,76	578	21 %	34 %

Tabela 10.42 – Ensaio de impacto para sistemas de pré-aquecimento de águas industriais

Cenário	Carga (MWh)	Área(m²)	Desempenho (kWh/m²)	Fracção Solar	Redução de carga	Redução de área de colectores
Base	573	149	654	17,3 %		
B1	532	126	731	17,7 %	7 %	16 %
B2	530	128	718	17,8 %	8 %	14 %
A2	512	119	747	17,9 %	11 %	20 %
A1	495	113	764	18,1 %	14 %	21 %

10.11.4 Procura de Energia

Resultados anteriores (Aguiar *et al.*, 2002) mostraram que o principal impacto directo das alterações climáticas sobre a procura de energia se relaciona com a climatização. No SIAM I foram estudados os casos de climatização em residências e escritórios. No presente trabalho foram repetidos estes estudos sobre climatização em edifícios com os novos dados HadCM3 sob cenários SRES. Foram ainda efectuados estudos sobre hotéis e piscinas, devido não apenas ao facto de serem instalações grandes consumidoras de energia, mas também à importância do turismo na economia nacional nos futuros SRES – nisto se incluindo a zona do caso estudo do Sado (*e.g.* península de Tróia). Estes estudos foram feitos por simulação numérica com o *software* ESP-r.

Finalmente, foram feitas estimativas sobre o impacto das alterações climáticas na climatização em veículos de transporte de passageiros, que também são comunicados aqui pelo seu interesse, embora não tenham podido ainda ser escalados para a região específica da bacia do Sado que é objecto deste Relatório, dado que o modelo MISP não é especializado e não é adequado usar uma proporcionalidade simples entre valores nacionais e regionais.

10.11.4.1 Residências

O consumo para climatização em residências foi simulado com os modelos de habitação individual (vivendas) e colectiva (apartamentos) já descritos no SIAM I, mas com cenários dos detalhes de construção e operação actualizados de acordo com a evolução mais recente dos Regulamentos do sector (*e.g.* RCCITE). O *software* ESP-r produz estimativas de necessidades de aquecimento e arrefecimento; para converter para uso de energia para

climatização foram utilizados os coeficientes de desempenho listados na Tabela 10.43.

Os resultados das simulações estão resumidos em termos anuais na Tabela 10.44. Foram realizados 18 conjuntos de simulações térmicas, combinando dois tipos de residência (individual e colectiva), cinco tipos de clima (um «base» e quatro SRES) e cinco modelos de residência (um «base» e quatro SRES). A primeira linha da Tabela 10.44 apresenta resultados de controlo para a situação base, «actual», indicando valores na gama 300-350 kWh para consumo médio de climatização – isto, é claro, para as residências possuidoras de ar condicionado, que se estimam na ordem de 5% na zona analisada.

Tabela 10.43 – Coeficientes de desempenho (COP) de equipamentos de ar condicionado

	Base	Cenários SRES
COP Aquecimento	2,0	2,5
COP Arrefecimento	1,4	1,9

Tabela 10.44 – Ensaio de impacto para habitações particulares (valores em kWh excepto onde indicado doutra forma)

Clima	Vivendas					Apartamentos				
	Modelo	Aquec.	Arref.	Total	ΔE	Aquec.	Arref.	Total	ΔE	
Base	Base	90	262	352		53	250	303		
Base	A1	1040	825	1865	241 %	650	812	1462	220 %	
Base	A2	443	677	1120	105 %	292	673	964	111 %	
Base	B1	48	283	331	-39 %	19	295	314	-31 %	
Base	B2	9	537	546	0 %	1	600	601	32 %	
A1	A1	283	3287	3570	553 %	129	3247	3375	640 %	
A2	A2	147	1786	1933	254 %	79	1885	1964	330 %	
B1	B1	15	602	617	13 %	3	649	652	43 %	
B2	B2	1	910	911	67 %	0	974	974	113 %	

Tabela 10.45 – Ensaio de impacto para escritórios
(valores em kWh excepto onde indicado doutra forma)

Clima	Modelo	Aquec.	Arrefec.	Total	kWh/m ²	ΔE
Base	Base	1233	17 679	18 912	24	
A1	Base	210	28 302	28 512	36	35 %
A2	Base	346	24 830	25 175	32	23 %
B1	Base	506	21 042	21 548	27	10 %
B2	Base	449	21 195	21 643	27	10 %

As seguintes quatro linhas mostram estimativas do aumento de consumo devido apenas à evolução socioeconómica e tecnológica (*i.e.* comportamentos, regulamentos, técnicas e materiais de construção). Trata-se de aumentos de cerca +220 % sob o cenário A1, +110 % sob o cenário A2 e +15 % sob o cenário B2, mas reduções de cerca -35 % sob o cenário B1. Deve notar-se que estas variações se aplicam não ao actual universo de cerca de 3 % de residências com ar condicionado, mas a um universo de 80-90 % das residências.

As últimas quatro linhas correspondem a considerar o impacto combinado das alterações climáticas, socioeconómicas e tecnológicas. Essencialmente, o efeito do clima amplifica ainda por um factor da ordem de três os já muito importantes incrementos de consumos para climatização nos cenários A1, A2 e B2. Mesmo no caso do cenário B1, que registava uma redução de consumos de climatização à conta de melhores comportamentos e tecnologia, regista agora com o impacto do clima um aumento da ordem de +20 %.

10.11.4.2 Serviços: Escritórios

O consumo para climatização em residências foi simulado com o modelo de escritório já descritos no SIAM I, não tendo sido considerado necessário modificar os detalhes de construção e operação para os futuros SRES. Na conversão de necessidades de aquecimento e arrefecimento para uso de energia para climatização foram utilizados os coeficientes de desempenho listados na Tabela 10.43. Os resul-

tados das simulações estão resumidos em termos anuais na Tabela 10.15. Foram realizados cinco conjuntos de simulações térmicas, correspondendo aos cinco tipos de clima (um «base» e quatro SRES).

A primeira linha da Tabela 10.45 apresenta resultados de controlo para a situação base, «actual», indicando valores na gama 24 kWh/m²

para consumo médio de climatização. Isto aplica-se já hoje a praticamente todos os edifícios de escritórios. As seguintes quatro linhas correspondem ao impacto das alterações climáticas. Traduzem-se por um aumento de consumos em todos os cenários, mais intenso nos cenários A1 (+35 %) e A2 (+23 %), e menos importante nos cenários B1 e B2 (+10 %).

10.11.4.3 Hotéis

A simulação de hotéis é nova em relação a trabalhos anteriores. As informações relativas ao estado de referência e ao modelo de edifício, incluindo construção e operação, foram obtidas na sua maior parte de um estudo sobre consumos de energia em hotéis de 1 e 5 estrelas realizado pelo INETI (Gonçalves, 1999). Assim, modelou-se um hotel constituído por duas alas de quartos com orientações N-S e E-W, e uma zona social no piso 0. Considerou-se não ser adequado alterar o modelo de edifício e a sua operação visto que em hotéis de categoria elevada os padrões de conforto térmico são já muito exigentes.

Os resultados das simulações estão resumidos em termos anuais na Tabela 10.16. Foram realizados cinco conjuntos de simulações térmicas, correspondendo aos cinco tipos de clima (um «base» e quatro SRES). A primeira linha da Tabela 10.46 apresenta resultados de controlo para a situação base, «actual», indicando valores na gama 11,5 kWh/m² para consumo médio de climatização. As quatro linhas seguintes correspondem ao impacto das alterações climáti-

Tabela 10.46 – Ensaio de impacto para hotéis
(valores em kWh excepto onde indicado doutra forma)

Clima	Modelo	Aquecimento			Arrefecimento			Climatização		
		Quartos	Social	Total	Quartos	Social	Total	kWh	kWh/m ²	ΔE
Base	Base	3695	615	4310	1339	3084	4 424	5034	11,5	
A1	Base	1260	112	1373	5071	5880	10 954	6334	14,5	14 %
A2	Base	1536	177	1763	4088	5005	9 093	5674	13,0	7 %
B1	Base	1979	256	2235	3002	4116	7 118	4981	11,4	-1 %
B2	Base	1959	227	2186	3144	4195	7 339	5103	11,7	1 %

cas. Os cenários A1 e A2 traduzem-se por estimativas de aumento de consumos que, sendo significativas, não são muito altas, viz. +11 % (A1) e +7 % (A2). Já a variação de consumos estimada é pouco significativa nos cenários B1 (-1 %) e B2 (+1 %).

10.11.4.4 Serviços: Piscinas

Na simulação do custo energético de piscinas foram consideradas as necessidades de energia para aquecimento de águas de piscinas exteriores e interiores. Tendo em conta a grande competitividade de sistemas solares no aquecimento deste tipo de águas, foi também considerado o dimensionamento de sistemas solares de fornecimento de parte substancial da energia necessária.

As informações relativas à situação de referência, construção e operação, foram obtidas quase directamente das configurações por defeito do *software* SOLTERM 1.5 (INETI), já antes mencionado. Assim, modelou-se uma piscina com taxa de renovação diária da água 5 %, área 100 m², volume 200 m³, temperatura da água 26 °C. Para piscinas exteriores considerou-se uma utilização de Abril a Outubro, e o critério de dimensionamento do sistema solar foi ter 100 % das necessidades satisfeitas nos três meses de Verão. Para além destes parâmetros, para piscinas interiores considerou-se a temperatura na nave de 26 °C, humidade relativa na nave de 7 %, velocidade do ar junto à água de 3,5 cm/s, utilização todo o ano, e critério de dimensionamento do sistema solar de 100 % de necessidades satisfeitas pelo menos num mês.

Os resultados das simulações estão resumidos em termos anuais na Tabela 10.47 e seguinte. Foram realizados cinco conjuntos de simulações térmicas, correspondendo aos cinco tipos de clima (um «base» e quatro SRES). Os resultados de controlo para a situação base, «actual», indicam valores de cerca de 92 GWh para piscinas exteriores e 108 GWh para piscinas interiores. As quatro linhas seguintes correspondem

Tabela 10.47 – Ensaio de impacto para piscinas exteriores (protegidas)

Cenário	Carga (MWh)	Área (m ²)	Desempenho (kWh/m ²)	Redução de carga	Redução de área de colectores
Base	91703	111	622		
A1				(100 %)	(100 %)
A2				(100 %)	(100 %)
B1	532	126	731	60 %	88 %
B2	530	128	718	64 %	91 %

ao impacto das alterações climáticas. Em todos os casos a redução de carga é muito significativa, mas em especial no caso das piscinas exteriores. De facto é da ordem de -60 % nos cenários B1 e B2 e é total nos cenários A1 e A2, i.e. nestes dois cenários torna-se desnecessário aquecer a água de piscinas exteriores durante os meses de Verão. Nos cenários em que continua a ser necessário um sistema de aquecimento de água, a redução da área de colectores de um sistema solar é muito grande, da ordem de 90 %. Para piscinas interiores o impacto das alterações do clima cifra-se à volta de -15 % a -30 % de redução da carga, e redução da área de colectores de um sistema solar de cerca de -40 % a -60 %.

10.11.4.5 Transportes: Ar Condicionado

Na Tabela 10.49 estima-se o impacto das alterações climáticas no consumo de energia para ar condicionado no transporte de passageiros. Os dados de base e cenários para o sector foram obtidos do modelo MISP, como já referido. O número de horas de utilização foi calculado com um limiar de 25 °C acima do qual o ar condicionado é ligado, perfis médios mensais de temperatura obtidos do modelo HadCM3 e um perfil médio horário de utilização de transportes arbitrário.

Em resumo, o impacto neste caso significa uma duplicação do consumo relativo para ar condicionado: desde cerca de 4 % do consumo actualmente, a 8 % do consumo no futuro.

Tabela 10.48 – Ensaio de impacto para piscinas interiores

Cenário	Carga (MWh)	Área (m ²)	Desempenho (kWh/m ²)	Redução de carga	Fracção Solar Anual	Redução de área de colectores
Base	107 642	59	975		53 %	
A1	76 246	21	1274	29 %	35 %	64 %
A2	83 181	28	1205	23 %	41 %	53 %
B1	91 110	33	1156	15 %	42 %	44 %
B2	90 434	35	1142	16 %	44 %	41 %

Tabela 10.49 – Ensaio de impacto no consumo de energia para ar condicionado em transportes de passageiros

	Carros	Autocarros	Comboios	
Consumo adicional devido a AC	7 %	5 %	2 %	do consumo sem AC
2000	Carros	Autocarros	Comboios	
Distância percorrida	42 218	538	91	M km
Fracção de veículos equipada	40 %	40 %	40 %	
Tempo de utilização	952	951,6	951,6	horas/ano
Consumo específico	3,3	11,6	39,5	GJ/1000 km
Energia adicional gasta	5,96	0,30	0,16	PJ
(Total 6,4 PJ ou 143 k tep, i.e. 4% do consumo total do sector, 153 PJ)				
2070	Carros	Autocarros	Comboios	
Distância percorrida				
A1	120 604	559	72	M km
A2	103 937	768	118	M km
B1	81 967	1011	172	M km
B2	55 056	936	166	M km
Fracção de veículos equipada				
A1	90 %	90 %	90 %	
A2	70 %	70 %	70 %	
B1	80 %	80 %	80 %	
B2	70 %	70 %	70 %	
Tempo de utilização				
A1	2738	2738	2738	horas/ano
A2	2994	2994	2994	horas/ano
B1	2298	2298	2298	horas/ano
B2	2416	2416	2416	horas/ano
Consumo específico				
A1	1,4	9,5	33,0	GJ/1000 km
A2	1,6	10,2	34,5	GJ/1000 km
B1	1,4	9,5	33,0	GJ/1000 km
B2	1,6	10,2	34,5	GJ/1000 km
Energia gasta				
A1	15,8	1,5	0,7	48,0 PJ
A2	39,8	1,9	1,0	42,6 PJ
B1	24,1	2,0	1,2	27,3 PJ
B2	17,0	1,8	1,1	19,9 PJ
Δ (2070-2010)				
A1	7 % do consumo em 2070		27 % do consumo em 2000	
A2	8 %	«	24 %	«
B1	8 %	«	14 %	«
B2	9 %	«	9 %	«

No entanto, é relevante apontar que, em vista do aumento da mobilidade e do número de automóveis, isto significa na realidade aumentos entre 9 % a 27 % do consumo actual. Como já se disse, dado que o modelo MISP não é espacializado, é difícil escalar directamente estes resultados para a bacia do Sado.

10.12 BIODIVERSIDADE

10.12.1 Metodologia

A opção geralmente utilizada em análises desta natureza (Graves e Reavey, 1996) passa pelo mapeamento das espécies e sobreposição com dados climáticos expressos em base cartográfica. A disponibilidade e qualidade de informação existente para a região específica do estuário do Sado, no que se refere à caracterização ecológica das espécies, à não existência de informação climática com suficiente detalhe espacial, tanto para o clima actual como para os cenários de alteração climática, inviabiliza um estudo detalhado da dinâmica populacional.

De facto, conhecer o processo que leva à extinção de uma população requer que se avaliem determinados padrões que poderão ser indicadores, pelo menos em parte, da vulnerabilidade das espécies consideradas à alteração climática, como sejam a capacidade de migração, as taxas reprodutivas e a própria condição fisiológica. A perturbação dos *habitats* pode influenciar ainda a dinâmica das populações pela alteração da intensidade e direcção da interacção entre as espécies (Begon *et al.*, 1996).

Salienta-se o facto de se reconhecer que não se pode prever a estrutura de uma população ou comunidade no espaço temporal em análise, sem considerar também as interacções entre as espécies e possíveis alterações funcionais das próprias espécies, para além das alterações do uso dos *habitats* e dos recursos devidos à mudança climática. A perda de *habitat* não significa necessariamente a perda de espécies, pois estas reagem de modo diferente face a novos estádios de evolução dos ecossistemas.

A metodologia utilizada neste trabalho aproxima-se da que é frequentemente utilizada em estudos de impacto ambiental (Canter, 1997; Carter *et al.*, 1992; MOPT, 1989; Onofre e

Borrallho, 1993) e baseou-se numa análise semiquantitativa dos efeitos das alterações climáticas sobre a evolução dos *habitats* actualmente existentes na Reserva Natural do Estuário do Sado (RNES). Os resultados referem-se, por isso, a impactos directos das alterações climáticas sobre os *habitats* actualmente existentes da RNES e apenas indirectamente sobre as espécies propriamente ditas (através das alterações dos seus *habitats*). Os pressupostos da análise apresentam-se esquematicamente na Figura 10.63.

A metodologia baseou-se na construção de um algoritmo simples que permitiu o cruzamento de matrizes de base canónica do tipo presença/ausência para as espécies da RNES ocupando 14 tipos de *habitats* distintos, com matrizes de cenários de alteração futuros para cada um desses *habitats*.

De entre o conjunto dos *habitats* identificados da RNES (AFLOPS, 2002; Farinha e Costa, 1999; ICN, 2003; Moreira *et al.*, 1999; Neves e Rufino, 1995), seleccionaram-se

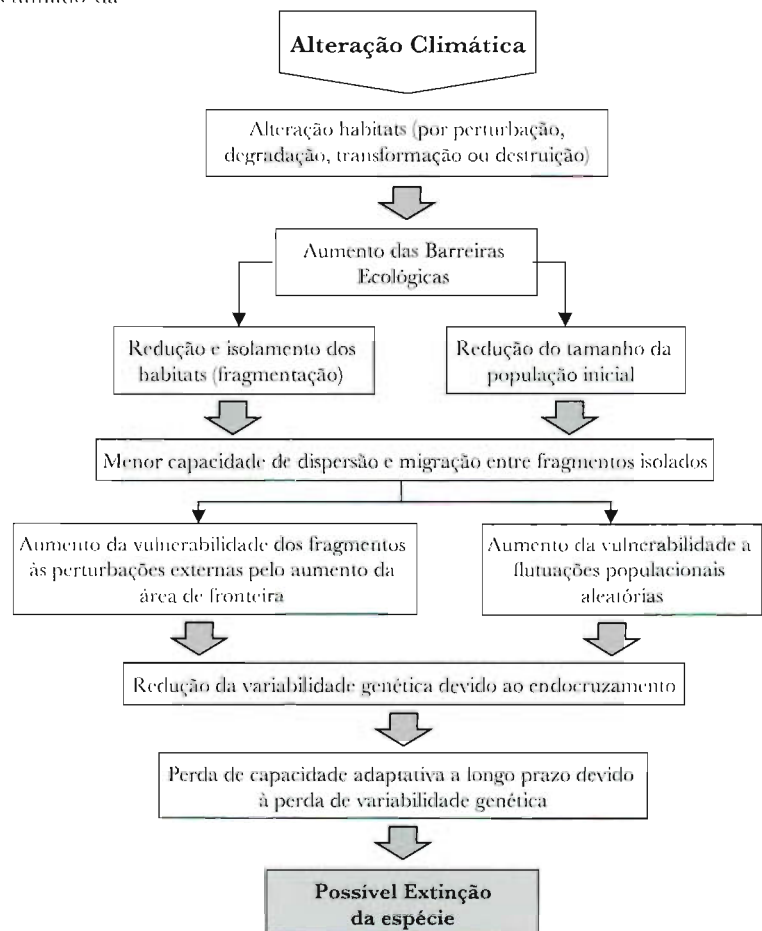


Figura 10.63 – Processos que levam à perda de diversidade biológica devido aos impactos negativos sobre os *habitats*.

