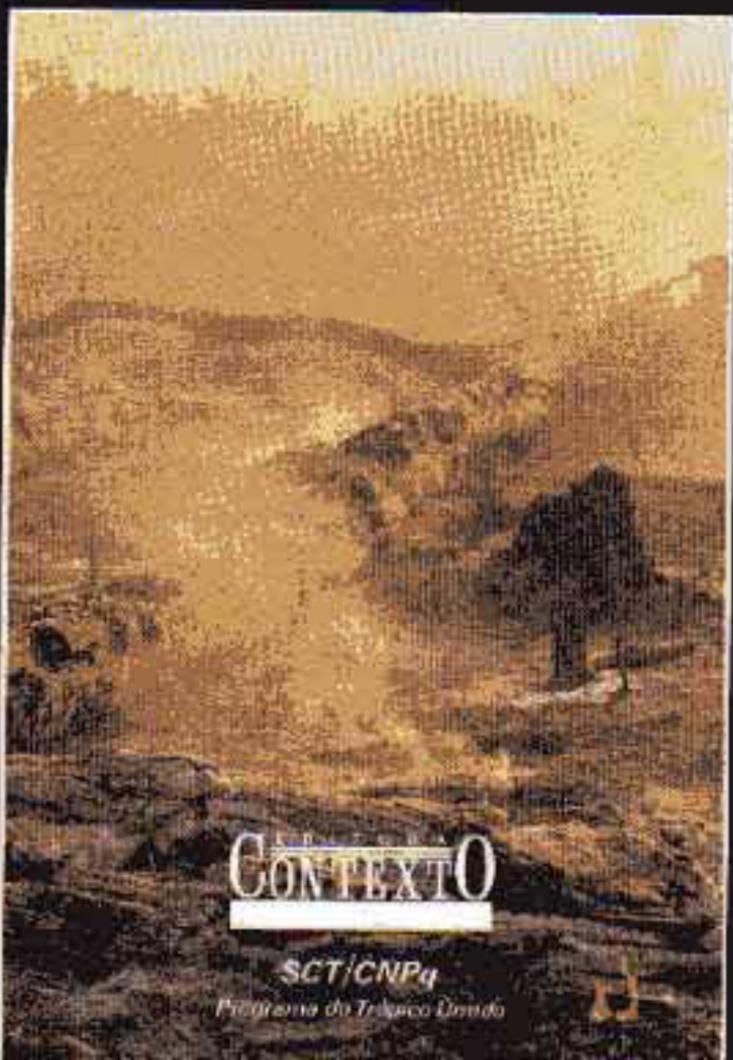


QUEIMADAS NA AMAZÔNIA E EFEITO ESTUFA

Volker W. J. H. Kirchoff



CONTEXTUAL
CONTEXTO

SCT/CNPq

Programa do Telescópio Unido

QUEIMADAS NA AMAZÔNIA

E

EFEITO ESTUFA

Volker W.J.H. Kirchhoff

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE)

EDITORIA
CONTEXTO

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Kirchhoff, Volker W. J. H., 1942 - Queimadas na Amazônia e Efeito Estufa/Volker W. J. H. Kirchhoff, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Brasil). - São José dos Campos, SP. Contexto, 1992.

1. Efeito estufa atmosférico. 2. Queimada - Amazônia I. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Brasil). II. Título.

92-1174

CDD-632.1809811

Índices para catálogo sistemático:

1. Amazônia: Queimadas: Danos ambientais: Agricultura
632.1809811
2. Queimadas: Amazônia: Danos ambientais: Agricultura
632.1809811

ISBN 85-85 417-03-X

CRÉDITOS

**Foto de Capa (frente) - Nani Goes/Abril Imagens
Direitos adquiridos pelo autor**

**Demais fotos - do autor
Direitos autorais - Copyright
Volker W.J.H. Kirchhoff**

**Produção e Revisão
Maria Antonieta**

**Arte e Capa
Carlos Alberto Vieira**

**Composição e Montagem
Heloísa Muniz Garcia**

**Fotolitos
COLORMANIA
Capa - BINHOS**

**Editora Contexto
Rua Acopiara, 199
05083 - São Paulo - SP
Fone: (011) 832-5838
Fax: 832-3561**

1ª Edição 1992

ÍNDICE

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE FOTOS	8
APRESENTAÇÃO I	9
APRESENTAÇÃO II	11
APRESENTAÇÃO III	12
PREFÁCIO DO AUTOR	14
INTRODUÇÃO	17
A Atmosfera Terrestre	22
A Divisão em Camadas	25
A Prática da Queima	27
O que Mudou? Descobertas Recentes	33
Situação no Brasil	35
Consequências da Queimada	37
Prejuízos Causados por Ozônio Troposférico	37
O EFEITO ESTUFA	39
CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DOS GASES AO EFEITO ESTUFA	48
O Papel dos Aerossóis	52
O Gás Carbônico (CO ₂)	52
O Óxido Nitroso (N ₂ O)	61
O Metano (CH ₄)	62
Os Clorofluorcarbonetos (CFC)	65
O Ozônio da Troposfera (O ₃)	69
O Monóxido de Carbono (CO)	75
CONSEQUÊNCIAS DO EFEITO ESTUFA	78
A CONTRIBUIÇÃO TROPICAL	84
Principais Desvantagens	87
Principais Vantagens	87
Cálculo da Taxa de Emissão	88
Missões de Campo para Estudo de Queimadas	95
CONCLUSÕES	103
AGRADECIMENTOS	105
REFERÊNCIAS	107
TRABALHOS DO AUTOR PUBLICADOS NA LITERATURA NACIONAL	112
TRABALHOS DO AUTOR PUBLICADOS NA LITERATURA INTERNACIONAL	114

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 01 - Ilustração do equilíbrio radiativo para estimar a ação do Efeito Estufa (do autor)	21
Fig. 02 - Reflexões múltiplas na atmosfera: os gases não permitem a passagem direta da radiação de ondas longas (do autor)	24
Fig. 03 - Definição das camadas da atmosfera em função da variação de temperatura com altura, seguindo nomenclatura internacional	26
Fig. 04 - Esquema da interação entre o Efeito Estufa, mudanças ambientais, mudanças na química da atmosfera, e realimentação ao Efeito Estufa, adaptado de Ramanathan et al. (1985b)	41
Fig. 05 - Ilustração de dois tipos de Efeito Estufa: o natural e o acelerado, causado pela interferência do homem na composição atmosférica (do autor)	43
Fig. 06 - Esquema do balanço radiativo no sistema Atmosfera-Superfície da Terra (do autor)	45
Fig. 07 - Equilíbrio radiativo sem atmosfera (a), e o equilíbrio que resulta com uma camada de gás (b) (do autor)	47
Fig. 08 - Contribuição relativa dos gases do Efeito Estufa e sua evolução temporal, segundo Ramanathan et al.(1985b) . .	51
Fig. 09 - O espectro de emissão de energia radiante da Terra mostrando a absorção pelo CO ₂ (15 m) e do O ₂ e O ₃ (9 m), adaptado de Hanel et al. (1972)	54
Fig. 10 - Espectro de absorção dos gases de vida longa CH ₄ e N ₂ O comparados com o CO ₂ , adaptado de Schoenwiese und Diekmann (1988)	56

Fig. 11 - Ciclo do carbono. Caixas guardam depósitos em bilhões de toneladas, e setas indicam taxas de transferência em bilhões de toneladas por ano (valores característicos) . . .	58
Fig. 12 - Potencial de aquecimento de alguns gases do Efeito Estufa. Mostra-se o aumento individual de temperatura causado por um aumento de 25% na concentração do O ₃ , N ₂ O e CH ₄ . Par a o restante considerou-se um aumento de 1 parte por bilhão (1 ppbv), segundo Ramanathan et al. (1985a)	68
Fig. 13 - Perfis médios de ozônio medidos no Brasil, em Natal (RN), e Manaus (AM) (do autor)	70
Fig. 14 - Espectro de absorção dos gases de vida mais curta, O ₃ e H ₂ O, comparados com o CO ₂ , segundo Schoenwiese und Diekmann (1988)	72
Fig. 15 - Medidas de ozônio e monóxido de carbono em Natal e Cuiabá para mostrar a produção de ozônio na época das queimadas (do autor)	74
Fig. 16 - Exemplos de como o Efeito Estufa pode afetar diferentes parâmetros (do autor)	79
Fig. 17 - Duas possibilidades de aumento de temperatura futura devido ao Efeito Estufa calculados por modelos teóricos de cálculo, com base em vários autores (ver por exemplo, Hansen et al., 1986)	80
Fig. 18 - Aumento do nível dos mares por ação do Efeito Estufa: resultados de previsão numérica, segundo vários autores (ver por exemplo, Thomas, 1986)	83
Fig. 19 - A distribuição vertical de CO nos meses de seca de julho a novembro usada nos cálculos (do autor)	90

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tab. 01 - Composição da atmosfera ao nível do mar (valores característicos)	23
Tab. 02 - Algumas características dos principais gases do Efeito Estufa, resumo de Deutscher Bundestag (1988)	48
Tab. 03 - Emissão mundial de CO ₂ no ano de 1986 pela queima de combustíveis fósseis, em milhões de toneladas (10 ⁶ toneladas/ano), segundo Wagner und Walbeck (1988)	60
Tab. 04 - Principais fontes e sumidouros do metano, em milhões de toneladas por ano (MTA) (Dados de várias fontes)	64
Tab. 05 - Nomenclatura e constantes físicas de alguns CFC mais usados, segundo seus fabricantes	66
Tab. 06 - Alguns nomes comerciais dos CFC em diferentes países, segundo seus fabricantes	66
Tab. 07 - Principais processos de emissão (fontes) e remoção (sumidouros) de monóxido de carbono (CO) da atmosfera, com base em Logan et al. (1981)	77
Tab. 08 - Cálculo das contribuições mensais à taxa de emissão produzidas pelas queimadas (do autor)	89
Tab. 09 - Taxas de emissão de CO e CO ₂ em unidades de massa de carbono produzidos pelas queimadas. (10 ¹² = milhões de toneladas; 10 ¹⁵ = bilhões de toneladas)	92
Tab. 10 - Contribuição relativa dos diversos países tropicais na emissão de gases por queimadas, segundo Houghton et al. (1987)	94

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 1 - Queimada de capim baixo no cerrado	28
Foto 2 - Queimada em mata baixa no cerrado	30
Foto 3 - Forno de fazer carvão	32
Foto 4 - Carvão produzido na região do cerrado	34
Foto 5 - Espectrofotômetro Brewer e pirheliômetro	96
Foto 6 - Sensores de O ₃ , SO ₂ , e NO _x	98
Foto 7 - Lançamento de sonda de O ₃	100
Foto 8 - Recepção e processamento dos dados da sonda de O ₃ . . .	102

APRESENTAÇÃO I

As queimadas na Amazônia foram, nos últimos dez anos, o tema-símbolo do crescimento do movimento de defesa ambiental no mundo, ao mesmo tempo em que catalisaram as maiores contradições, divergências, idiosincrasias e paixões existentes no campo das preocupações sobre o futuro ecológico do planeta.

O grau elevado de subjetivismo desse debate e o seu cruzamento com interesses políticos e econômicos foram compensados, neste período, pela participação da comunidade científica, responsável em boa medida pela manutenção da objetividade necessária às propostas ambientais e pelo diagnóstico de situações-limite que indicam claramente a urgência da revisão dos pressupostos do processo de desenvolvimento.

Mais do que em outros campos marcados pelo conflito de posições, a questão ambiental exigiu, porém, dos cientistas envolvidos, que saíssem de uma infrutífera neutralidade para assumir análises políticas, sociais e econômicas inseparáveis do seu objeto de estudo. Assim, quando falamos das queimadas na Amazônia é impossível tratá-las apenas como metros quadrados de destruição biológica ou índices de emissão de poluentes ou composição de gases.

A responsabilidade dos cientistas vai além da competência para obtenção rotineira de dados e os compromete com uma situação que chega até a ordem mundial estabelecida, às relações entre países ricos e países pobres e às opções de sobrevivência para populações famintas.

Como ficou provado na prolongada história sobre os números referentes às queimadas na Amazônia, são enormes as possibilidades de leitura desses números e sua manipulação segundo o interesse dos diversos interlocutores. É admirável, portanto, a coragem de Volker Kirchhoff em permanecer trabalhando nessa área tão controvertida, sempre à procura da precisão científica necessária a estabelecer um limite para devaneios e suposições.

A frequência com que a destruição da Floresta Amazônica aparece na imprensa nacional e na internacional, e a "popularidade" do efeito estufa como ameaça à humanidade - mesmo que a maioria das

peessoas não saiba sequer definir o fenômeno - não correspondem, porém à existência de uma bibliografia suficiente sobre a intersecção desses temas. Mesmo que ela exista em nível de comunidade científica, falta material confiável, com a chancela de pesquisadores sérios e que seja acessível, na medida do possível, ao leitor leigo.

O livro do Kirchhoff, em que pese a sua humildade em qualificá-lo como "uma pequena contribuição", deve na verdade, ser saudado como contribuição fundamental e, mais do que isso, como ato político em defesa da Amazônia.

Fábio Feldmann
Deputado Federal

APRESENTAÇÃO II

"Queimadas na Amazônia e Efeito Estufa" foi concebido e escrito pelo Dr. Volker W.J.H. Kirchhoff, pesquisador senior e Coordenador Geral da Área de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA) no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) da Secretaria Especial de Ciências e Tecnologia (SCT). O Dr. Volker W.J.H. Kirchhoff é um especialista reconhecido no Brasil e no exterior, em pesquisas sobre os componentes minoritários da atmosfera (ozônio, monóxido e dióxido de carbono, metano, etc) e queimadas de biomassa (florestas, cultivares de cana-de-açúcar, etc).

Após ter lido e revisado este manuscrito, posso declarar que considero este ensaio como um excelente trabalho de divulgação científica sobre as queimadas e seus efeitos na atmosfera, que compreende uma ampla base de dados numéricos sobre este assunto. O Dr. Volker W.J.H. Kirchhoff apresenta também uma metodologia nova de sua autoria que visa através de medidas experimentais, avaliar a quantidade de biomassa atingida nestas queimadas.

Recomendo a leitura deste livro devido ao interesse atual do assunto e à competência com a qual o assunto foi tratado, por um dos maiores especialistas atuais.

Daniel J.R. Nordemann
Chefe da Divisão de
Geofísica Espacial
INPE

APRESENTAÇÃO III

A caracterização do ambiente ideal, através de valores e parâmetros rígidos, é muito difícil de ser realizada. Sabe-se que nem mesmo os valores de temperatura e umidade, estabelecidos internacionalmente como desejáveis para ambientes com ar condicionado, atendem aos requisitos de conforto individual para todos. Assim em virtude da multiplicidade de aspectos envolvidos como a cor, a iluminação, o perfume, a música e o calor, cujos valores são subjetivos, tal caracterização torna-se inviável.

Com esta abordagem, identifica-se o sentido pragmático da obra do Dr Kirchhoff, que sem penetrar nos meandros da questão em termos ecológicos, como está muito em voga, fornece com realismo informações e dados que permitem ao leitor um razoável diagnóstico da camada gasosa que permite a vida no Planeta.

Somos levados a concluir que as condições impróprias à vida, estas sim, devem ser expressas em valores aritméticos, estabelecidos e universalmente aceitos, de modo a possibilitar a todos, o exercício da eterna vigilância.

A leitura vai despertando crescente interesse, não apenas pelo lado científico mas especialmente, pela conscientização acerca dos efeitos catastróficos decorrente das queimadas do cerrado e da floresta amazônica, sobre as quais somos convidados a refletir.

Merece especial destaque, o método imaginado e desenvolvido pelo autor, para avaliar a quantidade de biomassa transferida para a atmosfera, resultante das queimadas. A validação do processo é de fundamental importância para o aprimoramento e intensificação das medições.

As quantidades reais de poluentes atmosféricos gerados pelos diversos países devem ser precisamente definidas, para possibilitar o correto julgamento que algum dia deverá haver, se não nos tribunais, pelo menos na consciência dos povos.

O tema é vasto e complexo. Acredito que o Dr Kirchhoff tenha gerado apenas o primeiro capítulo de um livro notável, que ficará aberto aos registros de suas futuras pesquisas.

Brigadeiro-do-Ar
José Marconi de Almeida Santos
Vice-Presidente-Executivo
Comissão Brasileira de Atividades Espaciais
COBAE

PREFÁCIO DO AUTOR

Este trabalho sobre **Queimadas na Amazônia e Efeito Estufa**, tem o objetivo de proporcionar uma melhor reflexão sobre este tema, que hoje é discutido com grande interesse nos meios acadêmicos, científicos, e até na imprensa. Procurei manter o texto simples para que a leitura seja agradável para o leitor, mas que tenha elementos suficientes, úteis também para colegas, estudantes e para aqueles que trabalham em assuntos correlatos.

Discute-se hoje se os países tropicais, em especial o Brasil, realmente contribuem significativamente ao Efeito Estufa através das queimadas na Amazônia, como alguns trabalhos sugerem. São mostrados alguns números da literatura internacional relativos às queimadas que produzem o gás carbônico, e é feito um trabalho de revisão sobre o Efeito Estufa. Com base em medidas de gases feitas no Brasil, este livro defende o ponto de vista de que o Brasil, em particular, não desmata nem queima tanto quanto algumas publicações internacionais afirmam.

A relativa prosperidade de alguns países, como por exemplo a Holanda, os Estados Unidos, e o Japão, faz com que as pessoas nestes países cada vez menos se preocupem com seus empregos e cada vez mais se dediquem ao seu lazer, ao seu jardim, ao seu meio ambiente. Por outro lado, nos países em desenvolvimento, pobres, onde se luta pela sobrevivência no dia a dia a maioria das pessoas nem tem jardins. A preocupação com o meio ambiente, evidentemente, não é prioritária. Embora esta constatação seja elementar, há pouco entendimento entre países pobres e ricos nesta questão.

O impacto visual de uma fração de floresta desmatada, pegando foto, é psicologicamente bem maior do que várias imagens de florestas virgens. Além disto, existem resultados científicos recentes que indicam que queimadas a céu aberto produzem gases tóxicos, e a simples destruição da floresta deverá causar aumento do Efeito Estufa. É compreensível, portanto, que certos setores defendam proteção à floresta Amazônica. Por outro lado a reação a este posicionamento pergunta o que foi feito das florestas na Europa e nos Estados Unidos, por exemplo. Lá também, na época do desenvolvimento, florestas gigantescas foram

destruídas em nome da transformação e do progresso. E a reação passa até à indignação quando se percebe que por trás do protecionismo existe um certo ar paternalista de primo rico. Cito, por exemplo, um incidente que ocorreu durante minha participação no Quadrennial Ozone Symposium, na Alemanha em 1988, quando eu estava viajando de trem entre Frankfurt e Mainz. Uma moça sentada ao meu lado, depois que me apresentei como brasileiro, disse: "Ah, são vocês que estão queimando toda floresta Amazônica?!" Confesso que me senti bastante constrangido, eu que até hoje só queimei fósforos ou carvão de churrasco acusado de queimar a Amazônia? Tive vontade de lhe fazer umas perguntas agressivas, como: "Você sabe quantos milhões de quilômetros quadrados de floresta intacta ainda temos? E vocês, por que queimaram todas as florestas aqui na Europa?". Mas resolvi calar e engolir o sapo. É que, se por um lado eu tenho acesso a dados que indicam que o Brasil queima menos do que se fala, por outro também sei que temos culpa no cartório, porque hoje muitas das queimadas que acontecem no Brasil são desnecessárias, e não trazem nenhum benefício. Para compreender o impacto global desta prática é preciso medir, quantificar. Neste livro queremos dar uma pequena contribuição neste sentido.

São José dos Campos, janeiro de 1992.

O autor

INTRODUÇÃO

O meio ambiente em que vivemos seria bem diferente do que é hoje se não tivesse surgido a vida. É que a interação entre meio ambiente e vida é muito forte, e sempre existiu. Durante toda a evolução da vida na superfície terrestre, que se estima em 600 milhões de anos, a interação vida-meio ambiente causou a reciclagem de vários elementos químicos entre diferentes reservatórios, e imprimiu sua característica à formação

O meio ambiente, hoje, é em parte o resultado da ação de seres vivos. Estes agem sobre o meio ambiente e vice-versa.

dos sedimentos. Sem a fotossíntese realizada pelas plantas verdes, não haveria por exemplo, oxigênio na atmosfera terrestre, e portanto, também não haveria uma camada de ozônio para nos proteger de radiação danosa. A presença do oxigênio modificou profundamente a composição e a química da atmosfera.

A interação entre a vida e o meio ambiente sofreu várias modificações em diferentes períodos do passado, sempre que outros organismos passaram a dominar e impor suas características ao meio externo. Em termos de tempos geológicos, a contribuição do Homem na mudança do meio ambiente é relativamente recente. É interessante

Percebe-se hoje que a destruição de um ecossistema não tem apenas efeitos locais. Assunto de meio ambiente é uma questão Global.

observar que nem sempre estas mudanças foram lentas e graduais. Houve alguns episódios em que eventos repentinos causaram, aparentemente, mudanças ambientais que resultaram na extinção em grande escala de certas espécies vivas. A ação do Homem sobre o meio ambiente difere das ações anteriores pela capacidade que tem de influir simultaneamente também no habitat de outros organismos. Algumas indicações sugerem que as mudanças presentemente em curso são suficientes para não só ameaçar espécies consideradas inferiores, mas também a própria humanidade.

O impacto do Homem no meio ambiente passou de regional, para assumir hoje um caráter global. Os exemplos mais conhecidos no momento, em termos de efeitos globais, são a **diminuição da camada de ozônio, e o Efeito Estufa**. Torna-se cada vez mais importante monitorar certos parâmetros para que esta informação possa servir para avaliação de impactos. O Homem moderno deve ser capaz de prever como diferentes organismos responderão às mudanças ambientais tanto em seu metabolismo como também geneticamente, e como estas reações tenderão a influenciar o ambiente. Para isto é necessário medir, registrar, e avaliar, em escala global e local.

Questões de meio ambiente não pertencem a apenas uma disciplina da Ciência. Para prever soluções é necessária uma constante interação entre áreas científicas diversas.

O Efeito Estufa surgiu com a constatação de que o gás carbônico (CO₂) presente na atmosfera tem sua concentração aumentada continuamente. Com isto devem ocorrer mudanças no equilíbrio radiativo do sistema planeta/atmosfera, **mas também as reações dos seres vivos a estas mudanças**. Entretanto, apesar de algumas certezas, é impossível hoje fazer previsões precisas e corretas sobre como exatamente deve mudar o ambiente, e como certas espécies deverão responder a estas mudanças. Os problemas relacionados ao Efeito Estufa e o ciclo do carbono são inter-disciplinares, fato que requer uma interação muito

próxima de cientistas de diferentes áreas, e manipulação de dados muito diversos como, por exemplo, a produção mundial de lixo, os desmatamentos, transporte de sedimentos em rios e lagos, etc. Tudo isto mostra que o assunto Efeito Estufa é bastante complexo e que não existe uma solução simples e rápida.

O planeta Terra, assim como os outros planetas mais conhecidos do nosso sistema solar, se desloca no espaço sujeito às leis gravitacionais. Neste aspecto, a presença ou não de uma atmosfera, uma massa gasosa externa à parte sólida, não é muito importante. No entanto, o equilíbrio radiativo que resulta da hipótese de que a Terra não possui atmosfera

A presença de gases ao redor dos planetas pode modificar muito o equilíbrio radiativo entre planeta e sol.

implica numa temperatura média da superfície bem menor, da ordem de 45 K, do que a temperatura média real observada. A presença dos gases em volta dos planetas, modifica, portanto, em alguns casos até profundamente, o equilíbrio radiativo dos corpos celestes.

O Efeito Estufa é um fenômeno físico que ocorre na atmosfera, onde alguns gases podem absorver a radiação planetária.

A constatação acima merece uma análise mais detalhada. Considera-se a Terra uma esfera de raio R , com uma refletividade média, chamada albedo, A . A radiação solar incidente S_0 será absorvida de $(1-A)$.

Se a temperatura de equilíbrio T_e for aquela que resulta da condição de equilíbrio radiativo, isto é, toda energia que entra é igual à energia que sai, a igualdade que resulta é

$$S_0 R^2 (1-A) = 4R^2 T_e^4$$

onde aplicamos a lei de Stefan-Boltzmann ao "corpo negro" Terra. Não é necessário ter uma compreensão exata da igualdade acima. Basta notar que todos os parâmetros que fazem parte dela são conhecidos, e que portanto, pode-se calcular a temperatura de equilíbrio T_e da superfície da Terra, também chamada temperatura efetiva.

O Efeito Estufa natural é muito benéfico pois aumenta em 45K o valor de equilíbrio radiativo da temperatura da superfície terrestre. - O Efeito Estufa que preocupa é aquele causado pelo Homem moderno, que injeta muitos gases artificiais na atmosfera.

