

# AQUECIMENTO GLOBAL: NATURAL OU ANTRÓPOGÊNICO?

LUIZ CARLOS BALDICERO MOLION<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Cidade Universitária - 57.072-970 Maceió, Alagoas, e-mail: [molion@radar.ufal.br](mailto:molion@radar.ufal.br)

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju – SE

**RESUMO:** A hipótese do aquecimento global está alicerçada em três pilares básicos: a série de temperatura média global do ar “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 o conhecimento atual que se tem sobre o clima global, o *efeito-estufa* e sua possível intensificação pelas atividades humanas, e 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 se contrapõem ao aquecimento global de longo prazo e advogam um resfriamento global paulatino, com base em observações que incluem testemunhos da Amazônia Central.

**PALAVRAS CHAVES:** MUDANÇAS CLIMÁTICAS, EFEITO ESTUFA, CLIMA.

**ABSTRACT:** The global warming hypothesis is based on three main pillars: the 150 years series of “observed” mean global air temperature, the observed increase of carbon dioxide concentration and the output of global climate models. these three aspects were discussed critically, pointing out their weaknesses and/or deficiencies. the conclusion was that the anthropogenic global warming hypothesis couldn't be transformed into proven scientific fact considering the present knowledge of the global climate, the greenhouse effect variability and its possible enhancement due to human activities, as well as the limitations of the global climate simulation models. on the contrary, proxy data collected in central amazonia suggested that the planet might be cooling gradually.

**KEYWORDS:** CLIMATIC CHANGES, EFFECT GREENHOUSE, CLIMATE.

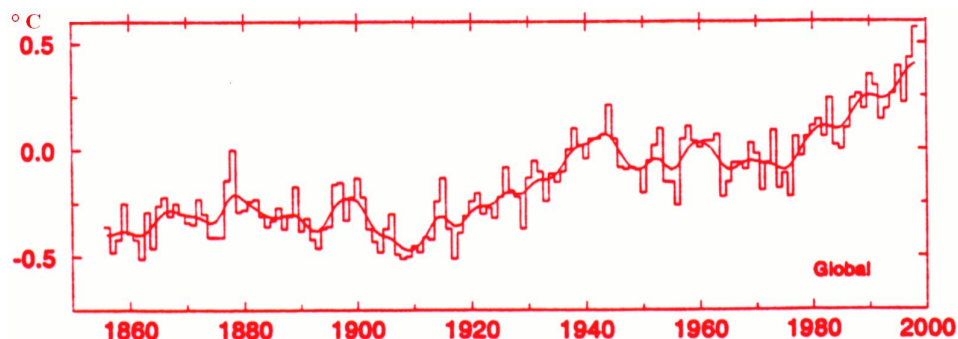
**INTRODUÇÃO:** A fonte primária de energia para o planeta Terra é o Sol. Ele emite radiação eletromagnética (energia) principalmente nos comprimentos de onda entre 0,1 $\mu$ m e 4,0 $\mu$ m (1micrometro = 1 $\mu$ m = 10<sup>-6</sup> metros), chamada radiação de ondas curtas (ROC). A maior parte de ROC passa através da atmosfera terrestre e um grande percentual dela é absorvido pela superfície que se aquece. Pela Lei de Stefan-Boltzmann, um corpo aquecido emite radiação infravermelha térmica proporcionalmente à quarta potência de sua temperatura absoluta. Para as temperaturas dos corpos, encontrados tanto na superfície como na atmosfera terrestre, os comprimentos de onda emitida estão entre 4,0  $\mu$ m e 50  $\mu$ 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<sub>2</sub>O), o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o ozônio (O<sub>3</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e os compostos de cloro-fluor-carbono (CFC), vulgarmente conhecidos por *freons*. Esses, por sua vez, emitem ROL em direção à superfície e ao espaço exterior. Essa absorção/emissão por esses gases constitui o chamado *efeito-estufa*. O vapor d'água é o gás principal 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, ele varia de 30% entre a estação seca e a chuvosa. O CO<sub>2</sub> é o segundo gás em importância, com concentração até 100 vezes inferior à do vapor d'água. Embora sua concentração seja baixa, é o gás de *efeito-estufa* (GEE) que tem causado maior polêmica, pois sua concentração vinha crescendo à taxa de 0,4% ao ano, sendo esse crescimento atribuído às atividades humanas. O CH<sub>4</sub>, com concentrações muito pequenas, na ordem de 1,7 ppm por volume, também vinha mostrando um significativo aumento de 1,0% ao ano, atribuído às atividades agropecuárias. Mas, a partir de 1998, inexplicavelmente a taxa de crescimento anual da concentração do CH<sub>4</sub> vem diminuindo, embora as fontes antrópicas continuem aumentando. Os gases restantes apresentam concentrações ainda menores que as citadas, porém também parecem estar aumentando. Portanto, a atmosfera permite a passagem de cerca de 50% de ROC e impede que boa parte de ROL, emitida pela superfície e pela atmosfera, escape para diretamente o espaço exterior. Essa propriedade, denominada *efeito-estufa*, faz com que a temperatura média global do ar, próximo à superfície, seja cerca de 15°C. Caso ele não existisse, a temperatura da superfície seria 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. A hipótese do *efeito-estufa* intensificado é fisicamente simples: quanto maior for a concentração desses gases-traço, maior será o “aprisionamento” de radiação de ondas longas e, conseqüentemente, mais alta a temperatura do planeta.

