

Apresenta-se uma breve descrição do sistema climático terrestre e uma análise das causas da variabilidade climática natural, especialmente da alternância entre períodos glaciares e interglaciares nos últimos 600 000 anos. Desde o início da revolução industrial e sobretudo mais recentemente, as actividades humanas têm provocado uma interferência sobre o sistema climático por meio das emissões crescentes de gases com efeito de estufa para a atmosfera. Esta interferência provoca alterações climáticas, cujos primeiros sinais são já observáveis, que terão impactos negativos sobre vários sectores sócio-económicos e sistemas biofísicos. Há dois tipos de resposta a estas alterações climáticas: a mitigação e a adaptação. Depois de discutir uma metodologia para definir quantitativamente o que se deve entender por interferência antropogénica perigosa sobre o sistema climático faz-se uma breve introdução à problemática da mitigação, que consiste em estabilizar a concentração atmosférica dos gases com efeito de estufa, especialmente o CO<sub>2</sub> proveniente da combustão dos combustíveis fósseis e das alterações no uso dos solos.

FILIPE DUARTE SANTOS

Laboratório Associado - Instituto D. Luiz,  
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa,  
Observatório Astronómico de Lisboa  
Edifício Leste, Tapada da Ajuda  
1349-018 Lisboa

fdsantos@oal.ul.pt

# ENERGIA E CLIMA DESAFIO AMBIENTAL SÉCULO XXI

Um dos maiores impactes ambientais do actual período de intenso desenvolvimento sócio-económico, que teve o seu início com a revolução industrial, em meados do século XVIII, é o aumento da concentração atmosférica de alguns gases com efeito de estufa (GEE) (ou seja, com a propriedade de absorver a radiação infravermelha), especialmente o CO<sub>2</sub>. A concentração deste gás na atmosfera aumentou em cerca de 35% desde o valor pré-industrial de 280 ppmv (partes por milhão em volume) até ao valor de 379 ppmv em 2004. Este aumento continua e resulta, sobretudo, da queima de combustíveis fósseis, carvão, petróleo e gás natural, e também das alterações no uso dos solos, em especial a desflorestação. Nos últimos 20 anos a combustão dos combustíveis fósseis contribuiu em média, com 75% das emissões globais de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Há outros GEE cujas concentrações atmosféricas estão também a aumentar devido a emissões antropogénicas tais como CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFCs e HCHCs.

As emissões antropogénicas de CO<sub>2</sub> são especialmente importantes porque o CO<sub>2</sub> é um poderoso regulador do clima. Estudos paleoclimáticos revelam que existe uma forte correlação entre a concentração atmosférica do CO<sub>2</sub> e a temperatura média global da atmosfera. Os resultados apresentados na Fig. 1, obtidos a partir da medição da

# MA: NTAL DO

concentração do  $\text{CO}_2$  em pequenas bolhas de ar retidas nas sucessivas camadas de gelo depositadas na Antártica, revelam que a concentração actual de  $\text{CO}_2$  excede em cerca de 70 ppmv o máximo da concentração nos últimos 420 000 anos, durante os quais houve 4 ciclos glaciares, com uma

duração aproximada de 100 000 anos, caracterizados por um período glacial relativamente longo com 80 000 a 90 000 anos, seguido de um período interglacial relativamente mais quente e curto. O aumento da concentração do  $\text{CO}_2$  atmosférico, nos últimos 250 anos constitui uma preocupante interferência antropogénica sobre o sistema climático que, se não for controlada, se tornará perigosa.

Os ciclos climáticos evidenciados na Fig. 1 têm causas naturais e resultam de forçamentos de natureza astronómica relacionados com variações periódicas nos parâmetros orbitais da Terra - variação da excentricidade da órbita em torno do Sol, variação da inclinação do eixo de rotação relativamente à elíptica e movimento de precessão do eixo da rotação. Note-se porém que estes forçamentos são insuficientes para explicar cabalmente a grande amplitude das oscilações da temperatura média global entre os períodos glaciares e interglaciares: provavelmente eles são amplificados através de processos não-lineares de realimentação interna no sistema climático, envolvendo a interacção entre dois dos seus principais sub-sistemas – a atmosfera e a hidrosfera. Quanto à forte correlação entre a concentração atmosférica de  $\text{CO}_2$  e a temperatura média global da baixa atmosfera, provavelmente ela resulta também da interacção entre a atmosfera e os oceanos e está associada ao facto de os oceanos constituírem o principal sumidouro de  $\text{CO}_2$  e este ser menos dissolúvel quando a temperatura superficial dos oceanos sobe. Resultados recentes [3] obtidos na Antártica permitem recuar até há 650 000 anos atrás e revelam que desde então houve 6 ciclos glaciares nos quais se manteve a correlação entre a concentração de  $\text{CO}_2$  e a temperatura média global da atmosfera. Se recuarmos ainda mais no tempo encontramos longos períodos em que a temperatura média da atmosfera era bastante mais elevada do que a actual e não existiam calotes polares. É o