Substituindo-se estes valores na fórmula acima, usando-se para o albedo $A = 0,35$, a temperatura de equilíbrio resulta em $T_e = 253$ graus Kelvin, ou simplesmente K. A Figura 1 resume mais uma vez o que foi feito para se obter este valor. Deve-se notar que 253 K equivalem a -20 C (20 graus negativos). Nós sabemos que a temperatura média em nossas latitudes é da ordem de 25 C (25 graus positivos). Portanto, algum fenômeno adicional, que ainda não foi levado em conta, deve ser responsável pelo aumento de temperatura de uns 45 graus. O fenômeno responsável por esta elevação de temperatura, e que portanto salva a Terra de ser totalmente congelada, é o Efeito Estufa, causado pela presença dos gases (atmosfera), que até agora foram ignorados.

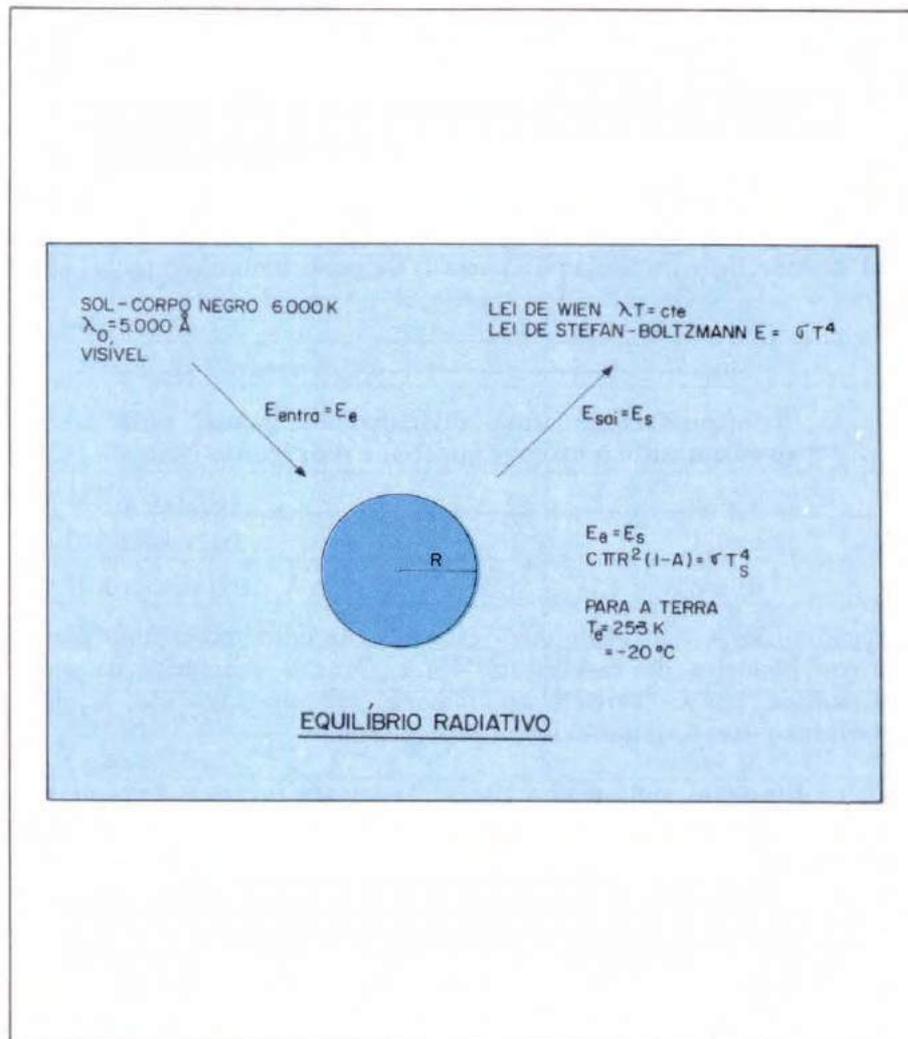


Fig. 1 - Ilustração do equilíbrio radiativo para estimar a ação do Efeito Estufa.

O equilíbrio radiativo é um conceito teórico. Estabelece que se a Terra não está aquecendo nem esfriando, num certo intervalo de tempo, então a quantidade de energia que entra deve ser igual à energia que sai. São relevantes as leis de Planck, de Wien, e de Stefan-Boltzmann. A temperatura do corpo negro em equilíbrio seria -20 C. A presença da atmosfera é ignorada neste cálculo.

A Atmosfera Terrestre

A atmosfera que envolve a Terra é um gás, ou melhor, uma mistura de gases. Acredita-se que os gases que hoje formam a atmosfera terrestre foram expelidos pela parte sólida. A composição da atmosfera ao nível do mar está indicada na Tabela 1. Os gases mais abundantes são o

A atmosfera é uma mistura de gases, onde predominam o nitrogênio (N₂) e o oxigênio (O₂).

nitrogênio (N₂) e o oxigênio (O₂) (este é o gás mais importante para o processo biológico da respiração). N₂ e O₂ são chamados de gases majoritários, porque existem em maioria. Os restantes são os gases minoritários, isto é, os que existem em minoria.

Em geral, uma massa gasosa apresenta características ópticas distintas para radiação eletromagnética de comprimentos de onda diferentes. Na Terra, por exemplo, a atmosfera é praticamente transparente para a radiação solar visível (isto é, a que vem diretamente do Sol). Em outras palavras, a radiação solar é absorvida não na atmosfera, mas na superfície sólida. Após a absorção pela superfície, esta deve re-emitir a energia absorvida, o que ocorre em comprimentos de ondas de radiação maiores, segundo a lei de Wien. Para a Terra, a emissão ocorre no infravermelho, isto é, após 0,7 μm até 35 μm . Nesta faixa, a atmosfera (isto é, alguns de seus gases) não é mais transparente. Determinados comprimentos de onda são agora absorvidos por gases na atmosfera e uma parte será re-orientada para a Terra (e não para o espaço como seria com gases transparentes) como mostra a Figura 2, pelas múltiplas reflexões nas camadas inferiores da atmosfera.

TABELA 1 - Composição da atmosfera ao nível do mar (valores característicos).

CONSTITUINTE	PARTES POR CEM POR VOLUME
Nitrogênio (N ₂)	78,084
Oxigênio (O ₂)	20,946
Argônio (A)	0,934
Dióxido de Carbono (CO ₂)	0,031
Neônio (Ne)	1,82 x 10 ⁻³
Hélio (He)	5,24 x 10 ⁻⁴
Metano (CH ₄)	1,50 x 10 ⁻⁴
Criptônio (Kr)	1,14 x 10 ⁻⁴
Hidrogênio (H ₂)	5 x 10 ⁻⁵
Óxido Nitroso (N ₂ O)	3 x 10 ⁻⁵
Xenônio (Xe)	8,70 x 10 ⁻⁶
Monóxido de Carbono (CO)	10 ⁻⁵
Ozônio (O ₃)	até 10 ⁻⁵
Água (H ₂ O)	até 1

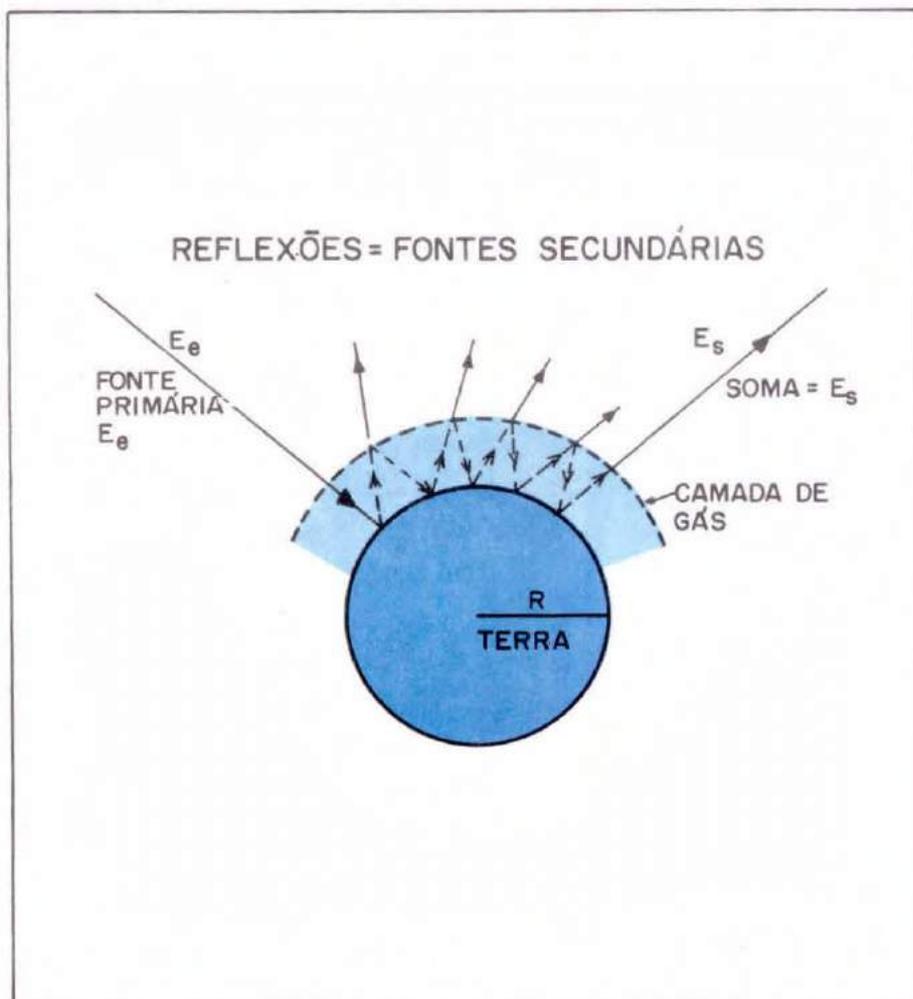


Fig. 2 - Reflexões múltiplas na atmosfera: os gases não permitem a passagem direta da radiação de ondas longas.

A análise da temperatura na superfície da Terra fica mais complexa quando se inclui a presença da atmosfera. O primeiro fato que deve ser levado em conta é que a radiação solar atravessa a atmosfera e se deposita na superfície. A radiação que sai da superfície é que é absorvida, em parte, por gases da atmosfera.

A Divisão em Camadas

A atmosfera terrestre costuma ser dividida em camadas, cada uma delas com nome próprio. O parâmetro que determina uma das maneiras de se dividir a atmosfera em camadas é a temperatura. A Figura 3 mostra a variação de temperatura com a altura, e a nomenclatura adotada universalmente. A camada mais próxima da superfície é a **troposfera**. Esta é a camada mais importante para o Efeito Estufa. É a região mais afetada pela ação antropogênica através da emissão direta de vários gases da superfície. Na região tropical, esta camada vai até 16 km de altura, até a **tropopausa**. Da superfície onde a temperatura é T_s , até a tropopausa, a temperatura decresce com a altura. Da tropopausa até a **estratopausa**, a 50 km, a temperatura cresce com a

O equilíbrio radiativo do planeta acontece principalmente na troposfera porque esta contém cerca de 85% da massa da atmosfera.

altura, pois na **estratosfera**, que é a camada logo acima da troposfera, existe uma fonte de calor representada pelo ozônio da atmosfera, que transfere calor para as moléculas dos gases majoritários após absorver radiação ultravioleta do sol. É esta a função associada a efeitos biológicos mais importante do ozônio, da qual resulta como consequência o aquecimento da estratosfera. Acima da estratosfera, até a **mesopausa**, a 90 km, a temperatura volta a decrescer com a altura na **mesosfera** e acima desta, na **termosfera**, a temperatura mais uma vez aumenta com a altura, até atingir o máximo, a temperatura exosférica T_E . Pode-se notar que as pausas, isto é, os limites entre as diferentes camadas, estão localizadas nos pontos onde o gradiente de temperatura é nulo.

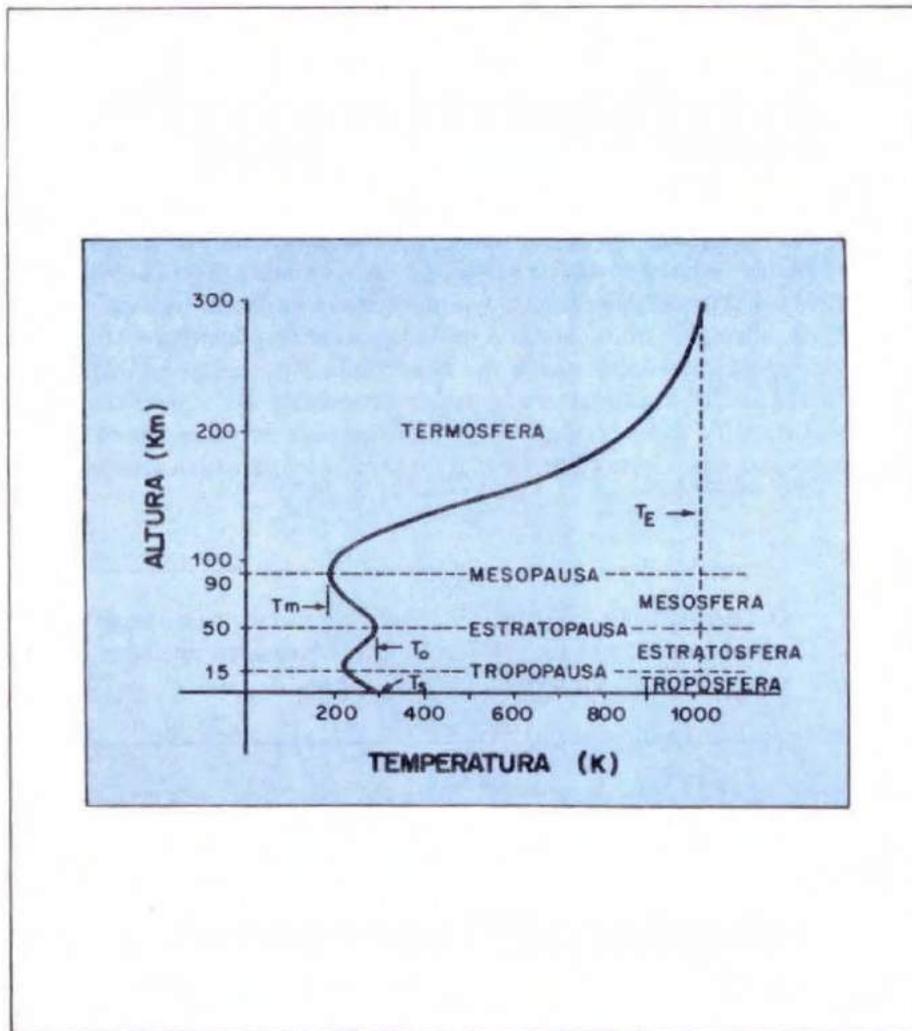


Fig. 3 - Definição das camadas da atmosfera em função da variação de temperatura com altura.

A nomenclatura das divisões da atmosfera em camadas é feita observando o perfil de temperatura mostrado acima. A estratosfera é criada pela presença do ozônio e a termosfera pela dissociação e ionização das partículas.

As camadas mais importantes no contexto desta análise das questões ambientais são sem dúvida as duas mais próximas da superfície, a troposfera e a estratosfera. Pode-se mostrar que a concentração dos gases majoritários e a pressão atmosférica diminuem com a altura, obedecendo uma lei exponencial, ou quase exponencial. Isto significa que à medida que se sobe na atmosfera, esta se torna mais rarefeita.

A Prática da Queima

O fogo sempre foi a ferramenta usada pelo homem para limpar áreas florestadas (Bourliere and Hadley, 1983). Na sua luta para produzir alimentos em terras consideradas "pobres" (isto é, sem reservas adequadas dos nutrientes básicos nitrogênio, fósforo, e potássio), o agricultor muda a sua roça para um novo desmatamento sempre que o rendimento de sua safra começa a cair, o que normalmente acontece num intervalo de 2 a 4 anos. Na região do cerrado onde os diversos tipos de capim são queimados quase que anualmente, ocorre também a regeneração desta vegetação visto que para alguns tipos, a maior parte de sua biomassa é desenvolvida abaixo da superfície. A sobrevivência neste ambiente é muito mais difícil para as árvores. Em geral estas são pequenas, comparadas com as árvores da floresta tropical úmida, retorcidas, e de tronco enegrecido de tantas queimadas que já suportaram. Algumas destas árvores só conseguem sobreviver, se na época crítica houver um período mínimo de tempo em que não haja queimada, para que possam se desenvolver acima de um certo nível mínimo, em que tenha atingido robustez suficiente para sobreviver à combustão.



Queimada em região de cerrado já desmatado há algum tempo. Fogo para limpar capim. Note que sempre há algum humano próximo de fogo. A fumaça é muito densa. À esquerda em cima na foto onde a fumaça é mais intensa não se enxerga nada além de 1 ou 2 metros. No meio ainda pode-se distinguir a copa de uma árvore. O Fogo neste caso é espalhado em vários focos usando um pedaço seco de bambú.

Parece que os cerrados brasileiros não foram diretamente habitados pelos índios, que sempre deram preferência à selva, na proximidade de grandes rios. Suas habitações feitas de palha eram altamente inflamáveis o que pode ser uma das razões para que o índio tratasse o fogo com muito cuidado (Acari de Passos, antropólogo, comunicação pessoal). As queimadas no cerrado tornaram-se sistemáticas e cada vez de maiores proporções à medida em que a região foi sendo ocupada pelo agricultor. Os campos cerrados eram considerados terra pobre. Hoje, grandes plantações de soja são comuns no Brasil central, porque técnicas de adubação modernas são capazes de corrigir a deficiência natural dos solos.

Alguns tipos de capim do cerrado possuem raízes profundas que suportam a queimada da superfície.



Fumaça já bastante fraca, fogo raso, e uma área já só com cinzas, na parte frontal direita da foto. Note que um dos galhos mais grossos não queimou totalmente. É isto que ocorre em todo cerrado brasileiro. O fogo rasteiro chega a chamuscar de preto o tronco das árvores maiores, sem matá-las. No entanto, a tortuosidade das árvores do cerrado, sem dúvida, é em parte causada pelo fogo. Já as mudas de árvores não tem muita chance. São queimadas juntas com o capim.

Uma outra prática, outrora usada apenas no norte do Estado de Minas Gerais, mas hoje comum em toda a região do cerrado é a produção de carvão. A matéria prima é constituída pelas pequenas árvores do cerrado, arrancadas do chão com a raiz. A produção de carvão é uma ati-

As carvoeiras primitivas continuam aumentando em Goiás para prover de combustível fábricas de tijolos e cerâmicas.

vidade primitiva mas que requer mão de obra "especializada". Em geral o carvoeiro leva uma vida extremamente difícil vivendo em condições de miséria. As carvoeiras usam fornos feitos de tijolo e barro para lentamente "cozinhar" a madeira até transformá-la em carvão. A principal motivação para produção de carvão numa escala maior são as siderúrgicas, fábricas de tijolos e cerâmicas, mas também inúmeras outras formas de uso do carvão ainda são comuns no Brasil.



Fornos primitivos feitos de barro e tijolos mas bem específicos são construídos pelo carvoeiro para transformar a madeira, cortada no machado, em carvão. Os fornos são totalmente fechados com exceção de alguns furos por onde pode passar a fumaça. O processo é lento e gradual, onde a madeira "cozinha" até o ponto ótimo do carvão.

O que Mudou? Descobertas Recentes

Trabalhos recentes do final da década de 70 começaram a estudar a influência das queimadas na constituição da atmosfera. Crutzen et al. (1979) mostraram que as queimadas liberam os gases CO, H₂, N₂O, NO, CH₃Cl, COS, além dos óbvios CO₂ e H₂O. A liberação do CO na atmosfera tropical, em presença de NO e radiação ultravioleta (UV) permite a ocorrência de reações químicas das quais pode resultar a **formação de ozônio**, em concentrações muito acima das naturalmente encontradas na natureza.

A queimada libera o CO diretamente no processo de combustão. Em contato com outras substâncias no ar pode ser produzido outro poluente: o O₃.

Esta constatação teve uma grande repercussão na comunidade científica e deu um grande impulso aos estudos da **Química da Atmosfera** já que elevadas concentrações de ozônio na troposfera são prejudiciais à vida (principalmente a vegetativa).



Carvão é usado em inúmeras aplicações. As siderúrgicas do norte de Minas usam carvão como combustível. Carvão feito das árvores do cerrado. A transformação de madeira em carvão é um processo artesanal, antiquado e que escraviza o trabalhador a uma vida extremamente dura. As árvores do cerrado não são cortadas para fazer carvão. Elas são arrancadas do solo por grandes tratores que as puxam com correntes. Assim, até, as raízes são aproveitadas para fazer carvão.

Situação no Brasil

Relatórios de organismos internacionais ligados a movimentos ecológicos **colocam o Brasil como campeão mundial de queimadas**. A situação exagerada em Rondônia já foi assunto de jornal inúmeras vezes (Fearnside, 1990; Uhl, et al., 1990).

Os principais tipos de queimadas no Brasil são: pequenas queimadas de beira de estrada; queimadas de palha de cana de açúcar; queimadas no Cerrado; e queimadas em desmatamentos de floresta.

Supondo que a massa vegetal é totalmente queimada, as estatísticas disponíveis (Houghton et al, 1987) para o ano de 1980 atribuem ao Brasil 50% das queimadas de toda a América tropical, e 20% de toda a região tropical, a maior contribuição individual de um país. O Brasil é considerado o campeão mundial na atividade de emitir carbono para a atmosfera. Vamos analisar isto mais adiante (ver também Goldemberg (1990), Kirchhoff (1988a)).

No Brasil, os principais tipos de queimadas são os seguintes:

- **Queimadas de vegetação baixa na beira de estradas.** Na época seca este tipo de queimada é comum em todo o Brasil. Parece que virou uma brincadeira favorita do brasileiro atear fogo ao capim seco das beiras das estradas do Brasil. Mesmo em regiões altamente desenvolvidas, como por exemplo no Estado de São Paulo, é diária a ocorrência de queimadas à beira da via Dutra, por exemplo. Este tipo de queimada pode prejudicar totalmente a visibilidade nas estradas e não são raros acidentes fatais nas principais estradas do Brasil causados por colisões em meio à espessa fumaça. Este tipo de queimada contribui na emissão de poluentes particulados e gasosos.

- **Queimadas na cana de açúcar.** Após a adoção pelo Brasil do Programa Nacional do Alcool, a produção da cana de açúcar aumentou muito. Mais da metade de toda a produção brasileira está concentrada hoje no Estado de São Paulo. Usa-se a prática da queima da palha de cana antes da colheita. O interior do Estado de São Paulo está hoje bastante afetado por esta nova fonte poluidora da atmosfera. Este tipo de queimada contribui para a emissão de poluentes particulados e gasosos.

- **Queimadas no Cerrado.** No cerrado brasileiro, cerca de 15% de sua área total é queimada anualmente. Em parte, estas queimadas são exageradas e desnecessárias. A região tem épocas de estiagem muito longas, o que permite a ignição da vegetação seca com grande facilidade. Este tipo de queimada contribui para a emissão de poluentes particulados e gasosos. Os três tipos de queimadas citados contribuem apenas indiretamente ao Efeito Estufa, através da emissão de N_2O e CH_4 , e da formação de O_3 na atmosfera a partir do CO , na hipótese de que toda a vegetação queimada renasça no ano seguinte. O que contribui diretamente ao Efeito Estufa no cerrado é a transformação das árvores do cerrado em carvão.

- **Queimadas em desmatamentos e desflorestamentos.** Ocorrem na região Amazônica, principalmente, mas também em menor escala em todo território nacional. A maior taxa ocorre nos Estados de Rondônia, Mato Grosso, e sul do Pará. **Estas queimadas contribuem diretamente ao Efeito Estufa** pela emissão do CO_2 , aumentando sua concentração na atmosfera, e indiretamente pela produção do O_3 , N_2O , e CH_4 .

Consequências da Queimada

As consequências de uma queimada de grande escala são inúmeras. Citaremos algumas. Há prejuízos evidentes para a fauna e flora da região. Muitos insetos, que têm papel importante no processo de polinização das flores, são eliminados. O fogo sistemático numa certa região perpetua a vegetação rasteira onde sobrevive apenas a planta que tem apreciável massa de raízes.

As queimadas são responsáveis pelo aumento da concentração dos gases CO e O₃ na baixa atmosfera; ambos são tóxicos.

Sobre a atmosfera há dois efeitos principais. As mudanças causadas na Química da Troposfera (a Troposfera é a camada mais baixa da Atmosfera entre a superfície e cerca de 16 km de altura, na região tropical), principalmente a **injeção e formação de gases tóxicos** (ex.: CO e O₃, Kirchhoff e Marinho, 1988, 1989). O segundo efeito sobre a Atmosfera é o **Efeito Estufa**, que representa a médio e longo prazo um aumento da temperatura média da superfície terrestre, e que será discutido em detalhes no restante deste trabalho.

Prejuízos causados por ozônio troposférico

Altas concentrações de ozônio são prejudiciais aos seres vivos, por ser um gás tóxico. O termo **alto** é relativo visto que cada organismo reage de modo diferente. Existem tabelas, no entanto, preparadas por estudos médicos, que orientam quanto à exposição máxima aceitável. Concentrações mais altas são suportáveis durante períodos mais curtos.