O aumento de 35% na concentração de CO<sub>2</sub> nos últimos 150 anos, já deveria ter causado um incremento na temperatura média do globo entre 0,5 e 2,0°C se resultados de modelos de simulação de clima (MCG) fossem considerados. Entretanto, de acordo com a Quarta Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC AR4/SPM, 2007), o aumento “observado” estaria entre 0,4 e 0,7°C. Note-se que esse aumento está situado no limite inferior dos resultados produzidos pelos modelos climáticos utilizados para testar a hipótese da intensificação do *efeito-estufa*. As previsões de mudanças climáticas para uma atmosfera com o dobro de CO<sub>2</sub>, feitas com MCGs, são catastróficas! Se a concentração de CO<sub>2</sub> dobrar nos próximos 100 anos, os MCGs prevêem que a temperatura média do globo aumentaria entre 2° e 4,5°C (IPCC AR4/SPM, 2007). Segundo essa fonte, uma das conseqüências 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 0,2 e 0,6 metros. Esse fato, dentre outros impactos, forçaria a relocação dos 60% da humanidade que vivem em regiões costeiras. Na seqüência, foram discutidos o estado atual do conhecimento sobre o assunto e algumas das limitações dos MCGs.

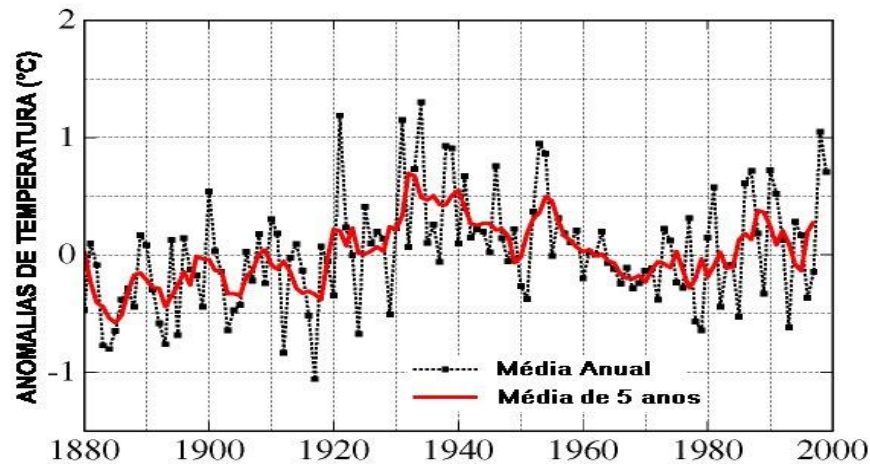
## REGISTROS INSTRUMENTAIS DE TEMPERATURA

A Figura 1 (Jones et al., 1999) mostra que desvios de temperatura para o Globo, com relação à média do período 1961-1990, aumentaram cerca de 0,6°C desde 1860. Vê-se que, até aproximadamente 1920, houve apenas uma variabilidade anual e praticamente não ocorreu aumento de temperatura. Porém, entre 1920 e 1950, o aumento foi cerca de 0,37°C. Em

