



CAPTAR
ciência e ambiente para todos

volume 2 • número 2 • p 1-16

As alterações climáticas: uma realidade transformada em desafio

As alterações climáticas são uma das actuais ameaças ao desenvolvimento sustentável, pondo em causa não apenas os equilíbrios naturais, mas também a segurança de uma grande parte da população.

As principais causas das alterações climáticas centram-se no aumento das concentrações de um conjunto de gases emitidos pela actividade humana, que interferem com os padrões normais de troca de energia por radiação, entre a Terra e o espaço exterior, fenómeno este chamado 'efeito de estufa'.

Ao longo dos anos, vários estudos científicos têm vindo a demonstrar que a acção humana veio alterar as concentrações atmosféricas, a distribuição espacial e os ciclos de vida dos gases com efeito de estufa. Apesar de algumas incertezas há factos indesmentíveis: os níveis de dióxido de carbono na atmosfera estão a aumentar exponencialmente e atingiram valores nunca antes alcançados. Como vamos actuar? Uma das mais recentes medidas passa pela descarbonização da economia, resultado da implementação do mercado do carbono. Mas será suficiente?

O grande debate climático centra-se, hoje, não só na definição de novas metas de redução da emissão de gases com efeito de estufa, mas também nas acções de mitigação e adaptação às alterações climáticas. A Humanidade enfrenta um dos maiores desafios de que há memória. A mitigação e a adaptação às alterações climáticas devem ser encaradas como oportunidades de desenvolvimento e não como simples imposições políticas que apenas acarretam investimentos financeiros. Novas fontes de energia e tecnologias mais limpas são apenas exemplos de como melhorar o ambiente, combater as alterações climáticas e promover a saúde Humana.

Palavras-chave

alterações climáticas

efeito de estufa

mitigação e adaptação às alterações climáticas

Carlos Borrego*

Myriam Lopes

Isabel Ribeiro

Anabela Carvalho

Ana Isabel Miranda

¹ CESAM e Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.

* cborrego@ua.pt

ISSN 1647-323X

INTRODUÇÃO

A ideia de que a Terra é tão grande que os seres humanos não podem ter qualquer impacto relevante na forma como o sistema ecológico do planeta funciona, está completamente errada. Tornámo-nos tão numerosos e a nossa tecnologia é tão poderosa que hoje somos capazes de exercer uma influência significativa em muitas facetas do ambiente da Terra. As alterações climáticas constituem um exemplo muito sério do efeito da actividade humana no equilíbrio do planeta Terra.

Para reconhecer a existência de alterações climáticas é necessário conhecer não apenas o clima contemporâneo, mas as suas flutuações e a sua evolução histórica desde a formação do planeta. Por clima entende-se a descrição estatística de quantidades relevantes de mudanças do tempo meteorológico num determinado período temporal, de que são exemplos a temperatura, a precipitação e o vento. Para caracterizar o clima de uma determinada área, a Organização Mundial de Meteorologia (OMM) definiu um período de 30 anos como base para estabelecer a normal climatológica. A partir da comparação entre o valor da normal climatológica e o valor referente ao mesmo parâmetro, mas para outro período temporal, é possível perceber a sua variabilidade e evolução.

O clima da Terra é determinado pelo constante fluxo de energia proveniente do Sol que atinge a superfície do planeta. A atmosfera enfraquece o feixe solar por absorção, dispersão e reflexão. Cerca de 30% da radiação solar é imediatamente reflectida de volta para o espaço. A restante energia penetra na atmosfera e é diferencialmente absorvida: a fracção de radiação ultravioleta (UV) (de pequeno comprimento de onda) é parcialmente filtrada na estratosfera, devido à presença de ozono, e a radiação que atinge a superfície terrestre é predominantemente visível; a energia solar que atinge a superfície do globo é absorvida pelo solo, água e ar, podendo ser convertida em calor através do aumento de temperatura da superfície terrestre ou da evaporação/ evapotrans-piração, ou ainda convertida em energia mecânica, eléctrica ou química. Uma parte da energia absorvida pela superfície terrestre é reenviada para o espaço, na forma de radiação infravermelha (IV), ou seja, de grande comprimento de onda. Ao atravessar a atmosfera, a radiação IV é parcialmente absorvida pelos gases que a constituem (N_2 e $O_2 \approx 99\%$; vapor de água, CO_2 , N_2O e CH_4). O CO_2 e o vapor de água são os principais gases absorventes, e por isso são conhecidos como os principais gases com efeito de estufa (GEE). Saliente-se, no entanto, que estes gases são transparentes à radiação com comprimentos de onda na gama dos 8 a 13 μm , pelo que parte da energia emitida pela superfície terrestre, sob a forma de radiação IV, é perdida para o espaço através da “janela” dos 8 a 13 μm (Peixoto, 1981; Lopes, 2004).

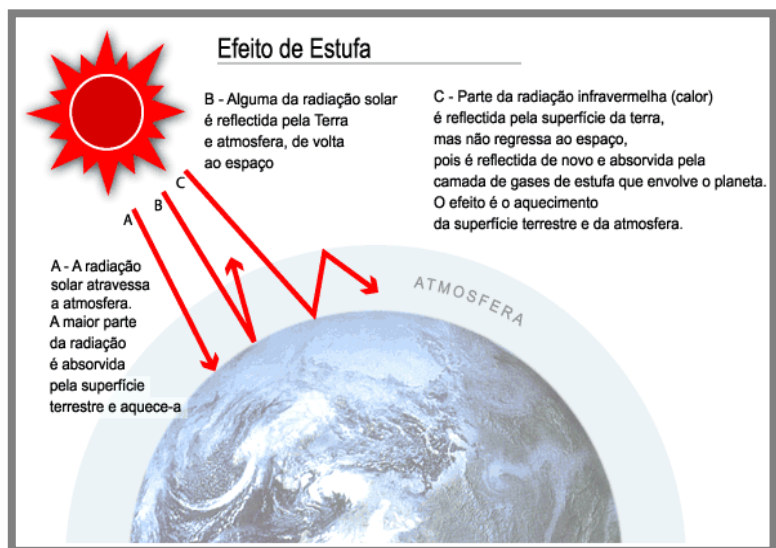


FIGURA 1: O efeito de estufa (URL 1).

Deste balanço radiativo entre a radiação que atinge o globo e a que é emitida de volta para o espaço, resulta um saldo positivo de energia que é responsável pela temperatura média superficial de 15°C. Estima-se que, na ausência deste fenómeno, denominado “efeito de estufa”, a temperatura média à superfície seria 33°C inferior à actual (UNEP/IUC, 1997), impossibilitando a vida como a conhecemos no nosso planeta. A presença de GEE em concentrações reduzidas na atmosfera é, portanto, essencial para um efeito de estufa equilibrado, ou seja, para a manutenção da temperatura no sistema Atmosfera-Terra.

Com o continuado aumento de emissões de GEE, a sua concentração na atmosfera aumenta e, por conseguinte, o efeito de estufa é potenciado. A quantidade de energia absorvida pelos GEE é maior, bem como a quantidade de energia que atinge a superfície terrestre, emitida por estes, o que se traduz num aumento da temperatura média do planeta.

Desde a revolução industrial (em meados do século XVIII) e até 2004, a concentração de CO₂ presente na atmosfera aumentou 35% devido à actividade humana (Figura 2), atingindo um valor 2% a 3% superior à concentração máxima durante os últimos 420 mil anos (Santos et al., 2006). Este é o GEE de origem humana mais importante (representou 77% do total das emissões de GEE, em 2004), tendo a sua emissão anual aumentado cerca de 70% entre 1970 e 2004 (IPCC, 2007a). Associado a este aumento de CO₂ está o aumento da temperatura média global da Terra – o aquecimento global.