Em geral, quando se pode sentir a presença do ozônio pelo cheiro, significa que a concentração está muito alta. Nestas condições pode causar irritação dos olhos e problemas respiratórios. Mas o maior problema detectado até hoje é o seu potencial de danificar florestas.

Algumas florestas da era industrial presente, na Europa e nos Estados Unidos, sofrem de uma doença (Steigner et al., 1990) que parece decorrer de altas concentrações de ozônio na baixa atmosfera. Nos grandes centros industriais as concentrações elevadas de ozônio decorrem da queima de combustíveis fósseis. **Na região tropical, as queimadas são a causa de concentrações elevadas de ozônio na baixa atmosfera.**

Entre os vários poluentes atmosféricos, o ácido sulfúrico, o ácido nítrico, o dióxido de enxofre, e os óxidos de nitrogênio, **o ozônio é considerado o poluente mais prejudicial.** Deve-se frisar que os produtos de deposição ácida, citados acima, o ácido sulfúrico e o nítrico, são considerados menos danosos do que o ozônio. O ozônio da troposfera é visto como a maior ameaça para o saudável crescimento florestal e deverá sê-lo ainda por muitos anos. Danos florestais severos são esperados a longo prazo (Steigner et al. 1990), na Europa e Estados Unidos.

O ozônio de superfície é o gás poluente mais temido por causar danos irreversíveis a certas plantas.

Ironicamente, pode-se dizer que no Brasil não existe tal ameaça considerando que se queimam grandes áreas florestais intencionalmente. Por outro lado, deve-se lembrar (Kirchhoff, 1988b; Kirchhoff et al., 1988, 1989, 1990) que na região Amazônica a concentração de ozônio é bastante baixa (6-12 ppbv).

O EFEITO ESTUFA

O Efeito Estufa é um processo físico que acontece na Atmosfera e que provoca um aumento da temperatura da superfície. Este aumento de temperatura pode causar imediatamente várias modificações ao meio ambiente. A Figura 4 mostra que o aumento de temperatura não leva somente a mudanças climáticas, mas sim a várias outras alterações e por isto preferimos falar em mudanças ambientais, termo mais geral, e que inclui mudanças climáticas. T_s é a temperatura de superfície; CO é o monóxido de carbono, e NO_x são os óxidos de nitrogênio NO e NO_2 , importantes nos ciclos de reações químicas da troposfera e estratosfera.

O Efeito Estufa é um processo físico que acontece na Atmosfera e que provoca um aumento da temperatura da superfície.

Uma das consequências é o aumento do vapor d'água (H_2O) na atmosfera. Isto mudará as concentrações da oxidrila (OH) e da hidroperoxila (HO_2) que por sua vez afetarão o ozônio (O_3) e o metano (CH_4) interferindo então diretamente no Efeito Estufa. Há, portanto, realimentações internas do sistema o que tornam as previsões mais difíceis.

O Efeito Estufa é realizado por alguns poucos gases que existem na atmosfera. Estes gases podem ser naturais, isto é, gases produzidos naturalmente na atmosfera, ou podem ser introduzidos artificialmente na atmosfera, pela ação do homem moderno. Para que um constituinte seja

Alguns dos principais gases do Efeito Estufa são: CO_2 , CH_4 , N_2O , CFC-11, CFC-12, O_3 , e H_2O .

um gás do Efeito Estufa, este deve ter a propriedade de absorver radiação eletromagnética na região espectral do infravermelho (isto é, comprimentos de onda longos; o infravermelho é a região em que as ondas transmitem calor). Possuindo esta propriedade, o gás situado na troposfera, não deixa passar para o espaço a radiação de onda longa emitida pelo planeta (após absorver a radiação solar). Uma parte da radiação absorvida pelo gás será retransmitida para a superfície. **Tudo se passa como se o gás fosse uma fonte secundária de calor para a superfície** (o sol sendo a fonte primária). Os principais gases do Efeito Estufa são o gás carbônico (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), o CFC-11, o CFC-12, o ozônio troposférico (O_3), e o vapor d'água (H_2O). Destes, apenas os dois últimos tem vida relativamente curta, o que causa uma variabilidade temporal e espacial grandes. Todos os outros têm vida longa e têm sua distribuição mais uniforme.

Alguns gases injetados por ação do Homem na Atmosfera operam como se fossem minúsculas fontes secundárias de calor.

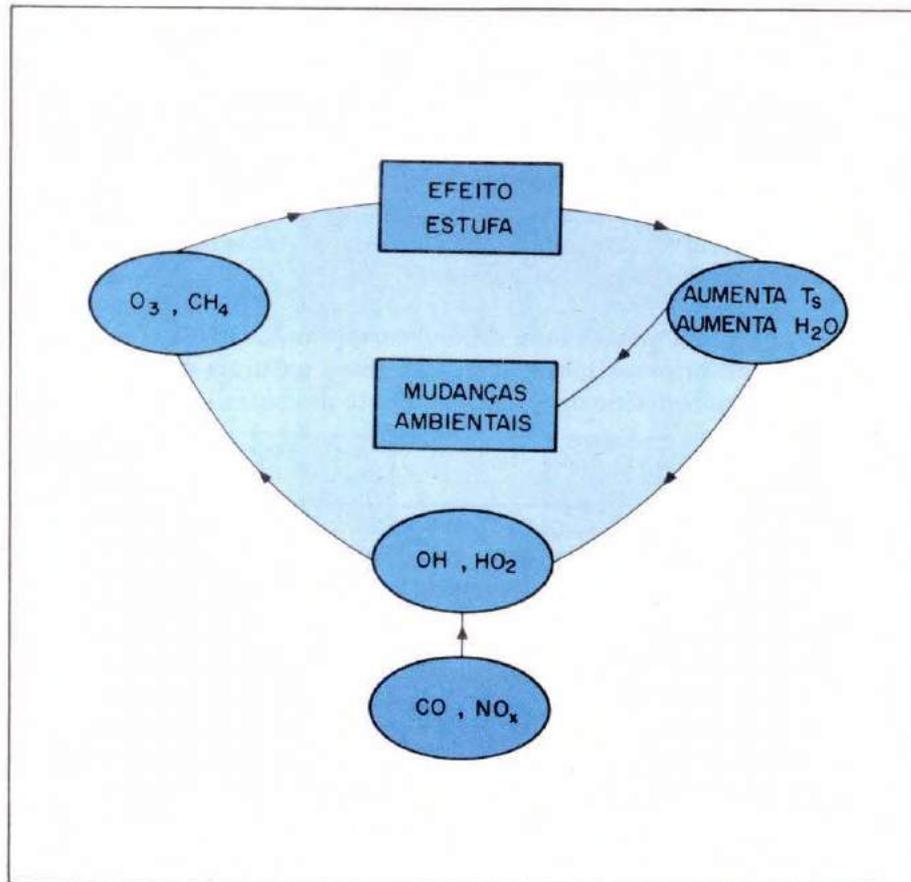


Fig. 4 - Esquema da interação entre o Efeito Estufa, mudanças ambientais, mudanças na química da atmosfera, e realimentação ao efeito estufa.

O esquema indicado mostra o processo de realimentação positiva que o Efeito Estufa pode provocar. Causando o aumento em T_s , aumenta a capacidade da atmosfera de armazenar vapor d'água, o que deve levar a profundas mudanças ambientais. Com o aumento do vapor d'água, aumentam sua concentração radicais químicos como o OH e a HO₂, que em presença de CO e NO_x emitidos da superfície pelo Homem produzem mais O₃ e CH₄ na atmosfera o que deve levar a um Efeito Estufa maior.

O nome Efeito Estufa, resulta da comparação que se fez no passado com uma estufa de plantas, em geral de vidro, fechada, onde os raios solares na região espectral do visível podem penetrar o vidro, sendo refletidos por ele na região do infravermelho. Apesar da boa analogia com as camadas atmosféricas, acredita-se que o calor gerado na estufa deve-se muito mais ao fato de ser a estufa um recinto fechado, onde a falta de ventilação mantém o calor por muito mais tempo. Apesar desta restrição, o nome Efeito Estufa já está consagrado.

A Figura 5 mostra uma subdivisão do Efeito Estufa. De um lado a parte natural (principal), causada pelos gases naturais da atmosfera e que implica em benefício enorme ao conjunto dos seres vivos, a biosfera,

O Efeito Estufa que preocupa é o artificial, causado por um acúmulo exagerado de certos gases na atmosfera, por ação do Homem.

com um aumento na temperatura efetiva de 35 a 45 graus. O processo de se chegar a este equilíbrio é bastante demorado, como indicado na Figura 5 (meio milhão de anos).

O outro lado da Figura 5 define o Efeito Estufa artificial ou acelerado. Este é o Efeito Estufa indesejável, o que é mencionado sempre nas páginas dos jornais. **É deste Efeito Estufa que falaremos no restante do livro.** Esta parcela é causada pela ação do homem que introduz artificialmente na atmosfera gases que produzem então um acréscimo adicional de temperatura, ainda que pequeno. Este processo é mais rápido que o anterior, e está cada vez mais rápido (acelerado). É esta a contribuição que tenderá a causar um aumento na temperatura média da superfície terrestre, a médio e longo prazos. As consequências de tal aumento parecem ser bastante negativas e serão discutidas em capítulos seguintes.

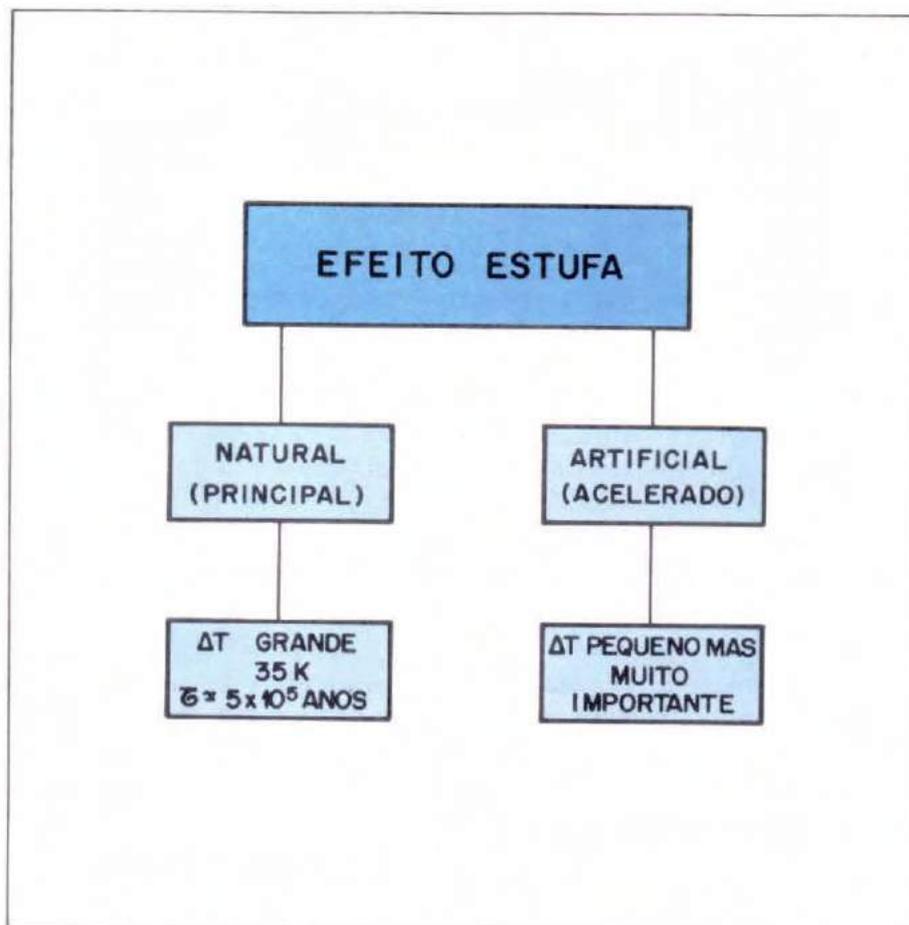


Fig. 5 - Ilustração de dois tipos de efeito estufa: o natural e o acelerado, causado pela interferência do homem na composição atmosférica.

O ramo principal do Efeito Estufa é o mais importante porque é responsável pelo aquecimento de nosso planeta acima do valor de equilíbrio radiativo, da ordem de 35 k. A letra grega τ (Tau) indica a constante de tempo envolvida, da ordem de 500.000 anos o que significa que mudanças impostas via Efeito Estufa demoram muito tempo para serem observáveis na Atmosfera. O ramo da direita é a fração que mais preocupa no momento, porque significa um desvio, ainda que pequeno, do equilíbrio milenar.

O Efeito Estufa, em termos de equilíbrio de energia (por unidade de tempo), está ilustrado na Figura 6. A energia radiante do sol aproveitada efetivamente é 236 watts por metro quadrado (W/m^2). Esta é a energia que entra no sistema, principalmente via radiação na parte visível do espectro. Como o sistema está em equilíbrio, a energia que entra deve ser igual à energia que sai. Portanto, a energia que sai na faixa de ondas longas (infravermelho) deve ser também de 236 W/m^2 como está indicado na Figura. A temperatura observada na superfície é

Os gases da atmosfera são transparentes à luz visível. Alguns absorvem energia em comprimentos de onda longos. Começa aí o Efeito Estufa.

de 288 K , em média, e a esta temperatura corresponde uma energia de 390 W/m^2 . Aparentemente, este resultado é um contra-senso. **Como é que pode um corpo sem energia própria (a superfície da Terra) ter uma emissão de energia maior (390 W/m^2) do que a energia solar disponível para aquecimento (236 W/m^2)?** Reside nesta questão o segredo do Efeito Estufa.

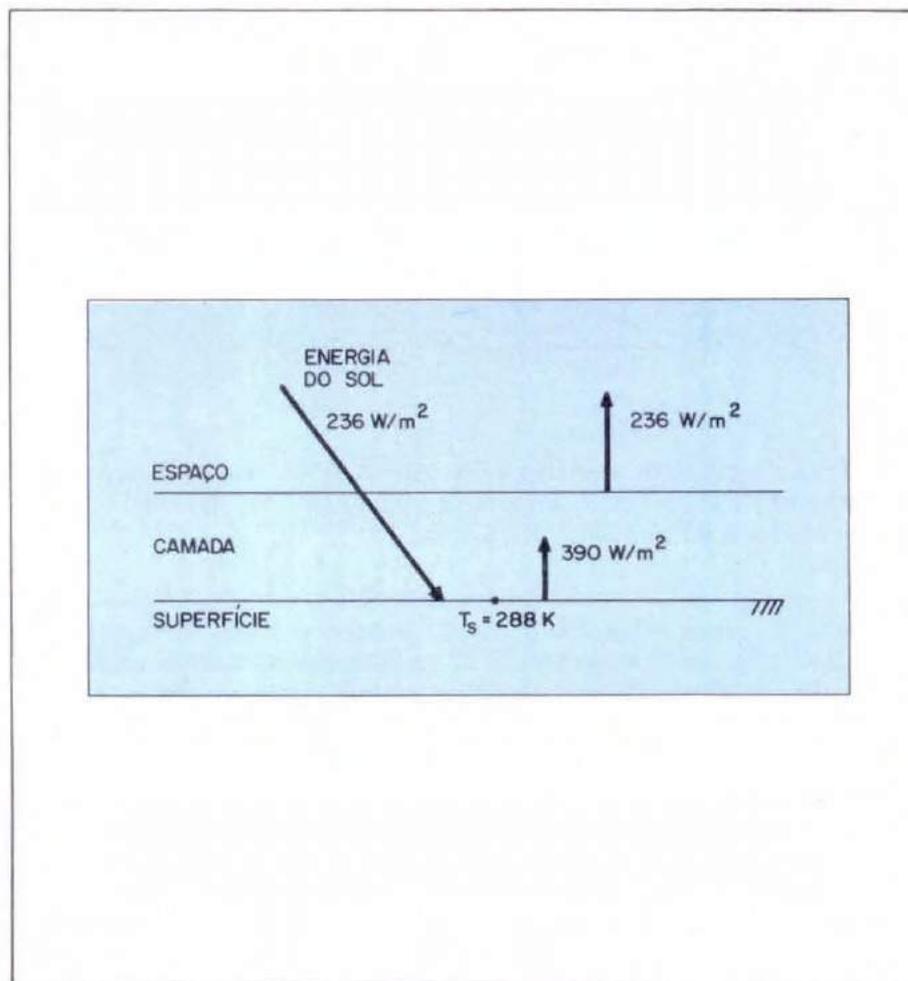


Fig. 6 - Esquema do balanço radiativo no sistema Atmosfera-Superfície da Terra.

A representação esquemática acima mostra a presença de uma única camada de gases acima da superfície terrestre. O equilíbrio radiativo implica que a energia (por unidade de tempo) solar total que entra na superfície é igual à energia que sai. No entanto, a temperatura de superfície de 288 K significa uma radiação de 390 W/m^2 , como indicado. A diferença $390 - 236 = 154 \text{ W/m}^2$ é devida ao Efeito Estufa natural.

A Figura 7 ajuda a entender como funciona o Efeito Estufa. Na parte **a** da Figura 7 mostramos apenas a superfície da Terra, sem

A camada de gás na atmosfera funciona como se fosse uma fonte adicional de calor, ainda que muito pequena se comparada com o sol.

atmosfera. Neste caso a energia E_e que vem do espaço é depositada diretamente na superfície, e esta, para permanecer em equilíbrio, irradia em onda longa a mesma energia, $E_s = E_e$.

Esta situação muda quando se inclui a atmosfera, como mostra a Figura 7b. A energia que vem do espaço continua sendo E_e e é depositada na superfície. A camada de gases está a uma temperatura T_1 e a superfície, à temperatura T_s . Verifica-se claramente que agora, além da energia original E_e , entra também na superfície a energia proveniente da camada de gases atmosféricos que emite energia E_1 a uma temperatura T_1 , ou seja

$$E_s = E_e + E_1$$

e portanto no caso **b**, a temperatura da superfície (com atmosfera, isto é, com Efeito Estufa) é maior que no caso **a**, porque entra mais energia.

EQUILÍBRIO RADIATIVO

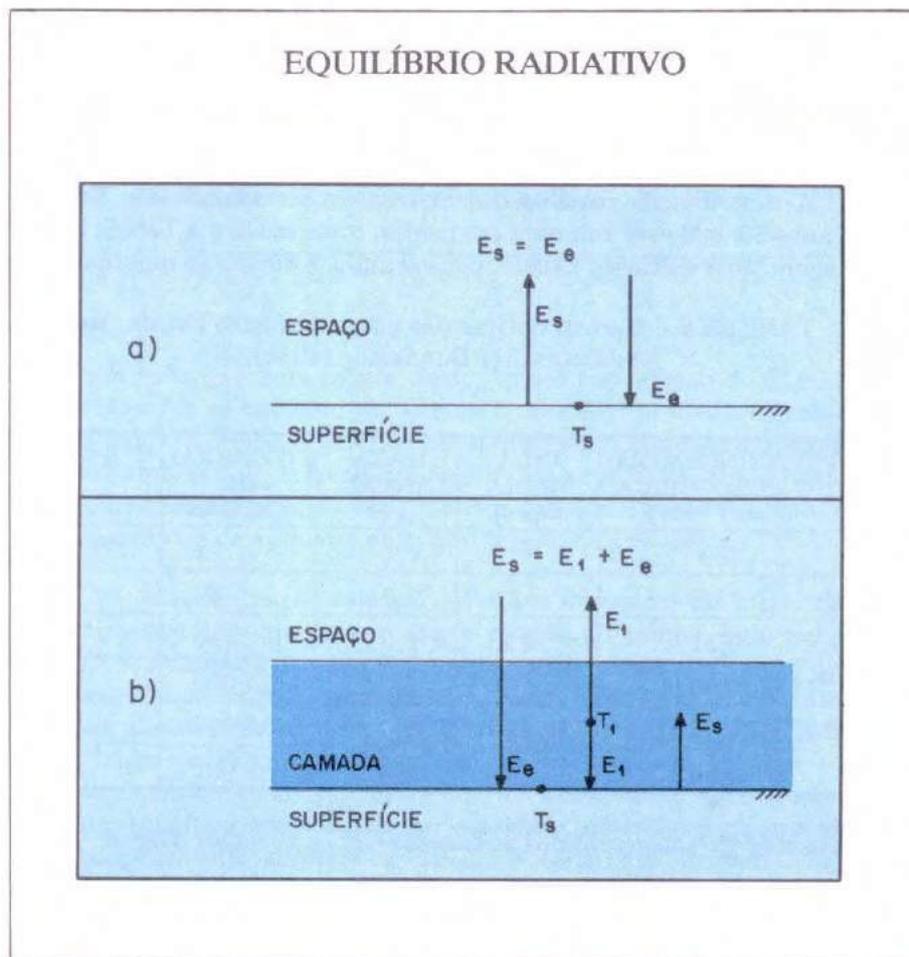


Fig. 7 - Equilíbrio radiativo sem atmosfera (a), e o equilíbrio que resulta com uma camada de gás (b).

A representação do caso a não considera a presença da atmosfera, isto é, dos gases que a compõem. No caso b, com a camada de atmosfera o equilíbrio é diferente. A camada em equilíbrio à temperatura T_1 emite a energia E_1 para as camadas vizinhas e recebe a energia da superfície, E_s . O equilíbrio requer, portanto, que $E_s = E_1 + E_e$.

CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DOS GASES AO EFEITO ESTUFA

A contribuição relativa dos diferentes gases ao Efeito Estufa, para os anos 80, pode ser colocada em média, como mostra a Tabela 2, em porcentagem. 19% do Efeito Estufa, por exemplo, é devido ao metano.

TABELA 2 - Características dos gases do Efeito Estufa, resumo de Deutscher Bundestag (1988).

GÁS	CONCENTRAÇÃO TÍPICA (PPMV)	VIDA MÉDIA (anos)	TAXA ANUAL (%)	POTENCIAL DE ESTUFA	(%)
CO ₂	350	7	0,4	1	50
CH ₄	1,65	10	1,0	32	19
N ₂ O	0,31	150	0,3	150	4
CFC 11	0,0002	65	5	14.000	5
CFC 12	0,0003	110	5	17.000	10
O ₃	0,02	0,1	0,5	2.000	8*

* Os restantes 4% são atribuídos aos outros CFC e ao vapor d'água.

Pode-se esperar que a contribuição relativa do CO₂ deve diminuir no processo, porque a contribuição dos outros gases tem um crescimento maior. É interessante observar na Tabela 2 que o potencial estufa, isto é, de aquecimento relativo é muito maior para os clorofluorcarbonetos (que abreviadamente chamamos de CFC; ver descrição mais detalhada na seção seguinte) condição contrabalançada

Na década de 60, 2/3 do Efeito Estufa eram devidos ao gás carbônico. Na década de 80, metade era devida ao CO₂ e metade aos outros gases. Estima-se que no ano 2020 a contribuição do CO₂ poderá ser de apenas 1/3.

pela concentração bem menor destes gases em relação ao CO₂, N₂O, ou CH₄. Observa-se também na Tabela 2, que a vida média destes gases é muito longa, o que significa que permanecem na atmosfera durante muito tempo (uma vez na atmosfera não há como retirá-los antes deste tempo médio nas condições atuais). Um outro dado da Tabela é a taxa anual de crescimento ou de aumento da concentração na atmosfera.

A contribuição relativa estimada dos gases do Efeito Estufa ao aquecimento de superfície e sua evolução no tempo está indicada na Figura 8, adaptada de cálculos realizados por Ramanathan et al. 1985b. Mostra-se a contribuição relativa em duas curvas, uma somente para o CO₂ e a outra para todos os outros gases. Este par de curvas foi desenhado na Figura de forma proporcional, desde os anos 60 até a década de 2020. Através de pesquisas em bolhas de ar de testemunhos de gelo da Antártica pôde-se estimar o período pré-industrial, indicado para o período muito anterior a 1960. Nota-se em primeiro lugar um crescimento gradual das curvas com o tempo, o que significa uma contribuição cada vez maior para o Efeito Estufa, devido ao constante aumento nas concentrações dos gases. A segunda constatação que se observa da Figura 8 é que a contribuição dos outros gases vai ficando cada vez maior do que a contribuição do CO₂. No início o CO₂ contribui com mais de 2/3 do total para o Efeito Estufa (antes de 1960). Nos anos 80, a contribuição relativa é aproximadamente igual: 50% para o CO₂, 50% para todos os outros gases (as duas curvas praticamente se confundem na Figura 8). Para o futuro os cálculos indicam que se os níveis de crescimento atuais fossem mantidos, a contribuição dos outros gases, nos anos 2020, deverá ser bem maior do que a contribuição do CO₂, na proporção aproximada de 2/3 para 1/3 (ver também Ramanathan et al., 1987, e Lacis et al., 1981).

Hoje é o CO₂ que contribui com pouco mais de 50% ao Efeito Estufa. Mas há indícios de que esta contribuição diminua no futuro devido ao aumento mais rápido da contribuição dos outros gases.