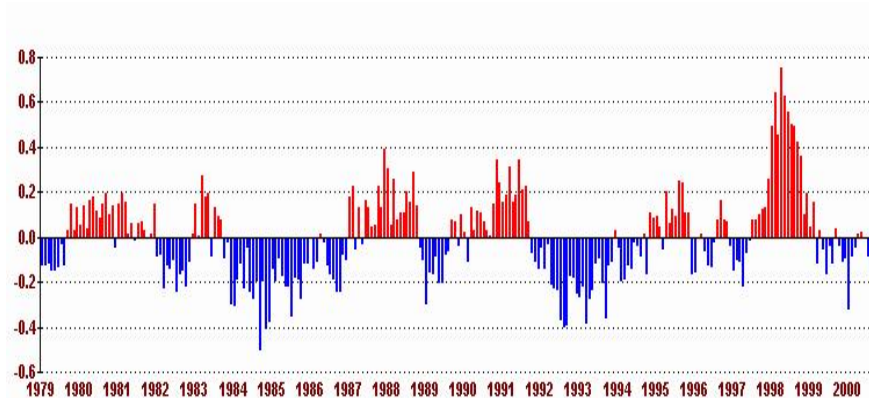


**Figura 1. Desvios da temperatura média global com relação à média do período 1961-90. (Jones et al., 1999)**

seguida, houve um resfriamento de cerca de  $0,14^{\circ}\text{C}$  e, a partir de 1978, a temperatura média global aumentou de  $0,32^{\circ}\text{C}$ , segundo os mesmos autores. O próprio IPCC concorda que o primeiro período de aquecimento, entre 1920 e 1950, em que houve um aumento de cerca de  $0,4^{\circ}\text{C}$  pode ter tido causas naturais, possivelmente a variação da produção de energia pelo Sol, discutida abaixo. A polêmica que essa série de anomalias tem causado reside no fato de o segundo aquecimento, a partir de 1978, não ter sido verificado, aparentemente, em todas as partes do Globo. A série de temperatura média para os Estados Unidos (Figura 2) não mostrou esse segundo aquecimento. Em adição, a média da temperatura global, obtida com dados de satélites a partir de 1979 (Figura 3), mostrou uma grande variabilidade anual, com uma ligeira tendência de aquecimento global de  $0,12^{\circ}\text{C}$  por década e, para o Hemisfério Sul, uma tendência de  $0,08^{\circ}\text{C}$  por década, dentro, portanto, da variabilidade natural do clima.



**Figura 2. Anomalias de temperatura médias para os Estados Unidos (NCEP, 1999).**



**Figura 3. Anomalias de temperatura obtidas com dados de satélites para o período 1979-2000 (Fonte, Miller, 2000).**

Satélites são mais apropriados para medir temperatura global, pois fazem médias sobre grandes áreas, incluindo oceanos, enquanto as estações climatométricas de superfície registram variações em torno de seu micro ambiente. Nesse aspecto, essas últimas apresentam outro grande problema, além da não-padronização 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 desenvolveram muito, particularmente depois da Segunda Guerra Mundial. Em média, a energia disponível é utilizada em parte para evapotranspiração (calor latente) e o restante para o aquecimento do ar (calor sensível). Sobre superfícies vegetadas, a maior parte da energia disponível é usada na forma de calor latente, que resfria a superfície. Com a mudança da cobertura superficial, de campos com vegetação para asfalto e concreto, a relação se inverte, e mais calor na forma de calor sensível entra na atmosfera, aquecendo o ar. Esse é o chamado *efeito de ilha de calor*. Para elaboração da Figura 1, seus autores utilizaram uma correção de temperaturas devido à urbanização que pode não ter sido apropriada, já que os algoritmos desse procedimento são subjetivos e questionáveis. Uma das possibilidades, pois, é que o aquecimento a partir de 1978, que aparece nitidamente na Figura 1, seja resultante do *efeito de ilha de calor* e não um aquecimento global.

Finalmente, um aspecto muito importante é que as séries de 150 anos são curtas para captar a variabilidade de prazo mais longo do clima. Séries mais longas, como as de Berlin (Alemanha), Viena (Áustria) e Hohenpeissenberg (Bavária), mostraram que as temperaturas estiveram acima da média no final do Século XVIII e início do Século XIX e que, de 1815 até a metade daquele século, ficaram abaixo da média. E o final desse período coincide com o início das séries de 150 anos utilizadas por vários pesquisadores e pelo IPCC. Existem, portanto, problemas de representatividade, tanto espacial como temporal, das séries de temperatura observadas, o que torna extremamente difícil seu tratamento e globalização.

