

IV Encontro Nacional da Anppas
4,5 e 6 de junho de 2008
Brasília - DF – Brasil

As Emissões Antropogênicas Pré-Revolução Industrial Afetando o Clima do Planeta

Armando H. Tanimoto (Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia / CEFET-BA)
Prof. MSc em Tecnologias Ambientais, Eng. Químico, doutorando do CDS/UnB
armando@cefetba.br

Diego Pereira Lindoso,
Biólogo e mestrando do CDS/UnB
diegolindoso@yahoo.com.br

Nathan Debortoli
Turismólogo (FASSESC Faculdades Integradas ASSESC/Associação De Ensino de Santa
Catarina) e mestrando do CDS/UnB
nathandebortoli@gmail.com

RESUMO

Observa-se nos registros paleoclimáticos disponíveis até o momento que, nos últimos 5 mil anos, as concentrações de metano e gás carbônico aumentaram em proporções inéditas, contrariando a tendência de queda esperada segundo alguns modelos referenciados nas tendências das últimas três eras glaciais. Tal comportamento não pode ser explicado apenas por causas naturais, levantando a hipótese de contribuições humanas desde os primórdios da agricultura como explicação consistente e suficiente para preencher tais lacunas. Lançando mão destas informações, Ruddiman (2005) propõem que as contribuições antrópicas pré-industrial retardaram o início de uma nova era glacial, evitando o crescimento de núcleos de glaciação no Canadá e Antártida. Entretanto, novas evidências apontam que o cenário similar mais recente ao atual na história climática da Terra (à cerca de 400 mil anos) foi caracterizado por um período de aquecimento longo. Diante desse novo cenário, Berger e Loutre (2002) apresentaram projeções apontando para um longo período de aquecimento natural nos próximos 50 a 70 mil anos, sendo as emissões antrópicas potencializadoras do processo. Uma abordagem multidisciplinar, levando em conta dados históricos, paleoclimáticos, paleobotânicos, antropológicos e modelos climáticos apontam para um papel determinante do homem no aquecimento global muito antes da revolução industrial. Entretanto, independente de reforçar uma tendência natural ou evitar um resfriamento global, a contribuição humana para o aquecimento global é indiscutível e vem mobilizando organizações e governos em busca de soluções que evitem um colapso climático nas próximas décadas.

Palavras-chave

Paleoclimatologia, mudanças climáticas, emissões antropogênicas de GEE

1- A HIPÓTESE DAS EMISSÕES ANTROPOGÊNICAS PRÉ-REVOLUÇÃO INDUSTRIAL AFETANDO O CLIMA DO PLANETA

1.1 Concentrações de metano durante o holoceno¹

Antes de adentrarmos no impacto das contribuições antrópicas pré-industriais na tendência anômala das concentrações de metano atmosférico do Holoceno, faz-se necessário esclarecer alguns fenômenos naturais.

Sabe-se que o eixo da Terra encontra-se em um ângulo de $23^{\circ} 30'$ em relação ao plano da elíptica, inclinação esta que tem como consequência uma incidência diferenciada da radiação solar na superfície terrestre ao longo do ano e de acordo com a latitude. Tal inclinação (responsável pelas estações do ano) tem seu valor alterado a cada 41.000 anos, fenômeno este conhecido como Ciclo de Milankovitch. Entretanto, há um outro ciclo mais curto (23 mil anos), chamado de Precessão (figura 01). Como resultado, as estações do ano, apesar de permanecerem as mesmas, mudam suas datas de ocorrência. Por exemplo, se o solstício de verão no hemisfério sul é hoje no dia 21 de junho, daqui a 11.500 anos será dia 23 de dezembro. Como consequência, a insolação também varia em ciclos de 23 mil anos, apresentando valores máximos e mínimos a cada 11.500 anos aproximadamente, refletindo diretamente no clima especialmente na intensidade das monções tropicais².

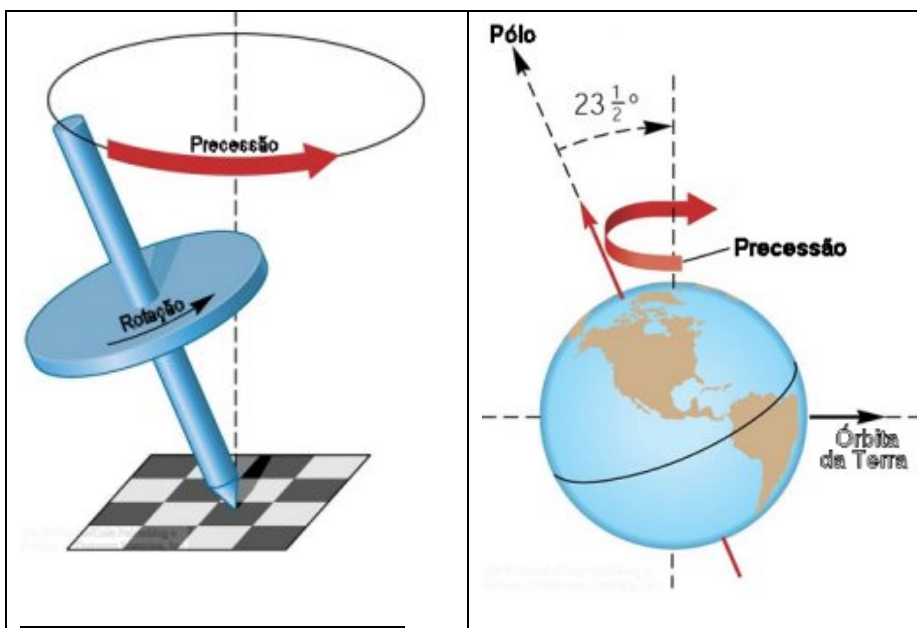


Figura 01. Fenômeno de precessão apresentado pela Terra ao girar em torno de seu próprio eixo. (fonte: www.astro.if.ufrgs.br)

As chuvas torrenciais típicas desse fenômeno alagam grandes áreas, criando ambientes propícios à decomposição anaeróbica, cujo produto é o gás metano. Nos períodos de máxima insolação, as monções são mais intensas e trazem mais umidade, alagando áreas mais extensas, liberando mais

¹ Holoceno: época geológica iniciada à 11.500 anos e que se estende até os dias atuais.

² Monções são ventos quentes e úmidos formados durante o verão, resultado do aquecimento desigual dos continentes e oceanos.

IV Encontro Nacional da Anppas
4,5 e 6 de junho de 2008
Brasília - DF – Brasil

CH₄ quando comparado aos períodos de insolação mínima. Portanto, é esperado que a tendência das concentrações desse gás fosse congruente com a tendência da insolação, fato esse observado nos registros dos últimos 350 mil anos (figura 02).

