

NOSSA CAPA



MUDANÇAS CLIMÁTICAS – OCEANOS, OS PULMÕES DO MUNDO

ROBERTO GAMA E SILVA^(*)
Contra-Almirante (Ref²)

SUMÁRIO

Mudanças climáticas
Variações da energia irradiada pelo Sol
Deriva de placas tectônicas
Variações da órbita da Terra em torno do Sol
Variações antrópicas
Caminhos a trilhar

MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O clima da Terra é dinâmico, sujeito a variações constantes. Desde que o planeta atingiu o estágio atual, dividido em massas continentais, água e atmosfera, há evidências de alterações contínuas, embora lentas, no seu panorama climático.

Essas variações podem ser percebidas claramente à luz de dados geológicos, que as retratam como épocas de glaciação separadas por longos períodos quentes. As glaciações globais ocorreram no decorrer do

Pré-Cambriano, do Devoniano e no final do Carbonífero, respectivamente há 700, 400 e 330 milhões de anos. Mais recentemente, durante o Pleistoceno, iniciou-se um novo período de glaciação, conhecido como “Idade do Gelo”, que teve início, aproximadamente, há 1 milhão de anos.

Durante os períodos glaciais, boa parte da superfície da Terra permaneceu coberta de neve, cobertura essa que tendia a avançar dos polos para o equador terrestre, chegando, em casos extremos, a atingir latitudes da ordem de 40°. Acredita-se que os

(*) O Almirante Gama e Silva se dedica, há duas décadas, a contribuir para conscientizar a sociedade brasileira em relação à importância da Amazônia e das questões que a afetam. Para apreciação dos nossos leitores, listamos ao final deste artigo as suas matérias publicadas na *RMB*.

períodos glaciais foram provocados pelas variações do posicionamento relativo das massas continentais, que acompanham o movimento das placas tectônicas sobre as quais se assentam, pelas elevações de terras (geração de montanhas) provocadas pelos choques entre essas placas, pelas variações da órbita da Terra em torno do Sol e, ainda, pelas flutuações no fluxo de energia irradiada pelo Sol.

VARIAÇÕES DA ENERGIA IRRADIADA PELO SOL

Flutuações da energia irradiada pelo Sol, mais do que qualquer outro fator, são capazes de alterar sensivelmente a distribuição da irradiação solar sobre a superfície da Terra.

O Sol, estrela mais próxima da Terra, é uma formidável máquina térmica que fornece energia para todos os seus planetas.

O “astro rei” é um corpo gasoso composto majoritariamente de hidrogênio (aproximadamente 80% da sua massa), associado ao hélio. Estima-se que a temperatura interna da estrela seja superior a 20 milhões de graus centígrados, servindo como fonte de energia para as reações de fusão nuclear que ocorrem no seu interior. As reações são provocadas pela junção de quatro núcleos (prótons) de hidrogênio para gerar um núcleo de hélio (partícula alfa). Quando se sabe que a massa dos quatro núcleos de hidrogênio é 0,7% maior do que a massa de um núcleo de hélio, pode-se afirmar que o excesso será convertido em energia, de acordo com a equação de Einstein: $e=mc^2$. Como “c”, no caso, é igual a 300 mil quilômetros por segundo (velocidade da luz), a conversão de massa em energia resulta num número mui-

to grande, mesmo que a massa convertida seja muito pequena. Parte dessa energia é concentrada, por convecção, na superfície do Sol e daí irradiada para o espaço sideral.

A superfície do Sol, conhecida como fotosfera, irradia energia à temperatura de 6.000°C. A Terra recebe apenas dois bilionésimos da energia total transferida do Sol para o espaço. Não obstante, a quantidade de energia solar interceptada pela Terra é muito grande, chegando a 3,67 x 10²¹ calorias por dia (uma caloria é a quantidade de calor necessária para elevar em 1°C a temperatura de um grama de água).

Basicamente, 45% dessa energia interceptada pela Terra é visível (0,3 a 0,8 micrômetros), 46% situa-se na faixa infravermelha (0,8 a 100 micrômetros) e 9% na faixa ultravioleta (0,0001 a 0,3 micrômetros).

A Terra recebe apenas dois bilionésimos da energia total transferida do Sol para o espaço

Por simplificação, a energia recebida pelo sistema Terra-atmosfera é conhecida como constante solar, não obstante as flutuações que experimenta a irradiação solar. A constante solar

pode ser definida como a energia que incide perpendicularmente sobre a camada mais alta da atmosfera. Seu valor é igual a 1,97 calorias por centímetro quadrado por minuto, ou então 1.372 watts por metro quadrado.

A superfície da fotosfera apresenta uma série de áreas mais escuras e menos quentes, denominadas manchas solares (*sunspots*), que se apresentam como borões negros na face do Sol e de tamanho razoável (alguns milhares de quilômetros de diâmetro). As manchas solares são causadas por campos magnéticos de grande intensidade que suprimem o fluxo de gases que transportam calor do interior para a fotosfera.

São recentes os estudos que relacionam a circulação geral da atmosfera e o clima com as manchas solares, embora sejam estas conhe-

cidas desde o tempo de Galileu Galilei. Pesquisa conduzida por Hurd Willet, do Instituto de Tecnologia de Massachussets (MIT), sugere que as modulações do clima não são causadas por variações graduais da radiação solar, mas por variações irregulares associadas às erupções solares. Foi sugerido, outrossim, que há um ciclo de 80 anos nas variações climáticas, correspondentes a ciclo similar de ocorrência das manchas solares.

No último milênio, o clima variou repetidamente, não obstante a rapidez com que se processaram algumas dessas variações. Entretanto, houve uma variação de maior amplitude e duração, que se prolongou desde o século XIV até o século XVIII, denominada, na Europa, **Pequena Idade do Gelo**.

Os primeiros sinais de queda das temperaturas no Hemisfério Norte, onde se acompanhou, com farta documentação, a evolução da Pequena Idade do Gelo, foram registrados a partir de 1197 pelos noruegueses, povoadores da Groenlândia, que assistiram à expansão do gelo, que lhes foi fechando inúmeras passagens marítimas que permitiam a ligação com a Islândia e a Noruega. Na Islândia, o clima sofreu um resfriamento brusco em 1197 e 1293, atingindo o ponto máximo em torno de 1300.

Os sintomas iniciais das mudanças climáticas, que já afetavam a Groenlândia e a Islândia, foram sentidos na área continental da Europa a partir do século XIII, sob a forma de vendavais e avanços do mar sobre terras baixas. O resfriamento aproximou os centros de baixa e de alta pressão na região do Mar do Norte de modo a aumentar sobremaneira a velocidade dos ventos. Há registros de, pelo menos, quatro grandes invasões do mar nas costas da Alemanha e da Holanda, responsáveis pela morte de 300 mil pessoas. Uma dessas invasões foi responsável pela formação do Zuider Zee, na Holanda, que só foi drenado no século passado.

As tempestades no mar tornaram-se tão frequentes que o Oceano Atlântico passou a ser conhecido pelos navegadores como **Mar Tenebroso**, na mesma época em que o Cabo da Boa Esperança era denominado **Cabo das Tormentas**. Entre 1400 e 1700, a queda de temperatura provocou a fome no Velho Continente, em função dos prejuízos impostos à agricultura. No rastro da fome vieram as guerras, que acabaram por tornar o período conhecido como *Dark Age*.