## VARIABILIDADE NATURAL DO CLIMA

O *efeito-estufa* controla a **saída** da radiação de ondas longas emitida pela superfície e pela atmosfera (ROLE). Além do *efeito-estufa*, outros fatores internos, de não menor importância, afetam o clima. Dentre eles, as variações do albedo planetário - percentual de radiação solar que é refletido de volta para o espaço exterior - resultante da variação da cobertura de nuvens, da concentração de aerossóis vulcânicos na estratosfera e das características da cobertura superficial. O albedo planetário controla 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. Minnis et al (1993), usando dados do experimento orbital ERBE, mostraram 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 resfriamento temporário de até 3 anos, conforme pode ser visto na Figura 3, onde são notados resfriamentos de até 0,5°C. Os efeitos de freqüentes erupções vulcânicas no clima, porém, podem ser de prazo mais longo se for considerada a inércia térmica dos oceanos ao responderem a essas variações de curto prazo. Como entre 1815 e 1915 a freqüência de erupções vulcânicas foi grande, a concentração de aerossóis esteve alta, o albedo planetário também e isso pode ter sido a causa da redução da temperatura global no início da série de temperatura (Figura 1). Segundo Molion (1995), no período 1915 a 1956, a atividade vulcânica foi a menor dos últimos 400 anos e o albedo planetário reduziu-se, permitindo maior entrada de radiação no sistema durante 30 anos e aumentando as temperaturas dos oceanos e do ar. O resultado foi um aquecimento médio global de cerca de 0,4°C nesse período.

Variações da circulação atmosférica, associadas às variações da temperatura de superfície do mar como, por exemplo, alterações na frequência de ocorrência de eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS), são outra causa de mudanças significativas na temperatura global. A Figura 3, obtida com dados de satélites, mostra uma grande variabilidade anual associada aos eventos El Niño (1982 1987 e 1998). O evento El Niño de 1997/98 foi considerado o evento mais intenso daquele século e produziu anomalias de temperatura do ar de até 0,8°C, conforme pode ser visto na mesma Figura. Entre um El Niño e um La Niña, portanto, pode haver variações da temperatura média global superiores a 1,5°C. Conhece-se bem a influência dos oceanos na variabilidade climática de curto prazo. 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 milênio, como 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 o oceano e a atmosfera. Tais efeitos ainda não foram quantificados com precisão. Porém, Molion (2006) mostrou que existe uma estranha coincidência entre as fases da ODP e a temperatura média global. Por exemplo, o decréscimo da temperatura média 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 equatorial apresentou temperaturas de superfície abaixo da média. É oportuno lembrar que os oceanos cobrem 71% da superfície terrestre e constituem a condição de contorno inferior mais importante para a atmosfera, uma vez que esta é aquecida por debaixo.

Dentre os principais fatores 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, em média  $1370 \text{ Wm}^{-2}$ , não é constante. Observações recentes, feitas por satélite, sugerem que sua produção possa variar de até 0,2% , ou seja,  $2,7 \text{ Wm}^{-2}$  com o ciclo de 11 anos (ou 22 anos) das manchas solares. Durante o Ciclo de Gleissberg atual – ciclo com um período aproximado de 90 anos - essa variação deve ter sido ainda maior, pois o número máximo de manchas solares variou de cerca de 50 manchas, em 1913, a 200 manchas, em 1957, ao longo dos ciclos de 11 anos. A falta de conhecimento ainda não permite estabelecer se existe influência da variação da produção de energia do Sol no clima, embora o IPCC afirme que não seja significativa. Considerando albedo planetário de 30%, 70% dessa variação ( $1,9 \text{ Wm}^{-2}$ ) chegariam à superfície, o que corresponde ao “forçamento radiativo” de todos os gases antropogênicos liberados pelo homem nos últimos 150 anos, dadas as incertezas (Figura SPM-2 do IPCC AR4/SPM, 2007). É muito provável, portanto, que o aquecimento observado entre 1920-50, que corresponde a 70% do aquecimento verificado no 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 da profundidade óptica da atmosfera, e não do *efeito-estufa* intensificado pelas atividades humanas que, na época, emitiam menos de 10% das emissões atuais de carbono! Além do efeito da urbanização, o aquecimento entre 1977-1998 pode estar relacionado com a fase quente da ODP – fase em que o Pacífico tropical apresentou temperaturas acima da média – durante a qual ocorreu uma frequência alta de eventos ENOS intensos que, sabidamente, aquecem o Planeta. Em adição, foi observado que a Corrente do Golfo do México – corrente marinha que transporta calor para o Atlântico Norte, região da Escandinávia, Groelândia e Ártico – esteve mais ativa nesses últimos 15 anos. Maior transporte de calor sensível, aumenta as temperaturas da superfície do mar e os ventos de oeste retiram esse calor do Atlântico, por meio da interação atmosfera-oceano, e o transportam para a Europa Ocidental, onde está a maior fração dos termômetros utilizados para elaborar a Figura 1.