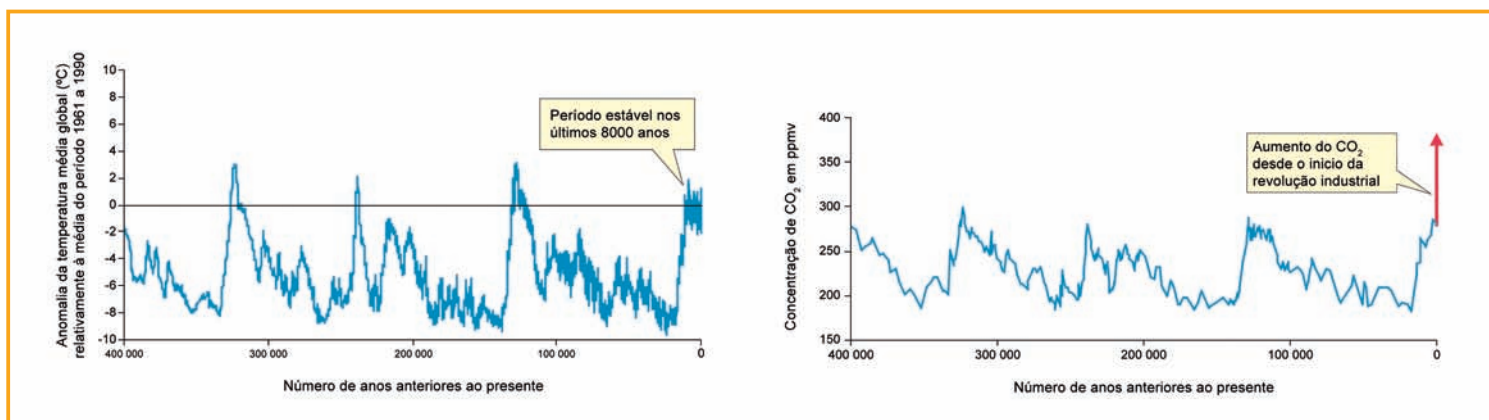


Fig. 1 - Reconstituição da evolução da temperatura média global da baixa atmosfera, representada por meio da anomalia relativamente à média do período de 1961 a 1990, e da concentração atmosférica do  $\text{CO}_2$  nos últimos 400 000 anos [1]. Figura adaptada de [2]. Repare-se na correlação que se observa entre os dois registos. O aumento da concentração do  $\text{CO}_2$  a partir da revolução industrial e até ao presente está indicado por um vector aproximadamente vertical devido à escala de tempo utilizada na figura.

caso, por exemplo do Cretácico. A alternância entre épocas de glaciação nas regiões polares e períodos relativamente quentes sem gelos polares é provavelmente causada pelos movimentos tectónicos e pelas alterações que provocam na circulação oceânica.

Durante as duas últimas décadas do século XX a taxa média anual do aumento da concentração do CO<sub>2</sub> foi de 1,5 ppmv, valor que é mais de cem vezes superior àquele que se registou nas últimas 6 transições dos períodos glaciares para os interglaciares. Estamos a modificar ligeiramente a composição da atmosfera ao aumentar a concentração de GEE e sabemos que o sistema climático tem uma resposta determinista a este forçamento, cuja principal característica é o aumento da temperatura média global da troposfera.