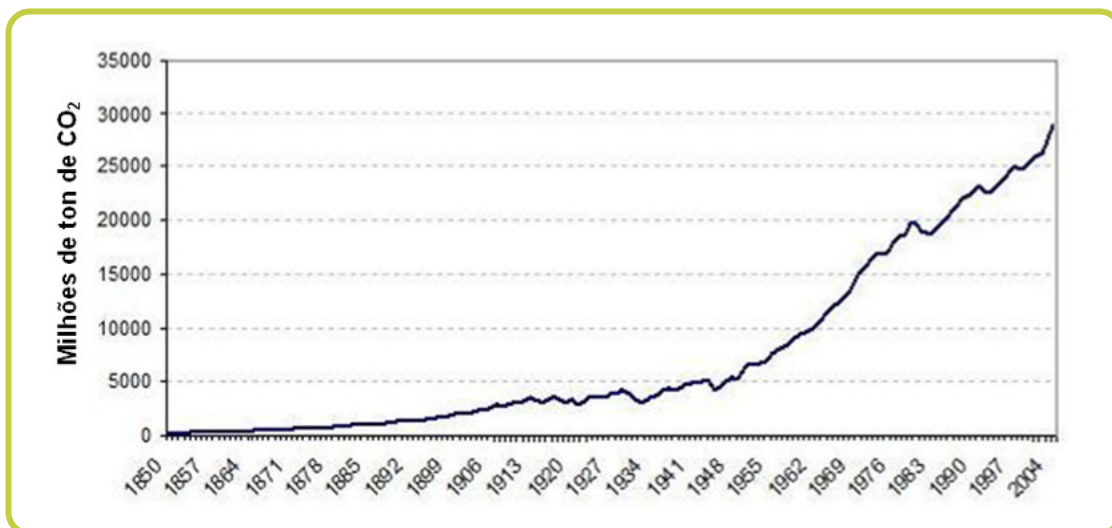


FIGURA 2: Evolução das emissões globais de CO₂ para a atmosfera, entre 1850 e 2004, referente à combustão e produção de cimento (Adaptado de Marland et al, 2007).

Segundo o 4º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC), entre 1906 e 2005 o planeta aqueceu, em média, 0,74°C, sendo este aquecimento mais significativo no Hemisfério Norte. Para o mesmo período, o aquecimento na Europa foi de 1°C (IPCC, 2007a). O aumento da temperatura global tem causado outras alterações no clima, como a subida do nível médio da água do mar e a mudança dos padrões de precipitação, resultando em períodos de seca e de cheias, e outros eventos climáticos extremos, como os ciclones. Tais alterações climáticas provocam impactos na agricultura, nos recursos hídricos, no uso do solo, na biodiversidade, na economia e na agricultura.

É importante referir que vários estudos apontam para que o Homem não seja o único responsável pelas alterações climáticas (IPCC, 2007a); a variabilidade climática também é um factor relevante. Este termo é

usado na Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (UNFCCC) (UN, 1992) referindo-se às mudanças de causa natural. A variabilidade climática associada ao aquecimento global ocorre em períodos de dezenas de milhares de anos, entre as idades do gelo, e é o resultado de quatro factores (GCMI, 2005): i) natureza caótica do sistema climático; ii) comportamento oscilante de agentes climáticos importantes; iii) variabilidade da intensidade solar; iv) aleatoriedade da actividade vulcânica.

No entanto, a expressão “alteração climática” refere-se às mudanças causadas pelo Homem, sendo o principal objectivo deste artigo uma melhor compreensão dessas alterações climáticas, tanto a nível científico como político, bem como das previsões futuras para o clima do planeta e de Portugal.

OS GASES COM EFEITO DE ESTUFA

O CO₂, o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O) são os principais gases identificados como responsáveis pelo aumento do efeito de estufa, representando actualmente 99% das emissões antropogénicas de GEE (IPCC, 2007a). Todavia, existem outros GEE, também relevantes, nomeadamente os compostos halogenados (hidrofluorcarbonos – HFC, perfluorcarbonos – PFC e o hexafluoreto de enxofre – SF₆), que têm contribuído para o aumento do aquecimento global. Os HFC e os PFC são produzidos como produtos alternativos às substâncias responsáveis pela destruição da camada de ozono (clorofluorcarbonetos – CFCs), enquanto que o SF₆, o gás com maior potencial de aquecimento global (GWP, do inglês *Global Warming Potencial*), é muito usado nos sistemas de transmissão e distribuição de electricidade.

Na Figura 3 apresenta-se, com base no inventário de emissões mais recente (2004), a distribuição percentual das emissões globais dos GEE referidos, que são o gases considerados no Protocolo de Quioto.

As emissões de CO₂ representam cerca de 77% do total das emissões antropogénicas, seguido do metano com 14% e do óxido nitroso com 8%. Os gases fluorados representam a fatia mais pequena (1%), pois a sua emissão global é pequena.

Potencial de aquecimento global

O conceito de potencial de aquecimento global foi desenvolvido para comparar a capacidade de cada gás, enquanto GEE, relativamente a um composto de referência – o CO₂. Em termos físicos, o GWP de um gás é definido como o efeito de aquecimento de uma emissão instantânea de 1 kg desse gás relativamente ao CO₂. Para os gases constantes do Protocolo de Quioto, e anteriormente referidos, os valores de GWP, calculados numa base temporal de 100 anos (GWP₁₀₀), são os apresentados na Tabela I.

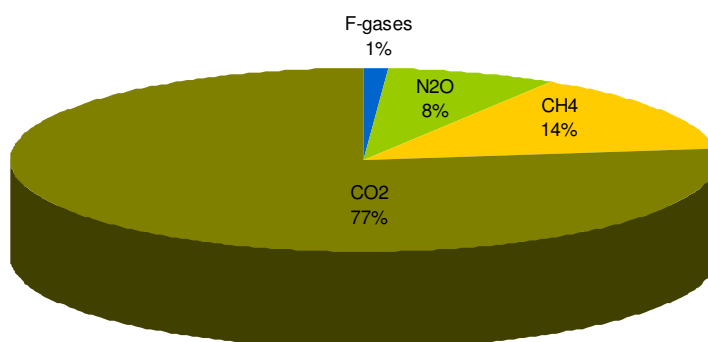


FIGURA 3: Emissões antropogénicas globais, referentes a 2004 (Adaptado de IPCC, 2007a).

Tabela I: Potencial de aquecimento global (GWP₁₀₀) (URL 2).

Composto	GWP ₁₀₀	Composto	GWP ₁₀₀	Composto	GWP ₁₀₀
CO ₂	1	N ₂ O	310	PFC	(6500 – 9200)
CH ₄	21	HFC	(140 – 11700)	SF ₆	23900

Com base no GWP₁₀₀, é possível determinar a quantidade de GEE em termos de CO₂eq (CO₂ equivalente) multiplicando a quantidade de cada composto pelo respectivo GWP₁₀₀. Esta medida, CO₂equivalente, uniformiza e facilita a análise do impacto de uma quantidade de um determinado composto no aquecimento global.

