

Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados

Centro de Documentação e Informação

Coordenação de Biblioteca

<http://bd.camara.gov.br>

"Dissemina os documentos digitais de interesse da atividade legislativa e da sociedade."

Mitos do aquecimento global



*¹ Luis Carlos Baldicero Molion, PhD em meteorologia pela Universidade de Wisconsin, professor do Instituto de Ciências Atmosféricas da UFAL.

Resumo

O clima da Terra tem variado ao longo das eras, forçado por fenômenos de escalas de tempo decadal até milenar. No final da década de 1970, após um período de 30 anos de resfriamento, surgiu a hipótese de que a temperatura média global da superfície estaria aumentando devido à influência humana. Essa hipótese está fundamentada em três argumentos: a série de temperatura média global do ar na superfície “observada” nos últimos 150 anos, o aumento observado na concentração de gás carbônico e os resultados obtidos com modelos numéricos de simulação de clima. Discutiram-se criticamente esses três aspectos, mostrando suas deficiências, e concluiu-se que a representatividade global da série de temperaturas é questionável e que a possível intensificação do efeito estufa pelas atividades humanas, bem como as limitações dos modelos matemáticos de simulação de clima não justificam a transformação da hipótese do aquecimento global antropogênico em fato científico consumado. Apresentaram-se argumentos que sugerem que um resfriamento global, paulatino, nos próximos 15 a 20 anos seria igualmente provável, em face do conhecimento atual que se tem do clima global e de sua variabilidade. Para os climas brasileiros, o resfriamento produz impactos socioeconômicos negativos, pois reduz as chuvas de maneira geral e submete o Sul e Sudeste a uma frequência maior de geadas no inverno.

Introdução

A fonte primária de energia para o planeta Terra é o Sol. Ele emite radiação eletromagnética (energia) principalmente nos comprimentos de onda entre $0,1\mu\text{m}$ e $4,0\mu\text{m}$ ($1\text{ micrometro} = 1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{ metros}$), que caracterizam a chamada radiação de ondas curtas (ROC). O albedo planetário – percentual de ROC refletido de volta para o espaço exterior, atualmente cerca de 30% – é resultante da variação da cobertura e do tipo de nuvens, da concentração de aerossóis e partículas em suspensão no ar, e das características da cobertura de superfície, tais como gelo/neve (90% de reflexão), florestas (12%) e oceanos/lagos (10%). Portanto, o albedo planetário controla o fluxo de ROC que entra no sistema terra-atmosfera-oceanos: menor albedo, maior entrada de ROC, aquecimento do sistema terra-atmosfera, e vice-versa. O fluxo de ROC que entra no planeta passa através da atmosfera terrestre e boa parte dele é absorvida pela superfície que se aquece. Porém, para as temperaturas dos corpos encontrados tanto na superfície como na atmosfera terrestre, os comprimentos de onda emitida estão entre $4,0\mu\text{m}$ e $50\mu\text{m}$, numa faixa espectral denominada radiação de ondas longas (ROL). A ROL emitida pela superfície é absorvida por gases, pequenos constituintes, como o vapor d’água (H_2O), o gás carbônico (CO_2), o metano (CH_4), o ozônio (O_3), o óxido nítrico (N_2O) e compostos de clorofluorcarbono (CFC), vulgarmente conhecidos por freons. Esses, por sua vez, emitem ROL em todas as direções, inclusive em direção à superfície e ao espaço exterior. A absorção/emissão desses gases pelas várias camadas atmosféricas reduz a perda de ROL emitida pela superfície e que escaparia para o espaço exterior, e constitui o chamado efeito estufa.

A polêmica que essa série de anomalias tem causado reside no fato de o segundo aquecimento, a partir de 1977, não ter sido verificado, aparentemente, em todas as partes do globo.

O vapor d'água é o gás principal de efeito-estufa (GEE) e sua concentração é extremamente variável no espaço e tempo. Por exemplo, sobre a Floresta Amazônica existe 5 vezes mais vapor d'água que sobre o Deserto do Saara, e sobre a Amazônia, ainda, sua concentração varia de 30% entre a estação seca e a chuvosa. Em regiões polares, e em regiões tropicais a uma altura acima de 4 km, existe muito pouco vapor d'água e o efeito estufa é fraco.

O gás carbônico (CO_2) é o segundo GEE em importância, com concentrações até 100 vezes inferiores à do vapor d'água. É o gás que tem causado grande polêmica, pois sua concentração, embora baixa, aumentou de 315 ppmv (1ppmv = 1 parte por milhão por volume, ou seja, 1 mililitro de gás por metro cúbico de ar) em 1958 para 379 ppmv em 2005, crescendo à taxa média de 0,4% ao ano. Esse crescimento foi atribuído às atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis e de florestas tropicais. O metano (CH_4), com concentrações muito pequenas, na ordem de 1,7 ppmv, também vinha mostrando um significativo aumento de 1,0% ao ano, atribuído às atividades agropecuárias. Mas, a partir de 1998, a taxa de crescimento anual de sua concentração passou a diminuir inexplicavelmente, embora as fontes antrópicas continuem aumentando. Os gases restantes apresentam concentrações ainda menores que as citadas, porém parecem estar aumentando também. O efeito estufa faz com que a temperatura média global do ar próximo à superfície da Terra seja de cerca de 15 °C. Caso ele não existisse, a temperatura da superfície seria de 18 °C abaixo de zero, ou seja, o efeito estufa é responsável por um aumento de 33 °C na temperatura da superfície do planeta! Logo, ele é benéfico para o planeta, pois gera condições que permitem a existência da vida como se a conhece.

Em resumo, a estabilidade do clima da Terra resulta do balanço entre o fluxo de ROC absorvido pelo planeta e o fluxo de ROL emitido para o espaço (ROC = ROL). O aquecimento do clima global ocorreria, por exemplo, ou pela redução de albedo planetário, que aumentaria a ROC absorvida, ou pela intensificação do efeito estufa, que reduziria a perda de ROL para o espaço exterior. A hipótese do efeito estufa intensificado é fisicamente simples: mantidos a produção de energia solar e o albedo planetário constantes, quanto maiores forem as concentrações dos gases de efeito estufa, menor será a fração de radiação de ondas longas, emitida pela superfície, que escapará para o espaço e, conseqüentemente, mais alta a temperatura do planeta.

O aparente aumento de 35% na concentração de gás carbônico nos últimos 150 anos, inserido em modelos de simulação de clima (MCG), resultaria em incrementos na temperatura média do globo entre 0,5 e 2,0 °C. Entretanto, de acordo com o Sumário para Formuladores de Políticas, extraído do Relatório da Quarta Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (SPM/AR4/ IPCC, 2007), o aumento "observado" está em torno de 0,7 °C. Ou seja, o aumento "observado" está situado no limite inferior dos resultados produzidos pelos atuais modelos climáticos utilizados para testar a hipótese da intensificação do efeito estufa. Porém, se a concentração de gás carbônico dobrar nos próximos cem anos, de acordo com os MCG, poderá haver um aumento da temperatura média global entre 2 e 4,5 °C, não inferior a 1,5 °C, conforme afirmado no Sumário do IPCC. Os efeitos desse

aumento de temperatura seriam catastróficos! Segundo a mesma fonte, uma das consequências seria a expansão volumétrica da água dos oceanos, que, associada ao degelo parcial das geleiras e calotas polares, notadamente o Ártico, aumentaria os níveis dos mares entre vinte e sessenta centímetros. Esse fato, entre outros impactos sociais, forçaria a relocação dos 60% da Humanidade que vivem em regiões costeiras.

