

## VARIAÇÕES CLIMÁTICAS

ROBERTO GAMA E SILVA  
Contra-Almirante (Ref<sup>o</sup>)

O clima da Terra é dinâmico, eis que experimenta variações constantes. Desde que a Terra atingiu o estágio atual, dividida entre massas continentais, água e atmosfera, houve mudanças contínuas, embora lentas, no clima. Essas mudanças 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 há 1 milhão de anos, pouco mais ou menos.

Durante os períodos glaciais, boa parte da superfície da Terra permaneceu coberta de neve, cobertura essa que tendia a avançar

dos pólos para o equador terrestre, chegando, em casos extremos, a atingir latitudes da ordem de 40°. Acredita-se que os períodos glaciais foram provocados por variações da órbita da Terra em torno do Sol, em simultaneidade com variações do posicionamento relativo das massas continentais, que acompanham o movimento das placas tectônicas sobre as quais se assentam.

O cientista sérvio Milutin Milankovich, especialista em matemática, observou que a órbita da Terra é uma elipse, com pequena excentricidade que varia cerca de 2% no período de 100 mil anos. A distância entre o Sol e a Terra varia em função da variação da excentricidade. Ademais, o eixo da Terra é inclinado em relação ao plano da órbita do planeta. Devido à inclinação, o Hemisfério Sul recebe maior dose de aquecimento durante metade do ano, enquanto o Hemisfério Norte é mais aquecido na outra metade do ano. Tal incli-

nação, ou obliquidade, apresenta variações de 3° num período de 41 mil anos, e com ela variam a duração sazonal do dia e a quantidade de calor incidente sobre as altas latitudes. Finalmente, o eixo da Terra oscila, em torno de uma posição média, com uma periodicidade de 21 mil anos. Esse movimento, precessão, altera, ao longo da órbita, os pontos onde os solstícios e os equinócios ocorrem. 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. Também recentes são os estudos que relacionam a circulação geral da atmosfera e o clima com as manchas solares (*sunspots*), estas conhecidas desde o tempo de Galileu Galilei.

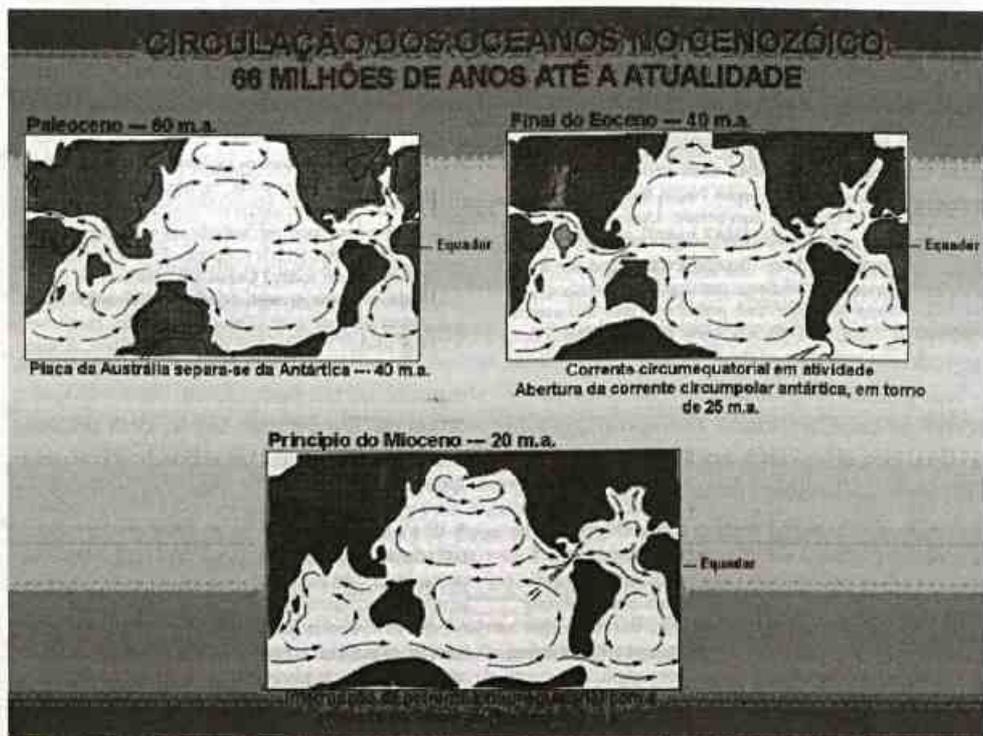
Pesquisa conduzida por Hurd Willet, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts, sugere que as modulações do clima não são causadas por variações graduais da radiação

solar, mas por variações irregulares associadas às erupções solares. Foi sugerido, outrossim, que há um ciclo de 80 anos nas variações climáticas, correspondentes a um ciclo similar de ocorrência das manchas solares.

