

R · E · V · I · S · T · A

indústria da água

GESTÃO

**UM RELANCE SOBRE AS PERSPECTIVAS
DE DESENVOLVIMENTO**

Dr. Jorge Abreu Simões

PONTO DE VISTA

Dr. José Roquette

A Água na Terra (II)

O Passado e o Futuro do Ciclo da Água

Prof. Doutor Adélio A.S.C. Machado
Departamento de Química, Faculdade de Ciências do Porto

INTRODUÇÃO

No artigo anterior, discutiram-se duas características fundamentais da ocorrência da água na Terra: abundância intrínseca (mas também, paralela e contraditoriamente, escassez crescente para utilização pelo Homem) e movimentação constante, traduzida pelo ciclo da água e que determina o funcionamento global do nosso planeta. Estas características levantam duas questões óbvias: Qual a origem da água no nosso planeta? Que alterações terá havido no seu ciclo ao longo do tempo?

O presente artigo começa por tentar responder a estas questões: primeiro, analisa donde proveio a água da hidrosfera terrestre e a evolução passada do ciclo da água. Depois, discute a relação entre o ciclo da água e o ciclo da energia na Terra, pondo em evidência a importância do efeito de estufa para o clima global do nosso planeta e o papel primordial da água neste efeito. Finalmente, mostra a importância da previsão do futuro do ciclo da água para se poder antecipar a evolução a esperar do clima da Terra, e refere aspectos do ciclo que é preciso investigar com mais pormenor para se poderem fazer previsões razoáveis.

A ORIGEM DA ÁGUA NA TERRA

A hidrosfera da Terra atingiu uma constituição muito próxima da actual há cerca de 3 800 milhões de anos, à custa de vapor de água libertado da crosta em erupções vulcânicas, na última fase da formação do nosso planeta, que envolveu a desgaseificação da crosta. Os planetésimos e meteoros caídos sobre a Terra, e os cometas que com ela chocaram nessa fase, entre há 4 500 e 3 800 milhões de anos, terão também contribuído com uma fracção apreciável da água existente no planeta. Enquanto a temperatura à superfície da Terra foi superior a 100°C, a água manteve-se quase totalmente na atmosfera. O vapor de água da atmosfera provoca um **efeito de estufa** (ver adiante), de modo que, nessa fase, a existência de grande quantidade de vapor de água na atmosfera do planeta foi responsável por uma desaceleração do seu ritmo de arrefecimento. Mas a Terra foi arrefecendo lentamente e, por fim, quando a temperatura à sua superfície desceu abaixo dos 100°C, a maior parte da água condensou, constituíram-se os oceanos e começou a funcionar o ciclo da água.

A quantidade de água envolvida no ciclo não variou muito desde a altura em que se constituiu a hidrosfera, há 3 800 milhões de anos. A única perda irreversível resultou de fotólise de moléculas de água nas camadas superiores da atmosfera (quebra de ligações químicas oxigénio-hidrogénio, por acção de radiação ultravioleta), com subsequente saída de hidrogénio produzido para o espaço exterior. No entanto, a fracção de água perdida por esta via foi muito pequena, provavelmente inferior a 0,1% do total. Estima-se que a quantidade de água libertada na desgaseificação da crosta e provinda do exterior, nessa fase da formação do nosso planeta, tenha sido da ordem dos $1,6 \times 10^{21}$ Kg. Esta quantidade é, portanto, o total disponível para o ciclo. A quantidade total contabilizada no ciclo apresentado na Fig.1 do artigo anterior é um pouco inferior, da ordem de $1,3 \times 10^{21}$ Kg (ver a Tabela 1 do mesmo artigo). A diferença entre estes dois valores refere-se, em grande parte, a água imobilizada em rochas sedimentares.

A EVOLUÇÃO PASSADA DO CICLO DA ÁGUA

Embora a quantidade de água disponível para o ciclo não tenha variado apreciavelmente ao longo da história da Terra, a sua distribuição e o próprio ciclo sofreram diversas flutuações, em consequência dos ciclos de glaciação/interglaciação por que o nosso planeta passa e em que ocorrem flutuações de temperatura. Na Época da Terra em curso, o Plistoceno, nos últimos 2 milhões de anos, tais ciclos ocorreram 16 vezes. Os ciclos de glaciação/interglaciação são devidos a ligeiras modificações na órbita da Terra em torno do Sol, que se reflectem na quantidade de energia solar recebida pelo planeta, em particular nas regiões polares, mas a água tem um papel activo no desenvolvimento das glaciações. Quando a energia recebida diminui e ocorre arrefecimento, aumenta a extensão das áreas geladas, e como o gelo e neve reflectem uma maior percentagem da energia recebida do Sol, esse aumento provoca uma intensificação do arrefecimento, que aumenta ainda mais a área gelada, e assim sucessivamente; ou seja, a formação de gelo à superfície da Terra sustenta o processo de glaciação.