GEE: fontes e sumidouros

Dióxido de carbono

O CO₂ é o principal produto das reacções de combustão, e conseqüentemente é o GEE emitido em maior quantidade para a atmosfera, onde já existe o CO₂ de origem natural. As plantas e os oceanos constituem os principais sumidouros de CO₂, o que impede que os níveis deste composto na atmosfera aumentem ainda mais. No entanto, como os mecanismos de consumo de CO₂ (por parte dos sumidouros) não são muito significativos quando comparados com a reserva atmosférica de CO₂, uma molécula deste pode permanecer na atmosfera durante mais de um século. Por outro lado, estes mesmos mecanismos foram suficientes para manter a estabilidade na concentração de CO₂ na atmosfera durante muitos séculos, até à Revolução Industrial. Nas eras geológicas passadas, a quantidade de CO₂ atmosférico subiu e desceu em sintonia com a variabilidade climática, embora subsista a dúvida se este gás acelerou ou atrasou alguma dessas alterações (Henson, 2009).

Metano

Uma molécula de metano permanece na atmosfera durante menos de uma década. Porém, uma molécula deste composto absorve entre 20 a 25 vezes mais radiação infravermelha que uma molécula de CO₂.

O CH₄, cuja concentração aumentou cerca de 145% nos últimos 200 anos, tem como principais fontes as explorações pecuárias, o cultivo de arroz, o tratamento de águas residuais, bem como o tratamento e a deposição de resíduos. Na Europa, no entanto, tem-se observado uma redução dos níveis de CH₄ na atmosfera, desde 1990, devido à aplicação de boas práticas ambientais, em especial no sector dos resíduos, nomeadamente no que se refere à deposição de resíduos no solo (EEA, 2009).

Óxido nitroso

Segundo o IPCC (2001), as principais fontes de óxido nitroso são: o sector industrial, os solos, a agricultura e os oceanos. De 1750 a 2005, as concentrações de N₂O aumentaram de 270 para 319 ppb (partes por bilião, uma unidade de concentração), sendo o aumento nas últimas duas décadas de 0,26% por ano (IPCC, 2007b). Grande parte do N₂O emitido para a atmosfera é convertido em óxido nítrico (NO) e dióxido de azoto (N₂O) que são precursores de ozono. Assim, o aumento das emissões de N₂O para a atmosfera implica o aumento da concentração de ozono (Montzka et al., 2003).

Apesar deste gás se encontrar em baixas concentrações na estratosfera, o seu GWP é elevado (Tabela I). Segundo Montzka et al. (2003), o tempo de vida do N₂O na estratosfera é de 114 anos.

Vapor de água

O vapor de água presente na atmosfera é responsável por dois terços do efeito de estufa natural (em dias de céu limpo) (Wagner et al., 2004; Kiehl e Trenberth, 1997). Apesar do fraco GWP associado a este gás, o facto de existir em grande quantidade na atmosfera, faz com que se torne um importante GEE. Com as temperaturas do planeta a aumentarem devido ao efeito de estufa potenciado pelas emissões antropogénicas de GEE, é expectável a evaporação de maior quantidade de água das superfícies aquosas, o que aumentará a concentração de vapor de água na atmosfera. Assim, o processo de aquecimento da Terra é potenciado. Durante a última metade do século XX, a taxa anual de aumento do vapor de água presente na estratosfera foi de 1% (Kley et al., 2000; Rosenlof et al., 2001). Além deste processo, explicado pela 1ª lei da termodinâmica (conservação da massa e energia), o aumento da quantidade de vapor de água na estratosfera é devido, em parte, ao processo de oxidação do metano (Kley et al., 2000; Oltmans et al., 2000).

Outros gases de estufa

A diminuição do uso de CFC em favor da preservação da camada de ozono fez diminuir a concentração destes poluentes na atmosfera. No entanto, a necessidade de recorrer a substitutos levou ao aumento da concentração de outros gases na atmosfera, tais como os PFC, HFC e SF₆, igualmente compostos halogenados e com a particularidade de serem poderosos gases com efeito de estufa, com elevados tempos de vida na atmosfera e GWP (Tabela I). As emissões destes compostos são resultado da combustão de combustíveis fósseis e evaporação de hidrocarbonetos variados (IPCC, 2007b).

O ozono é um dos principais constituintes da estratosfera e devido ao seu papel fundamental na absorção de radiação ultravioleta, protege a superfície terrestre dos seus efeitos nocivos. Na troposfera, abaixo dos 10 km de altitude, onde é também considerado um gás com efeito de estufa, o O₃ ocorre em concentrações mais baixas. O aumento das concentrações de fundo do O₃ troposférico, resultante da intensificação da produção fotoquímica onde participam poluentes de origem humana, contribui também para o incremento do efeito de estufa. Estima-se que na atmosfera europeia os níveis de ozono de fundo tenham duplicado nos últimos 100 anos (Hov, 1989).

Aerossóis

Os aerossóis são pequenas partículas, sólidas ou líquidas, que têm origem em fenómenos naturais, tais como a dispersão de poeiras por tempestades ou a actividade vulcânica, e em processos antropogénicos, tais como queima de combustíveis fósseis. Apesar de não serem GEE, são compostos importantes nos processos que conduzem às alterações da temperatura do planeta, uma vez que podem ser responsáveis por um efeito de arrefecimento na atmosfera, em determinadas regiões. Estes compostos são capazes de reflectir a luz solar, alterando assim o albedo (reflexão da radiação solar). Por outro lado, os aerossóis e outros compostos que os originam (compostos de enxofre, por exemplo), ao constituir núcleos de condensação, contribuem para a formação das nuvens e indirectamente para o aumento do albedo. Nestas circunstâncias, a quantidade de energia que atinge a superfície terrestre é menor, contribuindo para a diminuição da temperatura média do globo. Contudo este efeito de arrefecimento não é suficiente para contrabalançar o efeito produzido pelos gases de efeito de estufa, prevalecendo o efeito de aquecimento global (IPCC, 1996a; IPCC, 2001).

Além dos GEE referidos anteriormente e que contribuem directamente para o efeito de estufa, existem outros que podem ter um efeito indirecto. Alguns dos constituintes da troposfera, designadamente radicais hidróxilo (OH), ao reagir com o O₃ e com o CH₄, promovem o consumo destes compostos e conseqüentemente a diminuição das suas concentrações na atmosfera. No entanto, na presença de CO, esses componentes reagem preferencialmente com este gás, resultando num aumento indirecto de CH₄ e de O₃, através dos mecanismos fotoquímicos (Lopes, 2004) e conseqüentemente um aumento do potencial de aquecimento da atmosfera. Assim, poluentes como CO, o NO_x e os COVNM (Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos) podem contribuir indirectamente para o efeito de estufa.

As emissões de GEE em Portugal

A evolução das emissões nacionais de GEE, desde 1990 a 2007, com e sem a contabilização das alterações de uso do solo (LULUCF, do inglês *Land Use, Land Use Change and Forest*), está representada na Figura 4. O total destas emissões ronda actualmente 79,5 milhões de toneladas (Mton) de CO₂eq. (incluindo LULUCF), representando um aumento de 30,8% relativamente aos níveis de 1990, valor que ultrapassa a meta de +27%, estabelecida no acordo de partilha conjunta da União Europeia para o Protocolo de Quioto (PQ). Contudo, é de realçar que em 2007 as emissões desceram cerca de 8%, face a 2005, ano em que se registou o valor mais elevado de emissões desde o ano de referência de Quioto (1990).