Na seqüência, são discutidos o estado atual do conhecimento sobre o assunto e algumas das limitações dos modelos de simulação do clima.

Registros instrumentais de temperatura

A Figura 1 mostra que desvios de temperatura do ar para o globo, com relação à média do período 1961-1990, aumentaram cerca de 0,6 °C desde o ano de 1850. Vê-se que, até aproximadamente 1920 em princípio, houve apenas variabilidade anual, e aparentemente não ocorreu aumento expressivo de temperatura num período extenso, embora haja relatos de ondas de calor como, por exemplo, a de 1896 nos Estados Unidos, que deixou mais de 3 mil mortos somente em Nova York. Porém, entre 1920 e 1946, o aumento global foi de cerca de 0,4 °C. No Ártico, por exemplo, em que há medições desde os anos 1880, o aumento foi cerca de dez vezes maior nesse período, 2,7 °C somente entre 1918 e 1938 (Figura 2)! Entre 1947 e 1976, houve um resfriamento de cerca de 0,2 °C, não explicado pelo IPCC, e, a partir de 1977, a temperatura média global aumentou cerca de 0,3 °C (Figura 1). O próprio Painel concorda que o primeiro período de aquecimento, entre 1920 e 1946, pode ter tido causas naturais, possivelmente o aumento da produção de energia solar e a redução de albedo planetário, discutidos mais abaixo. Antes do término da Segunda Guerra Mundial, as emissões decorrentes das ações antrópicas eram cerca de 10% das atuais; portanto, torna-se difícil argumentar que os aumentos de temperatura naquela época tenham sido causados pela intensificação do efeito estufa provocada pelo homem.

A polêmica que essa série de anomalias tem causado reside no fato de o segundo aquecimento, a partir de 1977, não ter sido verificado, aparentemente, em todas as partes do globo. A série de temperaturas médias para os Estados Unidos (Figura 3), por exemplo, não mostrou esse segundo aquecimento, sendo a década de 1930 mais quente que a de

Finalmente, um aspecto muito importante é que as séries de 150 anos são curtas para captar a variabilidade de prazo mais longo do clima. A segunda metade do século XIX foi o final da “Pequena Era Glacial”, um período frio, bem documentado, que perdurou por alguns séculos.

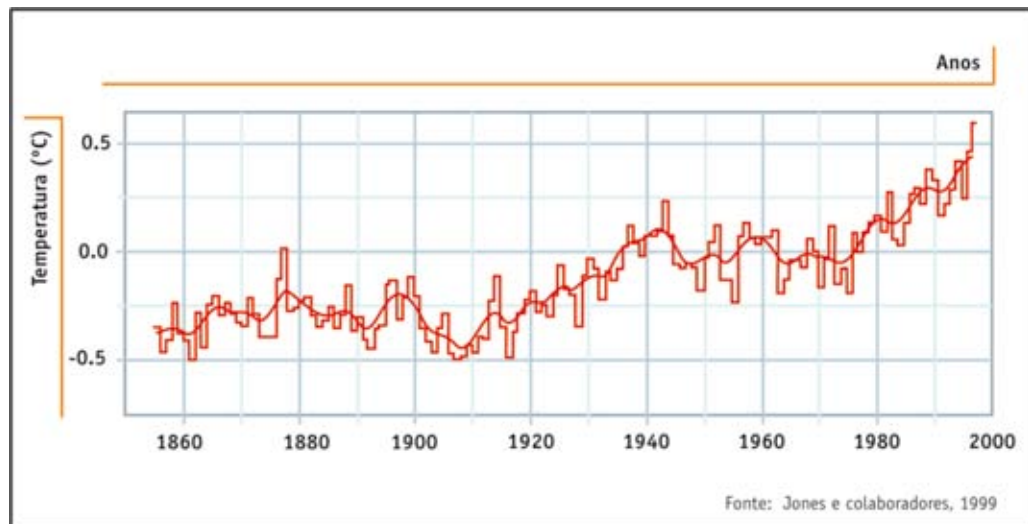
1990. Em adição, a média da temperatura global obtida com dados dos instrumentos MSU (Microwave Scanning Unit) a bordo de satélites a partir de 1979 mostrou uma grande variabilidade anual, com um pequeno aquecimento global de 0,076 °C por década, segundo John Christy e Roy Spencer, da Universidade do Alabama, enquanto os registros instrumentais de superfície mostraram um aquecimento de 0,16 °C por década, ou seja, duas vezes maior no mesmo período. Para o hemisfério sul, satélites mostraram um aquecimento menor, de 0,052 °C por década.

Em princípio, satélites são mais apropriados para medir a temperatura global, pois fazem médias sobre grandes áreas, incluindo oceanos, enquanto as estações climatométricas de superfície registram variações de seu micro-ambiente, representando as condições atmosféricas num raio de cerca de

150 metros. As estações climatométricas apresentam outro grande problema além da não-padroneização e mudança de instrumentação ao longo dos 150 anos passados. As séries mais longas disponíveis são de estações localizadas em cidades do “Velho Mundo” que se desenvolveram muito, particularmente depois da Segunda Guerra Mundial.

Em média, a energia disponível do Sol (calor) é utilizada para evapotranspiração (evaporação dos solos e superfícies de água + transpiração das plantas) e para o aquecimento do ar. Sobre superfícies vegetadas, a maior parte do calor é usada para a evapotranspiração, que resfria a superfície, e o restante para aquecer o ar. Com a mudança da cobertura superficial, de campos com vegetação para asfalto e concreto, a evapotranspiração é reduzida e sobra mais calor para aquecer o ar próximo da superfície, aumentando sua temperatura. Esse é o chamado *efeito de ilha de calor*, que faz as temperaturas do ar serem 3° C a 5° C maiores nos grandes centros urbanos quando comparadas às de suas redondezas. Os autores da Figura 1 procuraram fazer “ajustes” com relação ao efeito da urbanização nas séries de temperaturas, porém utilizaram fatores ou algoritmos de correção que não necessariamente sejam apropriados ou representem a realidade, já que esse procedimento é subjetivo e, portanto, questionável. Em outras palavras, é impossível retirar o *efeito de ilha de calor* das séries de temperaturas urbanas. Uma das possibilidades, pois, é que o aquecimento a partir de 1977, que aparece nitidamente na Figura 1, seja, em parte, resultante da urbanização em torno das estações climatométricas, ou seja, um aquecimento local e não global.

Figura 1. Desvios da temperatura média global com relação à média do período 1961-1990