As glaciações têm um efeito marcado no ciclo da água. Calcula-se que quando a última glaciação atingiu o máximo, há 18 mil anos, as calotes de gelo polares imobilizaram $4,2 \times 10^{19}$ Kg, cerca de 3% da água

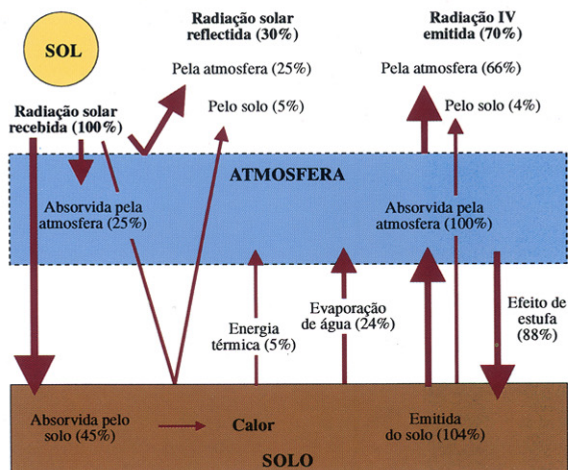


Fig.1 - O ciclo global de energia na Terra, evidenciando as trocas de energia com o espaço exterior e entre o solo e a atmosfera, e o efeito de estufa: o fluxo total de energia radiante que atinge o solo ($45 + 88 = 133\%$) é quase três vezes o da energia solar (45%) e superior ao que o solo receberia se não houvesse atmosfera (100% , a base a que estão referidos todos os fluxos energéticos).

dos oceanos, o que provocou um abaixamento do seu nível em cerca de 120 m relativamente ao presente. O decréscimo de temperaturas nos períodos de glaciação provoca uma diminuição da extensão de evaporação da água a partir dos oceanos e da quantidade de vapor na atmosfera, isto é, um clima globalmente mais seco, o que arrasta naturalmente modificações no ciclo da água, nomeadamente um menor caudal de precipitação global. No máximo da última glaciação, o caudal global de precipitação na Terra terá sido cerca de 14% mais baixo que presentemente. Nas glaciações, com o decréscimo da humidade no ar e do caudal de precipitação, diminui a extensão da fotossíntese e a pujança da vegetação, e, conseqüentemente, aumentam a extensão das áreas desérticas e os efeitos erosivos do vento sobre o solo. Tais efeitos são exercidos sobre uma área de solo mais extensa, devido à descida de nível dos oceanos. Esta área inclui as plataformas continentais destes, cujos sedimentos ficam expostos. Estes efeitos parecem provocar um aumento da quantidade de nutrientes transportados para os oceanos durante as glaciações, apesar da diminuição do caudal dos rios, aumento esse que provoca um aumento da extensão da fotossíntese realizada no mar, ao contrário do que sucede em terra.

Em suma, à escala de tempo geológica, o ciclo da água não é estático e as suas modificações provocam alterações no meio ambiente do planeta. No entanto, os dados experimentais que fornecem informações sobre o passado do ciclo, obtidos dos "arquivos ambientais" (sedimentos, gelos das calotes polares, etc.), são escassos e frequentemente controversos. Em conseqüência, é ainda impossível quantificar com

rigor razoável as modificações havidas no ciclo da água ao longo do tempo, o que será essencial para se poder prever a sua evolução futura.

O EFEITO DE ESTUFA E A ÁGUA

O efeito de estufa, de que presentemente tanto se fala, é conhecido há muito tempo: a sua teoria básica foi introduzida por Fourier, nos princípios do século passado. O efeito consiste num conjunto complexo de fenómenos, que se podem resumir no seguinte: o vapor de água e outros gases da atmosfera, especialmente o dióxido de carbono, absorvem grande parte da radiação infravermelha emitida pelo solo e reemitem-na para este, impedindo a sua saída para o espaço exterior, semelhantemente ao que sucede numa estufa que conserva calor no seu interior.

O efeito de estufa constitui um detalhe do ciclo global da energia na Terra, ao qual o ciclo da água está acoplado. Por sua vez, a água tem um papel importante nos fenómenos que provocam o efeito de estufa. Justifica-se, portanto, uma análise conjunta destes tópicos.

