

Publicação co-financiada pelo Fundo Social Europeu

INOVAÇÃO E TECNOLOGIA NA FORMAÇÃO AGRÍCOLA

agrinov.ajap.pt

Coordenação Técnica:

Associação dos Jovens Agricultores de Portugal

Coordenação Científica:

Miguel de Castro Neto

Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação

Universidade Nova de Lisboa

Alterações Climáticas e Agricultura

Ricardo Braga

Pedro Aguiar Pinto

Produção apoiada pelo Programa AGRO – Medida 7 – Formação Profissional,
co-financiado pelo Estado Português e pela União Europeia através do FSE

Projecto nº 3431144



Ministério da
Agricultura,
do Desenvolvimento
Rural e das Pescas



Ficha Técnica

Título

Alterações Climáticas e Agricultura

Autores

Ricardo Braga

Pedro Aguiar Pinto

Editor

Associação dos Jovens Agricultores de Portugal

Rua D. Pedro V, 108 – 2º

1269-128 Lisboa

Tel.: 21 324 49 70

Fax: 21 343 14 90

E-mail: ajap@ajap.pt

URL: www.ajap.pt

Lisboa • 2009 • 1ª edição

Grafismo e Paginação

Miguel Inácio

Impressão

Gazela, Artes Gráficas, Lda.

Tiragem

150 ex.

Depósito Legal

299352/09

ISBN

978-989-8319-03-6

Distribuição Gratuita

Ricardo Braga



Licenciado em Engenharia Agronómica (1993) pelo Instituto Superior de Agronomia e Doutorado (2000) pela University of Florida, EUA. Actualmente é Professor Adjunto na Escola Superior Agrária de Elvas do Instituto Politécnico de Portalegre onde lecciona disciplinas de licenciatura e mestrado na área das novas tecnologias. Pertence igualmente ao centro de investigação “Centro de Botânica Aplicada à Agricultura” do Instituto Superior de Agronomia, tendo desenvolvido diversos projectos de I&D na área da agricultura de precisão, modelação de sistemas agrícolas e alterações climáticas. É autor de mais de 50 publicações científicas, técnicas e de divulgação.

Pedro Aguiar Pinto



Licenciado em Engenharia Agronómica (1978) pelo Instituto Superior de Agronomia, Doutorado (1988) pela University of California, Davis, EUA e Agregado pela Universidade Técnica de Lisboa. Actualmente é Professor Catedrático no Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa onde lecciona disciplinas de 1.º, 2.º e 3.º ciclos nas áreas de Agricultura, Análise de Sistemas, Ecologia e Métodos Experimentais e Estatística. É membro colaborador do “Centro de Botânica Aplicada à Agricultura” tendo coordenado diversos projectos de I&D na área da agricultura de precisão, modelação de sistemas agrícolas e alterações climáticas. É autor de mais de 150 publicações científicas, técnicas e de divulgação.



Índice Geral

1.	INTRODUÇÃO	7
2.	CLIMA E ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS	10
2.1.	Definição de Clima e Caracterização do Sistema Climático	10
2.2.	História do Clima	15
2.3.	Emissões de Gases de Efeito de Estufa	18
2.4.	Alterações Climáticas no Passado Recente	27
2.5.	Alterações Climáticas Futuras	35
2.6.	Alterações Climáticas em Portugal	43
3.	IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NA AGRICULTURA	51
3.1.	Introdução	51
3.2.	Clima, Condições Meteorológicas e Produção Agrícola	51
3.3.	Impactos no Passado Recente	68
3.4.	Impactos Futuros	70
3.5.	Impactos em Portugal	78
4.	MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO E MITIGAÇÃO NA AGRICULTURA	87
4.1.	Introdução	87
4.2.	Adaptação às Alterações Climáticas	88
4.3.	Mitigação das Alterações Climáticas	99
4.4.	Relação entre Adaptação e Mitigação	111
4.5.	Políticas Nacionais de Mitigação	112
4.6.	Outras Políticas Não Climáticas que Afectam a Emissão de GEE	114
4.7.	Portugal e o Protocolo de Quioto	115
5.	CONCLUSÕES	118
6.	REFERÊNCIAS	125

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Alguns modelos de simulação do crescimento e desenvolvimento das culturas disponíveis para estudos do impacto das alterações climáticas na agricultura	73
Tabela 2 - Potencial de mitigação médio das diversas medidas de mitigação	109

Índice de Figuras

Figura 1 - O clima é a descrição estatística do estado do tempo em termos de médias e desvios de determinados parâmetros (temperatura, a precipitação, o vento, etc.) relevantes ao longo de 30 anos	11
Figura 2 - Representação do sistema climático com os seus constituintes, processos e interacções.....	12
Figura 3 - Representação do sistema climático com os seus constituintes, processos e interacções.....	13
Figura 4 - Variação da concentração de CO ₂ na atmosfera durante os últimos 400 milhares de anos com base em amostras estratigráficas de gelo	17
Figura 5 - Evolução dos desvios da temperatura média global em relação ao período 1961-1990 de acordo com observações instrumentais.....	18
Figura 6 - O aumento de CO ₂ , um importante gás de efeito de estufa, teve origem sobretudo nos combustíveis fósseis utilizados nos transportes, aquecimento e arrefecimento de edifícios e produção de cimento e outros bens	19
Figura 7 - A desflorestação também liberta CO ₂ e reduz a sua assimilação pelas plantas	20
Figura 8 - Emissões de CO ₂ resultantes de vários combustíveis fósseis	21
Figura 9 - A libertação por ruminantes (fermentação ruminal) e a cultura do arroz são importantes fontes de CH ₄	22
Figura 10 - Peso relativo de cada sector de actividade no total de emissões de GEE (em cima) e para cada um dos GEE principais (em baixo) estimados para o ano 2000	25

Figura 11 - O ciclo do carbono na última década do século XX mostrando os fluxos anuais em GtC/ano. Os fluxos pré-industriais surgem a preto enquanto os antropogénicos surgem a cinzento	27
Figura 12 - Ajustamentos lineares simples aos dados de temperatura anual média (os mesmos da fig. 5) para diferentes períodos: últimos 150 anos; últimos 100 anos; últimos 50 anos e últimos 25 anos	28
Figura 13 - Mapa da tendência de alteração da temperatura global à superfície entre 1979 e 2005	29
Figura 14 - Desvios anuais das temperaturas máxima e mínimas diárias e amplitude térmica diária em relação ao período 1961-1990	30
Figura 15 - Sequencia temporal da Ilha Warming na Gronelândia em que se pode observar a redução da área coberta por gelo. Esta ilha foi descoberta em 2007 precisamente em resultado do degelo já que se julgava até aí tratar-se de uma península.....	31
Figura 16 - Alteração recente do nível médio da água do mar	32
Figura 17 - Mapa e a evolução temporal de um índice de severidade de seca (PDSI) que exprime o deficit de água no solo acumulado tendo em consideração a precipitação e a temperatura	33
Figura 18 - Distribuição da temperatura média no Verão na Suíça entre 1864 e 2003. O valor médio é de aproximadamente 17 °C como mostra a distribuição normal. Num ano extremamente quente (2003), a temperatura média excede todos os registos (uma linha vertical para cada ano)	34
Figura 19 - Tipos de cenários a longo prazo do para estudo das alterações climáticas em função do tipo de governação e valores preponderantes	38
Figura 20 - Projecções futuras da concentração de CO ₂ em função dos cenários de alteração climática SRES	39
Figura 21 - Projecções futuras do aquecimento global em função dos cenários de alteração climática SRES.....	40
Figura 22 - Projecções futuras do desvio padrão da intensidade de precipitação em função dos cenários de alteração climática SRES	41
Figura 23 - Projecções futuras do desvio padrão da ocorrência de geada em função dos cenários de alteração climática SRES	42
Figura 24 - Projecções futuras do desvio padrão da ocorrência de ondas de calor em função dos cenários de alteração climática SRES	43

Figura 25 - Evolução temporal das médias das temperaturas máxima e mínima em Portugal Continental. Estão representadas as tendências para os períodos 1930-1945, 1946-1975 e 1976-2002 em °C por década.....	44
Figura 26 - Evolução do número anual de noites tropicais ($T_{min} > 20^{\circ}\text{C}$) e número de dias de Verão ($T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$) em Lisboa/Geofísico e respectivos ajustes lineares com tendências apresentadas em dias por década	45
Figura 27 - Evolução temporal da precipitação sazonal (cima para baixo: Inverno, Outono, Verão e Primavera) média em Portugal Continental. As linhas a tracejado representam o valor médio no período.....	46
Figura 28 - Distribuição do índice de severidade de seca (PDSI) em Portugal. Médias das décadas de 1961-70, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 (da esquerda para a direita), para o mês de Abril. Quanto mais vermelha a classe maior é o índice de seca	47
Figura 29 - Média da temperatura mínima no Inverno: (a) observações 1961-1990; (b) cenário A2 (f) cenário B2.....	48
Figura 30 - Média da temperatura máxima no Verão: (a) observações 1961-1990; (b) cenário 2100 A2 (f) cenário 2100 B2	48
Figura 31 - Número de “dias muito quentes” por ano (temperatura superior a 35°C): (a) observações 1961-1990; (b) cenário 2100 A2 (f) cenário 2100 B2	49
Figura 32 - Número de “dias de geada” por ano: (a) observações 1961-1990; (b) cenário 2100 A2 (f) cenário 2100 B2	49
Figura 33 - Anomalia da precipitação anual para o cenário A2 e B2 em 2100	50
Figura 34 - Classificação climática mundial para o período 1961-1990 (cima) e 2071-2100 (baixo)	53
Figura 35 - Duração da estação de crescimento vegetativo período 1961-1990 (cima) e 2071-2100 (baixo).....	54
Figura 36 - Variação da taxa de fertilidade das espiguetas em função da temperatura do ar durante a floração para a cultura do arroz.....	56
Figura 37 - Ciclo de Calvin - sequência de reacções responsáveis pela formação de hidratos de carbono na planta a partir do CO_2 atmosférico	58
Figura 38 - Resposta típica da fotossíntese das plantas ao CO_2 em função do tipo de metabolismo C3 (trigo) ou C4 (milho)	60

Figura 39 - Percentagem de redução da fotossíntese óptima em função da temperatura média diária para a cultura do arroz	61
Figura 40 - Resposta da fotossíntese total à temperatura, para concentrações elevadas e naturais de CO ₂ , em plantas C3.....	61
Figura 41 - Resposta da fotossíntese líquida à temperatura para gramíneas de climas diferentes. a) <i>Chinchochloa spp.</i> (alpina, C3); b) trigo (temperada, C3); c) milho (subtropical, C4)	62
Figura 42 - Número de horas de folha molhada até à infecção pelo pedrado na pereira em função da temperatura	64
Figura 43 - A fenologia das culturas é um dos processos que evidência alguns efeitos das alterações climáticas actuais, em particular em culturas perenes como as árvores de fruto, a vinha e o olival	70
Figura 44 - Sensibilidade dos cereais às alterações climáticas para o milho e trigo resultante de 69 estudos em múltiplos locais em função da temperatura média local. As curvas de resposta incluem casos sem medidas de adaptação (vermelho) e com medidas de adaptação (verdes). As medidas de adaptação incluíram data de sementeira, cultivar, etc	75
Figura 45 - Esquema do sistema de informação desenvolvido no âmbito do projecto SIAM para avaliação do impacto das alterações climáticas na agricultura portuguesa.....	79
Figura 46 - Representação dos pontos da grelha do HadRM3 (esq.) e das células da grelha climática (dir.) para Portugal Continental.....	80
Figura 47 - Representação para Portugal Continental da combinação das células climáticas com os polígonos dos solos	81
Figura 48 - Variação da produtividade da cultura do trigo no futuro em relação ao controlo para os cenários A2c (esq) e B2a (dir)	82
Figura 49 - Variação da produtividade da cultura do milho no futuro em relação ao controlo para os cenários A2c (esq) e B2a (dir)	83
Figura 50 - Evolução da área agrícola em para cada cenário de alteração climática SRES.....	86
Figura 51 - Medidas de adaptação às alterações climáticas: Alterar cultivares/variedades ou culturas para aquelas com necessidades térmicas e de vernalização mais apropriadas e/ou com melhor resistência ao stress térmico e hídrico.....	89

Figura 52 - Medidas de adaptação às alterações climáticas: Utilizar pastagens que privilegiem a consociação de diversas espécies.....	91
Figura 53 - Medidas de adaptação às alterações climáticas: alterar ou adaptar o sistema de produção	91
Figura 54 - Medidas de mitigação das alterações climáticas: Melhoria da gestão e armazenamento, digestão anaeróbia, utilização como fertilizante - os efluentes podem libertar para a atmosfera quantidades significativas de CH ₄ e N ₂ O	107
Figura 55 - Medidas de mitigação das alterações climáticas: Mobilização do solo e gestão dos resíduos - Os sistemas de mobilização reduzida ou nula promovem o sequestro do carbono	108

1. INTRODUÇÃO

A agricultura distingue-se das restantes actividades económicas por, entre outras características, se desenvolver maioritariamente ao ar livre. Desta característica resulta uma extrema dependência face às condições meteorológicas. Desta forma, os regimes termo-pluviométricos de cada região devem ser amplamente conhecidos e considerados quando se planeia um sistema de produção. Por outro lado, as condições meteorológicas de cada ano em particular devem ser conhecidas e, se possível, previstas num curto prazo, de forma a permitir a gestão de cada exploração da forma mais eficiente possível.

Até há uma ou duas décadas atrás era plausível considerar que os tais regimes termo-pluviométricos, caracterizadores do clima de cada região, eram estáticos, i.e., geralmente obtidos com médias de registos de 30 ou 40 anos, poderiam ser considerados como válidos para um futuro mais ou menos longínquo.

Porém, no início dos anos 90 do século passado começaram a registar-se evidências que punham em questão tal pressuposto. Deste modo, passou a assumir-se que o clima está em mudança, i.e., estão a ocorrer alterações climáticas. E desde então foram estudados não só a forma como a mudança se estava a dar, mas também as suas causas e possíveis consequências para as diversas actividades económicas designadas por “impactos das alterações climáticas”. A partir do momento em que foram conhecidas estas consequências, iniciaram-se estudos para avaliar diferentes formas de adaptar cada actividade às mudanças projectadas designadas por “medidas de adaptação”.

O sector agrícola tem vários papéis distintos e, em certo sentido, de valências opostas na questão das alterações climáticas. Por um lado, contribui para as próprias alterações climáticas, ainda que com responsabilidade menor face a outras causas. Por outro lado, dependendo das práticas utilizadas, pode dar um contributo para abrandar o ritmo a que as alterações climáticas estão a acontecer, razão pela qual se fala de “medidas de mitigação”. Finalmente, o

sector agrícola é também vítima das alterações climáticas pelo que tem de se adaptar proactivamente se não quiser assistir à degradação dos seus rendimentos já no final deste século.

Este manual pretende fazer uma introdução ao tema das alterações climáticas e agricultura abordando múltiplas componentes.

No capítulo 2 faz-se uma abordagem às bases de todo o processo das alterações climáticas focando aspectos como a definição de clima, a história do clima, a sua variabilidade e causas das alterações climáticas, caracterização das alterações climáticas – o aquecimento global! - e, finalmente, os métodos de estudo do fenómeno. São utilizados neste e nos restantes capítulos, como referência, as definições e dados emanados do Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC - www.ipcc.ch), órgão criado em 1988 por iniciativa conjunta da Organização Mundial de Meteorologia (WMO) e do Programa Ambiente das Nações Unidas (UNEP) precisamente para fornecer aos decisores informação objectiva sobre as alterações climáticas.

No capítulo 3 são abordados, de forma sistemática, os impactos das alterações climáticas na agricultura. Para esse efeito, inicialmente faz-se o estudo das interacções existentes entre as condições meteorológicas e a produtividade agrícola e animal. Posteriormente, são descritos os impactos que as alterações climáticas terão no crescimento e desenvolvimento das culturas, no solo, nas pragas e doenças, no condicionamento ambiental, na performance animal e na disponibilidade de terra arável.

Finalmente, são enumeradas e descritas as medidas de mitigação e adaptação que se preconizam para que os empresários agrícolas defendam os seus rendimentos e a sustentabilidade do sector.

No final do estudo deste manual, o leitor ficará familiarizado com conceitos como (e suas inter-relações): clima, tempo, variabilidade climática, ciclo do carbono, efeito de estufa, gases de efeito de estufa, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, combustíveis fósseis, desflorestação, balanço de carbono, fotossíntese, respiração, combustão, alterações climáticas, aquecimento global, aumento de dióxido de carbono atmosférico, IPCC, extremos climáticos, modelos de circulação geral da atmosfera, modelos de circulação regional da atmosfera, modelos de simulação de culturas, cenários

de emissão de dióxido de carbono, impactos das alterações climáticas, medidas de adaptação às alterações climáticas, medidas de mitigação das alterações climáticas, sequestro de carbono, sumidouros de carbono, culturas energéticas, bioenergia, energia da biomassa, biodiesel, biogás, uso eficiente de recursos, agricultura de conservação, protocolo de Quioto, etc.

Estamos em crer que este manual será bastante útil para o empresário agrícola já que, ajudando-o a conhecer o clima da sua exploração no final deste século e as suas implicações nas culturas e animais, vai fornecer orientações práticas e concretas para um eficaz planeamento estratégico da exploração agrícola nesse horizonte temporal. Durante as próximas 8 décadas vão verificar-se alterações significativas no nosso clima e, portanto, na produtividade física e económica das explorações agrícolas. Pensamos que este é o momento para começar a preparar esse futuro e esperamos que este manual possa dar um contributo útil.

2. CLIMA E ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

2.1. Definição de Clima e Caracterização do Sistema Climático

O clima pode ser genericamente definido como a média das condições meteorológicas numa determinada região. Vulgarmente as condições meteorológicas correspondem ao estado do tempo. De uma forma mais precisa, o clima é a descrição estatística do tempo em termos de médias e desvios de determinados parâmetros relevantes ao longo de várias décadas, tipicamente três ou seja 30 anos. Os parâmetros considerados relevantes são, na maior parte das situações, a temperatura, a precipitação, o vento, etc. (Fig. 1).

O estado do tempo e, consequentemente, o clima de uma região é determinado por múltiplos factores e processos que interactivam entre si. Desta forma, podemos pensar num sistema climático, complexo e dinâmico, cuja interacção entre os seus constituintes resulta no estado do tempo, num determinado momento.



Figura 1 - O clima é a descrição estatística do estado do tempo em termos de médias e desvios de determinados parâmetros (temperatura, a precipitação, o vento, etc.) relevantes ao longo de 30 anos

Os principais constituintes deste sistema climático são a atmosfera, a superfície terrestre, a neve e o gelo, os oceanos e outros corpos de água, e todos os seres vivos, sendo a radiação solar a fonte de energia de todo o sistema (Fig. 2). A dinâmica do sistema climático resulta de interações com troca de energia entre os constituintes que por sua vez desencadeiam em fenómenos como a precipitação, evaporação, etc. Estes últimos acabam por afectar os parâmetros meteorológicos, i.e., o estado do tempo e o clima (Fig. 3).

A quantidade de energia que atinge o topo da atmosfera da Terra em cada segundo numa superfície de um metro quadrado durante um dia é de 1370 Watts. Em termos globais o valor médio para todo o planeta é cerca de um quarto daquele valor. Cerca de 30% da radiação que atinge o topo da

atmosfera é reflectida de volta para o espaço. Aproximadamente dois terços desta reflexão ficam a dever-se às nuvens e a pequenas partículas suspensas na atmosfera designadas por “aerossóis”.

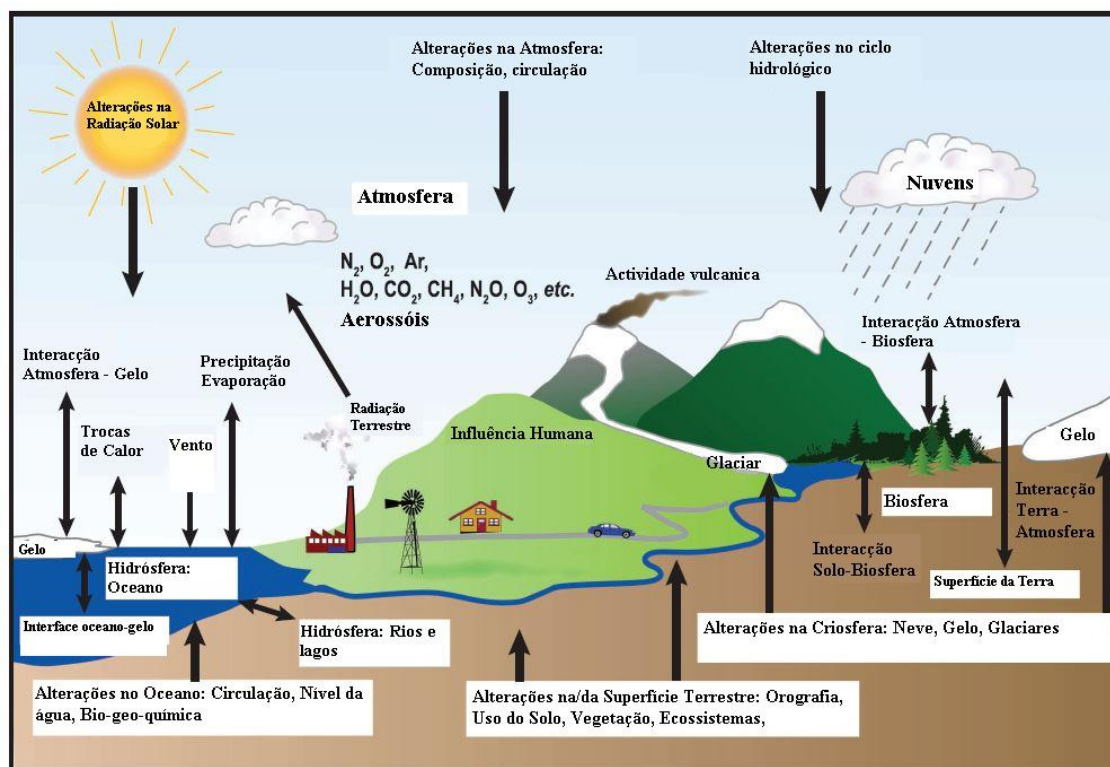


Figura 2 - Representação do sistema climático com os seus constituintes, processos e interações

Fonte: adaptado de IPCC, 2007

As zonas da superfície terrestre com cor clara, essencialmente neve, gelo e desertos, reflectem o restante um terço da radiação solar. As erupções vulcânicas são as principais responsáveis pela injeção de materiais aerossóis na atmosfera. A precipitação limpa a atmosfera destes materiais, contudo quando ocorrem erupções de grandes dimensões, e as partículas são projectadas a grandes altitudes, o aumento dos aerossóis na atmosfera pode provocar uma redução da temperatura global em meio grau °C durante seis meses. Os aerossóis também podem resultar da actividade humana.

A energia que não é reflectida para o espaço, cerca de 240 Watts por metro

quadrado, é absorvida pela superfície terrestre e pela atmosfera. Por sua vez, a terra também emite radiação, de longo comprimento de onda, que em média, é em igual magnitude à energia recebida. Esta radiação, que parte de todos os corpos, é função da respectiva temperatura e é responsável pela temperatura ambiente que todos nós sentimos. Contudo, para emitir em média 240 Watts por metro quadrado, a temperatura média da terra deveria ser de -19°C .

Na realidade a temperatura média global é de 14°C . Esta diferença fica a dever-se ao efeito de estufa provocado por determinados gases na atmosfera, i.e., gases de efeito de estufa (GEE). Os GEE mais importantes são o vapor de água (H_2O), o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e o ozono.

Os GEE bloqueiam a saída da radiação de grande comprimento de onda para a atmosfera, fazendo com que a sua temperatura aumente. Este é conhecido como o efeito de estufa natural.

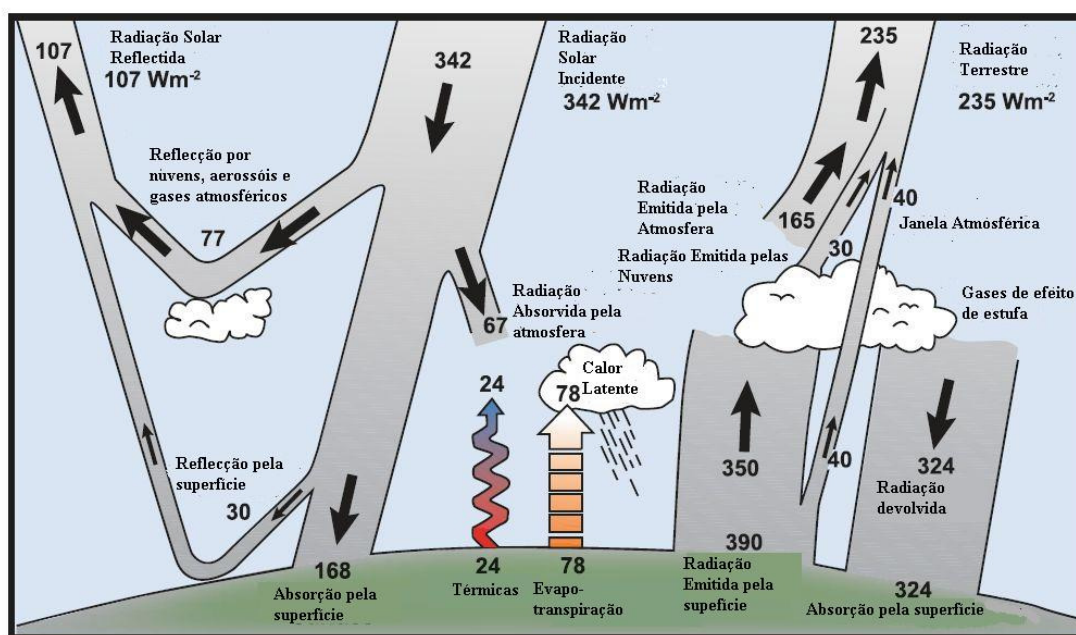


Figura 3 - Representação do sistema climático com os seus constituintes, processos e interações

Fonte: adaptado de IPCC, 2007

Uma vez que a terra é uma esfera, a sua zona inter-tropical recebe mais radiação que as latitudes mais elevadas, onde o ângulo de incidência é menor. A energia é então redistribuída através das circulações atmosféricas e oceânicas. Parte desta energia, calor latente, é utilizada na evaporação de água no mar e na superfície terrestre que volta a ser libertada quando se dá a condensação nas nuvens. Na verdade, a circulação atmosférica dá-se em função da libertação de calor latente. Esta circulação origina, por sua vez, a circulação oceânica através da acção dos ventos sobre as águas de superfície dos oceanos e das alterações de temperatura da superfície dos oceanos e da salinidade, em resultado da precipitação e evaporação.

O sistema climático caracteriza-se por vários mecanismos de retro-alimentação (feedback) que podem amplificar (retro-alimentação positiva) ou diminuir (retro-alimentação negativa) os efeitos de uma das forças responsáveis pela dinâmica do sistema, tornando-o mais complexo.

Nesta complexidade, podem ainda incluir-se comportamentos caóticos, i.e., como pequenas alterações de algumas variáveis podem causar aleatoriedade em sistemas complexos. Nos anos 60, o meteorologista Edward Lorenz descobriu que diferenças muito pequenas no estado do sistema climático podem resultar em consequências muito diversas. Este fenómeno passou a designar-se por efeito borboleta: o bater de asas de uma borboleta num local, pode, em princípio, alterar os padrões meteorológicos num local distante.

O Sistema Climático evolui no tempo em resultado da influência da sua dinâmica interna mas também como resultado de factores externos que afectam o seu balanço de radiação. Entre estes factores externos incluem-se as erupções vulcânicas, a variação da radiação solar assim como as alterações na composição atmosférica induzidas pelo Homem.

Há fundamentalmente três vias pelas quais o balanço de radiação da Terra se pode modificar:

- por alteração da quantidade de radiação solar recebida;
- por alteração da fracção de radiação que é reflectida (designada por albedo);
- ou pela alteração da radiação de longo comprimento de onda da Terra para o espaço (radiação terrestre).

A alteração da radiação de longo comprimento de onda da terra para o espaço ocorre sempre que a concentração dos gases de efeito de estufa aumenta. Os gases de efeito de estufa são gases que reduzem a quantidade de radiação de longo comprimento de onda que sai da Terra para o espaço.

A estas alterações, o clima responde de diversas formas sendo que algumas delas são directas e outras indirectas como resultado de mecanismos de retro-alimentação positiva ou negativa.

2.2. História do Clima

O Clima da Terra tem-se alterado desde a sua formação há 4600 milhões de anos em resultado de alterações no balanço de radiação. A origem das alterações deste balanço tem, contudo, variado ao longo da história.

De facto, em cada um dos períodos de alterações, (e.g. período glacial, o aquecimento no tempo dos dinossauros ou as flutuações no milénio passado) é possível encontrar causas específicas para a alteração do balanço de radiação.

Nos períodos glaciares, que surgem em ciclos periódicos nos últimos 3 milhões de anos, há evidências de que as causas das variações se ficaram a dever à órbita da Terra à volta do sol. Estes ciclos alteram a quantidade de energia recebida a cada latitude e em cada estação. Segundo algumas teorias, se a quantidade de radiação recebida no Verão no hemisfério Norte descer abaixo de um valor crítico, a neve do Inverno anterior não derrete no Verão e uma camada de gelo começa a formar-se à medida que mais e mais neve se acumula.

A próxima grande redução da radiação no hemisfério Norte, semelhante às que despoletaram períodos glaciares, deverá começar dentro de 30000 anos.

Apesar de não ser a causa primária, o CO₂ atmosférico também tem um papel importante nos períodos glaciares. A concentração de CO₂ é baixa (190 ppm) durante estes períodos e alta (280 ppm) entre eles.

Épocas bastantes mais quentes que a actual também já ocorreram na história do clima durante os últimos 500 milhões de anos em que não havia formações

de gelo à face da Terra. Estes períodos parecem igualmente ter alguma relação com períodos de elevada concentração de CO_2 na atmosfera.

Outra causa possível para as alterações climáticas no passado pode estar relacionada com a quantidade de energia emitida pelo sol. Há registos de que essa energia varia cerca de 0,1% todos os 11 anos. Por outro lado, há também evidências de que a energia emitida pelo sol varia também no longo prazo.

De forma idêntica, também a actividade vulcânica pode ter sido o motor de algumas alterações climáticas nos últimos mil anos.

Estas evidências ilustram que diferentes alterações climáticas no passado tiveram diferentes causas e que a mudança climática é algo que tem caracterizado a história do clima desde sempre. Porém, esta evidência não deve significar que as actuais alterações climáticas são “naturais”. De facto, todas as evidências apontam para que as actuais alterações climáticas resultem de um aumento da emissão de GEE em resultado das actividades humanas. A emissão destes gases para a atmosfera amplia o efeito de estufa natural que tem como consequência directa o aumento da temperatura global. Desta forma, as alterações climáticas actuais são também designadas por aquecimento global.

Quando comparadas com as alterações climáticas históricas, as actuais apresentam algumas particularidades. A concentração de CO_2 na atmosfera já atingiu os valores mais elevados do último meio milhão de anos e a uma taxa surpreendentemente elevada (Fig. 4). As temperaturas actuais são as mais elevadas dos últimos 130 anos de acordo com observações instrumentais efectuadas (Fig. 5).

Com base em amostras estratigráficas de gelo, é possível conhecer com algum rigor a concentração de CO_2 na atmosfera nos últimos 650 mil anos. Durante esse período, a concentração de CO_2 variou entre 180 ppm (períodos glaciares) e 300 ppm (períodos inter-glaciares). Durante o século XX, a concentração de CO_2 aumentou rapidamente para valores de 379 ppm.