Tabela 10.50 – Número de espécies da fauna que utiliza os *habitats* da RNES (ordem decrescente)

<i>Habitats</i>	N.º espécies que utiliza o <i>habitat</i>
Taludes	10
Pisciculturas	55
Matagais	64
Canais	70
Matos	83
Floresta	94
Charnecas	99
Arrozais	104
Zonas Intertidais	105
Salinas	108
Prados e Culturas Arvenses	117
Açudes e Lagoas	147
Veg Ribeirinha/Cortinas Arvoredo	148
Montados	153

14 considerados relevantes compreendendo áreas de vegetação natural e artificial de porte arbóreo ou herbáceo, zonas húmidas, bem como infra-estruturas que constituem *habitats* mais ou menos alteradas pelo homem (ver Tabela 10.50).

Verifica-se que mais de 50 % das espécies existentes na reserva utilizam os montados, vegetação ribeirinha e cortinas de arvoredo e também açudes e lagoas como *habitats* preferencias. O *habitat* menos utilizado é constituído pelos taludes, muito embora muitas espécies encontrem nestes *habitats* locais ideais de nidificação.

10.12.1.1 Construção das Bases de Dados

Matriz Presença/Ausência de Espécies

Foi efectuado um levantamento exaustivo de todas as espécies da fauna de vertebrados identificados na RNES através de recolha de informação bibliográfica de várias origens (Bruun *et al.*, 1995; Costa e Guedes, 1996; Crespo e Oliveira, 1989; Crespo e Sampaio, 1994; Elias *et al.*, 1999; Farinha e Costa, 1999; Farinha e Trindade, 1994; Hofmann, 1999; Macdonald e Barret, 1993; Mathias, 1999; Neves e Rufino, 1995; Rufino, 1989; Rufino, 1991). A informação obtida foi organizada numa base de dados e posteriormente corrigida por especialistas em fauna animal.

Incluíram-se espécies que, apesar de constarem nas listagens consultadas sobre a fauna ocorrente na área da RNES, é reconhecidamente duvidoso que ainda ocorram na região. Como exemplos, citam-se a águia-imperial (*Aquila adalberti*) e o francelho (*Falco naumanni*), entre outras espécies, para as quais é conhecido que actualmente não nidificam na região e que, na melhor das hipóteses, apenas terão uma ocorrência ocasional ou accidental. A razão de se incluírem estas espécies teve como critério o facto de a qualidade de informação não ser idêntica para as espécies cuja ocorrência actual é duvidosa na RNES. A classificação das espécies quanto ao estatuto de conservação baseou-se no livro vermelho dos Vertebrados de Portugal (ICN, 1990-1993). Cada espécie foi caracterizada segundo:

- Grupo taxonómico, Ordem, Nome comum e Nome científico;
- Abundância relativa: Muito comum, Comum, Pouco comum, Raro, Muito raro;
- Estatuto fenológico: Residente, Estival, Invernante, Migrador passagem, Acidental ou Irregular;
- Estatuto de conservação de acordo com as classes: Em perigo, Vulnerável, Raro, Insuficientemente conhecido, Indeterminado e Espécie exótica.

Tabela 10.51 – Cenários de alteração futura em cada um dos *habitats* relevantes para as espécies da RNES

<i>Habitats</i>	Cenário de alteração dos <i>habitats</i>
Canais, Zonas Intertidais, Pisciculturas, Açudes, Charnecas, Matos, Matagais	+1
Taludes	0
Salinas, Arrozais, Prados e Culturas Arvenses, Montados, Vegetação Ribeirinha e Cortinas de Arvoredo, Floresta	-1

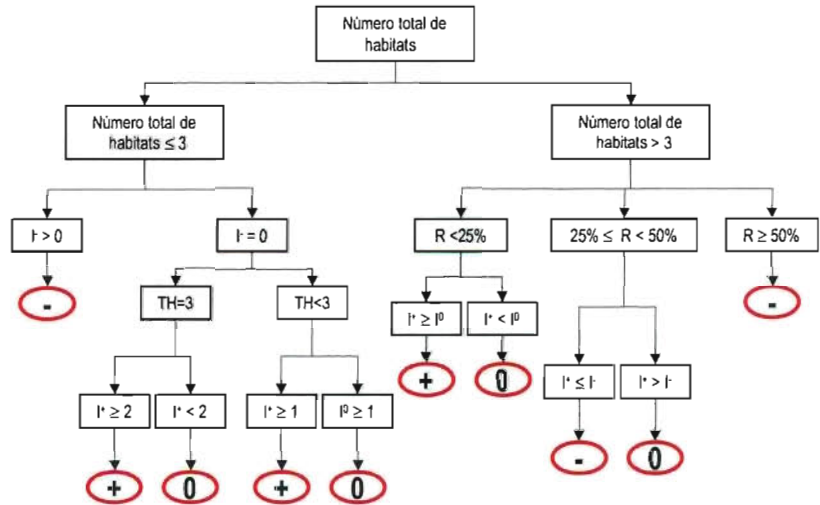
Cada espécie possui um conjunto de *habitats* preferenciais que utiliza durante a sua vida como abrigo, reprodução e alimentação. A partir desta informação foi construída uma matriz de presença (1)/ausência(0) de cada uma das espécies consideradas em cada um *habitats* por elas utilizados na actualidade (*habitats* referidos anteriormente). Desta forma foi possível a leitura dos dados pelo modelo construído.

Matriz do Cenário de Alteração Climática para os *Habitats*

A construção dos cenários de alteração dos *habitats* no horizonte temporal de 2080-2100, implicou a integração dos resultados produzidos por equipas de especialistas. Assim, a cada equipa foi solicitado que apresentasse o cenário de alteração do *habitat* do seu sector mais provável tendo em conta a problemática da alteração climática e para o horizonte temporal de 2080-2100. Assim, por exemplo, na determinação da evolução da área de arrozal levou-se em consideração não apenas a produtividade potencial da cultura na nova condição climática, mas também o cenário de disponibilidade hídrica para essa cultura. Os cenários possíveis foram classificados de acordo com uma escala ordinal de três níveis: 1) Impacto Negativo (-), esperando-se uma alteração profunda do *habitat* no futuro com redução significativa da sua área ou fragmentação drástica; 2) Impacto Nulo (0), em que não é expectável uma alteração significativa do *habitat*; 3) Impacto Positivo (+), em que é expectável um aumento da área e/ou do número de *habitats* disponíveis. Os resultados encontram-se na Tabela 10.51.

Algoritmo

O cruzamento da matriz de presença/ausência das espécies com a matriz do cenário climático futuro foi possível através da construção de um algoritmo específico cuja estrutura se apresenta na Figura 10.64. A primeira etapa da sua construção correspondeu à divisão das espécies em dois grandes grupos: as denominadas **especialistas**, que utilizam um número limitado de *habitats* e recursos (menos de quatro *habitats*), e as espécies denominadas **generalistas** que utilizam uma gama de *habitats* mais ampla e cuja dieta e exigências



TH = Número total de *habitats* utilizados pela espécie x
 I = Número de *habitats* com impacto negativo no futuro para a espécie x
 I* = Número de *habitats* com impacto positivo no futuro para a espécie x
 I⁰ = Número de *habitats* sem impacto no futuro para a espécie x
 R = I/TH
 (-) = Impacto final negativo para a espécie x
 (0) = Impacto final sem alteração para a espécie x
 (+) = Impacto final positivo para a espécie x

Figura 10.64 – Algoritmo utilizado no cruzamento das matrizes presença/ausência com a matriz dos cenários de futuros de alteração dos *habitats*

de reprodução são menos restritas. Em teoria, estas últimas espécies apresentam maior vantagem competitiva do que as primeiras, pelo facto de conseguirem ocupar um maior número de nichos ecológicos (muito embora nada se conheça sobre a dinâmica populacional destas espécies). Os critérios de inclusão e exclusão das espécies nas diversas categorias e níveis de impacto baseou-se na opinião de especialistas em fauna animal. Dado tratar-se de um método empírico e com muitas limitações, existe a consciência de que é susceptível de discussão. Toda a informação, cálculos e resultados foram efectuados recorrendo à construção de um programa escrito em linguagem de programação *Fortran 90*.

10.12.2 Resultados

Os resultados obtidos por esta simulação sugerem que as alterações climáticas poderão afectar negativamente cerca de 75 % das espécies actualmente existentes na RNES (Figura 10.65). Este facto poderá ser explicado, em parte, pelo elevado número de espécies que utilizam os montados, a vegetação ribeirinha e cortinas de árvores como *habitats* preferenciais, ambos com elevada probabilidade de redução da sua área ou fragmentação drástica no futuro.

Tabela 10.52 – Número de espécies com impacto negativo, nulo ou positivo em cada grupo taxonómico

	Número de espécies		
	Impacto Negativo	Impacto Nulo	Impacto Positivo
Mamíferos	30	0	0
Aves	150	38	24
Répteis	11	2	0
Anfíbios	7	1	0
Total	198	41	24

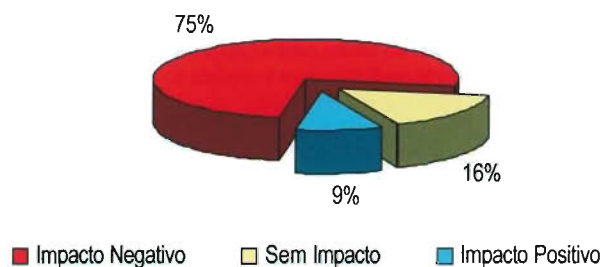


Figura 10.65 – Impactos nas espécies de fauna da RNES de acordo com os cenários de alteração climática

Esperam-se impactos bastante severos no grupo dos mamíferos, répteis e anfíbios com praticamente todas as espécies afectadas de forma negativa no futuro. Conclui-se que o favorecimento de alguns *habitats* poderá ter consequências positivas para 9 % das espécies enquanto que para 16 % das espécies não se espera qualquer impacto (Tabela 10.52).

O aumento das áreas associadas às Zonas Intertidais, Pisciculturas, Açudes e Canais está na origem da percentagem de aves beneficiadas em cenários futuros, uma vez que são locais particularmente atractivos para algumas espécies do grupo das limícolas, anatídeos e galeirões. Poderá ser expectável, por isso, um aumento dos efectivos populacionais destas espécies.

Das espécies negativamente afectadas no futuro, 45 apresentam estatuto de ameaça na actualidade, sendo que 23 são consideradas como seriamente ameaçadas. A vulnerabilidade destas espécies aos factores de alteração (como por exemplo sobreexploração, destruição do *habitat* ou perturbação do ambiente, poluição) constitui já hoje um

problema grave que tenderá certamente a ser exacerbado num contexto de alteração climática. Por exemplo, espécies que actualmente se encontram *Em Perigo*, sendo classificadas no grupo das espécies com impacto negativo no futuro, poderão extinguir-se dada a extrema fragilidade das suas populações. Nesta categoria encontra-se por exemplo a águia-imperial-ibérica (*Aquila adalberti heliaca*) e o abetouro (*Botaurus stellaris*).

10.12.3 Discussão

A metodologia utilizada na avaliação do impacto das alterações climáticas na biodiversidade baseou-se na estreita dependência entre as espécies e os *habitats* por elas ocupados. O elevado número de espécies afectadas no futuro é sobretudo reflexo dos impactos negativos nos *habitats* florestais (principalmente montados) e agrícolas (sobretudo arrozais e pastagens), que constituem importantes locais de nidificação e alimentação e são utilizados por mais de 50% das espécies. Os cenários futuros prevêem fortes reduções da produtividade potencial para as principais espécies florestais e agrícolas, sendo portanto provável que haja uma tendência para a redução destes sistemas de uso do solo. A fragmentação dos *habitats* actuais é por isso inevitável.

Se bem que a perturbação e destruição dos *habitats* sejam determinantes na sobrevivência das espécies, as populações limitadas a estes espaços tenderão a encontrar novos territórios, à semelhança do que aconteceu no passado. Desconhece-se como as populações poderão reagir às novas pressões resultantes não só da perda de *habitats*, mas também do efeito do aumento da temperatura e da redução da disponibilidade de água no seu metabolismo e no seu comportamento. As espécies actualmente ameaçadas serão particularmente vulneráveis a estas alterações que sucederão a uma escala temporal muito mais rápida.

10.13 NOTAS FINAIS

O vale do Sado é uma zona com grande sensibilidade a mudanças climáticas, devido especialmente à escassez de água já observada em anos secos do clima actual. A debilidade crónica dos sistemas agrícola e piscícola e a pressão exercida sobre o meio natural por parte das zonas urbanas e industriais concorrem para fragilizar o ambiente nesta região. Num cenário de mudança climática caracterizado por aquecimento, redução da disponibilidade hídrica e/ou aumento da variabilidade interanual da precipitação, são de esperar dificuldades acrescidas na manutenção da vegetação e fauna naturais e do actual sistema agrícola e florestal.

Os cenários climáticos utilizados neste estudo constituem as melhores projecções do clima nos finais do século XXI actualmente disponíveis. Apesar de existir uma enorme incerteza sobre a probabilidade de ocorrência destes cenários, existe hoje um claro consenso em relação à evolução provável de duas variáveis: a temperatura e o nível do mar vão subir no próximo século. O que se vai passar com a precipitação é muito menos claro, sendo de esperar um comportamento fortemente regionalizado, com regiões de aumento e de diminuição da precipitação. Nos cenários aqui considerados a Europa do Sul é uma das regiões com redução de precipitação, o que parece plausível em face da actual variabilidade interanual nesta região. Se esta conjugação de factores se

verificar num número significativo de anos, estamos perante um problema grave de gestão hídrica.

Neste trabalho iniciou-se também uma discussão exploratória sobre medidas de adaptação à mudança climática. Em muitos casos trata-se de medidas de gestão de recursos, cuja implementação é desejável em qualquer cenário climático, mas se torna indispensável em cenários de aquecimento global significativo. Os cálculos apresentados parecem indicar a relevância de uma atitude pró-activa e, sobretudo, a necessidade de o Estado possuir dados claros em malha fina sobre os diferentes ecossistemas e sectores de actividade que lhe permitam actuar preventivamente nas zonas mais vulneráveis.

10.14 REFERÊNCIAS

- Abecasis, F., 1987, O regime aluvionar da costa portuguesa entre Peniche e a foz do Mira. *Ingenium*, N.º 8, Ordem dos Engenheiros, Lisboa, pp. 4-18.
- Abranches P., Conceição-Silva F.M., Silva-Pereira M.C.D., 1984, Kala-azar in Portugal. V. The sylvatic cycle in the enzootic endemic focus of Arrabida, *Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 87: 197-200.
- Abranches P., Ribeiro M.M.S., Lopes F.J., Gomes L.T., 1983, O Kala-azar em Portugal. II. Inquérito sobre a leishmaniose canina em Alcácer do Sal, *Jornal das Ciências Médicas* 147: 147-149.
- AFLOPS, 2002, Resultados do Projecto LIFE-Natureza – Rede Natura 2000 da Península de Setúbal/Sado, pp. 34, Expresso.
- Almeida C., Mendonça J.J.L., Jesus M.R., Gomes A.J., 2000, Sistemas Aquíferos de Portugal Continental, Instituto da Água, Lisboa, URL: <http://www.inag.pt>
- Ambar, I.; Fiúza, A.; Sousa, F. e Lourenço, I., 1982, General Circulation in the Lower Sado River Under Drought Conditions, Seminário Actual problems of oceanography in Portugal, Novembro de 1980, Lisboa, pp. 97-107.
- Andrade, C., 1990, O ambiente de barreira da Ria Formosa (Algarve-Portugal), Dissertação de Doutoramento, FCUL, 645 pp.
- Anónimo, 1992, Embarcações de pesca nacional, Gabinete de Estudos e Planeamento das Pescas, Lisboa, 628 pp.
- Antunes, M.M., Lopes da Cunha, P., 1995, Actualização da avaliação do impacto da central térmica de Setúbal nos recursos haliéuticos do estuário do Sado, Relatório técnico, INETI (ITA), Lisboa.
- Antunes, M.M., Lopes da Cunha, P., Moura, D., 1991, Estudo do impacto dos efluentes urbano-industriais nas comunidades de peixes e crustáceos decápodes no estuário do Sado, 1987/88, Relatório técnico, LNETI (DEII), Lisboa, 73 pp.
- Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagens de Águas (APDA), 2002, Quem é Quem no Sector da Água em Portugal.
- Bacellar F., Dawson J.E., Silveira C.A., Filipe A.R., 1995, Antibodies against Rickettsiaceae in dogs of Setúbal, Portugal, *Central European Journal of Public Health* 2: 100-102.
- Baptista S., Quaresma A., Aires T., Kurtenbach K., Santos-Reis M., Nicholson M., Collares-Pereira M., 2003, Lyme Borreliosis spirochetes in questing ticks from mainland Portugal, *International Journal of Medical Microbiology* (in press).
- Baptista S., Vieira M.L., Domingos S., Santos-Reis M., de Michelis S., Sewell H.S., Kurtenbach K., Collares-Pereira M., 2000, Contributo para a definição da borreliose de Lyme em Portugal: I. Primeiro isolamento de agentes patogénicos. Poster presented at II Congresso de Investigação em Medicina, Coimbra, Portugal.
- Bazzaz, F. A., 1996, Plants in Changing Environments – Linking physiological, population, and community ecology, Cambridge University Press, Cambridge.
- Begon, M., J. L. Harper, and C. R. Townend, 1996, Ecology, Blackwell Science, Oxford.
- Bird, C., Cassells, G.A., 2001, Aeration: the facts, *Aquainfo* 20: 1-7.
- Blanquet, L., 1998, Robalo (*Dicentrarchus labrax*). in Henriques, M.A.R. (ed.) Manual de Aquacultura, pp. 177-187.
- Borges F., 2001, A Malária no Vale do Rio Sado – Perspectiva Histórica, in Memórias do Instituto de Malariologia de Águas de Moura – da Luta Antipalúdica ao Museu, edited by Câmara Municipal de Palmela and CEVDI – Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, Portugal: 59-63.
- Braga, R., 1996, Avaliação do modelo CERES-RICE – análise de sensibilidade, validação e qualidade dos dados climáticos. Curso de Mestrado em Produção Agrícola Tropical, Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.
- Brody, M., Hlohowskyj, I., 1998, Fisheries, in Feentra, J.F., Burton, I., Smith, J.B., Tol, R.S. (eds.), Handbook on methods for climate change impact assessment and adaptation strategies, UNEP/vrije Universiteit Amsterdam, pp. 14.1-14.37.
- Brogueira, M.J., Cabeçadas, G., Rocha, C., 1994, Interações aquacultura-ambiente no estuário do Sado, Actas do Seminário sobre Recursos Haliéuticos, Ambiente, Aquacultura e Qualidade do Pescado da Península de Setúbal: 207-216.
- Bruun, B., H. Delin, and L. Svensson, 1995, Aves de Portugal e Europa, FAPAS – Fundo para a Protecção dos Animais Selvagens, Lisboa.
- Cabral, H.N., 1999, Ictiofauna do Estuário do Sado, Relat. Cient. Téc. Inst. Invest. *Pescas Mar* 47: 30 pp.
- Cabral, H.N., Costa, M.J., Salgado, J.P., 2001, Does the Tagus estuary fish community reflect environmental changes? *Clim. Res.* 18: 119-126.
- Caeiro V.M.P., 1992, As Carraças em Portugal: seus hospedeiros domésticos e silvestres. Ciclos vitais, preferências de vegetação e de clima, *O Medico Veterinário* 28: 7-25.
- Caeiro V.M.P., 1999, General review of tick species in Portugal, *Parasitologia* 41(suppl.1): 11-15.
- Campino L., 2000, Leishmanioses em Portugal, PhD thesis, Universidade Nova de Lisboa, Portugal.
- Candeias I. R. R., 1997, Estudo Quantitativo e Qualitativo dos Recursos Hídricos Subterrâneos da área de Viana do Alentejo – Alvíto (Alentejo), Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Candeias I. R. R., 1998, Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e Caracterização Hidráulica da Formação Carbonatada de Viana do Alentejo – Alvíto, 4.º Congresso da Água, Lisboa.
- Carter, L. W., 1997, Environmental impact assessment, McGraw-Hill, Boston.
- Carter, T. R., M. L. Parry, S. Nishioka, and H. Harasawa, 1992, Preliminary guidelines for assessing impacts of climate change, Environmental Change Unit, Oxford.
- Casimiro E. and Calheiros J.M., 2002, Human Health, in Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project, Santos E.D., Forbes K., Moita R. (editors), Graulva Publicações, Lisboa, pp. 241-300.
- Castro, J.J., 1989, Biologia e exploração de anelídeos poliquetas no Estuário do Sado, Comunicações III Congresso de Áreas Protegidas, SNPRON: 249-258.
- Christie, G.C., Regier, H.A., 1988, Measures of optimal thermal habitat and their relationship to yields for four commercial fish species, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 301-311.
- Collares-Pereira M., Conceiro S., Franca L., Kurtenbach K., Vitorino L., Gonçalves L., Baptista S., Vieira M.L. and Cunha C., 2003, First isolation of Borrelia lusitanae from a human patient (forth coming).
- Comissão de Coordenação da Região Alentejo (CCRA), 2001, Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo (ERHS-A) 2003, Évora.
- Contribuição do INEC para o Relatório da HPA Entregar à EPAL em Fevereiro de 1994, Relatório Final, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 37/94 – GLAS.
- Costa, M.J., Reis, C.S., Cabral, H., Costa, J.L., 1997, Ampliação das instalações portuárias de Setúbal – Estudo de Impacto Ambiental, Instituto de Oceanografia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa: 72 pp.
- Costa, L. T., e R. S. Guedes, 1991, Contagem de Anatóides Invernaes em Portugal – 1992/93, 10 pp., Estudos de Biologia e