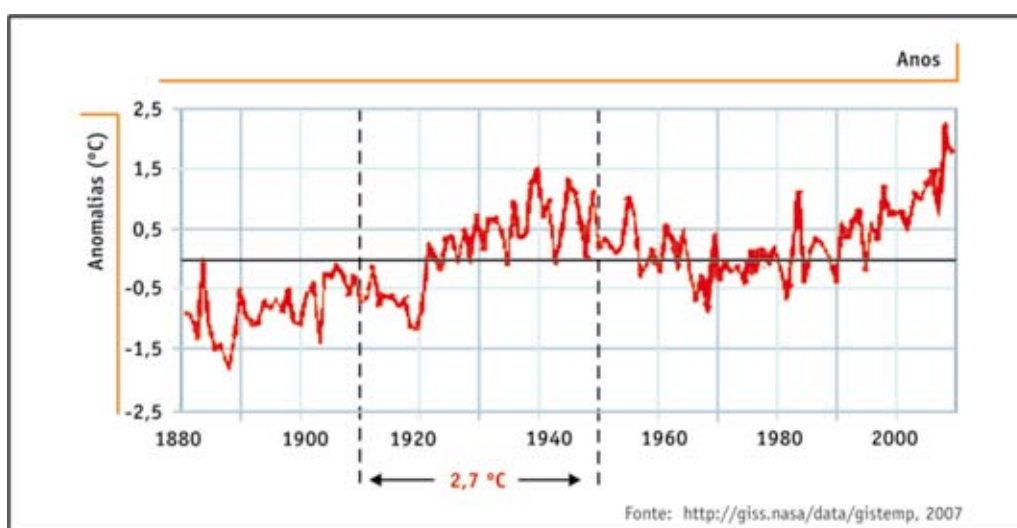


Finalmente, um aspecto muito importante é que as séries de 150 anos são curtas para captar a variabilidade de prazo mais longo do clima. A segunda metade do século XIX foi o final da “Pequena Era Glacial”, um período frio, bem documentado, que perdurou por alguns séculos. E esse período coincide com a época em que os termômetros começaram a ser instalados mundialmente. Portanto, o início das séries de 150 anos, utilizadas por

vários pesquisadores que contribuíram para o Relatório do IPCC, ocorreu num período relativamente mais frio que o atual e leva, aparentemente, à conclusão errônea de que as temperaturas atuais sejam muito altas ou “anormais” para o planeta.

Conclui-se que existem problemas de representatividade, tanto espacial como temporal, das séries de temperaturas observadas na superfície da Terra, o que torna extremamente difícil seu tratamento e globalização. E que estações climatométricas de superfície, portanto, são inadequadas para determinar a temperatura média global da atmosfera terrestre, se é que se pode falar, cientificamente, numa “temperatura média global”.

Figura 2. Anomalias de temperatura do ar no Ártico entre 1880 e 2004



Variabilidade da concentração de CO₂

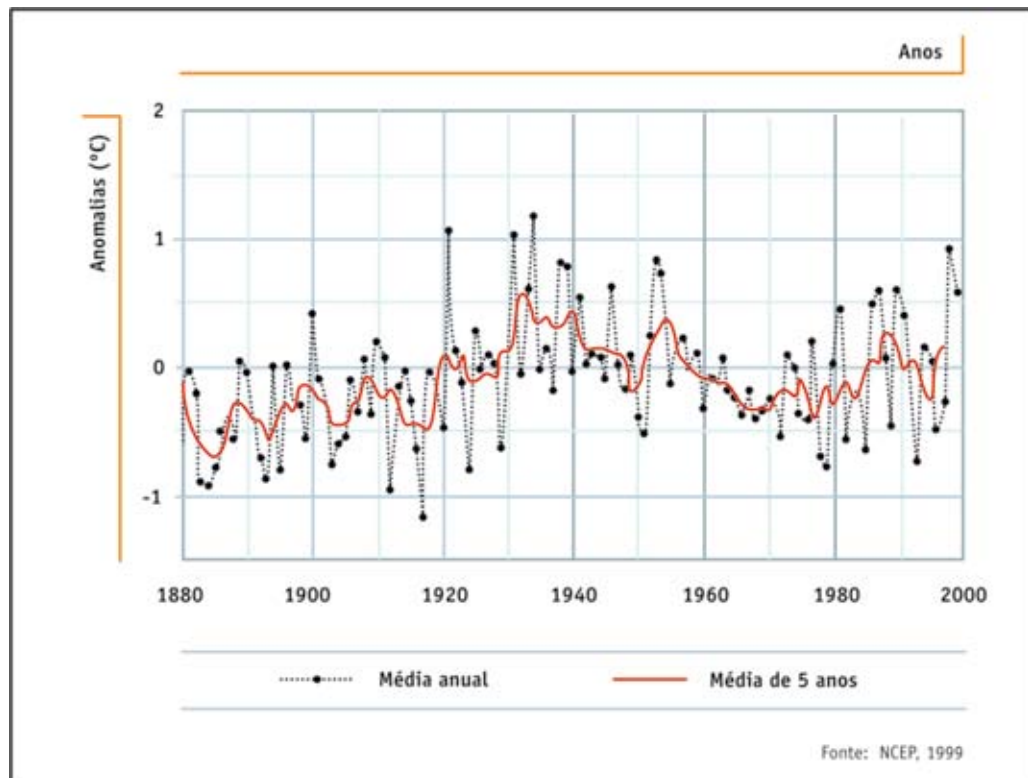
No Sumário para Formuladores de Políticas do IPCC, afirma-se que o gás carbônico é o principal gás antropogênico e que sua concentração de 379 ppmv em 2005 foi a maior ocorrida nos últimos 650 mil anos, período em que ficou limitada entre 180 e 300 ppmv. O aumento de sua concentração nos últimos 150 anos foi atribuído às emissões por queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra. Monte e Harrison Hieb, porém, não concordam com tal afirmação. Para eles, mais de 97% das emissões de gás carbônico são naturais, provenientes dos oceanos, vegetação e solos, cabendo ao Homem menos de 3%, total que seria responsável por uma minúscula fração do efeito estufa atual, algo em torno de 0,12%.

Em seu Relatório, o IPCC utilizou as concentrações medidas em Mauna Loa, Havaí, cuja série foi iniciada por Charles Keeling no Ano Geofísico Internacional (1957-58). Essa série foi estendida para os últimos 420 mil anos, utilizando-se as estimativas de concentração de CO₂ obtidas das análises da composição química das bolhas de ar aprisionadas nos cilindros de gelo (“ice cores”) que foram retirados da capa de gelo na Estação de Vostok,

Antártica, por perfuração profunda (superior a 3.600 m). Jean Robert Petit e equipe publicaram os resultados de Vostok em 1999.

Ao usar a série de Mauna Loa, o IPCC deixa a impressão de que os cientistas não teriam se preocupado em medir a concentração de CO_2 antes de 1957. Entretanto, em fevereiro de 2007, o biólogo alemão Ernst Beck catalogou um conjunto de mais de 90 mil medições diretas de CO_2 de 43 estações do Hemisfério Norte, obtidas entre 1812 e 2004 por vários pesquisadores renomados, três dos quais ganhadores do Prêmio Nobel. Na Figura 4, adaptada de seu trabalho, é aparente que a concentração de CO_2 ultrapassou o valor de 379 ppmv várias vezes no século passado, particularmente no período 1940-1942, antes do início das medições em Mauna Loa. Isso contraria a afirmação contida no Sumário do IPCC, de que a concentração de 379 ppmv, registrada em 2005, tenha sido a maior dos últimos 650 mil anos. Nessa Figura, a linha contínua inferior representa a série das concentrações de CO_2 dos cilindros de gelo da Estação de Siple, também na Antártica. Note-se que os valores permaneceram quase que constantes, abaixo de 300 ppmv.

Figura 3. Anomalias de temperaturas médias para os Estados Unidos



Segundo o glaciologista Zbigniew Jaworowski, nunca foi demonstrado que a metodologia dos cilindros de gelo tenha produzido resultados confiáveis e que ela sempre tendeu a produzir concentrações 30% a 50% abaixo das reais por vários motivos. Um deles é que a hipótese de que a composição química e isotópica original do ar na bolha permaneça inalterada por milhares de anos não é verdadeira, pois ocorrem tanto reações químicas como

Nesse aspecto, embora a técnica de análise das bolhas de ar nos cilindros de gelo tenha sido uma idéia brilhante, ela não produz resultados confiáveis e, portanto, parece ser um método experimental incorreto cientificamente.