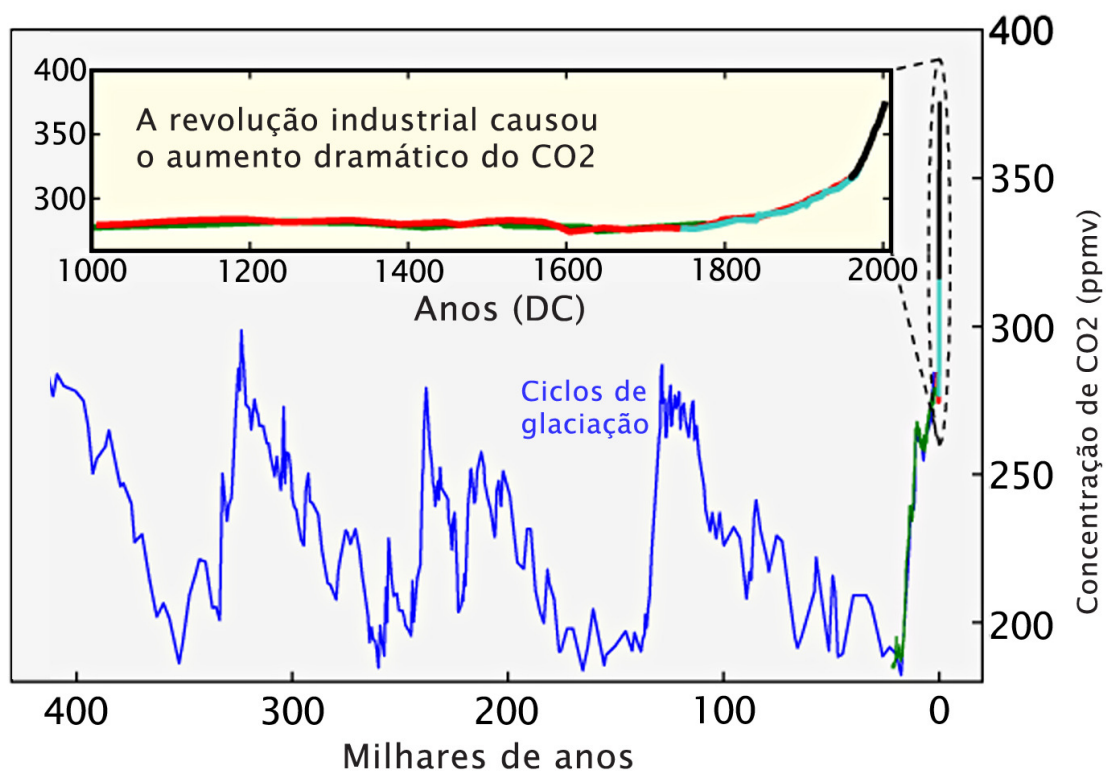


Figura 4 - Variação da concentração de CO₂ na atmosfera durante os últimos 400 milhares de anos com base em amostras estratigráficas de gelo

Fonte: adaptado de IPCC, 2007

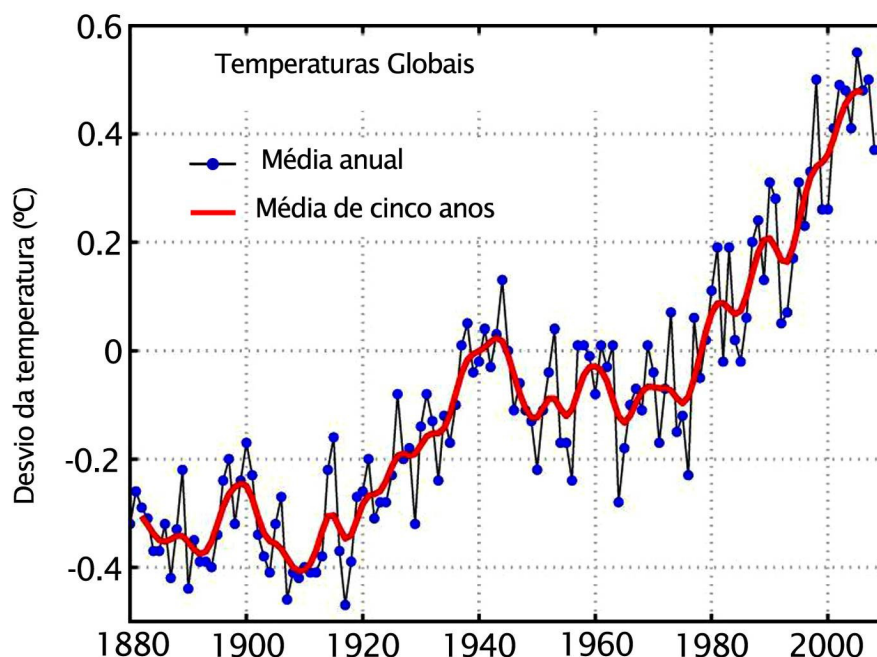


Figura 5 - Evolução dos desvios da temperatura média global em relação ao período 1961-1990 de acordo com observações instrumentais

Fonte: adaptado de IPCC, 2007

2.3. Emissões de Gases de Efeito de Estufa

Os dois gases mais abundantes na atmosfera, azoto (78%) e oxigénio (21%), têm pouca capacidade de efeito de estufa. O efeito de estufa resulta de moléculas mais complexas mas menos comuns. O vapor de água é o GEE mais importante, responsável por 36% a 72% do efeito de estufa total. O CO_2 o segundo mais importante, sendo responsável por 9 a 26% do efeito de estufa total. O CH_4 , o N_2O , o ozono e outros tantos gases presentes na atmosfera em quantidades pequenas também contribuem para o efeito de estufa embora em menor proporção. O CH_4 é responsável por 4 a 9% do efeito de estufa total, enquanto o ozono é apenas responsável por 3 a 7%.

As actividades humanas resultam na emissão de 4 principais gases de efeito de estufa: CO_2 , CH_4 , N_2O e halocarbonetos (um grupo de gases que contém compostos de flúor, cloro e bromo). Estes gases acumulam-se na atmosfera conduzindo ao aumento da sua concentração com o tempo. Durante a era

industrial (sec. XVIII) até aos dias de hoje deram-se aumentos de todos estes gases que são em larga escala atribuídos a actividades humanas:

- O aumento de CO_2 teve origem sobretudo nos combustíveis fósseis (75%) utilizados nos transportes, aquecimento e arrefecimento de edifícios e produção de cimento e outros bens (Fig. 6). A desflorestação também liberta CO_2 e reduz a sua assimilação pelas plantas (Fig. 7). O CO_2 é igualmente libertado pelo processo natural de oxidação da matéria orgânica do solo. O CO_2 resultante destas duas actividades representa cerca de um quarto de todo o CO_2 emitido por actividades humanas.



Figura 6 - O aumento de CO_2 , um importante gás de efeito de estufa, teve origem sobretudo nos combustíveis fósseis utilizados nos transportes, aquecimento e arrefecimento de edifícios e produção de cimento e outros bens

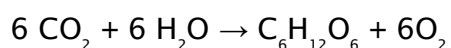
Fonte: <http://www.wired.com/>



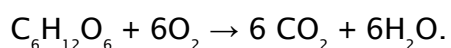
Figura 7 - A desflorestação também liberta CO₂ e reduz a sua assimilação pelas plantas

Fonte: Jami Dwyer em Flickr.com

As emissões de CO₂ para a atmosfera inserem-se no ciclo biogeoquímico do carbono. Os processos fundamentais envolvidos são a fotossíntese e a respiração/combustão, que podem ser vistos como processos inversos já que a fotossíntese produz hidratos de carbono e oxigénio a partir de CO₂ e água, reduzindo as emissões de GEE:



e a respiração/combustão produz CO₂ e água a partir de hidratos de carbono e oxigénio, aumentando as emissões de GEE:



A Fig. 8 mostra a evolução das emissões globais de carbono fóssil em função da sua origem. A industrialização conduziu ao consumo de

combustíveis fósseis, inicialmente quase em exclusividade o carvão. No século XX o consumo de petróleo começa a tornar-se significativo, e mais tarde o de gás natural. Já na segunda metade do século XX, o consumo e emissões resultantes do petróleo ultrapassam o carvão. O padrão de aumento de emissões durante o período é claríssimo e de tal magnitude que não surpreende que tenha sido um dos responsáveis pela alteração da composição da atmosfera.

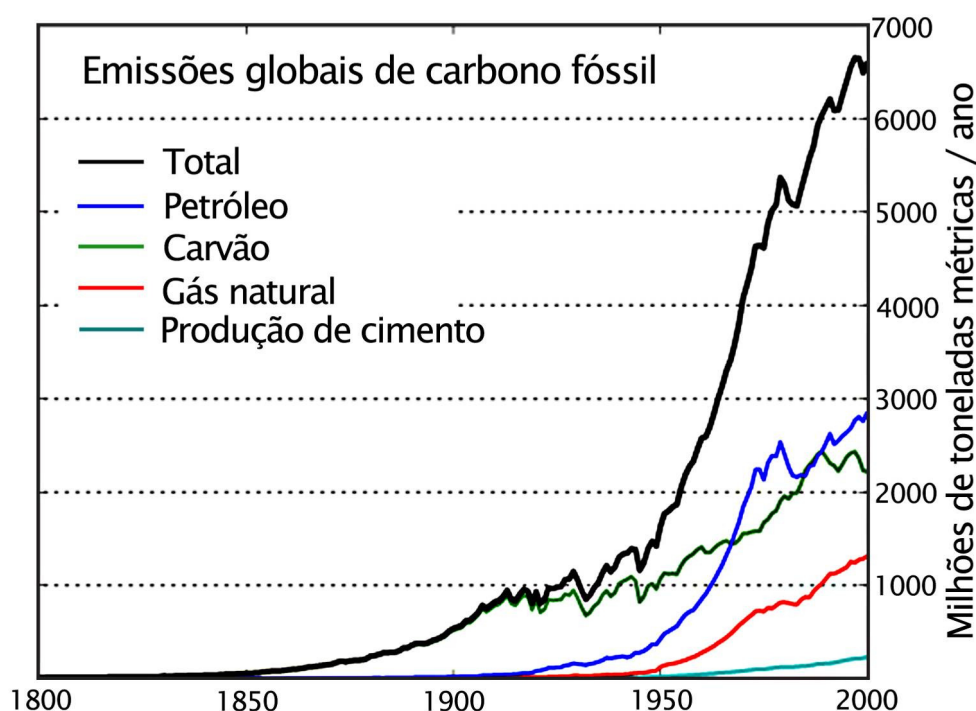


Figura 8 - Emissões de CO₂ resultantes de vários combustíveis fósseis

Fonte: adaptado de IPCC, 2007

- O CH₄ aumentou como resultado de actividades relacionadas com a agricultura (em particular a libertação por ruminantes – fermentação ruminal, os efluentes da exploração animal e a cultura do arroz), as perdas na distribuição de gás natural e os aterros (Fig. 9). O CH₄ é também libertado em processos naturais que ocorrem, por exemplo, em zonas pantanosas. Na ausência de oxigénio determinados microrganismos têm a capacidade de converter hidratos de carbono

em CH_4 e CO_2 , num processo designado por digestão anaeróbica:

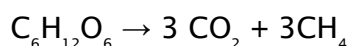
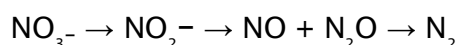


Figura 9 - A libertação por ruminantes (fermentação ruminal) e a cultura do arroz são importantes fontes de CH_4

Fonte: macieklew e FrogStarB em Flickr.com

- O N_2O é igualmente libertado por actividades humanas com a utilização de fertilizantes e de combustíveis fósseis. Alguns processos naturais nos solos e oceanos também libertam N_2O . No ciclo de azoto no solo, o azoto amoniacal (NH_4^+) é convertido em nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) por intermédio de microrganismos nitrificantes num processo designado por nitrificação. Por sua vez, o azoto sob forma de nitrato pode, sobretudo em condições de falta de oxigénio, na presença de microrganismos desnitrificantes, ser desnitrificado produzindo gases que se libertam para a atmosfera:



- As concentrações de gases **halocarbonetos** aumentaram principalmente devido a actividades humanas. Os halocarbonetos principais incluem os clorofluorcarbonetos (CFCs) que eram muito utilizados em refrigeração e outros processos industriais antes de se

saber que a sua presença na atmosfera causava a depleção do ozono estratosférico;

- O **Ozono** é um GEE que é continuamente produzido e destruído na atmosfera por reacções químicas. As actividades humanas conduziram ao aumento de ozono na troposfera através da libertação de gases como o monóxido de carbono, hidrocarbonetos e N_2O , que reagem quimicamente para produzir ozono. Como foi dito anteriormente, os halocarbonetos libertados pela actividade humana destroem o ozono na estratosfera responsável pelo buraco de ozono na Antárctica;
- O **vapor de água** é o GEE mais abundante e mais importante na atmosfera. As actividades humanas têm apenas uma pequena influência directa na quantidade de vapor de água na atmosfera;
- Os **aerossóis** são pequenas partículas presentes na atmosfera com uma variada gama de tamanhos, concentrações e composições químicas. Alguns aerossóis são emitidos directamente para a atmosfera enquanto outros são formados por compostos anteriormente emitidos. Os aerossóis contêm compostos que tanto podem ocorrer naturalmente como ter sido resultado de actividades humanas. Os combustíveis fósseis e a queima de biomassa aumentaram a quantidade de aerossóis com compostos de enxofre, compostos orgânicos e fuligem. Actividades humanas como a mineração à superfície e alguns processos industriais têm aumentado a quantidade de pó na atmosfera. Entre os aerossóis naturais incluem-se o pó mineral libertado à superfície terrestre, o sal da água do mar e o enxofre e pó produzidos por erupções vulcânicas.

Nem todos os sectores de actividade humana contribuem de igual forma para as emissões de GEE. Na realidade, como foi dito anteriormente, as emissões dependem do sector e do GEE em causa. A Fig. 10 mostra o peso relativo de cada sector de actividade no total de emissões de GEE (em cima) e para cada um dos GEE principais (em baixo).

Como seria de esperar, o sector energético, no seu conjunto, detém as maiores proporções de emissões de GEE. Atrás deste, seguem-se os processos industriais e os combustíveis para transportes.

O sector agrícola é responsável directamente por 12,5% do total de emissões da globalidade dos GEE. Podem ainda ser considerados os 10% das emissões resultantes do uso do solo e queima de biomassa. Quando se analisa o caso particular de cada GEE, o sector agrícola assume uma enorme importância no que toca a emissões de CH_4 (40%) e N_2O (62%).

Em Portugal, o sector da agricultura representava em 1990 cerca de 13,3% das emissões totais de GEE. Este valor tem vindo a decrescer face em grande medida à redução da área agrícola, que foi de aproximadamente 170000 ha nas últimas duas décadas, e respectivo peso do sector na economia nacional. Em 2007, as emissões de GEE do sector agrícola representavam 9,6% do total das emissões nacionais. Além da redução da área agrícola, outros factores podem também ter contribuído para a redução do peso da agricultura nas emissões nacionais: a extensificação da actividade, com aumento das áreas de pastagens e da pecuária extensiva, o maior recurso a práticas mais sustentáveis em termos ambientais (produção biológica, produção integrada, sementeira directa e mobilização mínima) e a diminuição de utilização de fertilizantes.

As principais fontes de GEE da agricultura nacional são a fermentação ruminal (CH_4 , 39% do total), a fertilização azotada (N_2O , 33% do total) e a gestão de efluentes (CH_4 e N_2O , 23 % do total). Os restantes 5% resultam dos contributos da queima de resíduos de podas e culturas (CH_4 e N_2O), o cultivo de arroz (CH_4) e o consumo de energia (CO_2).

Em relação às emissões nacionais de GEE a agricultura só tem peso nas emissões de CH_4 (35,5% do total nacional em 2007) e de N_2O (58 % do total nacional em 2007).

Do total de CH_4 emitido pelo sector agrícola, 65% tem como origem a fermentação ruminal, 26% a gestão de efluentes e 9% a cultura do arroz. O contributo da queima de resíduos para as emissões de CH_4 é residual.

Do total de N_2O emitido pelo sector agrícola, 81% tem como origem a

fertilização azotada e 19% a gestão de efluentes. O contributo da queima de resíduos para as emissões de N_2O é igualmente residual.

Por sector de actividade agrícola, o sector pecuário é responsável por 62% das emissões provenientes da agricultura. Dentro do sector pecuário, os bovinos e os suínos são responsáveis, respectivamente, por 28% e 15% das emissões agrícolas nacionais. A fertilização azotada origina 33% das emissões de GEE da actividade agrícola enquanto o peso da cultura do arroz se fica pelos 5%.

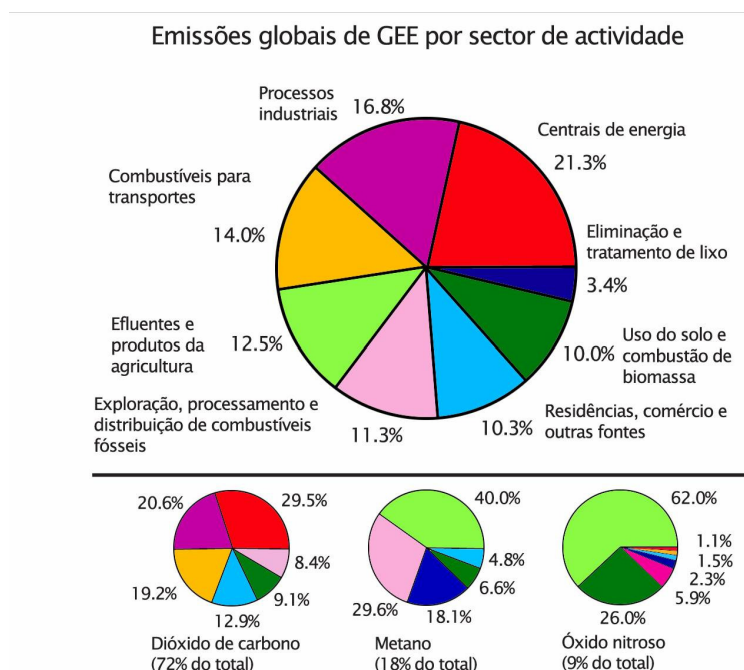


Figura 10 - Peso relativo de cada sector de actividade no total de emissões de GEE (em cima) e para cada um dos GEE principais (em baixo) estimados para o ano 2000

Fonte: adaptado de IPCC, 2007

O aumento de GEE na atmosfera não tem um efeito simples e linear no aumento da temperatura global. Na realidade, como descrito anteriormente, o sistema climático é complexo e caracteriza-se por diversos fenómenos de retro-alimentação.

Por exemplo, diversos componentes do sistema climático, designadamente os

oceanos e os seres vivos, afectam a concentração de gases de efeitos de estufa na atmosfera. É notório o facto de as plantas consumirem CO_2 convertendo-o, juntamente com água, em hidratos de carbono como resultado da fotossíntese.

Por outro lado, o efeito do aumento da temperatura aumenta a concentração de vapor de água, que ao aumentar, vai ainda provocar maior efeito de estufa. Ainda outro mecanismo de retro-alimentação envolve as nuvens que absorvem radiação infra-vermelha e, portanto, conduzem a mais efeito de estufa. Por outro lado, as nuvens também reflectem a radiação solar incidente, o que tem um efeito de arrefecimento.

Como resultados destes efeitos, apenas 55% do CO_2 emitido pela actividade humana contribui para o aumento da concentração de CO_2 na atmosfera. A restante parte é absorvida pelas plantas e pelos oceanos. O aumento da concentração de CO_2 na atmosfera resulta, então, de um balanço entre fontes (“sources”) – actividades humanas e naturais, e sumidouros (“sinks”) – a remoção ou sequestro de CO_2 da atmosfera pela conversão noutro composto químico (Fig. 11)

O ciclo natural do carbono, i.e., sem a componente antropogénica, não consegue explicar os aumentos de carbono atmosférico verificados nos últimos 25 anos: 3,2 a 4,1 Gt C por ano na forma de CO_2 (1 Gt C é igual a 1015 g de carbono).

Os processos naturais como a fotossíntese, a respiração, e as trocas de CO_2 à superfície dos oceanos, resultam em fluxos de enormes proporções em fontes e sumidouros de CO_2 entre os continentes e a atmosfera (estimado em 120 Gt C por ano) e entre os oceanos e a atmosfera (estimado em 90 Gt C por ano). Os sumidouros naturais de carbono apenas conseguem absorver um valor líquido de aproximadamente 3,3 Gt C por ano.

As suspeitas de que o aumento da concentração de CO_2 atmosférico é consequência da utilização de combustíveis fósseis resulta também da análise atómica do CO_2 (proporção de isótopo Carbono 13), por um lado, e por outro, do facto de o rácio de oxigénio e azoto na atmosfera ter diminuído com o aumento de CO_2 , o que seria de esperar se o oxigénio fosse consumido no processo de queima de combustíveis fósseis.

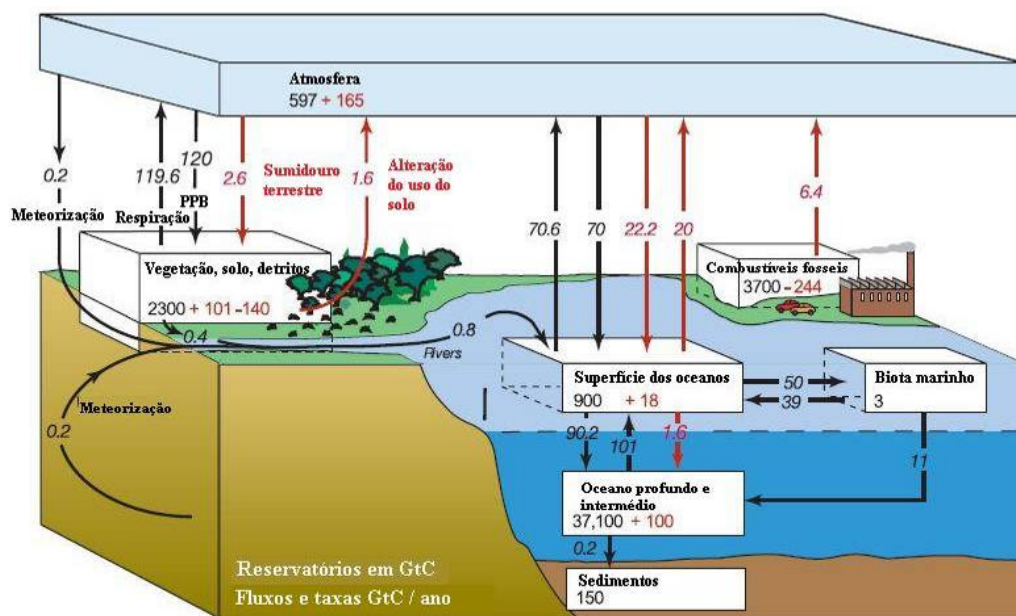


Figura 11 - O ciclo do carbono na última década do século XX mostrando os fluxos anuais em GtC/ano. Os fluxos pré-industriais surgem a preto enquanto os antropogênicos surgem a cinzento

Fonte: adaptado de IPCC, 2007

2.4. Alterações Climáticas no Passado Recente

Observações em instrumentos meteorológicos durante os últimos 157 anos mostram que as temperaturas à superfície do globo aumentaram (Fig. 5). Em relação à média global da temperatura, o aquecimento no último século ocorreu em duas fases: de 1910s a 1940s (0,35 °C) e de 1970s ao presente (0,55 °C). O aumento da taxa de aquecimento ocorreu nos últimos 25 anos, e 11 dos 12 anos mais quentes de que há registo ocorreram nos últimos 12 anos.

A Fig. 12 mostra ajustamentos lineares simples aos dados de temperatura anual média da Fig. 5 para diferentes períodos. Os declives das curvas de ajustamento linear correspondem à taxa de variação da temperatura para o período considerado. É de notar que quanto mais pequeno e mais recente é o período considerado no ajuste, mais acentuado é o aquecimento. Por exemplo, nos últimos 25 anos o aquecimento deu-se à taxa de 0,18 °C por cada dez anos.

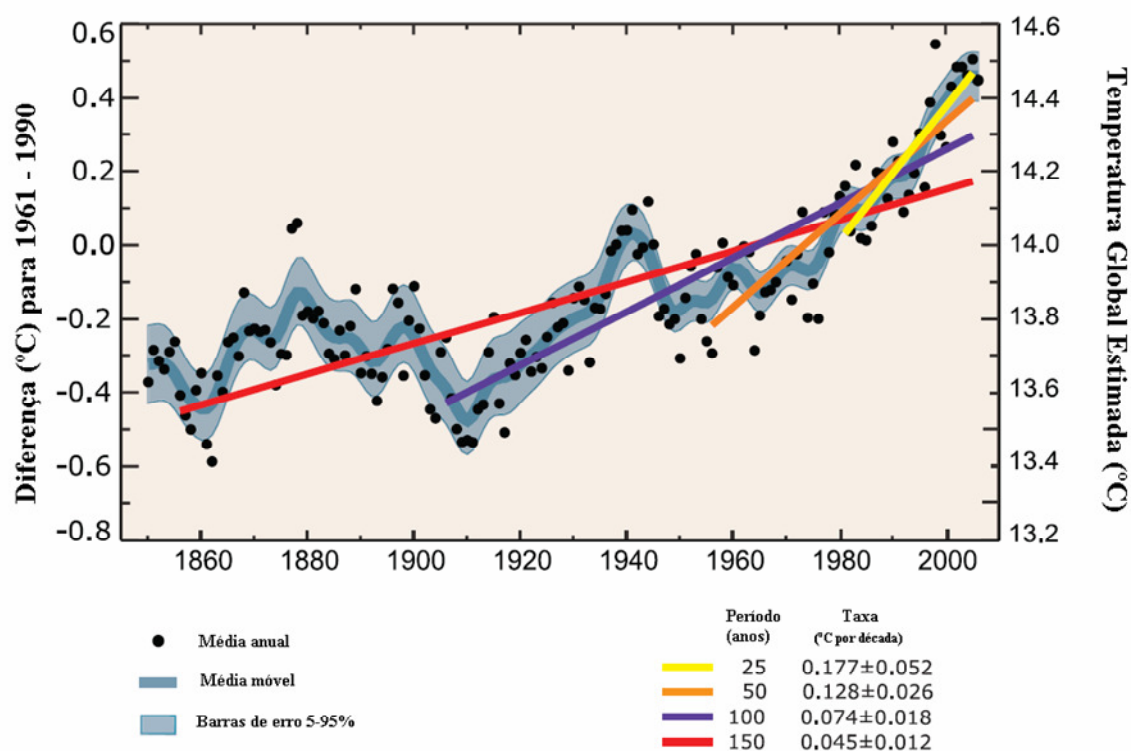


Figura 12 - Ajustamentos lineares simples aos dados de temperatura anual média (os mesmos da fig. 5) para diferentes períodos: últimos 150 anos; últimos 100 anos; últimos 50 anos e últimos 25 anos

Fonte: adaptado de IPCC, 2007

A confirmação desta tendência de aquecimento global resulta do aquecimento dos oceanos, do aumento dos níveis da água do mar, do degelo dos glaciares e da diminuição da cobertura de gelo e neve no hemisfério Norte.

A temperatura global não é o resultado da leitura num termómetro em particular. A temperatura global é registada numa rede de milhares de termómetros individuais sobre a terra e o mar a medir diariamente a temperatura e a contribuir para a estimativa da temperatura média global.

O aquecimento, em particular desde os anos setenta do século XX, tem sido geralmente maior em terra do que no mar, no Inverno do que no Verão, em zonas urbanas do que em zonas rurais. Globalmente, o aquecimento também não é uniforme. Havendo até zonas em que se tem verificado um arrefecimento como na zona norte da Antárctica (Fig. 13). Por outro lado, em zonas como o interior continental da Ásia e América do Norte tem-se sentido

um aquecimento acentuado.

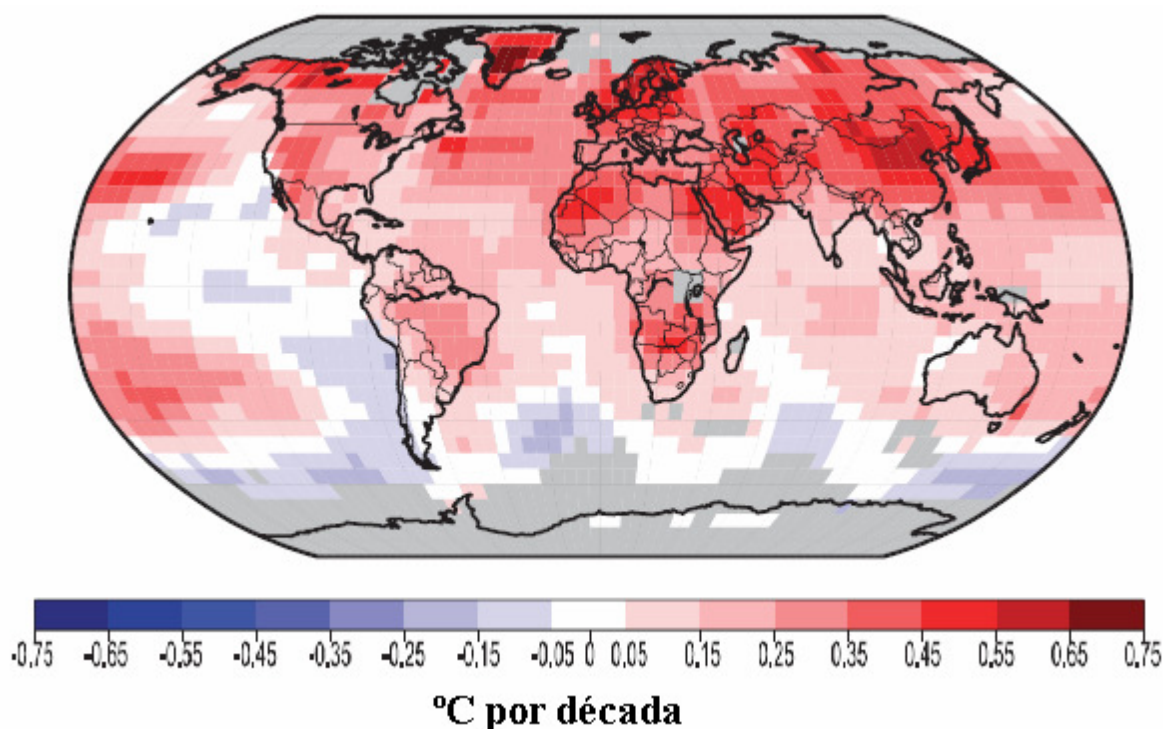


Figura 13 - Mapa da tendência de alteração da temperatura global à superfície entre 1979 e 2005

Fonte: adaptado de IPCC, 2007

Recentemente, tornou-se possível em muitas zonas do globo estudar as alterações das temperaturas máxima e mínima diárias. Particularmente desde 1950, estes estudos mostram um decrescimento do número de dias e noites muito frios e um crescimento do número de dias e noites muito quentes (Fig. 14). O comprimento do período livre de geadas aumentou na maior parte das zonas temperadas. No hemisfério Norte, este facto tem resultado num cada vez mais antecipado começo da Primavera.

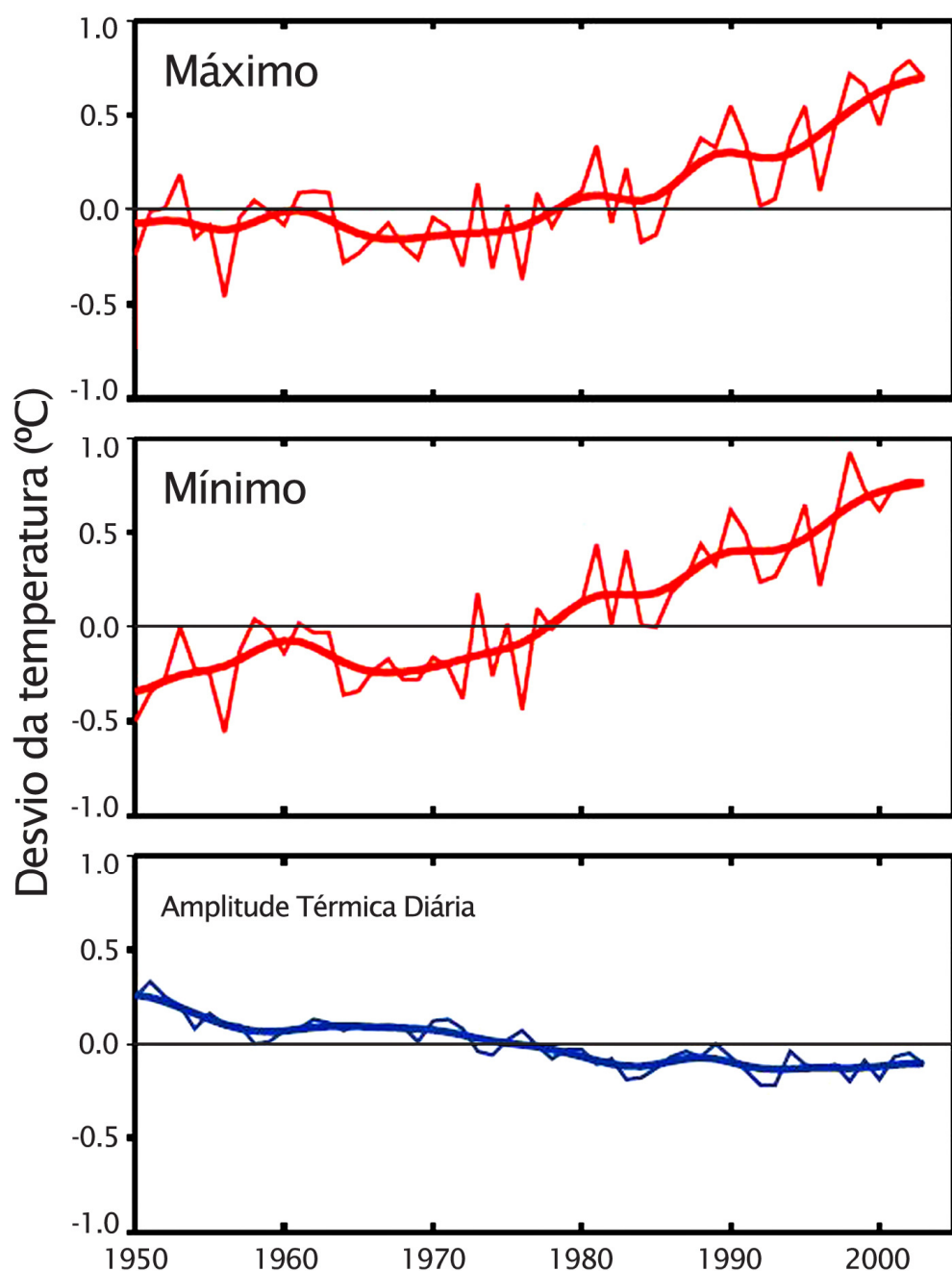


Figura 14 - Desvios anuais das temperaturas máxima e mínimas diárias e amplitude térmica diária em relação ao período 1961-1990

Fonte: adaptado de IPCC, 2007

Em coerência com os aumentos da temperatura à superfície do globo, têm-se registado diminuições no período de congelamento de rios e lagos. Em adição, a quantidade e extensão de gelo glacial tem-se reduzido a uma escala quase

global; o degelo na Gronelândia é evidente (Fig. 15); a cobertura de neve tem diminuído em muitas regiões do hemisfério Norte; a espessura do gelo no Ártico tem diminuído em todas as estações, mas muito dramaticamente na Primavera e no Verão; e o nível médio da água do mar está a aumentar (Fig 16).