Entretanto, por não se conhecer ainda uma explicação completa quanto à influência das manchas solares sobre a circulação da atmosfera, é prematuro o estabelecimento de uma correlação direta entre os dois fenômenos.

Interessante observar que entre a glaciação do final do Carbonífero e o recente período glacial não há sinais expressivos da presença de gelo na superfície da Terra. A despeito das baixas temperaturas nas calotas polares, nem elas foram recobertas pelo gelo nesse período.

Os primeiros sinais de gelo na Antártica datam do final do Oligoceno (mais ou menos 25 milhões de anos atrás), deixados pelo transporte de rochas e outros minerais pelo gelo (*ice-rafting*). A cobertura de gelo, se-



melhante à atual, começou a se formar há uns 14 milhões de anos, embora se acredite que geleiras localizadas e de pequeno porte possam se ter formado antes dessa data.

Não obstante a 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.

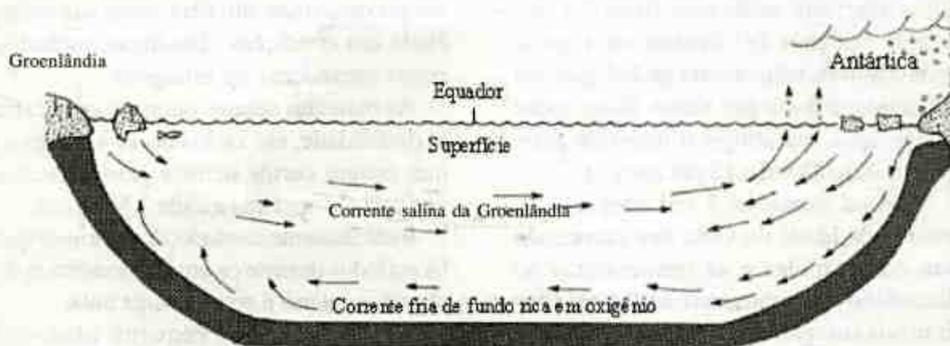
A Antártica estava ligada à Austrália, bem como à América do Sul, razão pela qual não existia ainda a corrente circumpolar antártica que, mais adiante, contribuiu para a umidificação da atmosfera do continente.

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 circumpolar antártica, umidificando a atmosfera e dando ori-

gem à produção de neve que, aos poucos, recobriu todo o continente.

A verdadeira cobertura de gelo da Antártica, entretanto, só assumiu a proporção atual no final do Mioceno, isto é, menos de 25 milhões de anos atrás, 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 insuficiência 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 Faroé, 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 redundou num aumento da precipitação de neve.



Circulação de fundo no Atlântico

No Pólo 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 5 e 3 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.

Com essa conjugação de eventos, estava aberto o caminho para o período glacial

mais recente, a "Idade do Gelo", que começou há 1 milhão de anos e, se ainda não terminou, deu origem ao atual período interglacial.

Do início até 10 mil anos atrás, quando o gelo completou o seu recuo, ocorreram pelo menos 17 períodos de glaciação e 17 períodos interglaciais na Europa, conforme evidência 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.

O período glacial mais recente 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 ainda maior na temperatura global, que, daí por diante, passou por várias fases, todas elas geladas, até atingir o intervalo mais severo, entre 28 mil e 10 mil anos a.C.

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

No último milênio o clima variou repetidamente, não obstante a pequena amplitude dessas variações. Mas houve uma variação de maior valor e duração, que se prolongou desde o século XIV até o século XVIII,

denominada na Europa de "Pequena Idade do Gelo". Entre 1650 e 1850, 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".