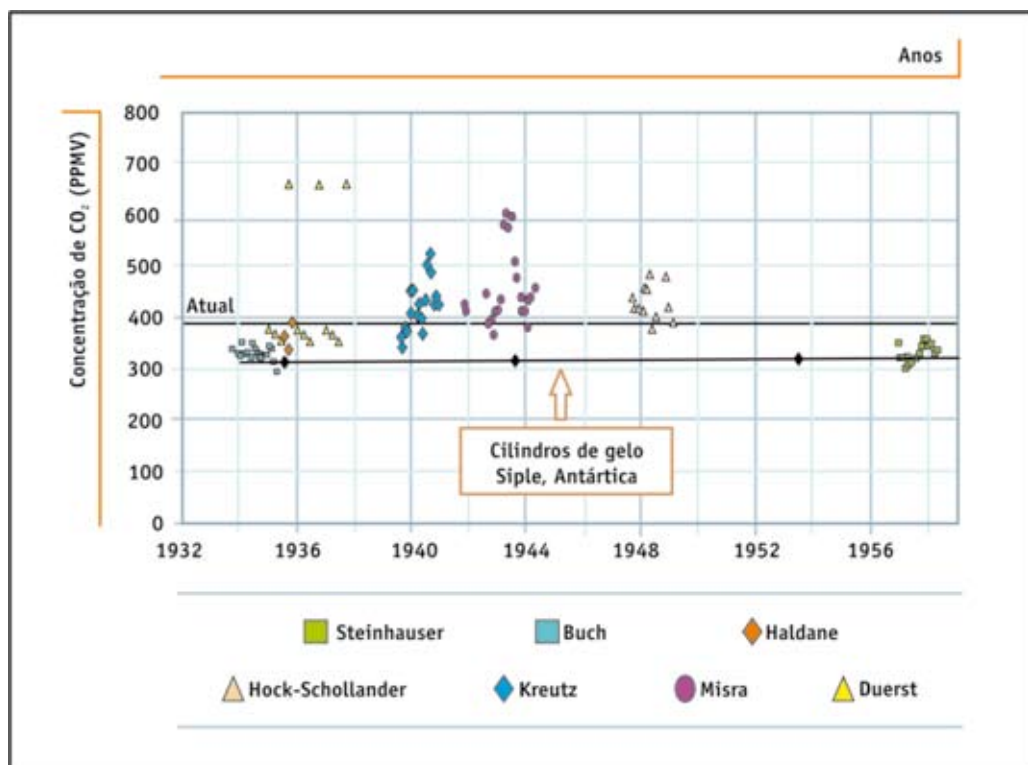
difusão de ar nas bolhas por estarem submetidas a pressões que chegam a ser, nas camadas profundas, mais de 300 vezes superiores às da atmosfera. Some-se a isso o fato de o ar da bolha ser cerca de 1000 anos mais novo que o gelo que o aprisionou, conforme citaram Nicolas Caillon e colegas em 2003. Isso porque o aprisionamento da bolha de ar pelo gelo não é instantâneo, já que o processo de precipitação/derretimento da neve passa por vários ciclos e é necessário um acúmulo de 80 metros de altura para a neve, em sua base, sofrer uma pressão que a faça se transformar em “neve granulada” (em inglês, “firn”), que aprisiona a bolha de ar finalmente. Concentrações obtidas com os cilindros de gelo, portanto, não podem ser comparadas com as medidas atualmente feitas por instrumentos, já que, na melhor das hipóteses, as bolhas de ar nos cilindros de gelo teriam uma representação temporal de 1000 anos.

A Figura 3 do artigo de Jean Robert Petit e colegas, publicado em 1999, mostra a evolução temporal da temperatura e da concentração de CO₂ obtidas com os cilindros de gelo de Vostok, que foi extensivamente explorada no documentário “Uma Verdade Inconveniente”, protagonizado por Al Gore. Uma análise cuidadosa dessa figura mostra claramente que os quatros últimos períodos interglaciais apresentaram temperaturas superiores às do atualmente vivido, enquanto as respectivas concentrações de CO₂ não ultrapassaram 300 ppmv. Dessa análise, conclui-se que ou existiram outras causas físicas, que não a intensificação do efeito estufa pelo CO₂, que tenham sido responsáveis pelo aumento de temperatura verificado nesses interglaciais passados ou as concentrações de CO₂ das bolhas aprisionadas no gelo tendem, sistematicamente, a ser subestimadas e, de fato, não representam a realidade da época em que foram aprisionadas. Nesse aspecto, embora a técnica de análise das bolhas de ar nos cilindros de gelo tenha sido uma idéia brilhante, ela não produz resultados confiáveis e, portanto, parece ser um método experimental incorreto cientificamente. Em adição, há evidências de que a temperatura do ar tenha aumentado antes do aumento da concentração de CO₂, como sugeriram Nicolas Caillon e colegas na publicação datada de 2003. Esse fato também é observado na Figura 4, onde se notam concentrações mais elevadas com o aumento da temperatura média global verificado entre 1925-1946, seguidas de concentrações menores obtidas no início dos registros de Mauna Loa (1957/58), quando o clima global já estava passando por um resfriamento entre 1947-1976 (Figura 1). Ou seja, há evidências de que o aumento (redução) de temperatura do ar cause o aumento (redução) das concentrações de CO₂ e não o contrário, como afirmado no Sumário para Formuladores de Políticas do IPCC.

Não há comprovação de que o CO₂ armazenado na atmosfera seja originário de emissões antropogênicas. Afirma-se que o CO₂ atmosférico tem aumentado a uma taxa anual de 0,4%, correspondendo a um incremento de 3 bilhões de toneladas de carbono por ano (GtC/ano) armazenadas na atmosfera. De acordo com o Sumário do IPCC, somente as emissões por queima de combustíveis fósseis totalizariam 7 GtC/ano. Estima-se que os oceanos, por sua vez, absorvam 2 GtC anuais. Portanto, o balanço não fecha, e ainda faltaria encontrar o sumidouro das 2 GtC/ano restantes, fluxo esse que foi denominado

na literatura “o carbono desaparecido”. A vegetação – florestas nativas, como a Amazônia, e plantadas – possivelmente seria a seqüestradora desse carbono. Por outro lado, sabe-se que a solubilidade do CO_2 nos oceanos varia inversamente a sua temperatura. Ou seja, oceanos aquecidos absorvem menos CO_2 que oceanos frios. Como a temperatura dos oceanos aumentou ao longo do século XX, a concentração de CO_2 atmosférico já poderia ser até superior à medida atualmente, considerando-se apenas as emissões antrópicas. Portanto, é possível que o fluxo de CO_2 absorvido pelos oceanos esteja sendo altamente subestimado. A literatura cita que o fluxo para dentro dos oceanos foi estimado em 92 GtC/ano. Um erro de 10% nessa estimativa corresponderia a uma fração três vezes maior que a que fica armazenada na atmosfera anualmente.

Figura 4. Medições químicas de CO_2 atmosférico feitas por vários pesquisadores na primeira metade do século XX, antes do início das medições em Mauna Loa, Havaí, em 1957/58



Outro argumento que se utiliza para comprovar que o aumento da concentração de CO_2 é antropogênico é a redução da razão $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$. O carbono 14 é radiativo e apresenta uma meia-vida de 5.730 anos. Não há mais ^{14}C nos combustíveis fósseis, uma vez que esses foram produzidos há milhões de anos. Assim, sua queima liberaria mais ^{12}C e, por esse motivo, a razão teria decrescido em 2% nos últimos 150 anos. Ocorre que o ^{14}C é formado pela incidência de raios cósmicos galáticos (RCG) – partículas de alta energia provenientes do espaço sideral, cuja contagem é mais elevada durante períodos de baixa atividade solar –

na atmosfera. Portanto, quando o Sol está mais ativo, como na primeira metade do século XX, a entrada de raios cósmicos é reduzida, formando menos ^{14}C . Essa deve ter sido a causa da redução de 2% da razão $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$, se for admitido que ela pode ser medida com tal precisão atualmente. Em outras palavras, os argumentos acima não comprovam que o aumento da concentração de CO_2 atmosférico seja causado pelas atividades humanas, como queima de combustíveis fósseis, agropecuária e construção de grandes lagos de hidrelétricas.