Figura 15 - Sequência temporal da Ilha Warming na Gronelândia em que se pode observar a redução da área coberta por gelo. Esta ilha foi descoberta em 2007 precisamente em resultado do degelo já que se julgava até aí tratar-se de uma península

Fonte: USGS

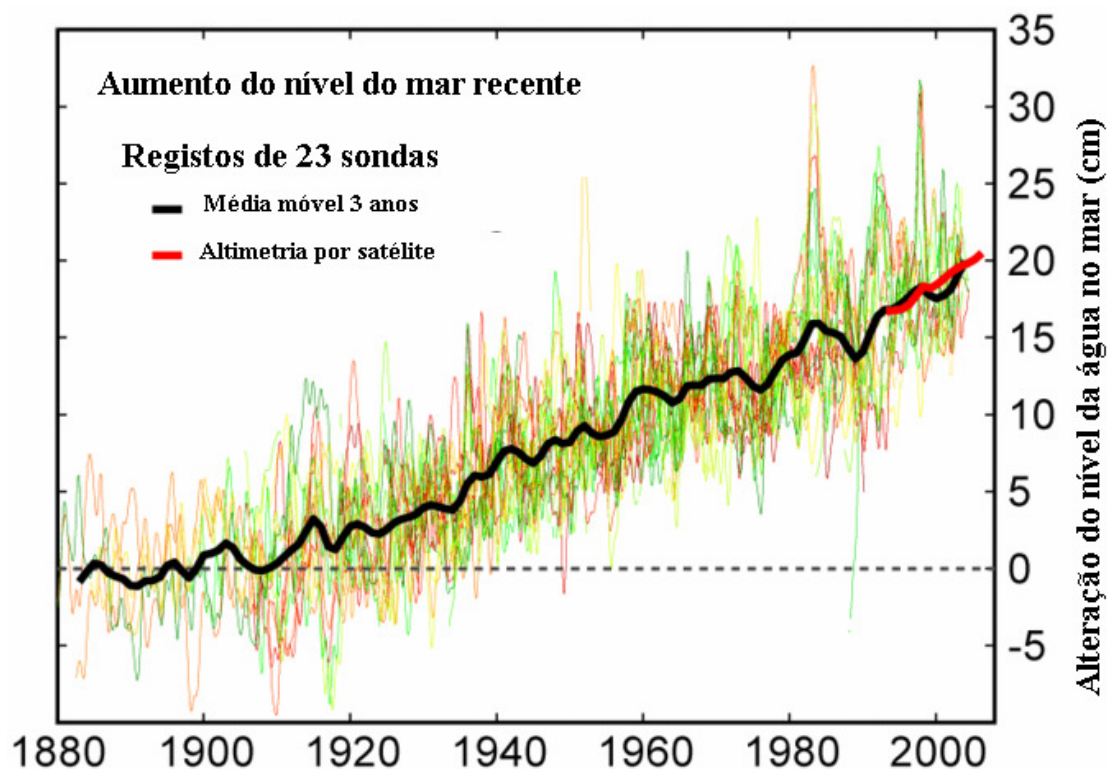


Figura 16 - Alteração recente do nível médio da água do mar

Fonte: adaptado de IPCC, 2007

As observações de satélite mostram que a cobertura de neve na Primavera do no hemisfério Norte diminuiu 2% por década desde 1966. No Ártico, a cobertura de neve média anual decresceu 2,7% por década. No Verão aquele valor sobe para 7,4%. Por outro lado, a Antártica não apresenta qualquer tendência quanto à cobertura de neve.

As observações mostram que também estão a ocorrer alterações na quantidade, intensidade, frequência e tipo de precipitação. Todos estes aspectos da precipitação exibem, geralmente, uma variabilidade natural elevada resultante de outros factores que não as alterações climáticas. Durante o período entre 1900 e 2005 verificaram-se alterações significativas na tendência de longo prazo da quantidade de precipitação nalgumas zonas: mais chuvoso na zona ocidental da América do Norte, Norte da Europa e Norte e Centro da Ásia, e mais seco no Sahel, Sul da África, Mediterrâneo e Sul da Ásia. A Fig. 17 mostra o mapa e a evolução temporal de um índice de severidade de

seca (PDSI) que exprime o deficit de água no solo acumulado tendo em consideração a precipitação e a temperatura.

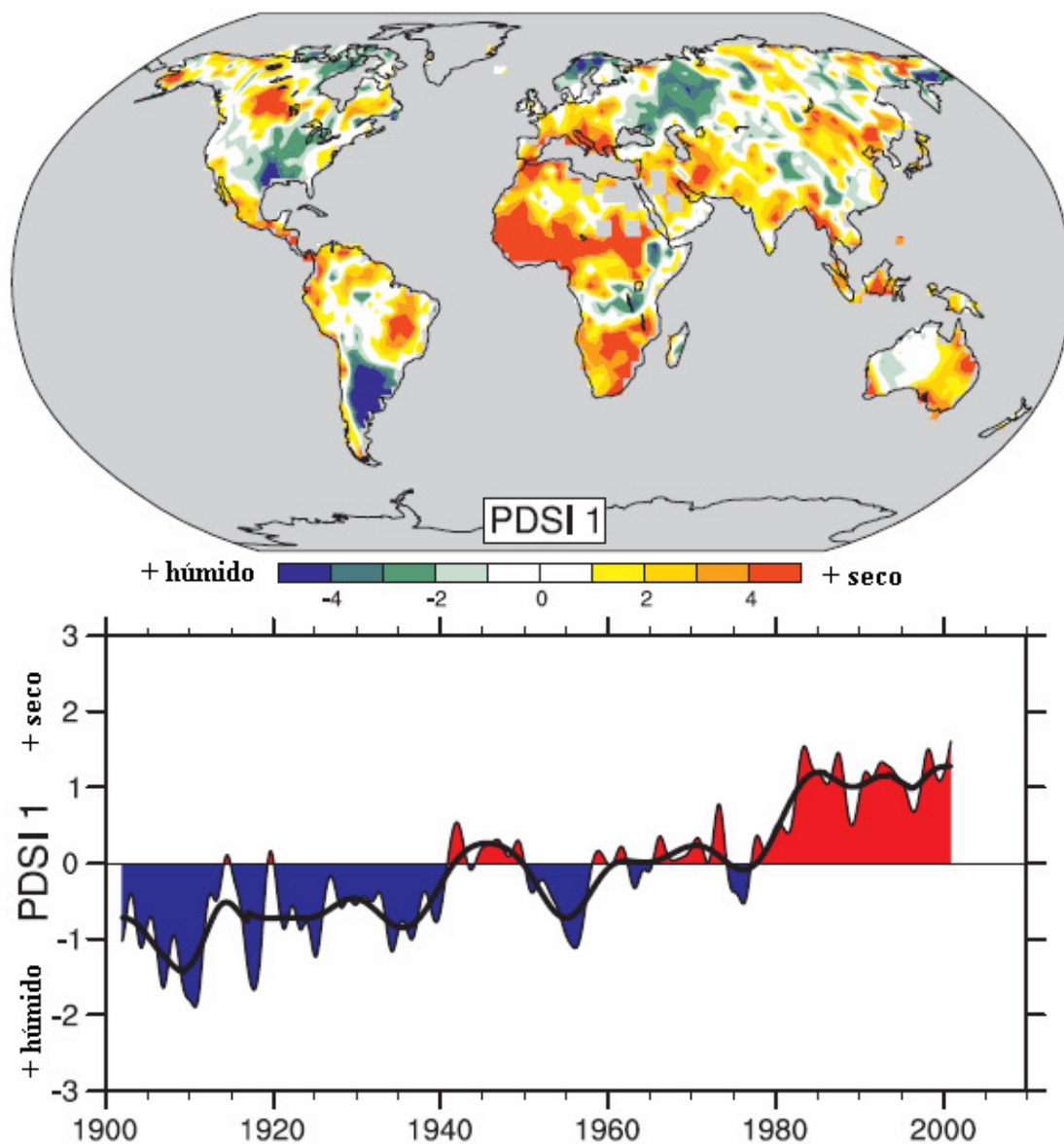


Figura 17 - Mapa e a evolução temporal de um índice de severidade de seca (PDSI) que exprime o deficit de água no solo acumulado tendo em consideração a precipitação e a temperatura

Fonte: adaptado de IPCC, 2007

Também se tem verificado um aumento da intensidade da precipitação, mesmo em zonas em que a quantidade total de precipitação tem diminuído. Estas alterações estão relacionadas com o aumento do vapor de água na atmosfera, em resultado do aumento da temperatura dos oceanos. Noutras zonas estão a registar-se aumentos dos períodos de seca assim como a frequência de cheias.

O tipo, frequência e intensidade de eventos climáticos extremos está a modificar-se com as alterações climáticas. Essas modificações podem ocorrer mesmo que as alterações climáticas não sejam muito intensas. E na realidade, alguns tipos de eventos extremos já estão a ser observados como, por exemplo, o aumento da frequência e intensidade das ondas de calor e precipitações intensas (Fig. 18).

Desde 1950 o número de ondas de calor tem aumentado assim como o número de noites quentes. A extensão de regiões afectadas por secas aumentou. Em geral, o número de dias com taxa de precipitação elevada aumentou.

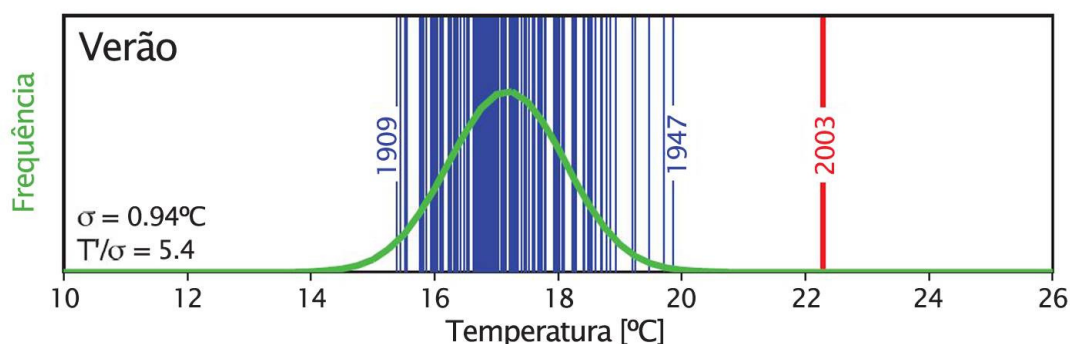


Figura 18 - Distribuição da temperatura média no Verão na Suíça entre 1864 e 2003. O valor médio é de aproximadamente 17°C como mostra a distribuição normal. Num ano extremamente quente (2003), a temperatura média excede todos os registos (uma linha vertical para cada ano)

Fonte: adaptado de IPCC, 2007

2.5. Alterações Climáticas Futuras

O estudo das alterações climáticas futuras e seus impactos não se apresenta como trivial já que o objecto de estudo, o clima do futuro, além de ser incerto, por definição, ainda não ocorreu. Desta forma, as metodologias clássicas de estudo técnico-científico baseadas em experimentação física de determinadas hipóteses ficam em grande medida postas de lado.

Há, no entanto, metodologias alternativas que permitem o estudo das alterações climáticas. Nos estudos por análise de sensibilidade, o comportamento do sistema é investigado assumindo ajustes arbitrários das principais variáveis força. Desta forma, causando um conjunto de perturbações, podemos construir curvas de impacto.

Nos estudos por analogia, eventos extremos históricos são analisados em relação ao seu impacto e permitindo assim planejar medidas de resposta num futuro de alteração climática. Ainda no âmbito da analogia, é possível estudar climas análogos espaciais, i.e., climas da actualidade semelhantes ao esperado em determinada região no futuro. Desta forma, é possível analisar os impactos e medidas de adaptação.

A principal metodologia alternativa para o estudo das alterações climáticas é através da modelação do sistema climático. De forma a tentar entender o funcionamento do sistema climático, os cientistas têm construído modelos do funcionamento da atmosfera. Os modelos climáticos são representações matemáticas do sistema climático expressas em código computacional e corridos em potentes computadores.

Esses modelos, designados por Modelos Gerais de Circulação da Atmosfera - GCM, além de permitirem compreender os actuais padrões climáticos existentes na Terra, permitem também simular o clima no futuro. Estas simulações são de extrema importância estratégica já que permitem prever as principais alterações climáticas e, desta forma, estudar os seus possíveis impactos.

Os modelos climáticos actuais permitem alguma confiança na estimativa quantificada das alterações climáticas futuras, em particular à escala continental e global, já que a sua resolução espacial é de 300 km. Esta

confiança resulta por um lado do facto de os modelos climáticos se basearem em princípios físicos bem aceites (conservação da massa, da energia e o momento) e, por outro, da sua capacidade em reproduzir as condições climáticas actuais e do passado.

Apesar da considerável confiança depositada na capacidade dos modelos climáticos, estes ainda apresentam erros significativos, particularmente quando se reduz a escala de análise. De facto, ainda é difícil simular fenómenos como a precipitação tropical ou o *El Nino* quer por desconhecimento do funcionamento dos fenómenos quer por inexistência de capacidade computacional para os simular.

Contudo, apesar destas dificuldades, os modelos climáticos são unânimes na sua previsão de um aquecimento substancial do clima na presença de gases de efeito de estufa.

Uma vez que a confiança nas alterações projectadas pelos modelos climáticos é menor à medida que a escala de estudo se reduz, surgem outros modelos, os modelos climáticos regionais. Os modelos climáticos regionais foram desenvolvidos especificamente para o estudo regional ou local do clima, pelo que têm um grau de confiança superior. Estes modelos alimentam-se inicialmente dos modelos climáticos GCM e já apresentam uma resolução espacial na ordem dos 50 km. O modelo regional mais utilizado é o do Hadley Center na versão 3, designado por HadRM3.

Para que os modelos climáticos possam simular as alterações climáticas futuras tornou-se necessário definir cenários que contemplem o comportamento do Homem face às emissões de gases de efeito de estufa. Isso resulta do facto de as medidas que o Homem tomar para mitigar as alterações climáticas terem um impacto directo no futuro do clima na Terra. E quanto a estas medidas, vários cenários se podem colocar.

As emissões de gases de efeito de estufa no futuro serão o resultado de complexos sistemas dinâmicos determinados por forças como o desenvolvimento demográfico, o desenvolvimento sócio-económico e a inovação tecnológica. A evolução futura destas variáveis é altamente incerta, e daí a necessidade de criar cenários que espelhem as diversas possibilidades.

Os cenários criados, designados por cenários SRES (IPCC, 2000), têm extrema

importância sob diversos aspectos. São utilizados na modelação do clima, por um lado e, por outro lado, são utilizados na avaliação de impactos e de medidas de adaptação e mitigação.

Os cenários SRES agrupam-se em 4 grandes famílias que descrevem possibilidades de desenvolvimento futuro distintas e incompatíveis entre si:

- A1 – A família de cenários A1 descreve o futuro do mundo com (a) um crescimento económico muito rápido e (b) uma população global que atinge o máximo em meados do século XXI e que depois entra em declínio e (c) uma rápida introdução de novas e mais eficientes tecnologias. Os cenários A1 contam com uma convergência entre diferentes regiões, um unir de esforços para fim comuns e uma capacidade de interacção cultural e social aumentada. Conta ainda com uma substancial redução das diferenças regionais do rendimento per capita. Esta família de cenários divide-se em 3 grupos de acordo com a direcção da inovação tecnológica do sistema energético: A1FI – intensiva utilização de combustíveis fósseis; A1T – fontes de energia não fósseis; A1B - um conjunto balanceado de fontes de energia;
- A2 - A família de cenários A2 descreve o futuro do mundo como heterogéneo, em que cada região funciona independentemente e preserva a sua identidade. Os padrões de crescimento entre regiões convergem muito lentamente, o que resulta num aumento da população mundial. O desenvolvimento económico é principalmente regional e o crescimento económico per capita e inovação tecnológica são os mais lentos de todas as famílias de cenários;
- B1 – A família de cenários B1 descreve um futuro convergente com o mesmo padrão de evolução da população de A1, mas com alterações rápidas para uma economia baseada em serviços e informação, com redução de bens materiais e introdução de tecnologias limpas e eficientes em termos de utilização de recursos. Esta família de cenários prevê o surgimento de soluções sustentáveis do ponto de vista económico, social e ambiental, mas sem quaisquer medidas de cariz climático;
- B2 – A família de cenários B2 prevê um futuro em que a ênfase é dada

a soluções locais de sustentabilidade económica, social e ambiental. A população mundial continua a crescer a uma taxa menor que no cenário A2, com níveis intermédios de desenvolvimento económico e com inovação tecnológica mais lenta e mais diversa do que no cenário B1 e A1. Esta família de cenários é igualmente orientada para a protecção ambiental e equidade social, mas com soluções locais e regionais.

De uma forma mais simplificada, as famílias de cenários podem ser expressas segundo duas variáveis: tipo de governação (regional vs. global) e prevalência de valores (economia vs. ambiente) tal como se encontra esquematizado na Fig. 19.

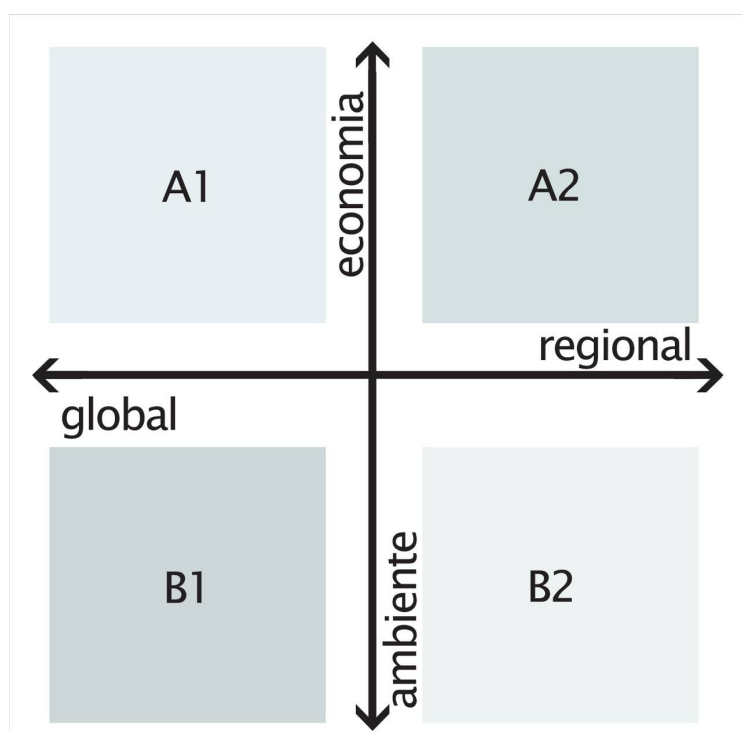


Figura 19 - Tipos de cenários a longo prazo do estudo das alterações climáticas em função do tipo de governação e valores preponderantes

Fonte: adaptado de IPCC, 2007

Deste modo, a cada um dos cenários dentro de cada uma das famílias resulta um padrão de emissão de GEE diferente, cujas implicações na variação da temperatura ou noutro parâmetro meteorológico são também diferente.

De entre os diversos cenários de todas as famílias, cerca de 40 no total, não é possível afirmar com rigor qual deles será o mais provável, já que isso dependerá fortemente das opções tomadas pelos governos face às alterações climáticas.

As projecções das concentrações de CO₂ para 2100 apontam para os cenários ilustrativos (cenários marcadores de cada uma das famílias) uma variação entre as 540 ppm e as 970 ppm (Fig. 20). Com base nestes aumentos de CO₂ é possível fazer projecções sobre o aquecimento global (Fig. 21).

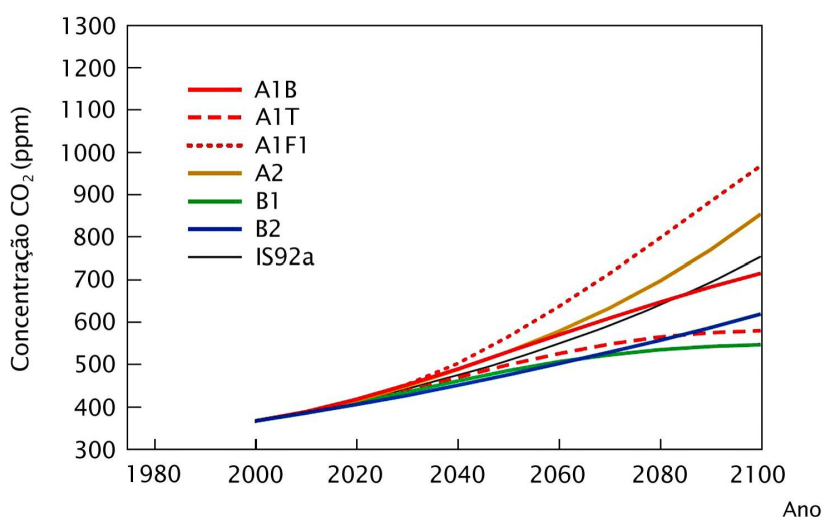


Figura 20 - Projeções futuras da concentração de CO₂ em função dos cenários de alteração climática SRES

Fonte: adaptado de IPCC, 2007

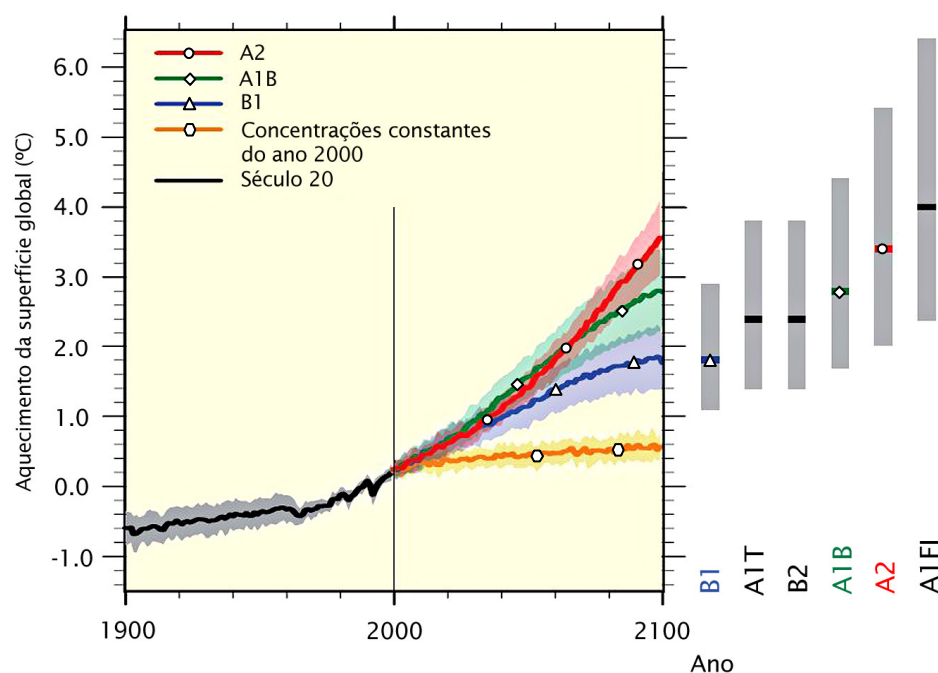


Figura 21 - Projeções futuras do aquecimento global em função dos cenários de alteração climática SRES

Fonte: adaptado de IPCC, 2007

Deste modo, as projeções para o aquecimento global são diversas e conduzem a aumentos da temperatura média desde 1,5 °C até 6°C em função do cenário considerado na análise. Os cenários com governação global e prevalência de valores ambientais (e.g. B1) apresentam menores aumentos de CO₂ e, conseqüentemente, menores aquecimentos. Ao contrário, os cenários com governação regional e prevalência de valores económicos (A2) apresentam dos maiores aumentos de CO₂ atmosférico e, como seria de esperar, os maiores aquecimentos.

É importante reter que independentemente do cenário futuro em análise, mesmo para os que conduzem a menores emissões de GEE, haverá sempre aquecimento global a que não será possível escapar.

De igual modo, é possível fazer projeções para outros parâmetros meteorológicos como a intensidade de precipitação (Fig. 22), a ocorrência de geadas (Fig. 23) e de ondas de calor (Fig. 24). Também para estes se verifica que mesmo nos cenários com menores emissões (B1), haverá sempre um

impacto das alterações climáticas, designadamente o aumento da variabilidade da precipitação, da ocorrência de geadas e das ondas de calor.

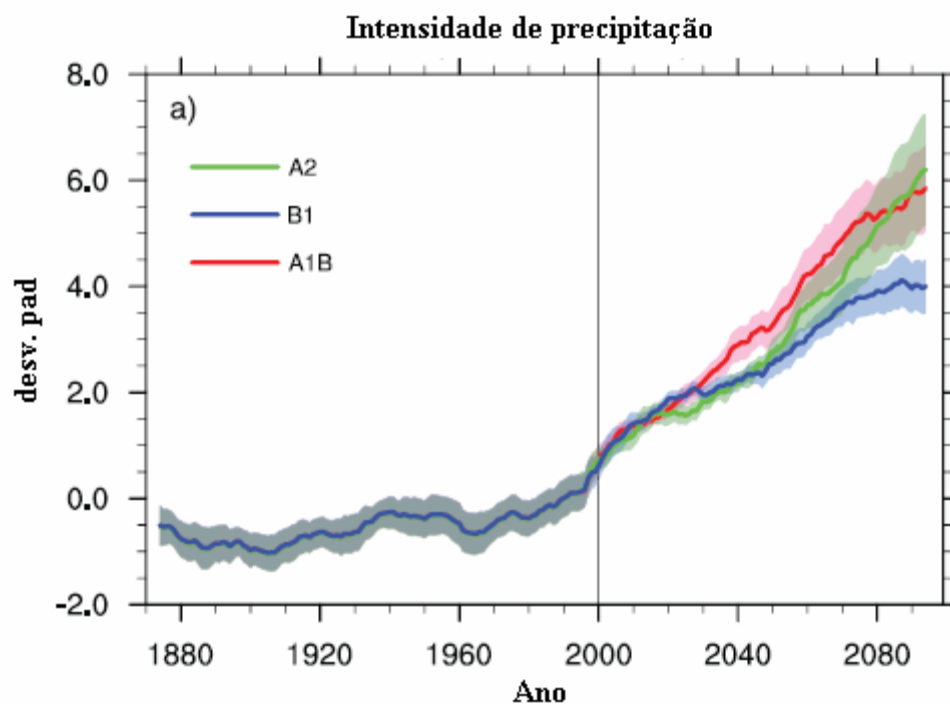


Figura 22 - Projecções futuras do desvio padrão da intensidade de precipitação em função dos cenários de alteração climática SRES

Fonte: adaptado de IPCC, 2007

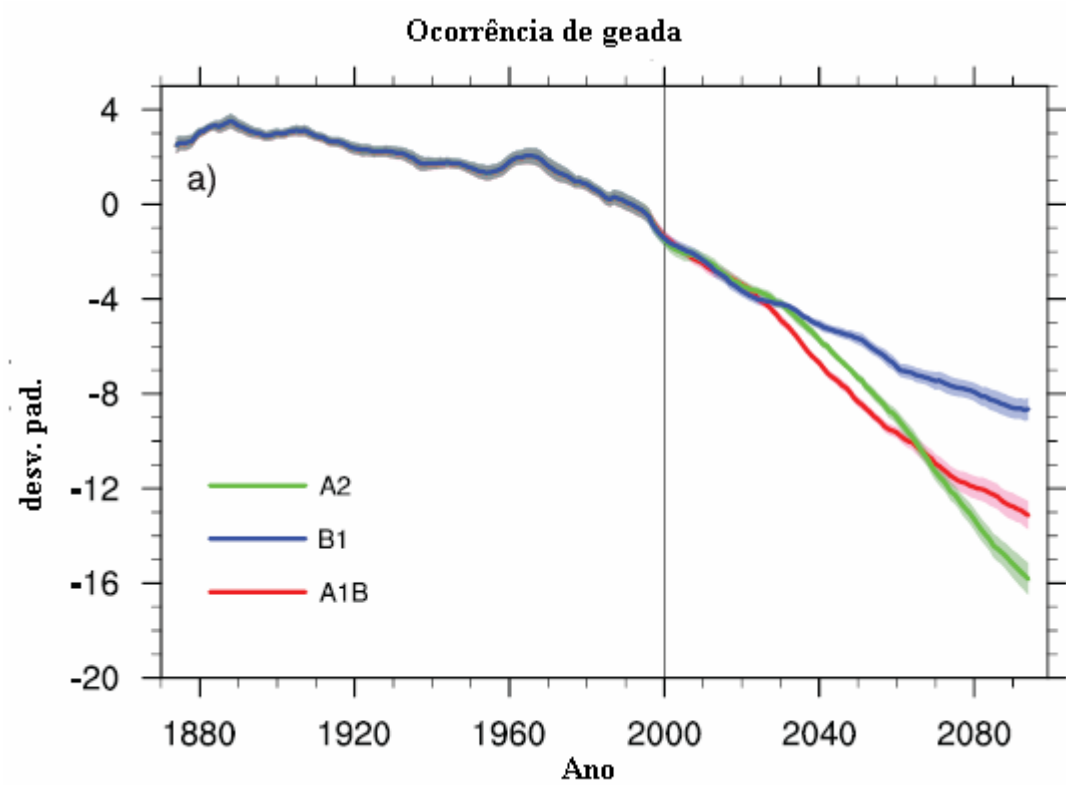


Figura 23 - Projeções futuras do desvio padrão da ocorrência de geada em função dos cenários de alteração climática SRES

Fonte: adaptado de IPCC, 2007

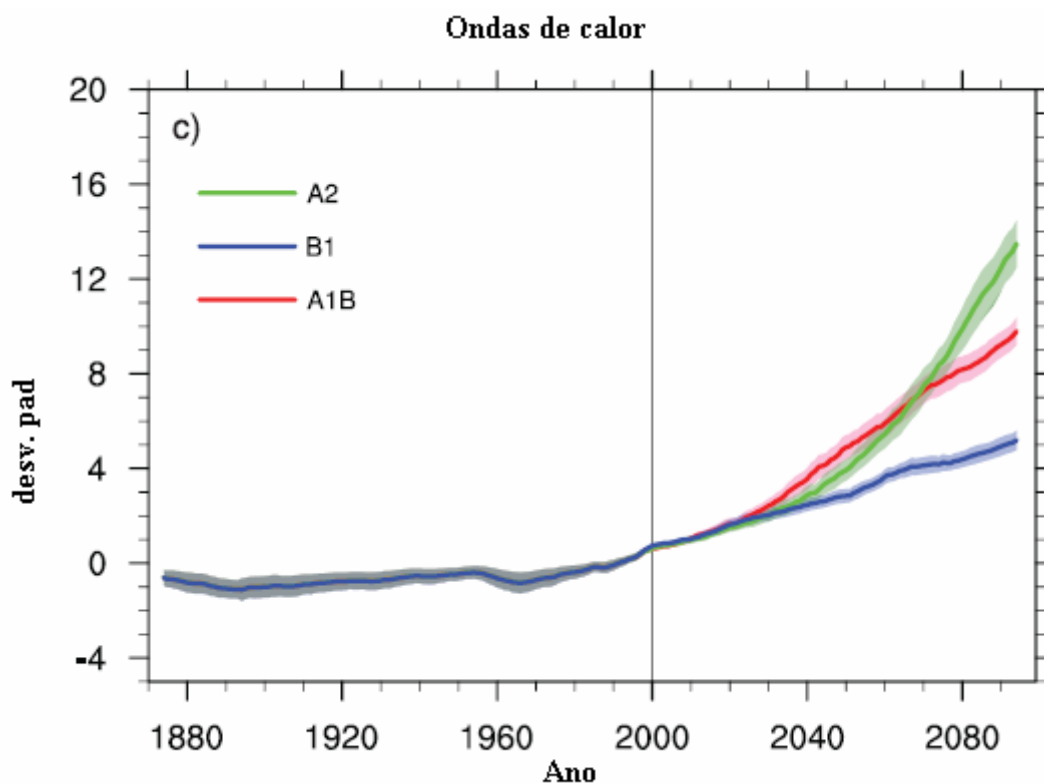


Figura 24 - Projeções futuras do desvio padrão da ocorrência de ondas de calor em função dos cenários de alteração climática SRES

Fonte: adaptado de IPCC, 2007

2.6. Alterações Climáticas em Portugal

A região mediterrânea é particularmente vulnerável às alterações climáticas. Foi por isso importante que logo em 1999 se tivessem iniciado estudos integrados e multisectoriais para abordar os impactos das alterações climáticas em Portugal. De facto, numa iniciativa pioneira, decorreram em Portugal os projectos SIAM I e SIAM II – Alterações Climáticas em Portugal: Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação entre os anos de 1999 – 2002 e de 2002 – 2003, respectivamente. Os dois projectos contaram com equipas multidisciplinares (11 equipas num total de 61 investigadores) para estudar os impactos das alterações climáticas em sectores tão diversos como os recursos hídricos, a agricultura, a saúde humana, a energia, a floresta e as pescas, entre outros. São dados destes dois projectos que aqui se apresentam para

caracterizar as alterações climáticas no passado recente e futuro em Portugal.

