

## **RISCOS E DESAFIOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NO INÍCIO DO SÉCULO XXI**

**Professor Doutor Filipe Duarte Santos  
(Faculdade de Ciências de Lisboa)**

As alterações climáticas estão na ordem do dia neste início do século XXI. Importa desde logo salientar que o clima tem variado profundamente ao longo da história da Terra, iniciada há cerca de 4600 milhões de anos. Todas estas variações são naturais, resultantes de vários tipos de forçamentos externos e internos sobre o sistema climático. Houve eras glaciares com formação de extensas camadas de gelo nas regiões polares seguidas de eras em que essas camadas se fundiram completamente. Estes últimos períodos mais quentes representam cerca de 75% dos últimos 540 milhões de anos. Desde há cerca de 5 milhões de anos estamos numa era glacial caracterizada pela presença de gelos permanentes no Ártico e Antártica e na qual tem havido uma alternância entre períodos glaciares frios e períodos interglaciares relativamente quentes, com uma periodicidade da ordem de 100 000 anos. Presentemente estamos num período interglacial que teve início há cerca de 12 000 anos e no qual a temperatura média global é cerca de 5º a 7º C mais elevada do que no último período glacial. Nos últimos 2000 anos há também registos de variações climáticas embora menos pronunciadas. Um dos exemplos mais notáveis foi a pequena idade do gelo de 1400 a 1850 que teve consequências significativas na vida quotidiana e nas actividades sócio-económicas dessa época. Todas estas alterações climáticas têm causas naturais mais ou menos bem identificadas (Peixoto e Oort, 1992). As principais, para intervalos de tempo da ordem das dezenas a centenas de milhões de anos têm a ver com o movimento das placas tectónicas, a orogénese e as alterações nas correntes oceânicas. Na escala de tempo das centenas de milhares de anos, a alternância entre períodos glaciares e interglaciares resulta, muito provavelmente, de forçamentos de natureza astronómica sobre o sistema climático resultantes de pequenas variações na excentricidade da órbita da Terra em torno do Sol, do movimento de precessão do eixo da terra e da variação na inclinação desse eixo relativamente à elíptica. Para além destes factores, há ainda a considerar os forçamentos externos provocados por variações na luminosidade do Sol e por períodos de intensa actividade vulcânica. É também relevante salientar que o clima tem uma variabilidade intrínseca resultante de variações livres associadas a processos não-lineares no sistema climático que criam as condições necessárias ao crescimento de pequenas instabilidades. Nestes processos as retroacções negativas têm um efeito estabilizador enquanto que as retroacções positivas aumentam as instabilidades.

Com a revolução industrial, iniciada em meados do século XVIII, algumas actividades humanas, principalmente no sector energético, passaram a constituir um factor de alteração do clima, devido à utilização intensiva dos

---

**Riscos e Desafios das Alterações Climáticas no início do Século XXI  
(Professor Doutor Filipe Duarte Santos)**

:  
combustíveis fósseis: carvão, petróleo e gás natural. A queima destes combustíveis lança para a atmosfera grandes quantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) parte do qual se acumula na atmosfera. As emissões de CO<sub>2</sub> têm sido crescentes ao longo do século XX e continuam a aumentar devido ao uso cada vez maior de energia pela população humana e ao facto de cerca de 80% das fontes primárias de energia serem combustíveis fósseis. Em média, cerca de 75% das emissões antropogénicas de CO<sub>2</sub> nos últimos 20 anos resultaram da combustão de combustíveis fósseis. O restante teve origem principalmente nas alterações no uso dos solos, em especial a desflorestação.

A questão problemática é o CO<sub>2</sub> ser um gás com efeito de estufa (GEE), ou seja, que absorve a radiação infravermelha emitida sobretudo pela superfície da Terra. Os principais GEE presentes na atmosfera são o vapor de água, cuja concentração é muito variável, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), o ozono (O<sub>3</sub>), os clorofluorcarbonetos (CFC), os hidrofluorcarbonetos (HCFC) e ainda outros de menor importância. Aqueles cujas emissões antropogénicas são significativas são: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFC e HCFC. Destes o mais importante é o CO<sub>2</sub> dado que as emissões antropogénicas deste gás produzem cerca de 60% do forçamento radiativo médio global do conjunto das emissões antropogénicas de GEE.