Quais foram as causas da "Pequena Idade do Gelo"? A sucessão de períodos frios e quentes depois da Idade do Gelo sugere que seja pesquisada uma causa episódica, ou mesmo periódica, na evolução do clima glacial para o interglacial ou pós-glacial.

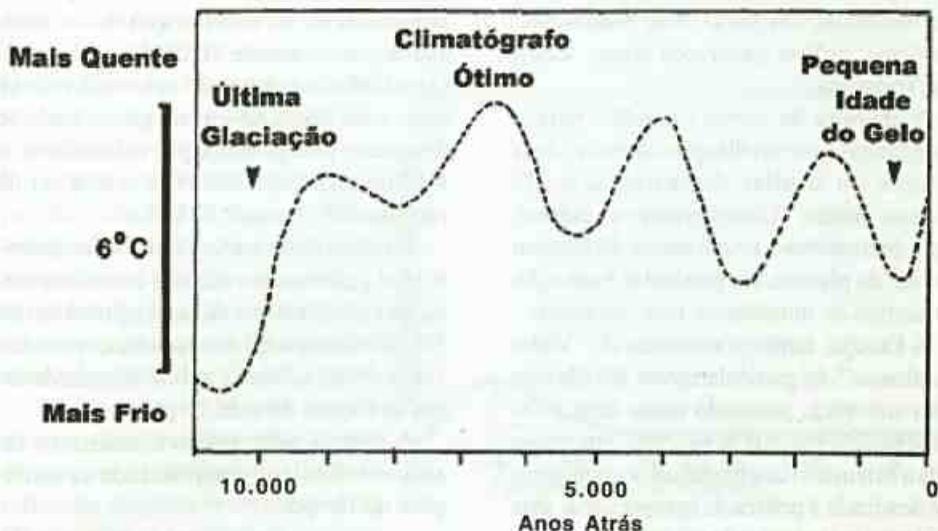
Um período de 2.500 anos é muito curto e elimina a hipótese da variação do clima em função das variações da órbita terrestre em torno do Sol. Também deve ser abandonada a hipótese dos deslocamentos das placas tectônicas, que têm uma periodicidade de milhões de anos. A circulação dos oceanos afeta o clima, mas é muito rápida para alterações da ordem de dois milênios. Prosseguindo-se com a pesquisa, chegar-se-ia às manchas solares, perturbações notáveis na superfície solar que há muito tempo despertam dúvidas sobre sua influência nas condições climáticas, inclusive como causadoras de estiagens.

As manchas solares ocorrem com certa periodicidade, em ciclos de 11 e 22 anos, que seriam curtos demais para provocar variações climáticas a cada 2.500 anos.

Recentemente, contudo, descobriu-se que há períodos durante os quais a ocorrência de manchas solares é praticamente nula.

No decorrer da "Pequena Idade do Gelo" não há registros de ocorrência de manchas solares, fato que poderia justificar as mudanças climáticas periódicas, com certa periodicidade no aparecimento e desaparecimento das manchas solares. Mas como prová-lo?

Aí entrou, por mera coincidência, o exame da datação dos anéis das árvores por meio do carbono. Acreditava-se que o car-



bono-14 era gerado a uma velocidade constante por um invariável fluxo de raios cósmicos liberados pelo Sol. Essa hipótese foi finalmente testada, há alguns anos, com exemplares de troncos de árvores com uma seqüência de anéis correspondente a um período de 8 mil anos.

Se a produção de carbono-14 tivesse sido constante durante todo o período, os anos representados pelos anéis deveriam ser iguais aos anos do calendário. Entretanto, constatou-se que não ocorria tal correspondência e, além disso, que as discrepâncias variavam com o tempo.

Como resultado, a maioria das datações feitas com o carbono-14 devem merecer correções, algumas vezes bem expressivas. Também a hipótese segundo a qual o fluxo de raios cósmicos é constante teve que ser reformulada e, ademais, ficou patente que

os períodos de fluxo mínimo têm um intervalo aproximado de 2.500 anos, o último deles coincidindo com a ausência de manchas solares no período da "Pequena Idade do Gelo".