As séries climáticas 1931 – 2000 de temperaturas máxima e mínima revelam as mesmas tendências observadas a nível mundial, i.e., um aumento significativo dos valores médios (Fig. 25).

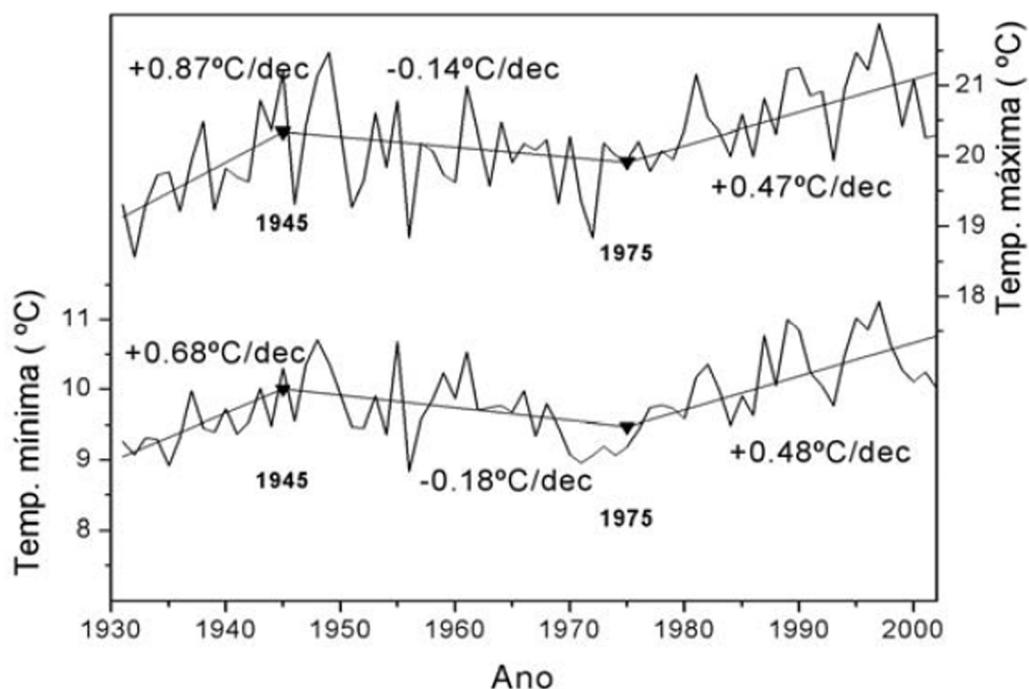


Figura 25 - Evolução temporal das médias das temperaturas máxima e mínima em Portugal Continental. Estão representadas as tendências para os períodos 1930-1945, 1946-1975 e 1976-2002 em °C por década

Fonte: SIAMII

Contudo, no período em análise, a tendência não se manteve constante. De facto, houve um aquecimento até 1945, seguido de um período de 30 anos com um moderado arrefecimento. Finalmente, desde 1975 têm-se mantido a tendência para o aquecimento. Esta mesma tendência foi observada a nível mundial.

No período 1931 – 2000, os seis anos mais quentes ocorreram entre 1989 e 2000, i.e., nos últimos 12 anos em consideração. O número de noites com

temperatura mínima superior a 20°C está a aumentar à taxa de 4,2 dias por década desde 1975. O mesmo se passa para o número de dias com temperatura máxima superior a 25°C à taxa de 3,9 dias por década (Fig. 26).

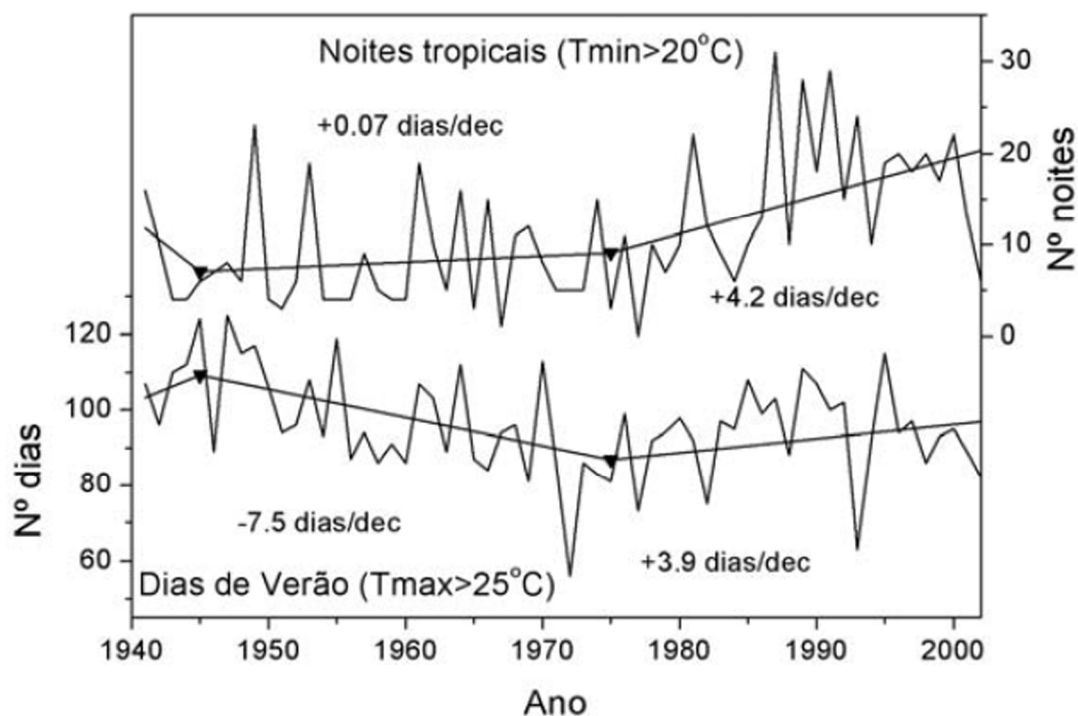


Figura 26 - Evolução do número anual de noites tropicais ($T_{min} > 20^{\circ}\text{C}$) e número de dias de Verão ($T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$) em Lisboa/Geofísico e respectivos ajustes lineares com tendências apresentadas em dias por década

Fonte: SIAMII

A Figura 27 apresenta a evolução temporal da precipitação sazonal média em Portugal. É notória a redução da precipitação na Primavera nas últimas três décadas do século XX. Contudo, nenhuma outra alteração é estatisticamente significativa. Esta tendência é confirmada pelo índice de severidade de seca (PDSI) que mostra um agravamento particularmente acentuado entre 1991 - 2000 e na zona Sul do país (Fig. 28).

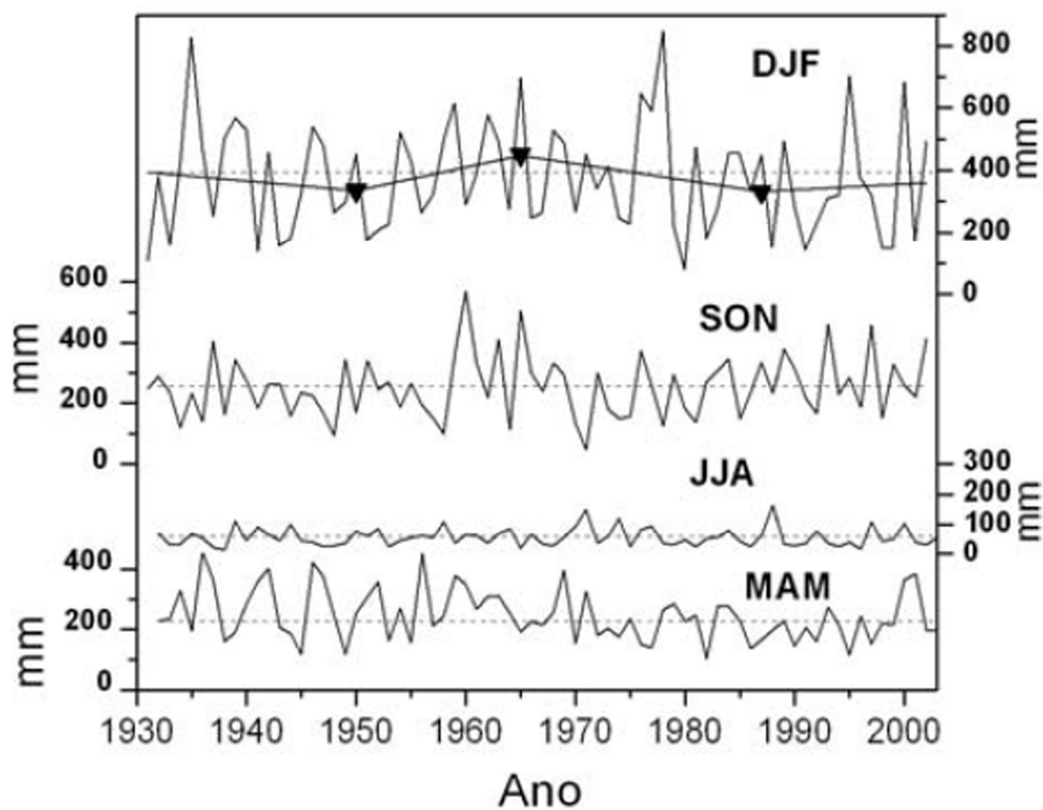


Figura 27 - Evolução temporal da precipitação sazonal (cima para baixo: Inverno, Outono, Verão e Primavera) média em Portugal Continental. As linhas a tracejado representam o valor médio no período

Fonte: SIAMII

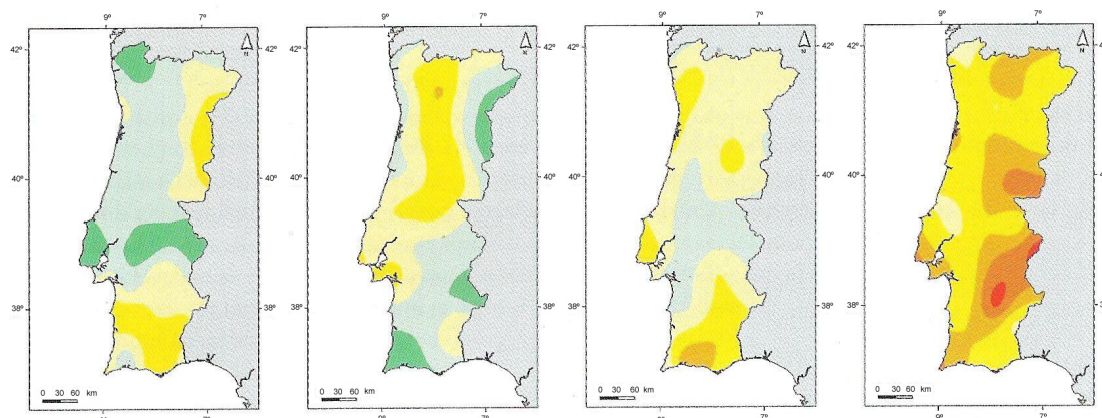


Figura 28 - Distribuição do índice de severidade de seca (PDSI) em Portugal. Médias das décadas de 1961-70, 1971-1980, 1981-1990 e 1991-2000 (da esquerda para a direita), para o mês de Abril. Quanto mais vermelha a classe maior é o índice de seca

Fonte: adaptado de SIAMII

Quanto a alterações climáticas futuras, apresentam-se nas Figuras 29 a 33 os cenários A2 e B2 para alguns parâmetros meteorológicos como a temperatura mínima no Inverno, temperatura máxima no Verão, o número de dias quentes, o número de dias de geada e as anomalias na precipitação anual.

Para todos os parâmetros, o cenário A2 apresenta sempre alterações mais acentuadas do que o B2, já que corresponde a maiores emissões de GEE. Os padrões espaciais para ambos os cenários são idênticos entre si e em relação às observações 1961 – 1990, o Sul mais quente, com menos geadas e precipitação do que o Norte.

Assim, regra geral, o clima de Portugal no futuro caracterizar-se-á por temperaturas máximas e mínimas mais elevadas, com maior número de dias muito quentes e menor ocorrência de geadas. Ocorrerão quebras na precipitação que podem atingir os 50% (no Sul).

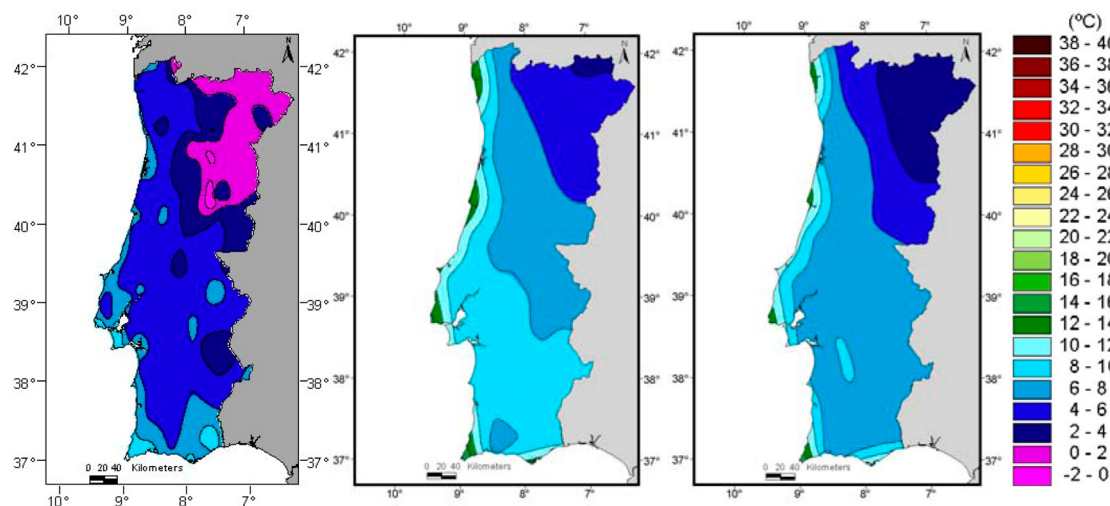


Figura 29 - Média da temperatura mínima no Inverno: (a) observações 1961-1990; (b) cenário A2 (f) cenário B2

Fonte: adaptado de SIAMII

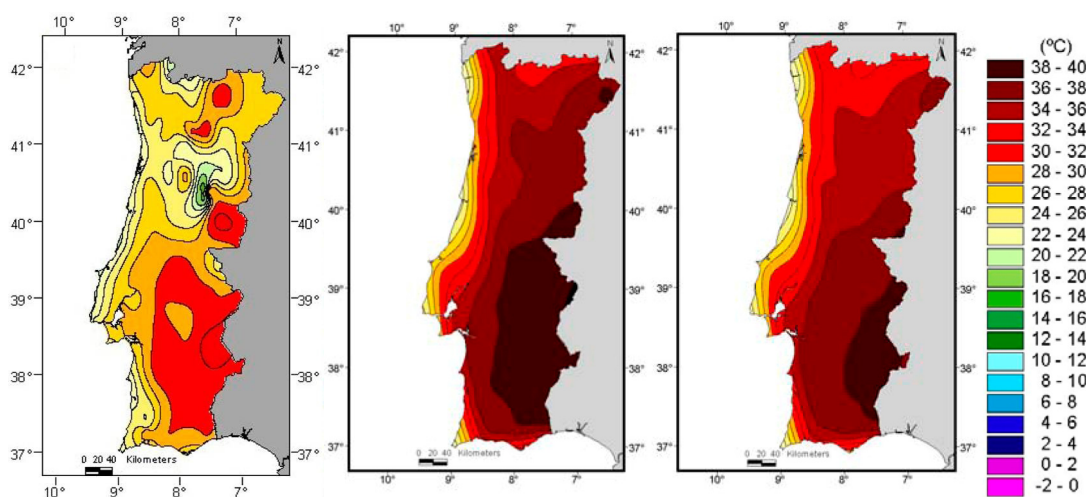


Figura 30 - Média da temperatura máxima no Verão: (a) observações 1961-1990; (b) cenário 2100 A2 (f) cenário 2100 B2

Fonte: adaptado de SIAMII

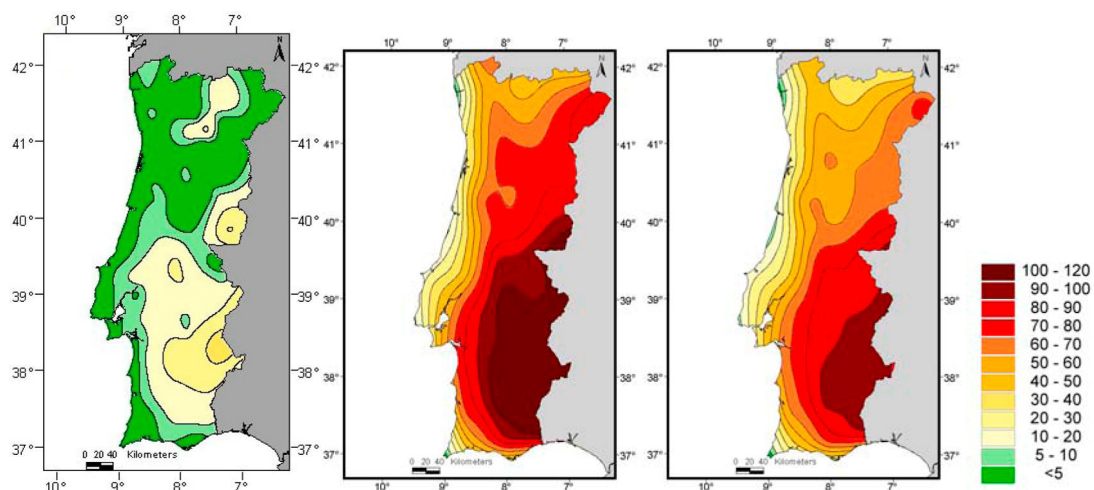


Figura 31 - Número de “dias muito quentes” por ano (temperatura superior a 35°C): (a) observações 1961-1990; (b) cenário 2100 A2 (f) cenário 2100 B2

Fonte: adaptado de SIAMII

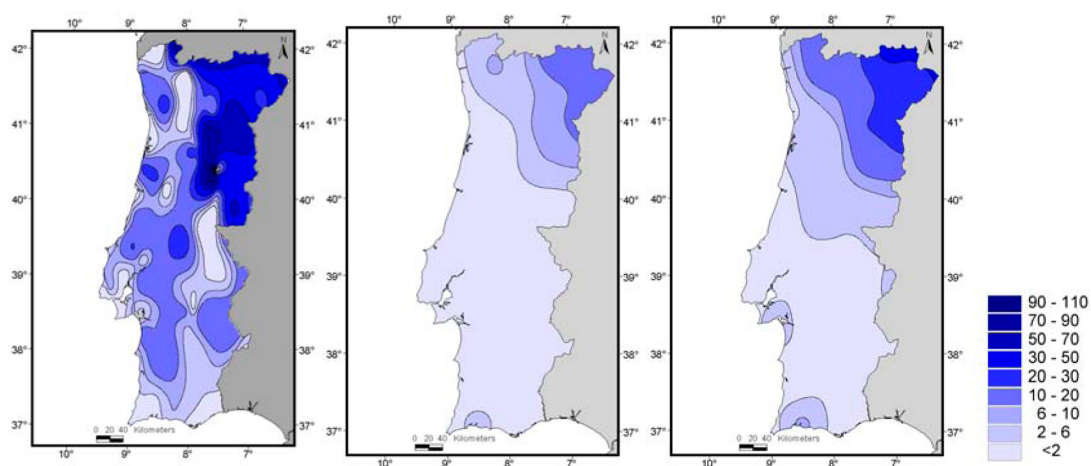


Figura 32 - Número de “dias de geada” por ano: (a) observações 1961-1990; (b) cenário 2100 A2 (f) cenário 2100 B2

Fonte: adaptado de SIAMII

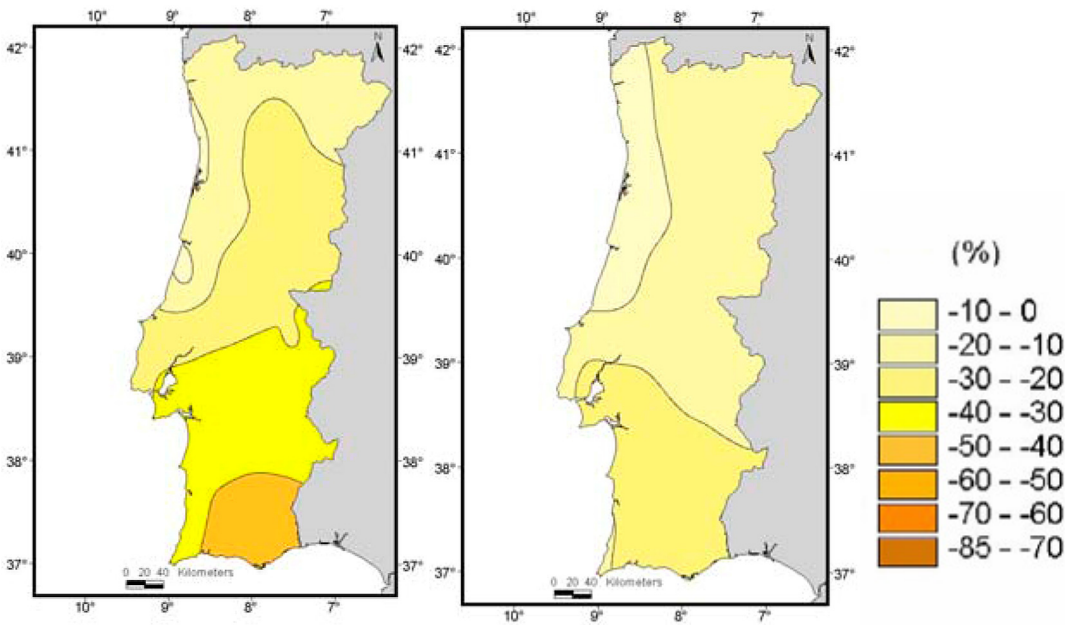


Figura 33 - Anomalia da precipitação anual para o cenário A2 e B2 em 2100

Fonte: adaptado de SIAMII

3. IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NA AGRICULTURA

3.1. Introdução

Os impactos das alterações climáticas já se estão a fazer sentir na actualidade. O IPCC já encontrou evidências de que as alterações climáticas já estão a afectar muitos sistemas físicos e biológicos, em particular nas zonas temperadas.

Neste capítulo serão relatados impactos das alterações climáticas na agricultura a dois níveis: os que se estão a constatar nas últimas décadas e os que se projectam para o final deste século.

A análise dos impactos que se estão a verificar nas últimas décadas resulta sobretudo da observação de tendências. Deste modo, é necessário distinguir entre os impactos resultantes das alterações climáticas e os resultantes de outras forças concorrentes, como a inovação tecnológica.

3.2. Clima, Condições Meteorológicas e Produção Agrícola

As condições meteorológicas afectam drasticamente a produtividade agrícola. Desde logo, a distribuição geográfica das culturas e pastagens é função do clima e do fotoperíodo. A quantidade total de precipitação, assim como o seu padrão de variação, são aspectos importantes para os sistemas agrários. As Figuras 34 e 35 mostram a alteração da classificação climática em virtude das alterações previstas até 2100 e a consequente alteração da duração da estação de crescimento vegetativo.

As culturas apresentam limites climáticos que afectam o seu crescimento, desenvolvimento e produtividade. Há também factores climáticos limitantes para a produtividade que apenas são efectivos durante alguns dias, como no caso dos cereais e árvores de fruto. Estes incluem valores de temperatura associados a fases fenológicas específicas e que condicionam a formação de órgãos reprodutivos, como grãos e frutos.

Deste modo, é fácil prever que as alterações climáticas têm um forte impacto na actividade agrícola. Os efeitos principais são contudo os impactos do aquecimento global na fenologia e do aumento de CO_2 na eficiência fotossintética das culturas.

Aqueles dois efeitos podem ter consequências antagónicas. Por um lado, o aquecimento reduz a duração do ciclo das culturas e, portanto, a produtividade. Por outro lado, o aumento de CO_2 aumenta a taxa fotossintética e, portanto, a produtividade. O que estará em jogo será verificar se a redução da duração do ciclo é compensada pelo aumento da taxa fotossintética. Em função do balanço entre as duas componentes, o resultado pode ser diverso desde a quebra de produtividade até ao seu aumento.

É lógico que naquele balanço há muitas outras variáveis determinantes, sendo a principal a disponibilidade hídrica. Sem estas as culturas não poderão tirar partido do aumento do CO_2 . Outras variáveis importantes no balanço entre a duração do ciclo e a taxa fotossintética são os impactos das alterações nas pragas, doenças e infestantes.

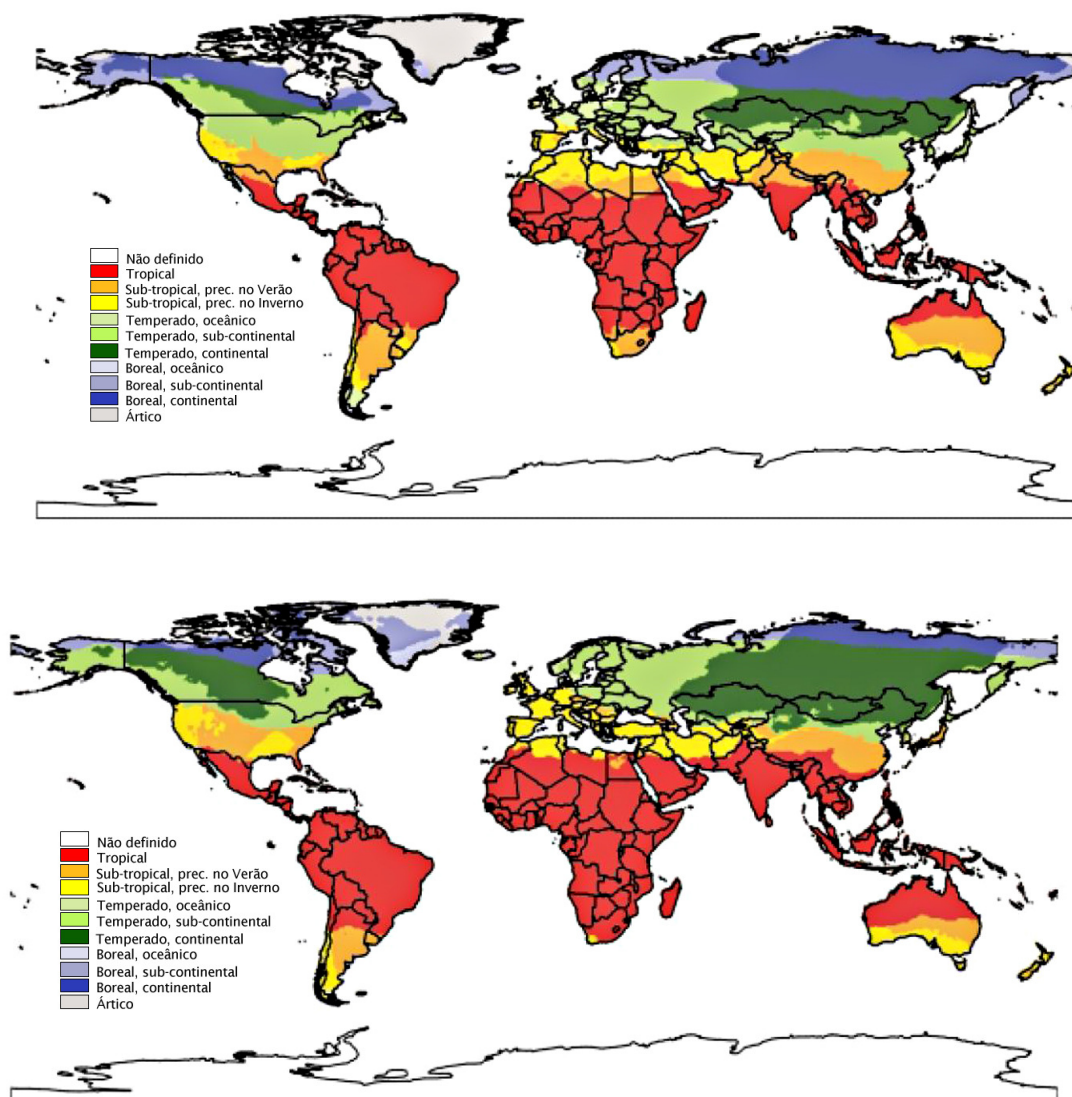


Figura 34 - Classificação climática mundial para o período 1961-1990 (cima) e 2071-2100 (baixo)

Fonte: adaptado de IIASA

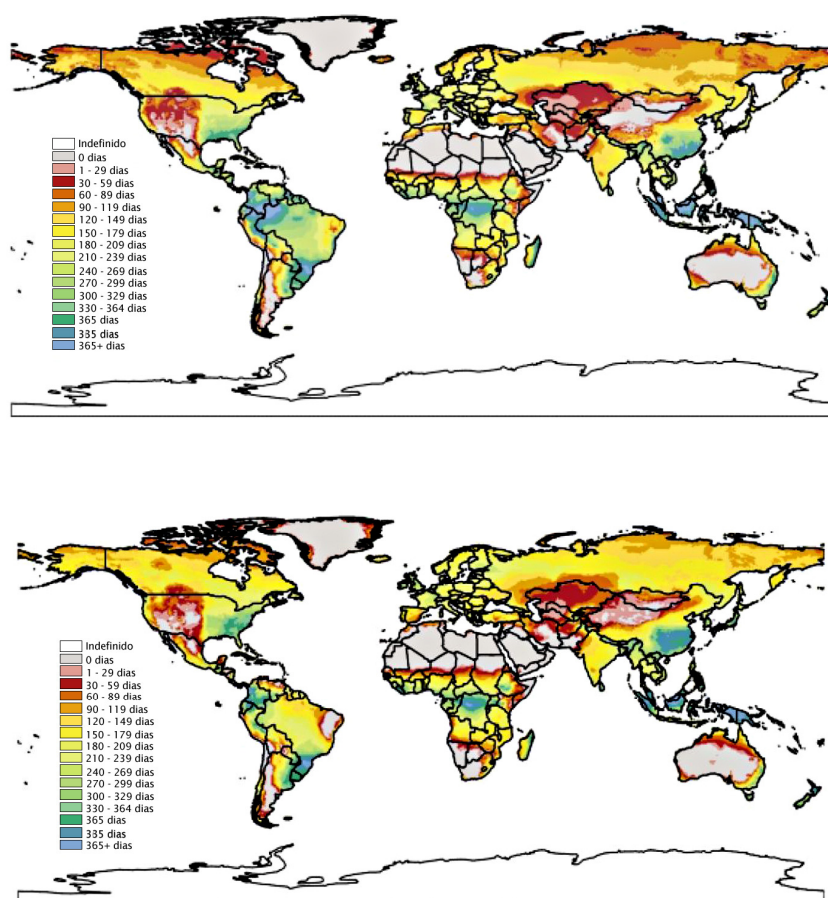


Figura 35 - Duração da estação de crescimento vegetativo período 1961-1990 (cima) e 2071-2100 (baixo)

Fonte: adaptado de IIASA

Integral térmico e desenvolvimento

O efeito da temperatura no desenvolvimento fenológico das culturas pode ser pensado numa lógica de integral térmico, i.e., número de grau.dia que determinada cultura necessita “acumular” para completar o seu ciclo. Desta forma, em todos os dias do seu ciclo, a cultura vai “acumular” a diferença entre a temperatura média e uma determinada temperatura base de crescimento (e.g. 10°C). Quando atingir o seu integral térmico (e.g. 1000 °C.dia), a cultura completa o seu ciclo. Em dias em que a temperatura média do ar não é superior à temperatura base, não há acumulação de graus.dia. Porém, em dias em que tal sucede, a acumulação é proporcional à temperatura média. Deste

modo, quanto mais elevada a temperatura média durante o ciclo mais curto será o ciclo. Como é evidente há limites biológicos para aplicação deste princípio como, por exemplo, a existência de temperaturas acima das quais também não há lugar a acumulação de grau.dia, designadas por temperaturas máximas.