No conjunto das emissões antropogénicas de GEE as de CO<sub>2</sub> são as que mais contribuem para aumentar o efeito de estufa. Actualmente as emissões de CO<sub>2</sub> produzem um forçamento radiativo médio de 1,5 Wm<sup>-2</sup> correspondente a cerca de 60% do forçamento radiativo médio global das emissões antropogénicas de GEE. Com estas emissões estamos a perturbar o ciclo natural do carbono no qual os principais reservatórios são os oceanos com 40 000 GtC (gigatoneladas de carbono), o reservatório terrestre com uma quantidade menor, da ordem de 2050 GtC, e a atmosfera com cerca de 775 GtC, actualmente. Surpreendente é que, antes da revolução industrial a atmosfera continha apenas cerca de 600 GtC. O acréscimo de 175 GtC, num período da ordem de 250 anos resultou da acumulação de CO<sub>2</sub> na atmosfera provocada pelas emissões antropogénicas. No ciclo do carbono os principais sumidouros são os oceanos e as plantas, por meio da fotossíntese, enquanto que as principais fontes são a respiração das plantas, a decomposição da matéria viva, a combustão dos combustíveis fósseis e em muito menor escala a produção de cimento, as queimadas e os fogos florestais. A Tabela 1 indica os fluxos globais anuais de carbono sob a forma de CO<sub>2</sub> em Gt nas décadas de 1980 e 1990 apresentadas no 3º relatório do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*) [4]. Valores positivos correspondem a fluxos para a atmosfera e negativos correspondem a retirar CO<sub>2</sub> da atmosfera. A soma algébrica dos valores médios dos três fluxos nas duas colunas da Tabela 1 iguala o valor médio do aumento anual da quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Repare-se na incerteza relativa-

mente elevada do valor do fluxo da atmosfera para a terra firme resultante da dificuldade em contabilizar todos os processos que envolvem trocas de CO<sub>2</sub> com a globalidade dos seres vivos e em decomposição.

## SINAIS DE UMA MUDANÇA CLIMÁTICA RECENTE

Para quantificar a mudança climática que resulta do aumento da concentração atmosférica de GEE e caracterizá-la em termos das outras variáveis meteorológicas é necessário recorrer a modelos de circulação geral da atmosfera que simulam o comportamento do sistema climático. Um dos principais métodos de validação destes modelos consiste em procurar reproduzir a evolução da temperatura média global observada desde que há medições com termómetros, ou seja, aproximadamente, desde finais do século XIX. Conclui-se que as observações são bem reproduzidas pelos modelos e ainda que o aumento da temperatura média global observado durante o século XX e especialmente depois da década de 1970 resulta, em grande parte, do aumento da concentração dos gases com efeito de estufa na atmosfera.

Há vários sinais de uma mudança climática que se têm acentuado nas últimas três décadas. Desde o início do século XX a temperatura média global da atmosfera à superfície aumentou de 0,6±0,2 °C [4]. Em algumas regiões continentais o aumento foi maior, como, por exemplo, na Europa onde o valor médio foi 0,95 °C. Nas últimas três décadas o aumento da temperatura média global é de 0,17±0,5 °C por década. Em Portugal Continental, durante o mesmo período, esse aumento foi maior: 0,47 °C por década na temperatura máxima e 0,48 °C por década na temperatura mínima [5].

Nas últimas décadas observou-se também uma maior frequência de fenómenos climáticos extremos. Maior frequência de episódios de precipitação intensa nas latitudes médias e altas e de secas em várias regiões de África, Ásia e Europa. No século XX e especialmente nos últimos 50 anos observou-se um recuo da grande maioria dos glaciares de montanha e uma redução da massa de gelo nas grandes altitudes que é compatível com as observações do aumento da temperatura média global da atmosfera durante o mesmo intervalo de tempo. Nas calotes polares a situação é também preocupante embora mais fácil de interpretar no

	1980 a 1989	1990 a 1999
<b>AUMENTO DO CO<sub>2</sub> ATMOSFÉRICO</b>	3,3 ± 0,1	3,2 ± 0,1
<b>EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> PARA A ATMOSFERA</b> (queima de combustíveis fósseis e produção de cimento)	5,4 ± 0,3	6,3 ± 0,4
<b>FLUXO ATMOSFERA - OCEANO</b>	- 1,9 ± 0,6	- 1,7 ± 0,5
<b>FLUXO ATMOSFERA - TERRA FIRME</b>	- 0,2 ± 0,7	- 1,4 ± 0,7

Tabela 1 - Fluxos globais anuais de CO<sub>2</sub> em GtC (IPCC, 2001).