O período em que ocorreu a "Pequena

**Com o progresso, aumentou sobremaneira a interferência do homem na vida do planeta, em particular a sua ação no sentido de modificar o meio ambiente**

Idade do Gelo" é identificado em português como "Idade Média", todavia mais bem definido no idioma inglês, onde é conhecido como "Dark Age". A única grande contribuição para o avanço do *homo sapiens sapiens*, pelo menos no mundo ocidental, foram as grandes navegações

empreendidas por vários povos, com especial destaque para os navegadores lusitanos. Esses navegadores, por sinal, enfrentaram ventos mais intensos e mares mais revoltos do que as atuais condições, uma vez que os centros de alta pressão e, também, os de baixa ficaram mais

próximos, razão pela qual o Oceano Atlântico era conhecido como "Mar Tenebroso" e o Cabo da Boa Esperança como "Cabo das Tormentas".

A abertura de novos caminhos para o intercâmbio entre civilizações distintas, com certeza foi o pilar de sustentação do "Renascimento". Com o progresso, aumentou sobremaneira a interferência do homem na vida do planeta, em particular a sua ação no sentido de modificar o meio ambiente.

A Europa, também chamada de "Velho Continente", foi particularmente afetada pela ação antrópica, perdendo quase toda a vegetação arbórea que a recobria em quase toda a extensão. Essa modificação, nem sempre destinada à prática da agropecuária, mas à criação e expansão de núcleos urbanos, não causou impactos severos no clima, uma vez que se processou lentamente. Por sinal, todas as variações climáticas são relativamente lentas, pois sempre que algo tende a modificar o clima surge uma reação natural à alteração, como descrito a seguir.

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, igual a 12.472 quilômetros.

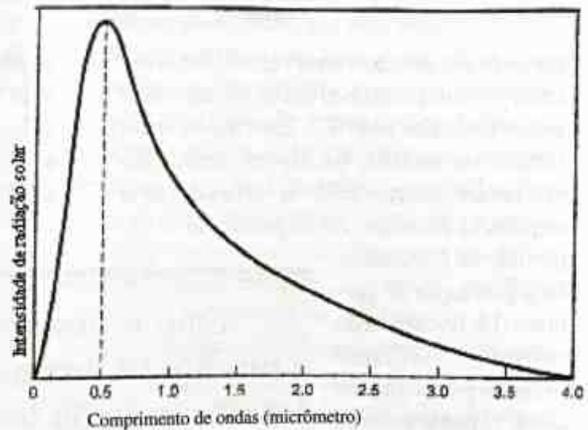
Não obstante a pequena espessura, a atmosfera é essencial para a vida e para o funcionamento de todos os processos físicos e biológicos da Terra. Ela é a responsável direta pelas temperaturas favoráveis da biosfera, pelo fornecimento dos gases necessários à respiração celular e à fotossíntese, pelo suprimento 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, onde se destacam, pela participação volumétrica, o argônio (A), com 0,934% e o dióxido de carbono ( $CO_2$ ), com 0,0353%.

Em cima disso, participando regionalmente com percentuais variáveis temporalmente, 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.

A energia solar aciona a atmosfera, fazendo-a circular e determinando as condições do tempo.



O Sol emite, primariamente, numa faixa de radiação de comprimentos de onda situados entre 0,25 e 2,5 micrômetros, sendo que o pico da radiação solar exhibe um comprimento de onda de 0,5 micrômetro (o verde, do espectro visível). Isso porque, para qualquer corpo, o comprimento 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°C). A temperatura do Sol é igual a 6.000°K.

A figura que se segue mostra a distribuição da radiação solar, relacionando os comprimentos de onda e a intensidade de radiação:

A quantidade de energia solar interceptada pela Terra é enorme,  $3,67 \times 10^{21}$  calorias por dia (1 caloria é a quantidade de calor necessária para elevar de  $1^{\circ}\text{C}$  a temperatura de 1 grama de água). Esse total, vale dizer, corresponde tão-somente a dois bilionésimos da energia total irradiada pelo Sol. Ademais, da energia interceptada pela Terra, 45% situam-se na faixa visível (0,3 a 0,8 micrômetro), 46%, na faixa infravermelha (0,8 micrômetro a 100 micrômetros) e apenas 9%, na faixa ultravioleta (0,0001 a 0,3 micrômetro).