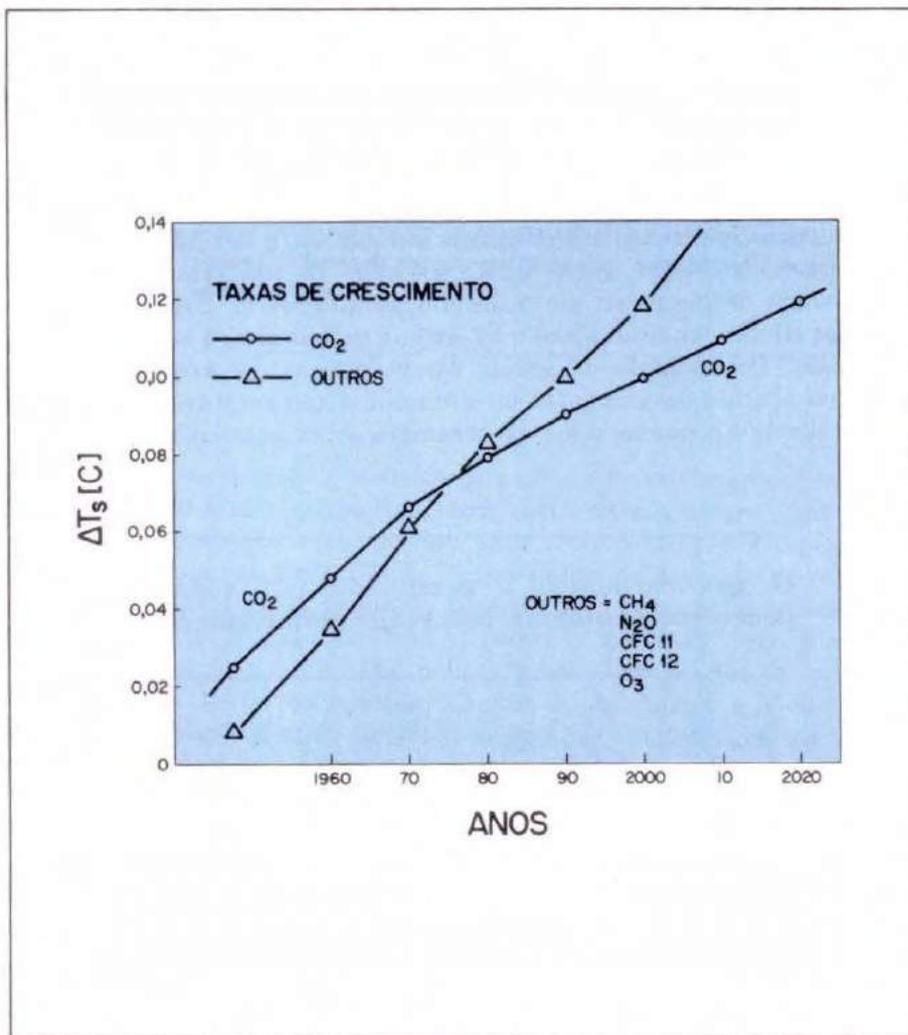


Fig. 8 - Contribuição relativa dos gases do Efeito Estufa e sua evolução temporal.

A ilustração mostra que no final dos anos 70 a contribuição relativa dos gases ao Efeito Estufa era de 50% para o CO₂ e 50% para os outros gases (principalmente CH₄, N₂O, O₃, e CFCs). A tendência de crescimento futuro é de tornar a contribuição do CO₂ cada vez menor.

O Papel dos Aerossóis

Os aerossóis são partículas de poeira suspensas na estratosfera. Podem ter origem natural, oriundos de erupções vulcânicas, tempestades em desertos, etc., ou origem antropogênica, isto é, produzidos pelo Homem, principalmente nos processos industriais, e nas queimadas. Seu tamanho pode variar entre 0.001 μm até 10 μm (Um μm vale 1 milionésimo de metro ou um milésimo do milímetro). Seu efeito sobre questões climáticas é complexo mas, ao que tudo indica, é menor do que o dos gases. Dependendo de várias características, os aerossóis podem atuar no sentido de aumentar ou diminuir a temperatura. Em regiões onde o albedo é pequeno, como por exemplo, sobre os oceanos, eles atuam

O gás carbônico é produzido por todos os processos de queima. Não reage quimicamente.

no sentido de diminuir a temperatura. Sobre regiões com neve, geleiras, ou regiões desérticas, podem atuar no sentido de aumentar o Efeito Estufa.

O Gás Carbônico (CO₂)

O gás carbônico, também chamado dióxido de carbono, é um gás estável que não reage quimicamente no meio ambiente normal da atmosfera, e o excesso é produzido por diversos processos de combustão (queima). O gás carbônico é principalmente um gás natural da atmosfera, e como já mencionado, o principal gás do Efeito Estufa natural. Com a grande revolução industrial, e principalmente com a utilização do combustível fóssil (carvão fóssil e petróleo) na maioria dos processos

industriais que queimam este combustível, o CO₂ é produzido (pela ação do homem) em grandes quantidades.

O gás carbônico interfere no equilíbrio radiativo do planeta numa pequena região espectral em torno de 15 μm .

Por ser inerte, o gás carbônico possui vida relativamente longa e se distribui de forma quase que exponencial com a altura. Seu maior efeito ocorre portanto na troposfera onde a concentração é maior. Sua contribuição com relação ao Efeito Estufa ocorre na absorção de radiação em torno de 15 μm . Esta forma de absorção está claramente indicada na Figura 9, de um original da NASA, Hanel et al. (1972), que mostra o espectro de radiação emitida pelo planeta Terra, medido por um instrumento a bordo do satélite Nimbus 3. A energia que devia ser enviada ao espaço segundo as linhas tracejadas, que indicam a variação da lei de Planck para um corpo negro a temperaturas entre 200 e 300 K, é praticamente suprimida pelo CO₂ que redireciona uma parte desta energia de volta à Terra, onde irá contribuir para um aquecimento adicional. Perto de 9,5 μm existe uma outra faixa de absorção, mostrada na Figura 9, provocada pelo oxigênio molecular (O₂), e o ozônio (O₃). A Figura 9 é um belo exemplo de comprovação experimental de uma lei teórica da natureza, a lei de Planck.

O ESPECTRO DA TERRA

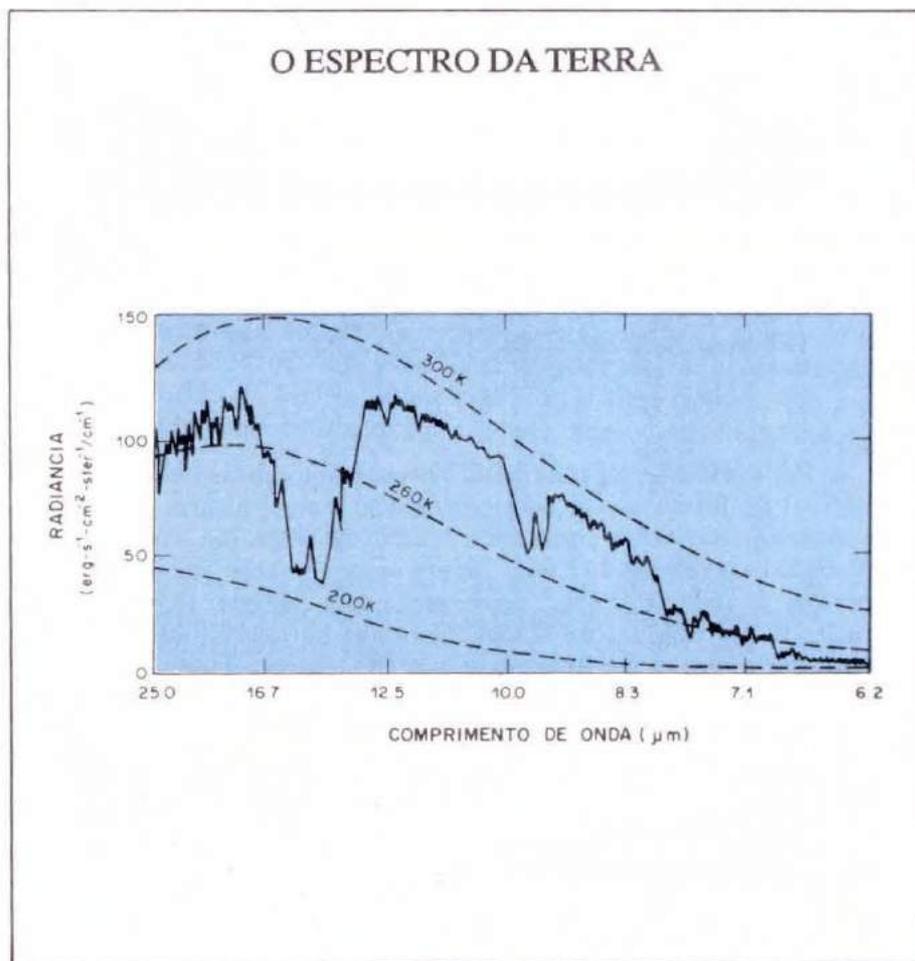


Fig. 9 -O espectro de emissão de energia radiante da Terra mostrando a absorção pelo CO₂ (15 μm) e do O₂ e O₃ (9 μm).

Esta radiação emitida pelo sistema Terra-Atmosfera é o que se mediu no espaço, a bordo de um satélite da NASA. As linhas tracejadas mostram o cálculo teórico seguindo a lei de Planck, isto é, do corpo negro sem a presença de gases na atmosfera. Os picos invertidos em 15 e 9 μm mostram o efeito no espectro causado pela presença de gases com capacidade de absorção nesta faixa.

A Figura 10, adaptada de um original de Schoenwiese und Diekmann (1988), mostra uma comparação dos espectros de absorção de CO_2 , N_2O , e CH_4 . Há uma superposição de picos do N_2O e CO_2 em $4,5 \mu\text{m}$. Entre 5 e $10 \mu\text{m}$, o CO_2 não absorve energia, mas N_2O e CH_4 têm picos perto de $7,5 \mu\text{m}$.

É interessante notar que na estratosfera, o papel do CO_2 é exatamente o oposto, isto é, em vez de servir como aquecedor, serve para esfriar o planeta. Isto porque estaria impedindo o infravermelho solar de chegar à superfície terrestre, devolvendo uma boa porção diretamente ao espaço. Seu papel na estratosfera é assim bem mais importante do que o do vapor d'água, porque sua concentração é normalmente bem maior. Como a temperatura da estratosfera aumenta com a altura, a irradiação do CO_2 também ficaria cada vez mais eficiente, o que até certo ponto fica compensado pela queda de sua concentração com a altura.

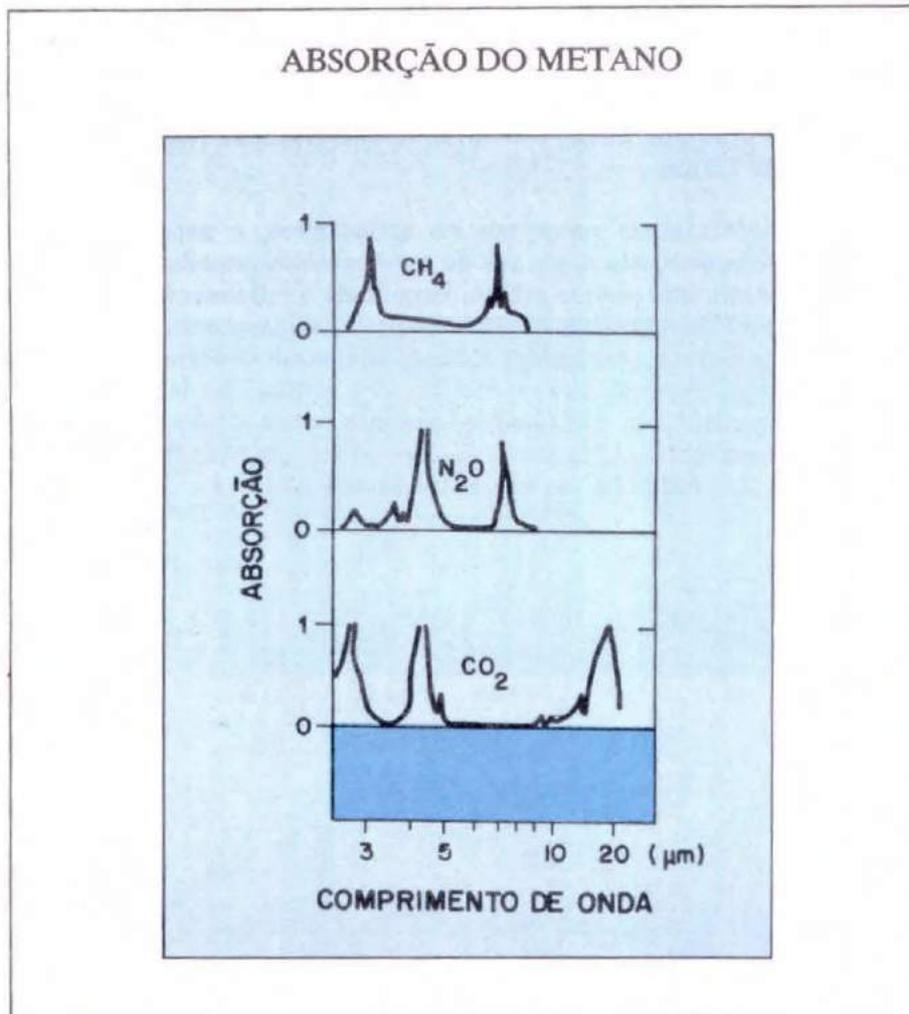


Fig. 10 - Espectro de absorção dos gases de vida longa CH_4 e N_2O comparados com o CO_2 .

O espectro de absorção de algum dos gases do Efeito Estufa, metano, óxido nitroso, e gás carbônico mostra que há regiões de superposição. Tomadas individualmente, o potencial de contribuir para o Efeito Estufa do metano e do óxido nitroso é muito maior do que o gás carbônico.

O ciclo do gás carbônico está embutido no ciclo do carbono, mostrado na Figura 11. O carbono se encontra presente na atmosfera na forma de CO_2 , na massa líquida sob forma de íons bi-carbonatos, e na massa sólida na forma de carbonatos. Além disto, participa também da biosfera, na forma de carbono orgânico, havendo um fluxo contínuo para a atmosfera e para os sedimentos. A Figura 11 mostra um diagrama onde os retângulos designam reservatórios de carbono, os números indicando bilhões de toneladas de carbono, e as setas indicam os fluxos ou taxas de transferências anuais, na mesma unidade. Pode-se ver que os processos mais rápidos de transferência entre reservatórios são entre atmosfera e biosfera, através da respiração e decaimento (processo de produção de

Concentrações elevadas de CO_2 na estratosfera tendem a esfriar o planeta. Na troposfera, aquecem o planeta.

CO_2 na atmosfera) por um lado, e a fotossíntese (processo de perda de CO_2 na atmosfera) por outro. Enquanto uma certa floresta está em pleno crescimento, a fotossíntese predomina e existe uma retirada efetiva de CO_2 da atmosfera. O inverso ocorre quando uma floresta é eliminada em troca de pastagem, por exemplo, quando então o processo acrescenta CO_2 à atmosfera. O processo de equilíbrio com as águas superficiais dos oceanos também é relativamente rápido. Pode-se achar o tempo característico dos processos mostrados na Figura dividindo-se o conteúdo

O ciclo do carbono mostra a interligação entre os diversos reservatórios de carbono. Na atmosfera o carbono está principalmente contido no CO_2 .

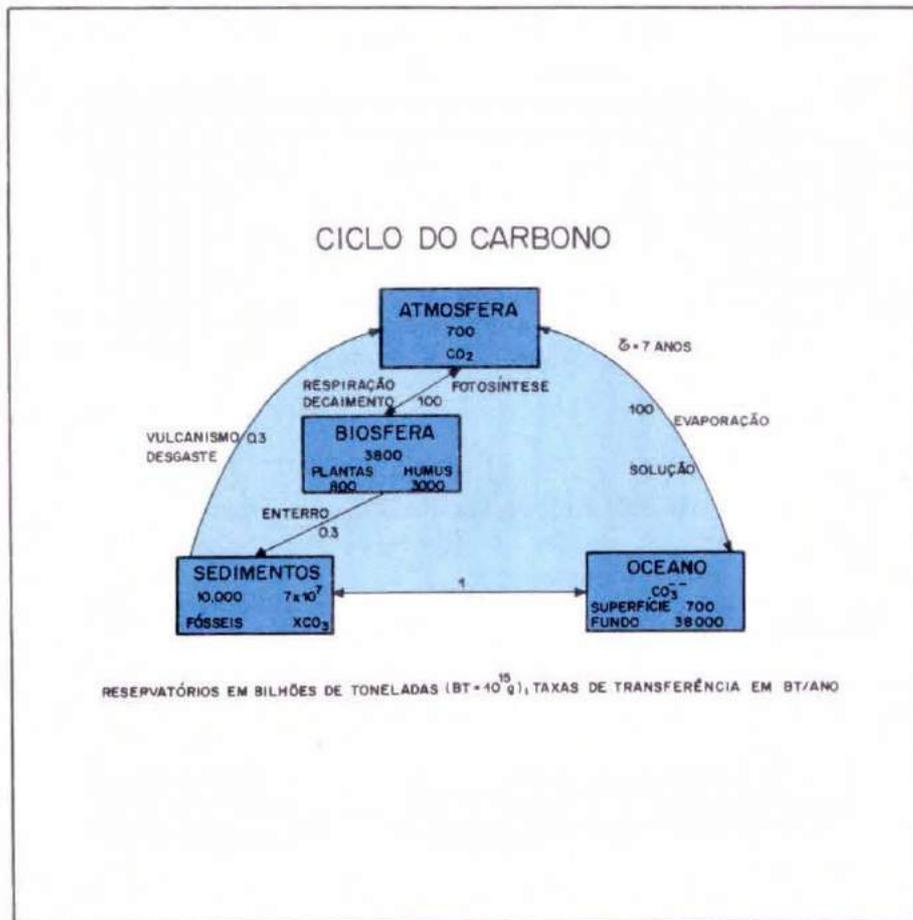


Fig. 11 - Ciclo do carbono. Caixas guardam depósitos em bilhões de toneladas, e setas indicam taxas de transferência em bilhões de toneladas por ano.

O ciclo do carbono mostra as diversas formas em que este elemento químico se apresenta na natureza. Os sedimentos e o fundo dos oceanos representam o maior reservatório de carbono. Pequenas variações nestes grandes reservatórios podem significar grandes variações no conteúdo da Biosfera e Atmosfera. A maior preocupação de momento é a transferência de carbono da Biosfera para a Atmosfera, através do corte de florestas. Esta transferência aumentaria o Efeito Estufa.

do reservatório pela taxa de transferência. Por exemplo, o processo de esvaziamento de CO₂ da atmosfera (700×10^{15} g) pelo processo de solução nas águas superficiais dos oceanos (100×10^{15} g/ano) dá 7 anos, isto é, cada molécula de CO₂ reside aproximadamente 7 anos na atmosfera antes de ser dissolvida no oceano. Este processo de interação do CO₂ entre a atmosfera e os oceanos ainda é pouco conhecido, e o tempo de residência do CO₂ pode ser maior. Os oceanos representam um meio importante também para a fotossíntese, pois são os planctons marinhos que fixam cerca de 65% do total de carbono retirado da atmosfera pelo mundo vegetal.

A Tabela 3 mostra as emissões de CO₂ para o ano de 1986, pela queima de diferentes tipos de combustível.

Os valores quantitativos são muito incertos, nos reservatórios, nas transferências, e nas estimativas da contribuição de queima de biomassa. Além disto, parece que alguns processos biológicos esporádicos podem afetar o ciclo do carbono. Acredita-se, por exemplo, que durante certos períodos algumas algas podem acelerar em muito o seu crescimento, acumulando assim grandes quantidades de CO₂. Após sua morte, estas algas afundam rapidamente para o fundo do mar, um processo que retira o CO₂ das camadas superficiais dos mares.

TABELA 3 - Emissão mundial de CO₂ no ano de 1986 pela queima de combustíveis fósseis, em milhões de toneladas de CO₂ (10⁶ toneladas de CO₂/ano)*, segundo Wagner und Walbeck (1988).

	CARVÃO	ÓLEO	GÁS	SOMA	%
Estados Unidos	1806	2852	1103	5761	28,0
Países Orientais	1832	1410	1212	4454	21,5
Europa Ocidental	979	1704	473	3156	15,4
China	2215	426	33	2674	13,0
Ásia Oriental - Austrália	992	1306	173	2471	12,0
América do Sul e Central	83	705	151	939	4,6
África	254	269	42	585	2,8
Oriente Próximo	48	394	76	518	2,6
SOMA	8209	9066	3263	20538	100,0
%	39,9	44,1	15,9		100,0

* Para obter os valores em gC, dividir por 3,67

Das emissões antropogênicas de CO₂, apenas 50% permanecem na atmosfera. O restante é dissolvido no oceano ou se acumula na biosfera.

O Óxido Nitroso (N₂O)

Além de ser um gás que contribui para o Efeito Estufa, o N₂O também colabora para a redução da camada de ozônio quando chega na

O N₂O é também importante na estratosfera onde pode ser dissociado produzindo os óxidos NO e NO₂ que são muito reativos.

estratosfera. Na troposfera, a razão de mistura do N₂O é praticamente constante, 308 partes por bilhão por volume (ppbv). O N₂O não reage quimicamente na troposfera (não tem perdas químicas) e por isto seu tempo de residência na troposfera é grande, 150 anos. Com isto, sua distribuição espacial é uniforme. Sua razão de mistura é constante na troposfera até a tropopausa, e acima desta decresce linearmente até um fator de 10 a 40 km de altura. Não apresenta variações temporais. As medidas de N₂O mostram que há um aumento gradual na concentração deste gás, da ordem de 0,2 a 0,3% por ano, o que se explica também pela ação antropogênica.

Uma fonte antropogênica de N₂O é a utilização de adubos na agricultura. Os solos emitem o gás em proporções maiores quanto maior for a quantidade de adubo usada. A emissão depende do tipo de solo e das condições meteorológicas. Pesquisas mostram que a transformação de florestas em pastagens, por exemplo, produz variações significativas no fluxo de N₂O para a atmosfera.

O Metano (CH₄)

O metano é a molécula orgânica mais simples da natureza pois possui apenas um átomo de carbono. Apesar de sua concentração na atmosfera ser bem menor que a do CO₂, sua eficiência de absorver

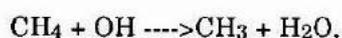
O metano é produzido por ação de microorganismos que não precisam de oxigênio para viver, e preferem as regiões pantanosas.

radiação no infravermelho é trinta e duas vezes maior, sendo responsável por 19% do Efeito Estufa (ver Tabela 2). O metano é produzido naturalmente por alguns microorganismos, principalmente nas regiões pantanosas. É produzido também por decomposição natural de material orgânico (lixo), e nos intestinos de animais, principalmente os ruminantes (ver, por exemplo, Ehhalt et al., 1983).

É importante medir o CH₄ em várias partes do mundo para que se conheçam melhor as suas principais fontes de produção e destruição. Quase não há, ainda, medidas nas regiões pantanosas do Brasil.

A absorção do CH₄ fica em 3 e 8 μm. Além de sua capacidade de absorção, o metano também é importante como participante na química da atmosfera, sendo o principal produtor natural de monóxido de carbono,

CO. A destruição do metano ocorre principalmente através da reação química com OH



e sendo a concentração da oxidrila (OH) de $8 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$, com uma taxa de reação $K = 8,6 \times 10^{-15} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$, o seu tempo de vida médio é de $1,4 \times 10^8 \text{ s}$, ou seja, da ordem de 5 anos. Como os tempos de mistura por transporte são bem menores do que 1 ano (da ordem de 1 mês) a variação espacial da concentração do metano é pequena. Concentrações maiores são encontradas no Hemisfério Norte, e as concentrações aumentam com latitude. Poucas medidas foram feitas no Hemisfério Sul.

O metano não possui uma fonte foto-química de produção, ao contrário da maioria dos outros gases da atmosfera.

A concentração do metano passa por uma variação sazonal acentuada, com máximo na primavera e mínimo no outono. Esta variação é provavelmente imposta pela variação sazonal do OH, que impõe uma variação semelhante ao monóxido de carbono (CO).

As principais fontes e sumidouros do metano atmosférico são mostrados na Tabela 4. Pode-se notar que as somas fontes x sumidouros não se anulam, o que reflete a incerteza sobre os processos e números citados.

TABELA 4 - Principais fontes e sumidouros do metano, em milhões de toneladas de CH₄ por ano (MTA) (Dados de várias fontes).

FONTE OU SUMIDOURO	MTA
Fontes Naturais	
Regiões alagadas	100 ± 80
Oceanos	10 ± 4
Lagos	5 ± 2
Insetos	15 ± 10
Tundra	5 ± 2
Fontes Antropogênicas	
Plantações de arroz	100 ± 40
Queima de Biomassa	65 ± 30
Fermentação em ruminantes domésticos	50 ± 20
Depósitos de lixo	50 ± 20
Gás Natural (perdas)	30 ± 5
Gás de carvão	30 ± 2
Total	460
Sumidouros	
Perdas químicas	420 ± 50
Perda para estratosfera	40 ± 10
Perda para superfície	20 ± 10
Total	480

Os Clorofluorcarbonetos (CFC)

Estas são substâncias que não são produzidas pela natureza. São artificialmente produzidas em laboratórios para satisfazer às exigências industriais do homem moderno. Foram projetadas há mais de 60 anos para substituir o dióxido de enxofre (SO₂) e o amoníaco (NH₃) até então usados no processo da refrigeração.