- Conservação da Natureza, Instituto de Conservação da Natureza, Lisboa.
- Costa, T. C., e R. S. Guedes, 1996, Contagem de Anátides Invernantes em Portugal Continental. Invernos de 1993/94 a 1995/96, 56 pp., Estudos de Biologia e Conservação da Natureza, Instituto de Conservação da Natureza, Lisboa.
- Coutant, C.C., 1987, Thermal preference: when does the asset become a liability? *Environ. Biol. Fish* 18: 161-172.
- Crawford N. H., Linsley R. K., 1966, Digital Simulation in Hydrology: Stanford Watershed Model IV, Stanford University, Department of Civil Engineering, Technical Report 39, Palo Alto, California, USA.
- Crespo, E. G., and L. Sampaio, 1994, As serpentes de Portugal. ICN, Lisboa.
- Crespo, E. G., and M. E. Oliveira, 1989, Atlas da Distribuição dos Anfíbios e Répteis de Portugal Continental, Serviço Nacional de Parques e Reservas e Conservação da Natureza, Lisboa.
- Cunha, L.V.; Oliveira, R. e Nunes, V., 2002, Water resources, in Santos, F. D.; Forbes, K. e Moita, R. (Eds), Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures. SIAM Project, Gradiva, Lisboa, pp. 132-171.
- de Michelis S., Sewell H.S., Collares-Pereira M., Santos-Reis M., Schouls L.M., Benes V., Holmes E.C., Kurtenbach K., 2000, Genetic Diversity of *Borrelia burgdorferi* sensu lato in ticks from mainland Portugal, *Journal of Clinical Microbiology* 38(6): 2128-2133.
- de Moraes J.A.D., Filipe A.R., Nuncio M.S., 1989, Doença do Lyme em Portugal: Caso clínico, *Revista Portuguesa de Doenças Infecciosas* 12 (4): 261-276.
- Degani, G., Migal, D.L., Gallagher, M.L., 1988, Relationship between growth, food conversion, body size, body composition and temperature in the European eel, *Anguilla anguilla* L., *Aquaculture and Fisheries Management* 19: 139-143.
- Dessai S., 2002, Heat stress and mortality in Lisbon Part 1: model construction and validation, *International Journal of Biometeorology* 47: 6-12.
- DGF, 2001, Inventário Florestal Nacional, 3.ª Revisão, Direcção de Serviços de Planeamento e Estatística – Projecto NeoInv. Lisboa, Direcção-Geral das Florestas.
- DGF, 2003, Sistema de Informação de Cotações de Produtos Florestais na Produção – SICOP. <http://cryptomeria.dgf.min-agricultura.pt>
- DGS, 2001, Doenças de Declaração Obrigatória (1996-2000), Direcção-Geral da Saúde, Lisboa, Portugal.
- Dias J.A.T.S., Nuncio M.S., Gonçalves A.C., 1994, Contribuição para a elaboração de um inventário da fauna ixodológica (Acarina-Ixodoidea) de Portugal, Sep. Garcia de Orta, *Sér. Zool.* 20 (1-2): 49-69.
- Dias, M.D.S., 1994, Contribuição para o conhecimento da aquacultura no estuário do Sado, Actas do Seminário sobre Recursos Haliêuticos, Ambiente, Aquacultura e Qualidade do Pescado da Península de Setúbal: 155-166.
- DRAAL, 2002, ECPC-Estado das Culturas e Previsão de Colheitas 2002. DRAAL.
- Duque, J. M., 1997, Caracterização hidrogeológica e modelação matemática do aquífero dos Gabros de Beja, Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Éliard, J.L. 1999, Manual geral de Agricultura, Mem-Martins, Europa-América.
- Elias, G., L. M. Reino, T. Silva, R. Tomé, e P. Geraldès, 1999, Atlas das Aves Invernantes no Baixo Alentejo, Sociedade Portuguesa para o Estudo das Aves, Lisboa.
- Elliot, M., Dewailly, F., 1995, The structure and components of european estuarine fish assemblages, *Neth. J. Aquat. Ecol.* 29: 397-417.
- Fairbridge, R.W., 1980, The estuary: Its definition and geodynamic cycle, in Olausson, E. & Cato, I. (Eds.), Chemistry and Biogeochemistry of estuaries, Wiley, New York, 135 pp.
- Falcão J.M., Nogueira P.J., Contreiras M.T., Paixão E., Brandão J., Batista L., 2003, Onda de calor de Agosto de 2003: Repercussões Sobre a Saúde da População, Relatório do ONSA, INSA, Lisboa.
- Faria, P.L., Pinto, P.A., Coelho, J.P., Luzes, D.F., Barradas, G., Tenreiro, P., Ferreira, J.C., Goes, J. e Nuncio, J., 1990, Sistemas de agricultura dos concelhos de Alcácer do Sal e de Grândola, Programa de Desenvolvimento agrícola regional – PDAR, Centros de Estudos de Agricultura, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Farinha, J. C., e A. Trindade, 1994, Contribuição para o Inventário e Caracterização de Zonas Húmidas em Portugal Continental, MedWet/Instituto da Conservação da Natureza, Lisboa.
- Farinha, J. C., e H. Costa, 1999, Guia de Campo das Aves Aquáticas de Portugal, Instituto de Conservação da Natureza, Lisboa.
- Feio, M., 1951, A evolução do Relevo do Baixo Alentejo e Algarve. Com. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, Tomo XXXII, 179 pp.
- Fernandes T., Clode M.H.H., Simões M.J., Ribeiro H., Anselmo M.L., 1998, Isolation of virus West Nile from a pool of unfed *Anopheles atroparvus* females in the Tejo River estuary, Portugal, *Acta Parasitológica Portuguesa* 5(1): 7.
- Filipe A.R., 1969, Problemas biológicos da reconversão agrária – importância das alterações ecológicas na actividade dos vírus transmitidos por Artrópodos, *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias* 409(10): 7-15.
- Filipe A.R., 1972, Isolation in Portugal of West Nile virus from *Anopheles maculipennis* mosquitoes, *Acta Virologica* 16: 361.
- Filipe A.R., 1983, Pesquisa de anticorpos contra alfa e flavivirus. Arquivos do Instituto Nacional de Saúde, 8: 49-57.
- Filipe A.R., and Andrade H.R., 1990, Arboviruses in the Iberian Peninsula, *Acta Virologica* 34: 582-591.
- Filipe A.R., de Moraes J.A.D., Nuncio M.S., 1990, A Doença de Lyme no Sul de Portugal. Evidência laboratorial e epidemiológica acerca da presença da *Borrelia burgdorferi*, *Revista Portuguesa de Doenças Infecciosas* 13 (1): 45-50.
- Fonds, M., Cronie, R., Vethaak, A.D., van der Puyl, P., 1992, Metabolism, food consumption and growth of plaice (*Pleuronectes platessa*) and flounder (*Platichthys flesus*) in relation to fish size and temperature, *Netherlands Journal of Sea Research* 29 (1-3): 127-143.
- Formosinho P., Melo P., Santos-Silva M., Santos A., Santos N., Nuncio M.S., 2002, Role of wild birds in transmission of vector-borne agents, Preliminary studies in National Institute of Health-Portugal, Third European Congress on Tropical Medicine and International Health, Poster n.º P179, Abstract book in *Acta Tropica*, 83 Suppl.1: S175.
- Frederich, M., Pörtner, H.O., 2000, Oxygen limitation of thermal tolerance defined by cardiac and ventilatory performance in spider crab, *Maja squinado*, *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 279 (5): 1531-1538.
- Freitas, M.C., 1995, A laguna de Albufeira (Península de Setúbal). Sedimentologia, morfologia e morfodinâmica, Dissertação de Doutoramento, FCUL, 337 pp.
- Galão R.P., Sousa C.A., Novo M.T., Parreira R., Pinto J., Carvalho L., Esteves A., Piedade J., Ramos H., Almeida A.P.G., 2002, Distribution of potential arboviruses mosquito vectors in Portugal, Third European Congress on Tropical Medicine and International Health, Oral Communication n.º WEPS038, Abstract book in *Acta Tropica*, 83 Suppl.1: S83-S84.
- Garcia A.C., Nogueira P.J., Falcão P.J., 1999, Onda de calor de Junho de 1981 em Portugal: efeitos na mortalidade, *Revista Portuguesa de Saúde Pública*, Volume Temático 1: 67-77.

- Giménez, A., García, G., 2002, Growth and food intake models in *Octopus vulgaris* Cuvier (1797): influence of body weight, sex and diet, *Aquaculture International* 10 (5): 361-377.
- Gordo, L.P., Cabral, H.N., Neves, A.M., 2002, Trophic interactions of the cuttlefish *Sepia officinalis* (Cephalopoda: Sepioididae) in the Ria Formosa, in the Sado Estuary and in the Ria de Aveiro: a tool for cephalopod resource management, *Relatório de Progresso* (2.º Ano), 20 pp.
- Graves, J., and D. Reavey, 1996, *Global Environmental Change. Plants, animals and communities*, Longman, London.
- Hayes, M.O., 1978, Barrier island morphology as a function of tidal and wave regime. In: Leatherman, S. (Ed.) *Barrier Islands*, London, Academic Press, pp. 1-23.
- Hector, A., B. Schmid, C. Beierkuhnlein, M. C. Caldeira, M. Diemer, P. G. Dimitrakopoulos, J. A. Finn, H. Freitas, P. S. Giller, J. Good, R. Harris, P. Höglberg, K. Huss-Danell, J. Joshi, A. Jumpponen, C. Körner, P. W. Leadley, M. Loreau, A. Minns, C. P. H. Mulder, G. O'Donovan, S. J. Otway, J. S. Pereira, A. Prinz, D. J. Read, M. Scherer-Lorenzen, E.-D. Schulze, A.-S. D. Siamantziouras, E. M. Spehn, A. C. Terry, A. Y. Troumbis, F. I. Woodward, S. Yachi, and J. H. Lawton, 1999, Plant Diversity and Productivity Experiments in European Grasslands, *Science* 286: 1123-1127.
- Hidromod, 1996, Estudos para conhecimento da capacidade de suporte do estuário do Sado relativamente às actividades estabelecidas nas margens, caracterização da situação actual e implementação do modelo hidrodinâmico, 29 pp., ICN – Instituto de Conservação da Natureza, Lisboa.
- HIDROPROJECTO, 2003, MGA – Sistema de Modelos Matemáticos de Engenharia e Gestão do Ambiente da HIDROPROJECTO, Relatório técnico (não publicado).
- Hofmann, H., 1999, *Mamíferos*, Everest, Lisboa.
- Hoogenboom, G., Jones, J.W., Wilkens, P.W., Porter, C.H., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Boote, K.J., Singh, U. Uryasev, O., Bowen, W.T., Gijsman, A.J., Toit A.D., White, J.W., and Tsuji, G.Y., 2004, Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0 [CD-ROM], University of Hawaii, Honolulu, HI.
- Huback Z. and Halouzka J., 1999, West Nile Fever - a re-emerging mosquito-borne viral disease in Europe, *Emerging Infectious Diseases* 5: 643-650.
- Hulme, M., Jenkins, G.J., Lu, X., Turpenny, J.R., Mitchell, T.D., Jones, R.G., Lowe, J., Murphy, J.M., Hassel, D., Boorman, P. McDonald, R., and Hill, S., 2002, *Climate Change Scenarios for the United Kingdom: the UKCIP02 Scientific Report*, UK, Tyndall Centre for Climate Change Research, School for Environmental sciences, Un. East Anglia.
- ICN, 2003, www.icn.pt/areas_protegidas/estuário_sado/caracterizacao.htm.
- IGIF, 2002, Hospital admissions database, Instituto de Gestão Informática e Financeira da Saúde, Ministério da Saúde, Lisboa, Portugal.
- IN, 1860, *Relatório sobre a Cultura do Arroz em Portugal*, Imprensa Nacional, Lisboa.
- INAG, 2001, Plano Nacional da Água (PNA), Vols. 1 e 2, Instituto da Água, Documento aprovado pelo Dec./Lei 112/2002 de 17 de Abril, INAG, Lisboa. www.inag.pt/inag2002/port/a_intervencao/planeamento/pna/pna.html
- INE, 1992, Recenseamento Geral Agrícola 1999, Lisboa, INE.
- INE, 1995, Estatísticas agrícolas, 1994, Lisboa, INE.
- INE, 1997, Estatísticas agrícolas, 1996, Lisboa, INE.
- INE, 1998, Estatísticas agrícolas, 1997, Lisboa, INE.
- INE, 1999a, *Inquérito à Estrutura das Explorações Agrícolas*, 1997, Lisboa, INE.
- INE, 1999b, Estatísticas agrícolas, 1998, Lisboa, INE.
- INE, 2000, Estatísticas agrícolas, 1999, Lisboa, INE.
- INE, 2001a, *Anuário Estatístico da Região do Alentejo*, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal.
- INE, 2001b, *Recenseamento Geral Agrícola*, 1999, Alentejo, Lisboa, INE.
- INE, 2001c, *Anuário Estatístico da Região de Lisboa e Vale do Tejo*, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal.
- INE, 2001d, Estatísticas agrícolas, 2000, Lisboa, INE.
- INE, 2002, Estatísticas agrícolas, 2001, Lisboa, INE.
- INE, 2003, Estatísticas agrícolas, 2002, Disponível em 26 de Novembro de 2003 em <http://www.ine.pt/prodserv/quadros/periodo.asp>.
- INE, Estatísticas Regionais da Produção Vegetal, 1986/1995, Disponível em 26 de Novembro de 2003 em http://www.ine.pt/prodserv/quadros/mostra_quadro.asp.
- Instituto da Água (INAG), 2001, Plano Nacional da Água, Lisboa, URL: <http://www.inag.pt>
- Instituto de Desenvolvimento Rural e Hidráulica (IRDHa), 2002, *Aproveitamentos Hidroagrícolas*, Lisboa, URL: <http://www.idrha.min-agricultura.pt>
- Instituto Hidrográfico, 2002, Carta hidrográfica N.º 26308 da série Portuária, Barra e Porto de Setúbal, escala 1:15 000, 3.ª edição, Julho de 2002.
- IPCC, 1996, Revised 1996, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Intergovernmental Panel on Climate Change, Meteorological Office, United Kingdom.
- Jarrett, J. T., 1976, Tidal prism-inlet area relationships, US Army Corps of Engineers, GFTI Report 3, 32 pp.
- Jobling, M., 1981, Temperature tolerance and the final preference, rapid methods for the assessment of optimum growth temperatures, *J. Fish. Biol.* 19: 439-455.
- Jones, G., 1994, Global warming, sea level change and the impact on estuaries, *Mar. Poll. Bull.* 28 (1): 7-14.
- Jones, R. G., J. M. Murphy and M. Noguer, 1995, Simulation of climate change over Europe using a nested regional-climate model. I: Assessment of control climate, including sensitivity to location of lateral boundaries, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 121, 1413-1449.
- Jones, R. G., J. M. Murphy, M. Noguer and A. B. Keen, 1997, Simulation of climate change over Europe using a nested regional-climate model. II: Comparison of driving and regional model responses to a doubling of carbon dioxide, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 123, 265-292.
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H. Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J. and Ritchie, J.T., 2003, The DSSAT cropping system model, *European Journal of Agronomy* 18, 235-265.
- Jorge R., and Sarmento M., 1906, *La Malaria en Portugal. Premiers résultats d'une enquête*, Lisbonne, Ministério do Reino.
- Keatinge W.R., Coleshaw S.R.K., Easton J.C., Cotter F., Mattock M.B., Chelliah R., 1986, Increased platelet and red cell counts, blood viscosity and plasma cholesterol level during heat stress, and mortality from coronary and cerebral thromboses, *American Journal of Medicine* 81: 795-800.
- Kilbourne E.M., 1997, Heat waves and hot environments, in *The Public Health Consequences of Disaster*, Noji (ed), Oxford University Press, Oxford, pp. 245-269.
- Kilbourne E.M., Choi K., Jones T.S., Thacker S.B., 1982, Risk factors in heat stroke: a case-control study, *Journal of the American Medical Association* 247: 3332-3336.
- Klein, L., 1959, *River pollution I – chemical analysis*, London, Butterworths Scientific Publications, 206 pp.
- Komar, P., 1976, *Beach processes and sedimentation*, Prentice-Hall, New Jersey, 429 pp.
- Langbein, W. and Schumm, S., 1958, Yield of sediment in relation to mean annual precipitation, *Trans. American Geophysical Union*, Vol. 39 (6), pp. 1076-1084.
- Le Fleche A., Postic D., Girardet K., Peter O., Baranton, G., 1997, Characterization of *Borrelia lusitaniae* sp. Nov. by 16S ribo-