Limitações dos modelos de simulação de clima

Todos os modelos concordam que os incrementos de temperatura serão maiores nas regiões polares do que nas regiões equatoriais. Para o Ártico, os modelos previram incrementos superiores a $10\text{ }^\circ\text{C}$ (por exemplo, GISS/NASA, 2007). Na Figura 2, porém, está evidente que a média das anomalias de temperatura do ar observadas para o setor Atlântico do Ártico a partir de 1880 apresentou um incremento superior a $3\text{ }^\circ\text{C}$ entre 1886 e 1938, quando a humanidade consumia pouco combustível fóssil, seguido de um decréscimo superior a $2\text{ }^\circ\text{C}$ até o final da década de 1960. Ou seja, exatamente na região onde os modelos prevêem os maiores incrementos de temperatura, foi observado o oposto durante o período pós-guerra, quando o crescimento industrial e, conseqüentemente, o consumo global de combustíveis fósseis se acelerou! Não há dúvida de que o desenvolvimento de modelos seja crítico para se adquirir habilidade futura de entender melhor ou mesmo prever o clima, mas há que se admitir que os modelos atuais são representação ainda simples, grosseira, da complexa interação entre os processos físicos diretos (“forcings”) e de realimentação (“feedbacks”) que controlam o clima do globo. Modelos carecem de validação de seus resultados!

Que existem sérios problemas com as simulações dos MCGs não é segredo para a comunidade meteorológica. Os MCGs comumente têm dificuldade em reproduzir as características principais do clima atual, tais como a temperatura média global, a diferença de temperatura entre equador e pólo, a intensidade e posicionamento das altas subtropicais e das correntes de jato, se não for feito o que, eufemisticamente, é chamado de “sintonia” ou “ajustes”. Nuvens, seus tipos, formas, constituição e distribuição, tanto em altura como no plano horizontal, e aerossóis são processos físicos mal simulados nos modelos. Na Figura 2 do Sumário do IPCC vê-se que a incerteza que o efeito das nuvens tem no clima (forçamento radiativo de $-1,8\text{ Wm}^{-2}$), considerado de nível de entendimento baixo pelo Órgão, é igual, porém de sinal contrário ao do CO_2 ($+1,66\text{ Wm}^{-2}$), dito de nível de entendimento alto. Em linguagem mais simples, segundo o próprio IPCC, o aumento da cobertura de nuvens baixas, por refletirem mais radiação solar de volta para o espaço exterior, pode cancelar o aumento do efeito estufa pelo CO_2 .

A temperatura global tende a aumentar principalmente com a presença de nuvens estratiformes (forma de “camadas horizontais”) na alta troposfera.

Nos modelos de previsão de tempo e de clima, a informação (dados e resultados) está representada em pontos, ou nós, de uma grade tridimensional colocada sobre a superfície do globo e que é resultante do cruzamento de linhas de latitude x longitude x altura. A distância entre os pontos da grade determina a resolução espacial dos processos físicos que podem ser resolvidos pelo modelo. A resolução espacial dos modelos globais era de 250km

a 400km até recentemente, e todos os processos físicos que se desenvolvem em escalas espaciais muito inferiores a essas precisam ser resolvidos de uma forma particular, precisam ser “parametrizados”, inclusive os processos de formação, desenvolvimento e cobertura de nuvens, que são fundamentais para o balanço radiativo do planeta. A parametrização é, em geral, feita com algoritmos físico-estatísticos que dependem da intuição física do modelador e, portanto, podem não representar a realidade física e ser questionáveis.

A temperatura global tende a aumentar principalmente com a presença de nuvens estratiformes (forma de “camadas horizontais”) na alta troposfera. Essas nuvens altas (do tipo “cirro”) são mais tênues, constituídas, em parte, por cristais de gelo, e tendem a aquecer o planeta, pois permitem a passagem de ROC mas absorvem fortemente a ROL que escaparia para o espaço exterior, ou seja, nuvens cirro intensificam o efeito estufa. Por outro lado, nuvens baixas (do tipo “estrato”), mais espessas, tendem a esfriá-lo, pois aumentam o albedo planetário. Se um modelo tem a tendência particular de produzir mais nuvens cirro, o aquecimento é amplificado (“feedback” positivo) para um dado forçamento radiativo. Por exemplo, o modelo do Serviço Meteorológico Inglês inicialmente previu um aumento superior a 5 °C para o dobro de CO₂. Porém, John Mitchell e colaboradores relataram em 1989 que, apenas mudando as propriedades ópticas das nuvens estratiformes, reduziram o aquecimento para menos de 2 °C, ou seja, uma redução de 60%!

O transporte de calor sensível pelas correntes oceânicas para regiões fora dos trópicos também é outro processo físico parametrizado e mal resolvido nos modelos. O calor transportado para o Ártico, por exemplo, aumenta as temperaturas da superfície do Mar da Noruega e, como o efeito estufa é fraco nessas regiões devido à baixa concentração de vapor d’água, a emissão de ROL para o espaço aumenta, e o sistema terra-atmosfera-oceano, como um todo, perde mais energia para o espaço exterior. Em 2006, utilizando dados de Reanálises (NCEP), Molion mostrou que, atualmente, a Escandinávia está perdendo 20 Wm⁻² a mais, em média, do que perdia há 50 anos.

Outro problema sério de modelagem é a simulação do ciclo hidrológico e seu papel como termostato do sistema terra-atmosfera.

Na natureza, a superfície e o ar adjacente tendem a ser resfriados por evaporação, pois esse é um processo físico que consome grandes quantidades de calor. Se não existisse convecção (formação de nuvens profundas, do tipo “cumulonimbo”) e o resfriamento dependesse apenas da perda de ROL, o efeito estufa, sensivelmente intenso nos níveis próximos à superfície, faria com que a temperatura de superfície alcançasse valores superiores a 70 °C! As nuvens cumulonimbos (convecção profunda que os modelos não simulam adequadamente) bombeiam calor latente para fora da camada limite planetária (camada mais próxima da superfície terrestre com cerca de 1000m de espessura) como se fossem verdadeiras chaminés, e o liberam nos níveis médios e altos da troposfera em que



Variações da circulação atmosférica, associadas às variações da temperatura de superfície do mar (TSM) como, por exemplo, alterações na frequência de ocorrência de eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS), são outras causas de mudanças significativas na temperatura global.

o efeito estufa é fraco e, de lá, esse calor é irradiado para o espaço exterior. Dessa forma, a convecção profunda “curto-circuita” o efeito estufa, não permitindo que a temperatura da superfície do planeta atinja valores elevados.

A discussão acima não esgota, de maneira alguma, os problemas de modelagem dos processos físicos e as possíveis fontes de erros dos MCGs atuais. Porém, são suficientes para demonstrar que as “previsões” feitas por eles para os próximos 100 anos podem estar superestimadas e que, portanto, a hipótese do aquecimento pelo efeito estufa intensificado, aceita pela maioria, segundo se afirma, pode não ter fundamento sólido, já que os resultados de modelos são um de seus três argumentos básicos utilizados em defesa da hipótese do aquecimento global antropogênico.