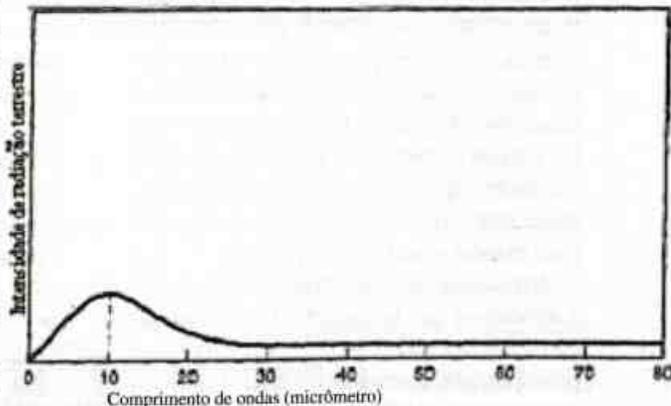
Quando a radiação solar penetra na atmosfera há uma interação com os gases e aerossóis, que poderão refleti-la, dispersá-la ou absorvê-la. Obviamente, a quantidade de energia radiante que não é refletida ou dispersada de volta para o espaço e, também, não é absorvida pelos gases e aerossóis atingirá a superfície da Terra, onde novas interações terão lugar. Evidente que, 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%

Por aí pode-se concluir que o albedo do planeta é da ordem de 31% (albedo é a razão entre a radiação refletida e a radiação incidente).

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 at-

mosfera tenderiam a crescer continuamente, tornando impossível 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, esta decorrente das radiações dos elementos radioativos do subsolo.

Por exibir temperaturas externas bem inferiores às do Sol, cerca de  $285^{\circ}\text{K}$ , 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 das 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".

A temperatura média da superfície terrestre e da troposfera (camada mais baixa

da atmosfera) é determinada 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". Conseqüentemente, 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  $-18^{\circ}\text{C}$ , enquanto que a temperatura média da biosfera pode ser considerada como sendo  $15^{\circ}\text{C}$ . Então, o efeito estufa eleva a temperatura da biosfera em cerca de  $33^{\circ}\text{C}$ .

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! Como complemento, é importante destacar a função de regulação térmica desempenhada pela hidrosfera, em que ficará ainda mais realçada a perfeição da obra do Criador.

**O fenômeno natural denominado efeito estufa, 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**

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  $30^{\circ}$ , 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 àquelas em que cada comprimento de onda pode penetrar (as radiações de cor azul são as que atingem maiores profundidades, podendo chegar a 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.

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

A área superior ocupada pelas águas, na superfície do planeta (que bem poderia se chamar “Água” em vez de “Terra”), junto com as propriedades do líquido básico, torna os oceanos coadjuvantes do efeito estufa, no sentido de amenizar o clima terrestre, contendo os saltos bruscos de temperatura entre os períodos diurno e noturno e, mesmo, entre dias subsequentes.

Retornando ao efeito estufa, deve ser mencionado que o seu principal agente é o vapor de água contido na atmosfera, tanto pela concentração, que pode chegar até 3% do volume do ar, como pela capacidade que apresenta de absorver radiações em todo o espectro infravermelho.

Os demais gases que atuam no sentido de elevar a temperatura da biosfera, por intensificação do efeito estufa, são: o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o ozônio (O<sub>3</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e os fréons ou clorofluorcarbonos (CCl<sub>3</sub>F, CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub> e C<sub>2</sub>Cl<sub>3</sub>F<sub>3</sub>). A tabela que se segue indica a concentração volumétrica desses gases na atmosfera, em partes por bilhão.

**Em razão da água ocupar a maior parte da superfície do planeta, bem que ele poderia se chamar “Água” em vez de “Terra”**

A tabela mostra que o dióxido de carbono deve ter um papel importante na 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 es-

tancar o aquecimento contemporâneo da atmosfera, é o dióxido de carbono.

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.