Ártico do que na Antártica. A área de gelos marítimos estivais no Ártico reduziu-se de 16 a 20% nos últimos 30 anos e na Gronelândia a área da camada de gelo, anualmente sujeita a fusão durante o verão, aumentou de 16% de 1979 a 2002 [6]. O aumento do nível médio do mar, observado na rede mundial de marégrafos durante o século XX, situou-se entre 1,0 e 2,0 mm/ano, valor que é cerca de 10 vezes superior ao valor médio estimado por meio de observações indirectas para os últimos 3 000 anos [4]. Este aumento é, na sua maior parte, provocado pela dilatação térmica da camada superficial dos oceanos, provocada pelo aumento da temperatura média global da atmosfera à superfície e ao degelo dos glaciares das montanhas.

De acordo com os modelos climáticos todas estas tendências tendem a agravar-se no futuro. Contudo a severidade das alterações climáticas durante o século XXI e para além do século XXI depende de sermos ou não capazes de controlar a interferência antropogénica sobre o sistema climático estabilizando as emissões globais de GEE para a atmosfera para depois as diminuir até valores inferiores aos actuais. Este objectivo é extremamente difícil de atingir devido à enorme dependência do sector energético, a nível global, dos combustíveis fósseis e às profundas alterações no uso dos solos, especialmente a desflorestação nas regiões tropicais. Cerca de 80% das fontes primárias de energia a nível mundial são combustíveis fósseis e o consumo global de energia está a crescer a uma taxa de aproximadamente 2% por ano. Segundo as previsões da Agência Internacional de Energia [2], as emissões globais anuais de CO<sub>2</sub> vão aumentar 60% até 2030 relativamente a 2004 se não houver mudanças significativas nas políticas energéticas. Mais de dois terços do aumento das emissões provêm dos países em desenvolvimento que, provavelmente, continuarão a utilizar o carvão de forma intensiva.

### MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS ANTROPOGÉNICAS

Estamos perante um desafio de enorme grandeza frente ao qual é necessário e urgente identificar as respostas mais adequadas e pô-las em prática à escala nacional, regional e mundial. As alterações climáticas antropogénicas são já inevitáveis no século XXI e terão impactos na maior parte negativos sobre vários sistemas naturais e sociais. Há essencialmente dois tipos de respostas: a mitigação e a adaptação. A primeira consiste em combater as causas das alterações climáticas antropogénicas e traduz-se em acções que visam estabilizar a concentração atmosférica dos GEE por meio da redução das emissões globais e do desenvolvimento de sumidouros desses gases. A adaptação é um processo de resposta em que se procuram minimizar os impactos negativos das alterações climáticas nos diversos sistemas naturais e sociais. Os dois tipos de respostas são

complementares: poder-se-á dar mais ênfase a uma ou a outra, conforme a política climática, nos diversos níveis, nacional, regional ou internacional. Porém deve insistir-se sobretudo na mitigação com incidência global porque a partir de determinados limiares de concentração dos GEE os impactos das alterações climáticas tornam-se profundamente adversos, perigosos e alguns com consequências irreversíveis. Estamos perante um problema de poluição global para o qual todos os países contribuem embora de forma quantitativamente muito distinta. Os E. U. A., por exemplo, contribuem com cerca de 25% das emissões globais de CO<sub>2</sub> com apenas 4,3% da população mundial o que corresponde a uma emissão anual *per capita* de mais de 20 toneladas de CO<sub>2</sub>. Em contrapartida, a maior parte dos países em desenvolvimento têm taxas de emissão anuais *per capita* de apenas 2 toneladas de CO<sub>2</sub>. Na União Europeia (UE) a média das taxas de emissão anuais *per capita* é cerca de 9 toneladas e Portugal atingiu já, em 2001, o valor de 8,1 toneladas, deixando para a Suécia o valor mais baixo (7,9 toneladas) do conjunto dos 15 países que integravam a UE antes do recente alargamento.