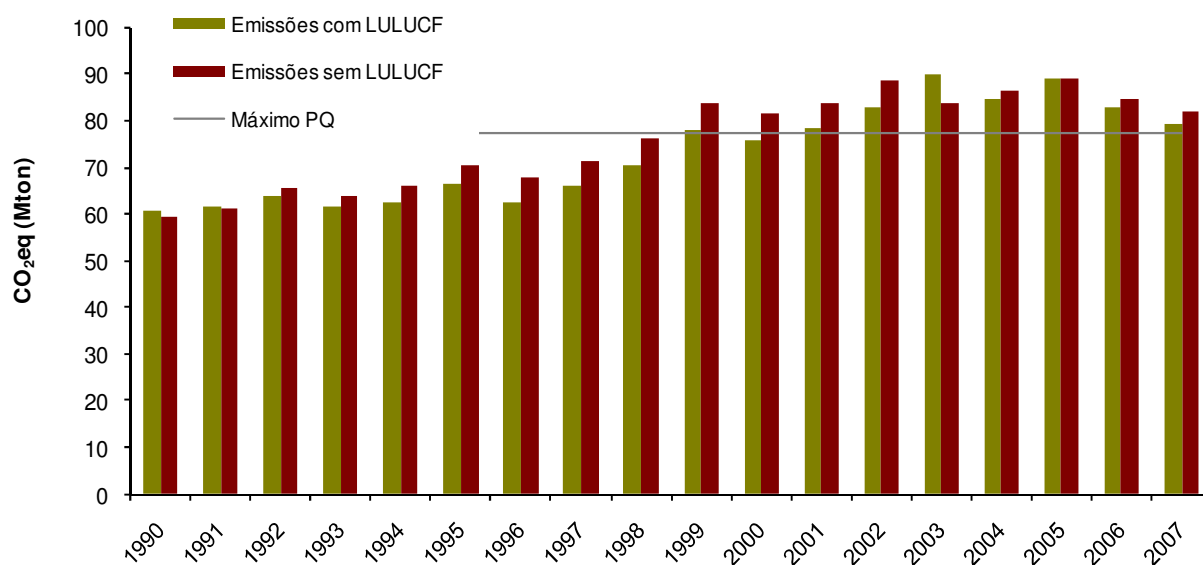


FIGURA 4: Emissões de GEE em CO₂eq, com e sem LULUCF, de 1990 a 2007, referentes a Portugal e valor máximo de emissões para Portugal segundo o Protocolo de Quioto (URL 2).

Em Portugal, foram os sectores da produção de energia, indústria e transportes que, em 2007, mais contribuíram para as emissões de GEE (Figura 4). As áreas florestais nacionais contribuíram com 1% de CO₂eq, correspondendo 99% a emissões de CH₄ e 1% a emissões de N₂O. Todavia, as florestas desempenham também um papel fundamental no sequestro de CO₂ da atmosfera. Entre 1990 e 2007, registou-se uma média de 4% de sequestro de CO₂ por parte das florestas nacionais (Figura 5).

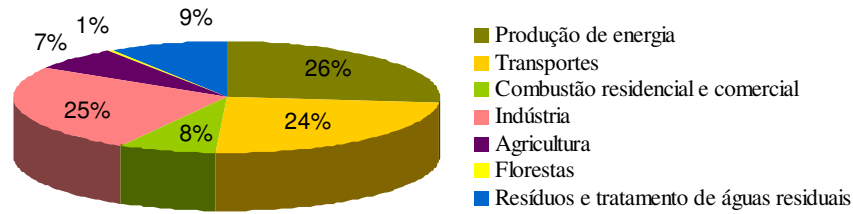


FIGURA 5: Distribuição das emissões nacionais de GEE, expressas em CO₂eq, por sector de actividade, referentes a 2007 (URL 2).

A distribuição geográfica das emissões dos GEE abordados encontra-se representada na Figura 6.

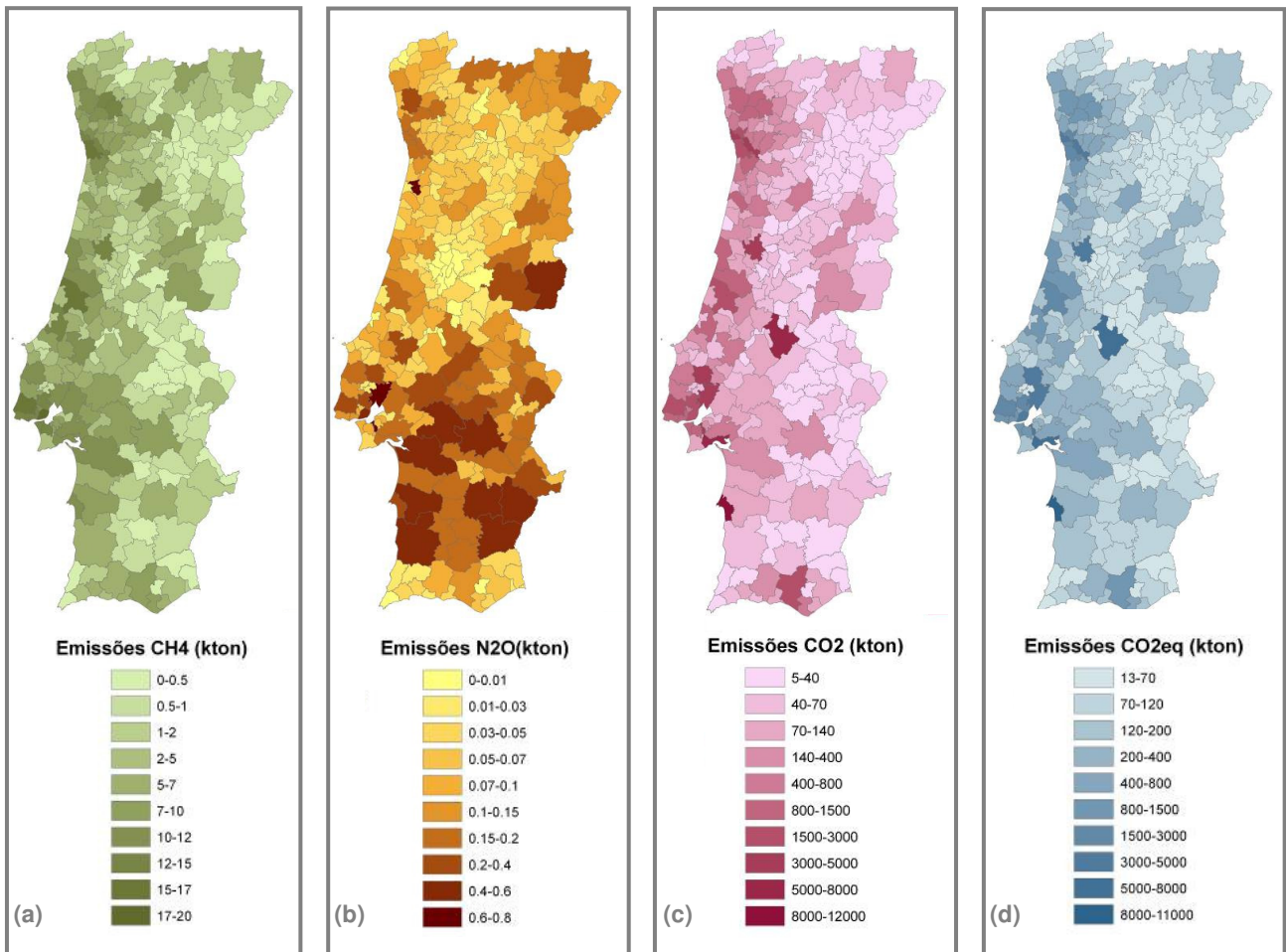


FIGURA 6: Distribuição por concelho de (a) CH₄, (b) N₂O, (c) CO₂ e (d) CO₂eq, referentes a 2007 (URL3).