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 em oxigênio 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  $O_2 = 32$  gramas). Desse 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 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 idéia 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 equilíbrio 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 mol de  $CO_2 = 44$  gramas), de modo a contrabalançar a produção, pela fotossíntese, das  $10^{16}$

moles de oxigênio. O "reservatório" superficial de carbono orgânico é igual a  $2 \times 10^{17}$  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, emana claro da pequena dimensão do "reservatório" de carbono orgânico da litosfera que não pode ser 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 ma-

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

téria viva e a remoção total do carbono orgânico da superfície emersa da Terra consumiriam apenas meio por cento do oxigênio atmosférico ( $2 \times 10^{17} / 3,8 \times 10^{19} = 0,00526$ ). Traduzindo em miúdos: **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  $\text{CO}_2$  por ano, que não contribuem para alterar o percentual do

gás na atmosfera porque quantidade idêntica é absorvida e dissolvida no mesmo período. A camada superior dos mares, entretanto, retém  $3,2 \times 10^{18}$  moles de dióxido de carbono, já transformado em íons de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ). Além disso, os sedimentos que capeiam o fundo dos oceanos contêm  $10^{20}$  moles de carbono orgânico e  $5 \times 10^{21}$  moles de carbonato de cálcio, esta última substância resultante de uma seqüência de reações químicas, iniciadas a partir da 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.**

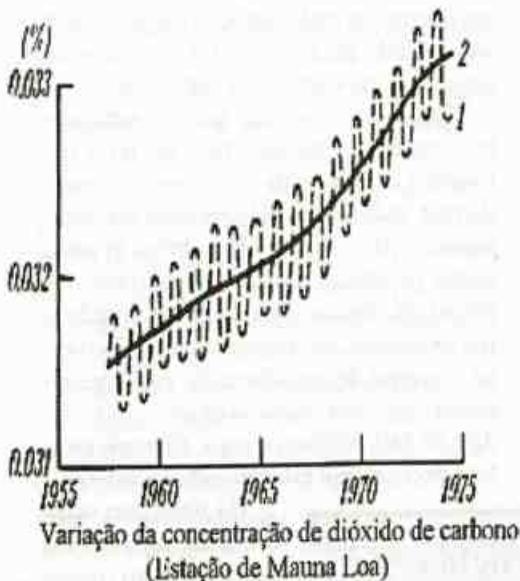
**Os oceanos, “pulmões do mundo”, controlam, com admirável perfeição, os ciclos naturais do oxigênio e do dióxido de carbono!**

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, ligeiramente ácido.

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 compensá-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 não faziam parte do ciclo respectivo.

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  $10 \times 10^{14}$  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 os dias de hoje. Levantamento datado de 1987, interessante mencionar, acusou um despejo de 5,3 bilhões de toneladas de dióxido de carbono, resultante 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, 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 resul-

tados reais das medições. As variações da curva 1, em torno da curva 2 (cheia), média das observações, destaca 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.

Bem importante essa observação, pois desfaz, sem margem de contestação, a crença de que as queimadas anuais, observadas pelos satélites no território brasileiro em geral, mas na Amazônia em particular, 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.

Por sinal, esses representantes dos países desenvolvidos, entre eles as intrometidas Organizações Não-Governamentais (ONGs), que vivem disseminando notícias desabonadoras contra os brasileiros (infelizmente, reproduzidas internamente por órgãos de divulgação dissociados da nacionalidade), deveriam lembrar que as estimativas modernas, feitas por cientistas de renome, 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 atrassaram, por vários motivos.

A floresta ombrófila da Amazônia brasileira, 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 sofreram modificações até a presente data.

As grandes exceções à regra, como a fracassada experiência da Fordlândia, o calamitoso Projeto Jari e, agora, a multiplicação

das madeireiras, 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 em áreas de várzea e têm como finalidade a limpeza de áreas para plantio. Como incidem sobre as várzeas, não prejudicam 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.

**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**

Como os países ricos preocupam-se tanto com essas queimadas inocentes, está nas mãos deles evitá-las. Bastaria que acertassem 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, sobretudo 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 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 conseqüência, devidamente esclarecidos sobre as grandes questões nacionais, serão os primeiros interessados em zelar pela hiléia, 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, inclusive a 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 hiléia, 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 conseqüências 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.

Aí surge uma pergunta: por que os mecanismos naturais de balanceamento da atmosfera não estão compensando esse excesso de CO<sub>2</sub> produzido pela nova fonte? A resposta é muito simples. Como o consumo desses combustíveis cresce constantemente, os tais mecanismos de realimentação 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 de 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. A longo prazo, bem maior do que 20 anos, essa providência recolocaria as coisas no seu devido lugar.