Variabilidade natural do clima

Além do efeito estufa, outros processos físicos internos ao sistema terra-atmosfera-oceano, de não menor importância, controlam o clima. Variações da circulação atmosférica associadas às variações da temperatura de superfície do mar (TSM) como, por exemplo, alterações na frequência de ocorrência de eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS), são outras causas de mudanças significativas na temperatura global. É notória a grande variabilidade causada pelos eventos El Niño (1982, 1987 e 1998) observada na série de temperaturas médias da troposfera global, produzida pelos sensores MSU a bordo de satélite. O evento El Niño de 1997/98, considerado o evento mais intenso do século passado, produziu anomalias de temperatura do ar de cerca de 0,8 °C, enquanto o La Niña de 1984/85, um resfriamento de - 0,5 °C, segundo John Christy e Roy Spencer. Entre um El Niño e um La Niña, portanto, pode haver variações da temperatura média global superiores a 1 °C. Molion, em um artigo publicado em 2005, mostrou que a frequência de El Niños intensos foi maior entre 1977-1998, o que pode ter contribuído para o aquecimento atual, já que El Niños aquecem a baixa troposfera. Conhece-se bem a influência dos oceanos na variabilidade climática de curto prazo (ENOS). Mas a variabilidade oceânica de prazo mais longo e seus efeitos sobre o clima ainda não são bem conhecidos. Sabe-se que existem mudanças de prazo mais longo nas circulações oceânicas de escala global, da ordem de décadas, como a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), e milênios, como a Circulação Oceânica Profunda, e que essas influenciam fortemente o transporte e a distribuição horizontal de calor sensível nos oceanos e, conseqüentemente, as temperaturas do ar devido às variações nas trocas de calor entre a superfície do oceano e a atmosfera. Porém, tais efeitos ainda não foram quantificados com precisão. Convém ressaltar que os oceanos cobrem 71% da superfície terrestre e que o Pacífico, sozinho, ocupa 35% dessa superfície. Como a atmosfera é aquecida por debaixo, os oceanos constituem a condição de contorno inferior mais importante para a atmosfera e para o clima global.

Portanto, variações nas configurações das TSM, devido às variações de transporte de calor em direção aos pólos, devem produzir mudanças climáticas sensíveis. Há uma surpreendente coincidência entre as fases ODP e a temperatura média global. O resfriamento

do clima global durante o período de 1947-1976 (Figura 1), não explicado pelo IPCC, coincide com a fase fria da ODP, fase em que o Pacífico Tropical apresentou anomalias negativas de TSM. O aquecimento entre 1977-1998, além do efeito da urbanização, pode estar relacionado com a fase quente da ODP – período em que o Pacífico tropical apresentou temperaturas acima da média – durante a qual ocorreu uma frequência alta de eventos ENOS intensos que, como foi dito, também contribuem para aquecer a baixa troposfera. Em adição, foi observado por Sirpa Häkkinen e Peter Rhines, da NASA, que a Corrente do Golfo do México – corrente marinha que transporta calor para o Atlântico Norte, região da Inglaterra, Escandinávia, Groenlândia e Ártico – voltou a ficar mais ativa na metade da década de 1990. Com maior transporte de calor sensível, as TSM aumentam e os ventos de oeste retiram mais calor do Atlântico Norte e o transportam para a Europa Ocidental – onde está a maior fração dos termômetros utilizados para elaborar a Figura 1 – que, por conseguinte, apresenta uma mudança climática, um aquecimento local e não global!

Entre os principais controladores externos, estão a variação da produção de energia do Sol, as mudanças dos parâmetros orbitais da Terra e a tectônica de placas. O Sol é a principal fonte de energia para os processos físicos que ocorrem na atmosfera. Porém, sua produção de energia denominada “constante solar”, em média 1.368 Wm^{-2} , não é propriamente constante. Observações recentes, feitas por satélites em apenas dois ciclos de manchas solares de 11 anos, sugerem que sua produção possa variar de 0,2% pelo menos, ou seja, $2,7 \text{ Wm}^{-2}$ dentro de um ciclo. Durante o Ciclo de Gleissberg atual – ciclo solar com um período aproximado de 90 anos – essa variação deve ter sido ainda maior, pois o número máximo de manchas solares nos ciclos de 11 anos variou de cerca de 50 manchas, em 1913, para mais de 200 manchas, em 1957. Na Figura 1 de Mike Lockwood e Claus Fröhlich, publicada em 2007, vê-se que a variação da constante solar pode chegar a 4 Wm^{-2} entre um máximo e um mínimo solar. Considerando o albedo planetário de 30%, 70% dessas variações ($1,9$ a $2,8 \text{ Wm}^{-2}$) chegariam à superfície, o que é superior ao efeito de aquecimento climático (forçamento radiativo, na linguagem do IPCC) de todos os gases antropogênicos liberados pelo homem nos últimos 150 anos. A falta de conhecimento atual, porém, não permite uma conclusão definitiva de que haja influência da variação da produção de energia do Sol no clima, embora o IPCC afirme que ela não seja significativa.

Um controlador interno, mas que pode sofrer influências externas, é o já citado albedo planetário, cujas variações controlam o fluxo de energia solar (ROC) que entra no sistema terra-atmosfera-oceanos. Erupções vulcânicas explosivas lançam grandes quantidades de aerossóis na estratosfera, aumentam o albedo planetário e podem causar resfriamento significativo durante décadas. O efeito de uma erupção é sentido rapidamente em curto prazo. Pat Minnis e colaboradores da NASA, usando dados do experimento orbital Balanço Radiativo da Terra (ERBE), mostraram, em 1993, que a erupção do Pinatubo, Filipinas, reduziu de 10 a 15 Wm^{-2} a radiação disponível entre as latitudes 40° N - 40° S durante vários meses. As erupções recentes do El Chichón (1982) e do Monte Pinatubo (1991) causaram resfriamentos durante 3 anos, com temperaturas de até

É muito provável, portanto, que o aquecimento observado entre 1925 e 1946, que corresponde a cerca de 70% do aquecimento verificado nos últimos 150 anos, tenha resultado do aumento da atividade solar, que atingiu seu máximo em 1957/58, e da redução da atividade vulcânica.

0,5 °C abaixo da média, conforme John Christy e Roy Spencer. Os efeitos de erupções vulcânicas no clima, porém, podem ser de prazo mais longo se elas forem mais frequentes. Como entre 1815 e 1912, de maneira geral, a frequência de erupções vulcânicas foi grande, a concentração de aerossóis e o albedo planetário estiveram altos, e isso pode ter sido a causa de temperaturas globais baixas no início da série de temperaturas na Figura 1. Porém, no período de 1915 a 1956, Molion relatou que a atividade vulcânica foi a menor dos últimos 400 anos e o albedo planetário reduziu-se (aumentou a transparência atmosférica), permitindo maior entrada de ROC no sistema durante 40 anos consecutivos e aumentando as temperaturas dos oceanos e do ar. É muito provável, portanto, que o aquecimento observado entre 1925 e 1946, que corresponde a cerca de 70% do aquecimento verificado nos últimos 150 anos, tenha resultado do aumento da atividade solar, que atingiu seu máximo em 1957/58, e da redução da atividade vulcânica, ou seja, reduções de albedo planetário e aumento da transparência atmosférica, e não do efeito estufa intensificado pelas atividades humanas, que, na época, eram responsáveis por menos de 10% das emissões atuais de carbono.