O ciclo global da energia e o efeito de estufa. O ciclo global da energia na Terra, esquematizado na Fig. 1, pode ser estabelecido a partir de três balanços de energia: o balanço global da Terra, que traduz as trocas de energia do planeta com o espaço exterior, e os balanços de energia da atmosfera e do solo, que traduzem as trocas de energia em que cada um destes compartimentos está envolvido, entre si e com o espaço exterior. No presente contexto, usa-se solo para designar

Tabela 1
O efeito de estufa da Terra e planetas seus vizinhos

Planeta	Pressão atmosférica (atm)*	Principais gases contribuintes**	Temperaturas (°C)***		
			Esperada	Observada	Δ (Estufa)
Vénus	90	CO ₂ (>90%)	-46	477	523
Terra	1	CO ₂ (-0,04%) H ₂ O (-1%)	-18	15	33
Marte	0,007	CO ₂ (>80%)	-57	-47	10

*) À superfície

**) Contribuintes para o efeito de estufa (com indicação da percentagem volumétrica entre parêntesis)

***) Esperada: na ausência do efeito de estufa; Δ (Estufa): acréscimo devido ao efeito de estufa.

genericamente a superfície terrestre, incluindo os oceanos, porque o aquecimento por absorção de energia radiante é mais intenso para o solo de que para a água, já que esta dissipa calor por evaporação.

O ciclo global da energia descreve como ocorre a movimentação de energia no nosso planeta. Na Fig. 1, os fluxos de energia são expressos como percentagem do fluxo total de energia solar que atinge a Terra, igualado a 100% para servir de base de contabilização dos outros fluxos. Deste fluxo de energia radiante recebido do Sol, uma fracção de 25 % é reflectida pela atmosfera e outros 25 % são absorvidos pelos gases que a constituem, contribuindo para o seu aquecimento; os restantes 50% atingem o solo, mas 5% são reflectidos e perdem-se para o espaço exterior, pelo que apenas 45% são absorvidos pela matéria à superfície do solo (ver a esquerda da figura). Em resumo, enquanto 30% do total de energia solar que atinge o planeta são reenviados por reflexão para o espaço exterior, 70% são retidos pela atmosfera e pelo solo (ver a parte superior da figura).

A energia solar absorvida pelo solo proporciona o seu aquecimento e a subsequente emissão para a atmosfera de energia radiante no infravermelho (IV), de maior comprimento de onda que a radiação solar absorvida (ver a parte direita da figura). O fluxo desta radiação IV emitida pelo solo é igual a 104% do fluxo de energia solar que atinge a Terra, sendo portanto mais intenso que este. Como a atmosfera é muito menos transparente para esta radiação IV de maior comprimento de onda do que para a radiação solar, a maior parte da energia irradiada pelo solo é absorvida pelos gases da atmosfera, constituindo uma contribuição para o seu aquecimento mais intensa que a da energia solar: só 4% deste fluxo de radiação IV atravessa a atmosfera sem ser absorvido, perdendo-se para o espaço exterior, já que os restantes 100% são retidos na atmosfera. Paralelamente, a atmosfera é também aquecida por dois fluxos térmicos provenientes do solo: um fluxo constituído por calor transferido do solo por condução térmica e convexão atmosférica, de intensidade 5%; e outro, de maior intensida-

de, 24%, constituído por calor latente movimentado por evaporação de água do solo e condensação do vapor na atmosfera com formação das nuvens. A atmosfera recebe, portanto, um fluxo energético total igual a 154% do fluxo de energia solar que atinge a Terra, fluxo esse que aquece os gases que a constituem. Este calor é dissipado da atmosfera por emissão de radiação IV, quer para o espaço exterior (66%), quer, principalmente, para o solo (88%). Este último fluxo, reabsorvido pelo solo, traduz-se em energia mantida pela Terra, isto é, o sistema atmosfera/solo retém energia, semelhantemente a uma estufa, o que justifica o nome do efeito.

Quanto ao solo, o fluxo de energia radiante IV recebido da atmosfera (88%) é praticamente duplo do fluxo de energia solar recebido directamente (45%), isto é, o efeito de estufa triplica o fluxo energético recebido pelo solo. Assim, o fluxo total de energia radiante recebido pelo solo (133%) é substancialmente mais elevado do que se não existisse a atmosfera entre a superfície da Terra e o Sol! Este fluxo provoca um aquecimento substancial da superfície da Terra que, por sua vez, intensifica a dissipação térmica de energia para a atmosfera, quer por condução térmica e convexão atmosférica de calor, quer como calor latente (evaporação/condensação) transportado pela água.