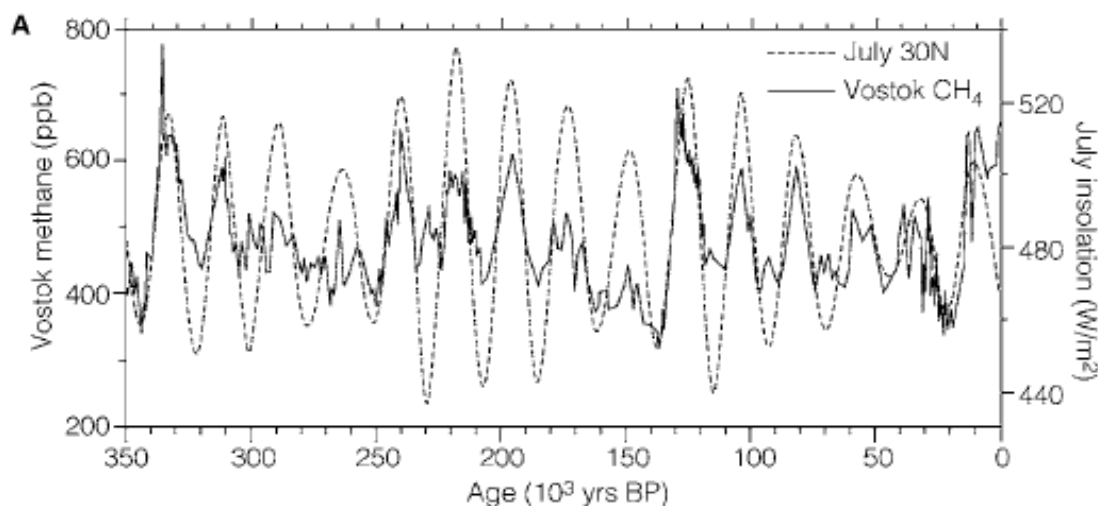


Figura 02. Comparação entre a insolação de julho (verão do hemisfério norte) e as concentrações de CH₄ obtidos a partir de testemunhos de gelo (lago Vostok – Antártida). (fonte: Ruddiman, 2003)

O último máximo de insolação é estimado em algum ponto entre 10.500 e 11.000 anos atrás, coincidindo com o último máximo de CH₄, seguido por uma tendência de queda desses dois parâmetros, ratificando a teoria orbital das monções previamente descrita. Entretanto, a tendência das concentrações de metano retomou seu crescimento a 5 mil anos (figura 03), contrariando a lógica observada nas últimas centenas de milhares de anos.

O COHMAP³ (Cooperative Holocene Mapping Project), apontou um avanço de ecossistemas mais secos sobre ecossistemas úmidos, reflexo do enfraquecimento das monções a partir de 9 mil anos atrás. Portanto, o crescimento anômalo das concentrações de metano do Holoceno não pode ser explicado pela teoria orbital das monções.

³ COHMAP é modelo que relaciona diversos parâmetros como inclinação da terra, concentração de gases estufa espessura de gelo e suas influências nos ecossistemas durante o Holoceno. Pode ser acessado em <<http://www.geo.brown.edu/georesearch/esh/QE/Research/PaleoClim/PaleoClim.htm>>

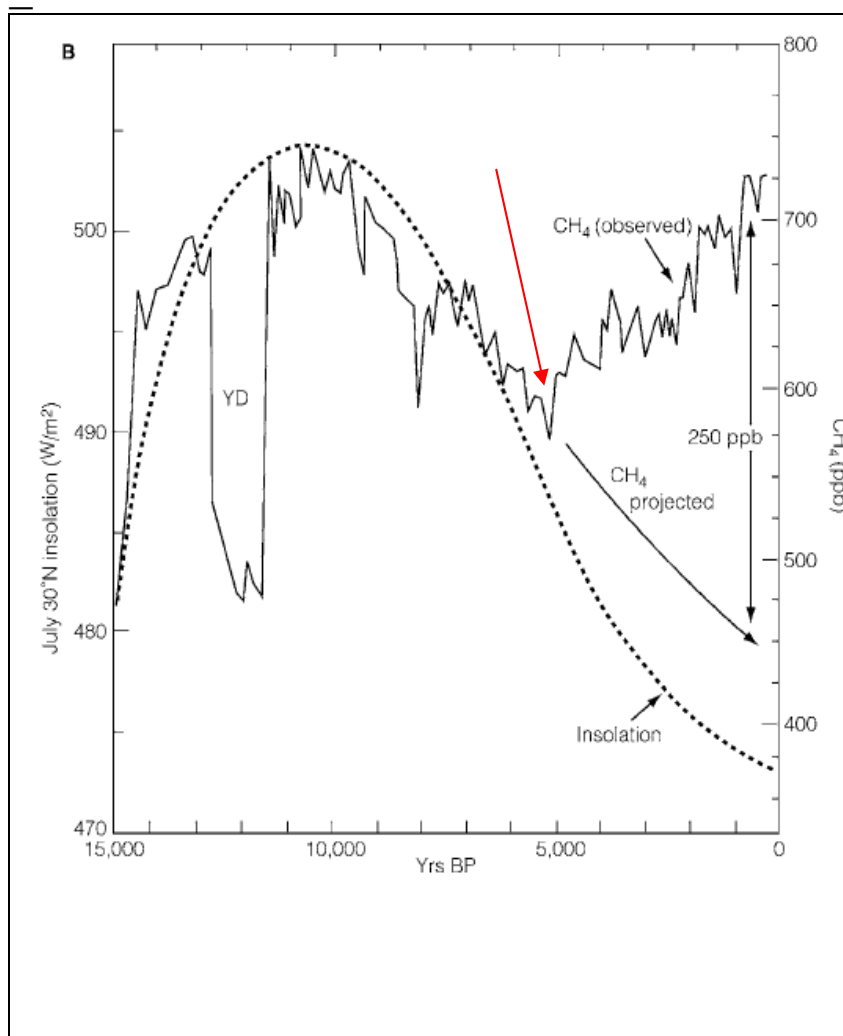


Figura 03 – Variação da insolação (linha pontilhada) e das concentrações de metano (linha contínua) durante o holoceno. Projeções baseadas nos últimos ciclos glaciais indicavam uma queda nos níveis de metano acompanhando a queda na insolação. Entretanto, o metano apresentou uma tendência de alta nos seus níveis a partir de 5 mil anos (seta vermelha). YD: *Younger Dryas*⁴ (fonte: Ruddiman, 2003)

Essa tendência do metano atmosférico não pode ser explicado por causas naturais; o advento da agricultura é uma hipótese consistente para explicar tal fenômeno.

1.2 Concentrações de CO₂ durante o holoceno

Um comportamento parecido ao do metano foi observado para a tendência das concentrações de gás carbônico, apesar de esta ser mais complexa de ser estudada. Todas as últimas quatro

Uma hipótese é a contribuição antrópica pré-industrial, uma vez que tal tendência coincide com o início da prática agrícola pelas primeiras civilizações como a Chinesa, a qual já cultivava arroz em grandes áreas alagadas à 5 mil anos. Observa-se na figura 03 que de 5 mil anos atrás até os dias de hoje as concentrações de metano passaram de aproximadamente 600ppb para 700ppb. Contudo, Ruddiman (2003) acredita que a anomalia não foi apenas os 100ppb observados, mas sim de

250ppb, uma vez que dever-se-ia incluir o decréscimo natural até a concentração prevista de 450ppb.