Os GEE desempenham um papel crucial no equilíbrio radiativo da atmosfera. A sua presença provoca um efeito de estufa natural que aumenta a temperatura média global desde -18° para os actuais 15°C. Quando se aumenta a concentração dos GEE na baixa atmosfera ou troposfera, a temperatura média global tende a subir. Esta relação entre a concentração atmosférica de GEE e a temperatura média global da troposfera está muito bem alicerçada em leis físicas fundamentais e em características bem conhecidas da troposfera. Consideremos então a origem daquela relação e, para isso, imaginemos que a concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> duplica relativamente ao valor de 280 ppmv (partes por milhão em volume) anterior à revolução industrial. A maior quantidade de CO<sub>2</sub> presente na atmosfera implica que a radiação infravermelha que emite passa a ter origem, em média, a uma maior altitude. O perfil da temperatura na troposfera implica que quando se sobe em altitude a temperatura baixa, como facilmente se reconhece ao subir uma montanha. De acordo com as leis da emissão e absorção de radiação electromagnética, a quantidade de radiação emitida por um corpo, que se comporta aproximadamente como um corpo negro, conforme é o caso da atmosfera, diminui com a sua temperatura. Logo, ao duplicar a concentração de CO<sub>2</sub>, a quantidade de radiação infravermelha emitida para o espaço diminui, o que altera o balanço radiativo da Terra. Por outras palavras, a quantidade total da radiação emitida pela Terra passaria a ser menor do que a quantidade total de radiação recebida do Sol. Para compensar este défice, a temperatura da troposfera aumenta e, conseqüentemente, ao encontrar-se a uma temperatura mais elevada, o CO<sub>2</sub> emite mais radiação infravermelha para o espaço. Este é o mecanismo essencial do aquecimento global provocado por um aumento da concentração dos GEE na atmosfera. Para saber qual o aumento da

---

**Riscos e Desafios das Alterações Climáticas no início do Século XXI**  
**(Professor Doutor Filipe Duarte Santos)**

:  
temperatura média global que resulta de um determinado aumento da concentração dos GEE, é necessário ir mais longe e recorrer a modelos que simulam o comportamento do sistema climático e das suas componentes mais importantes em escalas de tempo relativamente pequenas – atmosfera, hidrosfera, criosfera e biosfera. É neste contexto que é importante considerar o conceito de sensibilidade climática, definida como o aumento da temperatura média global da atmosfera à superfície quando a atmosfera se ajusta a uma concentração fixa de CO<sub>2</sub> com o valor de 560 ppmv, dupla do valor pré-industrial. O valor da sensibilidade climática é aproximadamente independente do valor inicial da concentração do CO<sub>2</sub>, dado que a temperatura média global tem uma variação quase logarítmica com o aumento daquela concentração (Houghton, 1997). A maioria dos actuais modelos climáticos chamados de circulação geral (GCM – “General Circulation Model”) têm uma sensibilidade climática entre 2° e 4°. Note-se que um aumento da temperatura média global de 3°C, por exemplo, implica um aumento bastante maior, da ordem de 4° a 5°C, nas regiões continentais, dado que os oceanos, devido à sua maior inércia térmica, aumentam em média menos do que o valor médio global. Se se mantiverem ao longo do século as actuais tendências do aumento médio anual das emissões globais de CO<sub>2</sub>, a concentração irá atingir valores próximos de 800 ppmv em 2100. Seria um cenário muito gravoso com impactos negativos em muitos sectores de actividade sócio-económica e sistemas biofísicos.

Ou travamos as emissões globais ou teremos alterações climáticas mais pronunciadas com impactos cada vez mais gravosos sobre os recursos hídricos, agricultura, florestas, biodiversidade, saúde, zonas costeiras, pescas, turismo e seguros. Como responder a este problema? Há essencialmente dois tipos de respostas complementares: a mitigação, ou redução das emissões de GEE e a adaptação, que consiste em procurar minimizar os impactos adversos das alterações climáticas. Na mitigação a dificuldade é que não basta alguns países reduzirem as emissões: é necessário reduzir as emissões globais. A poluição provocada pelas emissões de CO<sub>2</sub> é global porque, em média, as moléculas deste gás permanecem na atmosfera cerca de 100 anos até se dissolverem nos oceanos ou serem sequestradas nas plantas verdes por meio da fotossíntese.