O papel da água no efeito de estufa. Os gases atmosféricos que absorvem radiação IV emitida pelo solo e, portanto, contribuem para o efeito de estufa são mais de 35. Os mais importantes são a água, o dióxido de carbono, o metano, o hemióxido de azoto, o ozono troposférico e dois clorofluoroalcanos (CFC-11 e CFC-12), mas alcanos, cloroalcanos e outros derivados halogenados, aldeídos, etc., contribuem também para o efeito.

A água atmosférica é o maior contribuinte para o efeito de estufa, embora seja frequentemente ignorada quando se fala dele. Esta omissão resulta de várias razões: a quantidade relativa de água na atmosfera é muito mais elevada que as dos outros gases, e é ainda impossível determinar as suas eventuais variações; supõe-se que a contribuição da

água na atmosfera para efeito de estufa se tem mantido estável nos últimos milhares de anos e que não sentiu até agora o aumento de pressão do Homem sobre o ambiente que acompanhou o desenvolvimento da civilização industrial. O espectro de IV da água apresenta duas bandas largas e intensas, a comprimentos de onda entre 6,3 - 8,0 e >15 μm , que são responsáveis por uma forte absorção da radiação pela atmosfera nestas duas regiões do IV. A água proporciona, portanto, uma contribuição de base, forte e constante, para o efeito de estufa, mas deixa aberta uma **janela atmosférica** entre 8,5 - 11,5 μm que permite o escape de radiação IV. Os espectros dos outros gases atrás mencionados como contribuintes importantes para o efeito de estufa apresentam bandas nesta gama de comprimentos de onda (bem como a <6 μm). Esses gases absorvem radiação IV nessa gama, “fecham a janela atmosférica” e intensificam o efeito. O dióxido de carbono, a substância mais vulgarmente associada ao efeito de estufa, é o maior responsável por este último fenómeno, mas não o único.

Diversas observações mostram que a contribuição básica da água para o efeito de estufa é muito importante. A emissão de radiação IV da atmosfera para o solo é particularmente relevante de noite, quando não é recebida radiação solar para o aquecer, porque impede descidas muito acentuadas da temperatura da superfície da Terra do dia para a noite. Em regiões secas onde a atmosfera quase não contenha água, a radiação IV emitida pelo solo será absorvida em menor extensão ao atravessar a atmosfera e, portanto, por sua vez, a radiação emitida pela atmosfera será menos intensa e transportará menos energia para o solo. Na ausência de água na atmosfera, portanto, o efeito de estufa será menos intenso, o papel da radiação solar no aquecimento do solo tornar-se-á mais importante e a variação diária de temperatura será mais acentuada. Estes raciocínios são comprovados pelo que sucede nos desertos, que apresentam flutuações de temperatura entre o dia e a noite muito maiores do que nas outras regiões.

Uma outra observação corrente, mais pessoal, que pode ser explicada também pela contribuição da água para o efeito de estufa, é a de que “o Sol da praia tosta mais” em dias em que o céu se apresenta encoberto por nuvens baixas. As nuvens só absorvem cerca de 20% da radiação solar, mas absorvem quase completamente a radiação IV emitida pelo solo. Uma fracção elevada desta radiação IV é reemitida para o solo. Nestas condições, o nível de radiação IV no espaço solo-nuvens é excepcionalmente elevado, e o chamado “banho de sol” é mais eficaz (e menos nocivo) do que sob Sol aberto. O sistema assemelha-se, salvo a diferente escala espacial, às lâmpadas de IV usadas para “tostar” a pele em casa.

Em conclusão, a água desempenha um papel muito activo no desenvolvimento do efeito de estufa, quase nunca devidamente realçado. Este papel é exercido pela substância na atmosfera quer sob a forma de vapor quer no estado líquido (nuvens). Por outro lado, como se vai discutir a seguir, a água desempenha também um papel muito importante na propagação das consequências do efeito no meio ambiente.

O efeito de estufa e o meio ambiente. O efeito de estufa, embora

seja apenas um detalhe do ciclo da energia na Terra, é um detalhe muito importante. De facto, como o efeito triplica o fluxo energético recebido pelo solo, provoca um forte aquecimento da sua superfície. Este fenómeno tem implicações importantes quanto às características do meio ambiente tal como existe actualmente, em particular quanto à amenidade climática global da Terra.