A família dos CFC teve um enorme sucesso econômico. Estas substâncias por não serem tóxicas, nem inflamáveis, corrosivas ou explosivas, são ideais para usos diversos inclusive nos lares. Uma caracte-

Os CFC são sintetizados a partir dos halogênios cloro, fluor, e bromo, e os compostos orgânicos metano e etano.

terística negativa é que a luz ultravioleta decompõe a molécula liberando o átomo de cloro. Este é muito reativo. Submetido ao ambiente da estratosfera, o cloro liberado ataca o ozônio e o destrói numa reação catalítica muito eficiente, em que o mesmo átomo de cloro pode destruir milhares de moléculas de ozônio. Para que este efeito seja atenuado existe hoje um forte movimento internacional para se encontrar e usar substitutos para os CFC.

A pesquisa com polímeros orgânicos fluorados, dos quais o Teflon é o mais popular, começou durante a 2ª guerra mundial com o uso de compostos orgânicos fluorados e clorados. Aplicações diversas foram iniciadas para usos em sprays, espumantes, refrigerantes, e na limpeza de metais. A síntese industrial destas substâncias implica na produção de produtos intermediários que por motivos econômicos são encaminhados para processos industriais paralelos os mais vantajosos possíveis. Estes processos envolvem os chamados halogênios, o cloro, o fluor, e o bromo, e os compostos orgânicos mais elementares, o metano, e o etano. Alguns nomes e siglas mais comuns da família dos CFC são mostrados na Tabela 5, onde aparecem também os pontos de ebulição e fusão dos produtos. Os

nomes comerciais variam de país para país para proteger direitos de comercialização dos fabricantes. Alguns exemplos são dados na Tabela 6.

TABELA 5 - Nomenclatura e constantes físicas de alguns CFC mais usados.

NOME	FÓRMULA	SIGLA	EBULIÇÃO (C)	FUSÃO (C)
Triclorofluormetano	CCl_3F	CFC 11	23,7	-111
Diclorodifluormetano	CCl_2F_2	CFC 12	-29,8	-155
Clorotrifluormetano	$CClF_3$	CFC 13	-81,1	-181
Clorodifluormetano	$CHClF_2$	CFC 22	-40,8	-160
1.1.2 Triclorofluormetano	$CCl_2F-CClF_2$	CFC 113	47,7	-33

TABELA 6 - Alguns nomes comerciais dos CFC em diferentes países, segundo seus fabricantes.

PAÍS/NOME	FABRICANTE
Estados Unidos	
Freon	Du Pont
Genetron	Allied Chemical Corporation
Ucon	Union Carbide Corporation
União Soviética	
Eskimon	-
Khladon	-
Alemanha Ocidental	
Frigen	Hoechst
França	
Flugene	Pechiney-Saint Gobain S.A.
Japão	
Asahiflon	Asahi
Flon	Mitsui
Inglaterra	
Arcton	Imperial Chemical

O potencial de aquecimento da superfície terrestre por alguns dos produtos mais comuns pode ser visto na Figura 12, feita com base em cálculos de Ramanathan et al. (1985a). No eixo vertical, mostra-se o aumento de temperatura. Para os gases O₃, N₂O, e CH₄ projetou-se um aumento de 25% na concentração. Para os restantes foi considerado um aumento de 1 ppbv na concentração.

O CFC-11 e o CFC-12 são os mais usados. 91% do CFC-12 produzido em certo ano é liberado ainda neste ano para a atmosfera.

Os produtos CFC-11 e CFC-12 são os mais usados. Estima-se que durante os anos 80 a produção anual crescia a uma taxa entre 4 e 8%. Alguns estudos mostram que 91% do CFC-12 produzido em certo ano é liberado ainda neste ano para a atmosfera. Para o CFC-11 este valor é de 85% no mesmo ano. A emissão destes produtos à atmosfera é portanto bastante rápida ao contrário do que se poderia supor, sendo a aplicação básica destes CFC na refrigeração. As concentrações atmosféricas destas substâncias medidas em alguns poucos pontos, são em geral compatíveis com as produções estimadas, indicando uma taxa de crescimento médio anual em torno de 5%.

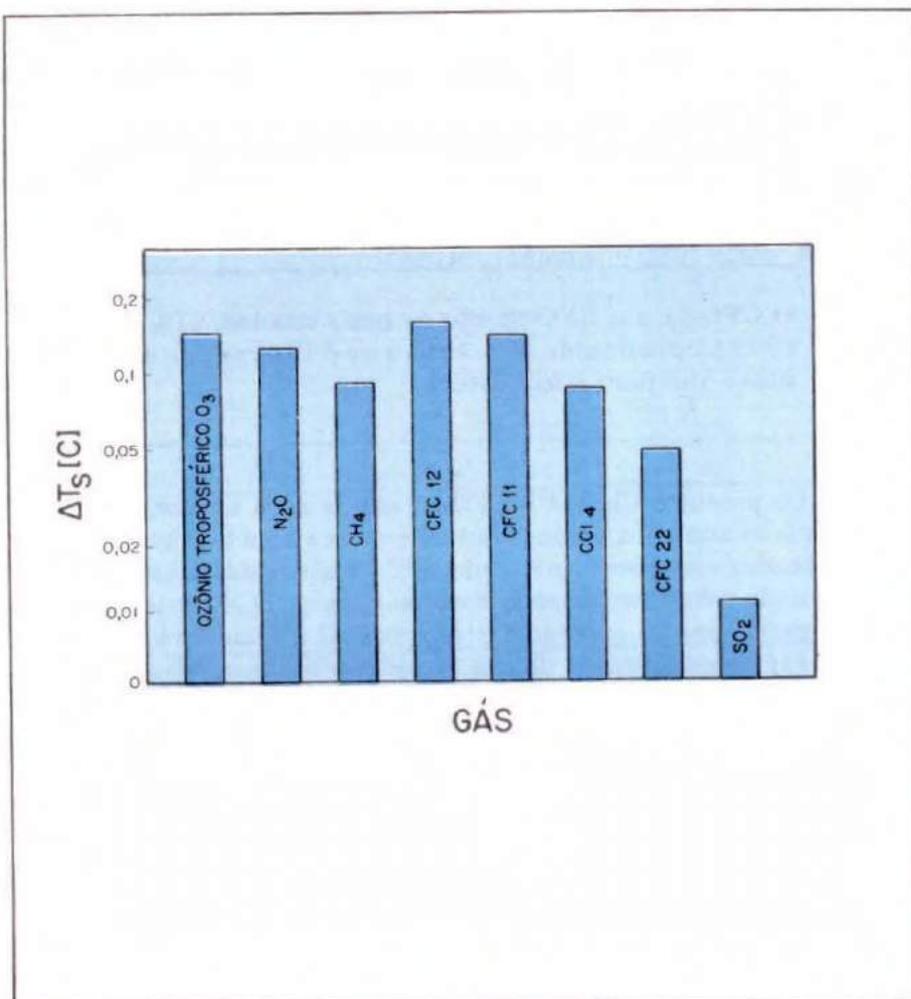


Fig. 12 Potencial de aquecimento de alguns gases do efeito estufa. Mostra-se o aumento individual de temperatura causado por um aumento de 25% na concentração do O_3 , N_2O , e CH_4 . Para o restante considerou-se um aumento de 1 parte por bilhão (1 ppbv).

É necessário conhecer o potencial relativo individual dos gases do Efeito Estufa. Uma idéia desta comparação é apresentada nesta figura.

O Ozônio da Troposfera (O₃)

O ozônio que fica na troposfera não tem mais o papel de escudo protetor que possui na estratosfera, primeiro porque sua concentração média na troposfera é 10 vezes menor do que na estratosfera, e em segundo lugar porque a radiação ultravioleta já está muito atenuada na troposfera (pelo ozônio da estratosfera). O papel do ozônio na troposfera é, portanto, bem diferente daquele da estratosfera.

O ozônio da troposfera tem importância fundamental na Química da troposfera, através de sua fotodissociação nas camadas mais

O ozônio da troposfera contribui para o Efeito Estufa. O ozônio da estratosfera protege a superfície de radiação danosa.

altas quando produz o oxigênio atômico excitado O(¹D). Este átomo, por ser muito reativo, consegue até mesmo reagir quimicamente com a molécula super estável da água (na fase de vapor) produzindo o radical oxidrila (OH). Esta é talvez a componente mais importante no processo de oxidação de várias moléculas relativamente estáveis como o CO e o CH₄, por exemplo, da troposfera. A oxidrila é um verdadeiro detergente na troposfera. Substâncias complexas, normalmente insolúveis em água, após reagirem com o OH tornam-se solúveis, o que significa que podem ser retiradas da atmosfera através das chuvas. Perfis médios da concentração de O₃ na troposfera são mostrados na Figura 13. Há uma tendência de crescimento mais ou menos constante até cerca de 6 km de altura. A partir daí até 12 km a razão de mistura varia em torno de um valor ao redor de 50 ppbv, e acima disto, já próximo à tropopausa, a

O ozônio da troposfera tem um papel muito diferente daquele da estratosfera.

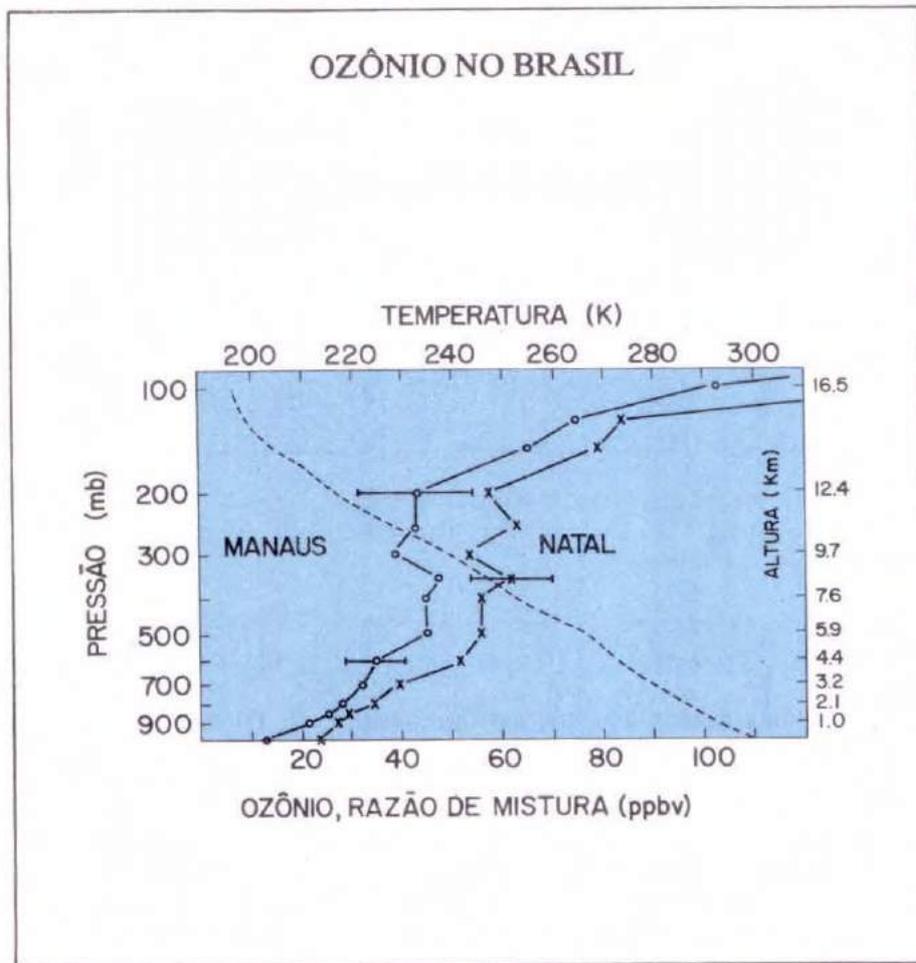


Fig. 13 - Perfis médios de ozônio medidos no Brasil, em Natal (RN), e Manaus (AM).

O ozônio troposférico é um dos gases que contribui ativamente ao Efeito Estufa. Além disso, na troposfera (entre a superfície e 16 km de altura) o ozônio é um gás poluente e tóxico. Pode ser produzido na troposfera através dos processos de combustão: queima de derivados de petróleo (na cidade) ou de biomassa (no campo).

concentração cresce para atingir os valores estratosféricos. Notar que Manaus apresenta concentrações menores, o que é uma característica de regiões de florestas não poluídas (Kirchhoff et al., 1990).

A propriedade mais importante do O₃ no contexto do Efeito Estufa é a sua capacidade de absorver ondas longas numa banda em 9,6 µm. Contribui assim para um aquecimento na troposfera causando um aumento na temperatura da superfície. Sua participação porcentual no Efeito Estufa é de 8% (Tabela 2) atualmente, mas existem indícios em algumas estações de medida no Hemisfério Norte de que o ozônio troposférico está aumentando sua concentração, numa proporção talvez até maior do que os outros gases, do que se pode esperar um aumento também maior na sua contribuição ao Efeito Estufa.

A "janela da atmosfera" é uma região espectral através da qual a radiação infravermelha gerada pela terra sólida pode escapar para o espaço.

A Figura 14 mostra uma comparação dos espectros de absorção do CO₂, H₂O, e O₃, adaptada de um original de Schoenwiese und Diekmann (1988). Pode-se notar que o O₃, juntamente com uma contribuição do O₂, tem uma banda de absorção bem dentro do mínimo de absorção do H₂O. Este mínimo é às vezes chamado de "janela da atmosfera".

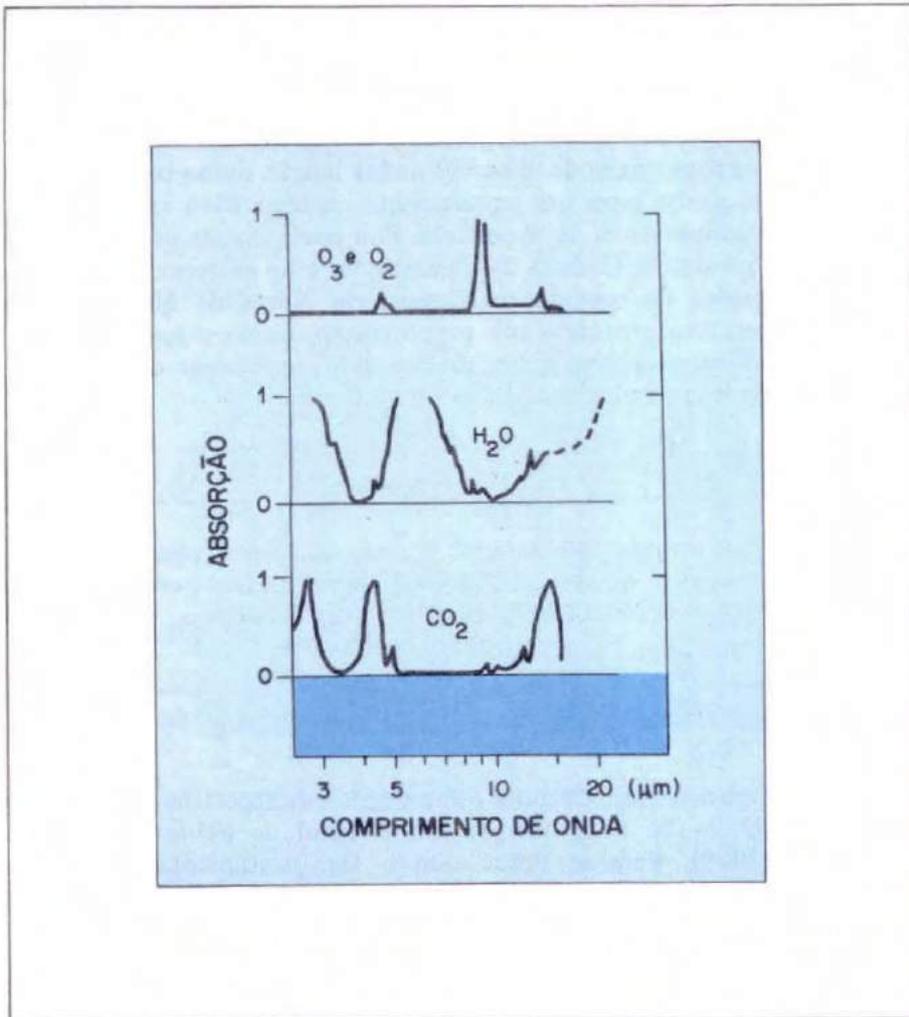


Fig. 14 - Espectro de absorção dos gases de vida mais curta, O_3 e H_2O , comparados com o CO_2 .

O espectro de absorção do ozônio coincide em parte com o do oxigênio molecular e do vapor d'água. O cálculo exato da contribuição de cada gás é um processo complicado.

A emissão antropogênica de hidrocarbonetos (produtos derivados de petróleo) e óxidos de nitrogênio NO_x ($= \text{NO} + \text{NO}_2$) produzidos em processos de queima, podem contribuir significativamente à produção fotoquímica do ozônio. O processo não é direto. Vários passos intermediários (reações químicas) são necessários para que o ozônio possa ser gerado. Invariavelmente, os ingredientes necessários são o CO ou o CH_4 (CO é produzido diretamente nas queimadas de biomassa, CH_4 pelas regiões alagadas do Amazonas ou do Pantanal), a oxidrila OH, produzida em grande escala na região tropical, por radiação ultravioleta também muito mais abundante na região tropical do que em latitudes médias ou altas, e o NO_x , também produzido diretamente nas queimadas. Pode-se

O Brasil produz anualmente todos os ingredientes necessários para gerar grandes quantidades de ozônio na troposfera.

ver, portanto, que no Brasil todos os requisitos para produzir ozônio troposférico existem em grande abundância na época das grandes queimadas. **Será que ozônio é produzido, realmente, acima do normal, na época das queimadas?** Foi esta a pergunta que nos fizemos há alguns anos passados, e nos preparamos para obter a resposta. Após as dificuldades costumeiras para se fazer pesquisa no Brasil conseguimos iniciar um programa de medidas de campo cujo resultado está mostrado na Figura 15.

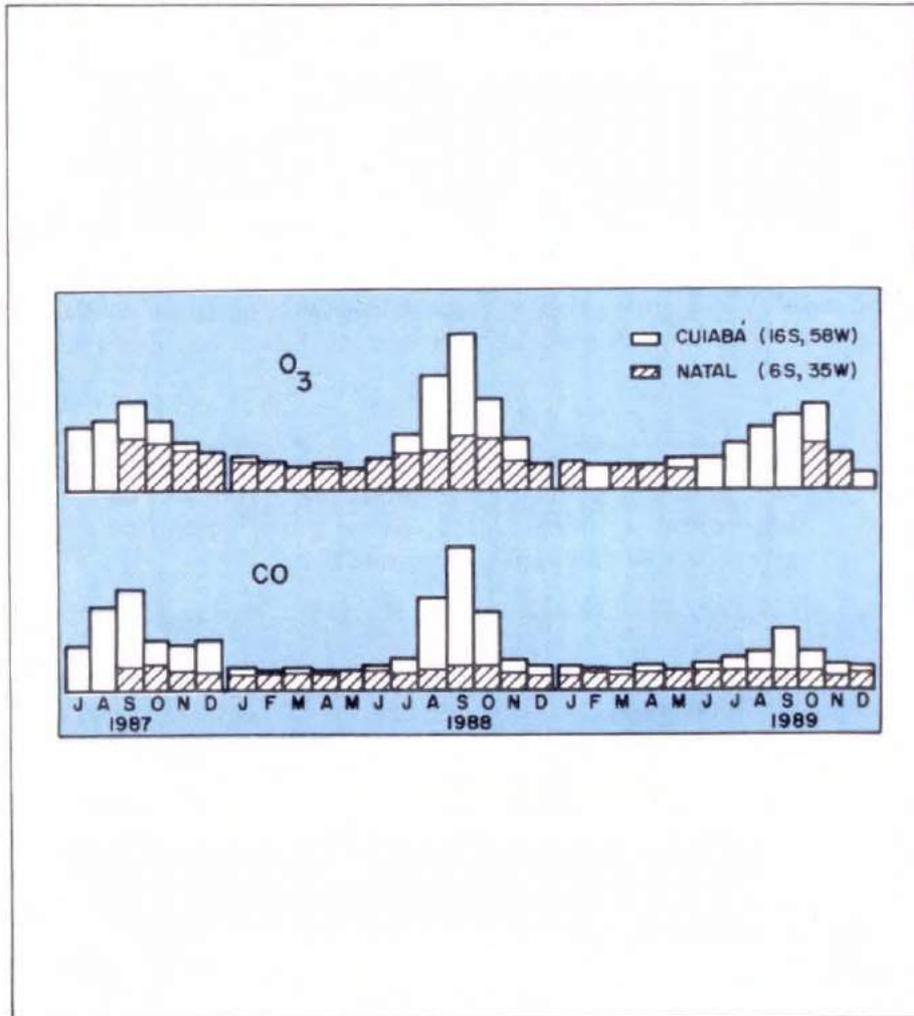


Fig. 15 - Medidas de ozônio e monóxido de carbono em Natal e Cuiabá para mostrar a produção de ozônio na época das queimadas.

O monóxido de carbono é produzido diretamente nas queimadas, e o ozônio é produzido quimicamente na atmosfera, a partir do monóxido de carbono, da oxidrila, e de radiação ultravioleta.

A Figura 15 mostra resultados de medidas feitas no Brasil, medidas contínuas de CO e O₃ tanto na época chuvosa (Janeiro, Fevereiro, Março, Abril), como na época seca (Julho, Agosto, Setembro, Outubro). Além disto, estamos comparando na Figura 15, resultados de dois locais diferentes: Natal (6°S, 35°W), no Rio Grande do Norte, costa nordeste do Brasil, onde a brisa marítima é constante, e onde, portanto, não há influência direta das queimadas; e Cuiabá (16°S, 58°W), no Mato Grosso, ponto geográfico central da América do Sul, localizada numa região onde ocorrem muitas queimadas. A Figura 15 mostra claramente que na época chuvosa, as concentrações de CO e O₃ em Natal e Cuiabá não são muito diferentes. No entanto, na época das queimadas, tanto o CO produzido diretamente na queimada quanto o O₃ produzido indiretamente por reações químicas na atmosfera, aumentam sua concentração muito acima (entre 2 e 7 vezes) dos valores observados em

Na época seca a atmosfera do Brasil central é obrigada a suportar entre 2 e 7 vezes mais CO do que seria a carga natural.

Natal. Está muito claro, portanto, que se produz muito ozônio no Brasil, através das queimadas, ozônio que irá contribuir para o Efeito Estufa.

O Monóxido de Carbono (CO)

O monóxido de carbono não é propriamente um gás do Efeito Estufa, mas que participa ativamente de processos químicos que determinam até certo ponto a concentração do ozônio troposférico.

Certos tipos de solo absorvem CO da atmosfera, mas o principal mecanismo de remoção do CO da atmosfera é a reação química com a oxidrila (OH). Em outra seção, já mencionamos a importância que tem a

oxidrila na química da troposfera. Reagindo com CO, a oxidrila é destruída. Pode-se ver assim, que **um aumento de CO tende a diminuir a concentração atmosférica do OH**, o que terá consequências diretas em inúmeros outros constituintes (principalmente o metano, gás do Efeito Estufa), cujas concentrações deverão aumentar. Em particular, as queimadas que contribuem para aumentos diretos da concentração do CO, indiretamente produzem também um aumento no O₃ (veja a seção do ozônio) e ainda uma redução na concentração do OH.

Ainda existem muitas incertezas quanto aos números exatos para fontes e sumidouros do CO.

A Tabela 7 mostra um resumo das principais fontes e sumidouros do CO na atmosfera. Deve-se notar, em particular, que a produção por queimadas nos trópicos, estimada em 260 milhões de toneladas de carbono por ano, é maior que a produção por queimadas de combustíveis fósseis nos processos industriais e para movimentar a frota mundial de veículos automotores que queimam gasolina em sua maioria, estimada em 190 milhões de toneladas de carbono por ano (ver Tabela 7).

Pode-se mostrar que o tempo de vida médio da molécula de CO é da ordem de 1 mês, da mesma ordem de grandeza que tempos característicos típicos de transporte. Por isto, ao contrário do CH₄, CO₂, e N₂O, pode-se esperar para o CO variações temporais e espaciais consideráveis. Pode-se notar também, neste caso, que as somas de fontes e sumidouros não se igualam, por causa de incertezas em processos e números citados.

TABELA 7 - Principais processos de emissão (fontes) e remoção (sumidouros) de monóxido de carbono (CO) da atmosfera, com base em Logan et al. (1981).