Em 1998, o físico dinamarquês Henrik Svensmark sugeriu a hipótese de que raios cósmicos galácticos (RCG) produzem aumento da concentração de núcleos de condensação (NCs) – partículas higroscópicas essenciais para dar início à produção de gotas d’água de nuvens e de chuva – ao entrarem na atmosfera terrestre. O aumento da concentração dos NCs propiciaria o aumento da cobertura de nuvens baixas que, por sua vez, aumentariam o albedo planetário e tenderiam a resfriar o planeta. O coeficiente de correlação entre os dois fenômenos, contagem de RCG e cobertura de nuvens, é alto (0,96). Entretanto, Mike Lockwood e Claus Fröhlich, no mesmo estudo publicado em 2007, contestaram essa hipótese argumentando que a atividade solar, em declínio desde 1985, não estaria aumentando a cobertura de nuvens e que a temperatura média global estaria aumentando independentemente da atividade solar. A afirmação de Lockwood e Fröhlich foi contestada por vários pesquisadores que apontaram falhas em seu artigo, entre outras a questionável técnica usada pelos autores para suavizar os dados de contagens de RCG e a desconsideração do atraso da resposta dos oceanos a flutuações rápidas dos controladores climáticos. Usando dados astronômicos, Shaviv mostrou, em 2002, que o fluxo de RCG deve variar de um fator maior que 2 quando a Terra atravessa os braços galácticos em espiral, o que ocorre a cada 132 ± 25 milhões de anos.

Os exemplos acima citados mostram que o clima é muito complexo, envolvendo controles internos e externos ao sistema terra-atmosfera-oceano, dos quais o efeito estufa é apenas um dos processos, e que houve aumentos de temperatura em tempos passados, aparentemente sem sua intensificação.

Considerações finais

Em resumo, a variabilidade natural do clima não permite afirmar que o aquecimento de 0,7 °C seja decorrente da intensificação do efeito estufa causada pelas atividades humanas ou mesmo que essa tendência de aquecimento persistirá nas próximas décadas, como sugerem as projeções produzidas pelo Relatório da Quarta Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). A aparente consistência entre os registros históricos e as previsões dos modelos não significa que o aquecimento esteja ocorrendo. Na realidade, as características desses registros históricos conflitam com a hipótese do efeito estufa intensificado. O planeta se aqueceu mais rapidamente entre 1925 e 1946, quando a quantidade de CO₂ lançada na atmosfera era inferior a 10% da atual, e se resfriou entre 1947-1976, quando ocorreu o desenvolvimento econômico acelerado após a Segunda Guerra Mundial. Dados dos MSU a bordo de satélites não confirmaram um aquecimento expressivo pós-1979, que é aparente na série de temperaturas obtidas com termômetros de superfície. No Sumário para Formuladores de Políticas do IPCC, publicado em fevereiro de 2007, afirmou-se que a concentração de CO₂ aumentou 35% nos últimos 150 anos. Porém, isso pode ter sido devido a variações internas ao sistema terra-oceano-atmosfera. Sabe-se que a solubilidade do CO₂ nos oceanos depende de sua temperatura, com uma relação inversa. Como a temperatura dos oceanos aumentou devido à redução do albedo planetário e à atividade solar mais intensa entre 1925-1946, a absorção de CO₂ pelos oceanos pode ter sido reduzida e mais CO₂ ter ficado armazenado na atmosfera. Portanto, não se pode afirmar que foi o aumento de CO₂ que causou o aumento de temperatura. Pode ter sido exatamente o contrário, ou seja, que o CO₂ tenha aumentado em resposta ao aumento de temperatura dos oceanos e do ar adjacente.

Dados paleoclimáticos, como os obtidos com cilindros de gelo da estação de Vostok, indicaram que as temperaturas do ar estiveram mais elevadas que as atuais nos períodos interglaciais anteriores e que as concentrações desse gás não ultrapassaram 300 ppmv, sugerindo que o aquecimento do clima não depende da concentração de CO₂. Em adição, existem outros testemunhos indiretos, como os anéis de crescimento de árvores, cujas análises sugeriram que o clima, ao contrário, já estaria se resfriando. Por exemplo, em 1993, o prof. Epaminondas Ferraz e seus colaboradores da ESALQ/USP analisaram um jatobá-mirim colhido na Amazônia Central (Balbina) e constataram que a densidade da madeira em seus anéis de crescimento aumentou nos últimos 400 anos (Figura 5). Aceitando-se que a variação das chuvas seja o fator ambiental mais importante no desenvolvimento de uma árvore no meio da Floresta Amazônica, inferiu-se que o jatobá, durante esse período, esteve submetido a um clima regional que paulatinamente veio se tornando mais seco. E isso só poderia estar acontecendo se o clima global estivesse se resfriando.

Em adição, existem outros testemunhos indiretos, como os anéis de crescimento de árvores, cujas análises sugeriram que o clima, ao contrário, já estaria se resfriando.

As análises da temperatura da superfície do mar para o período 1999-2007, elaboradas por este autor com os dados do conjunto de Reanálises do NCEP/NCAR, mostraram uma configuração semelhante à da fase fria anterior da ODP (1947-1976), sugerindo que o Pacífico já está em uma nova fase fria

(Figura 6). É possível, portanto, que o clima global venha a se resfriar nos próximos 15 a 20 anos, semelhantemente ao que ocorreu na fase fria anterior (Figura 1), porém com um agravante. Contrariamente ao período da fase fria anterior, o Sol está entrando num período de baixa atividade, um novo mínimo do Ciclo de Gleissberg. Observações por satélites mostraram que os valores do fluxo total de ROC no último mínimo solar em 2006 ficaram abaixo de $1.365,3 \text{ Wm}^{-2}$, inferiores aos mínimos anteriores. A variação da atividade solar nos últimos 300 anos sugere que nos próximos dois ciclos de manchas solares, ou seja, até cerca do ano 2030, a atividade solar seja comparável à do período inicial do Século XX. Portanto, como o Pacífico está em uma nova fase fria e a atividade solar estará mais baixa, é muito provável que as condições climáticas globais entre 1947-1976 venham a se repetir qualitativamente, ou seja, que haverá um arrefecimento global nos próximos 15 a 20 anos. Dados atuais de temperatura média global confirmam essa hipótese e mostram que 1998 foi o ano mais quente dos últimos anos, ou seja, o aquecimento global parece ter acabado em 1998.