No que respeita este último facto, o efeito de estufa é responsável por um diferencial positivo de temperatura da superfície da Terra, da ordem dos 33°C, sem o qual o nosso planeta seria totalmente recoberto por gelo (a temperatura média à sua superfície, em vez dos actuais cerca de 15°C, seria de -18°C, aproximadamente!). O efeito de estufa não é exclusivo da Terra: ocorre para outros planetas com atmosfera, e tanto mais intensamente quanto maior for a densidade desta. É elucidativo fazer uma comparação da situação da Terra com as de Vénus e Marte. Como mostram os dados coligidos na Tabela 1, o efeito é muito mais intenso em Vénus do que na Terra, provocando uma temperatura muito elevada (477°C), incompatível com a existência de água líquida (toda a água se evapora); e menos intenso em Marte, cuja temperatura negativa (-47°C) é também incompatível com a existência de água líquida (só existe gelo!). A Tabela mostra, ainda, que as extensões relativas do efeito de estufa nos três planetas estão em conformidade com as suas pressões atmosféricas e com as quantidades de dióxido de carbono existentes nas respectivas atmosferas (o que suporta a teoria do efeito de estufa, usada nos cálculos).

No que respeita às características do meio ambiente, é de salientar que, em larga extensão, elas são determinadas pelo efeito de estufa, e que o agente da sua relação é a água: o efeito é o responsável principal pela movimentação da água na Terra. Na realidade, o acréscimo de temperatura à superfície da Terra que ocorre em consequência do efeito, provoca naturalmente um acréscimo dos respectivos mecanismos de dissipação de calor. Como mostra o ciclo global da energia (Fig.1), o mais importante destes mecanismos, a seguir à emissão de radiação IV, é a evaporação da água do solo e oceanos; e o fluxo de energia (calor latente) associado a esta evaporação é muito elevado, igual a 24% do fluxo total de energia solar recebido pela Terra. Como é esse fluxo de energia que mantém a água em movimento no seu ciclo, a movimentação da água no meio ambiente seria muito menos intensa se o efeito de estufa fosse mais ténue. A relação íntima e complexa que existe entre o efeito estufa e o ciclo da água, é, portanto, muito importante para as características do meio ambiente.

O CICLO DA ÁGUA E O AQUECIMENTO GLOBAL

Presentemente, há fortes suspeitas de que alterações de composição da atmosfera terrestre em certos componentes menores, provocadas pelo Homem em consequência do desenvolvimento da civilização industrial ocorrido desde a Revolução Industrial, muito em particular

depois da Segunda Grande Guerra, estejam a provocar uma modificação antropogénica do clima terrestre. A característica fundamental desta alteração será uma intensificação do efeito de estufa, com subida da temperatura global do planeta, pelo que o problema é vulgarmente designado por **aquecimento global** da Terra. É claro que tal fenómeno está intimamente relacionado com o ciclo da água e afectará este ciclo, pelo que tem cabimento discuti-lo aqui, no que respeita a esta relação. Por outro lado, será também interessante descrever estudos realizados sobre a hidrosfera com o objectivo de obter dados sobre o aquecimento global.

O aquecimento global e seus efeitos no ciclo da água. A concentração na atmosfera de gases que contribuem para o efeito de estufa (principalmente dióxido de carbono, clorofluorocarbonos e metano) tem vindo a aumentar, em grande parte devido à actividade do Homem e poluição que esta provoca. Esse aumento intensificará o efeito de estufa e acarretará o aquecimento global da Terra. É interessante referir que a possibilidade de ocorrência de tal aquecimento, em consequência do lançamento para a atmosfera do dióxido de carbono formado nas combustões, foi considerada nos fins do século passado por Arrhenius, mas esta chamada de atenção foi ignorada e só nos últimos vinte anos se recomeçou a prestar interesse ao assunto.

Diversos modelos do balanço de energia da radiação solar na atmosfera prevêem o aquecimento global. O aumento da concentração do dióxido de carbono, ocasionado pela queima dos combustíveis fósseis, é particularmente crítico quanto à intensificação do efeito

de estufa que provoca. O aumento da temperatura média global da Terra poderá atingir alguns °C nos meados do próximo século, mas os aumentos variarão de região para região (por exemplo, serão maiores no Inverno, nas regiões de latitude elevada de ambos os hemisférios). Pelas consequências que pode ter no clima, no ciclo da água e no meio ambiente, este problema constitui presentemente uma fonte de preocupações para o Homem, sendo objecto de muita atenção, quer pela comunidade científica quer pelo grande público. Têm sido muito mencionados na comunicação social, por exemplo, os efeitos da subida de nível da água do mar na inundação de zonas costeiras. Esses efeitos ocorrerão mais em consequência da dilatação térmica da água dos oceanos e da fusão de glaciares e neves no topo das montanhas do que da fusão do gelo das calotes polares (ao contrário do que tem sido erradamente publicitado!). A subida de nível poderá atingir, em média, algumas dezenas de centímetros em meados do próximo século, mas também com forte variabilidade local.

