

# ATMOSFERA EM TRANSFORMAÇÃO: o ozônio e os CFCs, certezas e incertezas.

Por: Marco Antonio Tomasoni<sup>1</sup> e Kên Rodrigues Tomasoni<sup>2</sup>

"Se o conhecimento pode criar problemas, não é através da ignorância que podemos solucioná-los"  
*Isaac Asimov (1920-1992)*

## RESUMO:

O presente texto é uma breve reflexão sobre questões tratadas no âmbito das mudanças globais referentes ao clima e mais especificamente sobre a problemática da camada de ozônio e alguns de seus aspectos teóricos e técnicos, mostrando as características do problema e suas dimensões. Serão avaliadas as implicações de ordem diversa como as questões políticas e econômicas resultantes das ações de resposta aos problemas apontados pela produção dos CFCs, a partir do protocolo de Montreal e de Viena. A efetividade de tais ações e seus impactos no sistema ambiental, fazendo refletir sobre o papel da ciência e seus enlaces com a economia.

**Palavras chave:** atmosfera, ozônio, clorofluorcarbonos, impactos.

## INTRODUÇÃO:

É fato consagrado no âmbito acadêmico que após o advento da revolução industrial, a sociedade vem transformando radicalmente o mundo e também a composição dos gases atmosféricos, especialmente com substâncias muito ativas e reagentes, este é o foco que aqui se pretende tratar.

Recentemente fomos largamente acerbados com inúmeras informações que davam conta da descoberta de um grave problema que ameaçava a existência humana. Este problema estava relacionado à rarefação da camada de ozônio e sua reatividade frente a um grupo de substâncias antropicamente produzidas: os freões, que em dadas condições específicas estavam degradando-a e cujas dimensões precisávamos conhecer melhor.

O fenômeno ganhou a mídia de forma avassaladora e a teoria da Mario Molina e Sherwood Rowland tornou-se uma verdade inabalável, resultando em ações onde ONG's, governos, corporações e indivíduos, puseram-se na luta contra seus efeitos. Enfim, uma forte "comoção" se estendeu sobre o "problema" e causou reações imediatas em todo mundo, chegando ao quase completo banimento desta substância e sua substituição. Mas, é bom que se diga que este problema apresenta um conjunto de variáveis muito mais complexas, as quais não estão devidamente explicadas ou sobre elas, residem dúvidas incontestes e interesses que implicam em impactos de ordem política e econômica muito sérios, para serem reduzidos a um fato meramente técnico.

---

<sup>1</sup> Professor do Departamento de Geografia da Universidade Federal da Bahia – [tomasoni@ufba.br](mailto:tomasoni@ufba.br)

<sup>2</sup> Estudante do 3 ano do ensino médio.

## UMA BREVE LINHA DO TEMPO

Atribui-se a descoberta do ozônio, ao químico *Christian Friedrich Schönbein* que em meados do século XIX, observou que após descargas elétricas na atmosfera havia um odor, “notado também quando a água era decomposta por uma corrente voltaica. Schönbein acreditou que esse odor poderia ser atribuído à existência de um gás atmosférico de odor peculiar. A esse gás atribuiu o nome ozônio, da palavra grega para cheiro – “ozein”. O ozônio é um gás produzido naturalmente na atmosfera terrestre, reativo e capaz de oxidar metais como ferro, chumbo e arsênico[...] após varias pesquisas concluiu-se que o ozônio tinha um papel ainda mais importante, utilizando-o como um eficaz desinfetante durante epidemias infecciosas”(INPE 2006).