Como exemplo para uma cultura com temperatura base de 10°C e um integral térmico de 1000 °C.dia, o ciclo duraria 100 dias se a temperatura fosse igual a 20°C todos os dias. Porém, se a temperatura do ar aumentasse para 30°C a mesma cultura já só demoraria 50 dias a completar o ciclo. Da mesma forma, se a temperatura do ar diminuísse para 15°C o ciclo completar-se-ia em 200 dias.

Na realidade, cada fase fenológica tem o seu integral térmico específico e, nalgumas culturas, a sua temperatura base específica. Deste modo, o integral térmico da cultura resulta da soma dos integrais térmicos de todas as fases. Noutras culturas, além da temperatura, também o fotoperíodo é considerado no cálculo do integral térmico em determinadas fases fenológicas.

O integral térmico também varia de cultivar para cultivar da mesma cultura, razão pela qual se encontram disponíveis cultivares com duração de ciclo diferente.

Em culturas indeterminadas, como a beterraba sacarina, o ciclo vegetativo continua com a produção de folhas desde que se mantenham temperaturas adequadas.

Num cenário de aquecimento global é de prever que as culturas completem o seu ciclo mais rapidamente, podendo comprometer a produtividade em particular pela redução da fase de enchimento do grão. Em culturas permanentes haverá uma antecipação do início do ciclo vegetativo. Nas culturas anuais, será possível semear mais cedo e, nalguns casos, a possibilidade de efectuar duas sementeiras em cada ano. As zonas de aptidão cultural tenderão a sofrer uma expansão para Norte, sendo possível a introdução de novas culturas com maiores necessidades térmicas (e/ou menores necessidades hídricas) e a inviabilização de outras.

Horas de frio, abrolhamento e floração

Algumas culturas como, por exemplo, as macieiras, pessegueiros ou ameixeiras, necessitam de frio durante o inverno para quebrar a dormência. Tal como no caso do integral térmico, também neste processo se pode aplicar a lógica da acumulação de horas de frio (e.g. temperaturas inferiores a 7,2 °C) sendo necessário atingir um determinado valor para que as exigências estejam completamente satisfeitas. A não satisfação destas exigências tem grandes consequências no abrolhamento dos gomos e na produtividade. Num cenário de aquecimento global é de prever uma maior dificuldade em satisfazer as necessidades de frio destas culturas com possíveis impactos económicos.

Temperatura e infertilidade

Nalgumas culturas, a ocorrência de pequenos períodos (alguns dias) involuntariamente quentes ou frios pode ser suficiente para comprometer a produtividade de toda uma campanha. Este é o caso da maioria dos cereais durante a floração, para a qual existe um intervalo de temperaturas óptimo. Quando durante esse período a temperatura está sistematicamente abaixo ou acima desse intervalo, dão-se fenómenos de infertilidade mais ou menos proporcionais (Fig. 36). Num cenário de aquecimento global é de supor uma menor susceptibilidade à ocorrência de infertilidade por baixas temperaturas, podendo contudo esta resultar das altas temperaturas.

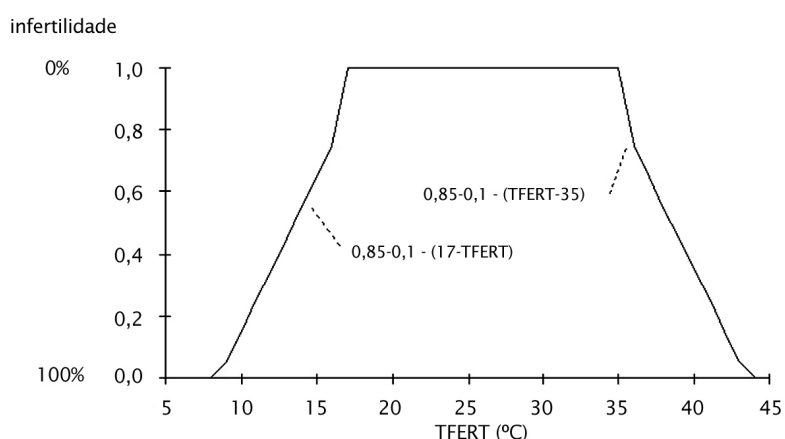
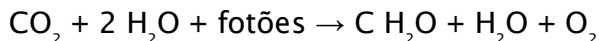


Figura 36 - Variação da taxa de fertilidade das espiguetas em função da temperatura do ar durante a floração para a cultura do arroz

Fotossíntese e produtividade

A fotossíntese é um processo biológico através do qual as culturas sintetizam compostos orgânicos a partir de materiais inorgânicos:



i.e., dióxido de carbono + água + energia da luz → hidrato de carbono + água + oxigénio. Os fotões da luz são a fonte de energia necessária para que a reacção ocorra. A água e o CO_2 são consumidos na reacção, com produção de hidrato de carbono, água e oxigénio. O CO_2 da reacção é proveniente da atmosfera e é fixado pelas culturas através dos estomas. O hidrato de carbono passa a fazer parte integrante da planta, enquanto o oxigénio é também libertado para a atmosfera.

A fotossíntese é a base de toda a produção primária dos ecossistemas e é afectada por características ambientais como a luz, a temperatura, a humidade do ar, a disponibilidade hídrica do solo, os nutrientes minerais e o CO_2 . Cada um destes elementos influencia a taxa a que a reacção ocorre, i.e., a taxa fotossintética, de uma forma distinta, podendo também ocorrer interacções entre eles.

As culturas podem ser classificadas em três grandes grupos consoante o padrão de fixação de CO_2 : C3, C4 e CAM.

Nas culturas do tipo C3, a ribulose 1,5-bisfosfato (RuBP) reage com o CO_2 originando duas moléculas de ácido 3-fosfoglicérico (APG) na presença da enzima ribulose-bisfosfato carboxilase. A designação de plantas C3 decorre do facto do APG, o primeiro produto da reacção de fixação de CO_2 , ser constituído por três átomos de carbono (C). Esta sequência cíclica de reacções é conhecida por ciclo de Calvin (Fig. 37).

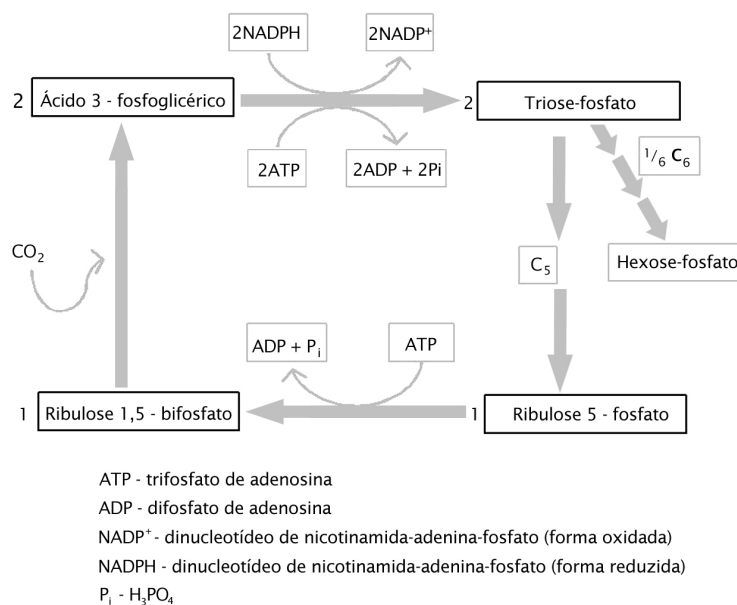


Figura 37 - Ciclo de Calvin – sequência de reacções responsáveis pela formação de hidratos de carbono na planta a partir do CO_2 atmosférico

Fonte: Brandão, 2006

A enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase cataliza igualmente a oxidação da RuBP em ácido glicólico na presença de luz e O_2 , reduzindo a eficiência fotossintética. Este processo é designado por fotorrespiração e a enzima que cataliza estas duas reacções distintas é muitas vezes denominada ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase-oxigenase (rubisco).

A competição entre o O_2 e o CO_2 , para o mesmo centro activo da rubisco, determina as taxas relativas de fotorrespiração e de fotossíntese nas plantas C3. Desta forma, uma baixa concentração de CO_2 e elevada concentração de O_2 na atmosfera exterior, favorece a oxigenação, a síntese de ácido glicólico e a fotorrespiração, enquanto que a carboxilação e, por isso, a fotossíntese são estimuladas por elevadas concentrações atmosféricas de CO_2 e por baixa concentração de O_2 .

Nas culturas do tipo C4 (e.g. milho e cana-de-açúcar), o CO_2 reage inicialmente com o ácido fosfoenolpirúvico, numa reacção catalizada pela

enzima ácido fosfoenolpirúvico carboxilase (PEPcarboxilase), produzindo ácido oxaloacético (ácido com quatro átomos de C - C4). Depois de um passo intermédio em que a conversão do ácido oxaloacético regenera o ácido fosfoenolpirúvico com libertação de CO₂, este é refixado no ciclo de Calvin, nas células da bainha. Esta via chama-se via dos ácidos dicarboxílicos em C4, ou via ou ciclo em C4.

Nas culturas C4, a concentração de CO₂ no ciclo de Calvin é bastante maior, o que proporciona baixas taxas de fotorrespiração e elevadas taxas de fotossíntese por redução da actividade oxigenásica da ribulose- bífosfato oxigenase.

As culturas C4 são mais eficientes para os níveis actuais de CO₂, mas por outro lado são as plantas C3 que respondem mais positivamente a um aumento de CO₂. A resposta da taxa fotossintética da planta de milho (planta C4) a concentrações crescentes de CO₂ é de saturação a uma concentração de cerca de 450 ppm, enquanto a taxa fotossintética da planta de trigo (planta C3) satura a uma concentração de 850 ppm (Fig. 38).

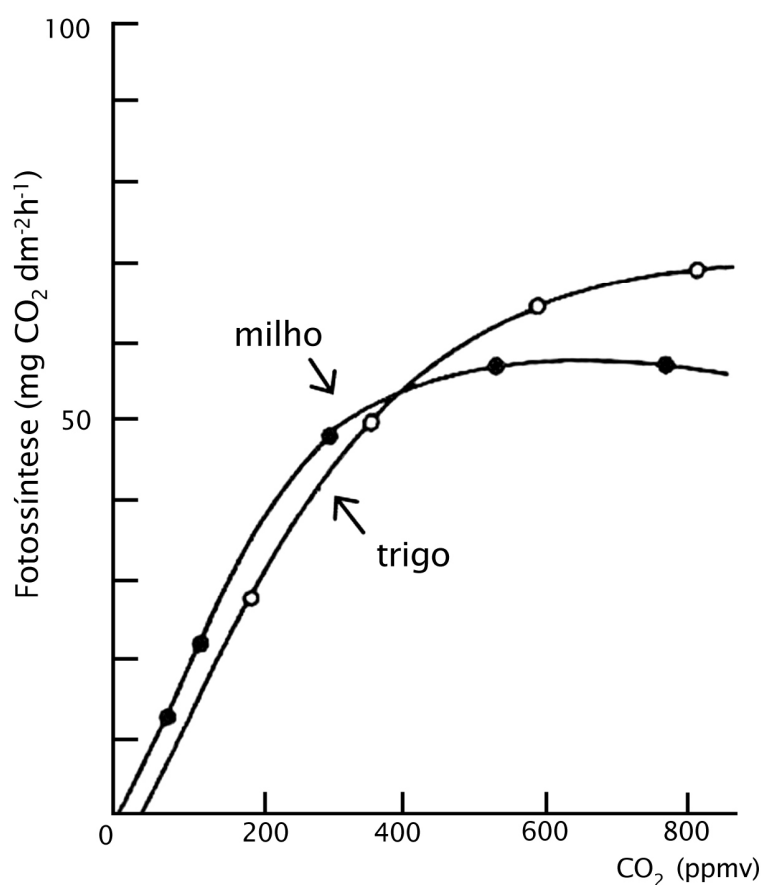


Figura 38 - Resposta típica da fotossíntese das plantas ao CO₂ em função do tipo de metabolismo C3 (trigo) ou C4 (milho)

Fonte: Brandão, 2006

As curvas de resposta da fotossíntese à temperatura apresentam uma forma sinusoidal com três pontos característicos. Os três pontos referem-se à temperatura ótima para a qual a assimilação líquida de CO₂ é máxima e às temperaturas mínima e máxima (Fig. 39). Na realidade, estas curvas são complexas porque integram, a fotossíntese total, a fotorrespiração e a respiração às escuras (Fig. 40).

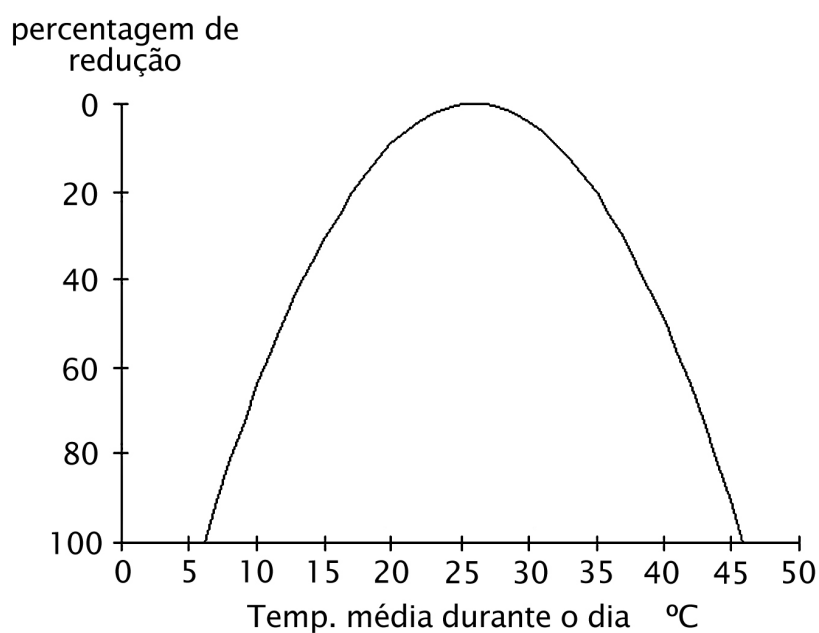


Figura 39 - Percentagem de redução da fotossíntese ótima em função da temperatura média diária para a cultura do arroz

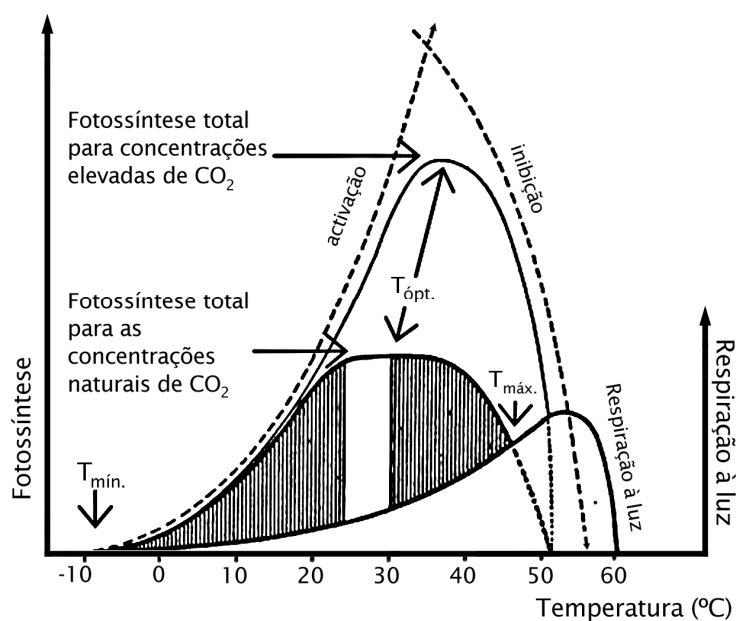


Figura 40 - Resposta da fotossíntese total à temperatura, para concentrações elevadas e naturais de CO_2 , em plantas C3

Fonte: Brandão, 2006

O aumento da temperatura nas células das plantas acelera a actividade metabólica. Contudo, a temperaturas elevadas verifica-se uma crescente deterioração nas enzimas, razão pela qual a taxa fotossintética se reduz para temperaturas elevadas. A resposta a um aumento de temperatura resulta do balanço entre a actividade metabólica acrescida e uma maior deterioração das enzimas. Para temperaturas baixas, a primeira consequência tende a dominar, logo os efeitos a um aumento de temperatura são positivos. Em situações de partida de temperaturas elevadas, o segundo resultado é preponderante e, por isso, os efeitos são negativos

As culturas C4 são mais tolerantes às elevadas temperaturas do que as culturas C3, porque estas perante um aumento de temperatura tem um acréscimo na fotorrespiração, sendo este processo negligenciável nas C4 (Fig. 41).

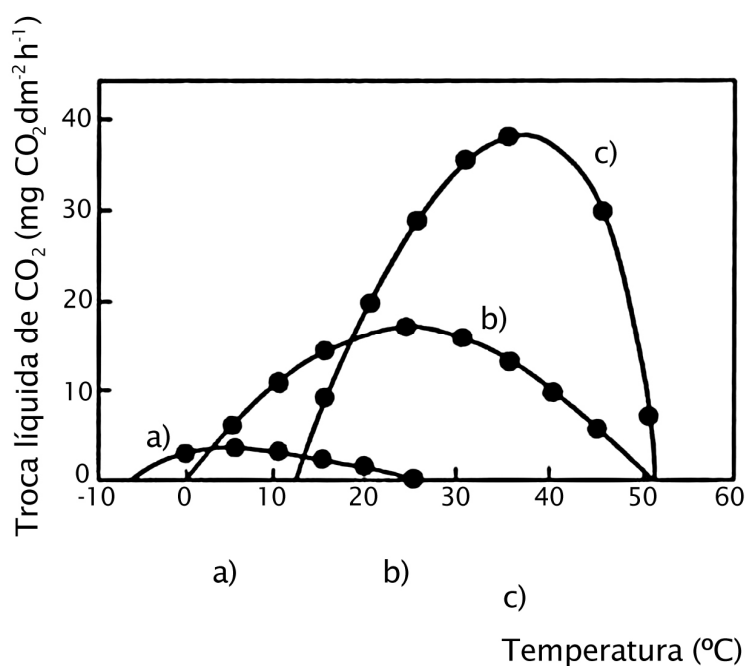


Figura 41 - Resposta da fotossíntese líquida à temperatura para gramíneas de climas diferentes. a) *Chinochloa spp.* (alpina, C3); b) trigo (temperada, C3); c) milho (subtropical, C4)

Fonte: Brandão, 2006

A Figura 40 mostra também o efeito combinado do aumento da temperatura e da concentração de CO_2 na fotossíntese. A temperatura óptima para a fotossíntese aumenta com o enriquecimento em CO_2 da atmosfera. Uma cultura C3 em condições de CO_2 elevado apresenta uma curva de resposta idêntica a uma cultura C4 com concentrações de CO_2 actuais.

O aumento da temperatura provoca ainda outros efeitos a nível da produtividade primária como seja o aumento da taxa respiratória das culturas, resultando na diminuição da taxa fotossintética líquida.

Deste modo, num cenário de alteração climática é de previsível que a taxa fotossintética das culturas aumente, com consequentes aumentos da acumulação de biomassa e produtividade. Este efeito benéfico das alterações climáticas será maior para as culturas C3 do que as C4.

Matéria orgânica e fertilidade do solo

A matéria orgânica do solo é composta por três componentes principais: os microorganismos vivos, os resíduos mais ou menos decompostos e a fracção de matéria orgânica bem decomposta e estável, designada por húmus. A matéria orgânica influencia as propriedades físicas e químicas do solo sendo determinante na capacidade de retenção de água e nutrientes, na estabilidade dos agregados, na drenagem, etc.

O processo de conversão de resíduos orgânicos em matéria orgânica estável designa-se por humificação. Por outro lado, a destruição da matéria orgânica estável com libertação de nutrientes designa-se por mineralização. Ambos os processos são bastantes influenciados pela temperatura entre outros aspectos como a composição da própria matéria orgânica, o arejamento do solo e o próprio teor de matéria orgânica.

Num cenário de aquecimento global prevê-se um aumento das taxas de humificação e mineralização da matéria orgânica. O impacto no teor de matéria orgânica estável é mais incerto de prever já que os dois processos têm implicações contrárias. Deste modo, tudo dependerá, por um lado, do efeito relativo do aumento da temperatura nos dois processos e, por outro, dos impactos noutros factores importantes.

Pragas e doenças

O crescimento das culturas é extremamente condicionado pela incidência de pragas e doenças. A incidência de pragas e doenças depende, entre outros aspectos, de condições ambientais de humidade e temperatura favoráveis ao desenvolvimento.

A Figura 42 mostra a relação entre o número de horas de folha molhada até à infecção pelo pedrado na cultura da pereira em função da temperatura. Até aos 12,5 °C há um decrescimento drástico do número de horas necessárias até à infecção com a temperatura. Após aquela temperatura, o número de horas continua a decrescer embora mais lentamente.

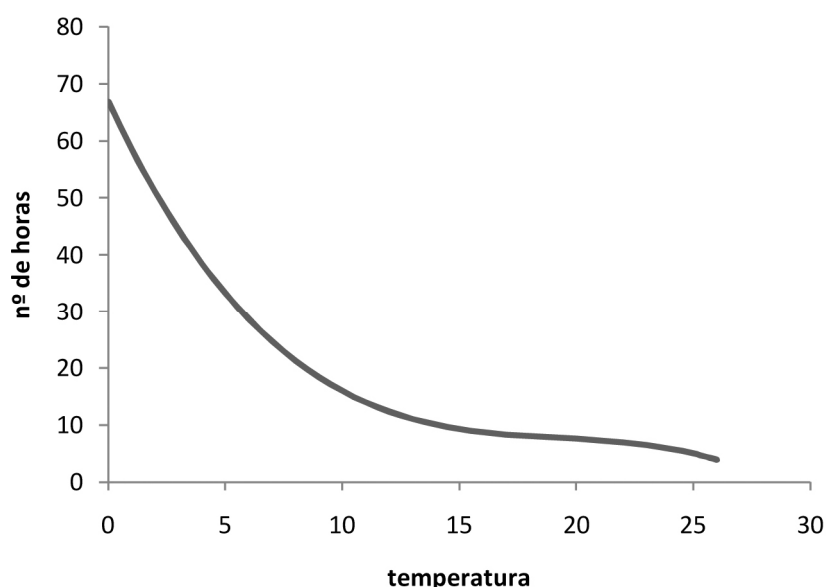


Figura 42 - Número de horas de folha molhada até à infecção pelo pedrado na pereira em função da temperatura

O aquecimento global conduzirá a uma maior incidência de pragas e doenças, já que os períodos de desenvolvimento, no caso das primeiras, e de infecção, no caso das segundas, serão mais curtos. Uma vez que os estados fenológicos das culturas também se sucederão mais rapidamente, poderá haver uma alteração das relações cultura - praga/doença. O aumento da incidência de

pragas e doenças resultará numa maior necessidade de controlo. Novas pragas e doenças poderão surgir em resultado da alteração dos habitats.

Erosão do solo

A perda de solo por erosão pode ser estimada pela Equação Universal de Perda de Solo (RUSLE):

$$A = RKLSCP$$

em que a perda de solo média no longo prazo (A) é estimada pela multiplicação de factores que traduzem os efeitos da erosividade da precipitação-runoff (R), da erodibilidade do solo (K), da topografia (L e S) e do manejo das culturas (C e P). O factor R é determinado pela quantidade de precipitação e pela sua intensidade.

Num cenário de alteração climática prevê-se um aumento da intensidade da precipitação, o que conduzirá ao aumento do runoff. Desta forma a erosividade da precipitação aumentará tendo como consequência o potencial aumento da perda de solo por erosão.

Produção animal e condicionamento ambiental

As condições meteorológicas e a ocorrência de eventos extremos afectam a saúde, o bem-estar, o crescimento e a reprodução das espécies pecuárias. As trocas de calor entre os animais e o ambiente são afectadas pela radiação solar, temperatura, vento e humidade relativa do ar. Existe um intervalo de temperaturas e humidades em que os animais conseguem manter uma temperatura corporal estável por meios comportamentais e fisiológicos. Acima desse intervalo, a incapacidade de dissipar calor por parte dos animais conduz a stress térmico com consequências na produtividade de leite e carne e na reprodução.

Por exemplo, as vacas leiteiras apresentam temperaturas óptimas de produção entre 4 e 24 °C. Se a humidade relativa do ar for superior a 80%, o stress térmico poderá começar aos 22,5°C.

Os efeitos do stress térmico nos animais podem ser minimizados pelo aumento do condicionamento ambiental (sombra, ventilação, aspersão, etc.) quer em animais estabulados quer em animais em pastagem.

Num cenário de aquecimento global, as perdas de produtividade animal por stress térmico serão mais intensas. Consequentemente, as necessidades de condicionamento ambiental serão maiores. Nalguns casos particulares, poderá verificar-se a redução dos custos de aquecimento. Poderá ocorrer maior incidência de determinadas doenças.

Balanço hídrico, rega e drenagem

O balanço hídrico da zona de enraizamento pode ser dado pela equação:

$$\Delta S = R + I - ET - RO - D$$

em que ΔS é a variação da água armazenada, R a precipitação, I a rega, ET a evapotranspiração, RO o runoff e D a percolação.

Com alterações climáticas, a quantidade de precipitação diminuirá, sendo que o menor número de eventos terá maior intensidade. A maior intensidade da precipitação conduzirá a maiores perdas, quer por runoff quer por percolação (conduzindo igualmente a maior lixiviação). Também poderá conduzir a maior necessidade de drenagem artificial.

A elevação da concentração do CO_2 atmosférico terá como consequência uma maior resistência estomática, conduzindo a uma maior eficiência de uso da água. Contudo, a maior dimensão da canóvia, em resultado do aumento da taxa fotossintética, poderá minimizar ou mesmo anular aquele efeito quando analisado ao nível da cultura.

Por outro lado, as mais elevadas temperaturas conduzirão certamente ao aumento da evaporação a partir do solo. Deste modo, num cenário de alteração climática prevê-se que as necessidades de rega aumentem. A maior probabilidade de ocorrência de ondas de calor conduzirá a maior frequência de picos de necessidade de rega.

Eventos meteorológicos extremos e perda de produção

A ocorrência de eventos meteorológicos extremos como ondas de calor, tempestades de granizo ou períodos de seca podem comprometer parte ou a totalidade da produção de uma campanha. Num cenário de alteração climática, a probabilidade de ocorrência destes eventos é maior pelo que é de prever maiores perdas de produção por esta via.

Altas temperaturas e qualidade da produção

Nalgumas culturas, sobretudo hortícolas, as elevadas temperaturas causam danos fisiológicos que afectam a qualidade dos produtos. Na cultura dos espargos, por exemplo, as elevadas temperaturas resultam em caules demasiado fibrosos, o mesmo acontecendo às vagens na cultura do feijão verde. Na cultura do tomate ou do pimento, as elevadas temperaturas causam escaldão nos frutos. Na cultura do melão ou da uva, as elevadas temperaturas podem conduzir à redução do teor de açúcar nos frutos. Com aquecimento global este tipo de danos poderá ser mais frequente.

Nível médio da água do mar e área agrícola

Em zonas agrícolas junto do litoral verifica-se, muitas vezes, a grande proximidade da toalha freática à superfície. Nalguns casos, chega mesmo a haver intrusão da água do mar em estuários e aquíferos.

Num cenário de alteração climática, a subida do nível médio da água do mar pode inviabilizar a utilização agrícola de certos solos em zonas costeiras como resultado quer da subida da toalha freática quer do total alagamento das parcelas, quer mesmo do aumento da salinidade.

Oportunidade de trabalho do solo e traficabilidade

A capacidade de realização das operações culturais no momento mais oportuno afecta a produtividade das culturas. Um dos factores que mais afecta essa capacidade, sobretudo em solos de texturas mais pesadas, é o excesso de água no solo à superfície. De facto, este afecta o momento indicado de trabalho do solo – o período de sação – assim como a acessibilidade para deslocação de máquinas (pulverizadores, distribuidores de adubo, etc.) e tractores sob o solo – a traficabilidade.

O teor de água no solo à superfície é extremamente dependente da precipitação (quantidade e frequência) e da temperatura. Com as alterações climáticas, as condições de traficabilidade do solo poderão melhorar já que, provavelmente, este se encontrará em excesso de água com menor frequência.

Planeamento agrícola

O planeamento agrícola é um processo fundamental a todos os níveis, desde a exploração agrícola até país, passando pelos níveis regional e local. Inerente a qualquer acção de planeamento está a capacidade de prever o comportamento de um determinado sistema dentro de certos limites de incerteza. Quanto maior a capacidade de previsão maior será a qualidade e utilidade do planeamento efectuado.

Num cenário de alteração climática, a incerteza associada ao clima aumentará pelo que a capacidade de planeamento sai necessariamente afectada de forma negativa. A maior incerteza associada ao clima terá de transparecer em incerteza associada ao planeamento.

3.3. Impactos no Passado Recente

Apesar de os sistemas agrícolas serem extremamente dependentes do clima, até ao momento, há poucas evidências documentadas de impactos das alterações climáticas em curso. Este facto fica provavelmente a dever-se à grande influência de aspectos não relacionados com o clima, como o manejo das culturas e as inovações tecnológicas e, ainda, os mercados e políticas de subsídios. Globalmente, a produtividade agrícola demonstra uma tendência crescente nos últimos 40 anos, em resultado de melhorias tecnológicas no melhoramento, controlo de pragas e doenças, fertilização e mecanização. Desta forma é difícil identificar efeitos das alterações climáticas recentes na produtividade agrícola.

É no entanto possível encontrar evidências de impactos noutros aspectos relacionados com a actividade agrícola. A fenologia das culturas é um dos processos que evidencia alguns efeitos das alterações climáticas actuais, em particular em culturas perenes como as árvores de fruto, a vinha e o olival. De facto em culturas anuais, a data de sementeira pode ser escolhida, o que possibilita um ajuste em função do regime térmico de cada ano.

Um estudo na Alemanha mostrou que entre 1951 e 2004: a redução da duração das fases fenológicas foi menor em culturas arvenses (2,1 dias / década) do que para árvores de fruto (4,4 a 7,1 dias / década); a emergência

da cultura do milho sofreu um avanço de 12 dias; e a floração sofreu um avanço de 0,9 dias / década para a cerejeira, 1,1 dias / década para a macieira (Fig. 43).

Outro aspecto que evidencia alguns efeitos das alterações climáticas no passado recente é a zonagem das culturas. Por exemplo, no estado de Nova Iorque a rápida expansão da cultura da vinha para Norte nos últimos 20 anos é atribuída à menor severidade dos Invernos.

Há evidência de uma tendência nas últimas décadas para índices agroclimáticos, em particular os relacionados com a temperatura, como o integral térmico, evidenciarem um aumento da duração da estação de crescimento. Este aumento está relacionado com o facto de a última geada, na Primavera, ocorrer mais cedo e a primeira, no Outono, ocorrer mais tarde.

No caso da vinha na região do Sahel, o aumento da temperatura conjugado com a redução da precipitação está a conduzir a períodos vegetativos significativamente mais curtos. Na zona da Alsácia, França, o número de dias com temperatura média acima dos 10°C (zero vegetativo da vinha) aumentou de 170 dias em 1970 para 210 no final do século XX. Nesta região, os impactos atingiram a qualidade do vinho já que se verificou um aumento de graduação alcoólica de 2° para o mesmo período.

Apesar de, como foi afirmado, o impacto das alterações climáticas até ao momento ser relativamente reduzido, sobretudo à escala global, com o aprofundamento das alterações na temperatura, CO₂ e precipitação, essa situação irá certamente alterar-se.



Figura 43 - A fenologia das culturas é um dos processos que evidencia alguns efeitos das alterações climáticas actuais, em particular em culturas perenes como as árvores de fruto, a vinha e o olival

Fonte: B.D.'s world em Flickr.com

3.4. Impactos Futuros

O estudo dos impactos das alterações climáticas futuras na agricultura é uma tarefa algo difícil. Por um lado, os sistemas agrícolas são inerentemente complexos, por outro, é extremamente difícil replicar em ensaio experimental as condições climáticas futuras. Desta forma, tal como para o estudo do próprio clima futuro, as metodologias clássicas de estudo técnico-científico baseadas em experimentação física de determinadas hipóteses ficam, em grande medida, postas de lado.