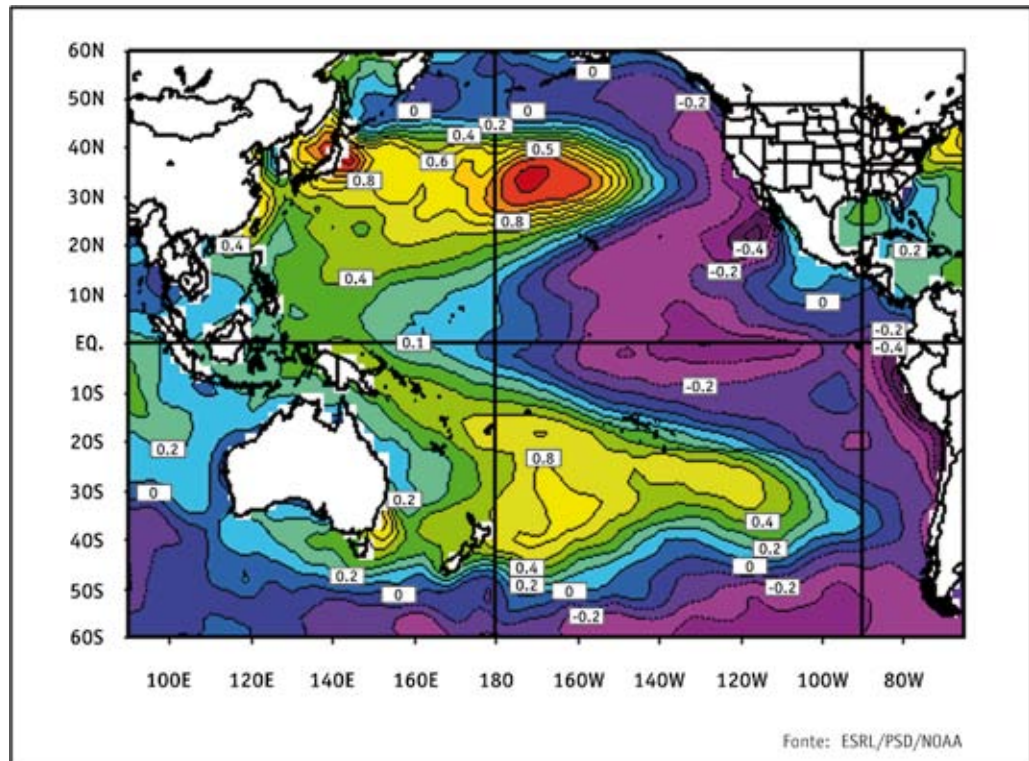
Figura 5. Variação radial da densidade da madeira dos anéis de crescimento de um jatobá-mirim, colhido em Balbina, a 170 km a noroeste de Manaus



As análises do período de 1947-1976 (fase fria da ODP), feitas por este autor, mostraram que, de maneira geral, as condições climáticas não foram favoráveis para o Brasil. As chuvas se reduziram em todo o país, resultando em deficiência hídrica para abastecimento de populações e geração de energia elétrica, e as regiões Sul e Sudeste sofreram um aumento na frequência de massas de ar polar intensas (geadas fortes) no inverno, fato que contribuiu decisivamente para a erradicação do cultivo do café no Paraná. A região brasileira mais afetada parece estar compreendida por partes do sudeste do Pará, norte de Tocantins, sul do Maranhão e Piauí

e pela região sudeste da Amazônia, que é a fronteira agrícola ou de expansão da soja. Essa região poderá apresentar uma redução média de 500 mm a 700 mm por ano, cerca de 30%, em seus totais pluviométricos nos próximos 15 a 20 anos.

Figura 6. Anomalias da temperatura da superfície do Pacífico no período 1999-2007 (em °C), com relação à média do período 1948-1998



Reflexões sobre o propagado aquecimento global deixam evidente que o clima do planeta, sem exagero, é resultante de tudo o que ocorre no universo. Exemplificando, se a poeira densa de uma estrela que explodiu há 15 milhões de anos adentrasse o Sistema Solar, diminuiria a radiação solar incidente e resfriaria o planeta! O fato de o aquecimento observado entre 1977 e 1998 muito provavelmente ter sido causado pela variabilidade natural do clima não é um aval para o homem continuar a degradar o meio ambiente. Ao contrário, considerando que o aumento populacional é inevitável num futuro próximo, o bom senso sugere a adoção de políticas de conservação ambiental bem elaboradas e mudanças nos hábitos de consumo para que a humanidade possa sobreviver, ou seja, para que as gerações futuras possam dispor dos recursos naturais de que se dispõe atualmente.

Referências bibliográficas

- Beck, E. G., 2007. 180 Years of CO₂ gas analysis by chemical methods. *Energy & Environment*, pp. 1-17.
- Caillon, N. et al., 2003. Timing of atmospheric CO₂ and Antarctic temperature changes across Termination III. *Science*, Vol. 299, pp. 1728-1731.
- Christy, J. e Spencer R., 2003. Global Temperature Report 1978-2003, The University of Alabama in Huntsville, disponível em meteo.lcd.lu/globalwarming/Christie_and_Spencer/25years_highlite.pdf
- Donarummo Jr., J., Ram, M. e Stolz, M. R., 2002. Sun/dust correlation and volcanic interference, *Geophys. Res. Lett.* 29 (9): 1361.
- ESRL/PSD/NOAA, 2006. Dados de Reanálises, Earth System Research Laboratory, Physical Sciences Division, NOAA, disponíveis em <http://www.cdc.noaa.gov>.
- Ferraz, E. S. B., Oliveira, E. H., Fernandes, A. D. e Bachi, M. A., 1993. Densidade da madeira e flutuações climáticas na Amazônia (Treeing density and climate fluctuation in Amazon), VII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, SBA, July 27-30, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Gregory, K., A critique on the Lockwood-Fröhlich paper. Disponível em <http://scienceandpublicpolicy.org>, acessado em 10 de setembro de 2007.
- Hakkinen, S. e Rhines, P. B., 2004. Decline of subpolar North Atlantic circulation during the 1990s, *Science*, 304, 555-559.
- Hieb M. e Hieb H., 2006. Water vapor rules the greenhouse system, disponível em http://mysite.verizon.net/mhieb/WVFossils/greenhouse_data.html, acessado em 06/08/2007.
- IPCC AR4/SPM, 2007. Contribution of Working Group I for the Fourth Assessment Report (AR4), Summary for Policy Makers (SPM), WMO/UNEP, Genebra, Suíça.
- Jaworowski, Z., 2007. CO₂: The greatest scientific scandal of our times. *EIR Science*, March 16, pp. 38-53.
- Jones, P. D., New, M., Parker, D. E., Martin S. e Rigor, I. G., 1999. Surface air temperature and its changes over the past 150 years. *Rev. Geophys.* 37: 173-199.
- Lamb, H. H., 1972. *Climate: Present, Past and Future*, Vol. 1, Methuen & Co. Ltd., London, UK, 613 p.
- Lockwood, M. e Fröhlich, C., 2007. Recent oppositely direct trends in solar climate forcing and global mean surface air temperature, *Proceedings of Royal Society A*, p:1-14
- Minnis, P., Harrison, E. F., Stowe, L. L., Gibson, G. G., Denn, F. M., Doelling, D. R. e Smith Jr, W. L., 1993. Radiative climate forcing by Mount Pinatubo eruption, *Science* 259:1411-1415.
- Mitchel, J. F. B., Senior, C. A. e Ingran, W. J., 1989. CO₂ and climate: a missing feedback? *Nature* 341:132-134.
- Molion, L. C. B., 1995. Global warming: a critical review. *Revista Geofísica* 43 (2):77-86, Instituto PanAmericano de Geografia e Historia, Mexico, DF.
- Molion, L. C. B., 2005. Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico. *Climatologia* 8 (agosto), disponível em <http://www6.cptec.inpe.br/revclima/revista>
- Molion, L. C. B., 2006. Variabilidade e forçantes climáticas, Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, SBMET, 27 a 4 de dezembro, Florianópolis (SC).
- NCEP, 1999. National Centers for Environmental Predictions, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), USA.
- Petit J. R., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N. I., Barnola J. M., Basile I., Bender M., Chappellaz J., Davis J. Delaygue G., Delmotte M. Kotlyakov V. M., Legrand M., Lipenkov V. M., Lorius C., Pépin L., Ritz C., Saltzman E. e Stievenard M., Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok Ice Core, Antarctica, *Nature*, 3 June, 1999.
- Shaviv, N. J. Cosmic ray diffusion from galactic spiral arms, iron meteorites, and a possible climatic connection, *Phys. Rev. Letters*, 89, 51-102, 2002.
- Svensmark, H., 1998. Influence of cosmic rays on Earth's climate, *Phys. Rev. Letters* 81(22):5027-5030.