Modernamente, atribui-se o resfriamento ocorrido na Pequena Idade do Gelo à diminuição da frequência de manchas solares no período. Em 1893, o astrônomo Walter Maunder, ao pesquisar os arquivos do Old Royal Observatory de Greenwich, fez uma importante descoberta: a atividade geradora das manchas solares foi praticamente nula no período de 1645 a 1715. A geração de manchas solares no período, denominado *Maunder Minimum*, foi menor do que o número atual de manchas geradas em um ano.

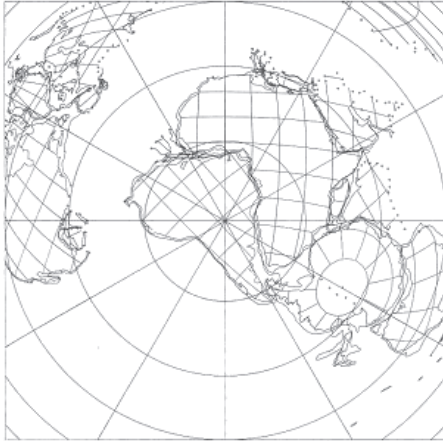
Tal constatação voltou a ser investigada em 1976, pelo astrônomo norte-americano John A. Eddy, que a confirmou, acrescentando, ainda, um episódio anterior de redução das manchas solares, para compor um período denominado *Spörer Minimum*, entre 1450 e 1550, coincidente com dois dos intervalos mais frios da Europa Ocidental.

DERIVA DE PLACAS TECTÔNICAS

A deriva das placas tectônicas e o surgimento de montanhas explicam, frequentemente, as mudanças climáticas ocorridas em intervalos de centenas de milhões de anos. A ausência quase total de carvão mineral no subsolo brasileiro, por exemplo, deve-se à posição da placa da América do Sul, que, no final do Devoniano e em grande parte do Carbonífero, pairava nas proximidades do Polo Sul.

O carvão mineral, como é sabido, formou-se a partir dos restos acumulados em

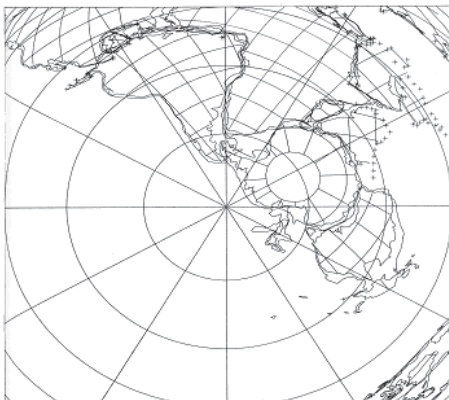
O Brasil no final do Devoniano
(360 milhões de anos atrás)



pântanos de plantas arbóreas, principalmente aquelas conhecidas como coníferas. Como no período principal de formação dos depósitos carboníferos o território brasileiro experimentava clima frio e árido, não houve oportunidade para a geração do carvão mineral.

O atual território brasileiro, ainda parte do supercontinente conhecido cientificamente pelo nome de Gondwana, só se aproximou das latitudes atuais no final do Triássico, isto é, há uns 200 milhões de anos.

O Brasil no final do Triássico
(220 milhões de anos atrás)



As variações climáticas que se repetem de 10 a 100 mil anos são atribuídas às mu-

danças rotineiras da órbita terrestre em torno do Sol. Ainda, o número de manchas solares e as flutuações da energia irradiada pelo Sol explicam as variações climáticas que ocorrem em intervalos de dezenas ou centenas de anos.

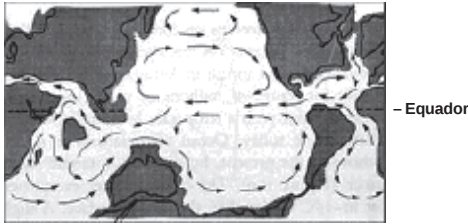
Um outro exemplo, bem mais recente, das variações climáticas decorrentes da deriva das placas tectônicas é o reaparecimento do gelo no Ártico e na Antártica, pois desde a glaciação do final do Carbonífero não havia neve na superfície terrestre. A despeito das baixas temperaturas reinantes nas calotas polares, estas não foram, por muito tempo, recobertas pelo gelo. Os primeiros sinais de gelo na Antártica datam do final do Oligoceno (mais ou menos há 25 milhões de anos) e foram percebidos por intermédio do transporte de rochas e outros minerais pelo gelo (*ice-rafting*). A cobertura de gelo, semelhante à atual, começou a se formar há uns 14 milhões de anos, embora se acredite que geleiras localizadas possam ter sido formadas antes dessa data.

A despeito da posição polar, já assumida, e do frio intenso reinante, não houve formação de gelo em data anterior por falta de umidade no ar. Com efeito, a circulação dos oceanos até o Paleoceno (60 milhões de anos atrás) era muito simples, dominada que era por uma corrente equatorial que circundava a Terra. A Austrália estava ligada à Antártica, bem como à América do Sul, razão pela qual não existia ainda a corrente circumpolar antártica que, mais adiante, contribuiu para a umidificação da atmosfera do continente austral.

A Austrália começou a se afastar da Antártica há uns 40 milhões de anos, abrindo um canal para o fluxo oceânico, enquanto que a ligação com a América do Sul foi rompida entre 30 e 25 milhões de anos atrás, dando origem à Passagem de Drake, ao sul do Chile. A partir daí surgiu a corrente

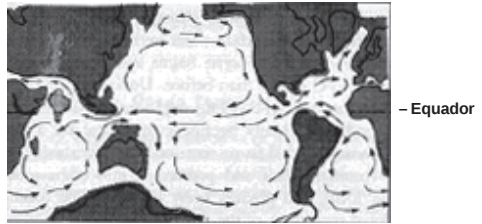
CIRCULAÇÃO DOS OCEANOS NO CENOZOICO – 66 MILHÕES DE ANOS ATÉ A ATUALIDADE

Paleoceno – 60 m.a.



Placa da Austrália separa-se da Antártica – 40 m.a.

Final do Eoceno – 40 m.a.



Corrente circumequatorial em atividade – Abertura da corrente circumpolar antártica, em torno de 25 m.a.

Princípio do Mioceno – 20 m.a.



Interrupção da corrente circumequatorial com a
emissão do Istmo do Panamá – 3 m.a.