## VARIABILIDADE DA CONCENTRAÇÃO DE CO<sub>2</sub>

O IPCC AR4/SPM (2007) afirma que o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) 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. Esse aumento de concentração nos últimos 150 anos foi atribuído às emissões por queima de combustíveis fósseis e mudanças do uso da terra. Antes de tudo, convém ressaltar que mais de 97% das emissões de CO<sub>2</sub> são naturais, cabendo ao homem menos de 3%, total que seria responsável por uma minúscula fração do efeito-estufa atual, algo em torno de 1,1%. Um dos argumentos utilizados pelo IPCC são as bolhas de ar aprisionadas nos cilindros de gelo (ice cores), retirados por perfuração profunda (até cerca de 3.600 m) da capa de gelo na Estação de Vostok na Antártica, e que foram utilizadas na reconstituição da composição química da atmosfera ao longo desses milhares de anos. Jaworowski (2007) afirmou que 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 permaneça inalterada não é verdadeira, pois ocorrem tanto reações químicas como difusão de ar nas bolhas por estarem submetidas a pressões que chegam a ser até 320 vezes superiores a da atmosfera nas camadas profundas. Os dados mais recentes dos cilindros de gelo não estão de acordo com as medições. Beck (2007) colecionou mais de 90 mil medições diretas de CO<sub>2</sub> de 43 estações do Hemisfério Norte, obtidas entre 1812 e 2004, por vários pesquisadores renomados, três dos quais ganharam o Premio Nobel. A Figura 4, adaptada de seu trabalho, mostra que a concentração de CO<sub>2</sub> ultrapassou valor de 380 ppmv várias vezes no século passado como, por exemplo, em 1942 (420 ppmv), antes do início das medições em Mauna Loa, contrariando a afirmação do IPCC AR4/SPM que a do ano 2005 (379 ppmv) tenha sido a maior dos últimos 650 mil anos. Nessa Figura, a linha contínua inferior representa a série de Siple. Em adição, há evidências que a temperatura do ar aumentou antes do aumento da concentração de CO<sub>2</sub>. (e.g., Caillon et al, 2003). Ou seja, é o aumento de temperatura que causa o aumento de CO<sub>2</sub> e não o contrário, como afirma o IPCC AR4/SPM (2007).

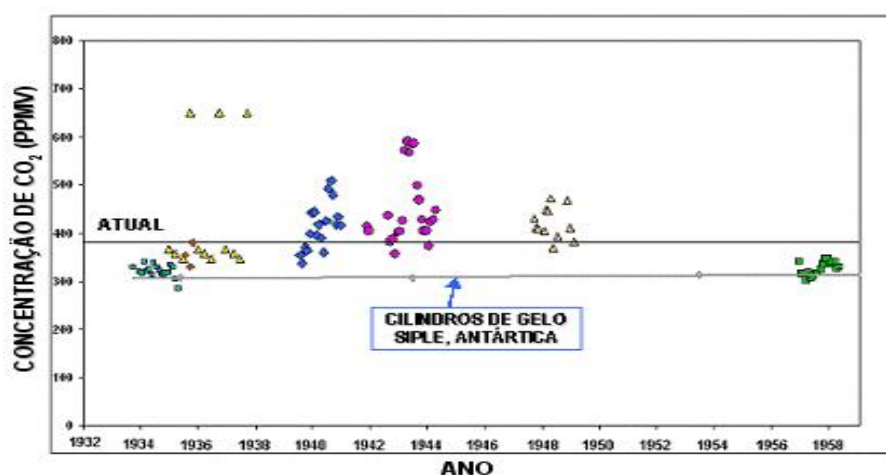


Figura 4. Medições químicas de CO<sub>2</sub> atmosférico feitas por vários pesquisadores na primeira metade do Século XX, antes do início das medições em Mauna Loa, Havaí, em 1958.