As emissões anuais de CO<sub>2</sub> aumentaram de uma média de 6,4 GtC (1 GtC ou 10<sup>9</sup> toneladas de carbono equivale a 3,67 GtCO<sub>2</sub>) na década de 1990 para 7,2 GtC no período de 2000-2005. (IPCC, WGI, 2007). Isto significa que as emissões globais per capita são já superiores a uma tonelada de carbono sob a forma de CO<sub>2</sub> por ano. Há contudo diferenças profundas entre as emissões per capita dos países desenvolvidos e dos países em desenvolvimento. Refira-se, a título de exemplo, que as emissões médias anuais, per capita, na União Europeia e nos E.U.A. neste início do século XXI são em média de 2,4 tC e 5,4 tC, respectivamente. Porém na China e na Índia são de 0,76 tC e 0,32 tC, respectivamente.

---

**Riscos e Desafios das Alterações Climáticas no início do Século XXI**  
**(Professor Doutor Filipe Duarte Santos)**

No que respeita ao CH<sub>4</sub>, as emissões globais aumentaram de um valor pré-industrial de 715 ppbv (partes por bilião em volume) para 1774 ppbv em 2005. A maior parte das emissões antropogénicas resulta das actividades agrícolas e do uso do gás natural. Quanto ao N<sub>2</sub>O, as emissões globais aumentaram de um valor pré-industrial de 270 ppbv até atingirem 319 ppbv em 2005. Mais de um terço das emissões antropogénicas de N<sub>2</sub>O provêm da agricultura.

O aumento antropogénico da concentração atmosférica de alguns GEE está actualmente muito bem documentado. A questão é saber se esta ligeira modificação na composição da atmosfera provocou já alterações climáticas. De acordo com o 4º Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, WGI, 2007) o “aquecimento global é inequívoco, conforme se torna evidente nas observações do aumento das temperaturas médias do ar e dos oceanos, da fusão generalizada da neve e gelo e da subida do nível médio global do mar”. Onze dos últimos doze anos do período de 1995-2006, fazem parte dos doze anos em que a temperatura média global foi mais elevada desde que se fizeram observações regulares com termómetros a partir de 1850. A temperatura média global das camadas superficiais dos oceanos, até profundidades da ordem dos 3000 m, tem estado a aumentar, provocando uma dilatação da massa de água que constitui a principal causa da subida do nível médio do mar. Estima-se que o oceano tem estado a absorver cerca de 80% da energia térmica adicionada ao sistema climático pelo aumento da concentração atmosférica de GEE.

O principal objectivo da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas, conforme está expresso no seu Artigo 2º, é evitar uma interferência antropogénica perigosa sobre o sistema climático, sem contudo definir o que se deve entender por uma interferência perigosa. Na Europa tem-se gerado nos últimos anos um relativo consenso em considerar que a interferência se torna perigosa quando conduz a um aumento da temperatura média global da atmosfera à superfície superior a 2º C, relativamente ao valor pré-industrial. Já em Março de 2004 o Conselho Europeu da UE reconheceu que se deveria caminhar a nível global para o cumprimento deste objectivo. Note-se porém que não há ainda nenhum acordo nesse sentido estabelecido com os E.U.A., os outros países desenvolvidos, os países com economias emergentes, tais como a China e a Índia, ou os outros países em desenvolvimento. Em qualquer caso, todos reconhecem ser desejável estabilizar a concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> e, de um modo mais geral, do conjunto dos GEE com emissões antropogénicas. Qual o valor da concentração da estabilização do CO<sub>2</sub> que garante um aumento da temperatura média global inferior a 2º C? A resposta a esta pergunta é determinada pela sensibilidade climática do sistema climático, cuja avaliação depende dos GCM utilizados. Num cenário de estabilização do CO<sub>2</sub> em 450 ppmv, correspondente aproximadamente a 550 ppmv em CO<sub>2</sub>-equivalente (concentração de CO<sub>2</sub> que produz um forçamento radiativo equivalente ao conjunto dos GEE) é pouco provável que o aumento da temperatura média global seja inferior a 2º C. Tendo presente que no início de 2007 a