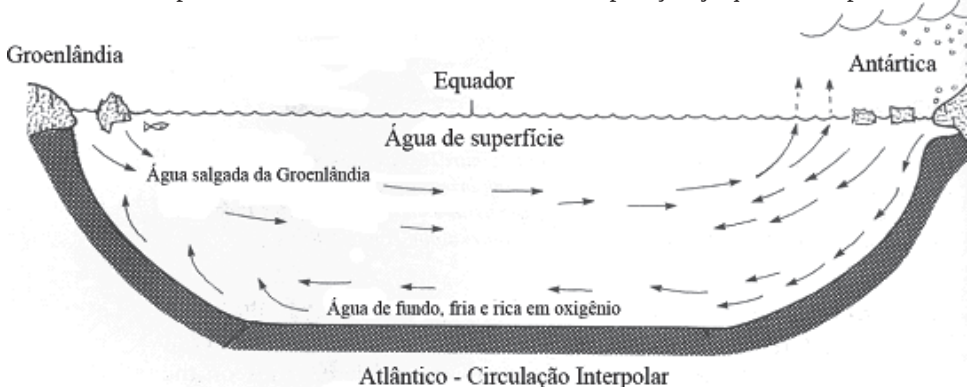
circumpolar antártica, umidificando a atmosfera e dando origem à produção de neve que, aos poucos, iniciou o recobrimento de todo o continente.

A atual cobertura de gelo da Antártica, entretanto, só assumiu a proporção conhecida no final do Mioceno, isto é, há menos de 25 milhões de anos. Curiosamente, num intervalo de clima bem ameno no planeta.

O retardamento no aumento do gelo na Antártica, desde o início da formação da corrente circumpolar, deveu-se à insufici-

ência de umidade na região. A dose complementar de umidade surgiu devido a fenômenos que ocorreram no Atlântico Norte, com a separação entre a Groenlândia e a Noruega, no Mioceno, seguida do afundamento da crista entre a Islândia e as Ilhas Faroe, última barreira que impedia a circulação abissal da água do mar no rumo sul.

Quando essa corrente submarina aflorou à superfície no litoral antártico, devido ao fenômeno da ressurgência, ocorreu um incremento na evaporação, já que sua temperatura era



superior às dos mares locais, fato que reduziu no aumento da precipitação de neve.

No Polo Norte, a história da cobertura de gelo é semelhante, embora mais recente. A causa definitiva foi a ligação final entre as duas Américas pelo Istmo do Panamá, que ocorreu no período compreendido entre 3 e 5 milhões de anos atrás. A emersão do Istmo do Panamá interrompeu o fluxo da corrente equatorial, que, no Atlântico Norte, foi desviado para nordeste, com o nome de *Gulf Stream*, tornando-se responsável pela umidificação da atmosfera nas altas latitudes boreais. A componente da corrente equatorial global, ao sul do equador, foi a Corrente do Brasil, quente e, por esse motivo, responsável pelas chuvas abundantes que caem sobre o território brasileiro.

Com essa conjugação de eventos, estava aberto o caminho para o período glacial mais recente, a Idade do Gelo, que começou há uns poucos milhares de anos e, caso ainda não tenha chegado ao fim, deu origem ao atual período interglacial. Do início até 10 mil anos atrás, quando o gelo completou o seu recuo, pelo menos 17 períodos de glaciação e 17 períodos interglaciais ocorreram na Europa, conforme evidencia o estudo dos sedimentos do fundo do mar. Esses períodos, no entanto, acham-se embutidos em quatro intervalos de glaciação principais, em que as temperaturas na Terra permaneceram, em média, 6°C abaixo das temperaturas médias atuais.

Como as geleiras têm um efeito extremamente destrutivo, apagando sinais anteriores, sabe-se muito do último período glacial, conhecido como *Wurm*, na Europa, e *Wisconsin*, na América do Norte, e apenas um pouco do período anterior, conhecido como *Riss*, na Europa, e *Illinoian*, na América do Norte.

A Idade do Gelo fez-se anunciar em torno de 115 mil anos a.C., com uma queda de temperatura global e dois curtos intervalos ainda mais frios. Por volta de 75 mil anos a.C., ocorreu uma queda na temperatura glo-

bal ainda mais intensa. Daí por diante, a temperatura passou por várias fases, todas elas geladas, até atingir o intervalo mais crítico entre 28 mil e 10 mil anos a.C.

Mais ou menos 7 mil anos a.C., as geleiras da Idade do Gelo desapareceram com certa rapidez, e as temperaturas no Hemisfério Norte passaram a subir, atingindo níveis comparáveis aos de hoje. No entanto, em torno de 4 mil anos atrás, a temperatura média da Terra manteve-se a uns 5°C acima da atual, tendo sido considerada o “climatógrafo ótimo” do planeta.

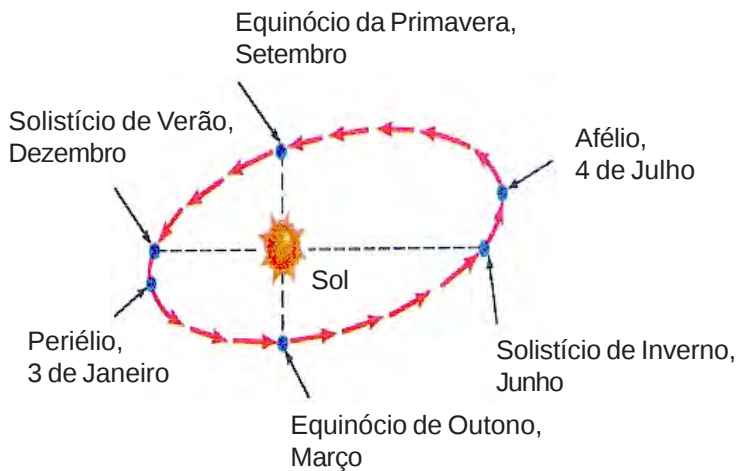
Estima-se que, no período glacial, cerca de 58 milhões de quilômetros cúbicos de água tenham sido removidos dos oceanos para formar as geleiras continentais. Esse volume equivale a 5%, aproximadamente, de toda a água existente na Terra, razão pela qual houve uma retração dos mares de cerca de 120 metros. O volume exato do gelo remanescente na superfície dos continentes devido à Idade do Gelo é conhecido com razoável precisão e indica que, se todo ele retornasse ao estado líquido, o nível dos mares subiria entre 60 e 80 metros, o que faria com que fossem alagadas as principais metrópoles do planeta.

VARIAÇÕES DA ÓRBITA DA TERRA EM TORNO DO SOL

O cientista sérvio Milutin Milankovich, especialista em climas, observou que há uma relação direta entre as mudanças regulares dos episódios glaciais e interglaciais e as variações sistemáticas na relação geométrica entre a Terra e o Sol.

As observações de Milankovich concentraram-se em três elementos da geometria Terra-Sol: o movimento de precessão do eixo da Terra; a inclinação do eixo da Terra, que varia entre 22°06' e 24°30'; e a excentricidade da órbita terrestre, isto é, a variação dos eixos da elipse.

As Quatro Estações (Hemisfério Sul)



A inclinação do eixo da Terra em relação ao equador celeste, além de provocar a divisão do ano em quatro estações, tem um outro efeito paralelo: à medida que a inclinação aumenta, aumentam os contrastes entre as quatro estações. Quanto maior o ângulo de inclinação, mais frios os invernos e mais quentes os verões. O ciclo completo da variação do ângulo do eixo da Terra dura 41 mil anos.



O ciclo de precessão do eixo da Terra, que se completa a cada 23 mil anos, altera as datas do periélio (ponto de maior proximidade do Sol, cerca de 147×10^6 quilômetros) e do afélio (ponto de maior distância do Sol, 152×10^6 quilômetros). Destarte, há um aumento dos contrastes sazonais em um hemisfério, enquanto se registra uma queda dos mesmos contrastes no outro.