FONTES OU SUMIDOUROS	10 ⁶ TONELADAS DE CARBONO POR ANO
Fontes	
Oxidação de HC *	290 +
Trópicos	150
Latitudes médias	100
HC antropogênico	40
Oxidação do metano	240
Queima de combustíveis fósseis	190
Queimadas nos trópicos	260
Florestas	160
Campos	100
Queimadas em latitudes médias	20
TOTAL	1000
Sumidouros	
Oxidação por reação com OH	900
TOTAL	900

* HC é abreviatura de hidrocarboneto

+ As incertezas são da ordem de até 100 %

CONSEQUÊNCIAS DO EFEITO ESTUFA

Já foi dito que o resultado primário do Efeito Estufa é um aumento na temperatura média do planeta. Tal aumento terá inúmeras outras consequências, das quais citaremos algumas.

O aumento contínuo do CO₂ e dos outros gases, através do Efeito Estufa levariam a várias consequências negativas para os seres vivos. É o que esquematiza a Figura 16. O efeito direto é o aumento de temperatura. Dependendo do local, na superfície terrestre, pode-se

O Efeito Estufa pode alterar profundamente o meio ambiente, e interferir, portanto, nas condições de vida do planeta.

esperar um aumento de temperatura de 2 a 7 C nos próximos 100 anos. A Figura 17, adaptada de Hansen et al. (1986), mostra um cenário possível de aumento de temperatura no futuro. Se o nível de emissões dos gases permanecer como está hoje, o crescimento da temperatura segue a sequência assinalada na Figura 17, o que daria um aumento de 7 C no ano 2100. O CO₂ teria dobrada a sua concentração pré-industrial no ano 2030. Numa segunda aproximação, o crescimento da temperatura seria menor, atingindo um aumento de 1,8 C no ano 2100. A primeira extrapolação no tempo segue uma lei quase exponencial, a segunda uma lei linear (ver também, por exemplo, Dickinson e Cicerone, 1986; e Hansen et al., 1983).

Uma consequência quase que imediata do aumento de temperatura é a subida do nível dos mares, por dilatação da massa líquida, e por um degelo parcial nos polos. A Figura 18, adaptada de um original de Thomas (1986), mostra quantitativamente a subida do nível do mar em função do tempo. Pode-se esperar que as águas subam de acordo com estas previsões, da ordem de um metro e meio acima do nível atual do mar até o ano 2100.

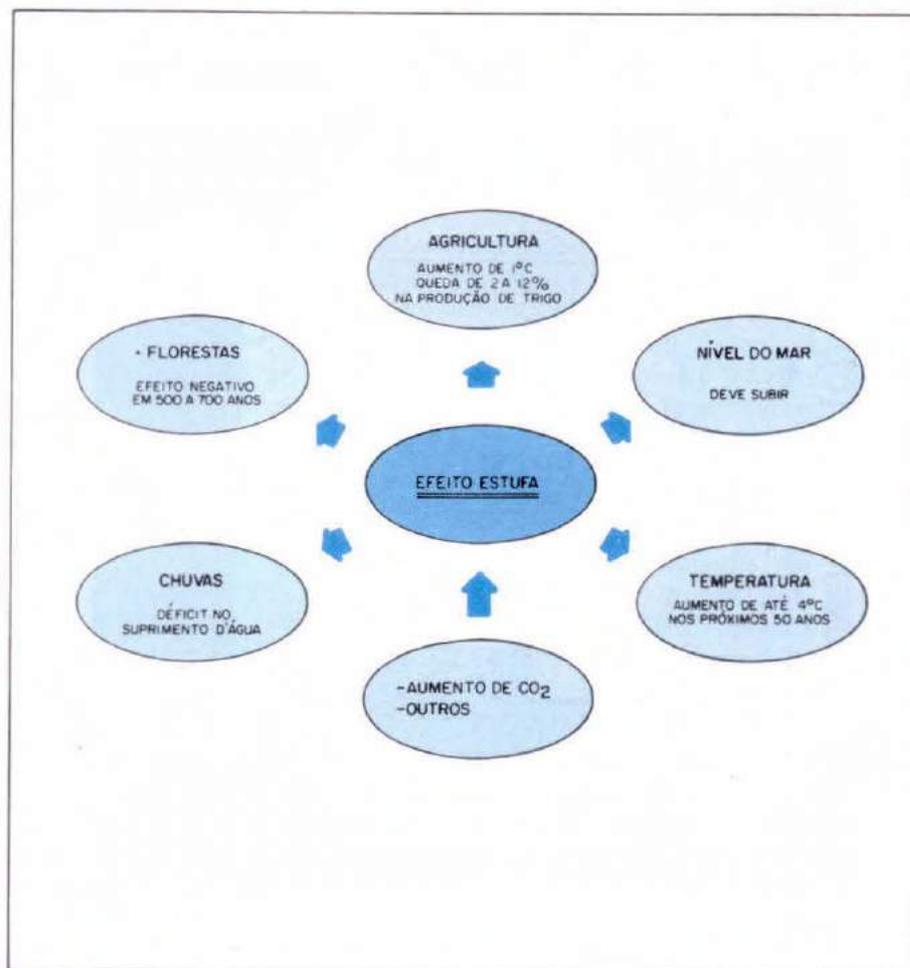


Fig. 16 - Exemplos de como o Efeito Estufa pode afetar diferentes parâmetros.

O nível dos oceanos deve aumentar principalmente pela dilatação da massa líquida. Na agricultura os efeitos devem ser ruins pelas mudanças ambientais. O efeito inicial nas florestas pode ser bom pela maior concentração de CO₂ que as plantas absorvem no processo da fotossíntese. Porém, o uso de modelos de simulação mostram um resultado negativo a médio e longo prazo. O próprio suprimento de água doce deve ser afetado o que pode levar a grandes inconveniências.

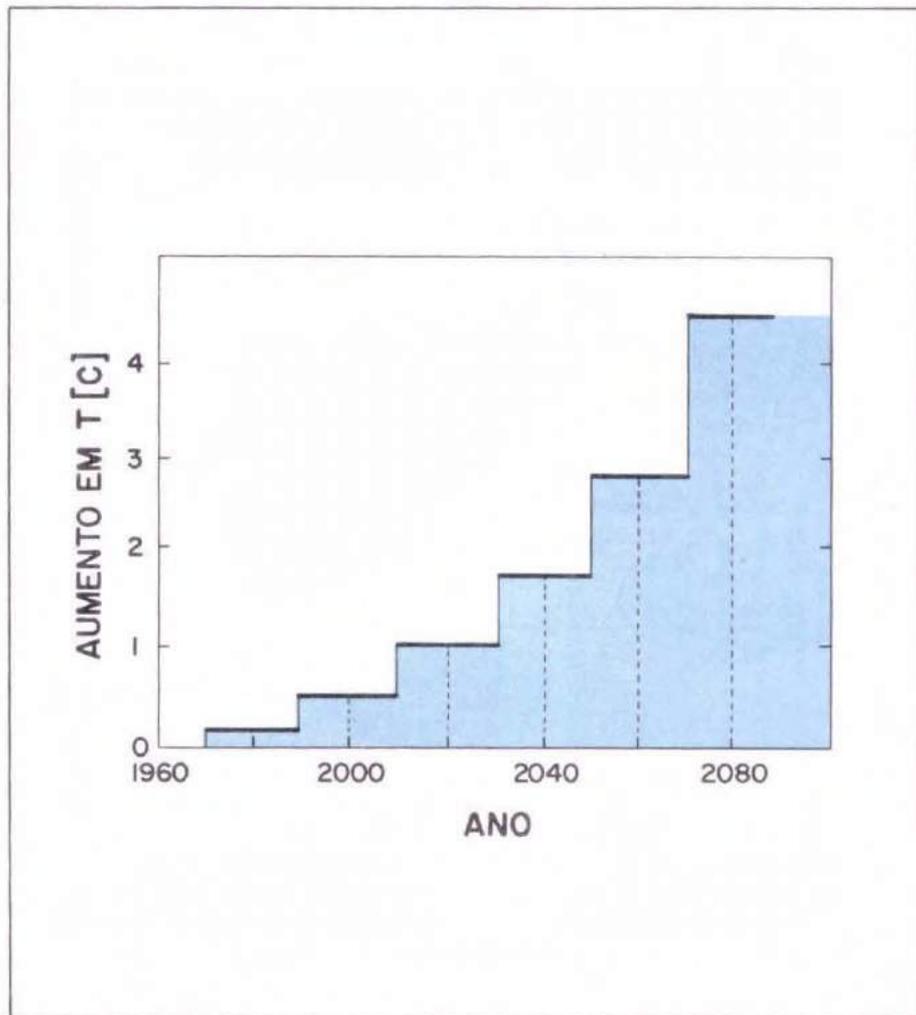


Fig. 17 - Aumento de temperatura futura devido ao Efeito Estufa calculados por modelos teóricos de cálculo.

O que mais se pergunta hoje é exatamente quanto deve ser o aumento de temperatura causado pelo Efeito Estufa. Existem hoje vários modelos de computador que tentam responder a esta pergunta e um dos modelos é o mostrado acima. Este modelo prevê um aumento de 4,5 C até o ano 2080.

A Figura 16 sugere também um possível efeito sobre a agricultura que pode ser intenso. Basta lembrar que plantações de trigo, por exemplo, necessitam de um ambiente mais definido, termicamente, para que haja uma boa produção de safra. Estudos de simulação mostram que para aumentos de temperatura de apenas 1 grau, pode haver uma queda na produtividade de trigo de até 12% (Waggoner, 1986).

As florestas podem ser também muito afetadas por aumentos da concentração do CO₂ como lembra, também, a Figura 16. Como se sabe, as plantas retiram o CO₂ da atmosfera, no processo conhecido como fotossíntese, e incorporam o carbono (C) em sua cadeia biológica, liberando oxigênio (O₂) para a atmosfera. Existe a possibilidade de que o processo da fotossíntese seja acelerado, isto é, espera-se em determinadas

O Efeito Estufa afeta as florestas através da maior ação de fotossíntese, maior temperatura, mudança do teor de umidade, e a ação destes fatores sobre a população de microorganismos.

condições que o aumento de CO₂ na atmosfera funcione como uma espécie de adubo, através do qual as florestas poderiam crescer mais rapidamente. Há outras indicações, no entanto, que sugerem que as mudanças ambientais decorrentes de aumentos na concentração do CO₂ poderão destruir algumas das florestas hoje existentes. O resultado de simulações realizadas em computador mostra que por causa da vida relativamente longa da maioria das árvores as reações iniciais a aumentos de CO₂ deverão ser pequenas. Efeitos de longo prazo, no entanto, são suficientemente negativos para anular quaisquer possíveis benefícios do "efeito adubador" do CO₂, o que recomenda extrema cautela quanto à resposta final de grandes florestas aos aumentos do Efeito Estufa e suas mudanças climáticas (Solomon, 1986).

A subida dos níveis dos mares significa que muitas terras hoje produtivas passarão a ser inundadas.

A taxa de precipitação deverá sofrer também modificações severas em alguns lugares. Sendo uma função da circulação atmosférica na troposfera, as fontes de alta pressão certamente serão afetadas por aumentos de temperatura, o que levará a mudanças no regime de chuvas e no suprimento de água potável. Modelos teóricos prevêem com temperatura maior, maior evapotranspiração e mais precipitação na maioria das diferentes regiões do globo. Espera-se que haverá maior demanda por água, numa proporção maior do que o possível aumento na precipitação. Como consequência haverá um déficit no suprimento de água potável, e um decréscimo no armazenamento de umidade no solo (Hansen et al., 1981; Manabe et al., 1981).

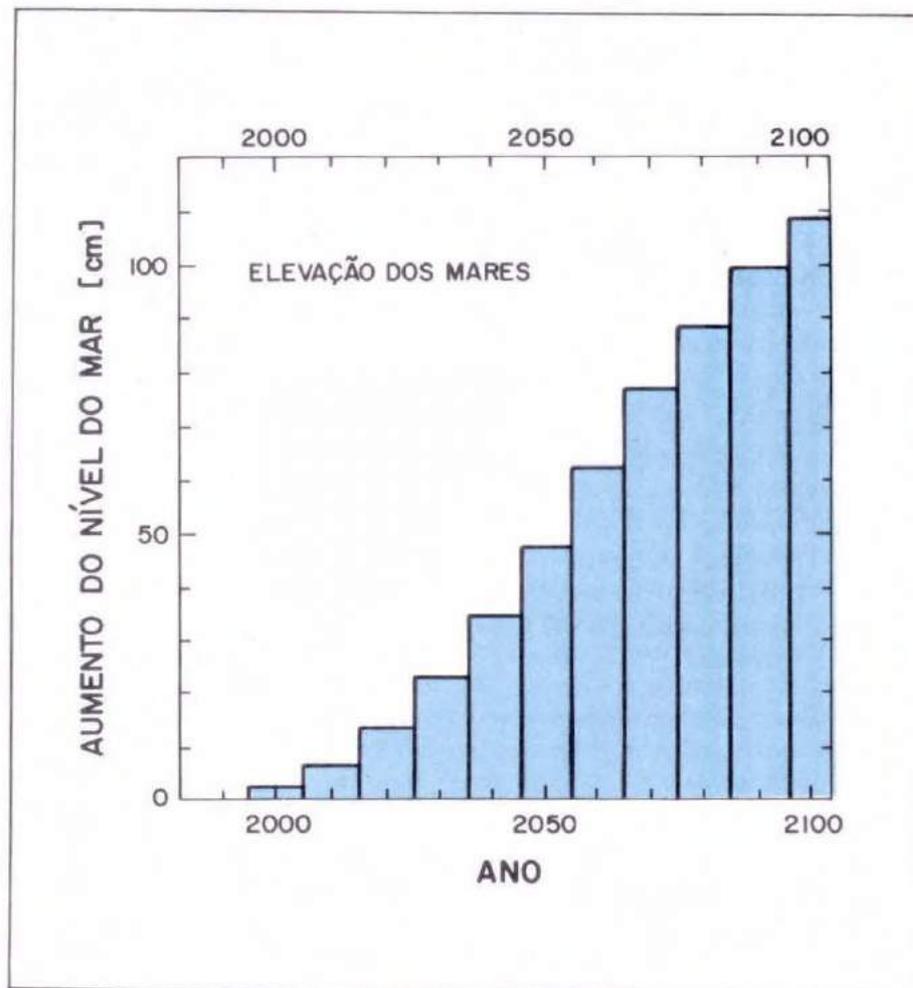


Fig. 18 -Aumento do nível dos mares por ação do Efeito Estufa: resultados de previsão numérica.

Os resultados decorrentes do Efeito Estufa dependem de uma série de suposições, hipóteses iniciais, cujos valores também mudam com o tempo. Por exemplo, a injeção dos gases tipo CFC na atmosfera pode mudar (diminuir) significativamente se o Protocolo de Montreal realmente entrar em efeito. O aumento do nível dos mares segundo um dos modelos pode ocorrer conforme indicado na Figura.

A CONTRIBUIÇÃO TROPICAL

O que se conhece

A contribuição maior dos trópicos ao Efeito Estufa vem dos desmatamentos e das queimadas. Estes processos transferem carbono de um reservatório (a biosfera) para outro (a atmosfera). Diz a literatura internacional que as queimadas nos trópicos produzem 260 milhões de toneladas de carbono, por ano (MTA), de monóxido de carbono (CO) (ver Tabela 7), o que equivale a cerca de 25% de todas as fontes de produção

A região tropical é definida como sendo a faixa latitudinal entre 23°. Nesta faixa, em qualquer época do ano, o sol no ápice está sempre perto da "vertical".

somadas. Em comparação, a queima de combustíveis fósseis em todo mundo produz 190 MTA. Supondo que na queima de biomassa CO corresponde a 10% do total emitido como CO₂, deve-se ter em média, 2.600 MTA de carbono emitido na forma de CO₂. Para poder comparar com a Tabela 3, multiplicamos por 3,67 e obtemos 9.542 MTA de CO₂. Este cálculo rápido mostra que **as queimadas da região tropical produziriam 3 vezes mais CO₂ do que toda a Europa Ocidental (ver Tabela 3) queimando combustíveis fósseis, o que parece exagerado.**

Os cálculos de emissão de carbono, através do CO₂, são feitos basicamente por dois ramos científicos distintos. O primeiro usado por físicos e químicos, calcula a emissão de C em função das queimadas, e o

O interesse de se obter dados muito precisos sobre desmatamentos e queimadas é relativamente recente. Os países tropicais, em sua maioria, não estão preparados para atender esta demanda.

segundo usado mais por geógrafos, ecologistas, engenheiros florestais, e oceanógrafos, calculam a emissão de C decorrente dos desmatamentos. Ambos necessitam para seus cálculos um dado fundamental: a massa do material que é queimado ou desmatado, isto é, de árvores e capim. Em geral usam-se valores "médios" de densidade de massa, isto é, adota-se para cálculo um valor médio de massa por unidade de área. Torna-se necessário assim, conhecer também a área exata das queimadas ou desmatamentos. É claro que estes dados primários necessários para o cálculo, só existem de maneira precária. Em primeiro lugar porque as densidades de massa só foram medidas por alguns poucos pesquisadores em alguns poucos "pontos" da imensa área tropical de 39,5 milhões de quilômetros quadrados, e portanto usam-se extrapolações, provavelmente nem sempre válidas. Em segundo lugar, sabemos muito bem pela nossa experiência de Brasil que são muito mal conhecidas as áreas exatas, anuais, de desmatamentos ou queimadas, nos diversos países tropicais. Estes dados além de mal conhecidos, são obtidos, manipulados, e arquivados, na grande maioria dos casos (e diferentes países tropicais) por métodos não científicos, isto é, por funcionários burocratas não especializados. Em outras palavras, apesar de que métodos científicos possam ser aplicados na análise destes dados, após sua coleta de uma outra fonte qualquer (em geral a Food and Agriculture Organization-FAO realiza o trabalho de centralizar o recebimento destes dados), os resultados obtidos são sempre forçosamente duvidosos, pois foram obtidos com uma base de dados duvidosa e não científica. É este tipo de raciocínio que nos incentivou a fazer nossos próprios cálculos.

O valor correto da emissão de carbono à atmosfera, via CO₂, pelas queimadas, seria facilmente calculável se tivéssemos várias estações medidoras, em pontos estratégicos. A área total sob estudo, que aqui chamamos de trópicos, teria que ser dividida em n sub-áreas, ou

células elementares de área, sob o seguinte critério: um único ponto de medida deve ser o suficiente para representar as concentrações em qualquer outro ponto desta sub-área. Com isto resolve-se o dilema duplo de se conhecer não só a variação temporal das concentrações dos gases, mas também a área exata na qual estas variações são representativas.

A célula de área elementar é uma região teórica para a qual um único aparelho de medida seria suficiente para caracterizar a área.

É claro que o critério acima é um critério teórico. Na prática, é provável que nunca seja atingida a meta ideal. No dia a dia, é necessário contentar-se com menos. Muito menos. No presente caso, teremos que nos contentar com apenas uma estação na região de queimadas e uma de controle. Mesmo assim, a tentativa parece válida. Vejamos quais são as principais vantagens e desvantagens do método novo aqui proposto.

A taxa de emissão de carbono é um valor numérico que resulta de cálculos e que indica para cada ano quantas toneladas de carbono foram lançadas na atmosfera durante as queimadas.

Principais Desvantagens

1- Já citamos a limitação de termos apenas uma estação de medidas. É necessário, portanto, em primeira aproximação, supor que esta estação seja representativa de toda região tropical.

2- Para nosso cálculo é necessário também conhecer a distribuição vertical das concentrações dos gases, além das medidas de superfície. Esta distribuição vertical não é medida sistematicamente. É necessário que se adote uma distribuição com base em medidas esporádicas.

3- É necessário também conhecer o valor absoluto da concentração da oxidrila (OH), o que só é possível por consulta a modelos publicados na literatura.

Principais Vantagens

1- É um cálculo novo, baseado em medidas diretas dos gases (Os outros métodos dependem de estimativas de massas e áreas).

O ponto fraco de nosso cálculo, na estimativa da taxa de emissão, é a insuficiência de estações medidoras.

2- É um método independente que pode fornecer o valor anual da emissão de CO e CO₂ diretamente.

3- É um método que pode ser aprimorado com mais estações e também medidas de perfil.

4- É um método puramente científico, ao contrário dos outros que dependem de informações e manipulações não científicas.

Cálculo da Taxa de Emissão

Os dados básicos para o cálculo são as medidas contínuas de CO que são mantidas desde 1987 em Cuiabá e Natal. Cuiabá fica dentro da região de queimadas; Natal fica fora pois sempre recebe massas de ar que vêm do Atlântico. Subtraindo as concentrações observadas em Cuiabá das de Natal, obtemos o CO_{ex} , isto é, o excesso de CO que atribuímos às queimadas. Estamos portanto eliminando a parcela da concentração de CO e suas variações de origem natural, e mantendo apenas o CO que vem das queimadas. Esta é a principal função da estação de Natal. O principal mecanismo de remoção do CO da atmosfera é a sua oxidação, por reação com a oxidrila (OH). A taxa de emissão E_{CO} necessária para repor o CO_{ex} observado pode ser calculado pela integral

$$E_{CO} = \int [OH] K [CO_{ex}] dz$$

em que K é a taxa de reação e vale $K = 2,2 \times 10^{-13} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$, e onde o intervalo de altura vai do chão até a tropopausa (na prática, até 12 km). Os colchetes significam que tomamos as concentrações das substâncias indicadas.

As queimadas não ocorrem durante todo o ano. O ano da queimada consiste de alguns meses de seca. Vamos tomar um mês como unidade de tempo, por conveniência de cálculo. Em um mês pode-se considerar [OH] constante. Além disto, também consideramos OH constante com altura, o que é uma aproximação razoável. Assim sendo, [OH] e K podem sair da integral, e ficamos apenas com a integral de CO_{ex} dz, que é a área sob a curva da concentração de CO, que chamaremos de S.

As áreas S serão calculadas usando os nossos dados e a constatação de que a concentração do CO varia linearmente com altura, com boa aproximação, até 12 km. A concentração sem perturbação de queimadas tem valores em torno de 100 ppbv e não varia com altura. Os nossos dados indicam que para Cuiabá são cinco os meses em que o CO_{ex} é considerável: julho, agosto, setembro, outubro e novembro (os extremos desta série contribuem muito pouco e portanto não faria muita diferença se quiséssemos acrescentar mais um). Vamos usar os dados para 1988 que teve concentrações maiores que 1987 ou 1989. Os dados para cálculo dos S estão mostrados na Figura 19. Para calcular a taxa de emissão E_{CO} faltam agora apenas os valores numéricos para (OH), que adotamos da literatura, como mostra a Tabela 8.

Tabela 8 - Cálculo das contribuições mensais à taxa de emissão produzidas pelas queimadas (do autor).

	(OH) (10 ⁵ cm ⁻³)	S (10 ¹⁸ cm ⁻²)	K(OH)S (10 ¹¹ cm ⁻² s ⁻¹)
Julho	6,0	0,9	1,2
Agosto	6,0	4,7	6,2
Setembro	7,0	8,1	12,5
Outubro	7,5	4,8	7,9
Novembro	9,0	0,8	1,6
SOMA			29,4

Chegamos assim a um resultado fundamental: a taxa de emissão para a atmosfera, algumas vezes também chamada de fluxo, e que resultou em $2,9 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Esta é a taxa de emissão que as queimadas devem produzir para que se acumule na atmosfera o CO_{ex} observado. Podem-se agora transformar as unidades: a unidade de tempo é o mês (total 5), e a área será aquela que inclui toda a floresta tropical e os campos cerrados, 39,5 milhões de quilômetros quadrados. Com isto, mais uma vez estamos calculando um limite superior. Obtemos, portanto,

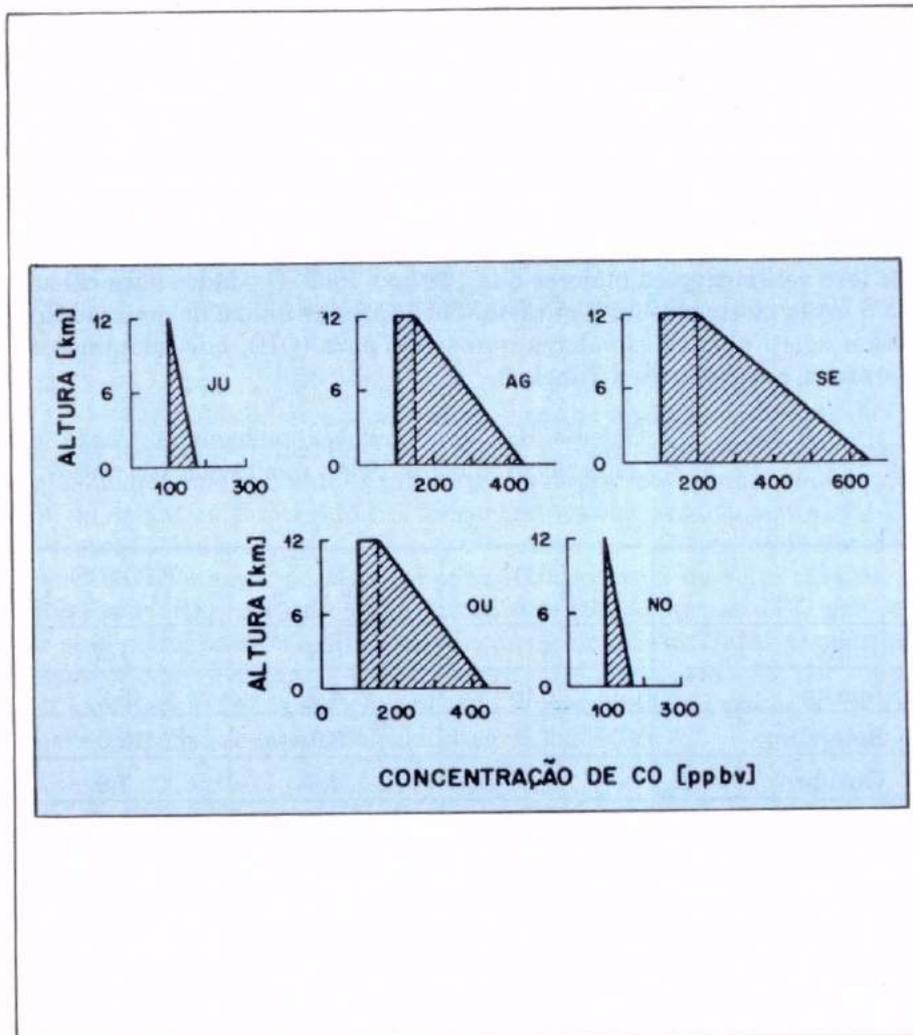


Fig. 19 - A distribuição vertical de CO nos meses de seca de julho a novembro usada nos cálculos.