Metodologias de estudo dos impactos das alterações climáticas na agricultura

O que tem sido feito com base em experimentação no campo são estudos em câmaras abertas ou fechadas, incluindo as estufas, que visam estudar os

efeitos CO_2 , dióxido de enxofre (SO_2) e O_3 nas culturas e as interações entre estes factores e as pragas e doenças juntamente com as suas plantas hospedeiras. Nestas experiências, a temperatura e a água são controladas de forma a reproduzirem cenários de futuras condições climáticas. Esta ferramenta, pelo tempo e recursos que exige, não constitui uma solução viável para estudos às escalas regional e nacional.

A utilização de índices agroclimáticos é mais aplicável em estudos de larga escala de áreas de potencial impacto. Estes índices estabelecem uma relação simplificada entre a aptidão real ou potencial da cultura face às condições climáticas. O somatório dos grau.dia ou índices de severidade de seca são dois exemplos de índices agroclimáticos que podem ser utilizados para avaliar o impacto das alterações climáticas na agricultura.

Outra técnica de estimação de impactos recorre aos modelos estatísticos. Estes descrevem os fenómenos observados com base nos factores considerados mais importantes, podendo, por exemplo, estimar as produtividades das culturas em função da temperatura, precipitação, data de sementeira e aplicação de fertilizantes. Geralmente, estes modelos são estabelecidos partindo de um domínio de condições climáticas realmente verificadas e que apresentam uma variabilidade significativa entre si. Por esta razão, uma das limitações destes modelos é a impossibilidade de estimarem os efeitos de condições climáticas diferentes dos limites das que foram utilizadas na definição do próprio modelo. Outra limitação desta técnica resulta de que as relações estabelecidas serem de natureza estatística em vez de se ter considerado a compreensão dos mecanismos. Por outro lado, apresentam a grande vantagem face aos índices agroclimáticos que é o permitirem descrever o modo como a produtividade das culturas é alterada num cenário de mudança climática. A construção destes modelos consiste em estabelecer uma relação com recurso a técnicas estatísticas entre um conjunto de dados de produtividades de culturas anuais e dados meteorológicos. A análise de regressão múltipla é uma das técnicas que pode ser utilizada. Estes modelos serão aconselhados para um estudo preparatório de impactos se no seu processo de construção se considerarem as variáveis explicativas adequadas, de acordo com uma interpretação fisiológica correcta e com uma validação

cuidada. Assim sendo, estes modelos são considerados de simples aplicação e são também pouco exigentes em dados de entrada, comparativamente, por exemplo, aos modelos baseados em processos.

O uso de analogias temporais e espaciais constitui ainda outra ferramenta de avaliação dos impactos das alterações climáticas. A analogia temporal consiste na referência a um período anterior como imagem de um cenário futuro de alteração climática. Por exemplo, estudar o comportamento de uma cultura num ano particularmente quente como indicador do impacto das alterações climáticas futuras.

Na analogia espacial procura-se uma região que apresente actualmente um clima semelhante ao cenário futuro para a região em estudo. Todavia, as características da região escolhida podem não ser no seu conjunto idênticas às da zona em estudo, por exemplo nos tipos de solos.

As analogias têm como vantagens lidar com valores meteorológicos observados e avaliar respostas que podem ter ocorrido na realidade como resposta aos acontecimentos climáticos.

Os modelos baseados em processos, isto é, aqueles que descrevem variações dos fluxos e de armazenamento de massa, energia ou de outras grandezas, são outra ferramenta de avaliação dos impactos das alterações climáticas. Os modelos de culturas são então um conjunto de relações matemáticas capazes de representarem relações entre variáveis descritivas do estado do sistema (por exemplo, biomassa, peso de folhas) e descreverem fluxos de variação dessas variáveis (por exemplo, fotossíntese, respiração, crescimento) como consequência da ocorrência de vários processos. Assim, por exemplo, as alterações da variável de estado biomassa são consequência dos processos de fotossíntese e de respiração. Estes modelos utilizam funções simples para representarem as interações entre o crescimento das culturas e o solo, o clima e as técnicas culturais. Para um razoável número de culturas, já existem modelos de simulação de culturas disponíveis para estudos do impacto das alterações climáticas (Tabela 1).

Tabela 1 – Alguns modelos de simulação do crescimento e desenvolvimento das culturas disponíveis para estudos do impacto das alterações climáticas na agricultura

Culturas	Modelo
Algodão	GOSSYM, COTCROP, COTTAM
Amendoim	PNUTGRO
Arroz	CERES-Rice, RICEMOD
Batata	SUBSTOR
Cana-de-açúcar	CANEMOD
Cevada	CERES-Barley
Feijão	BEANGRO
Luzerna	ALSIM, ALFALFA
Milho	CERES-Maize, CORNF, SIMAIZ, CORNMOD, VT-Maize, GAPS, CUPID
Modelo geral	EPIC, STICS, APSIM, CropSyst
Necessidades de rega para todas as culturas	CROPWAT
<i>Pennisetum</i> L.	CERES-Millet, RESCAP
Soja	SOYGRO, GLYCIM, REALSOY, SOYMOD, CROPGRO
Sorgo	CERES-Sorghum, SORGF, SORKAM, RESCAP
Trigo	CERES-Wheat, TAMW, SIMTAG, AFRCWHEAT, NWHEAT, SIRIUS, SOILN-Wheat

Fonte: adaptado de Brandão, 2006

Impactos das alterações climáticas futuras

As culturas respondem positivamente à elevação do CO₂, verificando-se aumentos de produtividade. Essa resposta varia de espécie para espécie, estado fenológico e gestão da cultura, em particular em relação à água e ao azoto. Em termos médios, os aumentos de produtividade para concentrações de CO₂ de 550 ppm estimam-se em 10 a 20% para culturas C3 e 0 a 10% para C4. No caso de espécies florestais, a produtividade poderá aumentar 15 a 30%.

Porém, as alterações na temperatura e precipitação vão limitar aquele efeito positivo do CO₂. Por exemplo, temperaturas elevadas durante a floração podem reduzir os efeitos do CO₂ pela redução do número de grãos no caso dos cereais. Temperaturas mais elevadas podem ainda reduzir os efeitos do CO₂ indirectamente, pelo aumento das necessidades de água ou pelo

encurtamento do período de enchimento dos grãos.

Num estudo, a cultura do trigo em sequeiro com uma concentração de CO₂ de 450 ppm, demonstrou um aumento de produtividade quando o aumento da temperatura foi apenas de 0,8 °C. Quando este aumento passou para 1,5 °C, foi necessário aumentar a rega para compensar os efeitos negativos.

Noutro estudo procurou-se verificar a evolução da produtividade das culturas para progressivos aumentos da temperatura dando uma noção da evolução temporal dos efeitos do aquecimento global. A Fig. 44 mostra o resultado desse estudo para as culturas do milho e trigo para latitudes médias como a de Portugal. Deste modo, pode-se verificar o efeito progressivo de aumentos da temperatura desde 1-2°C, típico nas próximas décadas, até 4-5°C projectado para 2080.

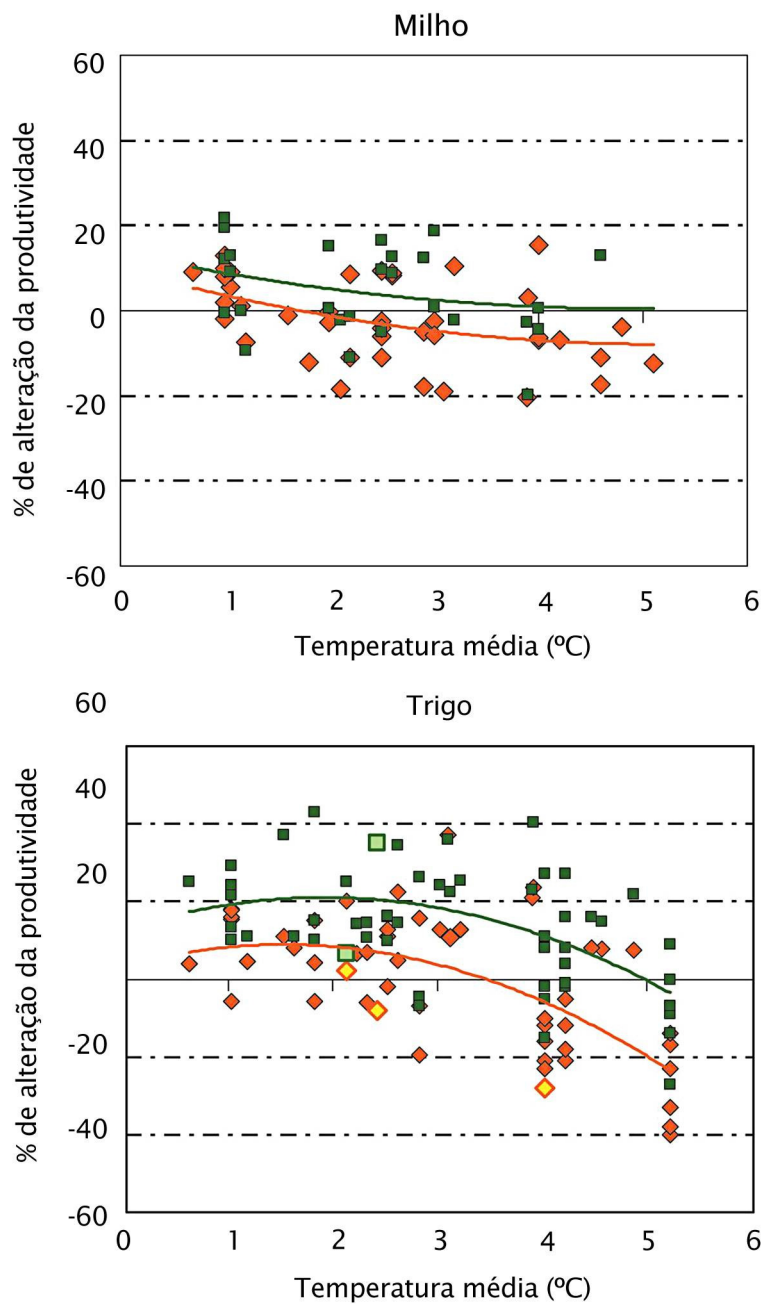


Figura 44 - Sensibilidade dos cereais às alterações climáticas para o milho e trigo resultante de 69 estudos em múltiplos locais em função da temperatura média local. As curvas de resposta incluem casos sem medidas de adaptação (vermelho) e com medidas de adaptação (verdes). As medidas de adaptação incluíram data de sementeira, cultivar, etc

Fonte: adaptado de IPCC, 2007

Os resultados daquelas simulações são um pouco variáveis em resultado da incerteza associada a múltiplos aspectos (níveis de CO₂, precipitação, etc.), mas permitem verificar que aumentos moderados das temperaturas terão um pequeno efeito benéfico na produtividade dos cereais. Com a progressão do aquecimento, os impactos negativos aumentam. A incerteza associada aos resultados, frutos de diferentes projecções de precipitação e CO₂, mostra que diversas respostas podem ocorrer devido ao aumento da temperatura, inclusive, no limite, a ausência de impactos.

Os aumentos de CO₂ podem favorecer as culturas C3 em relação às C4, contudo, o oposto é esperado quando se associam os efeitos do aumento da temperatura. O factor disponibilidade hídrica terá um papel decisivo no clima futuro, o que é determinante para toda a agricultura de sequeiro, i.e., áreas de cereais de Outono-Inverno e, sobretudo, pastagens.

Os estudos existentes sobre os impactos futuros das alterações climáticas na produtividade das culturas são bastante limitados aos cereais. Há um grande desconhecimento em relação aos impactos na produtividade de culturas hortícolas, frutícolas, olival e vinha.

Um estudo sobre o impacto das alterações climáticas na fenologia da oliveira em todo o mediterrâneo prevê uma antecipação da floração em 5 dias por cada década até 2030.

Em França um estudo sobre o impacto das alterações climáticas em 2070 na produtividade e qualidade da uva para vinho mostra um adiantamento da vindima em cerca de 15 dias, um aumento da biomassa foliar, uma redução da quantidade de uva e um aumento do stress hídrico. As respostas da cultura variaram, contudo, em função da região.

As alterações na precipitação e, em particular, na evapotranspiração modificarão o funcionamento de muitos sistemas produtivos, uma vez que a maior eficiência de uso da água será uma prioridade. No entanto, são de prever aumentos nas necessidades de rega na ordem dos 20%, globalmente, em 2080.

Um estudo em pastagens demonstrou que a composição da comunidade de espécies é sensível ao aumento de CO₂, o que tem implicações a nível da sua

estabilidade e resiliência. Por exemplo, numa pastagem mediterrânica anual após três anos de ensaios a diversidade de espécies diminuiu com a elevação do CO₂, aumentou com o aumento da precipitação e não mostrou qualquer efeito com o aumento da temperatura. Em pastagens semeadas, o aumento de CO₂ favoreceu as leguminosas.

O aumento da variabilidade climática, com ocorrência mais frequente de eventos extremos também terá um efeito negativo na actividade agrícola já que aumentará a incerteza associada aos diversos sistemas de agricultura. Por outro lado, o aumento de eventos extremos pode baixar mais a produtividade das culturas do que o efeito do aumento dos valores médios. Isto resulta do facto de o impacto dos eventos extremos depender em larga escala do estado fenológico da cultura nesse momento.

A ocorrência mais frequente de precipitações mais intensas terá um impacto negativo na produtividade já que aumenta a ocorrência de períodos de solo saturado e, conseqüentemente, de stress para as culturas. Aqueles eventos terão também impactos ao nível da erosão do solo.

O papel das infestantes, pragas e doenças num futuro de alteração climática será determinante. A competição entre culturas C3 e C4 será mais notória e dependerá da conjugação entre o efeito da temperatura e do CO₂. A incidência de pragas e doenças aumentará já que a temperatura é também decisiva para o seu desenvolvimento.

Um estudo mostrou que, em geral, muitas das infestantes respondem mais positivamente ao aumento de CO₂ que a maioria das culturas, sendo também mais difíceis de controlar com herbicidas.

Outro estudo avaliou a incidência do míldio da videira em Itália para os anos de 2030, 2050 e 2080 e verificou que, apesar da redução da precipitação em cerca de 75%, a incidência aumentou como resultado do aumento da temperatura. Como impacto, tornou-se necessário efectuar mais 2 tratamentos em qualquer um dos anos.

Há uma grande falta de estudos sobre os efeitos das alterações climáticas nas infestantes, pragas e doenças. Os poucos que foram publicados dedicam-se ao estudo da distribuição geográfica daqueles agentes em cenários de alteração

climática. Esta realidade implica que possam surgir novas infestantes, pragas ou doenças até agora inexistentes ou que algumas até agora sem expressão possam vir a representar maior desafio.

Uma recente comunicação da Comissão Europeia sobre a investigação agrónómica europeia (COM(2008)862) reflecte sobre as necessidades e as orientações para a promoção na UE da investigação e inovação sobre alterações climáticas. As alterações climáticas foram mesmo identificadas como um tema prioritário, no âmbito da actividade do Comité Permanente de Investigação Agrícola (CPIA), que detectou uma lacuna significativa a nível europeu na coordenação da investigação.

3.5. Impactos em Portugal

O já mencionado projecto SIAM iniciou em 1999 o estudo do impacto das alterações climáticas na agricultura portuguesa. No SIAM I foram feitos estudos preliminares e pontuais do impacto das alterações na produtividade das culturas do trigo e milho. No SIAM II a abordagem metodológica foi aprofundada com a constituição de um sistema de informação integrado para estudo dos impactos baseado em modelos de simulação das culturas, bases de dados de solos e um sistema de informação geográfica (Fig. 45).

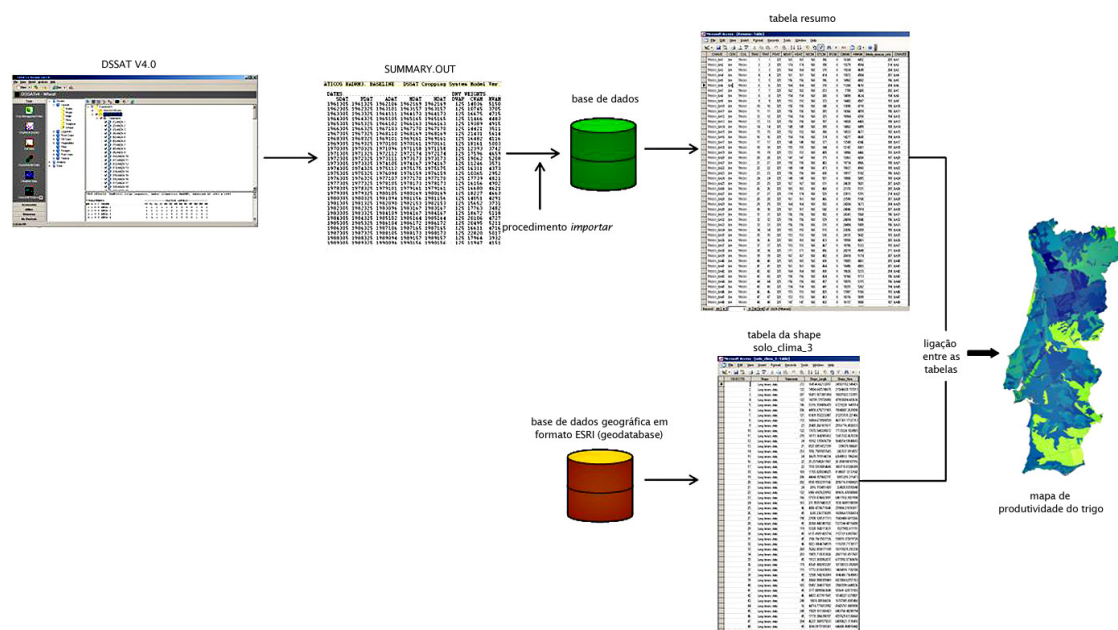


Figura 45 - Esquema do sistema de informação desenvolvido no âmbito do projecto SIAM para avaliação do impacto das alterações climáticas na agricultura portuguesa

Fonte: Brandão, 2006

Os cenários das condições climáticas futuras foram construídos a partir de dados gerados pelo modelo HadRM3 do Hadley Centre. Os dados diários obtidos a partir do HadRM3 referiram-se aos cenários A2c e B2a de controlo (1961 a 1990) e às simulações com os cenários A2c e B2a (2071 a 2100) para os pontos da grelha em Portugal continental (Fig. 46).

A grelha climática foi sobreposta às unidades pedológicas, à escala 1:1000000, de modo a constituir áreas de estudo análogas, onde, posteriormente, foram corridos os modelos de simulação das culturas (Fig. 47).

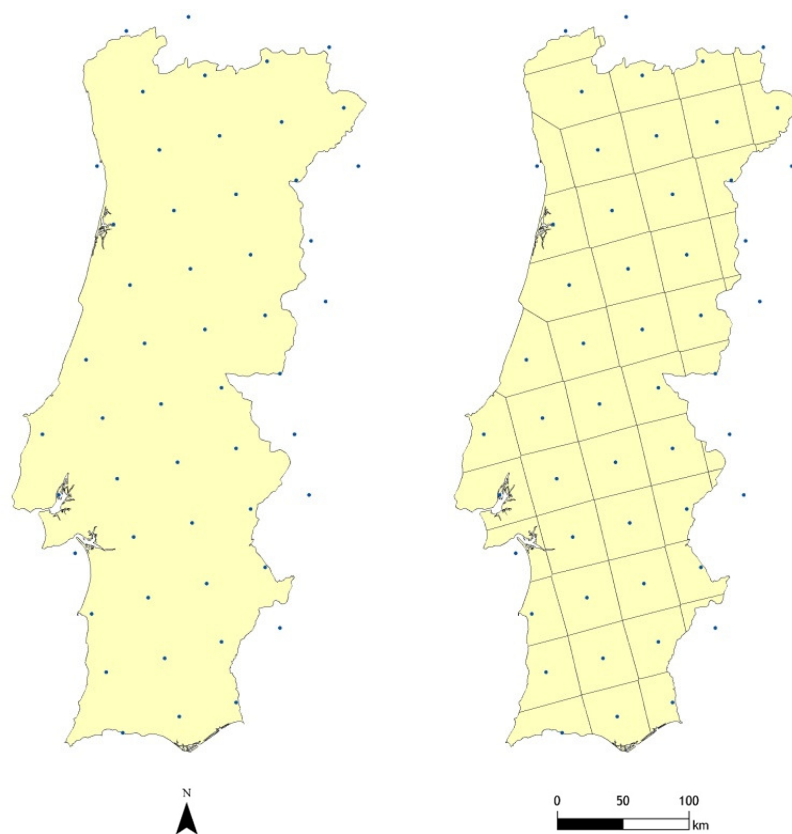


Figura 46 - Representação dos pontos da grelha do HadRM3 (esq.) e das células da grelha climática (dir.) para Portugal Continental

Fonte: Brandão, 2006



Figura 47 - Representação para Portugal Continental da combinação das células climáticas com os polígonos dos solos

Fonte: Brandão, 2006

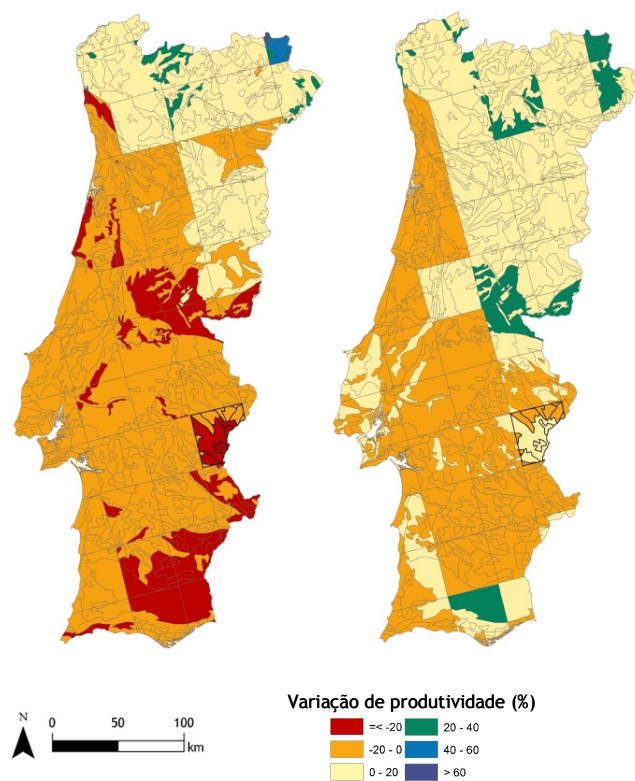


Figura 48 - Variação da produtividade da cultura do trigo no futuro em relação ao controlo para os cenários A2c (esq) e B2a (dir)

Fonte: Brandão, 2006

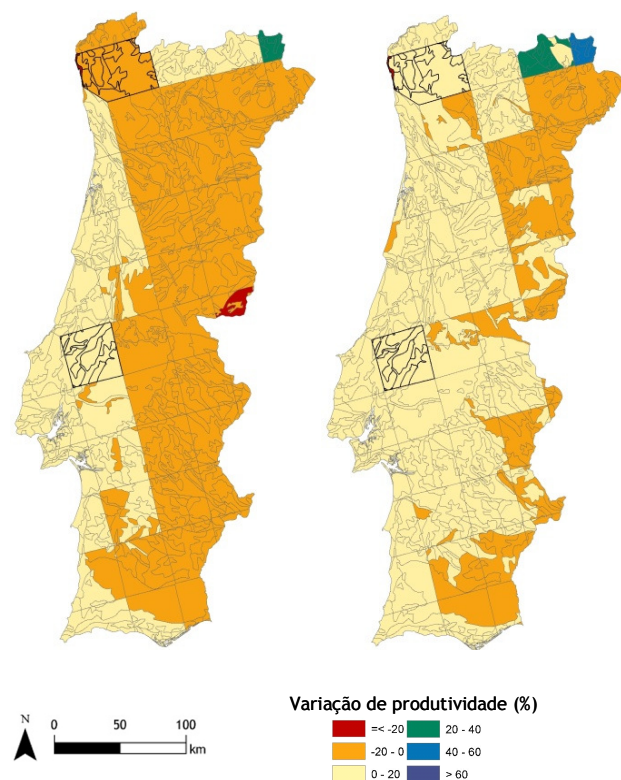


Figura 49 - Variação da produtividade da cultura do milho no futuro em relação ao controlo para os cenários A2c (esq) e B2a (dir)

Fonte: Brandão, 2006

Os decréscimos da produtividade da cultura do trigo foram mais acentuados para o cenário A2c (maiores emissões de GEE, maior aumento de temperatura e diminuição da precipitação), atingindo valores superiores a 20%, do que para o cenário B2a para todo o país, em que aquele valor de quebra nunca foi atingido.

Em ambos os cenários, o Norte foi a região onde se estimaram, de um modo geral, acréscimos de produtividade (até 60%), e o Alentejo onde os decréscimos foram mais elevados (Fig. 48). Tal comportamento está de acordo com as maiores perdas futuras de precipitação projectadas no Sul do território, uma vez que se admitiu que a cultura se manteria em sequeiro.

Nos dois cenários verificou-se uma diminuição da duração média do ciclo da cultura do trigo, 15% no cenário A2c e 9% no cenário B2a, relacionada com o aumento da temperatura média do período de Outono-Inverno.

A produtividade da cultura do milho também foi mais reduzida no cenário de alteração climática A2c, embora com menores decréscimos que na cultura do trigo (Fig. 49). Os decréscimos futuros das produtividades da cultura do milho estão relacionados com o aumento projectado de temperatura, ou melhor, da diminuição do número de dias-grau de crescimento - 22% para Braga e 13% para Santarém - responsável pela redução da duração do ciclo da cultura. Esta redução foi particularmente expressa na fase final do ciclo, i.e., a fase de enchimento do grão. A diminuição esperada da precipitação não teve qualquer efeito, uma vez que se optou por manter a cultura em regadio.

O projecto SIAM também estudou o impacto das alterações climáticas no sector florestal. No caso do eucalipto e pinheiro bravo, projecta-se uma redução da produtividade florestal no Sul (em resultado de maior stress hídrico) e um aumento a Norte (temperatura e CO₂). Como resultado, estas espécies podem mesmo tornar-se residuais no Sul. O Sobreiro apresentará menores quebras de produtividade. Projecta-se também uma migração da aptidão cultural para Norte e para o litoral. O montado poderá desaparecer no Alentejo interior dando origem a matos. As alterações climáticas conduzirão ao aumento do risco de incêndio.

Outro projecto que abordou a problemática das alterações climáticas na agricultura portuguesa foi o MISP - Alterações Climáticas: Estratégias de Mitigação para Portugal. O objectivo deste projecto foi o de construir um modelo multisectorial energia/emissões de Portugal para testar políticas e opções tecnológicas no contexto da mitigação a longo prazo. Embora este projecto não tenha estudado os impactos propriamente ditos, concretizou para o sector, mesmo que a um nível hierárquico muito elevado, os cenários SRES.

Segundo o projecto MISP, em qualquer dos cenários de alterações climáticas, o valor acrescentado da agricultura no seu todo deverá aumentar. Os cenários SRES com um tipo de governação mais regional (A2 e B2) conduzem a uma maior preponderância do sector agrícola quando comparados com os cenários mais globalizados (A1 e B1). Dentro de cada tipo de governação, os cenários com maior prevalência de valores ambientais darão maior ênfase ao sector agrícola, ao privilegiarem a conservação da natureza, do que os cenários mais orientados para a economia.

O resultado destas tendências na evolução da área agrícola até 2070 encontra-se na figura 50. A área agrícola manterá a actual tendência de decrescimento nos cenários globalizados A1 e B1. Dentro daqueles, o cenário A1 (economia) proporcionará os maiores decréscimos (~-12%, i.e., o dobro em 2070) que o cenários B1 (ambiente). Nos cenários de governação mais regional, a tendência de decréscimo da área agrícola será invertida no curto prazo, com aumentos na ordem dos 15% para o cenário A2 (economia) e dos 6% para o cenário B2 (ambiente). Os maiores aumentos de população do cenário A2 farão com que a área agrícola aumente mais do que para o cenário com maior prevalência de valores ambientais (B2).

Em qualquer um dos cenários se projecta um crescimento das áreas de vinha, oliveira e pomar e um decrescimento das áreas de arroz. Independentemente do aumento da área agrícola, projecta-se a redução da utilização de fertilizantes em todos os cenários.

Ainda segundo o projecto MISP, a concretização dos cenários SRES para a produção animal projectam uma redução do sector na sua generalidade. A única excepção a esta tendência será a dos ovinos e caprinos, sobretudo no cenário governação mais regional e com prevalência de valores ambientais (A2) em que se projecta um aumento de 15%.

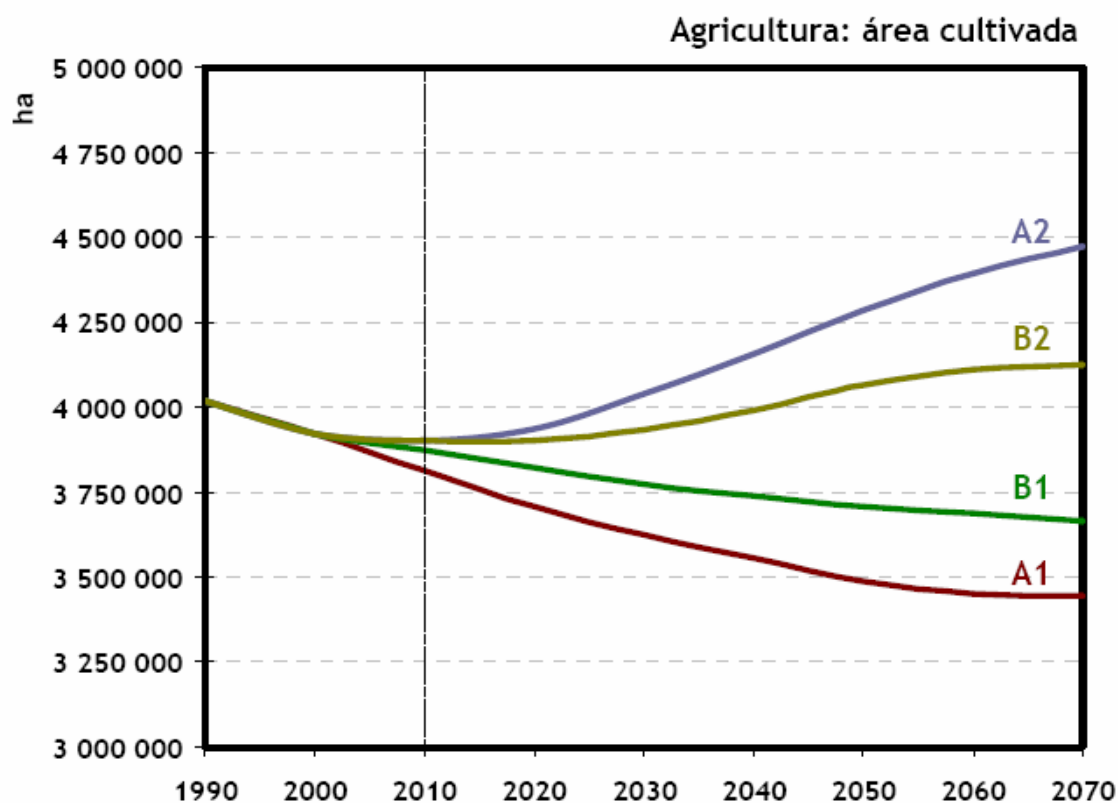


Figura 50 - Evolução da área agrícola em para cada cenário de alteração climática SRES

Fonte: MISP

O estudo dos impactos das alterações climáticas em Portugal, tal como na Europa e no Mundo, ainda é muito incipiente. Faltam mais estudos rigorosos sobre o assunto, sobretudo nos diversos subsectores de actividade como a fruticultura, a viticultura, a horticultura e a produção animal e em áreas temáticas como a rega, a protecção das culturas, a utilização de fertilizantes.

4. MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO E MITIGAÇÃO NA AGRICULTURA

4.1. Introdução

Face às alterações climáticas e seus impactos, há dois tipos de resposta possíveis: a sua mitigação pela redução de emissões de GEE e a promoção de sumidouros de carbono, por um lado, e a adaptação aos impactos, por outro.

O Protocolo de Quioto é um tratado internacional negociado em Quioto, no Japão, em 1997, com entrada em vigor em 2005, em que os diversos países signatários se comprometem à redução das emissões dos GEE em, pelo menos, 5,2% em relação aos níveis de 1990, no período entre 2008 e 2012. Portugal comprometeu-se à redução do aumento das emissões em 27% naquele período. Para além do desenvolvimento de políticas e medidas nacionais (definidas em Portugal pelo PNAC c.f. 4.5), o Protocolo de Quioto prevê três mecanismos (mecanismos de flexibilização) de mercado para atingir o objectivo global de redução: o comércio internacional de emissões; a implementação conjunta e o mecanismo de desenvolvimento limpo.