Não existe qualquer relação entre a quantidade de emissões de um dado país e a sua vulnerabilidade aos impactos das alterações climáticas provocadas pelo conjunto global de emissões. Em geral os países em desenvolvimento são mais vulneráveis e simultaneamente os menos responsáveis pelo problema do aquecimento global. Estas considerações justificam que o principal princípio que deve fundamentar o regime climático futuro, especialmente no que respeita à mitigação, é a equidade entre países. Equidade no que respeita a compromissos de redução de emissões correlacionados com as emissões históricas e proporcionais ao esforço global de mitigação, a direitos iguais de acesso a uma atmosfera livre de uma interferência antropogénica perigosa sobre o clima, à capacidade de planear e pôr em prática medidas de adaptação às alterações climáticas eficazes e finalmente ao acesso a um desenvolvimento sócio-económico que no presente e num futuro próximo continuará inevitavelmente dependente da utilização dos combustíveis fósseis.

### COMO DEFINIR UMA INTERFERÊNCIA ANTROPOGÉNICA PERIGOSA SOBRE O SISTEMA CLIMÁTICO?

A questão está em saber até que ponto é tolerável interferir no sistema climático. Esta é a problemática visada na Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas cujo objectivo final, enunciado no seu Artigo 2º, refere “é o de conseguir... estabilizar a concentração na atmosfera de GEE, a um nível que evite uma interferência antropogénica perigosa com o sistema climático”. O problema está pois em definir o que se deverá entender por interferência perigosa sobre o sistema climático. Para estudar esta questão e encontrar respostas é necessário avaliar a

grandeza e as consequências dos impactos das alterações climáticas sobre os vários sistemas naturais e sociais com base em indicadores dessas alterações. Os indicadores mais importantes são o aumento da temperatura média global da troposfera, o aumento da frequência de fenómenos climáticos extremos, especialmente secas, períodos de precipitação muito intensa e ciclones tropicais, variações regionais dos regimes de precipitação, aumento da temperatura superficial dos oceanos, subida do nível médio do mar, degelo dos glaciares e campos de gelo das montanhas e dos gelos das calotes polares. De todos estes indicadores, o mais importante para caracterizar a mudança climática provocada pelo aumento da concentração de GEE é a temperatura média global da baixa atmosfera. Os outros têm correlações mais ou menos significativas com a temperatura média que porém estão ainda insuficientemente estudadas e conhecidas.

Desde a publicação do 3º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas [4] foram publicados muitos resultados novos sobre os riscos dos impactos num conjunto muito variado de sistemas naturais e sociais. No caso dos ecossistemas conclui-se que alguns deles tais como os recifes de coral [7] e algumas florestas tropicais [8] são gravemente afectados com aumentos da temperatura média global de apenas 1 °C. Entre 2 °C e 3 °C o número de ecossistemas que se tornam vulneráveis aumenta muito e a partir de 3 °C os impactos negativos são generalizados. Cerca de metade das reservas naturais mundiais são incapazes de se adaptar a uma mudança climática com um aumento de temperatura superior a 3 °C [9] o que implica impactos profundamente negativos na biodiversidade. Um estudo recente [10] indica que, em média, 10% das espécies de vários países europeus desaparecem para aumento de temperatura superior a 3 °C. Em geral os ecossistemas mais vulneráveis são as zonas húmidas, as regiões montanhosas e as regiões das grandes latitudes, especialmente no Ártico.

Aumentos de temperatura entre 3 °C a 4 °C terão impactos muito adversos na produção agrícola mundial e de acordo com [11] introduzem um risco adicional de insuficiência alimentar grave para 80 a 125 milhões de pessoas. O aumento da temperatura média global será acompanhado, muito provavelmente, por uma maior frequência de fenómenos climáticos extremos cujo impacto negativo é especialmente relevante nos recursos hídricos, agricultura, florestas, zonas costeiras e na saúde humana.

O tempo de resposta dos oceanos ao forçamento provocado pelo aumento da concentração atmosférica dos GEE é muito maior do que o da atmosfera, (Fig. 2). Se fosse possível interromper totalmente e imediatamente as emissões antropogénicas de GEE o nível médio do mar continuaria a subir durante pelo menos 500 anos devido à dilatação térmica das camadas mais profundas do oceano resultante

da lenta propagação do calor. Para além do aquecimento, os oceanos estão também a sofrer uma acidificação devida ao aumento da concentração do CO<sub>2</sub> dissolvido. Nos últimos 200 anos os oceanos absorveram cerca de metade do CO<sub>2</sub> emitido para a atmosfera em consequência das actividades humanas. Medições recentes permitem concluir que aquela absorção diminuiu o pH das águas oceânicas superficiais de 0,1 e que o decréscimo poderá atingir 0,5 até ao final deste século [12]. A taxa de redução do pH das águas oceânicas superficiais é provavelmente cerca de 100 vezes superior à que ocorreu durante alguns períodos nos últimos 650 000 anos e terá consequências gravosas na vida marinha, nas cadeias tróficas e especialmente nos processos de formação de conchas e corais.