⁴ *Younger dryers*: período caracterizado por baixas temperaturas ocorrido no início do Holoceno;

IV Encontro Nacional da Anppas
4,5 e 6 de junho de 2008
Brasília - DF – Brasil

interglaciações foram marcadas por um aumento das concentrações atmosféricas de CO₂, cujas concentrações tinham um máximo coincidindo com o mínimo volume de gelo. A partir desse máximo, inicia-se uma queda firme das concentrações pelos 10 mil anos seguintes, podendo apresentar breves períodos de estabilização antes de voltar a cair, mas jamais crescia novamente (figura 4).

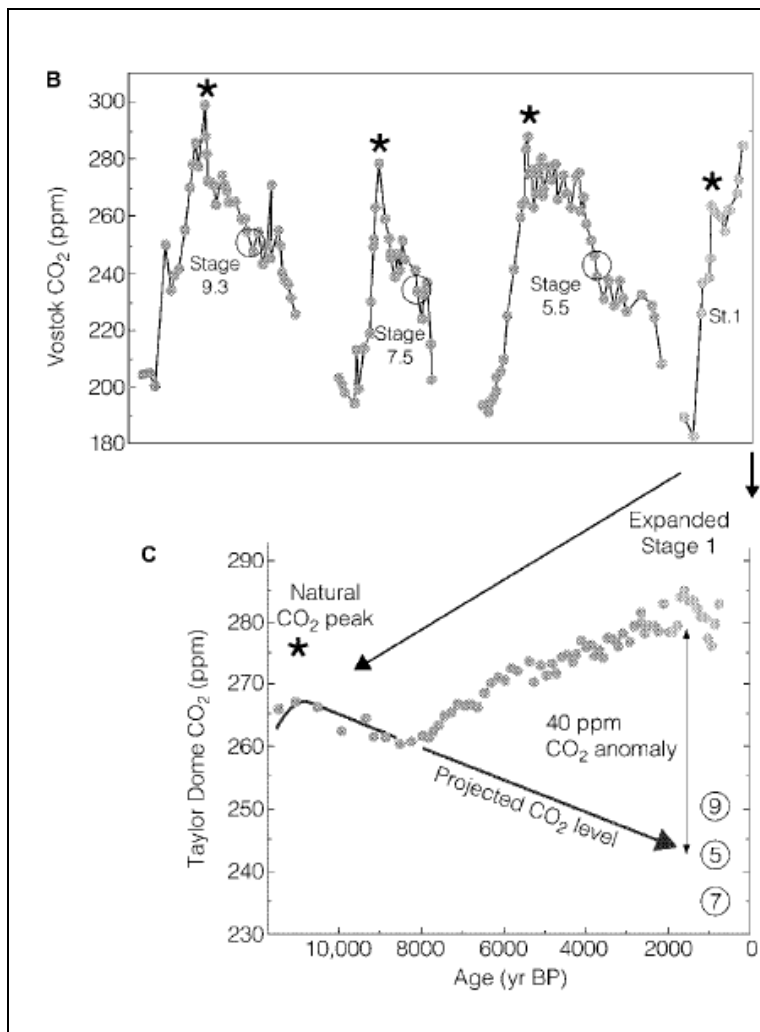


Figura 4 - (b) comportamento das concentrações de CO₂ nas últimas 3 interglaciações (stage 9.3, 7.5, 5.5) e a atual (stage 1,0) . (c) tendência das concentrações de gás carbônico durante a atual interglaciação (Holoceno tardio), segundo testemunhos colhidos no Taylor Dome. (fonte: Ruddiman, 2003).

Segundo testemunhos de gelo, o comportamento da última interglaciação apresentou um início congruente ao observado nas 3 últimas, apresentando um máximo de 268 ppm a cerca de 10 mil anos atrás (figura 4), seguido de uma queda até próximo de 8 mil anos, quando atingiu o valor de 261ppm. Entretanto, a partir deste ponto, houve um crescimento anômalo sem contraparte nos registros, chegando à concentrações de 280 - 285ppm no último milênio. Assim como ocorreu com o metano, o acréscimo de CO₂ deve ser maior que os 20-25ppm observados, uma vez que devemos também incluir o decréscimo natural esperado, o que nos deixa com uma anomalia de 40ppm.

Algumas hipóteses buscando causas naturais para tal anomalia foram propostas. Uma delas, por Indermuhle *et al* (1999, apud RUDDIMAN, 2003), afirma que o aumento nas concentrações de CO₂

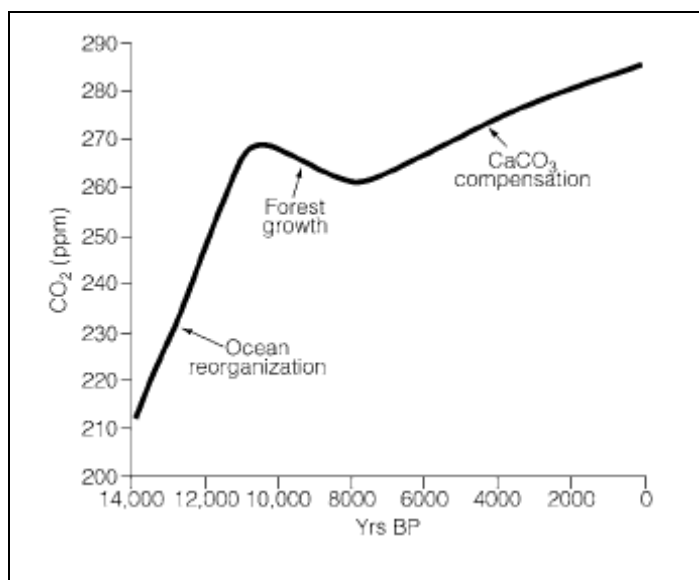
nos últimos 6 mil anos reflete a perda de biomassa pelos ecossistemas terrestres devido ao avanço de biomas mais secos (tais como desertos, savanas e tundra) sobre formações florestais úmidas, avanço este diretamente relacionado a diminuição da área e intensidade das monções

IV Encontro Nacional da Anppas

4,5 e 6 de junho de 2008
Brasília - DF – Brasil

tropicais. A primeira crítica a essa proposta é o fato de que dinâmicas ecológicas semelhantes também devem ter ocorrido nas últimas interglaciações, apesar de nestas a tendência anômala de CO_2 não ter sido observada. Um outro ponto é a quantidade necessária de biomassa para aumentar os níveis de CO_2 em 40 ppm : 320 GtC⁵. Foley (1994, apud RUDDIMAN, 2003), usando o modelo DEMETER, estimou a contribuição das mudanças da vegetação dos últimos 6 mil anos no balanço do carbono atmosférico e verificou uma perda de apenas 36 GtC, valor equivalente a apenas 11% do total necessário para explicar o observado. O modelo apontou que a perda de carbono resultante do avanço de vegetações mais secas foi compensado pela estocagem de carbono no solo, principalmente nas regiões boreais.