Quanto ao ciclo da água, os referidos modelos prevêem uma activação da movimentação da substância, com aumentos globais da evaporação, da extensão das nuvens e da pluviosidade (da ordem de alguns por cento); estes aumentos não serão igualmente distribuídos sobre a Terra (em certas regiões, a quantidade de precipitação até diminuirá!). No entanto, quanto a esta distribuição, os resultados dos diversos modelos não coincidem ou são mesmos contraditórios, o que não espanta, tendo em conta a variabilidade natural do ciclo da água. Aliás, todas as previsões dos modelos têm um elevado grau de

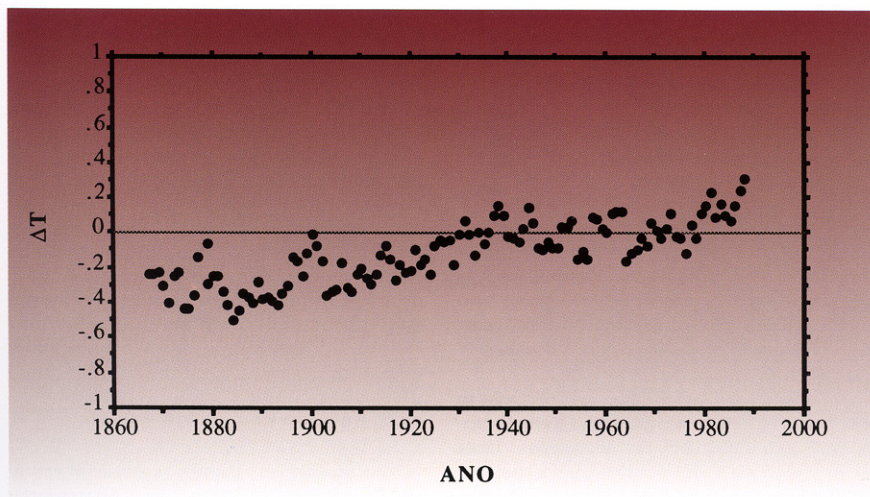


Fig.2 - Variação da temperatura global da Terra desde 1867. As diferenças de temperatura, marcadas em °C, são referidas à média dos anos 1950-79 (linha horizontal de ordenada nula) e corrigidas para os efeitos de El Niño.

incerteza, já que o conhecimento que presentemente se tem sobre os efeitos sobrepostos das nuvens, aerossóis atmosféricos e gases do efeito de estufa é mínimo.

Um problema fundamental que se põe presentemente sobre o aquecimento global é obter dados experimentais que comprovem que o aquecimento previsto pela teoria do efeito de estufa está de facto a ocorrer. Este problema envolve duas componentes: por um lado, averiguar a extensão da variação da temperatura; por outro, definir um valor de temperatura que se possa considerar normal para a Terra (o equivalente aos 37°C do corpo humano!), com precisão conhecida, para avaliar se a variação encontrada se pode considerar ou não anormal.

Evidência a favor do aquecimento global. A evidência experimental de aquecimento global proporcionada pelos dados de temperatura à superfície da Terra é equívoca. Os registos que existem até meados do século passado não são suficientemente sistemáticos; a partir desta altura, os registos são regularmente e mais numerosos, mas, como foram obtidos por diferentes processos, têm de ser corrigidos para comparação com os actuais, o que introduz uma certa incerteza. A análise desses registos (na Fig.2 apresenta-se um conjunto de dados tratados sobre a variação de temperatura da Terra) sugere que durante o século passado ocorreu um aumento de temperatura da ordem de 0,5°C. Desde o início do século XX existem também dados de medições realizadas à superfície do mar e três conjuntos de dados independentes mostram todos uma subida global de temperatura da mesma ordem de grandeza. No entanto, a subida não foi regular: as maiores contribuições ocorreram em dois períodos, entre 1910 e 1940 e após 1975, com os cinco anos mais quentes na década de oitenta, enquanto entre 1940 e 1975 a temperatura desceu ligeiramente. Recentemente, em 1992 e até meados de 1993, a temperatura global tem descido, o que se atribui às fortes erupções dos vulcões do Monte Pinatubo, nas Filipinas, e do Monte Hudson, no Chile, ocorridas em 1991. Estas erupções, principalmente a primeira, já que o vulcão é muito maior, dispersaram grandes quantidades de enxofre para a atmosfera (30 milhões de toneladas!), predominantemente sob a forma de dióxido de enxofre, SO₂. Este gás reagiu com vapor de água da atmosfera e formou aerossóis de ácido sulfúrico que, por acção de ventos estratosféricos, se espalharam à volta da Terra, prevenindo-se que só para os fins de 1993 se complete a sua dissipação. Como tais aerossóis reflectem energia solar, a intensidade de energia que atinge o solo diminuiu e, portanto, a Terra arrefeceu. Este episódio mostra que a temperatura global à superfície do planeta pode facilmente flutuar alguns décimos de grau devido a fenómenos naturais que podem perdurar alguns anos, pelo que a sua pequena variação durante os dois últimos séculos, intervalo insignificante à escala do tempo geológico, não proporciona evidência segura de aumento de intensidade do efeito de estufa.