É possível verificar que consoante o poluente, a distribuição geográfica é bastante diferente, sendo sempre heterogénea. As emissões de CH₄ (Figura 6a) são as que se distribuem mais homoganeamente, pois é possível encontrar unidades de tratamento e deposição de resíduos e águas residuais (a principal fonte de CH₄, com 71% das emissões deste poluente) por todo o país, com maior incidência na região litoral, devido à sua maior densidade populacional relativamente ao interior do país. O contrário se verifica para o N₂O (Figura 6b), cuja principal fonte é o sector da agricultura, com 65% das emissões de N₂O. No caso deste

poluente, é na zona do Alentejo onde se observa a maior contribuição. A distribuição, e a ordem de grandeza das emissões, em termos de CO₂ (Figura 6c), e de CO₂eq (Figura 6d), são muito idênticas verificando-se em ambos os mapas uma maior emissão na zona litoral, em especial a Norte de Lisboa. Esta zona é responsável por 61% das emissões em termos globais, devido à sua maior densidade populacional e industrial, comparativamente com o interior do país. A contribuição da zona litoral é de 67% para o CH₄, 62% para CO₂ e 42% para N₂O.

A necessidade de reduzir as emissões de GEE nos vários sectores de actividade é clara, sendo os sectores da indústria, dos transportes e da produção de energia os três mais relevantes com 75% das emissões em CO₂eq.



AS EVIDÊNCIAS E AS PROJEÇÕES PARA PORTUGAL

Portugal, como país do Sul da Europa, apresenta características naturais, nomeadamente climáticas e topográficas, que o posicionam na lista dos países Europeus mais sensíveis aos impactos das alterações climáticas (Santos et al., 2002).

De acordo com os dados de temperatura medidos, entre 1931 e 2000, em algumas estações em Portugal continental, existe uma tendência para o aumento da temperatura média anual a partir de 1972 (Santos et al., 2002). A temperatura média aumentou em todas as regiões de Portugal a uma taxa de aproximadamente 0,45°C por década. O ano de 1997 foi identificado como o mais quente dos últimos 75 anos, e 7 dos 10 anos mais quentes ocorreram após 1990 (APA, 2009).

A estação meteorológica do Porto/Serra do Pilar (fundada em 1885) apresentou um aumento na temperatura média máxima de aproximadamente 0,40°C por década, nos períodos de aquecimento, e uma diminuição de cerca de 0,18°C por década entre 1946 e 1975. A temperatura mínima média registou um aumento de aproximadamente 0,56°C por década entre 1977 e 2000. Entre 1931 e 2000 houve uma redução sistemática da precipitação na Primavera, acompanhada por pequenos aumentos nas restantes estações do ano (Santos et al., 2002). A redução da precipitação na Primavera é mais pronunciada no mês de Março, facto detectado em todas as estações de Portugal continental.

O projecto *Scenarios Impacts and Adaptation Measures* – SIAM (Santos et al., 2002), avaliou os impactos das alterações climáticas em diversos domínios, nomeadamente nas florestas, agricultura, zonas costeiras, pescas, recursos hídricos, energia e saúde humana. Os diferentes modelos de simulação da evolução do clima para o período 2000-2100 prevêem para a Península Ibérica um aumento da temperatura entre os 4°C e os 7°C, ou seja, um aumento superior às previsões do IPCC para a temperatura média global à superfície da Terra (1,8°C a 4°C) (IPCC, 2007a). Os resultados indicam também, para esta região, um decréscimo da precipitação, com maior incidência nas zonas centro e sul, e uma alteração do padrão da distribuição da precipitação mensal, com um decréscimo substancial na Primavera e um aumento no Inverno.

Com o objectivo de aumentar a resolução das projecções de clima futuro, e seus efeitos, sobre Portugal, utilizaram-se resultados do projecto PRUDENCE – *Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects* (Christensen e Christensen, 2007), no âmbito do qual se simularam cenários climáticos regionais sobre a Europa com uma resolução espacial de 12 km x 12 km. Analisaram-se os valores diários de variáveis meteorológicas para o cenário de referência (1961-1990) e

para um cenário futuro SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*) -A2 (2071-2100) (Nakicenovic et al., 2000). As maiores diferenças entre a temperatura média diária, calculada para o cenário futuro e para o cenário de referência, ocorrem durante o Verão, nos distritos de Bragança, Guarda e Castelo Branco, com aumentos máximos na ordem dos 6°C (Figura 7). A precipitação regista uma diminuição em todos os distritos e em todas as estações do ano, especialmente durante a Primavera (Carvalho, 2008).