- somal DNA sequence analysis, *International Journal of Systematic Bacteriology* 47: 921-925.
- Leaney A.J., 1977, The effect of temperature on Leishmania in sandflies, *Parasitology* 75, part 2: xxviii-xxix.
- Leemans, R., 1999, Modelling for species and habitats: new opportunities for problem solving, *The Science of the Total Environment* 240: 51-73.
- Leendertse, J. J., 1987, Aspects of SYMSIS2D, A System for Two-Dimensional Flow Computation, RAND Corp., USA.
- Leendertse, J. J. and Gritton, E. C., 1971, A Water Quality Simulation Model for Well Mixed Estuaries and Coastal Seas, Vol. 1, RAND Corp., USA.
- Leonard, B. P., 1979, A stable and accurate convective modeling procedure based on quadratic upstream interpolation, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 19, pp. 59-98.
- Leonard, B. P., 1991, The ultimate conservative difference scheme applied to unsteady one - dimensional advection, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 88, pp. 17-74.
- Libralato, S., 1998, Identificazione di un modello di accrescimento dell'orata (*Sparus aurata*) e suoi possibili utilizzi in acquacoltura, Tese de mestrado, Universidade de Veneza, 157 pp.
- Lindgren E., Talleklint L., Polfeldt T., 2000, Impact of climate change on the northern latitude limit and population density of the disease-transmitting European tick *Ixodes ricinus*, *Environmental Health Perspectives* 108:119-123.
- Linsley R. K., Crawford N. H., 1960, Computation of a Synthetic Stream Flow Record on a Digital Computer, International Association of Scientific Hydrology, Publication 5, Palo Alto, California, USA.
- Lopes da Cunha, P., 1994, Estrutura e dinâmica da ictiofauna do estuário do Sado, Tese de Doutorado, Universidade de Lisboa, 397 pp.
- Lopes da Cunha, P., Antunes, M.M., 1991a, Caracterização pontual da ictiofauna e crustáceos decápodes na zona envolvente na península da Mitrena. Relatório técnico, LNETI (DEII), Lisboa.
- Lopes da Cunha, P., Antunes, M.M., 1991b, Estudo da influência dos impactos antropogénicos na ecologia da ictiofauna e crustáceos decápodes no estuário do Sado, Relatório técnico, LNETI (DEII), Lisboa, 56 pp.
- Loureiro, J. J. M., M. N. d. F. Nunes, et al., 1983, «Monografia hidrográfica do rio Sado», *Recursos Hídricos: Revista da Associação Portuguesa de Recursos Hídricos* 4 (1-3), 37-73.
- Lundström J.O., 1999, Mosquito-borne viruses in Western Europe, *J. Vect. Ecol.* 24: 1-39.
- MacArthur, R. H., and E. O. Wilson, 1967, The Theory of Biogeography, Princeton University Press, Princeton.
- Macdonald, D., and P. Barret, 1993, Mamíferos de Portugal e Europa, FAPAS - Fundo para a Protecção dos Animais Selvagens, Lisboa.
- Magnuson, J.J., Meisner, J.D., Hill, D.K., 1990, Potential changes in the thermal habitat of Great Lakes fish after global climate warming, *Transactions of the American Fisheries Society* 119: 254-264.
- MARETEC, 2001, Projecto: Limites dos Estuários de Portugal - INAG/IST, 1/10/00 a 31/03/01. MARETEC - Marine and Environmental Technology Center, Lisboa, URL: <http://194.65.82.105>.
- Martens P., 1998, Health and Climate Change, Modelling the impacts of global warming and ozone depletion, Earthscan Publications Ltd, London.
- Martins, F., 1999, Modelação matemática tridimensional de escoamentos costeiros e estuarinos usando uma abordagem de coordenada vertical genérica, Tese de doutoramento, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.
- Martins, F., Leitão, P., Silva, A. e Neves, R., 2001, 3D modelling in the Sado estuary using a new generic discretization approach, *Oceanologica Acta*, vol. 24, N.º 1, Elsevier, 1-12.
- Mathias, M. L., 1999, Mamíferos terrestres de Portugal Continental, Açores e Madeira, ICN - Ministério do Ambiente, Lisboa.
- Mawby T.V. and Lovett A.A., 1998, The public health risks of Lyme disease in Breckland, UK: An investigation of environmental and social factors, *Soc. Sci. Med.* 46(6): 719-727.
- McGreehin M.A. and Mirabelli M., 2001, The Potential Impacts of Climate Variability and Change on Temperature-Related Morbidity and Mortality in the United States Environmental Health Perspectives 109 (suppl 2): 185-189.
- McMichael A.J., and Githeko A., 2001, Human Health, in Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Third Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press, UK, pp. 453-485.
- McMichael A.J. and Kovats R.S., 2000, Climate change and climate variability: Adaptations to reduce adverse health impacts, *Environmental Monitoring and Assessment* 61: 49-64.
- Mefillo, J., A. Janetos, D. Schimel, and T. Kittel, 2001, Vegetation and Biogeochemical Scenarios, pages 620, National assessment synthesis team, Climate Impact in the United States: the Potential Consequences of Climate Variability and Change, Report for the US Global Change Research Program, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Menezes, J., 1994, Doenças em peixes cultivados no estuário do Sado e seu controlo, Actas do Seminário sobre Recursos Haliêuticos, Ambiente, Aquacultura e Qualidade do Pescado da Península de Setúbal: 175-186.
- ME, 1916, A Cultura do Arroz, Decretos 1970 e 2223 permitindo e regulamentando a cultura do arroz no continente da República, Lisboa, Ministério do Fomento.
- MODAA, 1998, A agricultura alentejana e o futuro - dez anos para mudar o Alentejo, Movimento em defesa da agricultura alentejana.
- Monteiro, M.T., Oliveira, M.R.L., 1994, Resposta da produção planctónica à utilização de alimento artificial em pisciculturas do estuário do Sado, Actas do Seminário sobre Recursos Haliêuticos, Ambiente, Aquacultura e Qualidade do Pescado da Península de Setúbal, 217-226 pp.
- MOPT, M. d. O. P. y. T., 1989, Guias metodológicas para la elaboración de estudios de impacto ambiental, 2, Grandes presas, pages 199, Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente, Madrid.
- Morais, R., 1992, A pesca com rede de tresmalho («solheiras») no estuário do Sado, Relat. Téc. Cient. Inst. Nac. Invest. Pescas 50: 13 pp.
- Moreira, I., M. G. Saraiva, F. Aguiar, J. C. Costa, M. C. Duarte, A. Fábão, T. Ferreira, I. L. Ramos, M. Lousã, e F. P. Monteiro, 1999, As galerias ribeirinhas na paisagem mediterrânica reconhecimento na bacia hidrográfica do rio Sado, ISA Press, Lisboa.
- Neves, R., e R. Rufino, 1995, Importância ornitológica das Salinas: o caso particular do Estuário do Sado, 36 pp., Instituto de Conservação da Natureza, Lisboa.
- Núncio M.S., de Moraes J.D., Filipe A.R., 1992, Pesquisa de anticorpos anti-Borrelia burgdorferi numa população do distrito de Évora, *Revista Portuguesa de Doenças Infecciosas* 15 (3): 173-176.
- Núncio M.S., Péter O., Alves M.J., Bacellar F., Filipe A.R., 1993, Isolamento e caracterização de borrelias de Ixodes ricinus L. em Portugal, *Revista Portuguesa de Doenças Infecciosas* 16 (3): 175-179.
- O'Connell S., 1995, Fortnightly review: Lyme disease in the United Kingdom, *British Medical Journal* 310: 303-308.

- Oliveira, M.M., Moinante, M.J. e Lobo-Ferreira, J.P., 1994, Estudo da Caracterização dos Aquíferos e dos Consumos de Água na Península de Setúbal.
- Onofre, N., e R. Borralho, 1993, Propostas metodológicas para a avaliação dos impactos sobre a fauna em processos de estudo de impacte ambiental, 17-29 pp., *Revista Florestal*.
- Paixão E.J. e Nogueira P.J., 2002, Estudo da Onda de Calor de Julho de 1991 em Portugal: Efeitos na Mortalidade, Observatório Nacional de Saúde, Lisboa.
- Paralta, 2001, Hidrogeologia e Modelação Estocástica da Contaminação por Nitratos do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja, Tese de Mestrado em Georrecursos, IST/Centro de Geossistemas, Lisboa
- Paralta E., Oliveira M., Lubekznski M. e Ribeiro, L., 2003, Avaliação da recarga do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja segundo critérios múltiplos – disponibilidades hídricas e implicações agro-ambientais, VI Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (SILUSBA), 10 a 13 de Novembro de 2003, Cabo Verde, 16 pp.
- Pascual, E., 1978, Crecimiento y alimentación de tres generaciones de *Sepia officinalis* en cultivo, *Inv. Pesq.* 42 (2): 421-442.
- Pinto, P.A. e Brandão, A.P., 2002, Agriculture, in F.D. Santos, K. Forbes e R. Moita (eds.), Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project, Lisboa, Gradiva.
- Pinto, P. A., Brandão, A. P., Lemos, F., Braga, R., 2003, Operacionalização de uma carta de solos 1:1 000 000, in O solo – factor de qualidade ambiental, Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo, 27 pp., Escola Superior Agrária de Coimbra, Julho 2003.
- Pires C.A., 1985, Os flebotomos de Portugal (Insecta, Diptera, Psychodidae). II – Distribuição, variação anual e altitudinal dos flebotomos do foco zoonótico da Arrábida, Actas do II Congresso Ibérico de Entomologia, Lisboa (supl. 1): 83-94.
- Pires C.A., 2000, Os flebotomos (Diptera, Psychodidae) dos focos zoonóticos de leishmanioses em Portugal, PhD thesis, Universidade Nova de Lisboa, Portugal.
- Prinçhard, D.W., 1960, Lectures on estuarine oceanography, Kinsman, B. (Ed.), J. Hopkins University, 154 pp.
- Probovov, S.N., Tereshchenko, Z.P., 1951, Mullet in the Caspian Sea and its fishing. Pishchpromizdat, Moscow, 36 pp.
- Psuty, N. e Moreira, M., 2000, Holocene sedimentation and sea level rise in the Sado estuary, Portugal, *Journal of Coastal Research*, 16 (1), 125-138.
- Quevedo, P., 1985, Estuário do Sado – Costa da Galé análise geomorfológica e estudo de alguns aspectos sedimentológicos, Direcção-Geral do Ordenamento, 85 pp. + anexos.
- Ramos A., e Farinhe A.A.C., 1952, Contribuição para o conhecimento do Kala-azar em Portugal, Anais do Instituto de Higiene e Medicina Tropical 9: 1485-1500.
- Randolph S.E., Green R.M., Hoodless A.N., Peacey M.F., 2002, An empirical quantitative framework for the seasonal population dynamics of the tick *Ixodes ricinus*, *International Journal for Parasitology* 32: 979-989.
- Ribeiro, A., Antunes, M., Ferreira, M., Rocha, R., Soares, A., Zbyszewsky, J., Almeida, F., Carvalho, D. and Monteiro, J., 1979, Introduction à la Géologie Générale du Portugal, Lisboa, SGP.
- Ribeiro, A.P., Cabreçadas, G., Nogueira, M., 2000, Environmental conditions in seabream fishponds in Sado estuary, Portugal, *Relat. Tr. Cient. Inst. Nac. Invest. Pesca* 55: 13 pp
- Ribeiro, F., Tomé, M., 1999, Equações para estimação do peso seco ao ar do nível da árvore, in Relatórios Técnico-científicos do GIMREF, n.º 2, Lisboa, Instituto Superior de Agronomia.
- Ribeiro H., Batista J.L., Ramos H.C., Pires C.A., Champalimaud J.L., Costa J.M., Araújo, Mansinho K., Pina M.C., 1989, An attempt to infect *Anopheles atroparvus* from Portugal with African *Plasmodium falciparum*, *Revista Portuguesa de Doenças Infecciosas* 12(2): 81-82.
- Ribeiro H., da Cunha Ramos H., Pires C.A., Capela R.A., 1988, An annotated checklist of the mosquitoes of continental Portugal (Diptera Culicidae), Actas do III Congresso Ibérico de Entomologia 233-253.
- Ribeiro H., Pires C.A., Ramos H.C., 1996, Os mosquitos do Parque Natural da Arrábida (Insecta, Diptera, Culicidae), Garcia de Orta, *Sér. Zool.*, Lisboa, 21 (1): 81-110.
- Rioux J.A., Aboulker J.P., Lanotte G., Killick-Kendrick R., Martini-Dumas A., 1985, Ecologie des Leishmanioses dans le Sud de la France, *Ann. Parasitol. Hum. Comp.* 60(3): 221-229.
- Rodrigues, A.M., 1992, Environmental Status of a Multiple Use Estuary, through the analysis of benthic communities: the Sado estuary, Portugal, Dissertação de Doutoramento, Department of Biological and Molecular Sciences, University of Sterling, UK, 364 pp.
- Rooney C., McMichael A.J., Kovats R.S., Coleman M.P., 1998, Excess mortality in England and Wales, and in Greater London, during the 1995 heatwave, *Journal of Epidemiology and Community Health* 52:482-486.
- Rosenzweig, C. and Iglesias, A. (1), 1998, The use of crop models for international climate change impact assessment, in G. Y. Tsuji, G. Hoogenboom, e P. K. Thornton (editors), Understanding Options for Agricultural Production, Systems Approaches for Sustainable Agricultural Development, pp. 157-177, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers (ISBN 0-7923-4833-8).
- Rufino, R., 1989, Atlas das aves que nidificam em Portugal Continental, SNPRCN, Lisboa.
- Rufino, R., 1991, Contagem de Aves Aquáticas Invernantes, 30 pp., Estudos de Biologia e Conservação da Natureza – Serviço Nacional de Parques, Reservas e Conservação da Natureza, Lisboa.
- Russel, N.R., Fish, J.D., Wootton, R.J., 1996, Feeding and growth of juvenile sea bass: the effect of ration and temperature on growth rate and efficiency, *J. Fish Biology* 49: 206-220.
- Santinha, J.M., 1998, Dourada (*Sparus aurata*), in Henriques, M.A.R. (ed.), Manual de Aquacultura, pp. 165-176.
- Santos F. D., Forbes K., Moita R., 2002, Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures, Lisboa
- Schuller, M.J., 1998, Ostra (*Crassostrea* sp. e *Ostrea* sp.), in Henriques, M.A.R. (ed.) Manual de Aquacultura, pp. 59-70.
- Serrano, M.D., 1992, Contribuição para o conhecimento da biologia e da pescaria do choco *Sepia officinalis* (Linnaeus, 1758) no estuário do Sado e zona costeira adjacente, *Relat. Téc. Cient. Inst. Nac. Invest. Pesca* 52: 26 pp.
- Smoyer K.E., 1998, Putting risk in its place: methodological considerations for investigating extreme event heat health risk, *Soc. Sci. Med.* 47: 1809-1824.
- Sonenshine D.E., 1993, Ecology of Non-nidicolous Ticks. Biology of Ticks, ed. Sonenshine D. E. Oxford University Press Inc, New York, Vol 2: 3-65.
- Sousa C. A., Novo M. T., Santos C., Diniz M. C., Parreira R., Pinto L., Almeida A.P.G., Ramos H. C., 2001, Mosquitoes in Comporta, Portugal, Some Bioecological Characteristics, 3rd International Congress of Vector Ecology, 2001, Barcelona, Abstract Book, 39 pp.
- Stefan, H.G., Fang, X., Eaton, J.G., 2001, Simulated fish habitat changes in North American lakes in response to projected climate warming, *Transactions of the American Fisheries Society* 130: 459-477.
- Trêixira, S., 1994, Dinâmica morfossedimentar da Ria de Aveiro, Dissertação de Doutoramento, FCUL, 392 pp.
- Trêixira, S., e Andrade, C., 1997, Quantificação da erosão hídrica em Portugal Continental, Recursos Hídricos, Revista da APRH, Vol. 18(1), pp. 25-14.

- Tesh R.B., Lubroth J., Guzman H., 1992, Simulation of arbovirus overwintering: survival of Toscana virus in its natural sandfly vector *Ph. perniciosus*, *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 47(5): 574-581.
- Thomas, C. D., A. Cameron, G. R. E., M. Bakkenes, L. J. Beaumont, Y. Lollingham, B. F. N. Erasmus, M. F. Siqueira, A. Grainger, L. Hannah, L. Hughe, B. Huntley, A. S. V. Jaarsveld, G. F. Midgley, L. Miles, M. A. Ortega-Huerta, A. T. Peterson, O. L. Phillips, and S. E. Williams, 2004, Extinction risk from climate change, *Nature* 427: 145-148.
- Tilman, D., 1999, The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles, *Ecology* 80: 1456-1474.
- Vale, C. e Sundby, B., 1982, A survey of the elemental composition of bottom sediments in the Sado estuary, Seminário Actual problems of oceanography in Portugal, Novembro de 1980, Lisboa, pp. 189-200.
- Vasconcellos, J.C., 1963, De sapal a arrozal (estudo da vegetação na zona do Sado), Lisboa, Comissão Reguladora do Comércio de Arroz, Ministério da Economia.
- Villalobos, F.J., Mateos, L., Orgaz, F. and Fereres, E., 2002, Fito-tecnia: bases y tecnologías de la producción agrícola, Madrid, Ediciones Mundi-Prensa.
- von Westernhagen, H., 1970, Erbrütung der Eier von Dorsch (*Gadus morhua* L.), Flunder (*Pleuronectes flesus* L.) und Scholle (*Pleuronectes platessa* L.) unter kombinierten Temperatur- und Salzgehaltbedingungen. *Helgol Wiss Meeresunters* 21: 21-102.
- Walker D.H. and Fishbein B.D., 1991, Epidemiology of Rickettsial diseases, *European Journal of Epidemiology* 7: 237-245.
- Watson R.T., Dixon J.A., Hamburg S.P., Janetos A.C., Moss R.H., 1998, Protecting Our Planet, Securing Our Future, United Nations, NASA, and World Bank, Nairobi Kenya and Washington, DC, USA.
- Wollast, R., Michel, D., Debouge, N. and Lefevre, J., 1978, Rio Sado, Campagne de Mesures – Juillet 1978 – Rapport technique, Secretaria de Estado do Ambiente, Serviço de Estudos do Ambiente, Estudo realizado por Laboratoire d'Océanographie de l'Université Libre de Bruxelles.
- Zbyszewski, G., 1939, Essai sur l'hydrologie du bassin du Sado (Portugal), Bulletin du Laboratoire de Géographie Physique de la Faculté des Sciences de l' Université de Paris, XII(3): 405-427.