O tempo de resposta dos gelos das calotes polares é ainda maior do que o dos oceanos (Fig. 2). Estudos recentes [14,15] indicam que um aumento da temperatura média na região do Ártico próximo de 3 °C inicia um processo irreversível de fusão da camada de gelo da Gronelândia durante um período de pelo menos 1000 anos. Estes resultados são preocupantes porque quando a temperatura média global aumenta de um determinado valor o acréscimo da temperatura média nas latitudes elevadas é maior. Um aumento da temperatura média global de 2 °C corresponde a um aumento de 4 °C a 8 °C no Ártico. A amplificação do aquecimento global nas regiões polares introduz um risco acrescido de início de um processo irreversível, na escala de vários milhares de anos, de fusão dos gelos. Note-se que a camada de gelo da Gronelândia contém cerca de 3x10<sup>6</sup> km<sup>3</sup> de gelo que ao fundirem completamente elevariam o nível médio do mar cerca de 7 m.

A análise, aqui apresentada de forma muito breve, dos impactos sobre os sistemas naturais e sociais e dos respectivos riscos sugeriu que seja considerada como interferência perigosa sobre o sistema climático aquela em que a temperatura média global aumenta de um valor superior a 2 °C, relativamente à média pré-industrial. Este limiar foi adoptado pela UE em 1996 e confirmado pelo Conselho Europeu em 2004.

## MEDIDAS DE MITIGAÇÃO PARA O PÓS-QUIOTO

Estabelecido o limiar de interferência perigosa em termos de um acréscimo da temperatura média, é necessário determinar qual o valor de estabilização da concentração dos GEE que lhe corresponde e quais as opções de calendarização do esforço de redução de emissões globais que permitem conduzir àquela estabilização. Esta relação é determinada pela sensibilidade do sistema climático definida como o aumento da temperatura média global que resultaria de uma duplicação da concentração atmosférica dos GEE, expressa em CO<sub>2</sub> equivalente, relativamente