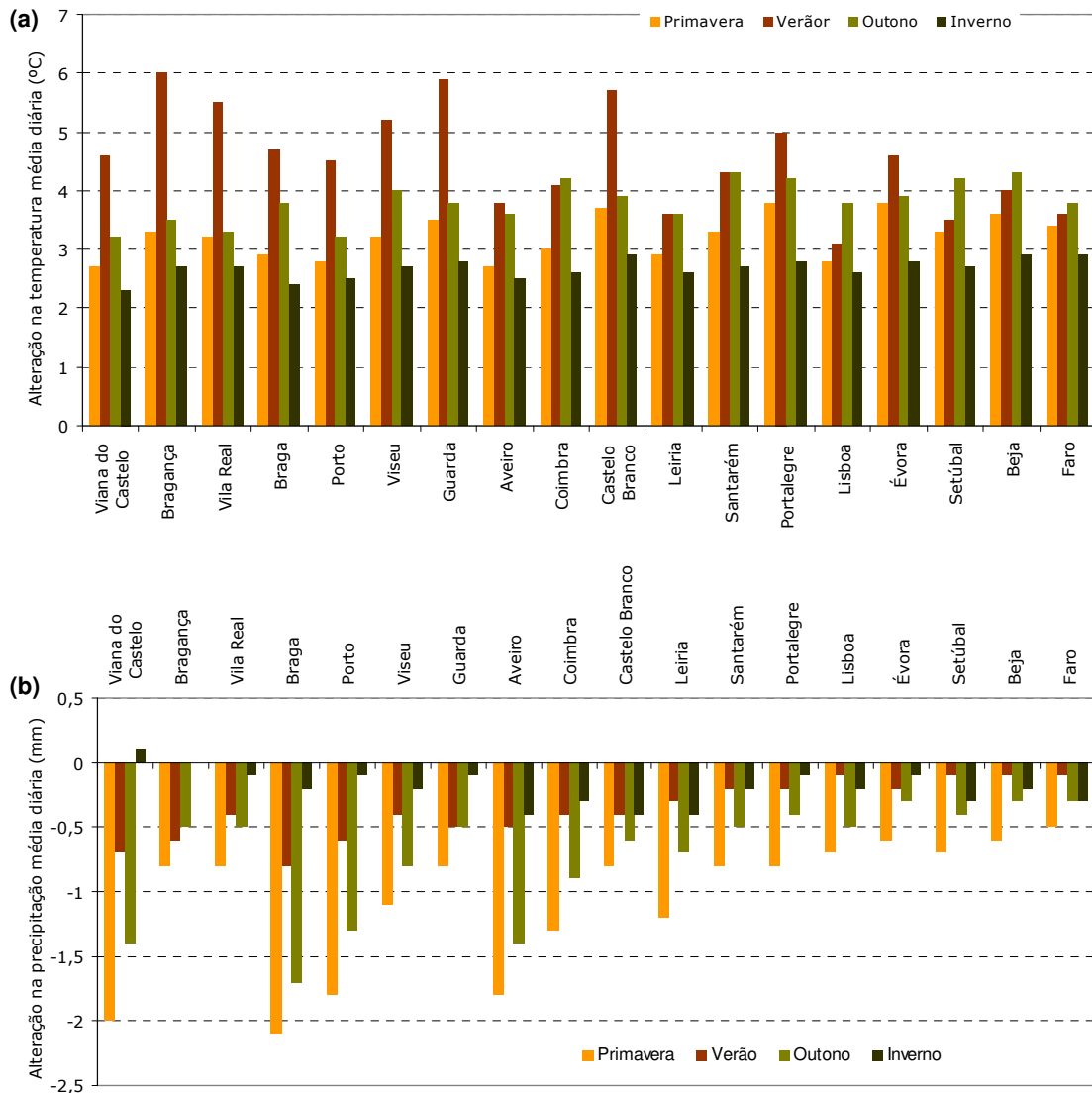


FIGURA 7: Alteração na a) temperatura média diária, e na b) precipitação média diária, entre 2100 e 1990, por distrito e para cada estação do ano.

Os incêndios florestais são fortemente dependentes das condições meteorológicas e do clima, sendo expectável um efeito pronunciado das alterações climáticas na ocorrência destes em Portugal. Com base nas variáveis meteorológicas simuladas para ambos os cenários climáticos calcularam-se as componentes do sistema Canadano de risco de incêndio, *Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System* (van Wagner, 1987). O sistema FWI permite avaliar o nível de risco meteorológico de uma região em relação à ocorrência de incêndios florestais.

O Verão regista os maiores aumentos absolutos em termos de risco meteorológico de incêndio, principalmente nos distritos do interior Norte e Sul. Maio apresenta o maior aumento, em termos relativos, e Outubro e Novembro também registam aumentos do índice FWI (Carvalho et al, 2009). Este facto poderá conduzir a uma antecipação do início da época de fogos e a um aumento da sua extensão temporal. Tal como se pode verificar na Figura 8, as regiões do Alentejo, Beira Interior e Trás-os-Montes são as mais afectadas em termos do aumento do índice de risco de incêndio para os meses de Verão.

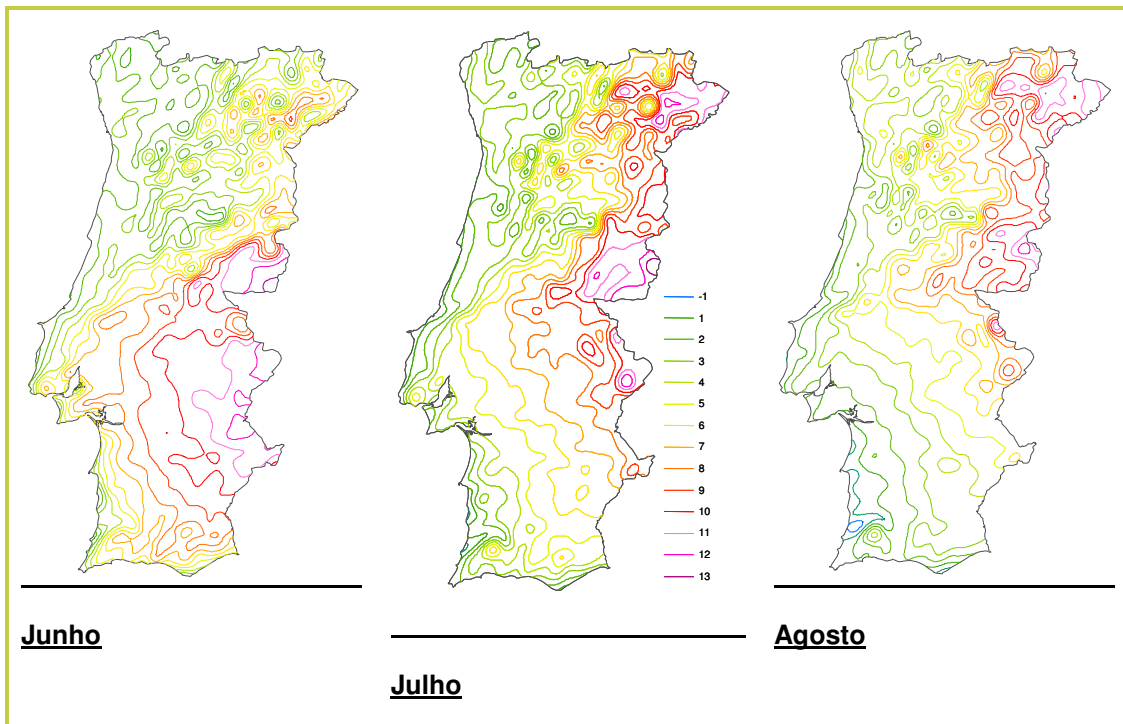


FIGURA 8: Alteração no índice meteorológico de risco de incêndio entre 2100 e 1990 em Portugal para Junho, Julho e Agosto (Carvalho et al, 2009).

Para além do impacto na temperatura e na ocorrência de incêndios florestais as alterações climáticas afectarão muitos outros sectores, tais como o escoamento superficial, a saúde humana e as zonas costeiras. O projecto SIAM conclui que, com base nos resultados de um modelo climático regional, o escoamento médio anual, a Norte do rio Douro, aumentará entre 0% e 10%. Porém, no Verão e no Outono poder-se-á verificar uma diminuição em cerca de 80%. Esta análise permitiu verificar que existe uma grande susceptibilidade de toda a costa em relação às alterações climáticas, nomeadamente em termos do aumento do nível médio das águas do mar e do agravamento da erosão costeira. Em termos de saúde humana, o aumento da frequência das ondas de calor, o aumento de episódios de poluição fotoquímica e o aumento de doenças transmitidas por vectores conduzirão a uma degradação da qualidade de vida dos cidadãos e a um aumento da pressão sobre os serviços de saúde.

Importa ainda referir os impactes na economia devidos, por um lado, às perdas humanas e materiais associadas aos eventos climáticos extremos e diversos impactes das alterações climáticas, e por outro, aos investimentos necessários para implementar medidas mitigadoras (com o objectivo de reduzir as emissões de GEE) e de adaptação (que visam preparar os estados e regiões potencialmente mais afectadas para minimizar as consequências adversas das alterações climáticas).



POLÍTICAS E MEDIDAS

O primeiro grande passo em matéria de alterações climáticas foi dado em 1979, durante a Primeira Conferência do Clima, com o estabelecimento do programa Mundial para o Clima, tendo sido reconhecida a existência deste fenómeno e a seriedade do problema das emissões antropogénicas de GEE. A declaração final dessa reunião solicitava que os governos previssem e prevenissem “potenciais impactes das actividades humanas no Clima, que pudessem ser adversas ao bem-estar da Humanidade”. Um dos resultados desta conferência foi o lançamento do Programa Mundial para o Clima.

Cerca de dez anos depois, em 1988, é criado pela Organização Meteorológica Internacional e pelo Programa das Nações Unidas para o Ambiente (UNEP), o Painel Internacional para as Alterações Climáticas.