---

**Riscos e Desafios das Alterações Climáticas no início do Século XXI**  
**(Professor Doutor Filipe Duarte Santos)**

concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> é já de 383 ppmv, conclui-se que há uma grande dificuldade, quase impossibilidade, de limitar o aquecimento global a 2<sup>o</sup> C. Os actuais conhecimentos sobre o ciclo do carbono e o sistema climático permitem concluir que para estabilizar a concentração do CO<sub>2</sub> em 450 ppmv é necessário diminuir o valor cumulativo médio das emissões no século XXI de 670 GtC (correspondente a um valor médio anual de 6,7 GtC) para 490 GtC (IPCC, WGI, 2007). Esta redução exige um esforço de redução das emissões globais de GEE da ordem de 30% até 2020 e de 60% a 80% até 2050 relativamente a 1990. A UE na reunião do Conselho Europeu de 9 de Março de 2007 comprometeu-se a reduzir unilateralmente de 20% as emissões de GEE até 2020 em relação a 1990 e a incrementar a redução para 30% no caso de outros países industrializados, incluindo os E.U.A., adoptarem objectivos semelhantes. Em poucas décadas as economias emergentes – China e Índia em especial – irão emitir mais do que os países desenvolvidos ao continuarem a usar intensivamente o carvão para se aproximarem dos níveis de desenvolvimento social e económico e de qualidade de vida dos países desenvolvidos. A solução que temos a nível global é os países desenvolvidos investirem mais na investigação e desenvolvimento das energias renováveis e em tecnologias de captura e sequestro de CO<sub>2</sub> produzido na queima dos combustíveis fósseis, sobretudo do carvão. A UE pretende ter em 2015, 12 centrais térmicas a carvão com sistema de captura e sequestro do CO<sub>2</sub> e passar a utilizar estas tecnologias obrigatoriamente a partir de 2020. Promover e investir na transferência destas tecnologias de carvão limpo para os países em desenvolvimento e, em especial, para a China será essencial para conseguir evitar uma interferência perigosa sobre o sistema climático. A grandeza do problema fica bem patente se tivermos presente que o ritmo actual de construção de centrais térmicas a carvão na China é de uma em cada quatro dias.

É importante ter presente que já não é possível evitar as alterações climáticas antropogénicas no século XXI. O que podemos e devemos fazer é pôr em prática rapidamente medidas de mitigação capazes de evitar que se agravem de forma perigosa. Temos pois que nos adaptar às alterações climáticas procurando minimizar os seus efeitos adversos. É importante salientar que a curto e médio prazo os impactos das alterações climáticas não são todos negativos. Em algumas regiões, como por exemplo, nas latitudes elevadas da América do Norte e Eurásia, o aumento da temperatura irá possibilitar a expansão das áreas florestais e da agricultura. Porém em outras regiões mais vulneráveis, os impactos serão sobretudo negativos como é o caso da região Mediterrânica e do Sul da Europa onde Portugal se insere.

Há já indicações claras de que as recentes alterações climáticas estão a ter impactos sobre muitos sistemas naturais e humanos (IPCC, WGII, 2007). Os ecossistemas de montanha e das zonas costeiras estão entre os mais vulneráveis. Observa-se uma maior frequência de fenómenos meteorológicos e climáticos extremos, tais como episódios de precipitação intensa, com elevado risco de cheias, e secas com impactos negativos sobre a agricultura e as

---

**Riscos e Desafios das Alterações Climáticas no início do Século XXI**  
**(Professor Doutor Filipe Duarte Santos)**

:

florestas. Na região do Sahel em África, condições mais quentes e secas diminuíram de modo significativo a produtividade da agricultura e agravaram os riscos de desertificação e de conflitualidade como acontece na região de Darfur no Sudão. O aumento do nível médio do mar e a contínua tendência das populações se deslocarem do interior para as zonas costeiras tem tido impactos negativos sobre as zonas húmidas e os mangais, além de aumentar o risco de inundação. No sector da saúde humana as ondas de calor mais frequentes têm provocado maior mortalidade, conforme está bem documentado na Europa, e maior incidência de algumas doenças transmitidas por vectores.