Cenários Socioeconómicos

Ricardo Aguiar

Departamento de Energias Renováveis

do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

ÍNDICE

SUMÁRIO EXECUTIVO	483
EXECUTIVE SUMMARY	484
11. CENÁRIOS SOCIOECONÔMICOS	485
11.1 NECESSIDADE E CONCEITO DE CENÁRIOS FUTUROS	485
11.2 A CENARIZAÇÃO SRES DO IPCC	486
11.3 OS CENÁRIOS SRES A NÍVEL GLOBAL	487
11.3.1 O Cenário A1	488
11.3.2 O Cenário B1	488
11.3.3 O Cenário A2	489
11.3.4 O Cenário B2	489
11.4 OS CENÁRIOS SRES A NÍVEL EUROPEU E NACIONAL	490
11.5 REFERÊNCIAS	492

SUMÁRIO EXECUTIVO

Este capítulo refere as principais características dos cenários socioeconómicos SRES usados na segunda fase do Projecto SIAM, designado por SIAM II. Estes cenários são transversais a todas as vertentes dos estudos efectuados, desde os cenários climáticos futuros às estimativas de impacto e medidas de adaptação. É conveniente ter pelo menos uma compreensão geral das suas características para poder interpretar os resultados obtidos e as incertezas associadas. Este trabalho foi realizado em colaboração com o Projecto MISP (Mitigation Strategies In Portugal).

EXECUTIVE SUMMARY

This Chapter describes in general terms the main characteristics of the socio-economic scenarios SRES, as adapted for Portugal and for the use in the second phase of Project SIAM - SIAM II. These scenarios are transversal to all the studies performed, from future climatic scenarios to sector studies. Therefore, a general overview is required so that the SIAM II results can be correctly interpreted, and various sources of uncertainty understood. The scenarios were developed partially in the context and in collaboration with the Project MISP (Mitigation Strategies In Portugal).

11. Cenários Socioeconómicos

Ricardo Aguiar

11.1 NECESSIDADE E CONCEITO DE CENÁRIOS FUTUROS

Como se sabe, há actualmente um consenso bastante generalizado de que a interferência humana no ciclo do carbono a um ritmo muito elevado, sem paralelo na anterior história do Planeta, se poderá traduzir em alterações climáticas significativas e gravosas. Estima-se que as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) decorrentes das actividades humanas estão a deslocar o equilíbrio Oceano-Atmosfera-Biosfera-Litossfera, promovendo a acumulação de GEE na atmosfera e por consequência a provocar o aquecimento global, a níveis que se tornam significativos numa escala de tempo entre as dezenas e algumas centenas de anos (ver Capítulo 1).

Portanto para poder projectar as futuras alterações climáticas desde logo é necessário estimar as emissões futuras de GEE, digamos nos próximos 100 anos. Naturalmente que neste horizonte tão afastado é necessário ter em conta a evolução da sociedade e da tecnologia. Mas esta evolução também tem que ser considerada para avaliar os impactos das próprias alterações climáticas: efectivamente, os efeitos das alterações no clima de certa região, várias décadas no futuro, têm de ser perspectivados não em relação às condições actuais mas às condições nessa época. Isto aplica-se nomeadamente ao nível e distribuição geográfica da população, ocupação do território, atitudes face ao entorno natural, consumo energético, actividades económicas, capacidade de desenvolvimento e implementação de melhores tecnologias, entre outros aspectos.

Contudo, a experiência ensina que é impossível prever com detalhe o rumo das sociedades e das tecnologias. Na verdade, as *projeções* destes diversos aspectos costumam tornar-se inválidas ao fim de poucos anos, por mais complexa que seja a metodologia usada e a qualidade dos dados históricos utilizados. Poderá ser que o progresso da nossa compreensão das complexidades do mundo humano e natural venha a alterar esta situação; entretanto, é essencial admitir um conjunto de circunstâncias específicas, que permitam a reproduzibilidade, a comparação e a crítica dos resultados dos estudos efectuados. É assim que se chega ao uso de *cenários* do futuro. Os cenários não são previsões ou projecções, mas antes extrapolam tendências do entorno demográfico, social, económico e tecnológico, constituindo descrições internamente coerentes de possíveis «futuros».

Frequentemente na literatura sobre estes assuntos faz-se a comparação entre cenários *business-as usual* (continuação no essencial do *status quo* actual, mas já incluindo as tendências presentes) e cenários alternativos em que se modificam algumas componentes muito concretas do entorno – em geral a aplicação de medidas concretas, consistindo em aperfeiçoamentos da regulamentação, introdução de certos incentivos financeiros, desenvolvimento tecnológico já perspectivados, implementação de boas práticas, etc. Esta abordagem é útil a curto prazo – tipicamente, até 10 a 15 anos – mas não pode ser seguida no médio e longo prazo, em que todas as componentes concretas do entorno mudam. Assim, a construção de cenários para períodos da ordem de 50 a 100 anos, segue uma abordagem diferente. A ideia essencial é a identificação de um pequeno número de parâmetros-chave, ou variáveis mestras, com os quais todos os outros aspectos do entorno estão relacionados. As tendências destas variáveis formam os eixos de referência do espaço de possibilidades de evolução do mundo. Em qualquer momento a sociedade humana está a evoluir traçando uma trajectória nesse espaço de tendências. Os cenários correspondem então a regiões deste espaço.

Um exemplo concreto é o dos cenários criados pelo Projecto «Energy Technology Futures 2050» (NRCan, 2001). Neste exercício, designado ETF 2050, os eixos do espaço de possibilidades consistem na importância menor ou maior da protecção do entorno natural, dos mercados e da inovação tecnológica (ver Figura 11.1). Neste caso particular, a população é uma variável exógena com comportamento fixo, mas todas as outras variáveis socioeconómicas e tecnológicas dependem das três já indicadas. Os cenários possíveis são definidos nas regiões cerca dos vértices do cubo esquematizado na Figura 11.1.

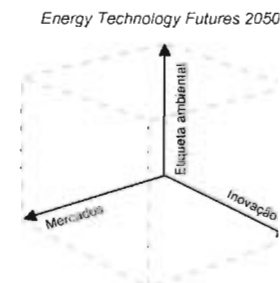


Figura 11.1 Exemplo de cenarização a longo prazo: cenários ETF 2050 do NRCan

11.2 A CENARIZAÇÃO SRES DO IPCC

O Projecto SIAM II obteve acesso aos dados dos modelos climáticos HadCM3, HadRM2 e HadRM3 do Hadley Centre (ver Capítulo 2), com resultados para os montantes de emissões correspondentes a vários cenários SRES (sigla do relatório *Special Report on Emissions Scenarios*) desenvolvidos no âmbito do IPCC (IPCC, 2002). Naturalmente, por uma questão de coerência, estes mesmos cenários foram também adoptados para os estudos de impacto e adaptação do SIAM II.

A cenarização SRES é muito complexa e abrangente: em primeiro lugar porque os cenários são traçados para a escala planetária; em segundo lugar porque a dimensão do espaço de possibilidades é bastante elevada; e em terceiro porque todas as variáveis são endógenas – como é o caso das variáveis demográficas, ao invés do que, por exemplo, se passa no cenário ETS 2050, antes referido. Uma descrição completa da cenarização SRES pode ser encontrada no Relatório ao IPCC mencionado anteriormente (IPCC, 2002).

Simplificando muito, é possível esquematizar a cenarização SRES usando apenas duas variáveis mestras, que podemos qualificar de «tipo de governação» (regional vs. global), e «prevalência de valores» (economia vs. ambiente) (ver Figura 11.2). São definidos assim quatro cenários, A1, A2, B1, B2. De facto, devido aos eixos «ocultos» na Figura 11.2 seria mais correcto dizer que se trata de famílias de cenários (e na realidade foram tratados 40 cenários gerados com 6 modelos diferentes). Assim, por exemplo, o cenário A1 tem variantes conforme o tipo de abastecimento energético que predomina a nível mundial (origem fóssil, renovável ou mista), sendo de realçar que o SIAM II usou o subcenário A1FI, caracterizado pelo qualificativo *fossil intensive* (F1).

As tendências contraditórias que orientam cada eixo encontram-se hoje em dia todas presentes. Assim, não é possível dizer que caminhamos decididamente no sentido de um dos cenários, ou que estamos presentemente mais alinhados com um deles.

Tomemos o caso do eixo «tipo de governação»: a coordenação «global» é característica dos cenários A1 e B1, mas poderia ser obtida através de regulação directa por meio de entidades governamentais como a Organização das Nações Unidas (ONU) ou a Organização do Comércio Livre (metodologia mais característica do cenário A1) ou por acordos internacionais voluntaristas do tipo Protocolo de Quioto, Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar ou Convenção sobre Diversidade Biológica (tipicamente mais no espírito do cenário B1) ou ainda por outras formas de

auto-regulação da dinâmica de globalização que nos é difícil imaginar ou prever.

Cenarização IPCC *Special Report on Emission Scenarios*

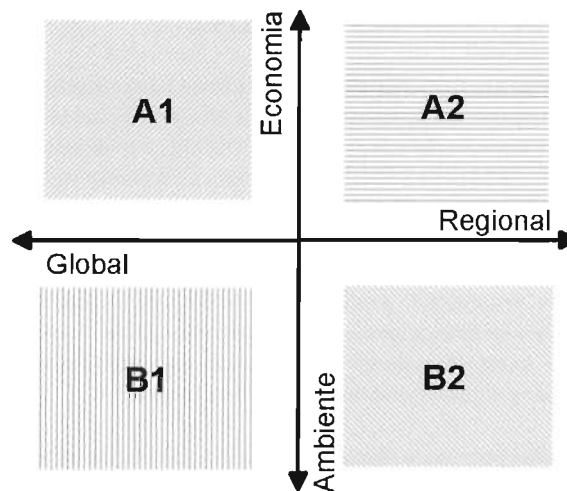


Figura 11.2 – Cenarização a longo prazo do IPCC: cenários SRES, dominados pelo tipo de governação (eixo horizontal) e valores predominantes (eixo vertical)

Quanto ao eixo de «valores» é mais intuitivo e seria até redundante apontar exemplos de tendências «ambientais» vs. «económicas» na nossa sociedade actual. Dito isto, é preciso não encarar os cenários B1 e B2 como «verdes» e os cenários A1 e A2 como «cinzentos», em particular a nível regional – aliás a nomenclatura (A1, A2, B1, B2) é propositadamente fria para não nos induzir a fazer esta identificação simplista. Para sermos concretos, tomemos o caso da protecção de uma determinada área protegida num país da Europa. Nos cenários B1 e B2 os cidadãos têm em grande apreço o valor da zona em termos de reserva ecológica e tentam não interferir com ela (inclusive via regulamentação específica para zonas protegidas). Mas nos cenários A1 e A2 a mesma zona pode também ser protegida dado o seu valor económico em termos de prestação de serviços, por exemplo para usufruto da paisagem ou para actividades de lazer. Por outro lado, no cenário A1 a pressão demográfica diminui e é elevada a eficiência do uso de energia, do tratamento de resíduos, entre outros, enquanto no cenário B2 a pressão demográfica aumenta e é menor a eficiência das tecnologias energéticas e menores também os recursos que é possível atribuir à preservação da zona. Assim, num caso muito concreto, o cenário A1 poderia até resultar mais «verde» do que o cenário B2, embora este esteja supostamente mais atento aos valores naturais e ambientais e à sua protecção.

Deste exemplo intui-se já que os cenários SRES têm características gerais a nível global, mundial, mas que a nível regional a situação pode ser bastante diferente. Por outro lado certos «blocos regionais» têm evoluções não muito diversas sob os vários cenários, tendo para nós particular interesse o caso paradigmático da Europa. Assim, por exemplo no caso da África subsariana, o futuro em cenários de maior equidade A1 e B1 é traçado com elevado desenvolvimento económico e crescimento da população moderado, enquanto nos cenários A2 e B2 o crescimento da população é grande e o desenvolvimento económico mais lento. Mas no caso da Europa a estrutura demográfica já hoje existente implica apenas modestos acréscimos ou decréscimos de população, e a acumulação de capital e tipo de economia já existentes asseguram sempre um elevado desenvolvimento económico no futuro em termos de rendimento *per capita*, apenas sucedendo que tem tonalidades diferentes conforme cada cenário.

Antes de descrever detalhadamente cada cenário, há alguns outros aspectos gerais importantes para a sua compreensão e utilização correcta, que iremos abordar de seguida.

Os cenários SRES não são «catastrofistas»: não há desequilíbrios graves que afectem a sociedade ou a economia globais de forma a torná-las irreconhecíveis face ao padrão actual. Aliás todos os cenários assumem «progresso», em termos dos critérios do Índice de Desenvolvimento Humano da ONU: simplesmente esse progresso é mais acentuado em alguns cenários do que noutros e surge a ritmos diferentes a nível regional.

Não constituindo previsões ou projecções, os cenários SRES não são – não podem ser – explícitos em relação a assuntos como regulamentos, tecnologias, ou comportamentos sociais específicos no futuro. Por exemplo, os cenários podem incluir maior eficiência na distribuição de energia, mas não podem dizer se isso será obtido por via da utilização do vector hidrogénio, de cabos supercondutores à temperatura ambiente, de feixes de microondas, ou por alguma outra tecnologia actualmente ainda desconhecida ou que nos pareça muito improvável de momento.

É importante salientar também que os cenários SRES não incluem medidas especificamente dirigidas à adaptação ou mitigação das alterações climáticas. Assim, a adopção dos cenários SRES, tem do ponto de vista do Projecto SIAM, a excelente característica de não contribuir para enviesar os estudos de impacto e adaptação. Note-se, no entanto, que há características dos cenários que coincidem com medidas de adaptação e/ou mitigação. Por exemplo, os impactos da subida de temperatura estival no aumento do consumo de energia para arrefecimento de edifícios podem ser contrariados por uma maior eficiência energética – o que de qualquer

forma já é suposto acontecer em todos os cenários, mas em particular nos cenários A1 e B1. Outro exemplo: o aumento da florestação é uma medida de mitigação das alterações climáticas mas é também uma característica intrínseca dos cenários B1 e B2.

Finalmente, uma vez que os cenários têm poucas informações quantitativas, são dirigidos na sua intenção inicial para a estimativa de emissões de GEE, e consistem, em grande parte, na descrição de tendências e atitudes, como é possível usá-los na prática para estudos de impacto e de medidas de adaptação? Um exemplo permite clarificar este ponto: suponhamos o caso de certa cultura, por exemplo o milho ou o arroz, num país da actual zona temperada. Admita-se que o clima futuro, caracterizado por uma elevação da temperatura média e pela redução dos recursos hídricos disponíveis para rega, dificulta esta cultura. O tipo de impacto resultante em cada cenário seria diferente. A utilização de novas variedades é em qualquer caso uma opção de adaptação. Nos cenários A1 e B1 existem recursos económicos e elevada tecnologia para desenvolvimento destas variedades mais resistentes e ainda recursos e tecnologia partilháveis a nível mundial. Assim esta adaptação seria provavelmente viável no caso de B1, em que o impacto do clima é menos sério, do que em A1. Mas em A1 a importação seria uma alternativa economicamente atractiva ao cultivo, de modo que tal cultura tenderia a desaparecer. Já em A2 e B2 temos um impacto climático que é intermédio entre A1 e B1. Por outro lado, nestes cenários A2 e B2 é privilegiada a auto-suficiência e são mais escassos e menos partilhados a nível global os recursos para desenvolvimento de novas variedades. Admitamos então que a adaptação usando novas variedades tem um sucesso moderado. Nesse caso tal cultura permaneceria em A2, mas apenas nas regiões onde fosse competitivo com culturas alternativas (pendor económico); e também em B2, mas apenas nas regiões onde não aumentasse o *stress* sobre as disponibilidades e reservas hídricas superficiais e subterrâneas (pendor ambiental). Assim o mesmo tipo de impacto climático sobre uma actividade específica, a cultura do arroz, teria quatro respostas qualitativamente bem diferentes, conforme o cenário admitido.

11.3 OS CENÁRIOS SRES A NÍVEL GLOBAL

O esquema apresentado na Figura 11.3 mostra, sob a forma de tendências, as principais características dos cenários SRES a nível global. Em todos os casos é grande o aumento de emissões de GEE nos próximos 100 anos e portanto em todos os casos as alterações climáticas são significativas. Mas o cenário A1FI é o que tem os maiores níveis de emissões e impactos sobre o ambiente, enquanto que o cenário B1 é o mais moderado. Note-se que a população mundial continua

a aumentar em todos os cenários; mas em A1 e B1 só cresce até cerca de 2050, diminuindo a seguir, ao contrário do que se passa em B2 e especialmente em A2, em que só estaciona para lá do horizonte da cenarização, ou seja, depois de 2100. Por razões diversas, embora num contexto comum de aumento da população global, a importância da agricultura cresce em todos os cenários. A nível regional estas características dos cenários podem ser mais diferenciadas ou mesmo muito diferentes.

11.3.1 O Cenário A1

No SIAM I, o cenário A1 designou-se por «Economia Global», mas poderíamos igualmente chamá-lo «Conforto e Eficiência Sem Fronteiras».

Trata-se de um futuro com elevada equidade, nomeadamente económica e com tendência para a aproximação entre os rendimentos *per capita* nos actuais países «ricos» e «pobres». O comércio global é intenso, assegurando uma boa afectação de recursos e redistribuição da riqueza global. O crescimento económico mundial continua a manifestar-se no seguimento da tendência média verificada desde 1850, ou seja, cerca de 3 % por ano. O rendimento pessoal é elevado, tal como a esperança de vida. No entanto as atitudes face ao conforto pessoal, nomeadamente na vertente económica e financeira, conduzem à proliferação de famílias bastante mais pequenas do que actualmente, nomeadamente na África, Ásia e América do Sul. A população mundial chega então a um máximo de 9000 milhões em 2050, mas decresce depois para 7000 milhões em 2100.