As variações de excentricidade da elipse, que representa o caminho seguido pela Terra em torno do Sol, alteram a distância que separa os dois astros, provocando variações sazonais na chamada constante solar. Observações recentes demonstram uma estreita correlação entre as temperaturas e as radiações solares que atingem a superfície da Terra, dentro do modelo construído com as constantes de Milankovich.

VARIAÇÕES ANTRÓPICAS

O nosso planeta, a Terra, é envolvido por uma camada de gases e aerossóis, a atmosfera, com pouco mais de 180 quilômetros de espessura, o que equivale a dizer muito delgada em relação ao diâmetro terrestre, da ordem de 12.472 quilômetros. Não obstante a pequena espessura, a atmosfera é essencial para a vida

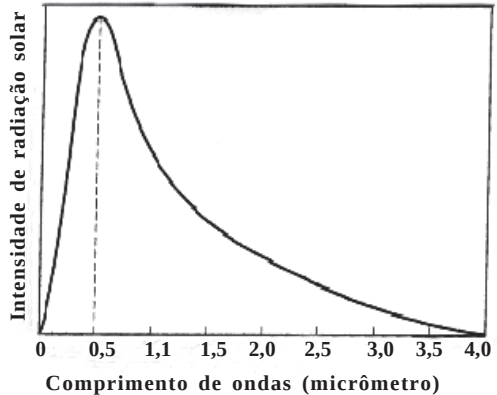
e para o funcionamento de todos os processos físicos e biológicos da Terra. Ela é a responsável direta pelas temperaturas favoráveis da biosfera, pelo fornecimento dos gases necessários à respiração celular e à fotossíntese, pelo suprimento de água doce e até mesmo pela proteção de todos os seres vivos contra as perigosas radiações da faixa ultravioleta.

São dois os principais componentes gasosos da atmosfera, o nitrogênio (N_2) e o oxigênio (O_2), cujas participações volumétricas na composição do ar seco são, respectivamente, 78,084% e 20,946%. O restante do volume do ar seco divide-se entre uma dúzia de outros gases, em que se destacam, pela participação volumétrica, o argônio (A), com 0,934%, e o dióxido de carbono (CO_2), com 0,0353%. Em adição, participando regionalmente com percentuais variáveis com o tempo, mas perfazendo uma média global de uns 3% do volume total da atmosfera, aparece o vapor de água, vital à sobrevivência de todas as formas de vida do planeta.

Os aerossóis são minúsculas partículas, líquidas ou sólidas, em suspensão na camada gasosa. Alguns aerossóis, gotículas de água e cristais de gelo, são visíveis sob a forma de nuvens. Os demais, sólidos, muito pequenos para serem vistos a olho nu, são lançados na atmosfera pelo vento, como produtos da erosão dos solos (poeira), de incêndios, de erupções vulcânicas e de atividades industriais e agrícolas. Até mesmo partículas de meteoros, vindas do espaço, aparecem na atmosfera como aerossóis.

A energia solar aciona a atmosfera, fazendo-a circular e determinando as condições climáticas. O Sol emite, primariamente, uma faixa de radiação de comprimentos de onda situados entre 0,25 e 2,5 micrômetros, sendo que o pico da radiação solar exibe um comprimento de onda de 0,5 micrômetro (o verde, do espectro visível). Isso porque, para qualquer corpo, o com-

primento da onda de radiação mais intensa é dado pela fórmula: $\lambda_{\max} = 2.880/T$, onde T é a temperatura do corpo emissor, expressa em graus Kelvin ($273 + ^\circ C$). A temperatura do Sol é igual a $6.000^\circ C$. A figura abaixo ilustra a distribuição da radiação solar, relacionando o comprimento de ondas e a intensidade de radiações.



Quando a radiação solar penetra na atmosfera, há uma interação com os gases e aerossóis, que poderão refleti-la, dispersá-la ou absorvê-la. Obviamente, a quantidade de energia radiante que não é refletida ou dispersada de volta para o espaço e, também, não é absorvida pelos gases e aerossóis atingirá a superfície da Terra, onde novas interações terão lugar. De acordo com a lei de conservação da energia, a soma do percentual que é absorvido pela atmosfera, do que é refletido ou dispersado e do que passa para a superfície da Terra será igual a 100%. O balanço anual da radiação solar sobre o sistema Terra-atmosfera é, normalmente, o seguinte:

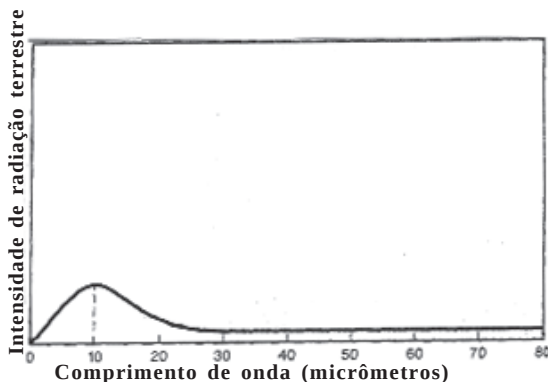
Reflexão e dispersão pelo sistema	31%
Absorção pela atmosfera	23%
Absorção pela superfície da Terra	46%
Total	100%

Pode-se concluir, então, que o albedo, isto é, a razão entre a radiação refletida e a

radiação incidente do planeta, é da ordem de 31%. Se as radiações do Sol fossem absorvidas continuamente pelo sistema Terra-atmosfera, sem que houvesse qualquer fluxo de calor para fora do sistema, as temperaturas da superfície da Terra e da atmosfera tenderiam a crescer continuamente, tornando inexecutável a vida na biosfera.

Acontece que a Terra também emite radiações, obedecendo às mesmas leis físicas que se aplicam a todos os corpos. O aquecimento do planeta, que condiciona a sua temperatura externa, deve-se à energia recebida do Sol e à própria energia interna, cujas fontes principais são as radiações dos elementos radioativos do subsolo.

Por exibir temperaturas externas bem inferiores às do Sol, apenas cerca de 285°K, as radiações terrestres situam-se na faixa infravermelha do espectro eletromagnético. O pico de energia das emissões corresponde ao comprimento de onda de 10 micrômetros, conforme mostra a figura que se segue.



Pois bem, o aquecimento devido à absorção das radiações solares é compensado pela fuga de calor do sistema Terra-atmosfera para o espaço, por intermédio das radiações infravermelhas. Para tanto, contribui o fato de as radiações solares incidirem apenas sobre a face iluminada do planeta, enquanto que as radiações infravermelhas são produzidas continuamente, dia e noite, pelo sistema Terra-atmosfera.

O fenômeno natural denominado efeito estufa, que vem operando continuamente há mais de 1 bilhão de anos, não é uma perturbação atmosférica provocada pelo homem. Muito ao contrário, foi um dos fatores que deram margem ao aparecimento do homem no planeta

A temperatura média da superfície terrestre e da troposfera (camada mais baixa da atmosfera) é estabelecida pelo efeito estufa, assim chamado porque se assemelha ao efeito produzido pelas estufas, construções recobertas com vidro, onde se cultivam plantas nos países de clima frio. Nas estufas, os vidros permitem a entrada das radiações solares, que são absorvidas e aquecem o ambiente. O calor irradiado pelos corpos conservados na

estufa, na faixa infravermelha, é absorvido pelos vidros que o retêm por algum tempo, o suficiente para manter o ambiente aquecido.