Actualmente a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (UNFCCC), assinada em 1992 durante a Conferência das Nações Unidas do Ambiente e Desenvolvimento (no Rio de Janeiro), e o seu Protocolo de Quioto (PQ) constituem o único enquadramento internacional para o combate às alterações climáticas. A UNFCCC tem como função a revisão periódica dos compromissos existentes à luz dos objectivos da convenção, dos novos avanços científicos e o estado de implementação efectiva dos programas nacionais sobre alterações climáticas. A Convenção obriga os seus signatários a estabelecer programas nacionais de redução das emissões de GEE, exigindo ainda, embora de forma não vinculativa, aos países industrializados a estabilização, até 2000, das suas emissões aos níveis de 1990.

O órgão supremo da UNFCCC é a Conferência das Partes (CoP), na qual estão representadas todas as partes à Convenção. A CoP tem uma periodicidade anual, tendo a primeira decorrido em Berlim, em 1995, coincidindo com a publicação do segundo relatório de avaliação do IPCC (IPCC 1996a, 1996b e 1996c).

Adoptado por consenso, o PQ contém metas de emissão de GEE para o conjunto dos países do Anexo B do protocolo (países desenvolvidos). Globalmente, os países desenvolvidos concordaram em reduzir as suas emissões equivalentes de 6 GEE – CO₂, CH₄, N₂O, HCF, PFC e SF₆ – em 5,2 % até ao período de 2008-2012, relativamente aos valores de 1990. Esta redução agregada é, no entanto, traduzida em reduções ou aumentos individuais (diferenciação) para cada país do Anexo B.

A redução conjunta, prevista no Artigo 4 do PQ, estabelecido quase exclusivamente para a União Europeia (EU), cria uma diferenciação interna (“burden sharing”), permitindo que alguns Estados Membros possam aumentar as suas emissões à custa do esforço de redução ou estabilização dos restantes. Este conceito de diferenciação interna surgiu ainda durante a assinatura da UNFCCC, defendido pelos países de coesão europeia (Espanha, Portugal, Grécia e Irlanda) que, incapazes de reduzir ou estabilizar as suas emissões, incentivaram a apresentação da Comunidade como um todo, permitindo desta forma que no seu seio uns países aumentassem e outros reduzissem as suas emissões. Assim, a União Europeia tem como meta uma redução conjunta de 8% enquanto que Portugal, de acordo com a diferenciação interna, pode aumentar as suas emissões equivalentes de CO₂ em 27 %.

Um dos elementos mais inovadores do PQ consiste na possibilidade de as Partes utilizarem uma série de mecanismos de mercado, os chamados mecanismos de Quioto, para reduzirem as suas emissões de GEE de uma forma mais eficiente do ponto de vista económico:

- Implementação Conjunta (IC) – Entre países do Anexo B, consiste na possibilidade que um país, ou uma empresa de um país cumprir parte dos seus compromissos, financiando projectos de eficiência energética e/ou de retenção de GEE em florestas num outro país. Cada projecto de IC gera “unidades de redução de emissões” (URE) que poderão ser posteriormente usadas pelo país investidor. Assim, as URE adquiridas pelo país investidor são adicionadas à sua quota de emissões e deduzidas à quota de emissões do país beneficiado pelo projecto.
- Comércio de Emissões (em sentido restrito) (CE) – As Partes do Anexo B podem comercializar uma porção das suas quotas de emissões, convertida em licenças de emissão transaccionáveis. O país comprador adiciona as licenças compradas à sua quota de emissões, e o país vendedor deduz essas mesmas licenças da sua quota de emissões. Do ponto de vista das emissões, o país vendedor tem de emitir menos e o país comprador pode emitir mais GEE, sem alterar o limite global de emissões.
- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) – Idêntico à implementação conjunta, mas envolve projectos entre países com objectivos de redução (Anexo B) e países em desenvolvimento. As unidades transaccionáveis pelo MDL são os certificados de redução de emissões (CRE), resultantes de projectos também certificados. Esta certificação tem um cariz multilateral e independente.

Entre os projectos passíveis de certificação encontram-se os relacionados com fontes renováveis de energia, eficiência/conservação de energia, reflorestação e plantação de novas florestas, ou outros projectos de redução de emissões, tais como aterros sanitários e agropecuárias.

O Protocolo entrou em vigor a 16 de Fevereiro de 2005, depois de um processo negocial liderado pela UE, que culminou na sua ratificação pela Federação Russa, permitindo que se ultrapassasse a fasquia de ratificação por mais de 55 países, representando mais de 55% das emissões de GEE. Os Estados Unidos da América, que representam 19% das emissões mundiais de GEE, e 36% das emissões do pacote dos países desenvolvidos (URL 2) (dados de 2007), não ratificaram o PQ.

Os esforços mais recentes da UE têm sido no sentido de encontrar um novo acordo que dê continuidade ao PQ e que constituía um compromisso mais ambicioso e abrangente. Assim, estabeleceu-se a estratégia “20-20-20 em 2020”, que visa uma redução mínima de 20% das emissões de CO₂ (30% caso se chegue a acordo a nível internacional quanto às metas globais), o estabelecimento dum objectivo vinculativo de 20% para a utilização de fontes de energia renováveis e o aumento da eficiência energética em 20%, com a finalidade de limitar o aumento do aquecimento global a 2°C.

Portugal é uma das Partes à UNFCCC desde 13 de Junho de 1992, tendo procedido à sua ratificação em 21 de Junho de 1993 através do Decreto-Lei n.º 20/93. Em 29 de Abril de 1998, assinou o Protocolo de Quioto, que ratificou quatro anos depois, através do Decreto-Lei n.º 7/2002 de 25 de Março. Decorrente destes compromissos internacionais foi estabelecida, através da Resolução do Conselho de Ministros n.º72/98, de 29 de Junho, a Comissão para as Alterações Climáticas (CAC), composta por representantes dos vários ministérios.

Os trabalhos coordenados pela CAC conduziram à elaboração do Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), cuja primeira versão foi colocada a discussão pública em Dezembro de 2001. O PNAC 2001 constituiu o primeiro programa nacional desenvolvido com o objectivo específico de controlar e reduzir as emissões de GEE, de modo a respeitar os compromissos de Portugal no âmbito do PQ e da partilha de

responsabilidades no seio da UE. Desde essa altura o PNAC tem sofrido alterações no sentido de incorporar medidas adicionais para a mitigação de GEE, visando impedir a ultrapassagem da meta de crescimento de 27%, tarefa que se tem revelado difícil face à tendência verificada nas emissões nas últimas duas décadas. A mais marcante das sucessivas alterações ao PNAC tem a ver com o sector energético, no qual se assume o compromisso de que 45% da energia bruta consumida em Portugal seja assegurada exclusivamente por fontes de energia renováveis.

Um outro aspecto, que se reveste de igual importância, prende-se com a adaptação aos impactes das alterações climáticas. A estratégia Portuguesa nesta matéria tem sido incipiente. Apenas este ano, em 2010, foi lançada a proposta de Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas, que esteve em consulta pública de Julho a Setembro. Sendo um documento estratégico, apenas indica quais as áreas de actuação prioritária e os objectivos estruturantes.

CONCLUSÃO

As questões relacionadas com as alterações climáticas têm tido uma influência crescente na sociedade actual. De facto, a extensão, gravidade e os impactes resultantes das catástrofes ditas “naturais” estão intimamente associados às opções estratégicas de desenvolvimento e ao estilo de vida insustentável das sociedades modernas. O comportamento humano perante o ambiente e a insensibilidade das decisões de desenvolvimento tem levado a um incorrecto ordenamento do território e à alocação indevida de actividades humanas em zonas de risco. A análise do panorama mundial, em tudo semelhante à situação nacional, mostra que a maioria da população (em Portugal cerca de 80%) vive em zonas costeiras, mais susceptíveis à ocorrência de desastres “naturais”, em que o aumento do nível do mar é o mais óbvio. Contudo, não se cuidam as áreas mais críticas em termos ambientais: humanizam-se os leitos de cheia dos rios, constrói-se sobre falhas sísmicas, desfloresta-se potenciando a desertificação.