Não há comprovação que o CO<sub>2</sub> armazenado na atmosfera seja originário de emissões antropogênicas. Afirma-se que o CO<sub>2</sub> atmosférico tenha aumentado na taxa anual de 0,4%,

correspondendo a um incremento de 3 gigatoneladas de carbono (GtC) por ano na atmosfera. De acordo com IPCC AR4/SPM (2007), somente as emissões por queima de combustíveis fósseis totalizariam 7 GtC por ano. Estima-se que os oceanos, por sua vez, absorvam 2GtC anuais. Portanto, ainda faltaria explicar qual seria o sumidouro das 2 GtC/ano restantes, fluxo esse que foi denominado “o carbono desaparecido” na literatura. A vegetação, florestas nativas e plantadas, possivelmente seria a seqüestradora desse carbono. Por outro lado, sabe-se que a solubilidade do CO<sub>2</sub> nos oceanos varia inversamente a sua temperatura. Ou seja, oceanos aquecidos absorvem menos CO<sub>2</sub> que oceanos frios. Como a temperatura dos oceanos aumentou ao longo do Século XX, a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico deveria ser superior à medida atualmente. Portanto, é possível que o fluxo absorvido pelos oceanos esteja sendo altamente subestimado! Recordar-se que o fluxo para os oceanos foi estimado em 92 GtC por ano. Um erro de 10% nessa estimativa corresponderia a uma fração três vezes maior que a que fica armazenada na atmosfera anualmente. Outro argumento favorável ao CO<sub>2</sub> ser antropogênico é a redução da razão <sup>14</sup>C/<sup>12</sup>C. O carbono 14 é radiativo e apresenta uma meia-vida de 5730 anos. Não há mais <sup>14</sup>C nos combustíveis fósseis, uma vez que foram produzidos há milhões de anos. Assim, sua queima liberaria mais <sup>12</sup>C e, por esse motivo, a razão teria decrescido em 2% nos últimos 150 anos. Ocorre que o <sup>14</sup>C é formado pela incidência de raios cósmicos na atmosfera e sabe-se que, quando o Sol está mais ativo, como na primeira metade do Século XX, a entrada de raios cósmicos é reduzida, formando menos <sup>14</sup>C. Essa deve ter sido a possível causa da redução de 2% da razão <sup>14</sup>C/<sup>12</sup>C, se for admitido que ela possa ser medida com tal precisão. Em outras, palavras, esses dois argumentos não comprovam que boa parte do CO<sub>2</sub> atmosférico tenha a queima de combustíveis fósseis como origem.

### **LIMITAÇÕES DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO DE CLIMA**

Todos os modelos concordam que os incrementos de temperatura serão maiores nas regiões polares que nas regiões equatoriais. Para o Ártico, os modelos previram incrementos superiores a 10°C (por exemplo, GISS/NASA, 2007). Análise elaborada por este autor com dados disponíveis no banco da CRU/UEA, porém, mostrou que a média das anomalias de temperatura do ar, observadas para o setor Atlântico do Ártico a partir de 1880, na realidade apresentou um decréscimo superior a 2°C de 1930 até metade da década de 1990. Ou seja, exatamente na região onde os modelos prevêem os maiores incrementos de temperatura, tem sido observado o oposto no período de maior aumento da concentração de CO<sub>2</sub>.