Os esforços em curso no âmbito do protocolo de Quioto não são, contudo, suficientes para a estabilização das concentrações dos gases de efeito de estufa. Na realidade, mesmo que os esforços fossem o mais rigorosos possível, devido ao desfasamento do tempo de resposta da atmosfera, já não seria possível evitar alterações climáticas para as próximas décadas.

Neste sentido, as medidas de adaptação são inevitáveis. Contudo, porque aquelas têm um campo de acção limitado e porque o investimento em exclusivo em medidas de adaptação levaria rapidamente à sua ineficácia em resultado do agravar das próprias alterações climáticas, as medidas de mitigação são extremamente importantes e indispensáveis. Desta forma, tanto as medidas de adaptação como de mitigação são essenciais no combate às alterações climáticas.

Os primeiros esforços internacionais em termos de política de alterações

climáticas focaram-se no uso e produção de energia. Estas políticas praticamente desprezaram o papel dos gases de efeito de estufa que não o de CO₂ e dos sumidouros de carbono ou das medidas de adaptação.

Posteriormente as políticas de alterações climáticas foram alargadas para considerar uma mais larga gama de opções como o sequestro de carbono na vegetação, oceanos e formações geológicas, a redução das emissões de gases de efeito de estufa que não o CO₂ e as medidas de adaptação.

Apenas recentemente, as políticas passaram não apenas apostar em políticas de adaptação e de mitigação, como também nas suas interacções e em particular nas sinergias e nas soluções de compromisso. Nesta perspectiva, as medidas de adaptação são vistas como formas directas de combate às alterações climáticas, mais regionais e locais e de efeito mais imediato, e as medidas de mitigação como formas indirectas para atingir o mesmo objectivo, mais globais e com efeito mais a médio prazo.

4.2. Adaptação às Alterações Climáticas

A adaptação às alterações climáticas no sector agrícola é o ajustamento nos sistemas de produção como resposta a estímulos climáticos verificados ou esperados de forma a moderar danos ou a explorar oportunidades benéficas.

A adaptação às alterações climáticas pressupõe o reconhecimento dos danos reais e potenciais que poderão ocorrer. A não adaptação às alterações climáticas poderá ter consequências nefastas a diversos níveis, desde a exploração individual (e.g. perda de rendimento, falência) até ao sector como um todo (e.g. marginalização, perda de peso político).

Segundo o IPCC, a adaptação às alterações climáticas pode ocorrer de duas formas:

- autónoma e progressiva, a um nível local; ou,
- planeada, a nível regional ou nacional.

Adaptação autónoma e progressiva a um nível local

A adaptação autónoma às alterações climáticas é uma extensão ou intensificação de opções actuais de gestão do risco ou de melhoria da produtividade. Este tipo de adaptação irá ocorrer “naturalmente” em resultado

das decisões de gestão dos empresários agrícolas face às condições climatéricas de cada ano e sua tendência. Este tipo de prática é algo a que os empresários estão habituados fazendo mesmo parte das suas competências essenciais na gestão das explorações. No entanto, o ritmo das alterações climáticas poderá exigir uma capacidade de mudança superior àquela que os empresários conseguem ou podem proporcionar.

As medidas de adaptação além de terem de fazer face às alterações climáticas “médias”, terão também de conseguir responder ao aumento da variabilidade climática. Desta forma, tomam especial importância medidas de adaptação que privilegiem a estabilidade e a resiliência da produção à custa, muitas vezes, da quantidade produzida.



Figura 51 - Medidas de adaptação às alterações climáticas: Alterar cultivares/variedades ou culturas para aquelas com necessidades térmicas e de vernalização mais apropriadas e/ou com melhor resistência ao stress térmico e hídrico

Fonte: Brian Hathcock em Flickr.com

Existem diversas opções para alterar a gestão das culturas no sentido de fazer face às alterações climáticas projectadas. Estas medidas de adaptação incluem:

- Alterar cultivares/variedades ou culturas para aquelas com necessidades térmicas e de vernalização mais apropriadas e/ou com melhor resistência ao stress térmico e hídrico (e.g. cultivares de ciclos mais longo, culturas como o algodão);
- Alterar a calendarização ou a localização das operações culturais (e.g. antecipação da data de sementeira ou plantação);
- Alterar tecnologias e práticas de rega de modo a aumentar a eficiência de uso da água;
- Alterar taxas de fertilização em consonância com a alteração do potencial produtivo;
- Utilizar tecnologias que permitam o armazenamento da água da chuva e runoff e a conservação da água no solo (gestão de resíduos da cultura);
- Melhorar a eficiência e eficácia do controlo de pragas, doenças e infestantes através de práticas de produção integrada;
- Utilizar estruturas de acondicionamento animal para fazer face a períodos de maior stress térmico;
- Utilizar pastagens que privilegiem a consociação de diversas espécies;
- Privilegiar espécies animais autóctones;
- Utilizar sistemas de previsão climática para reduzir o risco associado às decisões de gestão;
- Diversificar o rendimento integrando outras actividades agrícolas;
- Alterar ou adaptar o sistema de produção (e.g. introdução do regadio);

- Alterar a região de produção (e.g. deslocação para Norte, alteração dos limites geográficos das zonas vitivinícolas).



Figura 52 - Medidas de adaptação às alterações climáticas: Utilizar pastagens que privilegiem a consociação de diversas espécies

Fonte: kadj em Flickr.com



Figura 53 - Medidas de adaptação às alterações climáticas: alterar ou adaptar o sistema de produção

Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page

As medidas de adaptação seguidas por cada empresário dependerão de diversos factores como o sistema de produção, a região, os impactos efectivamente sentidos, a vulnerabilidade geral da exploração, etc. São também factores importantes o acesso a informação pertinente, competências e conhecimentos sobre tendências climáticas e soluções de adaptação; a existência de serviços de consultoria para facilitar a adaptação e o acesso às tecnologias disponíveis e capacidade infra-estrutural.

A adopção daquelas práticas de forma integrada e combinada pode ter um efeito muito positivo na redução dos impactos das alterações climáticas. A figura 3.9 resume resultados de estudos de adaptação nas culturas do trigo e milho. Apesar da variabilidade, em média, aquelas medidas (data de sementeira, cultivares e rega) permitem um benefício de 10% na produtividade das culturas quando comparadas com a situação de ausência de adaptação.

Os benefícios das medidas de adaptação autónomas tendem a anular os efeitos negativos dos impactos das alterações climáticas. No entanto, essa avaliação dependerá do grau de adopção das medidas propostas por parte dos empresários agrícolas que depende:

- do grau de complexidade do processo de decisão ao nível da exploração que terá de levar em consideração outros aspectos não relacionados com o clima;
- da diversidade de respostas em cada região e entre regiões;
- das dificuldades que podem surgir em resultado da não linearidade da resposta às alterações climáticas;
- do desfasamento da resposta às práticas implementadas;
- de possíveis interacções entre as diferentes opções e as limitações económicas, institucionais e culturais.

Para o sector florestal, as medidas de adaptação autónomas incluem alterar: a intensidade de gestão; a mistura entre espécies ou a espécie; os padrões de crescimento e corte da madeira; períodos de rotação; a região de produção, e, os sistemas de gestão de risco de incêndio.

Os longos períodos entre a plantação e o corte, típicos da actividade florestal, complicam as decisões quanto a medidas de adaptação já que estas podem ocorrer em diversas fases durante uma rotação.

As medidas de adaptação autónomas podem não ser suficientes para fazer face às alterações climáticas. Desta forma, torna-se necessário implementar medidas planeadas ao nível de políticas sectoriais.

Adaptação planeada a nível regional ou nacional

A adaptação planeada a nível regional ou nacional pode incluir actividades como o desenvolvimento de infraestruturas e capacidade para a adaptação a nível regional e nacionais, quase sempre envolvendo as instituições relevantes e alterando o âmbito em que as decisões de gestão autónomas são tomadas.

O planeamento efectivo e o desenvolvimento de capacidade para a adaptação às alterações climáticas podem incluir:

- Convencer os gestores de que as alterações climáticas são reais e vão continuar a progredir. Esta medida pode ser assistida por políticas de monitorização climática e de comunicação efectiva, e também de monitorização de pragas, doenças e outros factores afectados directamente pelo clima;
- Aumentar a confiança dos gestores nas projecções dos impactos na sua actividade. Esta medida pode ser assistida por políticas de suporte à investigação e extensão dos seus resultados;
- Disponibilizar opções técnicas para responder às alterações climáticas. Deste modo, sempre que isso não se verificar, deverá ser feito investimento em novo conhecimento tecnológico (e.g. melhoramento genético);
- Apoiar a transição no sector sempre que se verifiquem significativas alterações de uso do solo, localização de indústria ou migração da região de produção;
- Implementar novas infraestruturas, políticas e instituições no âmbito

dos novos equilíbrios na gestão e uso do solo apoiando o investimento no regadio, nas infraestruturas de transporte e armazenamento, revisão das formas de detenção da terra, estabelecimento de mercados de produtos e factores assim como de serviços financeiros e seguros;

- Monitorizar as medidas de adaptação para que estejam em constante ajuste e melhoria técnica, não descurando a componente económica.

Instrumentos nacionais e europeus

No âmbito da adaptação planeada, encontra-se em consulta pública até Setembro de 2009 a Proposta de Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas em Portugal. Esta proposta, elaborada pela Comissão para as Alterações Climáticas (cf. 4.7), surge no seguimento do Livro Branco – Adaptação às Alterações Climáticas: para um Quadro de Acção Europeu publicado em 2009 pela Comissão das Comunidades Europeias, acompanhado de um relatório sectorial para a agricultura e zonas rurais.

O principal argumento para a apresentação de uma estratégia europeia e nacional de adaptação resulta de ser pouco provável que a adaptação autónoma garanta uma adaptação optimizada devido à incerteza, ao carácter imperfeito da informação ou mesmo a condicionalismos financeiros. Por outro lado, as medidas de adaptação autónoma podem, se erradas, aumentar ainda mais a vulnerabilidade às alterações climáticas. Finalmente, a adaptação planeada pode conseguir uma acção preventiva dos impactos, que a adaptação autónoma dificilmente terá.

Dado o cariz regional dos impactos das alterações climáticas, seria sempre de esperar que as medidas de adaptação fossem também elas implementadas a nível local, regional ou mesmo nacional. A estratégia europeia surge no sentido de apoiar e reforçar as medidas de adaptação nacionais fornecendo uma abordagem integrada e coordenada. Por outro lado, algumas medidas de adaptação podem fazer mais sentido num contexto transfronteiriço (e.g. bacias hidrográficas ou regiões biogeográficas). Noutros casos, a adaptação poderá exigir solidariedade entre estados membros, garantindo que certas zonas mais afectadas sejam financeiramente capazes de se adaptarem.

Finalmente, certos sectores, como o agrícola, encontram-se fortemente integrados a nível de política comum, pelo que a abordagem europeia faz todo o sentido.

A União Europeia (UE) está também bem colocada para facilitar aos diversos estados membros a elaboração das respectivas estratégias nacionais de adaptação às alterações climáticas.

O quadro de adaptação às alterações climáticas da UE visa duas fases: na fase 1, entre 2009 e 2012, deve estabelecer-se uma base para a preparação de uma estratégia de adaptação global da UE a executar durante a fase 2, que terá início em 2013. A fase 1 incluirá quatro sub-acções:

- Constituição de uma base de conhecimentos sólida sobre o impacto e as consequências das alterações climáticas para a UE. Acções: a) Criação um Mecanismo de Intercâmbio de conhecimento sobre alterações climáticas e adaptação; b) Desenvolvimento de métodos, modelos, conjuntos de dados e instrumentos de previsão; c) Desenvolvimento de indicadores destinados a monitorizar melhor o impacto das alterações climáticas, designadamente impactos em termos de vulnerabilidade, e os progressos da adaptação; d) Avaliar os custos e os benefícios das opções de adaptação;
- Integração da adaptação nos principais domínios políticos da União Europeia - a Política Agrícola Comum (PAC) poderá desempenhar um papel central na adaptação, não só ajudando os agricultores a adaptarem a produção respectiva às alterações climáticas, com uma importante tónica do aumento da resiliência, como contribuindo para a prestação de serviços ecossistémicos mais vastos ligados a uma gestão específica dos solos. Acções: a) Garantir que as medidas de adaptação e de gestão da água sejam inseridas nas estratégias e nos programas nacionais de desenvolvimento rural para 2007-2013; b) Analisar a forma como a adaptação pode ser integrada nas 3 vertentes do desenvolvimento rural (a melhoria da competitividade, o ambiente e a qualidade de vida nas zonas rurais) e conceder apoio adequado à produção sustentável, incluindo as modalidades de contribuição da

PAC para a utilização eficiente da água na agricultura; Examinar a capacidade do sistema de aconselhamento agrícola para reforçar a formação, o conhecimento e a adopção de novas tecnologias que facilitam a adaptação; d) Actualizar a estratégia florestal e lançar o debate sobre as opções de abordagem da protecção florestal e dos sistemas de informação florestal pela UE;

- Recurso a uma combinação de instrumentos políticos para garantir a eficácia da adaptação. Acções: a) Fazer uma estimativa dos custos de adaptação de modo a poder tê-los em conta nas decisões financeiras futuras; b) Analisar de forma mais exaustiva a utilização potencial de medidas de financiamento inovadoras para fins de adaptação; c) Examinar o potencial dos seguros e de outros produtos financeiros para completarem as medidas de adaptação e funcionarem como instrumentos de partilha de riscos; c) Incentivar os Estados-Membros a utilizarem as receitas do regime de comércio de licenças de emissão da UE (cf.4.3) para fins de adaptação;
- Reforço da cooperação internacional em matéria de adaptação – a) Criação de um grupo director para o impacto e a adaptação destinado a intensificar a cooperação em matéria de adaptação; (b) Incentivar o desenvolvimento ulterior de estratégias nacionais e regionais de adaptação com o objectivo de ponderar a introdução de estratégias de adaptação obrigatórias a partir de 2012.

No relatório sectorial para agricultura da Comissão das Comunidades Europeias, as alterações climáticas são colocadas com um dos muitos factores que configuram a agricultura e as zonas rurais europeias. Neste sentido, é reforçado o papel que a PAC tem a desempenhar na melhoria da capacidade de adaptação às novas condições, ajudando os agricultores a implementar medidas de adaptação.

O relatório sintetiza os principais impactos das alterações climáticas na agricultura da UE, examina as necessidades de adaptação, indica quais as consequências para a PAC e estuda possíveis orientações para futuras acções. Tem ainda como objectivo reforçar o empenho dos Estados-Membros e da

comunidade agrícola com vista a promover pistas de reflexão e de acção sobre as necessidades de adaptação resultantes de pressões climáticas.

Dada a incerteza associada às projecções das alterações climáticas, uma das orientações base sugeridas para futuras estratégias nacionais de adaptação é o “princípio da precaução” e do “no-regret” (sem arrependimento). Esta orientação conduzirá sempre a estratégias necessariamente genéricas de forma a deixar sempre margem de manobra futura.

Entre os países da UE, muitos já dispõem de documentos de Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas como, por exemplo, a Espanha, a Finlândia, a Holanda, a França e a Roménia. A Alemanha ainda está a preparar a sua estratégia e, Portugal, como foi dito no início, tem a sua em consulta pública.

No âmbito das estratégias apresentadas, as medidas propostas pelos diversos estados-membros para o sector agrícola são diversas, como não poderia deixar de acontecer numa tão ampla área geográfica. Algumas das medidas incluem:

- Monitorização: Cartografia das alterações das zonas agro-climáticas em função das diferentes projecções climáticas; Indicadores para monitorização das alterações climáticas; Desenvolvimento de indicadores de alerta precoce;
- Modelação: Modelação das alterações climáticas a nível regional; Modelação das interacções entre culturas e clima; Modelação de pragas e doenças; Necessidade de rega; Modelação dos mercados; Desenvolvimento de cenários regionais;
- Planeamento: Planeamento do uso do solo; Prevenção e protecção para cheias; Identificação de zonas de risco de cheias e definição de um plano de uso do solo; Avaliação do risco; Práticas agrícolas mais extensivas e diversificadas; Identificação de áreas prioritárias; Identificação de oportunidade para culturas para biomassa; Relocalização de explorações; Usos alternativos de solos salinizados;
- Gestão/Financeira: Promoção de investimento em infra-estruturas;

Desenvolvimento de análises custo - benefício; Manutenção do suporte à agricultura; Introdução/desenvolvimento de seguros;

- Institucional; Desenvolvimento de políticas agrícolas, Flexibilizar a PAC; Coordenação de políticas sectoriais; Novas alianças organizacionais e políticas; Facilitar a comunicação entre o sector público e o privado;
- Sensibilização / Desenvolvimento de capacidade: Facilitar a comunicação entre as instituições públicas e os agricultores; Implementação de serviços de aconselhamento;
- Tecnologia: Melhoramento vegetal; Estratégias de gestão técnica; Estufas flutuantes;
- Gestão das culturas: Escolha de variedades mais resistentes; Utilização de variedades diferentes; Alterar datas de sementeira; Escolher variedades mais resistentes, adaptadas às condições locais, com elevada tolerância às condições meteorológicas e baixa vulnerabilidade a pragas; Selecção de rotações de culturas apropriadas; Alteração das zonas de cultivo e das variedades; Adaptação temporal e espacial da fertilização; Modificação do nível de mobilização do solo;
- Gestão do solo: Análise de risco de subsidência; Aumento da cobertura do solo para evitar lixiviação de nutrientes; Alternativas para a gestão do solo; Identificação de solos vulneráveis à desertificação; Modelação do processo de erosão; Monitorização de solos degradados; Práticas de conservação do solo e da água; Utilização de espécies que reduzam o risco de erosão e sejam tolerantes ao alagamento; Práticas de conservação da água do solo; Drenagem sub-superficial; Mobilização de conservação;
- Gestão da água: Avaliação da qualidade da água; Cartografia dos caudais dos rios e avaliação do risco de cheia; Avaliação / desenvolvimento de infra-estruturas de armazenamento de água;

Avaliação da eficiência de uso da água; Introdução da quantificação da água em agricultura; Drenagem das parcelas; Modelação da gestão da água, incluindo os cenários de alteração climática; Adaptação dos regimes de rega e drenagem; Melhoramento/implementação da rega; Desenvolvimento de armazenamento de água nas explorações;

- Gestão Agro-Ambiental: Revisão dos programas agro-ambientais; Gestão de áreas e espécies protegidas.

A proposta de estratégia nacional de adaptação às alterações climáticas de Portugal encontra-se estruturada em quatro objectivos, que exprimem a organização dos trabalhos, e que naturalmente encontram paralelo com o Livro Branco da Comissão Europeia:

- Informação e Conhecimento – É a base da adaptação e exprime a necessidade de consolidar e desenvolver uma base técnico-científica;
- Reduzir a Vulnerabilidade e Aumentar a Capacidade de Resposta – É a parte central da estratégia e compreende a identificação, definição de prioridades e implementação das principais medidas de adaptação;
- Participar, Sensibilizar e Divulgar – Identifica a necessidade de dar a conhecer as alterações climáticas e a necessidade de acção e, sobretudo, suscitar a maior participação possível por parte desses agentes na definição e implementação da estratégia;
- Cooperar a Nível Internacional – Diz respeito à responsabilidade de Portugal em matéria de cooperação internacional na área da adaptação às alterações climáticas, bem como no acompanhamento das negociações internacionais.

4.3. Mitigação das Alterações Climáticas

A redução de emissões de GEE e a promoção de sequestro de carbono é o segundo tipo de resposta às alterações climáticas.

Devido à ocupação de grandes áreas de solo, as medidas implementadas nas

culturas agrícolas, na floresta e nas pastagens têm o potencial de afectar a capacidade de sequestro e a emissão de GEE da Terra e, assim, contribuir para a alteração da concentração do CO_2 na atmosfera. Desta forma, os impactos das alterações climáticas podem eles próprios agravar os efeitos do aquecimento e aumento de CO_2 , pelo que a agricultura tem um papel importante na sustentabilidade futura e sobretudo em acções de mitigação das alterações climáticas.

O efeito da redução das emissões de GEE sobre a sua concentração atmosférica depende dos processos químicos e físicos envolvidos. A concentração de alguns GEE diminui quase imediatamente em resposta à redução da emissão, enquanto outros podem inclusivamente continuar a aumentar durante séculos mesmo com emissões reduzidas.

A concentração de GEE na atmosfera depende da competição entre taxas de emissão de cada gás para a atmosfera e das taxas dos processos que os removem da atmosfera. Por exemplo, em relação ao CO_2 dão-se trocas entre a atmosfera, o oceano e a terra através de processos como as transferências de gás atmosfera-oceano e processos químicos e biológicos (e.g. fotossíntese), como foi visto anteriormente.

Enquanto metade do CO_2 emitido é removido da atmosfera no período de um ano, uma fracção (20%) daquele mantém-se por milénios. Em resultado dos lentos processos de remoção, o CO_2 atmosférico continuará a aumentar no longo prazo, mesmo se as emissões foram substancialmente reduzidas em relação aos valores actuais.

O CH_4 é removido por processos químicos na atmosfera, enquanto o N_2O e alguns halocarbonetos são destruídos na alta atmosfera pela radiação solar. Estes processos operam a escalas temporais diferentes indo desde anos (CH_4 e N_2O) a milénios (CO_2).

Segundo o IPCC, as medidas de mitigação no sector agrícola podem ser classificadas em 3 categorias:

- Redução das emissões: O sector agrícola liberta para a atmosfera uma quantidade significativa de CH_4 e N_2O . Estes fluxos podem ser reduzidos com uma gestão mais eficiente, por exemplo, da aplicação

de adubos azotados (N_2O) ou na gestão da alimentação de gado bovino (CH_4). As medidas a implementar são específicas para cada situação e portanto variam de região para região;

- **Promoção do sequestro de carbono:** Os sistemas agrícolas detêm grandes quantidades de reservas de carbono, sobretudo na matéria orgânica do solo. Historicamente registaram-se grandes perdas (na ordem das 1000 Tera gramas de C) embora possa haver alguma recuperação através da melhoria da gestão das culturas. Qualquer prática que aumente a taxa fotossintética ou reduza a emissão de CO_2 por via do aumento da matéria orgânica do solo, da redução dos incêndios e da erosão do solo, irá aumentar o armazenamento de carbono, i.e., o sequestro de carbono ou alimentar um sumidouro. Muitos estudos mostram que este tipo de práticas permite o sequestro de quantidades consideráveis de carbono, sobretudo em sistemas agro-florestais, culturas perenes e pastagens;
- **Evitar emissões:** Algumas culturas, e seus resíduos, podem ser utilizadas como fonte de combustível, tanto directamente (biomassa) como após conversão em etanol (cereais, batata, cana-de-açúcar, etc) ou diesel (oleaginosas). Estes materiais bio-energéticos libertam CO_2 na sua combustão, contudo é carbono com origem atmosférica recente via fotossíntese e não carbono fóssil. O efeito líquido para a atmosfera destas fontes de energia é igual à dos combustíveis de origem fóssil, subtraído de qualquer emissão resultante da produção, transporte e processamento. Ainda podem ser evitadas emissões por práticas agrícolas que previnam o cultivo de novas áreas actualmente com floresta, pastagem ou outros tipos de vegetação.

As práticas de mitigação afectam, por vezes, mais de um GEE, pelo que o benefício global depende do balanço final. Por outro lado, as diferentes práticas apresentam horizontes temporais distintos em termos de redução da emissão. Umas reduzem indefinidamente as emissões para a atmosfera e outras apenas operam um desfasamento temporal das emissões.

As principais medidas de mitigação são:

- Gestão das culturas

- Agronomia – A melhoria das práticas agronómicas que aumentem a produtividade e originem mais resíduos podem conduzir ao aumento do carbono no solo. Exemplos documentados incluem utilizar variedades melhoradas, aumentar a duração das rotações, evitar pousios, aumentar a fertilização (no caso de fertilizantes azotados os ganhos podem ser reduzidos pelo aumento das emissões de N_2O), adopção de sistemas de cultivo com reduzido input de fertilizantes e fitofármacos (e.g. rotações com leguminosas), manutenção do solo com cobertura vegetal quer entre culturas sucessivas quer na entrelinha de culturas permanentes (que além de aumentar o carbono no solo, ao consumir azoto disponível evita perdas de N_2O);
- Gestão do azoto – O azoto aplicado em fertilizantes, estrumes, ou biomassas nem sempre é utilizado pelas culturas o que permite que o excesso se perca sob a forma de N_2O . Uma utilização eficiente do azoto pode também evitar as emissões subjacentes à produção do fertilizante. Exemplos documentados incluem: ajustar as taxas de aplicação às necessidades das culturas (e.g. fitosensores, agricultura de precisão), utilização de fertilizantes de libertação controlada ou lenta ou inibidores da nitrificação, aplicação de azoto quando a susceptibilidade às perdas são menores, localização do azoto mais junto das raízes;
- Mobilização do solo e gestão dos resíduos – Os avanços nos métodos de controlo de infestantes e maquinaria agrícola permitem que diversas culturas possam ser cultivadas com mobilização reduzida ou mesmo nula, uma vez que a mobilização do solo tende a promover as perdas de carbono orgânico através da mineralização da matéria orgânica ou da erosão. Em geral, os sistemas de mobilização reduzida ou nula conduzem a aumentos do carbono no solo. A não mobilização

também pode reduzir emissões de CO_2 resultantes da poupança na utilização combustíveis. Os sistemas que conservam os resíduos das culturas também tendem a proporcionar aumentos do teor de matéria orgânica do solo já que aqueles são os seus precursores. Evitar queimar os resíduos das culturas também permite evitar a emissão de gases de efeito de estufa;

- Gestão da água (rega e drenagem) – A expansão da área de regadio ou utilização mais eficiente da rega pode aumentar o armazenamento do carbono no solo por aumento da produtividade das culturas. Contudo, alguns destes ganhos podem ser eliminados pelo CO_2 emitido no gasto de energia necessário à rega. A drenagem de solos agrícolas em regiões húmidas promove a produtividade das culturas e reduz as emissões de N_2O ;
- Gestão da cultura do arroz – A cultura do arroz com alagamento emite quantidades significativas de CH_4 . Estas emissões podem ser reduzidas por diversas práticas nomeadamente a drenagem das parcelas uma ou várias vezes durante a campanha. O efeito daquela prática pode, em parte, ser diminuído pelo aumento das emissões de N_2O . Outra prática será a drenagem das parcelas durante todo o período de repouso;
- Sistemas Agro-florestais – Os sistemas agro-florestais produzem produtos animais e/ou vegetais em solos que produzem igualmente árvores para madeira ou outros produtos (cortiça, bolota). As árvores armazenam carbono em maior quantidade que as culturas anuais;
- Set-aside, utilização do solo – Um dos métodos mais efectivos para reduzir as emissões é permitir a passagem de terra arável para outras formas de utilização, tipicamente uma semelhante à vegetação natural. Esta passagem pode dar-se na totalidade

da área ou apenas em pontos localizados como zonas de drenagem ou zonas marginais às parcelas. Esta alteração promove o armazenamento de carbono uma vez que reduz a perturbação do solo e a remoção de biomassa. A plantação de árvores em sistemas agro-florestais, a florestação e a reflorestação também reduzem as emissões de GEE. Estas práticas reduzem a produtividade agrícola, pelo que devem ser recomendadas para zonas marginais.

- Gestão das pastagens/melhoramento das pastagens
 - Intensidade de pastoreio – A intensidade e oportunidade de pastoreio podem influenciar o crescimento das pastagens e, desta forma, afectar o armazenamento de carbono no solo. Tanto o sub como o sobre pastoreio podem diminuir o aumento de carbono no solo;
 - Aumento da produtividade (e.g. fertilização) – Tal como para as culturas, as medidas que conduzirem ao aumento da produtividade das pastagens aumentam o armazenamento de carbono no solo. No balanço final é necessário ter em conta as emissões correspondentes à implementação das próprias medidas;
 - Introdução de novas espécies (incluindo leguminosas) – A introdução de novas espécies com produtividade mais elevada ou com sistema radical mais profundo aumenta o sequestro de carbono no solo;
 - Diversificação das espécies - Utilizar pastagens que privilegiem a consociação de espécies diversas aumenta a produtividade da pastagem aumentando o sequestro de carbono no solo.
- Gestão de solos orgânicos
 - Evitar drenagem de zonas húmidas – Os solos orgânicos ou em zonas de alagamento, possuem elevadas quantidades de carbono. Para serem utilizados para agricultura precisam de ser drenados o que promove a mineralização da matéria orgânica e consequente perda de carbono do solo e emissão de CO₂.

- **Restauro de solos degradados**
 - Controlo da erosão, correcção orgânica – A excessiva perturbação, erosão, perda de matéria orgânica, salinização, acidificação e outros processos têm degradado áreas consideráveis de terra arável reduzindo a fertilidade. Estes solos podem ser recuperados melhorando a capacidade de armazenar carbono através de acções que recuperem a sua produtividade (e.g. plantação de espécies anuais, fertilizações, correcções orgânicas).
- **Gestão da produção animal**
 - Melhoria das práticas de alimentação – A emissão de CH_4 proveniente da fermentação ruminal pode ser reduzida pela substituição de forragens por alimentos mais concentrados. O efeito líquido depende mais uma vez de outros factores como o efeito na alteração do uso do solo, da resultante concentração de azoto no estrume e das emissões da produção e transporte dos concentrados. Outras medidas que podem reduzir a emissão de CH_4 incluem melhoria da qualidade pastagem já que ao aumentar a produtividade animal, permite reduzir o número de animais e a optimização do consumo proteico para reduzir a excreção de azoto e emissão de N_2O ;
 - Agentes específicos e suplementos dietéticos – Têm sido propostas algumas soluções para suprimir a formação de CH_4 em ruminantes, que incluem antibióticos, vacinas específicas, tratamentos hormonais, etc. A efectividade destes produtos é variável e ainda pouco testada;
 - Alterações estruturais e de manejo e melhoramento animal – O aumento da produtividade através do melhoramento e manejo reduz a produção de CH_4 por unidade de produto, em resultado da aceleração do crescimento.
- **Gestão de efluentes em explorações animais**

- Melhoria da gestão e armazenamento – Os efluentes podem libertar quantidades significativas de N_2O e CH_4 durante o armazenamento, havendo, no entanto, medidas que podem reduzir essas emissões como, por exemplo, o arrefecimento ou cobertura de tanques ou lagoas, a separação mecânica da componente sólida, ou a captura do CH_4 ;
 - Digestão anaeróbia – Os efluentes podem ser digeridos por via anaeróbica para maximizar a utilização do CH_4 como fonte de energia renovável;
 - Utilização mais eficiente como fertilizantes – O maneo da fracção sólida dos efluentes, por exemplo por compostagem, pode suprimir as emissões de CH_4 . A utilização directa no solo de estrume pode conduzir à libertação de N_2O .
- Culturas bioenergéticas, biocombustíveis sólidos, líquidos, biogás e resíduos

Cada vez mais as culturas agrícolas e os seus resíduos são vistos como fontes de energia alternativas aos combustíveis de origem fóssil. Um largo conjunto de materiais já foram testados incluindo grãos, tubérculos, resíduos, etc. Estes produtos podem ser queimados directamente ou convertidos em combustíveis líquidos como o bioetanol (tipicamente a partir de culturas amiláceas) ou o biodiesel (tipicamente a partir de culturas oleagionosas). A utilização destes produtos também liberta CO_2 , contudo é um CO_2 de origem atmosférica e evita a utilização de combustíveis fósseis. O efeito líquido final depende das emissões resultantes da produção e processamento destes biocombustíveis. A competição por terra agrícola gerada pela produção de biocombustíveis é um factor a ter em conta na opção por esta medida. Quando a origem do biocombustível é um produto comestível, também há que ter em conta a competição por alimentos e o efeito nos preços destes bens essenciais. Os resíduos agrícolas utilizados para produção de energia são obrigatoriamente retirados das parcelas e, portanto, eliminando a possibilidade de contribuírem para o aumento da matéria orgânica

estável. O sector das bioenergias está em forte expansão mundial, contudo, é necessário ter em conta os próprios impactos desta actividade em usos alternativos do solo, produção de alimentos, biodiversidade, conservação do solo, e até no sequestro do carbono.