No caso do sistema Terra-atmosfera, a atmosfera, que só captura 23% da radiação solar interceptada pelo planeta, absorve praticamente 94% da radiação infravermelha da superfície da Terra, sendo parte dessa energia irradiada de volta para a superfície e a outra parte lançada no espaço. A absorção da radiação solar pelos gases da atmosfera é seletiva: cada gás absorve intensamente em determinados comprimentos de onda e muito pouco ou nada nos demais. Esse mecanismo retarda a liberação da energia para

o espaço, por manter uma troca de calor contínua no interior do sistema Terra-atmosfera. Consequentemente, a biosfera tem a sua temperatura elevada até o nível compatível com as diversas manifestações de vida existentes na Terra.

Com efeito, vista do espaço, a Terra irradia numa temperatura da ordem de -18°C , enquanto que a temperatura média da biosfera pode ser considerada como sendo 15°C . Então, o efeito estufa eleva a temperatura da biosfera em cerca de 33°C .

Eis aí, em resumo, a descrição do fenômeno natural denominado efeito estufa, que vem operando continuamente há mais de 1 bilhão de anos, desde que a atmosfera passou a ser rica em oxigênio, não sendo, portanto, uma perturbação atmosférica provocada pelo homem. Muito até pelo contrário, ele, o efeito estufa, foi um dos fatores que deram margem ao aparecimento do homem no planeta.

Apenas para não deixar escapar a oportunidade de ressaltar um outro fenômeno paralelo, cumpre destacar o papel termorregulador da hidrosfera, com o que ficará ainda mais realçada a perfeição da obra do Criador.

Os oceanos ocupam mais de dois terços da superfície do planeta. O albedo dos oceanos varia com a altura do Sol, mas, em média, é bem inferior ao de qualquer outra superfície. A partir da altura do Sol de 30° , a absorção das radiações solares pelo oceano é superior a 94%. Além disso, a mistura vertical da água, por convecção, transporta o calor absorvido para profundidades consideráveis, bem superiores às aquelas em que cada comprimento de onda pode pe-

netrar (as radiações de cor azul são as que atingem maiores profundidades, podendo chegar até 200 metros).

Sobrepondo-se a esses fatos, a água é, ainda, a substância que exhibe o maior calor específico dentre todas as demais. Isso significa que a água é a substância que absorve maior quantidade de calor para elevar a sua temperatura e, inversamente, é também a substância que libera mais calor para baixar a sua temperatura. A área superior ocupada pelas águas na superfície do planeta (que bem poderia se chamar Água, em vez de Terra), junto com as propriedades da água, torna os oceanos coadjuvantes do efeito estufa, no sentido de amenizar o clima

terrestre, evitando saltos bruscos de temperatura entre os períodos diurno e noturno e, até mesmo, entre dias subsequentes.

Retornando-se ao tema principal – o efeito estufa –, deve ser mencionado que o seu principal agente é o vapor de água contido na atmosfera, tanto pela concentração, que pode chegar a até

O vilão principal do atual desafio com que se defronta a humanidade, qual seja o de estancar o aquecimento contemporâneo da atmosfera, é o dióxido de carbono

3% do volume do ar, como pela capacidade que apresenta de absorver radiações em todo o espectro infra-vermelho. Os demais gases que atuam no sentido de elevar a temperatura da biosfera, por intensificação do efeito estufa, são: dióxido de carbono (CO_2), ozônio (O_3), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e os freons ou clorofluorcarbonos (CCl_3F , CCl_2F_2 e $\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$). A tabela que se segue indica a concentração volumétrica desses gases na atmosfera, em partes por bilhão.

A tabela demonstra que o dióxido de carbono deve ter um papel importante na

Gás	Concentração atual	Concentração antes da era industrial	Incremento anual
CO ₂	353.000	280.000	0,7
CH ₄	1.738	790	0,9
NO ₂	310	288	0,8
O ₃	20 a 40	10	0,5 a 2,0
CFC	0,28 a 0,48	0	4,0

gênio e açúcares. O gás é liberado para a atmosfera e os açúcares são convertidos em tecidos vegetais. Admite-se que a fotossíntese produza anualmente 10^{16} moléculas-grama de oxigênio (1 mol de O₂ = 32 gramas). Desse total, três quartos correspondem à produção da vegetação continental e um quarto provém dos fitoplânctons dos mares.

intensificação do efeito estufa quando comparado com os outros gases nela listados, devido à sua concentração na atmosfera. Deve ser ressaltado, entretanto, que o metano, o óxido nitroso e os clorofluorcarbonos são muito eficientes como absorvedores de radiações infravermelhas por atuarem numa “janela” existente entre 8 e 10 micrômetros, em que a maior parte do calor emitido pela superfície da Terra escapa para o espaço. Todavia, como o fator concentração tem maior peso, o vilão principal do atual desafio com que se defronta a humanidade, qual seja o de estancar o aquecimento contemporâneo da atmosfera, é o dióxido de carbono.

A seguir, serão examinados os ciclos de oxigênio e carbono da atmosfera, para se chegar a uma conclusão sobre a causa maior do desequilíbrio no segundo ciclo e, por conseguinte, saber como eliminar as emissões perniciosas que poderão, em futuro ainda distante, provocar uma elevação no nível do mar e, paralelamente, alterar o zoneamento agrícola do planeta. Para analisar a atuação do dióxido de carbono na atmosfera, faz-se necessário conhecer tanto o ciclo do carbono quanto o ciclo do oxigênio, devido à ligação estreita entre os dois gases na atmosfera.

A presença do oxigênio livre na Terra está intimamente relacionada com o processo denominado fotossíntese, mediante o qual as plantas usam a energia solar para converter dióxido de carbono e água, oxigênio

total, três quartos correspondem à produção da vegetação continental e um quarto provém dos fitoplânctons dos mares.

Há, ainda, uma outra fonte de produção de oxigênio para a atmosfera, qual seja a dissociação do vapor de água pelas radiações da faixa ultravioleta, seguida de uma fuga de moléculas de hidrogênio para o espaço, antes que tenham elas oportunidade de se recombinar com o oxigênio livre. Esse processo é mais lento, eis que só libera 10^{10} moles de oxigênio por ano. Todavia, ao contrário da fotossíntese, não é um processo reversível e, destarte, acaba sendo a principal fonte de abastecimento do “reservatório” de oxigênio da atmosfera, que tem capacidade para estocar $3,8 \times 10^{19}$ moles de oxigênio, ou seja, $1,216 \times 10^{15}$ toneladas do gás em foco.

Note-se que a produção anual de oxigênio pela fotossíntese representa apenas 0,026% do gás armazenado no “reservatório” atmosférico, o que significa que, se não houvesse um mecanismo de remoção do gás, tal “reservatório” dobraria sua capacidade em 3.800 anos. Tal intervalo representa o tempo de residência do oxigênio na atmosfera e dá uma ideia concreta da rapidez ou da lentidão, conforme o ponto de vista, da reação da atmosfera a uma mudança brusca na velocidade de produção ou remoção do oxigênio.