Que existem sérios problemas com as simulações dos MGC não é segredo para a comunidade meteorológica. Os MGC comumente têm dificuldade em reproduzir as características principais do clima atual, tais como temperatura média global, 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 outros processos físicos mal-simulados nos modelos. Na Figura SPM-2 do IPCC AR4/SPM (2007) vê-se que a incerteza no forçamento radiativo de nuvens (-1,8 Wm<sup>-2</sup>), nível de entendimento baixo, é, em módulo, igual ao forçamento radiativo do CO<sub>2</sub> (+1,83 Wm<sup>-2</sup>). Ou seja, a variação do albedo de nuvens pode cancelar o aumento do efeito-estufa pelo CO<sub>2</sub>. A resolução espacial dos modelos globais era de 250 km a 400 km até recentemente e todos os processos físicos, que ocorrem em escalas espaciais muito inferiores a dos modelos, precisam ser parametrizados, inclusive a formação e desenvolvimento de nuvens. A parametrização é, em geral, feita com algoritmos estatísticos que dependem da intuição física do modelador e, portanto, podem não representar a realidade física e ser questionados. A temperatura global tende a aumentar principalmente com a presença de nuvens estratiformes na alta troposfera. Essas nuvens altas (tipo “cirro”) são mais tênues e constituídas, em parte, por cristais de gelo, tendem a aquecer o planeta, pois permitem a passagem de radiação solar,

mas absorvem a radiação infravermelha térmica que escaparia para o espaço exterior, ou seja, intensificam o *efeito-estufa*, enquanto nuvens baixas (tipo “estrato”), mais espessas, tendem a esfriá-lo, pois aumentam o albedo planetário. Se um modelo em particular tem tendência a produzir mais nuvens cirros, 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 CO<sub>2</sub>. Porém, Mitchell et al. (1989) relataram que, apenas mudando as propriedades ópticas das nuvens estratiformes, reduziu o aquecimento para menos de 2°C, ou seja, uma redução de 60%. O transporte de calor sensível pelas correntes oceânicas para regiões extratropicais também é outro processo físico parametrizado nos modelos. O calor transportado para o Ártico, por exemplo, aumenta as TSM 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. Dados de Reanálises (NCEP) sugeriram que, atualmente, a Escandinávia esteja perdendo 20 Wm<sup>-2</sup> a mais, em média, do que perdia há 50 anos (Molion, 2006).

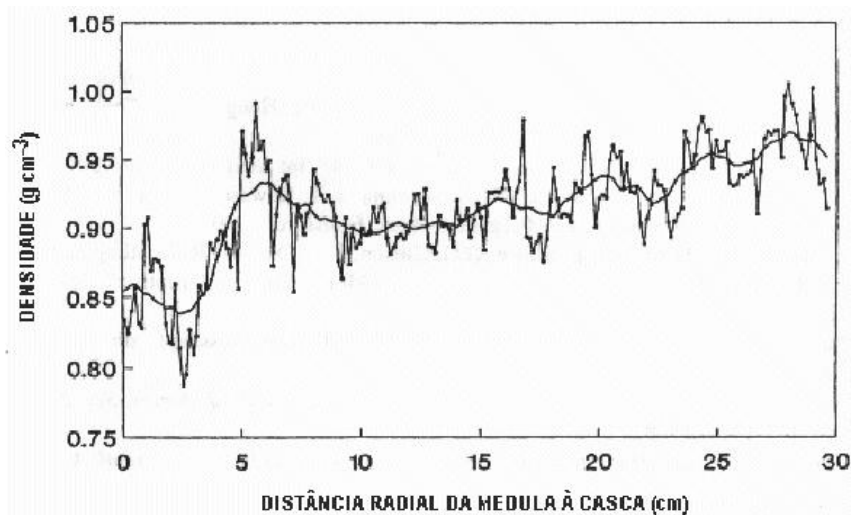
Outro problema sério de modelagem é a simulação do ciclo hidrológico e seu papel como termostato do sistema Terra-atmosfera. Na natureza, a superfície e o ar adjacente tendem a ser resfriados por evaporação, pois esse é um processo que consome grandes quantidades de calor. Se não existisse convecção (formação de nuvens profundas, tipo “cumulonimbo”) e o resfriamento dependesse apenas da perda radiativa, o *efeito-estufa* seria sensivelmente intensificado nos níveis próximos à superfície e a temperatura de superfície alcançaria 60°C! As nuvens cumulonimbos - convecção profunda que os modelos não simulam adequadamente - bombeiam calor latente para fora da camada limite planetária, como se fossem verdadeiras chaminés, e o liberam nos níveis médios e altos da troposfera em que o efeito-estufa é fraco e, de lá, esse calor é irradiado para o espaço exterior. Dessa forma, a convecção profunda “curto-circuito” 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 podem estar superestimadas e que, portanto, a hipótese do aquecimento pelo efeito-estufa intensificado, “aceita pela maioria”, pode não ter fundamento sólido.