Os recursos energéticos e minerais continuam abundantes devido ao rápido progresso tecnológico dado que este reduz as necessidades de recursos naturais e aumenta as reservas economicamente recuperáveis. O elevado progresso tecnológico assegura também uma contínua redução da intensidade energética do PIB, da ordem de -1,3 % por ano.

Na primeira fase deste futuro, ou seja, até cerca de 2050, há mais consumo de produtos animais (carne, peixe, leite, entre outros) mas este consumo decresce mais tarde devido a uma melhor educação e preocupação com a qualidade de vida e a longevidade.

A posse de bens é elevada: existem mais carros e casas por família e a urbanização é extensa. Estes factores e ainda a busca de conforto levam a um elevado consumo de bens e serviços e ao aumento da mobilidade individual. O preço da terra é alto e cresce mais rapidamente do que o rendimento. São necessárias densas redes de transportes nacionais e internacionais. Estas são também condições propícias para uma intensificação, numa fase inicial, da agricultura e pecuária.

O ambiente é visto de uma forma utilitária, de acordo com a sua influência na economia. A visão actual de «conservação» transformará-se-á na «gestão» e *marketing* de serviços relacionados com o usufruto das zonas naturais protegidas.

Sabemos que a história é contingente – pequenas divergências nas fases iniciais podem conduzir, de forma irreversível, a caminhos bastante diferentes – e o cenário A1 é particularmente sensível neste aspecto. Em particular, do ponto de vista do abastecimento energético, há vias com impactos no ambiente claramente distintos, conforme o tipo de fontes primárias de energia prevalecente. Dos três subcenários estudados pelo IPCC – A1 FI (*Fossil intensive*), A1 B (*Balance fossil energy / others*) e A1 T (*Technologies post-fossil*), o SIAM II usou a versão A1 FI para assegurar a compatibilidade com os dados dos cenários climáticos disponíveis.

11.3.2 O Cenário B1

No quadrante oposto ao de A1, na Figura 11.2, está o cenário B1, designado no SIAM I por «Sustentabilidade Global», a que deveríamos também acrescentar o qualificativo de «Equitativa».

	População	Economia	Ambiente	Equidade	Tecnologia	Globalização	Emissões
A1-FI							
A2							
B1							
B2							

Figura 11.3 – Linhas de força dos cenários SRES a nível global; no cenário A1 apresenta-se a variante *Fossil Intensive* (FI)

É um cenário com elevadas preocupações sociais e ambientais, com equidade e educação elevadas, tanto a nível pessoal como dos povos e nações. Trata-se, em suma, de uma implementação bem sucedida a nível global do conceito de desenvolvimento sustentável.

Há neste cenário um rápido desenvolvimento e difusão de tecnologias com ênfase na eficiência do uso de recursos energéticos e materiais e na reciclagem. Resultam daí as emissões mais baixas do conjunto dos cenários SRES. O crescimento económico global é apenas um pouco menor do que em A1, mas existe maior ênfase na qualidade de vida a nível não económico.

O padrão de evolução da população é o mesmo do que em A1, embora por razões nem sempre coincidentes – por exemplo a preocupação com a possível desagregação e colapso dos sistemas naturais causada pela acção humana.

O rendimento *per capita* é elevado – apenas um pouco menor do que em A1 – devido à alta produtividade e eficiência. A economia tem um enfoque maior em serviços do que em bens e em qualidade em lugar de quantidade.

De qualquer forma estes efeitos resultam, tal como em A1, de uma acentuada redução da intensidade energética, neste caso acompanhada por uma transição suave das fontes primárias de energia fóssil para as energias renováveis, transitoriamente com um aumento do consumo de gás natural. A poluição é muito controlada e regulamentada, e a produção total de resíduos e as emissões de GEE e de outros poluentes baixam continuamente.

Há uma elevada preocupação com a preservação dos solos, com reflexos no aparecimento de cidades compactas e na redução das necessidades de mobilidade urbana e suburbana. A agricultura procura ser sustentável e de baixo impacto. As áreas naturais protegidas são numerosas e extensas. Todas estas condições se reflectem num elevado preço dos produtos agrícolas e em especial dos produtos animais, cujo consumo *per capita* passa a ser menor.

11.3.3 O Cenário A2

Ao cenário A2 chamou-se no SIAM I «Proteccionismo», correspondendo a uma das suas características predominantes e, numa expressão mais longa mas mais explícita, poderíamos qualificá-lo como «Auto-Suficiência Regional».

É mais fácil esquematizar os cenários A2 e B2 por contraste com o par A1 e B1. Assim, em relação a A1 ou B1, o cenário A2 é um futuro com menos equidade, mais tensões interna-

cionais, menos cooperação internacional, menos mobilidade de pessoas, ideias e capitais – logo menos crescimento económico, e com a tecnologia a desenvolver-se e a generalizar-se mais devagar.

Existe uma maior ênfase na vida familiar e as famílias tendem a ser mais numerosas do que em A1 e B1. A população mundial cresce continuamente até atingir 15 000 milhões em 2100.

Todos estes factores se conjugam para conduzir a um menor rendimento pessoal e nacional. Aliás o desenvolvimento de tecnologia é moderado pela escassez de recursos, pelo relativo isolamento dos blocos regionais, e é além disso condicionado pelas condições locais, especialmente no que respeita a recursos energéticos e minerais, cultura e educação.

Onde os recursos naturais são elevados, o seu uso é intenso e predominam as fontes fósseis de energia. Onde os recursos naturais são mais escassos, tem alta prioridade a auto-suficiência: a minimização de importações, a redução da intensidade energética, a «desmaterialização» dos bens, a optimização do uso dos recursos locais, a utilização de energias renováveis onde haja espaço e clima propício e a utilização da energia nuclear nas zonas mais populosas. Globalmente a intensidade energética e as emissões de GEE são mais elevadas do que nos cenários B1 e B2.

A elevada população conduz a uma forte procura de alimentos e portanto a que actividades de agricultura, pecuária e pescas, sejam muito valorizadas e alvo de investigação científica e desenvolvimento tecnológico intensos. As zonas naturais são geridas de forma semelhante à do cenário A1, ou seja, na base do seu valor económico para a prestação de bens e serviços.

Em conclusão, o cenário A2 é semelhante a B1 mas tem maior ênfase em iniciativas locais e é menos bem sucedido na cooperação internacional, no aumento global de equidade, no desenvolvimento económico e tecnológico, e na redução da intensidade energética e das emissões de GEE. Contudo neste último aspecto é melhor, a nível global, do que A1.

11.3.4 O Cenário B2

Finalmente, no quadrante oposto ao de A2, na Figura 11.2, está o cenário B2, designado no SIAM I por «Sustentabilidade Rural», e que poderíamos também designar por «De Volta à Natureza e à Comunidade».

Tal como em B2 a população mundial cresce continuamente, mas com um máximo de apenas 10 000 milhões

em 2100. Contudo regionalmente o padrão de evolução é muito variável.

Aliás, em vários aspectos, representa um mundo mais heterogéneo do que em A1 ou B1. Regiões de rápido desenvolvimento económico mas com poucos recursos (por exemplo a Europa e o Japão) podem desenvolver cooperação a nível regional, especialmente na tecnologia, com o objectivo de reduzir o uso de recursos naturais e a intensidade energética do PIB (-1 % por ano a nível global).

Há neste cenário uma ênfase na auto-suficiência regional e mesmo local, em particular no uso de recursos e produtos locais. Consequentemente a agricultura é altamente atractiva. Mais ainda do que noutros cenários, a redução do consumo de produtos animais *per capita* é grande, em especial nas regiões de alta densidade populacional.

A preocupação com a sustentabilidade do uso dos solos é elevada, nomeadamente na preservação de zonas naturais. Isto requer uma investigação científica e desenvolvimento tecnológico elevados em transportes e no abastecimento de energia das zonas urbanas. As atitudes voluntaristas são muito relevantes neste cenário e a combinação das várias tendências e factores referidos traduz-se na redução das necessidades de mobilidade urbana e suburbana, no menor uso do automóvel e na diminuição da extensão dos subúrbios.

É preferido o uso de tecnologias de baixo impacto ambiental e de recursos energéticos renováveis onde quer que existam, mas globalmente a energia fóssil perde domínio devagar. De facto, os recursos para investigação e desenvolvimento e a disseminação de tecnologias são menores do que em A1 ou B1. Esta característica, em conjunção com uma população mais elevada, resulta a nível global numa eficiência energética menor e num maior uso de recursos do que em A1 ou B1. As emissões de GEE globais são mais elevadas do que em B1, embora menores do que nos outros dois cenários.

11.4 OS CENÁRIOS SRES A NÍVEL EUROPEU E NACIONAL

Na aplicação aos estudos do SLAM II interessa em particular perspectivar os cenários SRES para o bloco regional Europa. Foi já mencionado que a este nível as diferenças entre cenários são menos significativas do que a nível global ou noutros blocos regionais. Tendo presente a súmula da secção anterior sobre os quatro cenários, é preferível começar por apontar as semelhanças entre cenários e só depois discutir as diferenças.

A estabilização da população e da urbanização dá-se mais cedo do que a nível global, cerca de 2030 a 2040, e com

redução posterior nos casos A1 e B1. Os pequenos núcleos urbanos praticamente desaparecem, em favor das cidades médias e grandes. Existe uma elevada eficiência no uso de energia e outros recursos. A tendência é forte no sentido da descarbonização da economia e da utilização de energias renováveis. A protecção do ambiente é um tema central. A economia baseia-se fortemente em serviços – lazer, comunicações e gestão do ambiente. Há menos indústria pesada do que actualmente e todos os bens são sujeitos a grandes esforços de desmaterialização e reciclagem. É elevada a valorização dos produtos agrícolas e animais. Existem, é certo, diferentes motivações para o progresso em cada cenário nas várias vertentes – protecção ambiental, eficiência energética, etc. – mas o resultado final é relativamente insensível à origem destas motivações. Trata-se então mais de diferenças na ênfase das motivações sociais e políticas do que nos resultados finais.

As diferenças entre cenários estão essencialmente relacionadas com o valor absoluto da população e o alcance do progresso nos vários sectores. De acordo com o pendor de cada um dos cenários descritos na secção anterior, são maiores ou menores as trocas comerciais, a abertura de mercados e a cooperação internacional, a mobilidade de pessoas e transporte de mercadorias, a origem do principal abastecimento energético, a importância da agricultura, pecuária e pesca locais face a importações e à eficiência das melhores tecnologias disponíveis.

Em particular, no caso de Portugal poderemos apontar as seguintes tendências e diferenças entre os vários cenários:

Demografia – manutenção a longo prazo da população face ao valor actual em A1 e B1, ou seja, cerca de 9 700 000 habitantes; aumento em A2 para cerca de 10 700 000 habitantes e redução em B2 para cerca de 8 900 000 habitantes. Em todos os cenários há uma forte redução nas zonas não urbanas; tendo em conta a variação das dimensões das famílias, o número de habitações regularmente ocupadas aumenta para números da ordem de 5 100 000 em A1 e B1, 4 900 000 em A2 e 4 500 000 em B2.

Ocupação do território – desaparecimento dos montes e aldeias isoladas e concentração em vilas e cidades; no entanto há um aumento de segundas habitações para lazer e turismo rural e ambiental; aumento da pressão sobre a zona litoral resultante em parte do desenvolvimento do turismo. Note-se que estes resultados não incluem os impactos das alterações climáticas sobre a localização específica das zonas preferidas para habitação e lazer.

Zonas Naturais – em A1 e A2, as zonas de interesse ambiental e paisagístico são «ajardinadas» para serviços relaciona-

dos com lazer e turismo; em A2 deverá haver no entanto uma redução das áreas destas zonas; em B1 e B2 pelo contrário há um aumento das áreas protegidas e reservas naturais, com limitação da pressão turística, inclusive por meio de regulamentação adequada.

Indústria e Serviços – conforme foi já referido, em todos os cenários continua a deslocação da economia da produção de bens para o fornecimento de serviços, em especial nos cenários A1 e B1; cresce a importância do lazer e do turismo.

Transportes – no cenário A1 há um grande aumento da mobilidade urbana e de longa distância e também do transporte de mercadorias, embora com alta eficiência e redução do peso específico das mercadorias; em B1 e A2 as necessidades de mobilidade e transporte urbano são comparativamente menores e atingem um mínimo em B2.

Energia – dada a inexistência de recursos naturais fósseis em Portugal, a oferta de energia endógena deve deslocar-se para as fontes primárias renováveis, e eventualmente também para a fonte primária nuclear no caso de A1; a parcela de auto-suficiência deverá então crescer em todos os cenários, mas menos no caso de A2; quanto à procura de energia, cresce *per capita* em todos os cenários, mas mais em A1 e A2; estas tendências, em conjunção com as diferenças em eficiência energética já assinaladas, resultam num crescimento total da procura, alto em A2, moderado em A1 e B2, mas apenas ligeiro em B1.

Agricultura – a procura de produtos agrícolas continua elevada em todos os cenários; no cenário A1 há maior tendência para cultivar espécies caracteristicamente nacionais (por exemplo, vinha, olival, sobreiro), com produtividade melhorada por engenharia genética, e para desenvolver uma agricultura, geralmente de alto impacto, mas com redução da adubação e dos pesticidas químicos em relação à actualidade; no cenário A2 a agricultura é especialmente importante, produz-se uma grande variedade de espécies, com produtividade melhorada por engenharia genética, e com extensão do regadio; no cenário B1 a agricultura é importante mas com características de baixo impacto, privilegiando, tal como em A1, as espécies com características locais, mas com uso apenas dos solos com boa aptidão agrícola, com prevalência de adubação natural e protecção integrada, com o melhoramento de espécies por selecção e com a introdução de culturas energéticas (para produção de fontes de energia), em regadio; finalmente o cenário B2 é semelhante ao cenário

B1 mas com maior ênfase na auto-suficiência, com um leque de espécies mais vasto e sendo a agricultura frequentemente uma segunda actividade da população urbana.

Pecuária – A procura de produtos animais é elevada apenas no cenário A2, com a produtividade aumentada por via de investigação e desenvolvimento; nos restantes cenários a procura de produtos animais é reduzida no longo prazo; no cenário A1 a pecuária faz-se apenas em relação às espécies de elevada produtividade na nossa região e com pendor essencialmente industrial; finalmente, em B1 e B2 procura-se fazer uma pecuária de baixo impacto e com espécies o mais possível compatíveis com a ecologia de cada região.

Pescas – Um traço comum a todos os cenários é o aumento da importância da aquacultura relativamente à pesca no mar; em A2 a procura é elevada e as capturas são feitas no limiar de sustentabilidade local, com redução apenas no caso das espécies localmente ameaçadas; em A1 a situação é semelhante, mas a procura é reduzida no longo prazo; a procura também se reduz nos cenários B1 e B2, sendo que, nestes casos, as capturas são feitas bem abaixo do limiar de sustentabilidade; a diferença entre os dois cenários resulta de que em B1 a gestão dos *stocks* e biodiversidade é mais do tipo global que local, e mais coordenada com a dos países vizinhos do que em B2.

Florestas – os cenários A1 e A2 projectam a manutenção da procura de papel e madeira, e indicam uma maior tendência para povoamentos de espécies de maior produtividade e mais adaptadas ao solo e clima de cada região, aliás melhoradas e protegidas por engenharia genética; muitas zonas passam a ser utilizadas para lazer e não para fins industriais; o controlo de incêndios é elevado, embora com menor eficácia em A2 do que em A1; em contrapartida, em B1 e B2 reduz-se a procura de papel e madeira, há renaturalização de algumas zonas (com introdução de outras folhosas e resinosas), significativa redução das zonas de floresta industrial e um apertado controlo de incêndios.

De novo se menciona e agradece a colaboração do Projecto MISP (Aguilar, 2003), no qual se elaboraram modelos de longo prazo destes e de outros aspectos sectoriais dos cenários SRES adaptados à realidade nacional e cujos resultados quantitativos foram, em alguns sectores, utilizados no SIAM II em estudos de impactos e adaptação às alterações climáticas.

11.5 REFERÊNCIAS

- Aguilar, R., 2003, Sector Energético, in Relatório do Projecto «Mitigation Strategies for Portugal» (MISP) F. D. Santos (ed.), Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- IPCC, 2002, Special Report on Emissions Scenarios. Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC). Eds. Nebojsa Nakicenovic e Rob Swart, Holanda. URL <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm>.
- NRCan, 2001, Energy Technology Futures 2050. National Resources Canada, Canada. URL http://www2.nrcan.gc.ca/es/etf/etf2050/index_e.asp.

12

Disseminação e Interacção com a Sociedade – *Outreach*

Autores

Keith Forbes (Coordenador)
SIAM

Contribuições

Ricardo Moita
SIAM
Ecoprogresso

Ângela Antunes
SIAM

Gonçalo Cavalheiro
Ecoprogresso
Euronatura

ÍNDICE

SUMÁRIO EXECUTIVO	495
EXECUTIVE SUMMARY	496
12. DISSEMINAÇÃO E INTERACÇÃO COM A SOCIEDADE – <i>OUTREACH</i>	497
12.1 INTRODUÇÃO E DEFINIÇÃO DO TERMO «AGENTE».....	497
12.2 ABORDAGENS ADOPTADAS POR OUTRAS AVALIAÇÕES NO ÂMBITO DO <i>OUTREACH</i> A AGENTES	497
12.3 METODOLOGIA	498
12.3.1 Questões de Representatividade	498
12.3.2 Objectivos das Sessões de <i>Outreach</i>	499
12.4 PONTOS ALTOS DAS SESSÕES	500
12.5 CARACTERIZAÇÃO ESTATÍSTICA DAS SESSÕES	502
12.6 CONCLUSÕES	502
12.7 REFERÊNCIAS	506

SUMÁRIO EXECUTIVO

Um dos objectivos da segunda fase do Projecto SIAM foi iniciar um processo de divulgação, diálogo e consulta sobre os impactos e as medidas de adaptação às alterações climáticas com os agentes envolvidos na problemática das alterações climáticas. No presente capítulo faz-se uma breve sùmula dos resultados obtidos em sete sessões sectoriais de *outreach* realizadas em diversas localidades de Portugal Continental. Houve uma significativa participação dos agentes nas sessões tendo-se concluído que a sua intervenção é muito importante na identificação, selecção e implementação eficaz de medidas de adaptação às alterações climáticas.

EXECUTIVE SUMMARY

One of the objectives of the second phase of the SIAM Project was to initiate a process of outreach and consultation on the impacts and adaptation measures to climate change with the agents affected by it. The present Chapter summarizes the main conclusions obtained in seven outreach sessions that were organized in various towns of Continental Portugal. The stakeholders participated actively and in significant numbers in the sessions. It was concluded that their contributions are very important to identify, select and implement adaptation measures to climate change in a cost-effective way.