Os perfis de CO acima são hipóteses necessárias para o cálculo da emissão de carbono que se apresenta a seguir. A hipótese é baseada na observação de alguns casos reais. A maior emissão de CO ocorre em agosto, setembro, e outubro.

$$E_{CO} = 62,8 \times 10^{12} \text{ g C/ano}$$

ou seja, a emissão é de 62,8 milhões de toneladas de carbono por ano na forma de CO.

Pelos nossos cálculos a taxa de emissão de CO₂ para a atmosfera, oriunda das queimadas de toda região tropical, é de 0,6 bilhões de toneladas de C, para 1988.

Nosso valor calculado para o CO representa uma fração de 24% do valor da literatura mostrado na Tabela 7 (260 MTA), ou seja, 6,8% do total de fontes de CO. Em termos de CO₂, estima-se que a proporção CO/CO₂ é de 10%. Assim sendo, a emissão de carbono por CO₂ seria ou

$$E_{CO_2} = 0,628 \times 10^{15} \text{ gC/ano}$$

0,6 bilhões de toneladas de carbono por ano na forma de CO₂. Crutzen et al. (1985), do grupo dos químicos da atmosfera, cita valores entre 2,0 e 3,3 x 10¹⁵ gC/ano para CO₂ mais do que 4 vezes maior que o nosso limite superior acima calculado, e 342,8 x 10¹² gC/ano para o CO. Houghton et al. (1985), do outro grupo, cita valores para CO₂, entre 2,0 e 2,8 x 10¹⁵ gC/ano, portanto quase 4 vezes maior. Um resumo destes números está mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 - Taxas de emissão de CO e CO₂ em unidades de massa de carbono, produzidas pelas queimadas.

AUTORES	CO (10 ¹² gC/ano)*	CO ₂ (10 ¹⁵ gC/ano) ⁺
Crutzen et al (1985)	342,8	2 - 2,3
Houghton et al (1985)	-	2 - 2,8
Este trabalho **	62,8	0,6

** (limite superior)

* 10¹² g = milhões de toneladas

+ 10¹⁵ g = bilhões de toneladas

Em comparação com a queima de combustíveis fósseis, temos da Tabela 3, uma contribuição equivalente à da Ásia Oriental e Austrália (2,47 contra nossos 2,2 bilhões de toneladas por ano; notar que estes valores expressam agora a massa de CO₂). Só que eles queimando gasolina, gás, e óleo, enquanto que nós, dos países tropicais, queimamos nossas matas. Os cálculos mostram que as queimadas na região tropical representam 11,2% da queima total de combustíveis (5,6 bilhões de toneladas em 1986). **Trata-se, evidentemente, de uma contribuição significativa, mas longe de ser majoritária.**

Deve-se voltar a frisar que estas estimativas são muito precárias. Eu mesmo já obtive resultados de cálculo menores e maiores, em parte como consequência das incertezas envolvidas. Robinson (1989) analisa outros aspectos destas incertezas. Mas **a mensagem que fica é que é importante: a queima de biomassa já é um fator significativo como contribuição ao Efeito Estufa.** Métodos bem diferentes confirmam esta conclusão, embora não dêem resultados numéricos iguais.

A contribuição relativa entre os países tropicais, pelo menos para os maiores queimadores, está mostrada na Tabela 10, mostrando que **em matéria de queimadas de biomassa, o Brasil é considerado o campeão mundial.** As porcentagens mostradas são limites superiores com base nas taxas de desmatamentos disponíveis, e são resultados de

Houghton et al. (1987). Já que não podemos (e não devemos) mudar os

O Brasil é considerado o campeão mundial de queimadas. Sem melhores dados e mais estações de medida podemos contestar esta afirmação?

hábitos de queima na África e na Indonésia, porque não dar o exemplo, no Brasil? Aqui queima-se hoje muito, sem necessidade. Vamos todos nos esforçar para que não se queimem mais os Parques Nacionais, os campos cerrados secos, e o capim de beira de estrada, e vamos colher uma maior proporção de cana sem queimar a palha antes, e vamos permitir a queimada para o desenvolvimento consciente e que traz progresso. Com este procedimento de bom senso, provavelmente, mais do que a metade que se queima anualmente pode ser salva e a nossa contribuição ao Efeito Estufa global poderá ser menor.

Tabela 10 - Contribuição relativa de alguns países tropicais na emissão de carbono por desmatamentos, segundo Houghton, et al. (1987).

PAÍS	%	%
América Tropical		40
Brasil	20	
Colômbia	7	
Outros somados	13	
Ásia Tropical		38
Indonésia	12	
Tailândia	6	
Outros somados	20	
África Tropical		22
Costa do Marfim	6	
Nigéria	4	
Outros somados	12	

Para finalizar, vamos rapidamente considerar a contribuição só do Brasil. Supondo a área afetada no Brasil do tamanho da Amazônia legal, com 5,0 M km², a emissão de carbono pelo Brasil seria de:

$$620 \times 5 + 39,5 = 78,5 \text{ MTA}$$

e levando em conta que a produção mundial para 1992 é de 7,4 BTA por queima de combustíveis fósseis, o limite superior para o Brasil nesta produção é de apenas 1,1%.

Missões de Campo para Estudo de Queimadas

A missão de campo é uma operação concentrada de medidas diversas em algum local de interesse na natureza, e não no laboratório. Em geral concentra um grande número de especialistas, muitos aparelhos de medida, em algum local remoto das grandes cidades, por períodos de tempo relativamente curtos.

A missão de campo visa levar o laboratório de pesquisa junto à natureza para estudar em detalhe certo fenômeno.

As participações recentes mais importantes em missões de campo na área de **Química da Atmosfera** são descritas a seguir:

ABLE-2A (Amazon Boundary Layer Experiment), na reserva florestal Ducke, a 30 km ao norte de Manaus, na época seca de 1985 (Julho-Agosto) com duração de 30 dias.

O **ABLE-2B**, como acima, na época chuvosa (Abril-Maio) de 1987, com duração de 45 dias. Os experimentos acima foram missões de grande vulto organizados pela NASA e pelo INPE com participação ativa do avião Electra da NASA e ajuda local do INPA. Cerca de 100 especialistas participaram em cada uma destas missões. Vários trabalhos de interesse resultaram (Kirchhoff, 1988b, 1991; Kirchhoff et al. 1988, 1990; Browell et al. 1988, 1990; Scala et al. 1990).

O experimento **CITE-3** (Chemical Instrumentation Test and Evaluation) teve um caráter diferente pois visava principalmente o teste de vários equipamentos especializados para medir enxofre e seus compostos. O experimento foi organizado em Wallops Island, USA e Natal, Brasil, em setembro de 1989.



Apesar de automático, o instrumento Brewer só trabalha bem depois que um técnico competente faça uma instalação adequada. Além disto, são fundamentais as calibrações feitas com lâmpadas especiais. À esquerda vê-se também o pirheliômetro que junto com o sensor de UV-B informa sobre as condições da radiação da baixa atmosfera.

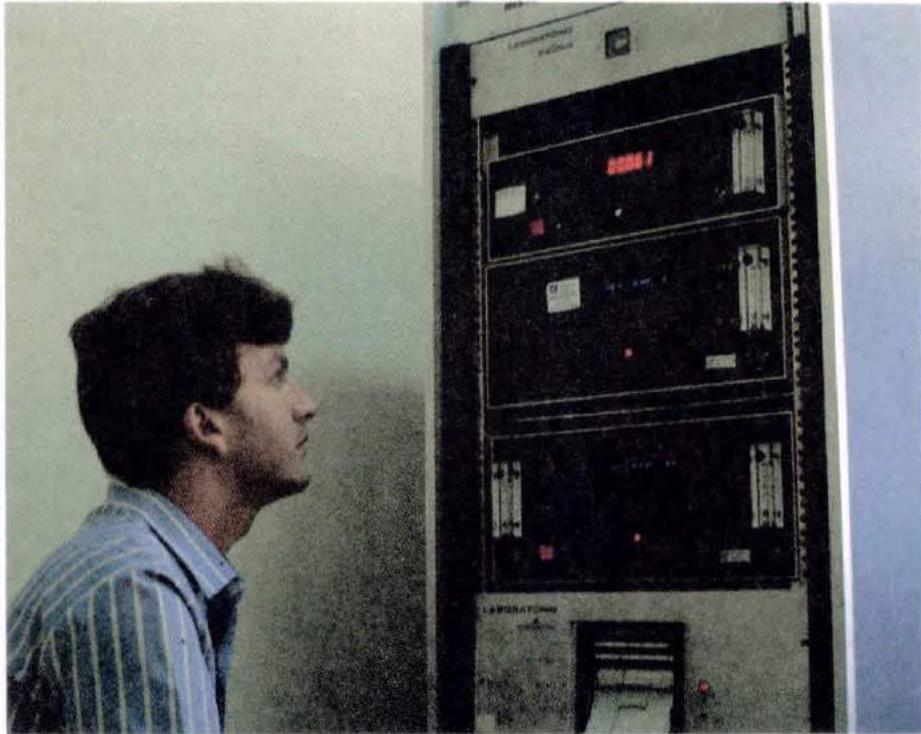
O primeiro experimento de campo na área da queima da palha de cana de açúcar e seus efeitos na atmosfera foi o **Projeto FOGO**. Medidas foram feitas a bordo do avião Bandeirante do INPE, que voou sobre a região afetada fazendo medidas principalmente de ozônio e monóxido de carbono. Medidas simultâneas foram feitas também do chão em três pontos estratégicos. O projeto FOGO foi realizado duas vezes na época seca e uma vez na estação chuvosa, em 1987 e 1988. Foi financiado pela FAPESP.

Missões de campo importantes para estudos de Química da Atmosfera: ABLE-2A, ABLE-2B, CITE-3, ROCOZ, Projeto FOGO, CERRADO-90.

As missões **ROCOZ**. A sigla **ROCOZ** significa "Rocket Ozone", um sistema americano de lançamentos de sondas ópticas de ozônio em foguetes. Este sistema representa o estágio mais avançado de um sensor que passou por vários melhoramentos técnicos após alguns problemas de deterioração dos filtros de radiação ultravioleta. Em 1983 e 1984 vários lançamentos de testes foram realizados nos Estados Unidos para validar o novo sensor. O primeiro trabalho de campo no Brasil ocorreu em Abril de 1985 (Barnes et al., 1987)

A sonda em foguete é necessária para medir ozônio a grandes alturas. Sensores em pequenos balões conseguem medir ozônio até alturas acima do pico principal de ozônio, mas dificilmente os balões conseguem obter dados acima de 35 km. Acima desta altura, medidas "in situ" podem ser realizadas só com foguetes. O sensor óptico provou ser de grande precisão e confiabilidade mas o sistema todo é muito caro, razão pela qual é usado apenas em condições muito especiais.

A missão ROCOZ trouxe para o Brasil a técnica de medir ozônio através de sondas lançadas do foguete Super Loki.



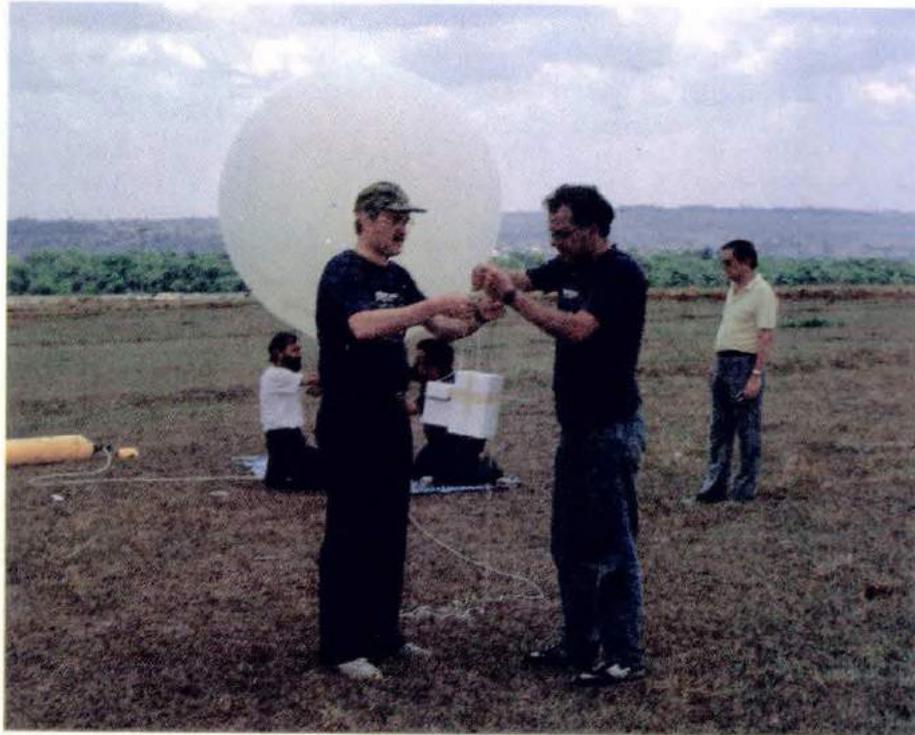
Alguns instrumentos são próprios para trabalhar ao relento, outros dentro de abrigos como é o caso mostrado na figura. Montados em rack próprio, vê-se um sensor de ozônio de superfície, um sensor de óxido de nitrogênio, e um sensor de dióxido de enxôfre. As amostras de ar são continuamente injetadas nos sensores através de bombas especiais de sucção.

Estima-se o custo de cada sensor (que é perdido no mar após o lançamento) em 30 mil dólares, e normalmente cada missão de campo consiste no lançamento de 10 a 15 sondas. A sonda é instalada na ogiva de um foguete Super-Loki, de dois estágios. O primeiro estágio, ou motor, queima em alguns poucos segundos após a ignição e é separado do 2º estágio que por inércia é lançado até uma altura aproximada de 70 km. Neste nível a sonda é ejetada, e cai na atmosfera num sistema de paraquedas, enviando suas medidas ao receptor de terra via rádio.

A sonda observa a radiação solar em vários comprimentos de onda na faixa do ultravioleta, usando a atmosfera como se fosse uma célula de absorção. Mede-se, portanto, o conteúdo total de ozônio na linha de visada. Através de um tratamento matemático deste sinal pode-se obter o perfil de concentração de ozônio em moléculas por unidade de volume.

A missão de campo de 1985, em Natal, foi uma das mais perfeitas já realizadas. Dados de excelente qualidade foram obtidos e vários trabalhos foram publicados (Barnes et al., 1987). Várias dificuldades não técnicas impediram repetir o experimento nos anos seguintes, até que tudo deu certo para o 2º experimento de campo da série ROCOZ em Natal, em julho de 1990. Algumas falhas ocorreram nesta missão, em parte causadas pelo envelhecimento de algumas das partes do material descartável (paraquedas, por exemplo). Mesmo assim foram lançadas 10 sondas com sucesso. Acredita-se que com estes dados será possível avaliar a concentração do ozônio a 40 km de altura, faixa da atmosfera de maior sensibilidade às variações causadas pelos CFC, por comparação com os resultados de 1985.

CERRADO-90. A missão de campo CERRADO-90 ocorreu entre 19 de setembro e 02 de outubro de 1990 na cidade de Goiânia, GO, em pleno cerrado do Brasil central. O interesse pelo cerrado é muito grande devido às queimadas sistemáticas que ocorrem anualmente na região. O experimento contou com o apoio logístico da Universidade Federal de Goiás e foi coordenado pelo INPE. O experimento distingue-se dos demais porque só participaram pesquisadores brasileiros, 15 ao todo. Foi financiado pelo CNPq com ajuda da CIRM.



Mais uma sonda de ozônio está quase pronta para ser lançada. A verificação de perto de todas as etapas do trabalho é importante quando a sequência é complexa e com participação de várias pessoas que precisam ser coordenadas. A sonda é protegida pela caixa branca de isopor. O ar ambiente é sugado para dentro do sensor através de um tubinho de teflon.

A medida de ozônio a 40 km de altura é muito importante, pois é nesta faixa que a atmosfera é mais sensível.

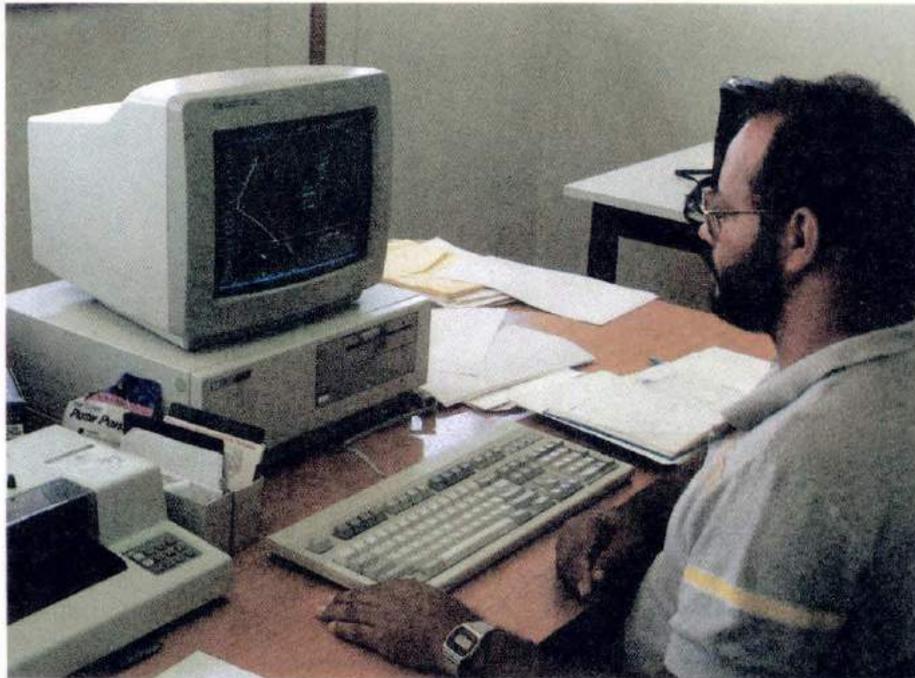
Lista dos principais instrumentos de medida usados no experimento CERRADO-90.

Instrumento de Origem	O que mede	Onde mede	Princípio de Funcionamento
USA	NO _x	Superfície	Reação química com O ₃
USA	SO ₂	Superfície	Reação química com O ₃
USA	O ₃	Superfície	Atenuação de radiação UV ¹
USA	UV	Superfície	Efeito Fotovoltáico
USA	VIS ²	Superfície	Efeito Fotovoltáico
USA	CO	Superfície	Atenuação de radiação IV ³
USA	O ₃ (Sondas)	Troposfera e Estratosfera	Sensor químico em balão
Canadá	O ₃ (Brewer)	Conteúdo de O ₃	Atenuação de UV natural
USA	O ₃ CO (avião)	Troposfera	Atenuação de UV e IV

¹ UV é abreviatura de ultravioleta.

² VIS é abreviatura de visível.

³ IV é abreviatura de infravermelho.



Após o lançamento começa o período de recepção dos dados que dura até 02:00 horas. O receptor usado recebe os dados via telemetria de 1680 MHz, acoplada a um microcomputador que processa os dados em tempo real.

CONCLUSÕES

Foram apresentadas evidências que a emissão das queimadas contribui globalmente de modo significativo ao Efeito Estufa, mas não de maneira majoritária. Para diminuir esta contribuição devemos **eliminar as queimadas desnecessárias** que parecem ser muitas. Concluímos o trabalho sobre Efeito Estufa respondendo às seguintes perguntas:

O que é o Efeito Estufa?

O Efeito Estufa é um processo físico que leva a um aquecimento lento e gradual da superfície terrestre. Já está em desenvolvimento, mas o seu efeito é ainda imperceptível. É uma preocupação para o futuro. Como o Efeito Estufa não é o único mecanismo capaz de modificar a temperatura média da Terra, ainda não existe um consenso geral sobre **o que e quando se deve fazer alguma coisa**. Mas os governos, em geral, acompanham os novos desenvolvimentos através de comissões especiais de assessoria.

Por que acontece o Efeito Estufa?

O processo acontece porque alguns gases artificiais produzidos pelo Homem estão se acumulando na baixa atmosfera, além dos gases naturais. Estes gases modificam as propriedades físicas da atmosfera que assim contribui para um pequeno (mas significativo) aquecimento adicional.

Qual a importância do Efeito Estufa?

O Efeito Estufa é muito importante para o futuro do planeta pois poderá mudar totalmente o meio ambiente, e consequentemente nossa maneira atual de viver. O aumento da temperatura significa uma dilatação, por exemplo, da massa líquida dos oceanos, o que deve aumentar as áreas inundadas. Há inúmeros efeitos adicionais que devem decorrer de um aumento de temperatura mas a sua previsão é muito difícil. Trabalhos nesta área chegam próximos à ficção científica.

Qual é a contribuição do Brasil ao Efeito Estufa?

Estima-se que a maior contribuição do Brasil ao Efeito Estufa é através das queimadas da região Amazônica. Este é um fato com o qual nós brasileiros temos que conviver. É uma contribuição que deve ser administrada conscientemente dentro de uma política de conquista e desenvolvimento da Amazônia. Nossos cálculos indicam que a contribuição do Brasil à produção de carbono na atmosfera é da ordem de 1%, em 1992. Mas a soma desta contribuição, de todos os países tropicais, chega a 8%, o que não é desprezível.

Qual é a solução para o problema?

Deve-se diminuir a emissão dos gases do Efeito Estufa para a atmosfera, principalmente pela queima de combustíveis fósseis. Devem-se diminuir as queimadas no campo. Aquelas inúmeras queimadas que acontecem por descuido, negligência ou descaso, e que são amplamente noticiadas nos jornais. O brasileiro já se acostumou tanto com as queimadas que ninguém realmente se sensibiliza mais. É preciso reverter esta situação através de programas educativos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço o paciente trabalho de revisão do colega Daniel Nordemann, e a dedicação de Marina K. Uêda, Patrícia M. Leite e Heloísa M. Garcia por terem transformado os meus garranchos em tipos gráficos. Os meus estudantes Mariana M. Mariano, Plínio Alvalá, Hamilton G. Pavão e Edith Marinho estiveram sempre ativos nos trabalhos de campo, e todos tivemos o apoio de Maria Angélica, Vitor Portezani e Marcelo Araújo do Laboratório de Ozônio. Agradeço de coração à minha companheira Maria Antonieta, e a Denis e André, por compreenderem o pai que faz de seu trabalho também seu hobby.