Outra hipótese para explicar o aumento da concentração de CO_2 é a mudança no balanço químico do carbonato de cálcio nos oceanos. Ela é baseada no avanço de formações florestais sobre áreas antes ocupadas por geleiras. Sabendo que a atmosfera e os oceanos funcionam como um sistema integrado, o crescimento das florestas sequestrava mais CO_2 do que o repunha, promovendo uma redução das concentrações desse gás nos oceanos (na forma de ácido carbônico), provocando um ligeiro aumento do pH, fato esse suficiente para depositar CO_2 na forma de carbonato de cálcio (CaCO_3) no fundo marinho. Quando cessou o crescimento florestal a 8 mil anos (figura 5),



os níveis do dióxido de carbono voltaram a crescer, resultando em acidificação do oceano e a liberação do CO_2 antes armazenado na forma de CaCO_3 . Entretanto, o aumento das concentrações deste gás no últimos 8 mil anos foi quatro vezes maior do que foi armazenado na forma de carbonato de cálcio previamente (figura 5) e nas últimas interglaciações a mesma dinâmica oceânica ocorreu; apesar de nenhuma tendência anômala foi observada.

Figura 5 - Explicação proposta para a mudança no balanço químico do carbonato de cálcio oceânico e o aumento das concentrações de CO_2 . (fonte: Ruddiman, 2003)

⁵ GtC = Giga toneladas de Carbono (10^9 t)

1.3O Desflorestamento antrópico pré-industrial como explicação do crescimento das concentrações atmosféricas de CO₂ no Holoceno tardio

A hipótese aqui proposta por Ruddiman (2003) defende um papel de destaque para as contribuições humanas no que diz respeito as emissões de gases do efeito estufa alguns milênios antes da era industrial. Estas contribuições seriam as responsáveis pela tendência anômala de crescimento das concentrações de dióxido de carbono observadas nos últimos 8 mil anos. A visão moderna atribui papel significativo às emissões humanas a partir da revolução industrial, época que remonta a apenas 200 anos. Apesar das emissões antrópicas em períodos pré-industriais serem muito menores que as atuais, o seu efeito cumulativo desde o início da prática da agricultura traz evidências para corroborar a hipótese. Estima-se que entre 8 mil anos e o início do século XIX, as emissões antrópicas fossem de cerca de 0,04 GtC/ano, as quais ao longo de 7.800 anos representariam 320 GtC jogados na atmosfera. Esse valor coincide com o valor necessário para o acréscimo de 40 ppm de CO₂ na atmosfera observado na figura 4. Já as emissões dos últimos duzentos anos (média de 0,8 GtC/ano) somam juntas 160 GtC acrescentados ao estoque atmosférico.

O crescimento dos níveis de CO₂ coincide com o surgimento e expansão da agricultura na Eurásia a 10 mil anos atrás. Índícios paleobotânicos apontam para atividades agrícolas na região mesopotâmia datando dessa época. Rapidamente a agricultura se espalhou pelo sul da Europa e Mediterrâneo. Aproximadamente na mesma época os Chineses dominavam o plantio do arroz e usavam extensas áreas alagadas para o cultivo. Em questão de séculos era uma atividade difundida por todo velho mundo. A partir de 4 mil a.c., o desflorestamento ganhou força com a introdução do arado de bronze e outras ferramentas; projetos de irrigação desviavam rios e criavam novas áreas alagadas. O homem foi aprimorando seu modo de manipular o ambiente assim como suas emissões de gases estufa.

A concentração de CO₂ já havia atingido 80% do seu valor atual no primeiro século depois de Cristo. Até essa data, as atividades humanas já tinham se diversificado bastante. Uma população crescente na China, Índia e Europa, demandavam muito alimento, além de madeira e carvão para a calefação e cozimento. A introdução do ferro e arados puxados por animais foi um dos divisores de águas tecnológicos da agricultura. Rapidamente as grandes nações consumiram suas florestas. A domesticação de animais também demandou espaço e a prática de queimadas para abrir pastagens era muito utilizada. Evidências arqueológicas mostram intenso fluxo de sedimentos para os lagos e estuários europeus a partir de 3 mil a.c., indicando erosão acentuada

IV Encontro Nacional da Anppas

4,5 e 6 de junho de 2008

Brasília - DF – Brasil

— das margens dos rios devido ao deflorestamento; registros palinológicos⁶ mostram uma alteração da vegetação para formas mais abertas durante o mesmo período referido. Entretanto, para a hipótese ganhar força, não se pode basear apenas em dados qualitativos. Levando em conta estimativas da área original da vegetação em cada região a 8 mil anos, o quanto foi desmatado e a emissão de CO₂ por metro quadrado para cada tipo florestal, pode-se calcular o quanto foi emitido para até o início da era cristã .

As emissões provindas do desmatamento até cerca de 2 mil anos atrás correspondem entre 224 – 249 GtC (RUDDIMAN, 2003). Inventários e censos de civilizações antigas demonstram o impacto humano em poucos milênios: Guilherme, o conquistador, no ano de 1086 d.c., fez um levantamento das áreas florestais na Grã-Bretanha (uma das áreas florestais mais preservadas da Europa na época) e verificou que 75% de toda a vegetação original já havia sido derrubada. No século I antes de Cristo, a população Chinesa girava em torno de 56 milhões, sendo necessárias grandes extensões de terra para sustentar tamanho contingente. Portanto, o homem já era capaz de contribuir com emissões significativas de gases estufa antes da era cristã, emissões estas suficientes para explicar o aumento nos níveis de CO₂ de 8 mil anos até 2 mil anos atrás.