**CONCLUSÕES:** Em resumo, a variabilidade natural do Clima não permite afirmar que o aquecimento de 0,6°C seja decorrente da intensificação - natural ou causada pelas atividades humanas - do efeito-estufa, ou mesmo que essa tendência de aquecimento persistirá nas próximas décadas, como querem os cenários produzidos pelo IPCC. A aparente consistência entre os registros históricos e as previsões dos modelos não significa que ele já esteja ocorrendo. Na realidade, as características desses registros históricos conflitam com a hipótese do efeito-estufa intensificado. O planeta aqueceu-se mais rapidamente entre 1920 - 50, quando a quantidade de CO<sub>2</sub> lançada na atmosfera era inferior a 10% da atual, e resfriou-se entre 1947-76, quando ocorreu o desenvolvimento econômico acelerado após a Segunda Guerra. Dados de satélites não confirmaram o aquecimento pós-1978, aparente na série de temperatura obtida com dados de superfície. O único fato incontestável é que a concentração de CO<sub>2</sub> aumentou de 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 CO<sub>2</sub> nos oceanos depende de sua temperatura com uma relação inversa. Como a temperatura dos oceanos aumentou, devido à redução do albedo planetário e ao aquecimento do sistema entre 1920-50,



a absorção de CO<sub>2</sub> pelos oceanos pode ter sido reduzida e mais CO<sub>2</sub> ter ficado armazenado na atmosfera.



**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 (Fonte: Ferraz et al., 1993).**

Portanto, não se pode afirmar que foi o aumento de CO<sub>2</sub> que causou o aumento de temperatura. Pode ter sido exatamente ao contrário, ou seja, que o CO<sub>2</sub> tenha aumentado como resposta ao aumento de temperatura dos oceanos e do ar adjacente. Dados paleoclimáticos (e.g., testemunhos do gelo da estação de Vostok) indicaram que, relativamente, as temperaturas do ar estiveram mais elevadas que as atuais nos períodos interglaciais anteriores e que concentração desse gás apresentou um atraso em resposta ao aumento de temperatura. Existem testemunhos indiretos, como os anéis de crescimento de árvores, cujas análises sugeriram que o clima, ao contrário, estaria se resfriando. Ferraz et al (1993), por exemplo, analisaram um jatobá-mirim colhido na Amazônia Central 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, infere-se que o jatobá, durante esse período, esteve sendo submetido a um clima regional que, paulatinamente, vem se tornando mais seco. E isso só poderia estar acontecendo se o clima global estivesse se resfriando!

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Beck, E.-G., 2007. "180 Years of CO<sub>2</sub> gas analysis by chemical methods." *Energy & Environment*, pp. 1-17.

Caillon, N. et al., 2003. "Timing of atmospheric CO<sub>2</sub> and Antarctic temperature changes across Termination III." *Science*, Vol. 299, pp. 1728-1731.

Ferraz, E.S.B., H. Oliveira, E. A. D. Fernandes and M.A Bachi, 1993 Densidade da madeira e flutuações climáticas na Amazônia (Treering density and climate fluctiatiion in Amazon), VII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, July 27-30, Porto alegre, RS, Brazil.

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. CO<sub>2</sub>: The greatest scientific scandal of our times. EIR Science, March 16, pp. 38-53.

Jones, P.D., M. New, D.E.Parker, S.Martin and I.G.Rigor, 1999. Surface air temperature and its changes over the past 150 years. Rev. Geophys. 37: 173-199.

Miller, T.W., 2000. Global temperature maps using AMSU <http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/temperature>.

Minnis, P., E.F. Harrison, L.L. Stowe, G.G.Gibson, F.M. Denn, D.R. Doelling, W.L. Smith Jr, 1993. Radiative climate forcing by Mount Pinatubo eruption, Science 259:1411-1415.

Mitchel, J.F.B., C.A. Senior e W.J. Ingran, 1989. CO<sub>2</sub> 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., 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.