Por outro lado, a alteração profunda dos usos do solo (o bem mais escasso que existe no Planeta), designadamente o elevado índice de ocupação urbana e a respectiva pavimentação, bem como a mecanização e conseqüente compactação dos solos associadas à actividade agrícola, têm contribuído para a diminuição da capacidade de infiltração e drenagem das águas.

Muito para além das negociações internacionais, existe um importante trabalho doméstico a realizar. Implementar a Agenda 21 Local (aprovada na Conferência do Rio em 1992) aparece como uma prioridade para a qualidade de vida das populações, através de opções inteligentes e ambientalmente correctas, que minimizem, quer a frequência, quer os efeitos das alterações climáticas.

E cabe a todos nós, individualmente, questionar os nossos padrões de vida para adoptar comportamentos sustentáveis, não apenas para o ambiente, mas também para a sobrevivência da Humanidade. Existe uma longa lista de medidas mitigadoras e de adaptação que devem ser adoptadas por cada cidadão e que são tão importantes como as anteriormente apresentadas, nomeadamente: a contenção e o uso racional de energia (optar por tecnologias mais eficientes, não desperdiçar energia – boas práticas energéticas); aproveitar a energia de fontes alternativas; preferir os transportes mais eficientes e mais limpos; reduzir, reutilizar e reciclar (3R), e; mudar alguns hábitos que visem a minimização de desperdícios.

A Terra é a única casa de que dispomos e é essencial preservar os recursos que ela nos oferece. Esta é, não apenas uma tarefa, mas também um desígnio de todos e de cada um. Sermos utilizadores conscientes e racionais dos recursos disponíveis é a chave, quer para o desenvolvimento sustentável, quer para a diminuição de GEE emitidos para a atmosfera, e é este o desafio que o aquecimento global nos deixa em mãos, a nós enquanto cidadãos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APA – Agência Portuguesa do Ambiente (2009). Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990-2007, Amadora, 621pp
- Carvalho A (2008). Forest fires and air quality under a climate change scenario. Dissertação de Doutoramento. Universidade de Aveiro, Aveiro, 230 pp.
- Carvalho A, Flannigan M, Logan K, Gowman L, Miranda AI, Borrego C (2009). The impact of spatial resolution on area burned and fire occurrence projections in Portugal under climate change. *Climatic Change* 98: 177–197.
- EEA – European Environment Agency (2009). Annual European Community greenhouse gas inventory 1990–2007 and inventory report 2009 - Submission to the UNFCCC Secretariat. Technical report No 04/2009, Copenhagen, 634 pp.
- Christensen JH, Christensen OB (2007). A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change* 81, supplement 1: 7-30.
- GCMI – George C Marshall Institute (2005). Natural climate variability. Washington, 16 pp.
- Henson R (2009). Alterações Climáticas – Sintomas, Ciência, Soluções. Civilização Editores, ISBN 978-989-550-725-2, Porto, 384 pp.
- Hov O (1989). Model Calculations of Ozone in the Atmospheric Boundary Layer over Europe. *Studies in Environmental Science*. Vol 35, 1989, pp. 657-664.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (1996a). Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment of the IPCC. Eds. JT Houghton, LG Meira Filho, BA Callander, N Harris, A Kattenberg, K Maskell, Cambridge University Press, Reino Unido, 588 pp.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (1996b). Climate Change 1995, Impacts, Adaptation and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analysis. Contribution of Working Group II to the Second Assessment of the IPCC. Eds. RT Watson, MC Zinyowera, RH Moss, Cambridge University Press, Reino Unido, 891 pp.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (1996c). Climate Change 1995, Economic and Social Dimension of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Second Assessment of the IPCC. Eds. JP Bruce, H Lee, EF Haites, Cambridge University Press, Reino Unido, 438 pp.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007a). Climate Change 2007: Synthesis Report. Valência, 52 pp.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007b). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, 996 pp.
- Kiehl JT, Trenberth KE (1997). Earth's annual global mean energy budget. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78: 197–208.
- Kley D, Russel JM, Phillips C (2000). SPARC Assessment of Upper Tropospheric and Stratospheric Water Vapour. WCRP Report No. 113, WMO/TD Report No. 1043, World Climate Research Programme, Geneva, 325 pp.
- Lopes M (2004). Alterações climáticas: avaliação económica no apoio à decisão política. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro, 216 pp.
- Marland G, Boden TA, Andres RJ, Brenkert AL, Johnston CA (2007). Global, regional, and national CO₂ emissions. Trends: A Compendium of Data on Global Change, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee, USA.
- Montzka SA, Fraser PJ, Butler, JH, Cunnold DM, Daniel JS, Derwent R G, Lal S, McCulloch A, Oram DE, Reeves CE, Sanhueza E, Steele LP, Velders GJM, Weiss RF, Zander R (2003). Controlled substances and other source gases. In: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002. World Meteorological Organization, Geneva, 1.1–1. 83 pp.
- Nakicenovic N, Alcamo J, Davis G, de Vries B, Fenhann J, Gaffin S, Gregory K, Grübler A, Jung TY, Kram T, La Rovere EL, Michaelis L, Mori S, Morita T, Pepper W, Pitcher H, Price L, Raihi K, Roehrl A, Rogner HH, Sankovski A, Schlesinger

M, Shukla P, Smith S, Swart R, van Rooijen S, Victor N, Dadi Z (2000). IPCC Special Report on Emissions Scenarios, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.

Oltmans SJ, Vömel H, Hofmann DJ, Rosenlof KH, Kley D (2000). The increase in stratospheric water vapor from balloon borne, frostpoint hygrometer measurements at Washington, DC, and Boulder, Colorado. *Geophysical Research Letters* 27: 3453–3456.

Peixoto J (1981). A radiação solar e o ambiente. Secretaria de Estado do Ordenamento e Ambiente. Comissão Nacional do Ambiente, Lisboa, 177 pp.

Rosenlof KH, Oltmans SJ, Kley D, Rissel JM, Chiou EW, Chu WP, Johnson DG, Kelly KK, Micheksen HA, Nedoluha GE, Remsbern EE, Toon GC, McCormick MP (2001). Stratospheric water vapor increases over the past half-century. *Geophysical Research Letters* 28: 1195–1198.

Santos FD, Forbes K, Moita R (2002). Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project, Gradiva, Lisboa, Portugal, 454 pp.

UN – United Nations (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change. Nova Iorque, 25 pp.

UNEP/IUC (1997). Climate Change Information Kit. Michael Williams (eds). United Nations Environmental Programme's Information Unit for Conventions, Geneva, 63 pp.

Wagner T, Beirle S, Grzegorski M, Sanghavi S, Platt U (2004). Global long term data sets of the atmospheric H₂O column derived from Gome and Aciamachy – anomalies during the strong El-Niño event 1997/1998. Universidade de Heidelberg, Heidelberg, 6 pp.

Van Wagner CE (1987). Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Canadian Forest Service, Forestry Technical Report 35, Ottawa, Canada, 37 pp.

URL 1: <http://geographicae.wordpress.com>

URL 2: <http://unfccc.int>

URL 3: <http://www.apambiente.pt>