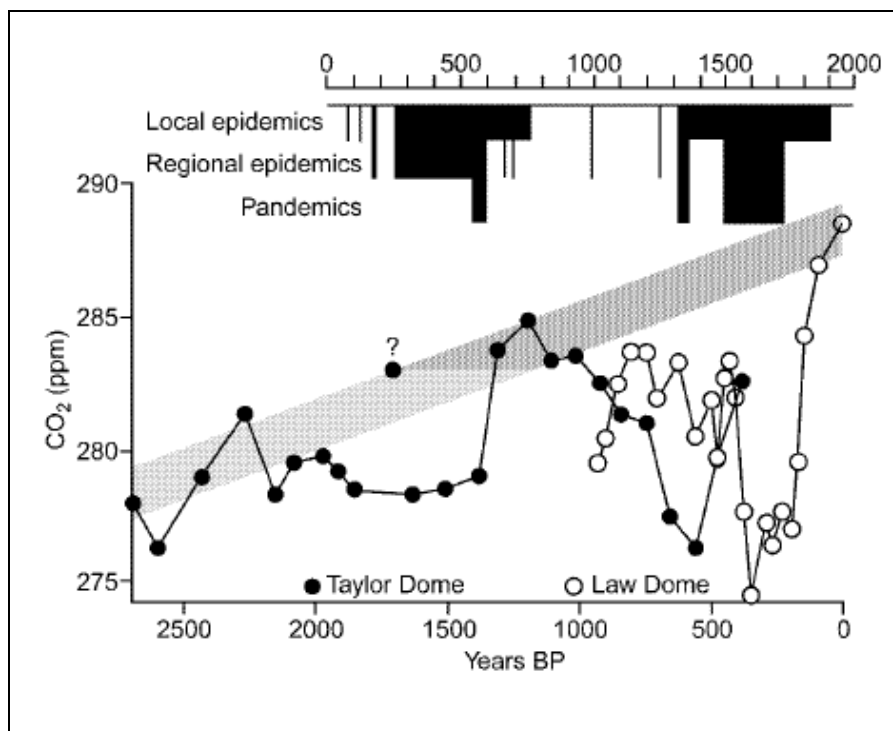
Entretanto, nos últimos mil anos, os níveis de gás carbônico sofreram quedas de até 10ppm durante pequenos intervalos que variavam de algumas décadas a séculos (figura 6). Considerando que o crescimento de CO₂ é atribuído às atividades humanas, principalmente a agrícola, tais quedas na Idade Média deveriam refletir algum evento que tivesse afetado a produtividade rural. Guerras, enchentes e secas foram levantadas como possíveis causas. Contudo, tais eventos são localizados e de curta duração, não suficientes para explicar o observado. Uma hipótese mais plausível é a de grandes epidemias que possuíam grande abrangência e afetavam por mais tempo as populações. Se buscarmos equivalências entre as quedas verificadas nos registros no gelo de Taylor Dome e Law Dome⁷ (figura 6) e grandes epidemias, vê-se as seguintes correspondências:

- A primeira queda, entre 2.000 e 1.500 anos atrás, coincide com a epidemia de varíola na China que durou de 265 d.c e 313 d.c; a praga de Justiniano (540 d.c. – 542 d.c.) dizimou 25% da população da Europa e norte da África;
- A segunda queda nos níveis de CO₂ observada em ambos os registros (mais acentuada na Taylor Dome) entre 1.000 e 500 anos atrás; coincide com a pandemia de peste bubônica do século XIV que atingiu Europa e Ásia e chegou a eliminar metade da

⁶ Palinologia é a ciência que estuda a morfologia dos pólenes e esporos.

⁷ Locais de extração de testemunhos de gelo, em bases de pesquisas na Antártida.

população em determinadas áreas. Epidemias de peste bubônica periódicas assolaram a Europa no período entre o século XVI e XVIII.



Durante grandes epidemias, a população evadia do campo, abandonando os feudos e propriedades rurais, os quais rapidamente davam lugar a floresta. Em episódios nos quais havia uma mortalidade alta, o crescimento da floresta sequestrava carbono, refletido nos intervalos de queda dos níveis atmosféricos de CO₂ durante a Idade Média.

Figura 6 - registros de testemunhos de gelo do Taylor Dome e Law Dome. (fonte: Indermuhle *et al.*, 1999 e Ethereridge *et al.*, 1996, apud Ruddiman, 2003)

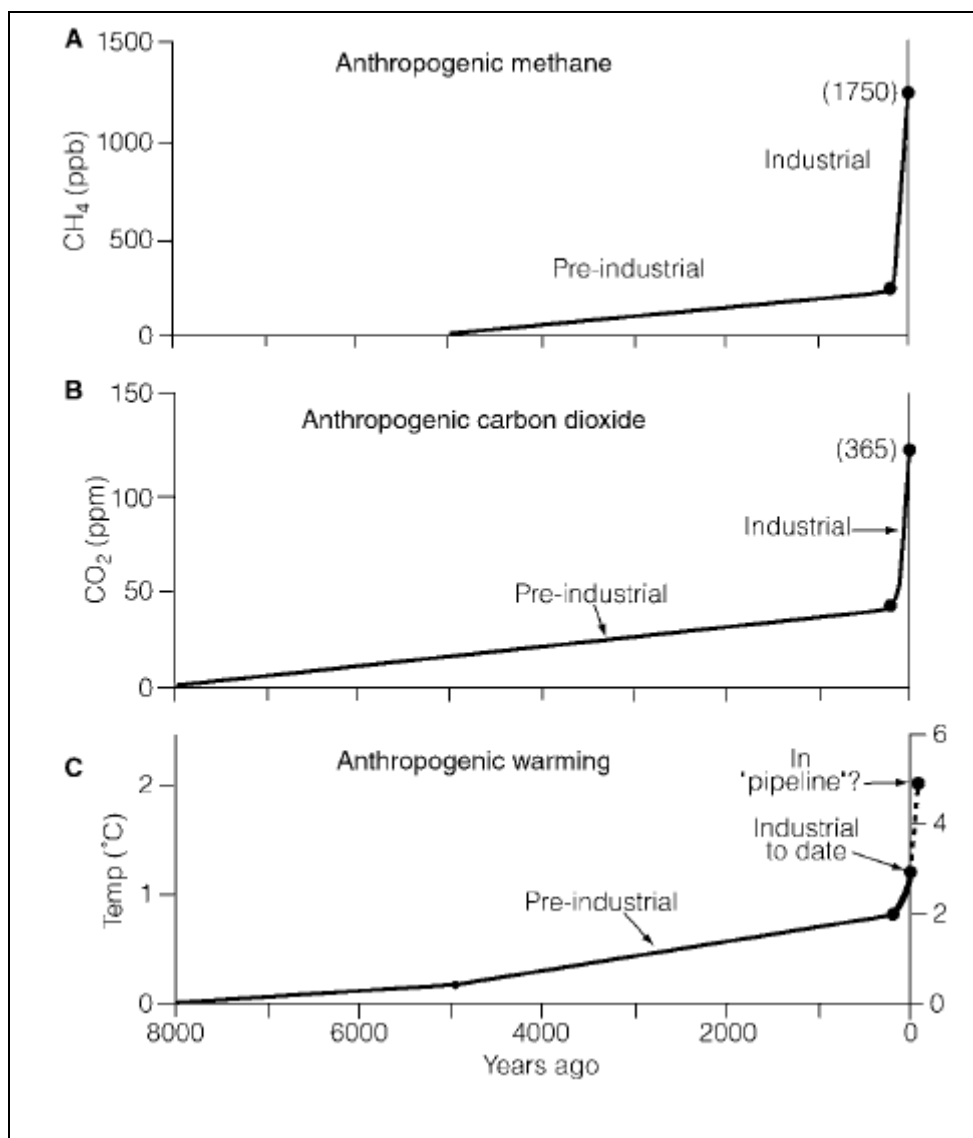
Entretanto, um ou dois séculos depois as fazendas eram reocupadas e a mata novamente derrubada, emitindo de volta o CO₂ antes fixado na forma de biomassa. Estimativas de quanto de carbono teria sido sequestrado pelo reflorestamento de áreas abandonadas durante esses eventos correspondem as quedas de até 10ppm nas concentrações de dióxido de carbono.