Os mecanismos responsáveis pela remoção do oxigênio atmosférico e, por consequência, pela manutenção do equilí-

brio do seu ciclo são os processos de respiração e de decomposição, bem como o de oxidação das rochas, este último bem mais lento. A respiração e a decomposição são reações opostas à fotossíntese, que resultam na remoção do oxigênio atmosférico e do carbono orgânico superficial, para produção de água e dióxido de carbono. A atmosfera, no momento, contém $5,6 \times 10^{16}$ moles de CO_2 , que correspondem a 0,033% do volume do ar.

Para manter a atmosfera balanceada, a velocidade desse processo deve resultar na produção de 10^{16} moles de dióxido de carbono por ano ($1 \text{ mol de } \text{CO}_2 = 44 \text{ gramas}$), de modo a contrabalançar a produção, pela fotossíntese, das 10^{16} moles de oxigênio. O reservatório superficial de carbono orgânico é igual a 2×10^{17} moles, portanto 200 vezes menor do que o reservatório de oxigênio atmosférico. Como é fácil calcular, o tempo de residência do carbono nesse reservatório é igual a 20 anos. Portanto, por esse lado, bem rápida será a resposta a

qualquer tipo de alteração no balanceamento do dióxido de carbono presente na atmosfera.

Sabendo-se que a atmosfera anterior à atual era rica em dióxido de carbono e desprovida de oxigênio, deduz-se que a pequena dimensão do reservatório de carbono orgânico da litosfera faz com que não seja ele o único responsável pela produção do oxigênio. De fato, se, por hipótese,

a reação fotossintética parasse de repente, a decomposição subsequente de toda a matéria viva e a remoção total do carbono orgânico da superfície emersa da Terra consumiriam apenas meio por cento do oxigênio atmosférico ($2 \times 10^{17} / 3,8 \times 10^{19} = 0,00526$). Em outras palavras, a liberação de todo o carbono retido na fauna e na flora pouco afetaria o percentual de oxigênio da atmosfera. Tal constatação,

por si só, desfaz o mito do “pulmão do mundo”, não só em relação à floresta amazônica, mas para toda a vegetação do planeta.

Quem é então o “pulmão do mundo”?

É o grande volume de água salgada que recobre 71% da superfície da Terra?

O dióxido de carbono é trocado continuamente entre a atmosfera e a hidrosfera. A superfície dos mares libera, por evaporação, $5,5 \times 10^{15}$ moles de CO_2 por ano, que não contribuem para alterar o percentual do gás na atmosfera porque quantidade idêntica é absorvida e dissolvida no mesmo pe-

ríodo. A camada superior dos mares, entretanto, retém $3,2 \times 10^{18}$ moles de dióxido de carbono, já transformado em íons de bicarbonato (HCO_3^-). Além disso, os sedimentos que capeiam o fundo dos oceanos contêm 10^{20} moles de carbono orgânico e 5×10^{21} moles de carbonato de cálcio, esta última substância resultante de uma sequência de reações químicas, iniciadas a partir da

A liberação de todo o carbono retido na fauna e na flora pouco afetaria o percentual de oxigênio da atmosfera. Tal constatação, por si só, desfaz o mito do “pulmão do mundo”, não só em relação à floresta amazônica, mas para toda a vegetação do planeta

★ ★ ★

Quem é então o “pulmão do mundo”? É o grande volume de água salgada que recobre 71% da superfície da Terra?

combinação da água com o dióxido de carbono. Agora sim, apareceram os grandes “reservatórios” de carbono!

Como as reações químicas que se processam nos oceanos são reversíveis, chega-se à conclusão de que a concentração de dióxido de carbono na atmosfera é controlada pelo grau de acidez dos oceanos, uma vez que a reversibilidade atua como um circuito de realimentação negativa, bem sintonizado para equilibrar os ciclos de oxigênio e de carbono na atmosfera.

Note-se que os mais antigos sedimentos conhecidos na superfície da Terra datam de 3,8 milhões de anos atrás. No fundo do mar, todavia, a idade máxima dos sedimentos é da ordem de 150 milhões de anos, como resultado da sucção contínua das placas tectônicas pelas fendas-sumidouros, existentes nas fossas abissais. Portanto, o tempo de residência do carbono no maior dos seus “reservatórios” é da ordem de 150 milhões de anos, fato que confere excepcional estabilidade ao sistema.

Há ainda uma outra fonte de dióxido de carbono: a atividade vulcânica. Anualmente, as erupções vulcânicas descarregam na atmosfera $5,5 \times 10^{15}$ moles de dióxido de carbono. Para contrabalançar tal descarga, tornando a atmosfera estável, entra em ação um ciclo que opera lenta, mas continuamente, ao longo da escala geológica de

tempo, envolvendo a intemperização dos silicatos. Os efeitos gerais desse processo, alimentado por duas reações químicas, são: a transferência de carbonatos, depositados nos continentes para o fundo dos oceanos, e a conversão de silicatos em carbonatos. Como resultado da intemperização dos silicatos ocorrerá um pequeno

aumento na alcalinidade dos oceanos, que suscitará um aumento na absorção de dióxido de carbono da atmosfera, para que as águas voltem ao seu estado normal, isto é, ligeiramente ácidas.

Os oceanos, pulmões do mundo, controlam com admirável perfeição os ciclos naturais do oxigênio e do dióxido de carbono.

A partir do aumento da interferência do homem sobre a natureza, sobretudo após o início da era industrial, a atmosfera começou a receber quantidades adicionais de dióxido de carbono sem que houvesse qualquer escoadouro especial para compen-

sá-las. No afã de gerar energia, o homem começou queimando madeira e carvão vegetal, mas, tempos depois, passou a usar os combustíveis fósseis, carvão mineral e petróleo, retirados de “arquivos” subterrâneos, onde permaneceram estocados por períodos da ordem de 350 milhões de anos. Evidente que, após tanto tempo, esses derivados do carbono já haviam deixado de participar do ciclo respectivo.

Levantamento datado de 1987 acusou um despejo de 5,3 bilhões de toneladas de dióxido de carbono, resultantes da queima dessas substâncias. O mesmo levantamento revelou que uma terça parte da humanidade, residente nos países desenvolvidos, contribuiu com 3,9 bilhões de toneladas, isto é, 73,6%

★ ★ ★

Com 0,94% que crime ambiental cometeram, então, os brasileiros?