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.

A solução aceitável para a questão será a de limitar ao máximo o uso dos combustíveis fósseis, substituindo-os por outras fontes de energia.

O Brasil, por exemplo, por ter seu território inserido na faixa tropical e pelo fato de possuir a maior reserva superficial de água doce do planeta, não terá maiores dificuldades para encontrar alternativas energéticas.

A energia hídrica disponível no país, da qual só se aproveitou até hoje pouco mais de 35%, é a principal fonte energética limpa que poderá liberar o país da queima de combustíveis fósseis.

O clima tropical e a grande exposição à energia solar permitem o aproveitamento de diversas espécies de vegetais existentes, que tanto podem ser usadas para obtenção de álcool quanto para a produção de óleos combustíveis e lubrificantes, perfeitamente

aptos a substituir os similares derivados dos hidrocarbonetos. São esses vegetais excelentes alternativas, desde que não prejudiquem a geração de energia para mover a máquina humana, como o são os alimentos.

Os ventos constantes que sopram em diversas regiões do Brasil, inclusive no mar, poderão vir a ser outra alternativa.

A utilização criteriosa da energia nuclear é, ainda, uma opção válida para minimizar

o uso dos combustíveis fósseis, pelo menos até que se possa alcançar a eliminação dessas substâncias poluentes, quando se tornar comum o uso do hidrogênio para tal finalidade.

Também uma reorientação no transporte de cargas no País, hoje dominado pelas rodovias, mediante a utilização das hidrovias, tanto o mar litorâneo quanto a

extraordinária rede fluvial, passível de substancial aumento pela construção de eclusas ao lado das usinas hidrelétricas já instaladas e por instalar, garantiria uma economia de combustível superior a 50%, além de reduzir o preço dos fretes em 70%.

Não será a miopia ou a subserviência de dirigentes, alguns de-

les atrelados a organizações não-governamentais alienígenas, que deterá os brasileiros na sua opção pelas fontes hoje denominadas alternativas, sinônimo de independência energética, enorme passo para a conquista da tão sonhada independência econômica que, afinal, livrará o Brasil dos grilhões centenários que vêm retardando a sua transformação em sede da primeira grande civilização a surgir nos trópicos.

**O Brasil, por ter seu território inserido na faixa tropical e pelo fato de possuir a maior reserva superficial de água doce do planeta, não terá maiores dificuldades para encontrar alternativas energéticas**

#### CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:

<MEIO AMBIENTE> ; Ecologia; Camada de ozônio; Oceano; Política para o meio ambiente; Estudo; Ciência do mar; Clima; Hidrogênio; Radiação; Química;

O passeio à Ilha ocorre de quinta a domingo, às 13h, 14h30min e 16h, saindo do cais do Espaço Cultural da Marinha, à Av. Alfred Agache s/nº, na Praça XV.



## O Último Baile da Ilha Fiscal

A orquestra tocava animada. Belas mulheres desfilavam pelo salão, ostentando vestidos suntuosos. Os homens, trajando casacas ou elegantes uniformes, falavam sobre política, histórias de guerra, batalhas navais. Lá fora, o som das ondas do mar complementava os acordes dos violinos. O cenário era perfeito. A Ilha Fiscal, construída com requinte para servir como posto alfandegário, recebia com pompa a oficialidade do encouraçado chileno *Almirante Cochrane*.

Ninguém poderia imaginar que aquele seria o “Último Baile do Império”. Alguns dias depois, era proclamada a República. Uma nova era na História do Brasil se iniciava.

A Ilha Fiscal continua sendo um elo entre o presente e o passado. Em 1913 foi adquirida pela Marinha em troca do Vapor *Andrada*. Décadas se passaram e o castelinho, que testemunhou tantos fatos históricos, é hoje uma das principais atrações turísticas do Rio de Janeiro. Aberto à visitação, inclui em seu roteiro o Torreão, a Ala do Cerimonial e exposições permanentes. Venha conhecer este símbolo dos últimos dias do Império, e muito mais, como a participação e os projetos da Marinha na Antártida!

Informações:

(0xx-21)

2233-9165