1.4 Efeitos das emissões antropogênicas pré-industriais de gases estufa

O aumento gradual das concentrações de metano e gás carbônico permitiram que o sistema climático entrasse em equilíbrio térmico com as forças radiativas. Estima-se que o aumento de 250ppb de metano seja responsável pelo acréscimo de 0,25 °C na média global e os 40ppm de dióxido de carbono responsável por 0,55 °C, ocasionando um aumento aproximado de 0,8°C nas temperaturas médias globais (figura 7). Em altas latitudes esse aumento foi de até 2 °C. O aquecimento foi diluído em 8 mil anos e, por ter sido lento, passou despercebido; o aumento da

IV Encontro Nacional da Anppas
4,5 e 6 de junho de 2008
Brasília - DF – Brasil

temperatura vivido por uma geração era muito pequeno para ser sentido. Em contrapartida, as emissões antrópicas dos últimos 200 anos geraram um aquecimento médio global de 0,45 °C.



Acredita-se que esse aquecimento pré-industrial, apesar de pequeno, impediu o início de uma nova era glacial entre 5 e 3 mil anos atrás, uma vez que as temperaturas mais amenas nas altas latitudes limitou o surgimento e expansão dos núcleos de glaciação do Hemisfério Norte e Sul. Modelos de balanço energético indicam que sem esse aquecimento pré-industrial as temperaturas no

Figura 7 - Estimativas das emissões de metano (A) e gás carbônico (B) nos últimos 8 mil anos; (C) reflexo das emissões pré-industriais e industriais das emissões antrópicas no aumento da temperatura média global (a estimativa foi feita com base no conceito de sensibilidade climática do equilíbrio do 3° relatório do IPCC, 2001). (fonte: Ruddiman, 2003)

Norte do Canadá teriam sido baixas o suficiente para permitir a expansão

de geleiras. Essa hipótese será melhor explorada a seguir.

2. HIPÓTESE DO RETARDAMENTO DE UMA NOVA GLACIAÇÃO DEVIDO A EMISSÕES ANTROPOGÊNICAS PRÉ-INDUSTRIAIS

Testemunhos de gelo obtidos do lago Vostok relativos aos últimos 400 mil anos permitiram sintonizar a periodicidade da variação das concentrações de metano e gás carbônico atmosféricos e ciclos astronômicos de radiação solar. Tendo em mãos esses dados, é possível detectar anomalias no comportamento atmosférico desses gases nas últimas centenas de milhares de anos com grande grau de confiança (Ruddiman *et al.*, 2005).

Como já discutido previamente, comparações feitas tendo como base as últimas três interglaciações demonstraram um comportamento fora do esperado para estes gases durante a interglaciação do Holoceno. Críticos reclamam que tal comparação pode levar a conclusões equivocadas, uma vez que alguns parâmetros diferem entre si, tais como insolação e excentricidade⁸ da órbita terrestre. Portanto, devemos comparar as tendências atuais com as de outros períodos nos quais a insolação e concentrações de gases variaram de forma similar aos do Holoceno. Análises feitas a partir de amostras do lago Vostok mostraram um comportamento da insolação análogo ao que ocorreu no Holoceno a cerca de 400 mil anos, tendo seu mínimo datado em 397 mil anos atrás. O testemunho indicou uma queda nos níveis de metano e gás carbônico, estacionando próximo de 445ppb e 252ppm respectivamente, pouco antes do mínimo de insolação (figura 8). Esses dados reforçam as projeções feitas para estes gases ao longo do Holoceno segundo a teoria orbital das monções (figuras 3 e 4). Alguns modelos climáticos apontam que o gelo deveria ter atingido seu volume mínimo a 6 mil anos e, então, iniciar um crescimento a partir de núcleos de glaciação do Canadá e Antártida. Comportamento parecido ocorreu no período (400 mil anos atrás) tomado como referência às condições modernas, dando força a hipótese que as geleiras deveriam estar em franca expansão nos dias atuais.

Para verificar tal possibilidade, dois experimentos foram feitos usando o modelo climático GENESIS 2. O primeiro experimento simulava o cenário climático atual tendo como base as concentrações atmosféricas de metano e gás carbônico relativos a 1980 (1.653 ppb e 345 ppm, respectivamente). Para avaliar o grau de confiabilidade, a simulação foi comparada com as médias climatológicas dos últimos 50 anos, obtendo um resultado próximo ao observado.

⁸ Excentricidade representa a variação da órbita de um planeta em relação ao sol. Quanto mais próximo de “um” seu valor, mais elíptica é a órbita e “zero” indica uma órbita circular.

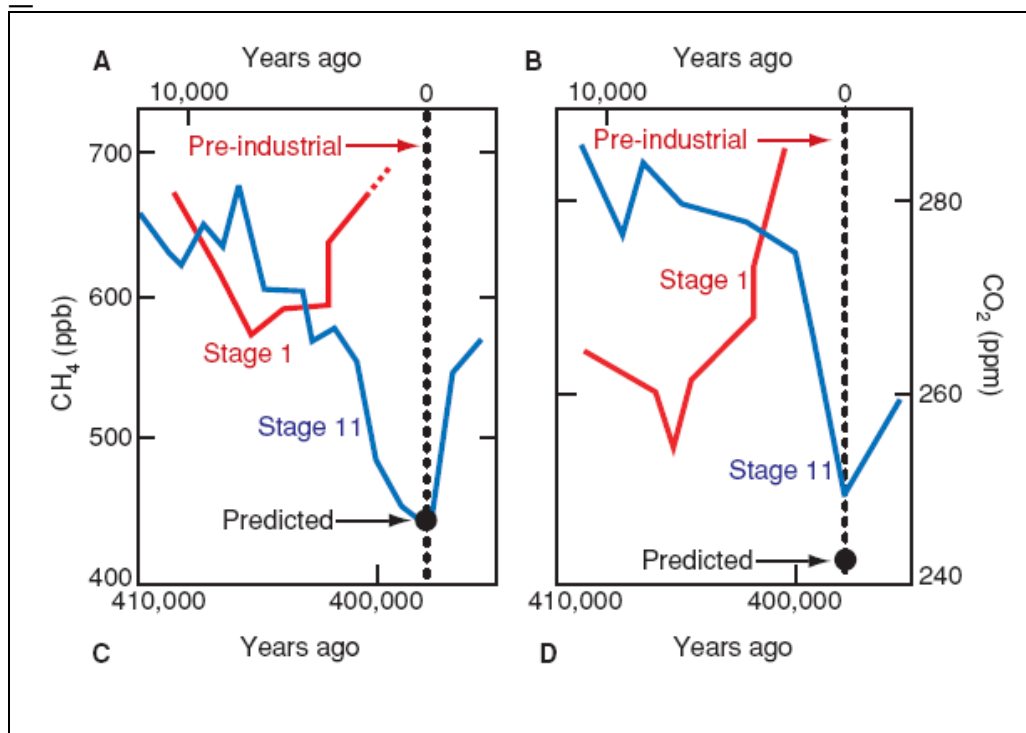


Figura 8 - Variação das concentrações de metano (A) e gás carbônico (B) durante a última interglaciação (stage 11) e a interglaciação análoga a 400 000 anos atrás (stage 1) . (fonte: Ruddiman, 2005)

O segundo experimento simulou o cenário atual sem as contribuições antropogênicas tanto pré-industriais como industriais (cenário de baixas concentrações de gases de efeito estufa). As concentrações de metano e gás carbônico

utilizados foram respectivamente 450ppb e 240ppm, valores esses que seriam os atuais caso suas concentrações seguissem a tendência natural (ver figuras 3 e 4).