Por isso, também as variações de certos componentes do ciclo da água têm sido analisadas no sentido de averiguar se mostram ou não

evidência quantitativa de aquecimento global. Uma análise dos registos de intensidade de precipitação, nos últimos 30-40 anos, em cerca de 1 500 estações meteorológicas situadas no hemisfério norte, mostra um aumento de precipitação a latitudes médias, de acordo com previsões de certos modelos formulados para simular o aquecimento global (e mostra também um decréscimo no Norte de África e no Médio Oriente, o que está de acordo com a observada expansão do deserto no Sahel, a região a norte do Sahara).

Também os caudais globais dos rios têm sido investigados com o mesmo propósito. Os grandes rios mostram um aumento de caudal da ordem de 3% nos últimos 65 anos, o que pode ser devido a um aumento de precipitação, mas também à destruição das florestas, que diminui a retenção de água no solo, ou, ainda, a um uso mais eficaz da água pela vegetação, por realizar a fotossíntese a maiores concentrações de dióxido de carbono na atmosfera. Uma análise por continentes, referente ao mesmo período, mostra variações cíclicas, mais dessincronizadas de continente para continente, pelo que, a nível global da Terra, as variações são amortecidas.

Embora estas análises dos dados hidrologicos não proporcionem evidência quantitativa inequívoca a favor do aquecimento global, há, no entanto, duas observações sobre a água na Terra que constituem sintomas fortes de ocorrência deste fenómeno. Em primeiro lugar, os glaciares em regiões montanhosas têm diminuído de extensão desde o princípio do século XX. Em segundo, durante este mesmo período, registou-se uma subida do nível da água do mar, que, em termos globais, foi da ordem de alguns centímetros, dos quais só uma pequena parte parece poder ser atribuída a outras causas que não um aquecimento.

O clima normal da Terra. Para se avaliar se está a ocorrer presentemente aquecimento global da Terra, é preciso definir uma base a partir da qual se possam aferir as variações. Também este ponto é delicado, porque há fortes dúvidas sobre o que se pode considerar o clima normal da Terra do presente.

A Terra está mais ou menos a meio de um período de interglaciação, o chamado Holoceno, que decorre desde há cerca de 10 mil anos e terminará daqui a outro tanto tempo. Em consequência, a temperatura global do nosso planeta situa-se presentemente a valores relativamente elevados.

No último período de interglaciação, o Eeniiano, que começou há 135 mil e acabou há 115 mil anos, a temperatura média global da Terra foi cerca de 2°C superior à actual, pelo que é plausível que esta possa subir mais devido a causas naturais. Mas, segundo dados recentes obtidos por determinações analíticas sobre bolhas de ar retidas em amostras de gelo colhidas em profundidade na Groenlândia, o clima no Eeniiano era muito mais variável do que o presente, ocorrendo aparentemente saltos entre três estados (um médio, que corresponde ao do Holoceno actual, outro mais quente e um terceiro mais frio). As mudanças entre estes estados ocorriam irregularmente, após algumas décadas ou alguns milénios de estabilidade num dos estados, mas eram bruscas: a temperatura global da Terra podia sofrer uma variação da

ordem de 10°C num período da ordem de uma ou duas décadas. Comparativamente com esta situação, o Holoceno, ou seja, os últimos 10 mil anos da Terra, têm sido um período de clima global ameno, constante, e relativamente seguro, talvez o único em que era possível a evolução da civilização humana tal como é descrita na História, em particular o salto da vida nómada para a civilização agrícola: fixação das populações junto a rios, lagos e zonas costeiras, desenvolvimento da agricultura em áreas estáveis com possibilidade de irrigação, etc. Tudo isto teria sido impossível, ou, pelo menos, mais limitado, com um clima do tipo do Eeniiano.