12. Disseminação e Interacção com a Sociedade – *Outreach*

Autores: Keith Forbes (Coordenador)

Contribuições: Ricardo Moita, Ângela Antunes, Gonçalo Cavalheiro

12.1 INTRODUÇÃO E DEFINIÇÃO DO TERMO «AGENTE»

Este capítulo é fundamentalmente diferente dos restantes deste livro. Enquanto que os outros têm um conteúdo científico e representam os resultados de uma investigação, este capítulo é mais narrativo e visa apresentar as conclusões das sete sessões de *outreach* que abrangeram Portugal Continental de norte a sul, do litoral ao interior, e envolveram, aproximadamente, 112 representantes dos sectores público, privado e não governamental (ONG). Identificam-se e analisam-se, sempre que possível, os aspectos comuns e as questões mais pertinentes dos debates.

O planeamento, organização e implementação das sessões de *outreach*, realizadas em Peniche, Bragança, Porto, Covilhã, Ílhavo, Beja e Olhão, foi realizado pela equipa de *outreach* durante a segunda fase do Projecto SIAM. A apresentação e a análise que se seguem pretendem dar uma ideia da riqueza das discussões e das interacções entre os membros do projecto e os agentes para proveito do leitor, não pretendendo substituir ou mesmo tentar reproduzir as sessões propriamente ditas.

Contudo, antes de se proceder à análise das sessões, consideraremos a questão das definições do problemático termo «agente» e faremos uma contextualização breve do que se pretende com o *outreach* aos agentes no âmbito dos esforços internacionais relativamente à avaliação de impactos de alterações climáticas.

O termo «agente» é amplamente utilizado e por vezes objecto de uso indevido. Por conseguinte, é relevante tentar analisar o seu significado, em geral, e a forma como foi utilizado, neste caso particular. Uma definição do U.S. General Accounting Office é: «Agente – Indivíduo ou grupo que tem alguma responsabilidade no êxito de uma organização no que se refere à concretização de resultados planeados, mantendo a viabilidade dos produtos e serviços da organização. Os agentes influenciam programas, produtos e serviços...»

O *American Heritage® Dictionary of the English Language* afirma que um agente é «aquele que lança e mantém as apostas num jogo ou concurso ou que detém uma acção ou privilégio como numa empresa». Por fim, WordNet® 1.6 afirma que um agente é «alguém encarregue de registar as apostas de uma ou mais pessoas que apostam contra outras; aquele que tem de entregar o prémio ao vencedor».

Assim, o termo baseia-se na ideia de um sistema de apostas em que aqueles que mantêm as apostas relativamente ao resultado de um jogo, confiam a sua parte (ou o dinheiro das apostas) a uma terceira parte, o agente, que salvaguarda o seu dinheiro até o resultado ser conhecido e depois entrega-o ao vencedor. Existe, igualmente, a ideia de que um agente é alguém que tem uma participação efectiva no êxito de uma organização ou empreendimento.

No plano global, o contexto específico das alterações climáticas pode ser caracterizado em termos análogos. As nações mundiais são os apostadores, não sendo capazes, em termos colectivos, e salvaguardando as conhecidas diferenças nos níveis de responsabilidade, de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa de forma a evitar uma interferência antropogénica no sistema climático. Não havendo agentes, no sentido clássico em que terceiras partes não influenciam o resultado, todos somos agentes na acepção mais recente do termo ao possuímos «interesses» na forma como o clima está a ser alterado.

Ao nível nacional, todos somos agentes na medida em que ao apostarmos, no sentido de colocarmos em jogo o nosso interesse, esperamos para ver quem deveríamos recompensar com os ganhos (recompensando aqueles governos que escolheram, decididamente, uma abordagem da problemática em termos da preparação do país para minimizar os impactos, com os nossos votos e apoio político) e, na segunda definição de agente, acima enunciada, comportamo-nos como aqueles que têm uma participação nos resultados de uma organização. Aqui, a organização seria um tipo de entidade colectiva (sindicato, associação de produtores/de industriais, organização activista não governamental, instituição académica, administração local ou nacional) que nos relacione com os sectores socioeconómicos (pescas, agricultura, florestas, etc.) ou com os sectores biofísicos (zonas costeiras, montanhas, etc.). Optámos por este último conceito de agente.

12.2 ABORDAGENS ADOPTADAS POR OUTRAS AVALIAÇÕES NO ÂMBITO DO *OUTREACH* A AGENTES

De entre as inúmeras avaliações multisectoriais de impactos das alterações climáticas existentes a nível mundial, como as do Reino Unido, dos Países Baixos, do Canadá e dos Estados

Unidos, a que abordou a questão do envolvimento do agente de forma particularmente empenhada e abrangente foi a dos Estados Unidos.

Existem diversos tipos possíveis de *outreach* a agentes no âmbito de uma avaliação de impactos de alterações climáticas. Em alguns casos, como no das avaliações dos EUA, realizou-se um inquérito aos agentes de teor bastante abrangente, antes da avaliação de impactos propriamente dita (USGCRP, 2003). Através de uma série de vinte sessões de trabalho a nível regional por todo o país, cada uma patrocinada por uma ou mais instituições participantes (por exemplo, a Agência de Protecção Ambiental, a Agência para os Oceanos e Atmosfera, entre outras) na multiagência United States Global Change Research Program, pediu-se a um total de 2500 cientistas, gestores de recursos, técnicos de planeamento do governo, dirigentes de organizações públicas e privadas e, ao público em geral, que respondessem a um inquérito com um conjunto de questões orientadoras. As questões foram as seguintes:

- 1) Quais são as questões problemáticas para a região actualmente?
- 2) Quais são as consequências estimadas das alterações climáticas e da variabilidade climática e de que forma é que irão interagir com os factores de *stress* existentes?
- 3) Quais são as necessidades prioritárias em termos de investigação e de informação?
- 4) Quais as opções que existem em termos de adaptação?

Para além destas quatro questões de carácter geral, os agentes participaram num diálogo sobre vulnerabilidades e mecanismos de adaptação. A ideia consistia em conduzir os cientistas a transmitir informação, relativamente às consequências das alterações climáticas, para as regiões e consultar os agentes sobre as necessidades em termos de informação.

12.3 METODOLOGIA

12.3.1 Questões de Representatividade

Tendo como ponto de partida a definição do termo «agente» como um indivíduo que tem uma participação numa organização ou empreendimento por intermédio da qual se encontra ligado aos sectores socioeconómicos ou biofísicos, tal como foi referido na secção 12.1 a questão que se segue prende-se com o modo como se seleccionam, de forma equilibrada e representativa, os agentes participantes entre o enorme número de agentes potenciais.

A nossa opção incidiu sobre a escolha de indivíduos, cujas posições lhes permitissem representar um grande número

de constituintes. Por conseguinte, optámos por convidar o maior número possível de representantes de nível superior, técnico ou administrativo. A escolha dos convidados foi feita, principalmente, com base nas sugestões das equipas sectoriais, cuja experiência nas áreas em discussão os colocava numa posição mais adequada para conhecer os indivíduos que, no seio da comunidade de agentes e no âmbito de cada região específica, fossem mais relevantes.

Se, por um lado, esta abordagem tem a desvantagem de, muitas vezes, indivíduos com tais cargos terem tendência para se retrair politicamente ou institucionalmente em termos de uma participação efectiva e empenhada em tais diálogos, por outro lado, tal facto permitiu manter um número de participantes pouco elevado, da ordem de 25 pessoas, nas sessões realizadas.

A questão de um número restrito de convidados serviu o objectivo de permitir um grau de informalidade que promoveu, em toda a sua dimensão, um intercâmbio aberto entre os membros do Projecto SIAM e os agentes, e entre os próprios agentes. As sessões não foram públicas no sentido em que eram abertas a quem quisesse assistir, mas enviamam-se grandes esforços no sentido de convidar um segmento amplo da sociedade que fosse relevante para os assuntos em discussão.

Os agentes visados foram:

- Associações e empresas relativas às actividades económicas do sector específico (recursos hídricos, agricultura, florestas, energia, saúde, etc.).
- Associação de Municípios.
- Câmara Municipal.
- Comissão de Coordenação da Região.
- Direcção Regional do Ambiente e do Ordenamento do Território – DRAOT.
- Organizações não Governamentais.
- Outros especialistas.
- Universidade local.

A partir do momento em que se definem as pessoas que se vão convidar, a questão que se segue prende-se com o local onde se vão realizar as sessões e o modo como vão decorrer.

A fim de maximizar a representação geográfica em Portugal Continental (dado que a análise dos impactos e medidas de adaptação às alterações climáticas nos Açores e Madeira tiveram apenas início na segunda fase do Projecto SIAM) optámos por realizar várias pequenas sessões de *outreach* por todo o país. As sessões com os respectivos sectores representados foram realizadas em (por ordem cronológica):

- 5) Peniche – Pescas, 16 de Julho de 2002.

- 6) Bragança – Agricultura, Florestas e Biodiversidade, 17 de Outubro de 2002.
- 7) Porto – Energia e Saúde, 19 de Dezembro de 2002.
- 8) Aveiro (Ílhavo) – Pescas e Zonas Costeiras, 5 de Fevereiro de 2003.
- 9) Covilhã – Cenários Climáticos e Florestas e Biodiversidade, 27 de Março de 2003.
- 10) Beja – Agricultura e Recursos Hídricos, 22 de Maio de 2003.
- 11) Olhão – Pescas e Zonas Costeiras, 28 de Outubro de 2003.

Cada sessão teve a duração de duas horas e meia a quatro horas, dependendo do número de participantes e da intensidade das discussões, encontrando-se dividida em três partes. Na primeira, os membros da equipa de *outreach* fizeram uma breve introdução à sessão e uma apresentação do Projecto SIAM na sua globalidade com o fim de criar uma estrutura para o resto da sessão. Em seguida, a equipa ou equipas do Projecto SIAM relativas ao sector ou sectores em análise procederam à apresentação dos resultados do SIAM I e da investigação em curso. A última parte consistiu num debate, moderado pela equipa de *outreach* com o objectivo de centrar a discussão nos impactos e nas medidas de adaptação sectoriais, solicitando *feedback* relativamente à investigação em curso.

12.3.2 Objectivos das Sessões de *Outreach*

Os objectivos das sessões foram análogos aos das sessões de trabalho a nível regional realizadas na avaliação multisectorial dos impactos das alterações climáticas nos EUA (CCI-USA, 2001). As questões orientadoras colocadas aos agentes que participaram nas sessões de *outreach* do Projecto SIAM foram as mesmas do referido estudo sobre os EUA, enunciadas na secção 12.2.

Os agentes convidados participaram também num diálogo subordinado ao tema das vulnerabilidades e mecanismos de adaptação às alterações climáticas. Na abordagem utilizada, simplificámos os objectivos, dando particular atenção a discutir com os agentes os impactos previstos e as medidas de adaptação sugeridas na primeira fase do Projecto. O principal objectivo foi avaliar a sensibilidade dos agentes face aos impactos e analisar a sua reacção às medidas de adaptação propostas, bem como, recolher, eventualmente, sugestões sobre outras medidas de adaptação.

Complementarmente, foram recolhidas pistas para a investigação a decorrer no SIAM II. Neste caso, a ideia consistiu em fazê-lo, na medida do possível, tendo em atenção a

avaliação especializada dos coordenadores das equipas sectoriais. Note-se que as equipas sectoriais que participaram em sessões anteriores de *outreach* encontravam-se numa posição mais adequada para efectuar ajustamentos intermédios na investigação, do que aquelas que, tendo apenas participado pela primeira vez nas sessões quando a investigação se encontrava já numa fase substancialmente avançada, não possuíam o mesmo grau de flexibilidade. O factor tempo foi certamente importante neste processo, dado que as sessões ocorriam em simultâneo com as outras actividades da investigação. De um ponto de vista ideal, tais actividades de *outreach* deveriam ser realizadas antes – para ajudar a definir o âmbito de uma avaliação e a definir possíveis medidas de adaptação – e depois da avaliação de impactos – para divulgar resultados e envolver os agentes em processos de natureza política relativos à implementação de medidas de mitigação e/ou adaptação.

Outra abordagem genérica poderia caracterizar-se por prescindir dos pormenores da própria avaliação (SIAM I) dando particular atenção às questões de natureza mais geral relacionadas com as alterações climáticas antropogénicas enquanto fenómeno físico com importantes implicações a nível económico e político. Uma abordagem deste tipo poderia centrar-se no aumento da sensibilização dos agentes ou na avaliação dos seus níveis de sensibilização, relativamente à problemática das alterações climáticas. O aumento da sensibilização não foi considerado um objectivo suficientemente ambicioso ou compatível com a natureza e o plano orientador do projecto. Não se optou por uma avaliação dos níveis de sensibilização dos agentes, uma vez que tal teria sido, em parte, uma repetição do trabalho já realizado pela equipa de análise sociológica da primeira fase do Projecto SIAM (Almeida, 2002). Esta equipa procedeu à análise das percepções e das perspectivas dos agentes face aos riscos envolvidos nas alterações climáticas antropogénicas por meio de estudos que envolveram sondagens através de inquéritos dirigidos a vários grupos de referência sectoriais. As questões incluídas nos inquéritos abordavam a gravidade dos problemas relacionados com as alterações climáticas antropogénicas, os impactos a nível regional, as escalas de tempo envolvidas nestes impactos e o tipo de medidas de adaptação que o país deveria adoptar, bem como a sua calendarização.

Uma vez abordada a lógica que está subjacente às sessões e a forma como estas foram implementadas é relevante apreciar o modo como os agentes reagiram a estas sessões, quando foram confrontados com um assunto que para a maioria seria certamente desconhecido, não tendo supostamente relevância no dia-a-dia. A duração total do conjunto das sete sessões totalizou cerca de 30 horas e contou com a presença de 112 participantes, conforme foi já referido. Sendo

claramente impossível reproduzir todos os debates, em geral muito ricos na diversidade das intervenções, optou-se, na secção seguinte, por referir alguns comentários e questões mais interessantes que foram colocadas durante a fase de discussão.

12.4 PONTOS ALTOS DAS SESSÕES

A questão fundamental que aqui se pretende focar não é a verificação da fundamentação dos comentários ou questões apresentados ou mesmo das respostas dadas pelas equipas do Projecto SIAM durante as sessões, mas antes a análise das questões e comentários no sentido de tentar compreender a reacção dos agentes à informação que lhes foi facultada pelos membros dessas equipas.

O objectivo consiste em analisar os comentários e as questões com o fim de saber de que forma os investigadores do Projecto e os decisores políticos poderão melhor entender e incorporar as necessidades dos agentes em iniciativas futuras. Por fim, a análise das discussões que surgiram ao longo das várias sessões servirá de ponto de partida para, no ponto seis, se proceder à tentativa de detectar fios condutores no tecido das discussões e chegar a algumas conclusões relativamente aos objectivos que foram ou não atingidos nessas sessões. Serão também identificadas algumas medidas que poderão contribuir para melhorar a eficácia e a produtividade das iniciativas futuras deste tipo.

Peniche

Durante a apresentação da equipa sectorial das pescas surgiram diversos comentários sobre a metodologia utilizada, a natureza dos dados e outros aspectos mais técnicos e científicos que desviaram a discussão dos pontos fundamentais relativos aos impactos e à adaptação às alterações climáticas.

Análise: É extremamente importante compreender o tipo de audiência envolvida e apreciar a diferença entre uma apresentação de cariz científico e outra destinada a um conjunto bastante heterogénico de agentes. As apresentações centraram-se, sobretudo, no método científico, o que embora seja compreensível do ponto de vista do cientista – dando explicações não só relativamente às conclusões, mas também sobre o modo como estas foram atingidas – poderá afastar grande parte do público não cientista. Observou-se várias vezes durante outras sessões que a apresentação de uma sequência de questões da mesma índole, neste caso, de natureza científica, tem tendência para se tornar pouco flexível, condicionando assim o resto da discussão. Uma outra con-

clusão indica que a comunicação e o diálogo com os agentes, sobre determinados impactos sectoriais, deverá ser facilitado por meio de um processo de consulta com esses agentes antes de iniciar a investigação dos impactos.

Uma das questões mais relevantes que foi levantada durante a discussão prende-se com o horizonte temporal. As preocupações e as necessidades de planeamento deste sector são actualmente da ordem de dias, semanas ou, eventualmente, meses; consequentemente o horizonte temporal do Projecto SIAM, até ao final do século XXI, está demasiado longe para ser possível incluir os resultados no planeamento estratégico do sector.

Análise: Observações desta natureza são muito importantes e aplicam-se a todos os sectores socioeconómicos. As alterações climáticas antropogénicas são um processo relativamente lento pelo que o horizonte temporal utilizado para os cenários climáticos futuros e para os estudos de impactos baseados nesses cenários inclui geralmente os próximos 100 anos. Porém, os factores que condicionam as actividades socioeconómicas nos diversos sectores considerados têm em geral um ritmo evolutivo muito mais rápido. Apesar desta diferença, é muito importante comunicar aos agentes que há sinais inequívocos de alterações climáticas antropogénicas nas observações dos últimos 50 anos, informá-los das características e tendências dessas alterações e das vulnerabilidades dos vários sectores. Só assim será possível identificar, seleccionar e implementar medidas de adaptação que minimizem efectivamente os impactos negativos das alterações climáticas.

Bragança

Face aos cenários climáticos futuros apresentados (ver Capítulo 2), conjugados com o tipo de floresta e de solos da região, abordou-se a questão da viabilidade de uma adaptação do sector florestal da região ou, em alternativa, consideraram-se outras opções socioeconómicas para substituir o sector florestal.

Análise: Este é um caso em que se argumenta que outros factores, nomeadamente as espécies florestais e as características dos solos, limitam muito as opções no que respeita a medidas de adaptação. Se o argumento for correcto, a própria viabilidade do sector florestal nesta região poderá ser ameaçada pelo clima futuro, e poderão justificar-se políticas que visem a introdução de actividades económicas alternativas. Este comentário realça a importância deste tipo de sessões no que se prende com a necessidade de alertar as pessoas que estão directamente envolvidas e dependentes da actividade económica em causa.

Porto

Foi referido que falta um capítulo sobre impactos relativos ao sector da pecuária. O comentário frisou a natureza limitada do capítulo de agricultura por não abranger animais.

Análise: O sector da agricultura deu particular atenção ao milho e ao trigo na primeira fase do Projecto SIAM. O estudo dos impactos das alterações climáticas na criação de animais é certamente muito importante e deverá ser efectuado. Será pois necessário disponibilizar recursos que permitam alargar o âmbito da investigação realizada conjugando-a com os resultados já obtidos em outros sectores que condicionam a pecuária, tal como, por exemplo, os recursos hídricos.

Foi colocada a questão de saber se o Projecto SIAM teria investigado o que as várias instituições existentes no país poderiam efectivamente fazer em termos de recomendações de natureza política e operacional.