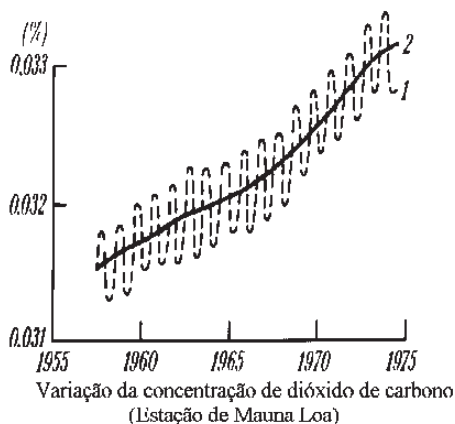
A queima de combustíveis fósseis, convém lembrar, é hoje responsável por 97% da energia total consumida pela humanidade, mas é também culpada pelo despejo na atmosfera de 10×10^{14} moles de dióxido de carbono por ano. O número citado corresponde à emissão anual medida no final da década de 70 e já aumentou bastante, eis que o consumo dos combustíveis fósseis vem crescendo à razão de 7,5% ao ano. Como resultado, a concentração de dióxido de carbono no ar elevou-se de 280 para 353 partes por milhão entre o início da era industrial e a época atual.

É interessante mencionar que levantamento datado de 1987 acusou um despejo de 5,3 bilhões de toneladas de dióxido de carbono, resultantes da queima dessas substâncias no ano referenciado. O mesmo levantamento revelou que uma terça parte da humanidade, residente nos países desenvolvidos, contribuiu com 3,9 bilhões de toneladas, isto é, 73,6% do total.

Por ordem, os sete maiores poluidores foram: Estados Unidos da América, com 1.224 milhões de toneladas; a finada União Soviética, com 1.013,6 milhões; a Europa Ocidental, com 791,6 milhões; a China, com 555,2 milhões; a Europa Oriental, com 365,7 milhões; e o minúsculo Japão, com 247,5 milhões de toneladas. Nesse contexto perdulário, os povos que habitam o Novo Mundo, da margem direita do Rio Grande ao Estreito de Drake, despejaram tão somente 229,7 milhões de toneladas de dióxido de carbono na atmosfera, menos do que os japoneses o fizeram. Coube aos brasileiros a responsabilidade nominal pelo lançamento de 50,2 milhões de toneladas de dióxido de carbono, isto é, apenas 0,94% do total mundial. Que crime ambiental cometeram, então, os brasileiros?

No final da década de 60, foram montadas duas estações para medição da concentração de dióxido de carbono na atmosfera, uma no tope do Mauna Loa (Havaí) e

outra na Antártica. A figura que se segue mostra o resultado das observações feitas no Mauna Loa entre 1958 e 1976.



No período, os registros indicam uma média anual de crescimento igual a 0,74 parte por milhão, o que corresponde a 0,25% do total de dióxido de carbono contido na atmosfera. Outro aspecto relevante indicado pelas observações está bem evidente na curva 1 (pontilhada), que foi traçada com os resultados reais das medições. As variações da curva 1, em torno da curva 2 (cheia), média das observações, destacam a influência decisiva da fotossíntese no ciclo anual do dióxido de carbono.

A concentração diminui nos meses de crescimento das plantas autotróficas e aumenta nos períodos de colheita e de repouso compulsório do solo, devido às condições climáticas. **Tal observação desfaz, sem margem de contestação, a crença de que as queimadas anuais, observadas pelos satélites no território brasileiro em geral, contribuem sobremaneira para o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera. Podem contribuir momentaneamente, por dois ou três meses, porque tão logo começam a brotar os vegetais plantados nos locais submetidos ao fogo para limpeza dos terrenos, o dióxido**

de carbono liberado pela queima é absorvido de volta para compor os tecidos das novas plantas.

A limpeza de terrenos com fogo, prática primitiva, na verdade só provocará um desbalanceamento na atmosfera quando tais áreas não forem usadas para o plantio. Então, o nervosismo com que os “agentes estrangeiros infiltrados” na sociedade nacional (mormente os representantes das Organizações Não Governamentais de fora) vivem disseminando notícias desabonadoras contra os brasileiros parece apenas uma tentativa para esconder as estimativas modernas, que apontam para um total de 15 milhões de quilômetros quadrados de áreas florestadas destruídas pelo homem (11,2% das terras emersas, sem contar a Antártica).

A responsabilidade por tamanho sacrilégio ambiental cabe, exatamente, aos países que expandiram os seus ecúmenos até os limites extremos dos seus territórios e, não satisfeitos com tal façanha, ainda montaram um esquema de dominação que lhes permite explorar predatoriamente os recursos naturais daqueles países que se atrasaram, por vários motivos.

A floresta ombrófila da Amazônia brasileira, por exemplo, que só ocupa uma área de 3,2 milhões de quilômetros quadrados,

é ainda um dos poucos sítios naturais do planeta, exatamente porque os brasileiros, até algum tempo atrás, vinham impedindo

a intromissão dos estrangeiros no processo de ocupação da região. Daí porque menos de 8% da área florestada primitiva sofreu modificações até a presente data.

As grandes exceções à regra, como a fracassada experiência da Fordlândia, o calamitoso Projeto Jari e, agora, a invasão das madeiras estrangeiras, foram todas tentativas de exploração

econômica conduzidas por pessoas desvinculadas da comunhão nacional. As queimadas observadas na Amazônia verdadeira (não confundi-la com a ficção jurídica denominada Amazônia Legal) ocorrem normalmente nas savanas, embutidas na região, e em áreas de várzea. Têm como finalidade a limpeza de áreas para plantio.

Como incidem sobre ecossistemas gramíneos, não atingem a vegetação arbórea e, como se destinam ao plantio, não contribuem para o desbalanceamento do ciclo de carbono. O resto é campanha insidiosa promovida por quem está de olho grande na

Amazônia brasileira, paraíso dos recursos naturais e da biodiversidade.

Como os países ricos preocupam-se tanto com essas queimadas, está nas mãos deles evitá-las. Bastaria que acertassem

Ademais, se os países ricos sentem tanta falta das florestas, que modifiquem espaços dos respectivos territórios, hoje ocupados para fins diversos, para recompor as antigas florestas que os seus antepassados devastaram em nome do progresso

Toda essa riqueza poderá ser perenizada, desde que a exploração econômica da região Amazônica seja conduzida com racionalidade

umas poucas alterações, bem simples mesmo, nas práticas econômicas que adotam, de modo que fosse eliminada a agiotagem nos financiamentos concedidos aos países que lutam para sair do subdesenvolvimento. Aí, com toda a certeza, os caboclos da Amazônia brasileira, normalmente descapitalizados, passariam a contar com máquinas para o preparo das áreas de plantio, em substituição ao fogo, que, por afetar a camada húmifera, acaba prejudicando a fertilidade do solo.

Ademais, se tais países sentem tanta falta das florestas, que modifiquem espaços dos respectivos territórios, hoje ocupados para fins diversos, para recompor as antigas florestas que os seus antepassados devastaram em nome do progresso.

Os brasileiros, uma vez liberados do estado de servidão em que se encontram e, por consequência, devidamente esclarecidos sobre as grandes questões nacionais, serão os primeiros interessados em zelar pela hileia, não pelos mitos que a cercam, nem mesmo pelo simples amor à natureza, mas pelo seu valor intrínseco.

Com efeito, o volume total das espécies já conhecidas no mercado de madeiras, apenas 60% do inventário florestal da região, representa um valor superior a 1 trilhão de dólares. Além disso, há que se computar diversas outras dádivas da natureza amazônica, frutos da incomparável biodiversidade regional. Toda essa riqueza, outrossim, poderá ser perenizada, desde que a exploração econômica da região seja conduzida com racionalidade. A racionalidade, ademais, impõe a conservação da hileia não pelo diminuto incremento que a sua

substituição poderá causar no efeito estufa, mas sim porque há uma relação biunívoca entre a floresta e o clima amazônico. Alterada substancialmente a floresta, alterar-se-á o clima, com consequências desastrosas para a região e para o País.