Para realizar a adaptação às alterações climáticas é necessário ter projecções sobre os seus impactos futuros e estes obtêm-se com base em cenários climáticos obtidos por meio de modelos que simulam o sistema climático. Os principais sectores e sistemas afectados pelas alterações climáticas são os recursos hídricos, a agricultura, os ecossistemas e a biodiversidade, as florestas, as zonas costeiras, a saúde humana, a indústria, os agregados populacionais e a sociedade em geral (IOCC, WGII, 2007). No caso de Portugal continental, o Projecto SIAM – Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures (SIAM, 2002; SIAM, 2006) fez uma avaliação integrada e multisectorial dos impactos e medidas de adaptação às alterações climáticas com base em cenários climáticos futuros obtidos por meio de GCM's. No Projecto SIAM II (SIAM, 2006), depois de uma análise do clima de Portugal nos séculos XX e XXI, fez-se uma análise dos impactos e medidas de adaptação nos recursos hídricos, zonas costeiras, agricultura, saúde humana e implicações para o turismo, energia, florestas e biodiversidade e pescas. Para além destas análises sectoriais fez-se um estudo de caso mais focado e integrado para uma região especialmente vulnerável do Continente. Foi escolhida a região da bacia hidrográfica do rio Sado devido à maior vulnerabilidade do Sul do país às alterações climáticas (especialmente nos sectores dos recursos hídricos, agricultura, florestas e biodiversidade) e ainda ao facto de incluir uma larga área estuarina potencialmente vulnerável à subida do nível médio do mar. Foram também construídos cenários climáticos futuros para várias ilhas dos arquipélagos dos Açores e Madeira (SIAM, 2006). Posteriormente foi realizado um estudo multisectorial e integrado dos impactos das alterações climáticas nas ilhas da Madeira e Porto Santo (CLIMAAT II, 2006). De um modo geral os sectores dos recursos hídricos, agricultura, florestas e biodiversidade, zonas costeiras e saúde humana são os mais vulneráveis. É desejável no futuro poder dispor de avaliações dos impactos e medidas de adaptação para as grandes regiões do país que permitam identificar os sectores mais vulneráveis e as estratégias de adaptação mais adequadas para cada região. A maior ênfase nos impactos e medidas de adaptação a nível local e regional facilita o processo de divulgação e sensibilização junto dos agentes mais directamente envolvidos na problemática da mudança do clima e do público em geral. A mitigação e a adaptação são duas respostas complementares e sinérgicas para combater os riscos das alterações climáticas que deverão desenvolver-se simultaneamente de forma integrada.

---

**Riscos e Desafios das Alterações Climáticas no início do Século XXI**  
**(Professor Doutor Filipe Duarte Santos)**

:

### **Referências**

- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, WGI – Working Group I, Fourth Assessment Report, Summary for Policy Makers, Janeiro de 2007, [www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf](http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf)).
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, WGII – Working Group II, Fourth Assessment Report, Summary for Policy Makers, Abril de 2007, <http://www.ipcc.ch/SPM13apr07.pdf>).
- J. Houghton, Global Warming. The complete briefing, 1997, Cambridge University Press.
- J.P. Peixoto and A.H. Oort, Physics of climate, 1992, American Institute of Physics, New York.
- SIAM – Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação – Projecto SIAM II, 2006, F.D. Santos e P. Miranda (eds), Gradiva, Lisboa.
- SIAM – Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation measures – SIAM Project, 2002, F.D.Santos, K. Forbes e R. Moita (eds), Gradiva, Lisboa ([www.siam.fc.ul.pt](http://www.siam.fc.ul.pt)).
- CLIMAAT II, Impactos e Medidas de Adaptação às Alterações Climáticas no Arquipélago da Madeira, F.D. Santos e R. Aguiar (editores), Projecto CLIMAAT II, 2006, Direcção Regional do Ambiente da Madeira, Funchal.