Análise: A resposta dada foi que o Projecto SIAM é, principalmente, um estudo científico, baseado na metodologia da UNEP (Feenstra, 1998), com meios bastante limitados, e que a contribuição no âmbito dessa questão estava limitada à identificação e análise dos impactos e das medidas de adaptação e às sessões de *outreach*. Existe a necessidade de ir para além da avaliação científica dos impactos, importando considerar, também, se e de que forma o governo e outras instituições estão preparados para elaborar e implementar recomendações a fim de dar resposta, de forma directa, à problemática das alterações climáticas. Em qualquer caso, a eventual implementação de medidas de adaptação por parte do governo dependerá sempre de estudos prévios sobre vulnerabilidades, impactos e análises de custo-benefício das medidas de adaptação mais adequadas.

Ílhavo

Foi salientado que a validade dos dados de descargas de pescado é um problema devido à adulteração de dados resultante da pesca não declarada. Foi observado que esta poderia atingir os 60 %. A mesma questão tinha sido já colocada na sessão realizada em Peniche.

Análise: A validade e a acessibilidade dos dados constitui um desafio permanente para os investigadores do Projecto SIAM. Para melhorar a fiabilidade das avaliações de impactos é necessário optimizar a forma como os dados são coligidos, arquivados, distribuídos e disponibilizados. Em Portugal a acessibilidade dos dados de observação obtidos pelas instituições públicas constitui geralmente um problema que, frequentes vezes, é difícil de resolver. Este facto tem con-

sequências óbvias sobre qualquer tipo de investigação científica, especialmente num trabalho integrado multidisciplinar, onde a qualidade dos dados e, consequentemente, as conclusões que se tiram com base na sua utilização, têm efeitos paralelos e sucessivos no trabalho de outros sectores.

Foi referido que a sardinha tem-se deslocado para norte e essa deslocação está relacionada com o aumento da temperatura do mar à superfície.

Análise: Este tipo de verificação de resultados de observação e modelação por pessoas com experiência directa é valioso e testemunho da importância da ligação da comunidade científica com os agentes. Durante a mesma sessão um participante sublinhou que «este tipo de contactos deve ser reforçado e que os cientistas deveriam ter um contacto assíduo e regular com o mundo empresarial». Uma interacção regular e organizada entre as duas comunidades é inestimável, mesmo se apenas para partilhar conclusões entre os cientistas que efectuam as observações, os estudos de modelação e construção de cenários e os agentes que têm a experiência directa dos efeitos das alterações climáticas no seu sector socioeconómico da actividade profissional.

Beja

Foi levantada a questão de saber se de acordo com os cenários climáticos futuros será necessário dar mais atenção à regularização do escoamento das águas nos rios. Se para tal forem necessárias mais barragens, como serão enfrentados os problemas ambientais daí decorrentes?

Análise: A significativa diminuição no escoamento dos rios no Sul do país, projectada pelos cenários climáticos futuros, é mais um exemplo de como as medidas de adaptação em determinados sectores e regiões podem estar fortemente limitadas devido à proximidade das condições limites de sustentabilidade. Um exemplo semelhante foi dado para o sector florestal na sessão em Bragança.

As águas subterrâneas são uma componente muito importante do ciclo da água. Foram tidas em consideração?

Resposta: Não tendo sido abordadas no âmbito do SIAM 1, as águas subterrâneas estão a ser objecto de investigação na segunda fase do Projecto SIAM. Uma das principais conclusões obtidas é a tendência para uma descida do nível piezométrico em todos os cenários climáticos considerados.

Pragas e doenças A equipa de Saúde Humana estudou as consequências das alterações climáticas quanto à possibilidade do surgimento de novas doenças, uma vez que as

condições futuras poderão ser mais favoráveis ao seu aparecimento, terá a equipa de agricultura investigado esta questão no âmbito do sector agrícola?

Análise: Conforme foi já referido a propósito da sessão realizada no Porto não foram feitos estudos dos impactos das alterações climáticas na pecuária. Contudo, salienta-se a importância do eventual aparecimento de novas doenças e pestes nos animais domésticos e a necessidade de estudar esta problemática.

Qual é o motivo subjacente à escolha da cultura do arroz? Por que é que não se considerou o olival?

Resposta: O arroz está a ser considerado, dado ser uma cultura importante na região da bacia do Sado, para o qual se realizou um estudo de caso no âmbito do SIAM II. Por outro lado, no contexto de vulnerabilidades às alterações climáticas interessa estudar a possível variação esperada do limite norte da produção de arroz. Esclareceu-se que o olival, apesar de ser muito importante em termos de área agrícola ocupada, não foi abordado no SIAM I e não está a ser objecto de investigação no SIAM II. A ausência de modelos adequados para proceder à simulação do olival para as nossas condições e o facto de se tratar de uma cultura permanente, dificultam o estudo da sua vulnerabilidade às alterações climáticas.

Análise: Neste caso, surgem em evidência duas questões relevantes. A primeira prende-se com o facto de que a selecção dos sectores, ecossistemas e espécies sobre os quais se fazem estudos de vulnerabilidade e avaliação de impactos é sempre incompleta e problemática do ponto de vista de alguns agentes. Não sendo possível avaliar todos os impactos, é necessário fazer escolhas e estabelecer prioridades. No quadro de um processo de avaliação de impactos com maior disponibilidade de tempo e de recursos humanos e materiais a equipa do sector de agricultura do Projecto SIAM teria considerado o conjunto das principais culturas com relevância económica no país, no qual se inclui o olival. A segunda questão tem a ver com o facto de que os cientistas, mesmo quando há recursos disponíveis, nem sempre têm acesso aos modelos essenciais para efectuar um estudo quantitativo fiável. No caso presente não foi possível dispor de modelos adequados para efectuar a simulação do crescimento do olival no quadro de um cenário climático futuro, para poder dar resposta às preocupações dos agentes.

12.5 CARACTERIZAÇÃO ESTATÍSTICA DAS SESSÕES

A comparência nas sessões não foi uniforme. Cerca de 260 indivíduos foram convidados para participar nas sessões, dos

quais, 112, ou seja, 43 %, compareceram. Segue-se uma listagem detalhada sobre cada sessão.

Tabela 10.1. Tabela indicativa do índice de participação nas sessões de *outreach*

Sessão	Convidados	Participantes	Percentagem
Peniche	19	13	68
Bragança	20	17	85
Porto	50	9	18
Ílhavo	35	18	51
Covilhã	39	13	33
Beja	58	17	29
Olhão	42	25	60
Total	263	112	43

As Figuras 12.1 a 12.7 permitem caracterizar o tipo de participação e a composição da audiência em cada uma das sessões de *outreach*. A sessão inicial, em Peniche, foi uma sessão piloto na qual não se registaram as comparências, pelo que se indicam apenas as pessoas que confirmaram a sua presença na reunião. Na sessão realizada em Olhão não foram registadas as presenças.

O elevado nível de participação neste conjunto de sessões indica claramente que a questão das alterações climáticas é considerada importante pelos agentes. As instalações para a realização das sessões foram todas amavelmente cedidas, a título gratuito, por empresas privadas ou Universidades. Por vezes devido à dificuldade em encontrar uma instalação disponível, compatível com as agendas dos investigadores do Projecto SIAM, os convites foram feitos pouco tempo antes da realização das sessões. Apesar disso o nível de participação manteve-se relativamente elevado.

12.6 CONCLUSÕES

As sessões de *outreach* do Projecto SIAM incidiram sobre todos os sectores socioeconómicos relativamente aos quais se fizeram avaliações de impactos das alterações climáticas e estudos sobre as medidas de adaptação mais adequadas para minimizar os efeitos negativos, designadamente: recursos hídricos, zonas costeiras, agricultura, saúde, energia, florestas e biodiversidade e pescas. A participação dos agentes convidados para as sessões foi relativamente elevada, com

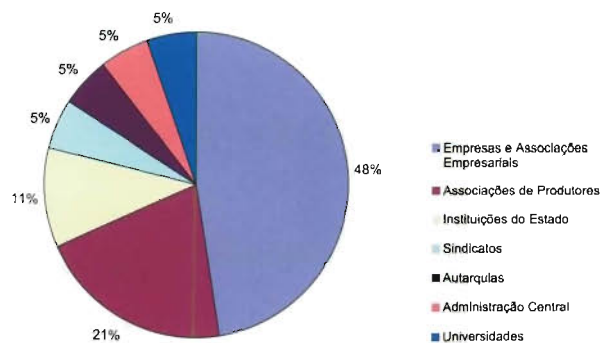


Diagrama 12.1a – Peniche: Convidados

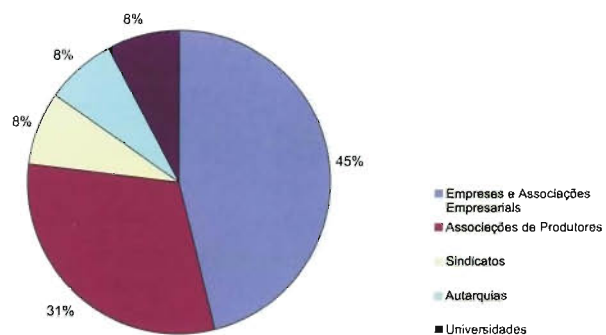


Diagrama 12.1b – Peniche: Confirmados

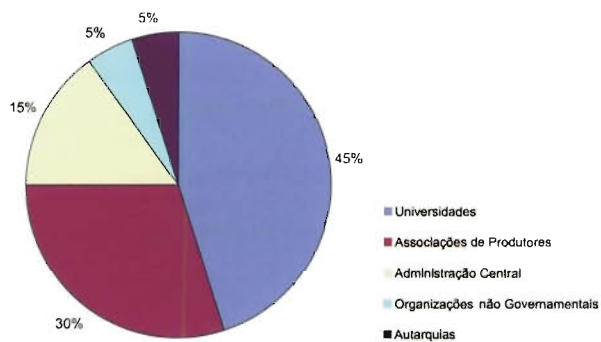


Diagrama 12.2a – Bragança: Convidados

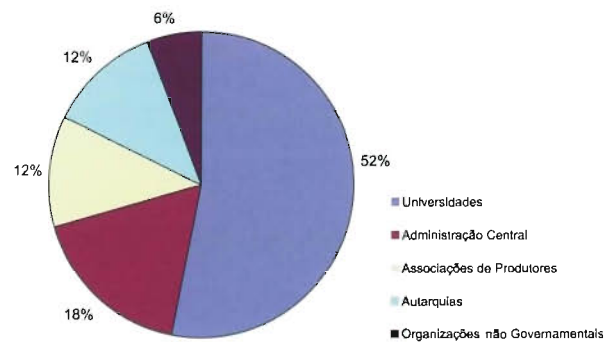


Diagrama 12.2b – Bragança: Participantes

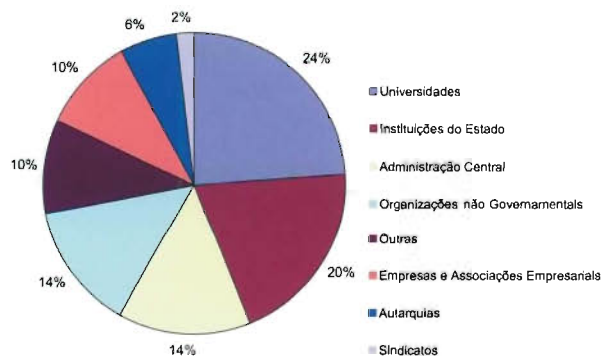


Diagrama 12.3a – Porto: Convidados

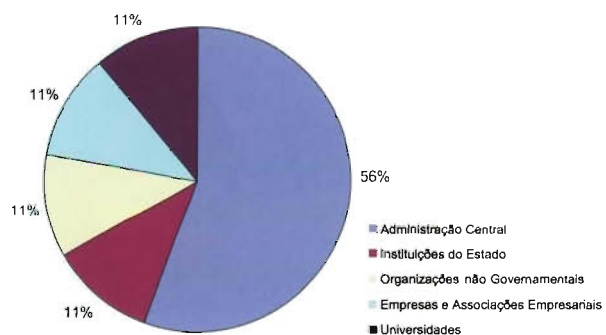


Diagrama 12.3b – Porto: Participantes

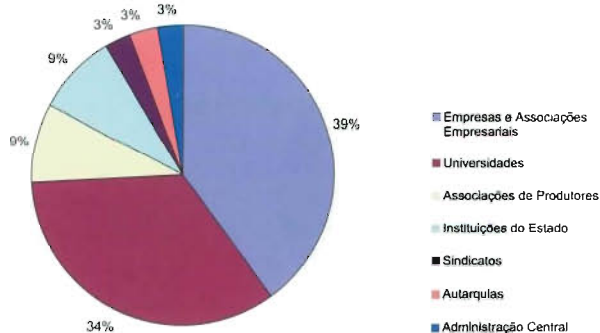


Diagrama 12.4a) – Ílhavo: Convidados

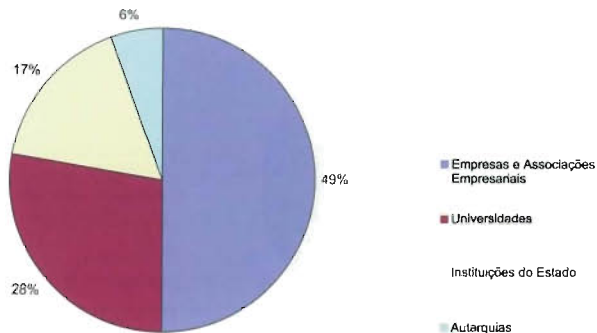


Diagrama 12.4b) – Ílhavo: Participantes

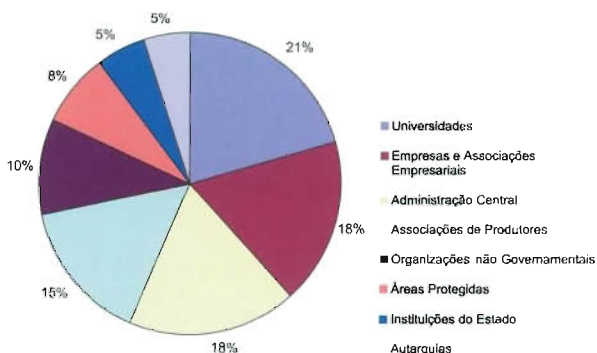


Diagrama 12.5a) – Covilhã: Convidados

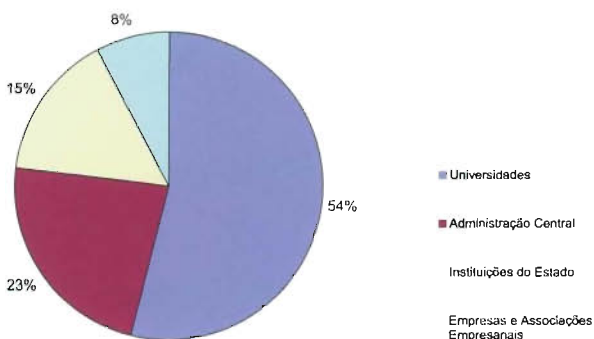


Diagrama 12.5b) – Covilhã: Participantes

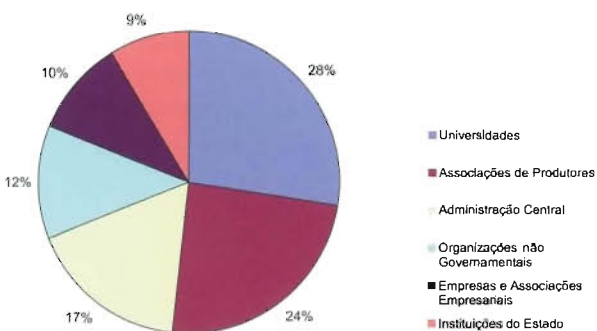


Diagrama 12.6a) – Beja: Convidados

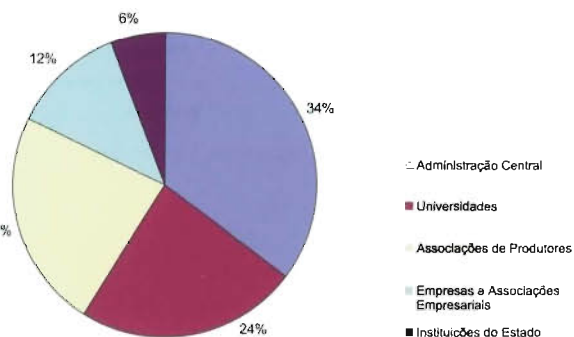


Diagrama 12.6b) – Beja: Participantes

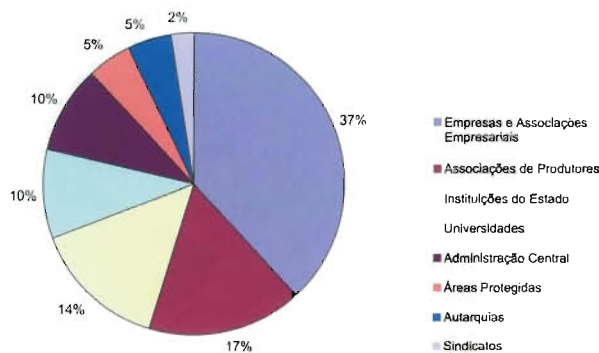


Diagrama 12.7a) – Olhão: Convidados

uma média de 43 %. Este nível de adesão reflecte a importância crescente da problemática das alterações climáticas e a maior consciencialização entre os agentes dos riscos envolvidos na alteração do clima até ao final de 2100.

Conclui-se ser muito importante assegurar apresentações equilibradas e compreensíveis para um público não especializado. Só assim se consegue promover uma participação empenhada dos agentes. As apresentações com um carácter acentuadamente científico face à formação média dos agentes participantes têm tendência a inibir o diálogo e a polarizar as discussões.

Em certos casos, as sessões de *outreach* permitiram fazer o cruzamento de dados fundamentais para a avaliação dos

impactos sectoriais e discutir a sua fiabilidade. O diálogo com os agentes revela-se pois da maior importância sendo desejável que se estabeleça antes de iniciar os estudos de impacto e medidas de adaptação, no sentido de obter uma melhor caracterização da situação actual e de optimizar a definição dos objectivos a atingir. Finalmente, importa salientar que a intervenção dos agentes se torna essencial e imprescindível numa fase mais avançada de selecção e implementação de medidas de adaptação às alterações climáticas. No Projecto SIAM apenas se iniciou um processo de divulgação e diálogo sobre os impactos e as medidas de adaptação às alterações climáticas em Portugal Continental com grupos de agentes potencialmente envolvidos nesta problemática.

12.7 REFERÊNCIAS

- Almeida, J.F., P.M. Pott, E. Lourenço, 2002, Sociological Analysis, in Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project, F.D. Santos, K. Forbes and R. Moita (eds.), Gradiva, Lisboa.
- CGI-USA, Climate Change Impacts on the United States, The Potential Consequences of Climate Variability and Change, 2001, Cambridge University Press
- Feenstra, J.F., I. Burton, J.M. Smith and R.S.J. Tol, 1998, Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies, United Nations Environmental Programme and Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- USGCRP, U.S. Global Change Research Program, 2003, *website* sobre sessões acedido em 21 de Novembro de 2003, <http://www.usgcrp.gov/usgcrp/nacc/background/workshops.htm>