Discutidos esses detalhes paralelos, contudo de suma importância, volta-se ao assunto principal para uma conclusão sobre o que foi exposto: a responsabilidade maior pelo aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera fica por conta da queima de combustíveis fósseis, carvão mineral e petróleo.

Surge, conseqüentemente, uma pergun-

ta: “*por que os mecanismos naturais de balanceamento da atmosfera não estão compensando esse excesso de CO₂ produzido pela nova fonte?*” A resposta é muito simples. Como o consumo desses combustíveis cresce constantemente, os tais mecanismos de reali-

mentação vêm perseguindo o balanceamento sem jamais alcançá-lo. Aumentam, por exemplo, a alcalinidade dos oceanos, para que eles sejam capazes de absorver mais dióxido de carbono. Todavia, no momento seguinte, a quantidade do gás despejada na atmosfera é superior à programada pelo ajuste natural, e assim por diante.

Então, a dosagem mínima do remédio para evitar o aquecimento da biosfera, pela intensificação do efeito estufa, será a limitação do uso dos combustíveis fósseis a um determinado valor, que jamais poderá ser ultrapassado. No longo prazo, bem menor do que 20 anos, essa providência recolocaria as coisas no seu devido lugar.

Os brasileiros, serão os primeiros interessados em zelar pela hileia, não pelos mitos que a cercam, nem mesmo pelo simples amor à natureza, mas pelo seu valor intrínseco.

Todavia, talvez não seja aconselhável esperar tanto, uma vez que até lá o nível dos mares poderá sofrer um aumento perigoso para os habitantes das regiões litorâneas e o clima também poderá ter sido afetado o suficiente para alterar o zoneamento agrícola do planeta como um todo.

CAMINHOS A TRILHAR

As variações climáticas provocadas por fenômenos naturais são inevitáveis, embora seja possível abrandar os seus efeitos. Tal abrandamento exige, no entanto, o acompanhamento multidisciplinar dos ciclos desses fenômenos, inclusive da frequência das manchas solares, de modo a alertar e orientar, em tempo útil, a população do planeta sobre a alteração que se avizinha e as suas consequências. As variações provocadas pelo ser humano, no entanto, poderão ser contidas, desde que haja mudança no procedimento dos responsáveis pelo aquecimento da biosfera.

A solução aceitável para a questão será a de reduzir ao máximo o uso dos combustíveis fósseis, substituindo-os por outras fontes de energia. A natureza é tão milagrosa que bastará um pequeno empurrão do homem para que seja acionado todo um mecanismo natural de restabelecimento das condições climáticas anteriores. Isso porque, como se procurou demonstrar, o simples “congelamento” do lançamento de gases perniciosos na atmosfera é suficiente para neutralizar as alterações do clima. Não é absolutamente necessário um retrocesso

ao passado, abandonando os resultados da adoção das práticas atuais.

A troca dos combustíveis fósseis por outras fontes de energia “limpas”, combinada com o manejo racional dos bens da natureza, afastaria rapidamente o perigo de um aquecimento global provocado pelo homem.

O Brasil, por exemplo, mais do que qualquer outro Estado, tem capacidade para reduzir ao mínimo a emissão de gases tóxicos. Por armazenar 21% da água potável superficial do planeta e por ter seu território inserido na faixa tropical, não terá grandes dificuldades para eliminar parte do consumo de hidrocarbonetos, por substituição da energia equiva-

lente por aquela gerada pela energia cinética dos rios. Até hoje, menos do que 50% do potencial hídrico disponível no território brasileiro é aproveitado para geração de energia elétrica.

O álcool combustível e o biodiesel, ambos extraídos de vegetais, com certeza estarão incluídos no leque

de opções que a posição geográfica oferece ao Brasil com tanta generosidade. **A geração eólica**, tão eficiente, ainda está em estágio inicial de emprego, não obstante a frequência e a intensidade dos ventos que sopram na faixa litorânea do País.

O aproveitamento direto da energia solar, que deveria ser obrigatório, em muitos casos, também não se expandiu como sugere o ambiente equatorial e tropical do nosso território.

Outrossim, a diversificação de fontes, indispensável à confiabilidade e regularidade na produção de energia, deverá ser completada com a **instalação de usinas**

**A natureza é tão milagrosa
que bastará um pequeno
empurrão do homem para
que seja acionado todo um
mecanismo natural de
restabelecimento das
condições climáticas
anteriores**

nucleares, eis que o subsolo pátrio é rico em minerais radioativos.

Além disso, ainda há o recurso de se adotar a propulsão nuclear para navios, o uso do hidrogênio como combustível de veículos de grande raio de ação e da eletricidade para veículos urbanos, três fontes absolutamente “limpas” de aproveitamento energético, no que diz respeito ao lançamento de gases poluidores na atmosfera.

Não será, pois, a miopia e a subserviência de dirigentes desqualificados que deterrão os brasileiros na busca das soluções que a Mãe Natureza oferece para a independência energética, passo importante para a conquista da sonhada independência econômica que, afinal, livrará o Brasil dos grilhões centenários que vêm retardando a sua transformação em sede da primeira grande civilização a florescer nos trópicos.

Imagens das capas: <http://marcos.sodre.zip.net>
<http://wallpaper.worldsimple.com>
<http://wallpapers-diq.com>

CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:

<MEIO AMBIENTE> Clima; Política para o meio ambiente; Ecologia; Ciência e Tecnologia;

ARTIGOS DO ALMIRANTE GAMA E SILVA PUBLICADOS NA RMB

- Possíveis ameaças aos países da América do Sul (4º t 1993, p. 205-205)
- Seca no Nordeste, chuva de ouro para os marajás (1º t 1995, p. 254-254)
- Amazônia Brasileira (1º t 2000, p. 89-107)
- Descobrimento do Brasil (3º t 2000, p. 9-29)
- Aquecimento contemporâneo da atmosfera (3º t 2000, p. 173-184)
- Antártica ou Antártida (1º t 2001, p. 229-229)
- Planeta Água (2º t 2001, p. 147-149)
- Braz de Aguiar, o bandeirante das fronteiras remotas (3º t 2001, p. 39-43)
- A Amazônia, sua invasão, seu desmatamento e queimadas (4º t 2001, p. 95-103)
- As salvaguardas tecnológicas em Alcântara (4º t 2001, p. 105-107)
- O nióbio e a Open (4º t 2003, p. 65-76)
- A epopeia do Acre (2º t 2004, p. 133-152)
- A Amazônia, o Brasil e a dissuasão necessária (3º t 2004, p. 73-75)
- Variações climáticas (4º t 2007, p. 109-203)
- A Amazônia e a cobiça internacional (2º t 2008, p. 99-133)
- *Commodities* e minerais (3º t 2008, p. 75-82)
- Estratégia de defesa da Amazônia Brasileira (2º t 2009, p. 69-75)