No próprio Holoceno, porém, ocorreram já pelo menos dois períodos de clima invulgar, registados historicamente, embora envolvendo alterações climáticas muito mais moderadas do que as verificadas no Eeniiano. No século XII, a temperatura da Europa era cerca de 2°C superior à presente (período conhecido como "Medieval Warm Period"), o que provocou um surto de desenvolvimento agrícola. Em Inglaterra, por exemplo, procedeu-se a desflorestações extensas para obter terra arável e cultivava-se vinho, que produzia em abundância, a ponto de os franceses terem tentado banir a sua produção nas Ilhas Britânicas por meio de um tratado (uma manifestação precece do que se passa presentemente com a Política Agrícola Comum da CEE!). Em contraste, de 1550 a 1850, o clima foi anormalmente frio, tendo, por exemplo, os canais holandeses gelado durante a maior parte do Inverno e os glaciares alpinos aumentado de extensão ("Little Ice Age").

Em suma, a variabilidade do clima ao longo do tempo é uma sua característica fundamental, presentemente sob intensa investigação mas ainda insuficientemente caracterizada. Para já é impossível precisar o que se deve considerar o clima normal da Terra do tempo presente e avaliar se o aquecimento global está ou não a ocorrer. O esclarecimento da situação compreende muitos aspectos em que o ciclo da água está envolvido. A seguir referem-se os mais importantes.

A necessidade de um melhor conhecimento do ciclo da água. Entre as áreas científicas chave para o esclarecimento do aquecimento global onde o grau de incerteza do conhecimento humano é ainda muito elevado, contam-se, por exemplo, as seguintes, todas elas envolvendo a substância água:

- (I) Nuvens: formação, dissipação, absorção e emissão de radiação.
- (II) Oceanos: permutas de energia entre o oceano e atmosfera, e entre a superfície e o fundo do mar; movimentação da água nos oceanos (correntes superficiais e de profundidade).
- (III) Calotes polares de gelo: variação e relação com o nível dos oceanos.

O aumento do conhecimento humano nestas áreas passa pela realização de projectos de investigação internacionais, de elevado custo e longa duração.

Por outro lado, para a caracterização completa da variabilidade do clima e, em particular, do ciclo da água, é vital acumular registos de

dados meteorológicos de precisão controlada e cobertura ampla, durante períodos de tempo suficientemente longos. Até há pouco, todos os dados eram recolhidos localmente. Dada a variabilidade dos fenómenos climáticos, a globalização de dados locais tem limitações. Para uma melhor compreensão do clima terrestre e do ciclo da água são necessárias medições globais, como as presentemente em curso e que usam detecção remota a partir de satélites. No que respeita ao ciclo da água, o uso de sensores de microondas, que são absorvidas pelo vapor de água, permite obter informações sobre a quantidade de vapor na atmosfera e a quantidade de precipitação, e possibilitará o estabelecimento de registos de precipitação global ao longo do tempo.

Em resumo, não se pode prever quanto tempo será ainda necessário para se atingir um nível de conhecimento científico que permita antecipar a evolução futura do clima da Terra, mas pode-se garantir que esse conhecimento envolve o estudo mais detalhado do ciclo da água. Este facto, mais do que qualquer outro, mostra a importância fundamental desta substância no nosso planeta: é necessário conhecer melhor o ciclo da água para se saber mais sobre o modo como a Terra funciona!

CONCLUSÕES

A água existe no nosso planeta em quantidade praticamente constante desde o último estágio de consolidação da Terra, há cerca de 3 800 milhões de anos, mas as características da sua distribuição entre a hidrosfera e a criosfera e da sua movimentação global têm flutuado ao longo do tempo em consequência dos ciclos de glaciação/interglaciação.

Presentemente, há suspeitas de que o Homem possa ter posto a habitabilidade da Terra em causa com o desenvolvimento da sociedade industrializada. Por isso, se sempre houve interesse em se obter uma boa descrição do ciclo da água, há presentemente um interesse acrescido em precisar o conhecimento do ciclo à escala global. No entanto, dada a complexidade do ciclo e a existência de muitos factores em jogo, com interações mútuas quase totalmente desconhecidas, as lacunas desse conhecimento são ainda enormes. Uma descrição mais precisa do ciclo da água e a sua interpretação cabal exigirão pesquisa em diversos campos e recolha de dados globais durante períodos extensos. É de prever, portanto, que sejam precisas mais algumas décadas para se poder compreender completamente o funcionamento do sistema complexo que é a Terra e o modo como o mecanismo gigantesco, mas subtil, que é o ciclo da água actua no sistema.

SUGESTÕES PARA LEITURA ADICIONAL

W.H. Schlesinger, "Biogeochemistry: An Analysis of Change", Academic, 1991

J.T. Houghton, G.J. Jenkins e J.J. Ephraums (eds), "Climata Change: The IPCC Scientific Assessment", Cambridge, 1990