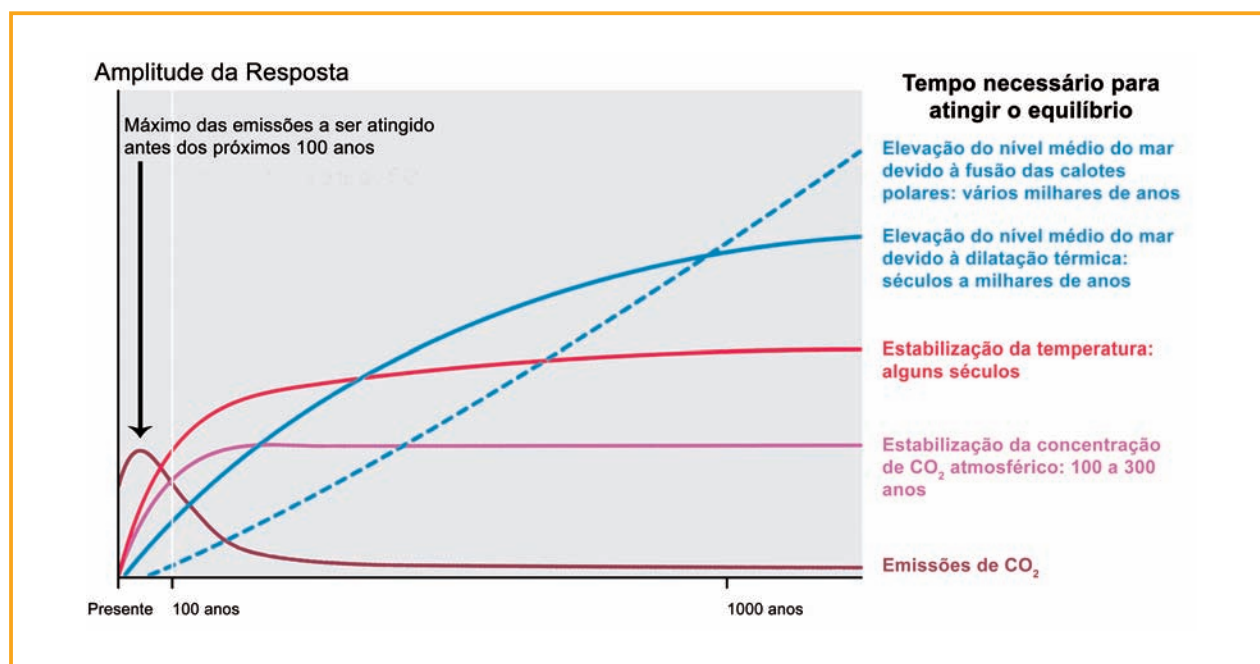


Fig. 2 - Evolução da concentração do CO<sub>2</sub> atmosférico, da temperatura média global da baixa atmosfera e do nível médio do mar induzida por uma evolução das emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub> que atingem um máximo nos próximos 100 anos. Neste cenário a estabilização da concentração do CO<sub>2</sub> dá-se passados 100 a 300 anos e a estabilização da temperatura média global passados alguns séculos. No que respeita ao nível médio do mar a estabilização do seu aumento, provocado pela dilatação térmica e pelo degelo das calotes polares, dá-se passadas várias centenas de anos a mais de um milhar e passados vários milhares de anos, respectivamente. Figura adaptada de [13].

ao seu valor pré-industrial, ou seja, aproximadamente 550 ppmv. A sensibilidade climática é obtida por meio da simulação do sistema climático com modelos e há ainda alguma incerteza sobre o seu valor. O IPCC, no seu relatório de 2001 (IPCC, 2001), considera que há uma grande probabilidade de se situar no intervalo de 1,5 °C a 4,5 °C sendo 2,5 °C o valor mais provável. Estudos mais recentes [16] concluem que há uma probabilidade de 90% da sensibilidade climática se situar entre 2 °C e 4 °C. Para que o limiar de 2 °C seja atingido com uma probabilidade superior a 50% é necessário estabilizar as concentrações de GEE num valor inferior a 450 ppmv de CO<sub>2</sub> equivalente [17]. A realização deste objectivo requer que as emissões globais tenham um máximo antes de 2020 e que até 2050 tenham reduções da ordem de 30 a 50% relativamente às emissões globais de 1990.

É evidente que conseguir estes objectivos de redução das emissões globais de GEE é extremamente difícil e depende de uma concertação internacional envolvendo tanto os países desenvolvidos como os países em desenvolvimento, especialmente as economias em transição como é o caso da China, Índia, Brasil e Indonésia. No que respeita ao CO<sub>2</sub>, que é claramente o mais importante GEE no que respeita ao forçamento radiativo, a mitigação consiste essencialmente em diminuir a interferência antropogénica sobre o ciclo do carbono, tanto a nível das fontes como

dos sumidouros. O grande desafio que enfrentamos neste início do século XXI é pois o de diminuir o consumo mundial de combustíveis fósseis por meio da poupança de energia, utilização mais eficiente da energia primária, desenvolvimento das energias renováveis – solar, térmica e fotovoltaica, eólica, biomassa, geotérmica, ondas, marés – da energia nuclear, em especial a fusão nuclear, de novas tecnologias de produção de energia e da inovação científica e tecnológica no domínio da produção e utilização mais eficiente da energia.

Aliás importa salientar que o esforço de reduzir a dependência nos combustíveis fósseis é vital num futuro mais ou menos próximo devido ao esgotamento progressivo das reservas, especialmente de petróleo e gás natural. A nível global e a médio prazo a contribuição da energia nuclear de cisão para o total das fontes primárias de energia tenderá a diminuir, excepto, se as condições de preço e segurança do abastecimento do petróleo e gás natural se agravarem significativamente e/ou surgirem novas tecnologias competitivas de tratamento dos resíduos das centrais nucleares. Quanto à energia nuclear de fusão ela só será comercializável daqui a mais de 50 anos, numa perspectiva moderadamente optimista. Todos estes condicionalismos e incertezas indicam que só será possível controlar a interferência antropogénica sobre o sistema climático por meio da sequestração de CO<sub>2</sub>. A sequestração biológica através

da florestação, da reflorestação e de práticas agrícolas que favorecem a fixação do carbono nos solos é insuficiente para resolver o problema. Será necessário recorrer também à sequestração do CO<sub>2</sub> produzido na combustão de combustíveis fósseis em centrais térmicas ou em processos de separação do hidrogénio dos combustíveis fósseis, em depósitos subterrâneos, estanques a longo prazo, tais como reservatórios de petróleo e gás natural já explorados, antigas minas de carvão e aquíferos salinos [4].