REFERÊNCIAS

- Barnes, R.A., Holland, A.C., and Kirchhoff, V.W.J.H., *Equatorial Ozone Profiles from the Ground to 52 km During the Southern Hemisphere Autumn*, J. Geophys. Res., **92**, 5573-5583, 1987.
- Bourliere, F., and Hadley, M., *Present Dry Savannas: an Overview, in Ecosystems of the World-13, Tropical savannas*, ed. F. Bonshiere, Elsevier, N. York, 1983.
- Browell, E.V.; Gregory, G.L.; Harriss, R.C., and Kirchhoff, V.W.J.H., *Tropospheric Ozone and Aerosol Distributions across the Amazon Basin*, J. Geophys. Res., **93**, 1431-1451, 1988.
- Crutzen, P.J., Heidt, L.E., Kaasnee, J.P., Pollock, W.L., and Seiler, W., *Biomass Burning as a Source of Atmospheric Gases CO, H₂O, NO, CH₃Cl, and COS*, Nature, **282**, 253-256, 1979.
- Crutzen, P.J., Delany, A.C., Greenberg, J., Haagenson, P., Heidt, L., Lueb, R., Pollock, W., Seiler, W., Wartburg, A., and Zimmerman, P., *Tropospheric Chemical Composition Measurements in Brazil During the Dry Season*, J. Atmos. Chem., **2**, 233-256, 1985.
- Deutscher Bundestag, *Schutz der Erdatmosphaere: Eine Internationale Herausforderung*, Bonn, 1988.
- Dickinson, R.E., and R.J. Cicerone, *Future Global Warming from Atmospheric Trace Gases*, Nature, **319**, 109-115, 1986.
- Ehhalt, D.H., Zander, R.J., and Lamontagne, R.A., *On the Temporal Increase of Tropospheric CH₄*, J. Geophys. Res., **88**, 8442-8446, 1983.
- Fearnside, P.M., *Rondônia: Estradas que Levam à Devastação*, Ciência Hoje, **11**, 48-52, 1990.
- Goldemberg, J., *SOS Planeta Terra: o Efeito Estufa*, Brasiliense, 95 pp., São Paulo, 1990.
- Hanel, R.A., Conrath, B.J., Kunde, V.G., Prabhakara, C., Revah, I., Salomonson, V.V., and Woford, G., *The Nimbus 4 Infrared Spectroscopy Experiment 1: Calibrated Thermal Emission Spectra*, J. Geophys. Res., **77**, 2629-2641, 1972.

- Hansen, J., Johnson, D., Lacis, A., Lebedeff, S., Lee, P., Rind, D., and Russel, G., *Climate Impact of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide*, Science, **213**, 951-966, 1981.
- Hansen, J., Russel, G., Rind, D., Stone, P., Lacis, A., Lebedeff, S., Ruedy, R., and Travis, L., *Efficient Three Dimensional Global Models for Climate Studies: Models I and II*, Mon. Weather Rev., **III**, 609-662, 1983.
- Hansen, J., Lacis, A., Rind, D., Russel, G., Fung, I., Ashcraft, P., Lebedeff, S., Ruedy, R., and Stone, P., *The Greenhouse Effect: Projections of Global Climate Change, in Effects of Changes in Stratospheric Ozone and Global Climate*, ed. by James G. Titus, EPA/UNEP report, Vol. 1, pp. 199-218, 1986.
- Houghton, R.A., Boone, R.D., Melillo, J.M., Palm, C.A., Woodwell, G.M., Myers, N., Moore, B., and Skole, D.L., *Net Flux of CO₂ from Tropical Forests in 1980*, Nature, **316**, 617-620, 1985.
- Houghton, R.A., Boone, R.D., Fruci, J.R., Hobbie, J.E., Melillo, J.M., Palm, C.A., Peterson, B.J., Shaver, G.R., and Woodwell, G.M., *The Flux of Carbon from Terrestrial Ecosystems to the Atmosphere in 1990 Due to Changes in Land Use: Geographic Distribution of the Global Flux*, Tellus, **39B**, 122-139, 1987.
- Kirchhoff, V.W.J.H., *Introdução à Geofísica Espacial*, Nova Stella editora, São Paulo, 1991.
- Kirchhoff, V.W.J.H., *Efeito Estufa: um Futuro de Muito Calor*, Ciência Hoje, **8**, 12, 1988.
- Kirchhoff, V.W.J.H., *Surface Ozone Measurements in Amazonia*, J. Geophys. Res., **93**, 1469-1476, 1988b.
- Kirchhoff, V.W.J.H., Browell, E.V., and Gregory, G.L., *Ozone Measurements in the Troposphere of an Amazonian Rainforest Environment*, J. Geophys. Res., **93**, 15850-15860, 1988.
- Kirchhoff, V.W.J.H., and Marinho, E.V.A., *A Concentração de Monóxido de Carbono (CO) no Ar como Parâmetro de Pureza*, Rev. Bras. Geof., **6**, 9-16, 1988a.

- Kirchhoff, V.W.J.H., Setzer, A.W. and Pereira, M.C., *Biomass Burning in Amazonia: Seasonal Effects on Atmospheric O₃ and CO*, *Geophys. Res. Lett.*, **16**, 469-472, 1989.
- Kirchhoff, V.W.J.H., and Marinho, E.V.A., *A Survey of Continental Concentrations of Atmospheric CO in the Southern Hemisphere*, *Atmosph. Environ.*, **23**, 461-466, 1989.
- Kirchhoff, V.W.J.H., Silva, I.M.O. da, and Browell, E.V., *Ozone Measurements in Amazonia: Dry Season Versus Wet Season*, *J. Geophys. Res.*, **95**, 16,913-16.926, 1990.
- Lacis, A.A., Hansen, J., Lee, P., Mitchell, T., and Lebedeff, S., *Greenhouse Effect of Trace Gases*, *Geophys. Res. Lett.*, **8**, 1035-1038, 1981.
- Logan, J.A., Prather, M.J., Wofsy, S.C., and McElroy, M.B., *Tropospheric Chemistry: a Global Perspective*, *J. Geophys. Res.*, **86**, 7210-7254, 1981.
- Manabe, S., Wetherald, R.T., and Stouffer, R.J., *Summer Dryness Due to an Increase of Atmospheric CO₂ Concentration*, *Clim. Change*, **3**, 347-386, 1981.
- Ramanathan, V., Cicerone, R.J., Singh, H.B., and Kiehl, J.T., *Trace Gas Trends and their Potential Role in Climate Change*, *J. Geophys. Res.*, **90**, 5547-5566, 1985a.
- Ramanathan, V., et al., *Trace Gas Effects on Climate, in Atmospheric Ozone*, 1985, World Meteorological Organization, Report 16, Vol. III, pp. 821-893, 1985b.
- Ramanathan, V., Callis, L., Cess, R., Hansen, J., Isaksen, I., Kuhn, W., Lacis, A., Luther, F., Mahlman, J., Reck, R., and Schlesinger, M., *Climate-Chemical Interactions and Effects of Changing Atmospheric Trace Gases*, *Rev. Geophys.*, **25**, 1441-1482, 1987.
- Robinson, J.M., *On Uncertainty in the Computation of Global Emissions from Biomass Burning*, *Climate Change*, **14**, 243-262, 1989.

- Scala, J.R., Garstang, M., Tao, W., Pickering, K.E., Thompson, A.M., Simpson, J., Kirchhoff, V.W.J.H., Browell, E.V., Sachse, G.W., Torres, A.L., Gregory, G.L., Rasmussen, R.A. and Khalil, M.A.K., *Cloud Draft Structure and Trace Gas Transport*, *J. Geophys. Res.*, **95**, 17015-17030, 1990.
- Schoenwiese, C., und Diekmann, B., *Der Treibhaus Effect: Der Mensch Aendert das Klima*, Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart, 1988.
- Solomon, A.M., *Transient Response of Forests to CO₂ Induced Climate Change*, *Oecologia*, **68**, 567-579, 1986.
- Steigner, J.E., Pye, J.M., and Love, C.S., *Air Pollution Damage to U.S. Forests*, *J. of Forestry*, **17-22**, 1990.
- Thomas, R., *Future Sea Level Rise and its Early Detection by Satellite Remote Sensing*, in *Effects of Changes in Stratospheric Ozone and Global Climate*, Vol. 4, ed. James G. Titus, EPA/UNEP report, pp. 19-36, 1986.
- Uhl, C., Kauffman, J.B., and Silva, E.D. da, *Os Caminhos do Fogo na Amazônia*, *Ciência Hoje*, **11**, 25-32, 1990.
- Waggoner, P.E., *How Changed Weather Might Change American Agriculture*, in *Effects of Changes in Stratospheric Ozone and Global Climate*, V.3, ed. James G. Titus, EPA/UNEP report, pp. 59-71, 1986.
- Wagner, H.J. und Walbeck, M., *CO₂ - Emission Durch Die Energieversorgung*, *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, **2**, 851-863, 1988.

TRABALHOS DO AUTOR PUBLICADOS NA LITERATURA NACIONAL

- KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Laser de Corante Sintonizável*, ITA Engenharia, **3**(1), 1972.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Laser: Características e Aplicações para o Estudo do Sódio Atmosférico*, ITA Engenharia, **3**(7), 1972.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Princípios Básicos em Espalhamento Incoerente e sua Contribuição para o Estudo da Física da Atmosfera Superior*, Revista Brasileira de Física, **8**, 89-101, 1978.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Campos Elétricos na Região Ionizada da Atmosfera*, Rev. Bras. Física, **11**, 711-725, 1981.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., MOTTA, A.G., *Medidas de Ozônio na Troposfera e Estratosfera de Natal*, Rev. Bras. Geofís., **2**, 25-30, 1983.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., SAHAI, Y., e DIAS, P.L.S., *Medidas de Ozônio a Bordo do Avião Bandeirantes do INPE*, Rev. Bras. Geofís., **4**, 21-26, 1985.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., ALVES, J.R., e DA SILVA, I.M.O., *Medidas de O₃ no Amazonas*, Rev. Bras. Geofís., **4**, 155-160, 1986.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., e PEREIRA, E.B., *Medidas de O₃ na Antártica*, Rev. Bras. Geofís., **4**, 143-148, 1986.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., MOTTA, A.G., e AZAMBUJA, S.O., *A Camada de Ozônio: um Filtro Ameaçado*, Ciência Hoje, **5**(28), 28-33, 1987.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Diminuição de Ozônio*, Pau Brasil, **16**, 57-62, 1987.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Ozônio, Ameaça Sobre a Antártica*, Rev. Bras. Tecnologia, **19**, 55-58, 1988.

- KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Variações Temporais da Concentração de Ozônio de Superfície*, Rev. Bras. Geofís., 6, 3-8, 1988.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Geoquímica da Média e Baixa Atmosfera: Impactos Ambientais por Deterioração da Camada de Ozônio*, Geochim. Bras., 2, 41-52, 1988.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Efeito Estufa: um Futuro de Muito Calor*, Ciência Hoje, 8, 12, 1988.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., MARINHO, E.V.A., *A Concentração de Monóxido de Carbono (CO) no Ar como Parâmetro de Pureza*, Rev. Bras. Geofís., 6, 9-16, 1988.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., *A Redução da Camada de Ozônio: Efeitos Sobre o Brasil*, Eng. Ambient., 2, 32-35, 1989.

**TRABALHOS DO AUTOR PUBLICADOS NA LITERATURA
INTERNACIONAL**

- KIRCHHOFF, V.W.J.H., CLEMESHA, B.R., *Atmospheric Sodium Measurements at 23° South*, J. Atmos. Terr. Phys., **35**, 1493-1498, 1973.
- CARPENTER, L.A., KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Daytime Three Dimensional Drifts at Millstone Hill Observatory*, Radio Science, **9**, 217-222, 1974.
- CARPENTER, L.A., KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Comparison of High Latitude and Mid-Latitude Ionospheric Electric Fields*, J. Geophys. Res., **80**, 1810-1814, 1975.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., CARPENTER, L.A., *Dominance of the Diurnal Mode of Horizontal Drift Velocities at F-Region Heights*, J. Atmos. Terr. Phys., **37**, 419-428, 1975.
- CLEMESHA, B.R., KIRCHHOFF, V.W.J.H., SIMONICH, D.M., *Automatic Wavelength Control of a Flashlamp Pumped Dye Laser*, Optical and Quantum Electr., **7**, 193-196, 1975.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., CARPENTER, L.A., *The Day-to-Day Variability in Ionospheric Electric Fields and Currents*, J. Geophys. Res., **81**, 2737-2742, 1976.
- CLEMESHA, B.R., KIRCHHOFF, V.W.J.H., SIMONICH, D.M., *Simultaneous Observations of the Na 5893 A Nightglow and the Distribution of Sodium Atoms in the Mesosphere*, J. Geophys. Res., **83**, 2499-2503, 1978.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Comments on Equatorial F-Region Motions Deduced from Sq Currents*, J. Geophys. Res., **83**, 3903, 1978.
- CLEMESHA, B.R., KIRCHHOFF, V.W.J.H., SIMONICH, D.M., TAKAHASHI, H., *Evidence of an Extraterrestrial Source of the Mesospheric Sodium Layer*, Geophys. Res. Letters, **5**, 873-876, 1978.

- SIMONICH, D.M., CLEMESHA, B.R., KIRCHHOFF, V.W.J.H., *The Mesospheric Sodium Layer at 23°S: Nocturnal and Seasonal Variations*, J. Geophys. Res., **84**, 1543-1550, 1979.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., CLEMESHA, B.R., SIMONICH, D.M., *Sodium Nightglow Measurements and Implications on the Sodium Photochemistry*, J. Geophys. Res., **84**, 1323-1327, 1979.
- CLEMESHA, B.R., KIRCHHOFF, V.W.J.H., SIMONICH, D.M., *Concerning the Seasonal Variation of the Mesospheric Sodium Layer at Low Latitudes*, Planet. Space Sci., **27**, 909-910, 1979.
- CLEMESHA, B.R., KIRCHHOFF, V.W.J.H., SIMONICH, D.M., TAKAHASHI, I., BATISTA, P.P., *Simultaneous Observations of Sodium Density and the Na D, OH(8,3) and OI 5577 A Nightglow Emissions*, J. Geophys. Res., **84**, 6477-6482, 1979.
- CLEMESHA, B.R., KIRCHHOFF, V.W.J.H., SIMONICH, D.M., TAKAHASHI, I., BATISTA, P.P., *Spaced Lidar and Nightglow Observations of an Atmospheric Sodium Enhancement*, J. Geophys. Res., **85**, 3480-3484, 1980.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., CLEMESHA, B.R., SIMONICH, D.M., *Seasonal Variation of Ozone in the Mesosphere*, J. Geophys. Res., **86**, 1463-1466, 1981.
- CLEMESHA, B.R., KIRCHHOFF, V.W.J.H., SIMONICH, D.M., BATISTA, P.P., *Mesospheric Winds from Lidar Observations of Atmospheric Sodium*, J. Geophys. Res., **86**, 868-870, 1981.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., CLEMESHA, B.R., SIMONICH, D.M., *Average Nocturnal and Seasonal Variations of Sodium Nightglow at 23°S, 46°W*, Planet. Space Sci., **29**, 765-766, 1981.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., CLEMESHA, B.R., SIMONICH, D.M., *The Atmospheric Neutral Sodium Layer, 1, Recent Modeling Compared to Measurements*, J. Geophys. Res., **86**, 6892-6898, 1981.
- CLEMESHA, B.R., KIRCHHOFF, V.W.J.H., SIMONICH, D.M., *Remote Measurements of Tropospheric and Stratospheric Winds by Ground Based Lidar*, App. Optics, **20**, 2907-2910, 1981.

- KIRCHHOFF, V.W.J.H., SAHAI, Y., MOTTA, A.G., *First Ozone Profiles Measured With ECC Sondes at Natal (5.9°S, 35.2°W)*, *Geophys. Res. Lett.*, **8**, 1171-1172, 1981.
- CLEMESHA, B.R., KIRCHHOFF, V.W.J.H., SIMONICH, D.M., *Comments on a Meteor Ablation Model of the Sodium and Potassium Layers*, by D.M. Hunten, *Geophys. Res. Lett.*, **8**, 1023-1025, 1981.
- CLEMESHA, B.R., SIMONICH, D.M., BATISTA, P.P., KIRCHHOFF, V.W.J.H., *The Diurnal Variation of Atmospheric Sodium*, *J. Geophys. Res.*, **87**, 181-186, 1982.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., and CLEMESHA, B.R., *The Atmospheric Neutral Sodium Layer, 2, Diurnal Variations.*, *J. Geophys. Res.*, **88**, 442-450, 1983.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., and CLEMESHA, B.R., *Eddy Diffusion Coefficients in the Lower Thermosphere*, *J. Geophys. Res.*, **88**, 5765-5768, 1983.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., and CLEMESHA, B.R., *The Dissipation of a Sodium Cloud*, *Planet. Space Sci.*, **31**, 369-372, 1983.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., HILSENATH, E., MOTTA, A.G., SAHAI, Y., MEDRANO-B, R.A., *Equatorial Ozone Characteristics as Measured at Natal (5.9°S, 35.2°W)*, *J. Geophys. Res.*, **88**, 6812-6818, 1983.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., BATISTA, P.P., *Calculation of the Vertical Drift of the Sodium Ion*, *Ann. Geophys.*, **1**(6), 509-514, 1983.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Atmospheric Sodium Chemistry and Diurnal Variations: an Up-date*, *Geophys. Res. Lett.*, **10**, 721-724, 1983.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., TAKAHASHI, H., *Sodium Clouds in the Lower Thermosphere*, *Planet. Space Sci.*, **32**, 831-836, 1984.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Are Northern Hemisphere Tropospheric Ozone Densities Larger?*, *EOS*, **65**, 449, 1984.
- BATISTA, P.P., CLEMESHA, B.R., SIMONICH, D.M. and KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Tidal Oscillations in the Atmospheric Sodium Layer*, *J. Geophys. Res.*, **90**, 3881-3888, 1985.

- KIRCHHOFF, V.W.J.H., and TAKAHASHI, H., *First Sodium Nightglow Results for Natal*, *Planet. Space Sci.*, **33**, 757-760, 1985.
- LOGAN, J.A., KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Seasonal Variations of Tropospheric Ozone at Natal, Brazil*, *J. Geophys. Res.*, **91**, 7875-7881, 1986.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Theory of the Atmospheric Sodium Layer: a Review*, *Can. J. Phys.*, **12**, 1207-1212, 1986.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., BATISTA, P.P., CLEMESHA, B.R. and SIMONICH, D.M., *The Twilight Sodium Layer*, *J. Geophys. Res.*, **91**, 13303-13309, 1986.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Comment on General Theory of the Alkali Metals in the Earth's Upper Atmosphere*, *Ann. Geophys.*, **A 20**, 809-813, 1986.
- BARNES, R.A., HOLLAND, A.C., and KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Equatorial Ozone Profiles from the Ground to 52 km During the Southern Hemisphere Autumn.*, *J. Geophys. Res.*, **92**, 5573-5583, 1987.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Surface Ozone Measurements in Amazonia*, *J. Geophys. Res.*, **93**, 1469-1476, 1988.
- BROWELL, E.V., GREGORY, G.L., HARRISS, R.C., and KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Tropospheric Ozone and Aerosol Distributions Across the Amazon Basin*, *J. Geophys. Res.*, **93**, 1431-1451, 1988.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., BROWELL, E.V., and GREGORY, G.L., *Ozone Measurements in the Troposphere of an Amazonian Rainforest Environment*, *J. Geophys. Res.*, **93**, 1585-15860, 1988.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., and MARINHO, E.V.A., *A Survey of Continental Concentrations of Atmospheric CO in the Southern Hemisphere*, *Atmos. Environ.*, **23**, 461-466, 1989.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., MARINHO, E.V.A., DIAS, P.L.S., CALHEIROS, R., ANDRÉ, R., and VOLPE, C., *O₃ and CO from Burning Sugar Cane.*, *Sci. Letter Nature*, **339**, 264, 1989.

- KIRCHHOFF, V.W.J.H., SETZER, A.W., and PEREIRA, M.C., *Biomass Burning in Amazonia*, *Geophys. Res. Lett.*, **5**, 469-472, 1989.
- PINTO JR. O., KIRCHHOFF, V.W.J.H., GONZALEZ, W.D., *Mesospheric Ozone Depletion due to Energetic Electron Precipitation at the South Atlantic Magnetic Anomaly*, *Ann. Geophys.*, **8**, 365-368, 1990.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., RASMUSSEN, R.A., *Time Variations of CO and O₃ Concentrations in a Region Subject to Biomass Burning*, *J. Geophys. Res.*, **95**, 7521-7532, 1990.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., SILVA, I.M.O., and BROWELL, E.V., *Ozone Measurements in Amazonia: Wet season vs. Dry season*, *J. Geophys. Res.*, **95**, 16913-16926, 1990.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., and MARINHO, E.V.A., *Surface Carbon Monoxide Measurements in Amazonia*, *J. Geophys. Res.*, **95**, 16933-16943, 1990.
- SCALA, J.R., GARSTANG, M., TAO, W., PICKERING, K.E., THOMPSON, A.M., SIMPSON, J., KIRCHHOFF, V.W.J.H., BROWELL, E.V., SACHSE, G.W., TORRES, A.L., GREGORY, G.L., RASMUSSEN, R.A., and KHALIL, M.A.K., *Cloud Draft Structure and Trace Gas Transport*, *J. Geophys. Res.*, **95**, 17015-17030, 1990.
- BROWELL, E.V., GREGORY, G.L., HARRISS, R.C., and KIRCHHOFF, V.W.J.H., *Ozone and Aerosol Distributions over the Amazon Basin During the Wet Season*, *J. Geophys. Res.*, **95**, 16887-16901, 1990.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., MARINHO, E.V.A., DIAS, P.L.S., PEREIRA, E.B., CALHEIROS, R., ANDRÉ, R., and VOLPE, C., *Enhancements of CO and O₃ from Burnings in Sugar Cane Fields*, *J. Atmos. Chem.*, **12**, 87-102, 1991.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H., BARNES, R.A., and TORRES, A.L., *Ozone Climatology at Natal, from in Situ Ozonesonde Data*, *J. Geophys. Res.*, **96**, 10899-10909, 1991.

REPENSANDO A HISTÓRIA GERAL

tem por objetivo desenvolver a visão crítica através da discussão, análise e reformulação constante dos temas históricos.

Pretende, também, estimular a participação de todos no processo de elaboração do saber histórico, tanto através do tratamento desmistificador de visões consagradas, como pela abordagem de questões que fazem parte do dia-a-dia das pessoas "comuns", sistematicamente postas à margem da história.

Títulos já publicados:

- CULTURA POPULAR NA ANTIGÜIDADE CLÁSSICA,*
de Pedro Paulo Funari
REFORMAS RELIGIOSAS,
de Flávio Luizetto
OS MUÇULMANOS NA PENÍNSULA IBÉRICA,
de Ruy Andrade Filho
GUERRAS E GUERREIROS NA IDADE MÉDIA,
de Cyro de Barros Rezende Filho
A MULHER NA IDADE MÉDIA,
de José Rivair de Macedo
ANTIGUIDADE ORIENTAL: POLÍTICA E RELIGIÃO,
de Ciro Flamarion S. Cardoso
ESTADOS UNIDOS: DA COLÔNIA À INDEPENDÊNCIA,
de Leandro Karnal
O MERCANTILISMO E A AMÉRICA,
de Cleber Cristiano Prodanov
ESTADOS UNIDOS E AMÉRICA LATINA,
de Gerson Moura
A REVOLUÇÃO FRANCESA E A MODERNIDADE,
de Berenice Cavalcante
DESCOBRIMENTOS E RENASCIMENTO,
de Janice Theodoro
A PRIMEIRA GUERRA MUNDIAL,
de Augustin Wernet
HISTÓRIA IBÉRICA: Apogeu e Declínio,
de Flavio de Campos

Procure os livros da EDITORA CONTEXTO nas boas livrarias de todo o Brasil. Caso não encontre, peça diretamente à Editora Contexto, Rua Acopiara, 199 – CEP 05083 – São Paulo – SP
Fone: (011) 832-5838 – Fax: (011) 832-3561

EDITORA
CONTEXTO

Leia também da EDITORA CONTEXTO os seguintes livros:

ECOLOGIA E LUTAS SOCIAIS NO BRASIL
de Mauricio Waldman
Coleção Caminhos da Geografia

AMBIENTE E APROPRIAÇÃO DO RELEVO
de Valter Caseti
Coleção Caminhos da Geografia

GEOGRAFIA, NATUREZA E SOCIEDADE
de José William Vesentini
Coleção Repensando a Geografia

GEMORFOLOGIA: AMBIENTE E PLANEJAMENTO
de Jurandy Sanches Ross
Coleção Repensando a Geografia

OS (DES)CAMINHOS DO MEIO AMBIENTE
de Carlos Walter Porto Gonçalves
Coleção Temas Atuais

Procure os livros da **EDITORA CONTEXTO** nas
boas livrarias de todo o Brasil. Caso não encontre,
peça diretamente à Editora Contexto,
Rua Acopiara, 199 – CEP 05083 – São Paulo – SP
Fone: (011) 832-5838 – Fax: (011) 832-3561



"O livro do Kirchhoff, em que pese a sua humildade em qualificá-lo como "uma pequena contribuição", deve na verdade, ser saudado como contribuição fundamental e, mais do que isso, como ato político em defesa da Amazônia".

Fábio Feldmann
Deputado Federal

"A leitura vai despertando crescente interesse, não apenas pelo lado científico mas especialmente, pela conscientização acerca dos efeitos catastróficos decorrentes das queimadas do cerrado e da floresta amazônica sobre as quais, somos convidados a refletir."

Brigadeiro-do-ar
José Marconi de Almeida Santos
Vice-Presidente Executivo da COBAE

"O Dr Kirchhoff é um especialista reconhecido no Brasil e no estrangeiro... e considero este um excelente trabalho de divulgação científica sobre as queimadas e seus efeitos na atmosfera..."

Daniel Nordemann
Chefe da Divisão de
Geofísica Espacial - INPE

ISBN - 85 - 85417 - 03 - X