Figura 54 - Medidas de mitigação das alterações climáticas: Melhoria da gestão e armazenamento, digestão anaeróbia, utilização como fertilizante – os efluentes podem libertar para a atmosfera quantidades significativas de CH_4 e N_2O

Fonte: Soil-Science.info em Flickr.com



Figura 55 - Medidas de mitigação das alterações climáticas: Mobilização do solo e gestão dos resíduos – Os sistemas de mobilização reduzida ou nula promovem o sequestro do carbono

Fonte: Soil-Science.info em Flickr.com

As diferentes medidas de mitigação têm distintos potenciais de redução das emissões de GEE. Na avaliação do potencial é necessário considerar os gases de efeito de estufas mais importantes e não apenas o CO_2 . Para isso, expressa-se este potencial em equivalente CO_2 tendo por base os factores de conversão de 1 para o CO_2 , 21 para o CH_4 e 310 para o N_2O . A Tabela 2 apresenta o potencial de mitigação médio de diversas medidas.

Algumas medidas de mitigação actuam, principalmente, num dos GEE (e.g. gestão da água) enquanto outras tem impacto em mais de um GEE (e.g. set-aside). Quando a actuação de uma medida se verifica em mais de um GEE, esta pode implicar um efeito globalmente positivo (e.g. set-aside) ou implicar uma solução de compromisso entre efeitos (e.g. solos orgânicos).

Os valores apresentados na Tabela 2 variam de região climática para região climática, já que os diferentes processos têm importâncias relativas distintas em função do clima (e.g. climas mais húmidos ou frios). Também se verifica uma variação do potencial de mitigação com o tempo. Por exemplo, em resultado de uma medida de mitigação, o aumento de matéria orgânica no solo apresenta um aumento inicial seguido de um abrandamento.

Tabela 2 – Potencial de mitigação médio das diversas medidas de mitigação

Âmbito	Medida	CO ₂ (CO ₂ /ha/ano)	CH ₄ (CO ₂ -eq/ha/ano)	N ₂ O (CO ₂ -eq/ha/ano)	Total (CO ₂ -eq/ha/ano)
Gestão das culturas	Agronomia	0,29	0,00	0,10	0,39
Gestão das culturas	Gestão da fertilidade	0,26	0,00	0,70	0,33
Gestão das culturas	Mobilização do solo e gestão dos resíduos	0,33	0,00	0,02	0,35
Gestão das culturas	Gestão da água	1,14	0,00	0,00	1,14
Gestão das culturas	Sistemas agro-florestais	0,33	0,00	0,20	0,35
Gestão das culturas	Set-aside, utilização do solo	1,61	0,02	2,30	3,93
Gestão das pastagens	Pastoreio, fertilização	0,11	0,00	0,00	0,11
Solos orgânicos	Restauro	73,33	-3,32	0,16	70,18
Solos degradados	Restauro	3,45	0,00	0,00	3,45
Efluentes	Aplicação	1,54	0,00	0,00	1,54
Bioenergia	Efeito no solo	0,33	0,00	0,02	0,35

Fonte: IPCC, 2007

As diferentes medidas de mitigação têm impactos distintos na sustentabilidade social, ambiental e económica do sector agrícola. Desta forma, o conjunto das opções a seguir deve ser previamente avaliado sob aquelas vertentes para evitar a incoerência de objectivos.

A adopção de medidas de mitigação no sector agrícola encerra ainda outras limitações, designadamente:

- Capacidade máxima de armazenamento – O sequestro de carbono no solo ou em biomassa está limitado por um valor máximo para o ecossistema e que pode ser atingido num período de 15 a 60 anos. De qualquer forma, o sequestro de carbono é uma medida de mitigação barata e de efeito rápido a utilizar até outras formas mais duradouras surgirem;
- Reversibilidade – Uma alteração na gestão do ecossistema pode eliminar os ganhos de carbono por sequestro num período de tempo idêntico. No entanto, nem todas as medidas de mitigação em agricultura são reversíveis: redução de emissões de N_2O e CH_4 ; emissões evitadas por aumento da eficiência energética ou a substituição de combustíveis fósseis por bioenergia;
- Controlo – As reduções de emissões líquidas de GEE necessitam de ser avaliadas em função de um referencial. A selecção de um referencial apropriado para medir as alterações de carbono do solo resultantes da diferente gestão ainda constitui um sério obstáculo em muitas situações;
- Incerteza – A incerteza associada aos processos biológicos e ecológicos que envolvem emissões e sequestro de carbono em sistemas agrícolas pode conduzir à opção por outras soluções. Por outro lado, os sistemas agrícolas exibem uma variabilidade no tempo e espaço considerável, o que gera alguma variabilidade no sequestro ao nível da exploração agrícola;
- Desfasamento das emissões – É necessário levar em linha de conta com a extensão geográfica da avaliação já que dela pode resultar diferentes indicadores líquidos de emissões de GEE;

- Direitos de propriedade: Os direitos de posse e uso da terra assim como a falta de um cadastro claro da propriedade em determinadas regiões pode inibir a implementação de alterações na gestão;
- Outras limitações: disponibilidade de capital, taxa de desenvolvimento tecnológico, atitude perante o risco, necessidade de informação e comunicação, consistências com práticas tradicionais, pressão de usos alternativos do solo, etc.

4.4. Relação entre Adaptação e Mitigação

As medidas de adaptação e mitigação não são independentes entre si. Na verdade há uma íntima relação entre as duas. As medidas de mitigação podem ter diferentes consequências nas medidas de adaptação. Essas consequências podem ser positivas (e.g. sequestro de carbono que não envolva maior utilização de água) ou negativas (e.g. uma grande dependência em bioenergias aumentaria a sensibilidade do fornecimento de energia aos extremos climáticos).

Por outro lado, as medidas de adaptação podem ter um efeito positivo na mitigação (e.g. a incorporação de resíduos no solo para aumentar a capacidade de armazenamento de água conduz a um maior sequestro de carbono), assim como um efeito negativo (e.g. aumentar a taxa de aplicação de fertilizantes azotados para contrariar a perda de produtividade pode aumentar as emissões de N_2O).

Uma diferença fundamental entre os dois tipos de medidas é que as medidas de mitigação reduzem todos os impactos (positivos ou negativos) das alterações climáticas e, com isso, reduzem o desafio da adaptação, enquanto as medidas de adaptação são selectivas, permitindo tirar partido dos impactos positivos e reduzir os impactos negativos.

Por outro lado, apesar de ambos os tipos de medidas coexistirem no tempo e no espaço, os benefícios têm escalas espaciais e temporais distintas. As medidas de mitigação têm um âmbito mais global e de longo prazo, enquanto nas medidas de adaptação o âmbito é mais local e imediato. Este aspecto,

associado à maior dependência relativamente a questões sociais, económicas e políticas, torna também a avaliação da eficácia das medidas de adaptação mais difícil quando comparada com as medidas de mitigação.

À medida que as alterações climáticas decorrem, os benefícios a tirar das medidas de adaptação aumentam. Isto deve-se ao facto de que, como foi anteriormente dito, por mais rígidas que sejam as medidas de mitigação, alguns impactos das alterações climáticas são inevitáveis.

Todas estas diferenças entre medidas de mitigação e adaptação conduzem a que as medidas de mitigação tendam a ser promovidas por organismos internacionais (e.g. protocolo de Quioto) enquanto as medidas de adaptação resultem de esforços locais dos actores directamente interessados, mesmos que apoiados em políticas nacionais.

A aplicação de medidas de mitigação em explorações agrícolas tem efeitos complexos e interactivos que variam de região para região. A maioria das medidas para reduzir a emissão de GEE tem outros impactos na produtividade dos ecossistemas agrícolas já que se tratam de sistemas altamente complexos. Assim, é necessário muitas vezes encontrar soluções de compromisso entre os aspectos positivos e negativos das diversas medidas e encará-las como um “pacote” não como acções isoladas.

Desta forma, a opção entre medidas a implementar deve resultar de um cuidadoso processo de avaliação tendo em conta outros aspectos que não apenas a poupança directa de emissões de GEE. Com este fim, as ferramentas de avaliação das diversas medidas de mitigação terão um papel preponderante. No site deste projecto (agrinov.ajap.pt) encontra-se disponível uma ferramenta deste tipo.

4.5. Políticas Nacionais de Mitigação

Com o intuito de reduzir as emissões de GEE, os diversos países ou comunidades de países têm adoptado uma série de políticas que podem ser agrupadas da seguinte forma:

- Regulamentação de emissões – É a forma mais comum de implementar política de redução das emissões de GEE. Uma

regulamentação que especifica para determinado sector de actividade (a) as metas ambientais a atingir e as (b) acções, que podem consistir na especificação de tecnologias ou produtos a usar ou a não usar ou no desenvolvimento de padrão de performance que ditam o que é um comportamento aceitável por parte dos diversos actores;

- Impostos e tarifas – Este tipo de políticas impõe a cada entidade ou indivíduo que emite CO₂ para a atmosfera o pagamento de determinada verba monetária;
- Mercado de permissões - A criação de um mercado de permissões (“cap and trade”) é uma medida administrativa prevista no protocolo de Quioto e utilizada para controlar as emissões de GEE, que fornece incentivos económicos para a redução das emissões. Uma autoridade central, em geral o governo, estabelece um limite para as emissões (“cap”), que depois é gerido através da concessão de permissões (“trade”). Desta forma, uma determinada empresa adquire um determinado número de créditos de emissões que representa o direito a emitir uma quantidade específica de carbono. O número total de créditos do mercado está limitado à partida, possibilitando a criação de um bem escasso. As empresas que precisam de aumentar as suas emissões de GEE necessitam de comprar créditos ao mercado. Na realidade, as empresas nesta situação estão a pagar para poder emitir, enquanto uma empresa que vende créditos, porque reduz as emissões, é recompensada. É também possível patrocinar projectos de sequestro de carbono que reduzem as emissões líquidas de GEE como formas de gerar créditos de carbono para o mercado.

O maior mercado de permissões de emissão no mundo é o europeu: European Union Emission Trading Scheme, que começou a funcionar em 2005, congrega aproximadamente 11 500 entidades no espaço europeu e cobre 45% do total das emissões de CO₂ da UE. Cada país membro desenvolve um plano nacional de alocação que descreve a forma como os créditos são distribuídos pelos diferentes sectores e entidades.

Os mercados de permissões ou também designados mercados de carbono estão a ser vistos como uma forma de, nas próximas décadas, os empresários agrícolas transformarem as medidas de mitigação implementadas (e.g. mobilização de conservação ou introdução de pastagem) em serviços ambientais devidamente remunerados pela venda dos créditos de emissão ao próprio mercado.

Os mercados de permissões apresentam, além das limitações anteriormente referidas para as medidas de mitigação, algumas dificuldades como sejam a existência de custos de transacção e de medição e monitorização;

- Acordos voluntários – Estes acordos são estabelecidos entre o governo e uma ou várias entidades para atingir objectivos ambientais ou para melhorar a performance ambiental, além das obrigações regulamentadas;
- Subsídios e incentivos – Os subsídios directos ou indirectos podem ser uma componente importante das políticas ambientais, tendo contudo um impacto no mercado de grande magnitude quer positiva quer negativa. Estes podem ir desde os incentivos à utilização de energias renováveis ou à promoção de novas tecnologias (+) até subsídios ao sector agrícola que tenham como resultado a promoção da conversão de zonas de vegetação natural em solos agrícolas (-);
- Investigação e desenvolvimento – O papel da investigação e desenvolvimento na mudança do sector da energia é inquestionável na medida em que tem um papel fundamental na procura de soluções alternativas à utilização de combustíveis fósseis;
- Informação – A disseminação de informação ajuda os consumidores e empresários a tomarem decisões mais ajustadas.

4.6. Outras Políticas Não Climáticas que Afectam a Emissão de GEE

Muitas políticas não especificamente concebidas para fazer face às alterações climáticas acabam por afectar as emissões de GEE da actividade agrícola. Nestas podem incluir-se convenções das Nações Unidas para a biodiversidade,

desertificação ou desenvolvimento sustentado que, por exemplo, ao combaterem a erosão dos solos promovem o sequestro de carbono.

A nível de políticas macroeconómicas é de referir a Política Agrícola Comum, os acordos internacionais de comércio livre, os acordos de comércio regional, as políticas de energia e ajuste de preços, etc.

No caso concreto da PAC, as políticas de desincentivo à produção, à redução do número de animais, e à consequente diminuição do peso do sector têm conduzido à redução de emissões de GEE.

4.7. Portugal e o Protocolo de Quioto

De forma a cumprir os compromissos estabelecidos no Protocolo de Quioto (limitar o aumento das suas emissões de GEE em 27%, no período de 2008-2012 com base nos valores 1990), Portugal constituiu três instrumentos de política:

- O Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), aprovado em Resolução do Conselho de Ministros em 2006 e alterado em 2008 que define um conjunto de políticas e medidas internas que visam a redução de emissões de GEE por parte dos diversos sectores de actividade;
- O Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE), que é aplicável a um conjunto de instalações fortemente emissoras de GEE, e, como tal, incluídas no Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE);
- O Fundo Português de Carbono, criado por Decreto-Lei em 2006, e que visa o desenvolvimento de actividades para a obtenção de créditos de emissão de GEE, designadamente através do investimento em mecanismos de flexibilidade do Protocolo de Quioto.

Em 1998 é criada a Comissão Nacional para as Alterações Climáticas (CAC) por uma Resolução do Conselho de Ministros. Esta comissão de carácter interministerial apresenta a primeira versão do Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) em 2002, e aprova medidas adicionais em 2003.

O objectivo do PNAC é quantificar o esforço de mitigação das emissões necessário para o cumprimento dos compromissos assumidos por Portugal, identificando as responsabilidades sectoriais e apresentando um conjunto de políticas e medidas e respectivos instrumentos que permitam uma intervenção integrada com o objectivo de mitigação das emissões.

Desde logo o PNAC assumiu como aposta principal o sector da energia, nomeadamente nas energias renováveis, como a hídrica e a eólica, a biomassa e a fotovoltaica, de forma a que as reduções neste sector representassem 40% do total. O PNAC também deu ênfase o sector dos transportes.

Inicialmente, o PNAC propôs a tributação das emissões de carbono em todos os sectores de actividade económica. Mais tarde, o regime do comércio europeu de emissões é elaborado em Portugal pela proposta de Programa Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE) para o período experimental da directiva de 2005 a 2007.

Finalmente, o PNAC propõe o investimento em Investigação e Desenvolvimento na avaliação do impacto das alterações climáticas.

Em 2004, O PNAC apresenta como medidas concretas para o sector agrícola e florestal, a promoção da capacidade de sumidouro de carbono da floresta, a avaliação e promoção da retenção de carbono em solo agrícola e o tratamento e valorização energética de resíduos de pecuária, em particular da suinicultura.

Em 2005 é criado o Sistema Nacional de Inventário de Emissões Antropogénicas por Fontes e Remoção por Sumidouros de Poluentes Atmosféricos (SNIERPA) que é utilizado pela primeira vez em 2006 na elaboração do relatório do inventário nacional referente às emissões do ano 2004. O SNIERPA permite ainda a monitorização e validação regular das emissões de GEE ao nível nacional e que se reveste da maior importância para o controlo e demonstração do cumprimento do Protocolo de Quioto pelo país.

Em 2006, a CAC volta a alterar e a actualizar o PNAC (sem grande alteração quanto a medidas concretas para o sector agrícola) e, no mesmo ano, é criado o Fundo Português de Carbono. Este visa o desenvolvimento de actividades para a obtenção de créditos de emissão de GEE.

Em 2009 foi criado um Programa de Monitorização e Avaliação do PNAC - o

Sistema de Previsão do Cumprimento de Quioto - CumprirQuioto.pt que visa prever o grau de cumprimento das metas nacionais no âmbito do Protocolo de Quioto para permitir o reforço atempado das políticas e medidas de combate às alterações climáticas. Com este objectivo, o sistema produz o Indicador de execução do PNAC, o Indicador de execução do Fundo Português de Carbono e o Indicador de Cumprimento de Quioto.

5. CONCLUSÕES

O clima é a descrição estatística do tempo em termos de médias e desvios de determinados parâmetros relevantes (temperatura, humidade, precipitação, etc.) ao longo de várias décadas, tipicamente três, ou seja, 30 anos. O estado do tempo e, conseqüentemente, o clima de uma região é determinado pelo funcionamento do sistema climático, complexo e dinâmico, constituído pela atmosfera, a superfície terrestre, os oceanos, etc.

O Sistema climático evolui no tempo em resultado da influência da sua dinâmica interna mas também como resultado de factores externos que afectam o seu balanço de radiação. Este balanço de radiação pode modificar-se pela alteração da radiação de longo comprimento de onda da Terra para o espaço.

A alteração da radiação de longo comprimento de onda da terra para o espaço ocorre sempre que a concentração dos gases de efeito de estufa aumenta. Os gases de efeito de estufa são gases que reduzem a quantidade de radiação de longo comprimento de onda que sai da Terra para o espaço.

O Clima da Terra tem-se alterado desde a sua formação há 4600 milhões de anos em resultado de alterações no balanço de radiação. As alterações climáticas são “normais” e fazem parte da evolução do clima. Porém, as alterações climáticas actuais são diferentes de todas as outras que têm ocorrido até agora: resultam do aumento da emissão de gases de efeito de estufa com origem nas actividades humanas. A emissão destes gases para a atmosfera amplia o efeito de estufa natural que tem como consequência directa o aumento da temperatura global.

Além da diferença da origem, as actuais alterações climáticas apresentam outras particularidades: A concentração de dióxido de carbono na atmosfera já atingiu os valores mais elevados do último meio milhão de anos e a uma taxa surpreendentemente elevada. As temperaturas actuais são as mais elevadas dos últimos 130 anos de acordo com observações instrumentais efectuadas.

As actividades humanas resultam na emissão de quatro principais gases de efeito de estufa: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e halocarbonetos.

O aumento da emissão de dióxido de carbono teve origem sobretudo na utilização de combustíveis fósseis. A desflorestação e a oxidação da matéria orgânica do solo também libertam dióxido de carbono.

A emissão de metano aumentou em parte devido a actividades relacionadas com a agricultura, nomeadamente a fermentação ruminal, os efluentes e a cultura do arroz.

A emissão de óxido nitroso resulta sobretudo da utilização de fertilizantes azotados.

O sector da energia é o que emite mais gases de efeito de estufa. Outros sectores com elevadas emissões são os dos processos industriais e os combustíveis para transportes.

O sector agrícola é responsável por 12,5% das emissões globais de gases de efeito de estufa, dos quais 40% são de metano e 62% de óxido nitroso.

A concentração de dióxido de carbono na atmosfera é controlada pelo balanço entre as fontes (humanas e naturais) e os sumidouros, que sequestram dióxido de carbono da atmosfera.

As consequências do aumento do efeito de estufa já se estão a fazer sentir há pelo menos 30 anos. Desde 1970 a temperatura média global aumentou 0,5 °C. Onze dos doze anos mais quentes de que há registo ocorreram nos últimos 12 anos.

O principal método de estudo das alterações climáticas futuras é a modelação do sistema climático. Além disso, torna-se necessário criar cenários de emissões futuras que expressem a sua tendência de evolução.

As projecções para o aquecimento global conduzem a aumentos da temperatura média desde os 1,5 °C até aos 6°C em função do cenário considerado, como resultado de aumentos da concentração de CO₂ para valores entre os 540 e os 970 ppmv.

As consequências do aquecimento global variam consoante a região geográfica. No nosso país a precipitação diminuirá, podendo ocorrer quebras de 50% no Sul do país. Também ocorrerá uma concentração da precipitação no Inverno. A ocorrência de eventos extremos aumentará de frequência assim

como a aridez, sobretudo no Sul do país. Portugal é um país muito vulnerável às alterações climáticas, sobretudo na região Sul.

As alterações climáticas têm potenciais impactos na agricultura, nomeadamente na taxa fotossintética (aumenta), da duração do ciclo das culturas (diminui), no período isento de geadas (aumenta), no número de horas de frio (diminui), na incidência de pragas e doenças (aumenta), no stress hídrico (aumenta), na erosividade da precipitação (aumenta), no bem-estar e fertilidade animal (diminui), na necessidade de condicionamento animal (aumenta), na susceptibilidade a eventos extremos (aumenta), na necessidade de drenagem artificial (aumenta), entre outros.

Até ao momento (últimos 40 anos) os principais impactos das alterações climáticas ocorridas têm sido registados na fenologia das culturas, com reduções na duração das fases de desenvolvimento (na ordem dos 2 a 7 dias por década). Também se têm verificado impactos na zonagem das culturas com migrações para Norte.

Os sistemas agrícolas são bastante complexos, fruto de inúmeras interações positivas e negativas, o que torna difícil a previsão dos impactos das alterações climáticas futuras. Desta forma, a metodologia mais utilizada para estudá-los tem sido a modelação e simulação do crescimento e desenvolvimento das culturas.

Em termos médios, ocorrerão aumentos de produtividade das culturas até cerca de 20%. Nas espécies florestais os aumentos poderão atingir os 30%. Há, no entanto, que ter em consideração que os ganhos de produtividade dependerão da evolução de outros factores, designadamente das disponibilidades hídricas.

Há uma grande falta de estudos quantificados dos impactos das alterações climáticas futuras num leque alargado de culturas, na incidência de pragas e doenças, entre outros aspectos.

Em Portugal, nos projectos SIAM I e SIAM II foram estudados os impactos das alterações climáticas futuras nas culturas arvenses e na floresta. Ainda no âmbito daqueles projectos foi desenvolvido um sistema de informação integrado para estudo dos impactos baseado em modelos de simulação das

culturas, bases de dados de solos e um sistema de informação geográfica.

Nos cenários de maior aquecimento global, os decréscimos da produtividade da cultura do trigo podem atingir 20% (Sul do país) no final deste século. Pelo contrário, no Norte do país prevêem-se aumentos de produtividade. A zona de aptidão das espécies florestais migrará para Norte. O montado poderá desaparecer no Alentejo interior, dando origem a matos.

Face às alterações climáticas e seus impactos, há dois tipos de resposta possíveis: a sua mitigação pela redução de emissões de gases de efeito de estufa, e a promoção de sumidouros de carbono, por um lado, e a adaptação aos impactos, por outro.

No âmbito do Protocolo de Quioto, Portugal comprometeu-se à limitação das emissões de gases de efeito de estufa sendo que para isso foram previstos diversos mecanismos para o conseguir.

Os esforços em curso no âmbito do protocolo de Quioto não são, contudo, suficientes para a estabilização das concentrações dos gases de efeito de estufa. Na realidade, mesmo que os esforços fossem o mais rigorosos possível, devido ao desfasamento do tempo de resposta da atmosfera, já não seria possível evitar alteração climáticas para as próximas décadas.

Neste sentido as medidas de adaptação são inevitáveis. Contudo, porque aquelas têm um campo de acção limitado e porque o investimento em exclusivo em medidas de adaptação levaria rapidamente à sua ineficácia em resultado do agravar das próprias alterações climáticas, as medidas de mitigação são extremamente importantes e indispensáveis. Desta forma, tanto as medidas de adaptação como de mitigação são essenciais para fazer face às alterações climáticas.

A adaptação do sector agrícola às alterações climáticas é o ajustamento nos sistemas de produção, como resposta a estímulos climáticos verificados ou esperados, de forma a moderar danos ou a explorar oportunidades benéficas. A adaptação às alterações climáticas pode ocorrer de duas formas: autónoma e progressiva a um nível local; ou, planeada a nível regional ou nacional.

A adaptação autónoma às alterações climáticas é uma extensão ou

intensificação de opções actuais de gestão do risco ou de melhoria da produtividade. Será importante que as medidas de adaptação façam também face ao aumento da variabilidade climática.

Existem diversas opções para alterar a gestão das culturas no sentido de fazer face às alterações climáticas projectadas, designadamente alterar cultivares/variedades ou culturas para aquelas com necessidades térmicas e de vernalização mais apropriadas e/ou com melhor resistência ao stress térmico e hídrico, alterar a calendarização ou a localização das operações culturais, alterar tecnologias e práticas de rega de modo a aumentar a eficiência de uso da água, utilizar tecnologias que permitam o armazenamento da água da chuva e runoff e a conservação da água no solo, utilizar pastagens que privilegiem a consociação de diversas espécies, privilegiar espécies animais autóctones, etc.

Os benefícios das medidas de adaptação autónomas tendem a anular os efeitos negativos do aquecimento global. No entanto, essa avaliação dependerá de múltiplos factores.

A adaptação planeada a nível regional ou nacional pode incluir actividades como o desenvolvimento de infraestruturas e capacidade para a adaptação a nível regional e nacionais, quase sempre envolvendo as instituições relevantes e alterando o âmbito em que as decisões de gestão autónomas são tomadas.

O planeamento efectivo e o desenvolvimento de capacidades para a adaptação às alterações climáticas pode incluir entre outras medidas: Convencer os gestores de que as alterações climáticas são reais e vão continuar a progredir, aumentar a confiança dos gestores nas projecções dos impactos na sua actividade, disponibilizar opções técnicas para responder às alterações climáticas, apoiar a transição no sector sempre que se verifiquem significativas alterações de uso do solo, localização de indústria ou migração da região de produção, etc.

Neste âmbito a Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas em Portugal, enquadrada no Livro Branco – Adaptação às Alterações Climáticas: para um Quadro de Acção Europeu publicado em 2009 pela Comissão das Comunidades Europeias, preconiza a consolidação e desenvolvimento de uma base de conhecimento técnico-científico e a identificação, definição de

prioridades e implementação de medidas de adaptação, não esquecendo a participação dos diversos agentes no esforço de adaptação.

A mitigação das alterações climáticas pela redução de emissões de gases de efeito de estufa e a promoção de sequestro de carbono é o segundo tipo de resposta.

Devido à ocupação de grandes áreas de solo, as medidas implementadas nas culturas agrícolas, na floresta e nas pastagens têm o potencial de afectar a capacidade de sequestro e a emissão de gases de efeito de estufa da Terra e, assim, contribuir para a alteração da concentração do CO₂ atmosférico.

As medidas de mitigação no sector agrícola podem ser classificadas em 3 categorias: Redução das emissões (gestão mais eficiente da aplicação de adubos azotados (N₂O) da alimentação de gado bovino (CH₄); Promoção do sequestro de carbono (aumento do teor de matéria orgânica dos solos por técnicas de mobilização de conservação, introdução de espécies florestais, culturas perenes ou pastagens); Evitar emissões (bioetanol, biodiesel, biomassa, biogás).

As diferentes medidas de mitigação têm distintos potenciais de redução das emissões de gases de efeito de estufa. Na avaliação do potencial é necessário considerar os gases de efeito de estufas mais importantes e não apenas o CO₂.

As medidas de adaptação e mitigação não são independentes entre si. As medidas de mitigação podem ter diferentes consequências nas medidas de adaptação. Essas consequências podem ser positivas (e.g. sequestro de carbono que não envolva maior utilização de água) ou negativas (e.g. uma grande dependência em bioenergias aumentaria a sensibilidade do fornecimento de energia aos extremos climáticos).

Por outro lado, as medidas de adaptação podem ter um efeito positivo na mitigação (e.g. a incorporação de resíduos no solo para aumentar a capacidade de armazenamento de água conduz a um maior sequestro de carbono), assim como um efeito negativo (e.g. aumentar a taxa de aplicação de fertilizantes azotados para contrariar a perda de produtividade pode aumentar as emissões de N₂O).

Com o intuito de reduzir as emissões de gases de efeito de estufa, os diversos países ou comunidades de países têm adoptado uma série de políticas que incluem a regulamentação de emissões, a introdução de impostos e tarifas, a criação de um mercado de permissões, etc.

Os mercados de permissões ou, também, designados mercados de carbono, estão a ser vistos como uma forma de, nas próximas décadas, os empresários agrícolas transformarem as medidas de mitigação implementadas em serviços ambientais devidamente remunerados pela venda dos créditos de emissão ao próprio mercado.

6. REFERÊNCIAS

- Aguiar, R. e F.D. Santos** (2007). Modelo de Prospectiva para Emissões de Gases com Efeito de Estufa em Portugal. Versão 2.2. Relatório Final, Volume I: Cenários de Referência. Projecto MISP
http://www.siam.fc.ul.pt/MISP_Relatorio/MISP%202.2%20Relat%3rio%20Final%20-%20cen%e1rios%20de%20refer%eancia.pdf
- Brandão, A. M. C. P** (2006). Alterações climáticas na agricultura portuguesa: instrumentos de análise, impactos e medidas de adaptação. Doutoramento em Engenharia Agronómica - Instituto Superior de Agronomia, Lisboa. 242pp
<http://hdl.handle.net/10400.5/536>
- Cline, William R.**, 2007, Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country (Washington: Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics).
- EU**, 2009. COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS - LIVRO BRANCO - Adaptação às alterações climáticas: para um quadro de acção europeu COM (2009) 147
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0147:FIN:PT:PDF>
- EU**, 2009. DOCUMENTO DE TRABALHO DOS SERVIÇOS DA COMISSÃO que acompanha o Livro Branco sobre a adaptação às alterações climáticas Adaptação às alterações climáticas: um desafio para a agricultura e as zonas rurais europeias SEC(2009) 417
http://ec.europa.eu/agriculture/climate_change/workdoc2009_pt.pdf
- Fischer G., M. Shah, H.v. Velthuizen**, 2002: Climate Change and Agricultural Vulnerability. IIASA, Laxenburg, Austria.
- Gabinete de Planeamento e Políticas** (2007): Alterações Climáticas - Emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) Sector Agro-pecuário. 12p.
- IA** (2006). Inventário Nacional de Emissões e Remoções de Gases com Efeito de Estufa e Poluentes Atmosféricos. Submissão 2005. Instituto do Ambiente, MAOTDR, Amadora. <http://www.apambiente.pt>

- IPCC (2000).** IPCC Special Report on Emissions Scenarios. Nakicenovic, Nebojsa and Swart, Rob (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 612 pp. <http://sres.ciesin.org/> and <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm>.
- IPCC AR3 (2001).** Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York. 881 pages.
- IPCC SR (2001).** IPCC Third Assessment Report. Climate Change 2001: Synthesis Report. Summary for Policymakers. http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/
- IPCC AR4 (2007).** IPCC Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Richard Alley, T. Berntsen, N. L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, P. Friedlingstein, J. Gregory, G.Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B. Hoskins, F. Joos, J.Jouzel, V. Kattsov, U.Lohmann, M. Manning, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, D. Qin, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, S. Solomon, R. Somerville, T.F. Stocker, P. Stott, R.J. Stouffer, P. Whetton, R.A. Wood e D.Wratt. IPCC Secretariat at WMO, Geneva, Switzerland, <http://www.ipcc.ch>
- Parry, M. 1990.** Climate Change and World Agriculture. London: Earthscan Publications Limited.
- PNAC (2001).** Programa Nacional para as Alterações Climáticas. 66 pp. Comissão Interministerial para as Alterações Climáticas, Direcção Geral do Ambiente, Lisboa: 2002.
- PNAC (2004).** Actualização do Programa Nacional para as Alterações Climáticas. Resolução do Conselho de Ministros No.119/2004, de 31 de Julho.
- PNAC (2006).** Programa Nacional para as Alterações Climáticas. Resolução do Conselho de Ministros No. 104/2006. Diário da República, 1ª série, No. 162, 23 de Agosto de 2006.
- Rosenzweig, C., Parry ML (1994)** Potential impact of climate change on world food supply. Nature, 367, 133–138.

Rosenzweig, C., D. Karoly, M. Vicarelli, P. Neofotis, Q. Wu, G. Casassa, A. Menzel, T.L. Root, N. Estrella, B. Seguin, P. Tryjanowski, C. Liu, S. Rawlins, and A. Imeson, 2008: Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature*, 453, 353-357

Rosenzweig, C., and F.N. Tubiello, 2007: Adaptation and mitigation strategies in agriculture: an analysis of potential synergies. *Mitig. Adapt. Strategies Global Change*, 12, 855-873

SIAM I (2002). Santos, F.D., K. Forbes e R. Moita (Eds.), *Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures (SIAM Project)*. Editorial Gradiva, Lisboa. 454 pp.

SIAM II (2005). Santos, F.D. e P. Miranda (Eds.), *Alterações Climáticas em Portugal (Projecto SIAM II)*. Editorial Gradiva, Lisboa.

As Alterações Climáticas serão no final deste século um dos principais desafios que as sociedades terão de enfrentar. Para Portugal, projectam-se aumentos significativos das temperaturas e concentração da precipitação. O sector agrícola encontra-se particularmente exposto. Por outro lado, a agricultura pode ajudar a combater as próprias alterações climáticas.

Neste manual apresentam-se as bases do fenómeno das alterações climáticas e a sua caracterização. São também abordados os impactos previstos no sector agrícola focando a produtividade vegetal e animal, o solo, as pragas e doenças. Finalmente, são descritas as medidas de adaptação e mitigação preconizadas.

Este manual será útil para o empresário agrícola fornecendo orientações concretas para um eficaz planeamento estratégico da exploração agrícola nesse horizonte temporal.



Ministério da
Agricultura,
do Desenvolvimento
Rural e das Pescas



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu

Produção apoiada pelo Programa AGRO – Medida 7 – Formação Profissional,
co-financiado pelo Estado Português e pela União Europeia através do FSE