Os resultados obtidos mostram uma diferença de cerca de 2 °C nas médias de temperatura quando comparamos o cenário-controle e o cenário sem as contribuições humanas. Em altas latitudes essa diferença pode ser ainda maior, chegando a 4°C durante o inverno do hemisfério Sul e 4-5°C ao longo do inverno Ártico (figura 9). O cenário de baixas concentrações de gases do efeito estufa apontou para uma persistência maior da cobertura de neve durante o verão na Ilha Baffin e no platô de Labrador (ambos no norte do Canadá). Neste cenário, atualmente, regiões da Ilha Baffin estariam sob condições típicas de uma glaciação incipiente e regiões do Labrador e da Baía Hudson estariam próximas desse limiar; já no cenário-controle a neve desaparecia no verão. Sabemos hoje que as últimas regiões a terem suas placas de gelo derretidas após a última glaciação foram exatamente estas apontadas acima. Apesar de apenas especulação, é razoável crer que essa regiões sejam áreas de “nucleação glacial”, ou seja, áreas onde principia-se a expansão do gelo durante o início das eras glaciais.

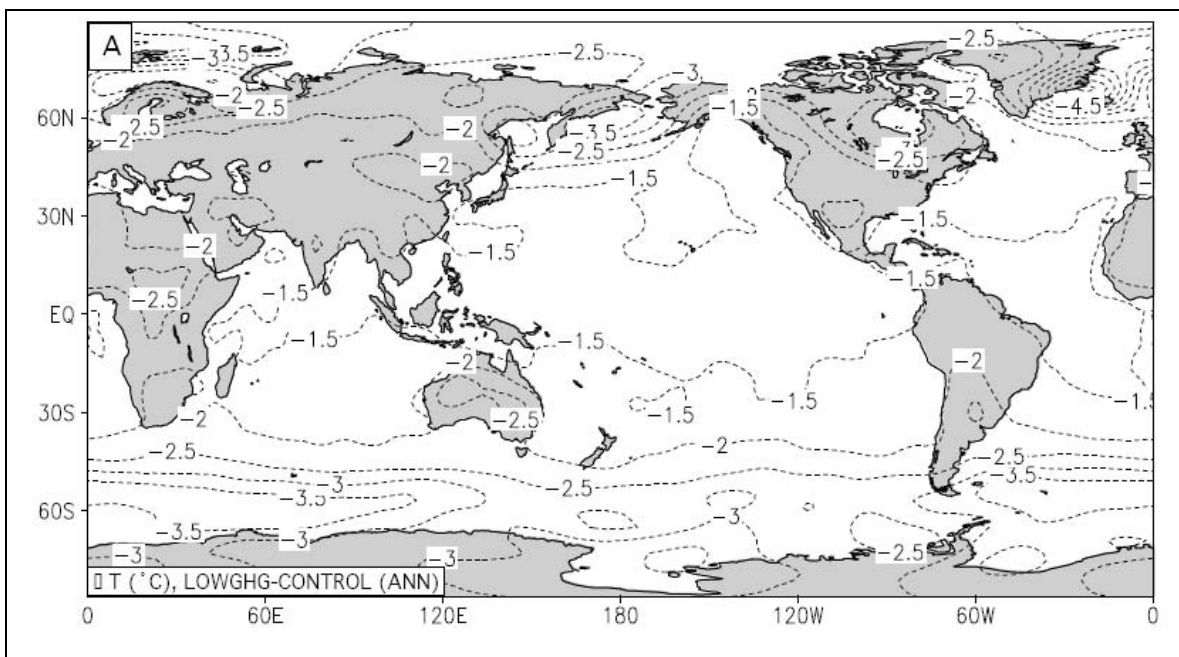


Figura 9 - Diferença entre a média da temperatura global do cenários sem as emissões antrópicas industriais e pré-industriais e o cenário controle segundo o modelo GENESIS 2. (fonte: Ruddiman, 2005).

Os resultados obtidos pelo GENESIS 2 provavelmente subestimam a real quantidade de neve que teríamos no Canadá, uma vez que não leva em conta alguns parâmetros, tais como retroalimentações positivas oriundas da mudança da vegetação (intimamente relacionado ao albedo) e a dinâmica oceânica. Talvez futuros modelos possam corrigir as simplificações do modelo usado e dar um quadro mais próximo do que seria a realidade da Terra.

3. HIPÓTESE TÊNDENCIA A UM AQUECIMENTO GLOBAL NATURAL: EMISSÕES HUMANAS COMO AGENTE POTENCIALIZADOR

A teoria proposta por Ruddiman *et al.* apresentada nesse trabalho afirma que estaríamos na eminência de uma nova era glacial se não fosse o aquecimento resultante das emissões antrópicas industriais e pré-industriais. Tal conclusão foi inferida a partir de modelos paleoclimáticos e comparações entre as condições atuais e os registros referentes aos três últimos períodos interglaciais (figura 4 b).

Entretanto, tal hipótese não é unânime no meio acadêmico. Berger e Loutre (2002) apresentaram diferentes projeções que apontam para um longo período de aquecimento natural

IV Encontro Nacional da Anppas

4,5 e 6 de junho de 2008
Brasília - DF – Brasil

nos próximos 50 mil a 70 mil anos. Acredita-se que, em escala geológica, os ciclos climáticos são determinados pela insolação (quantidade de radiação que chega aos níveis mais altos da atmosfera). Esta, por sua vez, está relacionada à excentricidade da órbita terrestre. Quanto maior a excentricidade, maior a variação da insolação. Podemos observar na figura 10 que uma maior variação da excentricidade da órbita terrestre durante os dois últimos ciclos glaciais foram acompanhadas por grandes variações na insolação (chegando até a variações de 125 W/m^2), o que explicaria um período curto entre as glaciações. Ao se observar as projeções para os próximos 130 mil anos, vê-se um período de aquecimento mais pronunciado, consequência de uma variação pequena da excentricidade, o que poderia resultar em um intervalo mais conspícuo antes da próxima glaciação. Em outras palavras, não poderíamos usar como referência os últimos 200 mil anos para projeções climáticas de curto prazo.