Existe uma vasta bibliografia sobre os custos económicos de medidas de mitigação suficientemente eficazes para evitar uma interferência perigosa sobre o clima. Estimativas recentes indicam que uma redução de 50% das emissões globais de GEE relativamente a 1990 reduz o Produto Mundial Bruto (PMB) de 1 a 3% [18]. Esta é uma redução relativamente pequena tendo em atenção que se prevê um aumento anual do PMB entre 0,8 e 2,8% até ao final do século. O principal problema está em que o estabelecimento de um regime climático acordado a nível global é extremamente difícil sem primeiro assegurar a equidade entre países no acesso a padrões de qualidade de vida comparáveis. Por outras palavras sem primeiro anular a enorme e crescente disparidade no acesso à riqueza entre países desenvolvidos e em desenvolvimento.

## REFERÊNCIAS

- [1] Petit J.R. *et al.*, “Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core, Antarctica”, *Nature* **399**, 1999, 429-436.
- [2] IEA, International Energy Agency, World Energy Outlook, 2004.
- [3] Siegenthaler U. *et al.*, “Stable carbon cycle - climate relationship during the late Pleistocene”, *Science* **310**, 2005, 1313-1317.
- [4] IPCC, *Third Assessment Report of the Working Groups I, II and III*, 2001, Cambridge University Press.
- [5] SIAM, *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures* – SIAM Project, 2002, F.D. Santos, K. Forbes and R. Moita (eds.), Gradiva, Lisboa ([www.siam.fc.ul.pt](http://www.siam.fc.ul.pt)).
- [6] ACIA, *Impacts of a Warming Arctic, Arctic Climate Impact Assessment*, 2004, Cambridge University Press. ([www.acia.uaf.edu](http://www.acia.uaf.edu)).
- [7] Sheppard, C.R.C., “Predicted recurrences of mass coral mortality in the Indian ocean”, *Nature* **425**, 2003, 294-297.
- [8] Williams, S.E. *et al.*, “Climate change in Australian tropical rainforests: an impending environmental catastrophe”, *Proceedings of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, **270**, 2003, 1887-1892.
- [9] Leemans, R. and B. Eickhout, “Another reason for concern: regional and global impacts of ecosystems for different levels of climate change”, *Global Environment Change* **14**, 2004, 219-228.
- [10] M. Bakkenes *et al.*, “Ecosystem impacts of different climate stabilization scenarios”, *Global Environmental Change*, 2005, in press.
- [11] Parry, M. *et al.*, “Millions at risk: defining critical climate change threats and targets”, *Global Environmental Change* **11**, 2001, 181-183.
- [12] The Royal Society, “Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide”, *Policy Document*. **12/05**, June 2005.
- [13] IPCC, *Synthesis of the Third Assessment Report of Working Groups I, II and III*, R. T. Watson (eds.), IPCC, 2003.
- [14] Gregory, J.M. *et al.*, “Threatened loss of the Greenland ice sheet”, *Nature* **428**, 2004, 616.
- [15] Lowe, J. *et al.*, “The role of sea level rise and the Greenland ice sheet in dangerous climate change and issues of climate stabilization”, *Abstracts of the International Symposium on Stabilization of Greenhouse Gases: Avoiding Dangerous Climate Change*, 1-3 February 2005, Met. Office, Exeter, United Kingdom.
- [16] Murphy, J.M. *et al.*, “Quantification of modelling uncertainties in a large ensemble of climate change simulations”, *Nature* **430**, 2004, 768-772.
- [17] Hare, B. and N. Meinshausen, “How much warming are we committed to and how much can be avoided?” *PIK Report*, **93**, 2004, Potsdam.
- [18] Azar, C. and S.H. Schneider, “Are economic costs of stabilizing the atmosphere prohibitive?”, *Ecological Economics* **42**, 2002, 73-80.