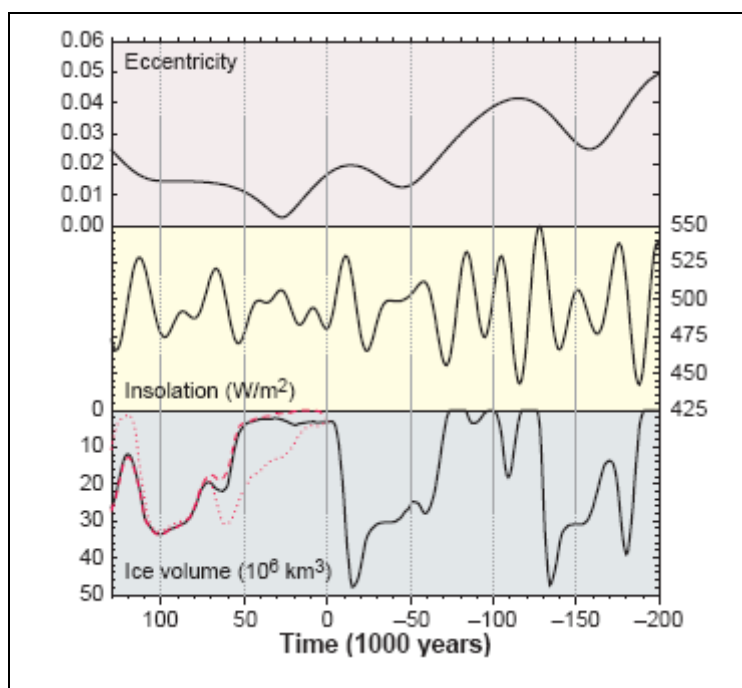


Figura 10 - Variação da excentricidade, insolação e volume do gelo dos últimos 200 mil anos e as projeções para os próximos 130 mil anos. (fonte: Berguer e Loutre, 2002)

Analisando-se o volume de gelo, três cenários para as concentrações de CO_2 foram considerados para o futuro (figura 10): (i) valores do último ciclo glaciação/interglaciação (linha contínua); (ii) atmosfera com 750 ppm resultantes das emissões antrópicas, projeção na qual o volume de gelo chegaria a zero, incluindo derretimento total do gelo da Groenlândia (linha tracejada); concentração constante de 210ppm indicando a situação hipotética de ausência dos gases estufas

antropogênicos (linha pontilhada). Independente do cenário, os pontos encontram-se num horizonte de 70 mil

Anos. A Teoria de Gaia ressurgue com força, assumindo seu papel de reguladora do planeta Terra

Prospecções realizadas no lago Vostok e no Domo C (figura 11) nos mostram que a variação do clima não demonstrou um padrão uniforme no último milhão de anos, alternando ciclos caracterizados por pequenas amplitudes nos valores de temperatura e outros apresentando amplitudes maiores.

IV Encontro Nacional da Anppas

4,5 e 6 de junho de 2008

Brasília - DF – Brasil

— Caso estes modelos estejam corretos, o homem não teria retardado o início de uma nova era glacial como propôs Ruddiman, mas sim reforçado um período naturalmente longo de aquecimento global. Isso demonstra a dificuldade em chegar a projeções seguras para o futuro, característica de uma ciência como a paleoclimatologia, que trabalha com cenários não mais existentes, reconstruídos a partir de evidências, sob a óptica investigativa de um observador, que por mais imparcial que seja não está imune a sua subjetividade.

4.CONCLUSÕES

A visão mais aceita, tanto dentro da academia quanto na sociedade, acredita que as contribuições antrópicas só adquiriram um papel significativo após a revolução industrial, a partir da qual o modo de produção, consumo e fontes energéticas (principalmente combustíveis fósseis) lançaram na atmosfera bilhões de toneladas de gases estufa. Entretanto, uma abordagem multidisciplinar, levando em conta dados históricos, paleoclimáticos, paleobotânicos, antropológicos e modelos climáticos apontam para um papel determinante do homem no aquecimento global muito antes do século XIX.

Aspecto importante a levantar é a hipótese de Ruddiman de que estaríamos em uma ascensão de um período glacial, com temperaturas médias inferiores a atuais ($-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) nas regiões equatorial e na Groelândia respectivamente, o que poderia trazer transtornos diferentes dos atualmente vivenciados, como aumento da camada de gelo nos pontos embrionários (Antártida, Groelândia); diminuição de terras agricultáveis, redução da taxa de evaporação e consequentemente diminuição nos índices pluviométricos em partes do globo (hemisfério norte principalmente). Em contrapartida, Berger e Loutre recentemente apresentaram uma hipótese que defende uma tendência natural de aquecimento climático durante os próximos milênios. Nesse caso, os gases provenientes de fontes antropogênicas estariam potencializando o processo.

Independente de qual das duas hipóteses esteja mais coerente com a realidade, a contribuição humana para o aquecimento global é indiscutível e, portanto, pelo menos a curto prazo (dentro de uma perspectiva geológica), influencia a dinâmica do sistema climático, com consequências ainda não totalmente esclarecidas. Uma ação conjunta entre a comunidade científica, sociedade em geral, organizações e governos deve ser empreendida na busca de soluções que evitem um colapso climático nas próximas décadas.

IV Encontro Nacional da Anppas

4,5 e 6 de junho de 2008

Brasília - DF – Brasil

— As medições de climas passados e a coleta de dados podem frustrar-se. Os dados instrumentais normalmente são incompletos porque se concentravam em eventos extremos e não em datação diária e persistente do clima local. Glaciais podem destruir evidências avançadas e as capas de gelo ao derreter distorcem a visualização das linhas das camadas sobrepostas de neve, ocasionando medições erradas das diferentes sobreposições. Nos solos dos lagos e oceanos criaturas podem borrar os sedimentos depositados por milhares de anos. A Paleoclimatologia deve buscar em todas as alternativas plausíveis, maneiras para aprimorar suas medições, e construir alicerces sólidos de confiabilidade em seus dados

REFERÊNCIAS

- AUGUSTIN, L. et al. Eight glacial cycles from an antarctic ice core. *Nature*. V. 429, p. 623 – 628, 2004.
- BERGER, A.; LOUTRE, M. F, . An exceptionally long interglacial ahead ? *Science*. V. 297, p. 1287 – 1288, 2002.
- DEMARTTHON, F. Spotlight on the polos, *CNRS International magazine*. n. 6, p. 18 – 23, 2007.
- ESCALON, S. The sight of climate change, *CNRS International magazine*. n. 6, p. 26 – 29, 2007.
- GIBBARD, P. ; van KOLFSCHOTEN, T. The Pleistocene and Holocene Epochs. In: Gradstein, F. M. ; Ogg, J. G. ; Smith, A. G. (eds.), *A geologic time scale 2004*, Cambridge University Press, p. 441 – 452, 2004.
- RUDDIMAN, William F. The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago. *Climate Change*. N. 61, p. 261 – 293, 2003.
- RUDDIMAN, W. F., VAVRUS, S. J., KUTZBACH, J. E., A test of the overdue-glaciation hypothesis, *Quaternary Science Review*, n. 24, p. 1 -10, 2005.