A vinculação do ozônio aos CFC foi originada a partir das descobertas dos cientistas *F. Sherwood Rowland* e *Mário Molina* em 1974, que suspeitavam que grandes quantidades de um composto estável CFC (Clorofluorcarbonos ou **CFC<sub>1</sub>** e **CFC<sub>2</sub>**, respectivamente **Freón-11** e **Freón-12** ou **Halons**), produzidos sinteticamente desde os anos 20 inicialmente pela **Du Pont**, e que de alguma maneira estariam circulando na atmosfera, mais especificamente na estratosfera (acima dos 20Km), criando condições para uma exposição à elevada radiação presente nestas altitudes, gerando assim, uma reação onde seria atacado o ozônio (**O<sub>3</sub>**). Tal teoria foi batizada de “Ciclo Catalítico do cloro” e no meio informativo como teoria da destruição da camada de ozônio.

Mas foi somente nos anos 80 que a informação ganhou dimensões maiores, quando a NASA (National Aeronautics and Space Administration) divulgou seus estudos, apresentando o que se constituiria no “buraco na camada de ozônio”, que, segundo eles, em setembro de 2000, tinha chegado a mais de 28 milhões de quilômetros quadrados (WMO, 2000; NASA, 2001). Segundo dados oficiais de relatórios da ONU, “atualmente, a média das perdas de ozônio é de 6% nas latitudes médias do Hemisfério Norte no inverno e na primavera, 5% nas latitudes médias do Hemisfério Sul durante o ano todo, 50% na primavera antártica e 15% na primavera ártica. Os aumentos resultantes na irradiação de raios ultravioletas nocivos chegam a 7%, 6%, 130% e 22%, respectivamente (UNEP, 2000)<sup>3</sup>.

Em 1977, os Estados Unidos proibiram o uso de CFCs em aerossóis não-essenciais e alguns outros países como o Canadá, Noruega e Suécia também diminuíram o consumo e produção. Entre os vários usos dos CFCs existem os aerossóis e os não-aerossóis, como em espumas, solventes e produtos refrigerantes.

Em março 1985 a Convenção de Viena e o Protocolo de Montreal foram assinados e ganharam inúmeros membros e em dezembro de 2001, haviam 182 partes já ratificado a Convenção de Viena e 181 partes, o Protocolo de Montreal, que originalmente exigia o corte de apenas 50% do consumo. Sendo que ao final de 1995 estas substâncias foram praticamente eliminadas pelos industrializados e criou-se um fundo (aprox. \$1,1 bi) para financiar países em desenvolvimento.

E em recente encontro internacional (set/2006) foi comemorado a eficiência do combate à eliminação dos CFCs, onde foi anunciado o praticamente fim do problema.

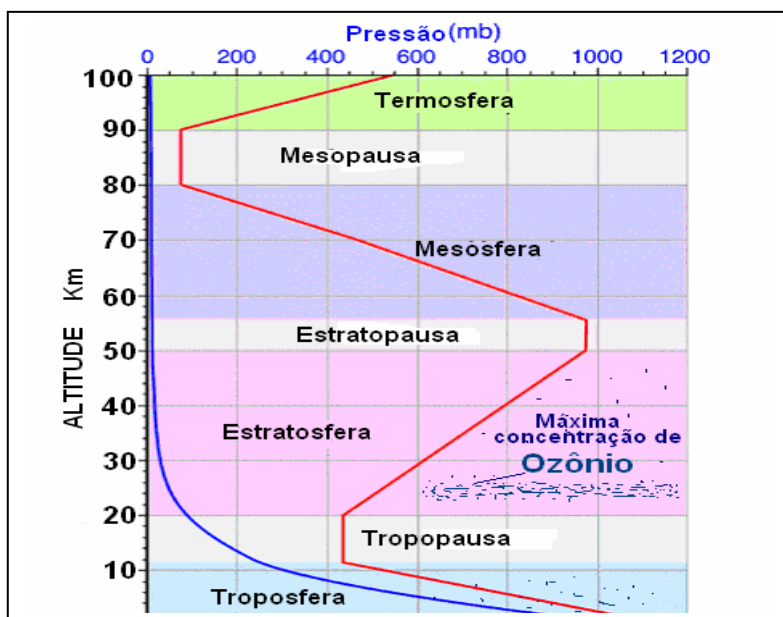
---

<sup>3</sup> UNEP (2000). *Action on Ozone*. Nairobi, United Nations Environment Programme. (web)

## CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS ENVOLVIDOS:

Primeiramente é bom que se diga que como qualquer problema, o do ozônio está ligado a uma complexa rede de reações físico-químicas que ocorrem tanto na troposfera quanto na estratosfera. Quando falamos em atmosfera é importante lembrar sua estrutura básica e o comportamento dos elementos temperatura e pressão, conforme vemos na figura(01), onde se vê o comportamento variável da temperatura nas diferentes camadas e o decréscimo abrupto da pressão na medida em que elevamo-nos na atmosfera. Estes dois fatores interferem de modo determinante nas reações físico-químicas dos componentes gasosos que ocorrem no seu conjunto.

Fig. 01. Estrutura geral da atmosfera e comportamento da temperatura e pressão.



### O ozônio troposférico:

O ozônio encontra-se em boa parte da atmosfera, mas na baixa atmosfera, especialmente nos grandes centros urbanos, formam-se domus (bolha) de poluição que por reações fotoquímicas gera o ozônio: o chamado "smog" fotoquímico. Atribui-se a ele um "gatilho" (INPE 2006) para entrada de infecções respiratórias mais graves que ocorrem em determinadas épocas do ano.

Nesta contribuição a mais importante fonte de poluentes atmosféricos é sem dúvida a queima de combustíveis fósseis e de biomassa, liberando grandes quantidades de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO e NO<sub>2</sub>, conhecidos coletivamente como NO<sub>x</sub>), os materiais particulados em suspensão (MPS), os compostos orgânicos voláteis (VOCs) e alguns metais pesados e principalmente a maior fonte antropogênica de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). O ozônio troposférico é produzido em reações químicas entre NO<sub>x</sub> e VOCs em dias quentes e ensolarados, principalmente em áreas urbanas e industriais e em regiões propensas a massas de ar estagnado.

“Essa produção de ozônio pode ter implicações extensas, uma vez que foi descoberto que as moléculas de O<sub>3</sub> viajam por grandes distâncias (até 800 km) a partir das fontes de emissão” e produção. Assim, trata-se de um problema complexo que envolve reações químicas e dispersão atmosférica através dos mecanismos de circulação geral e secundária. (MOREIRA e TIRABASSI, 2004)

“Na formação do ozônio troposférico, um papel notável é então desenvolvido da relação NO<sub>2</sub>/NO. O ozônio se forma na troposfera através da seguinte reação:

$O + O_2 + M \rightarrow O_3$  (reação 1) onde M é uma molécula presente.

O oxigênio livre O se forma, na troposfera, da fotólise do NO<sub>2</sub>:

$NO_2 + h\nu \rightarrow NO + O$  (reação 2) com a seguinte reação, completa-se o chamado ciclo do nitrogênio:

$O_3 + NO \rightarrow NO_2 + O_2$  (reação 3)

O ciclo do nitrogênio vem a completar-se em poucos minutos, enquanto a acumulação de ozônio acontece em algumas horas (grifo nosso). O ciclo do nitrogênio é bastante veloz para manter uma concentração de equilíbrio de O<sub>3</sub>, que é função da relação NO<sub>2</sub>/NO

A reação (3) converte NO em NO<sub>2</sub>, mas uma molécula de ozônio é destruída. A reação (1) produz o oxigênio livre que contribui para a formação de uma molécula de ozônio, mas, ao mesmo tempo, NO<sub>2</sub> é convertido em NO. São adequados para o estudo do ozônio e de outros poluentes fotoquímicos em uma escala temporal somente da ordem de um há alguns dias” (Ferreira, 2006).

### **O ozônio estratosférico:**

A formação do ozônio em altitudes elevadas dá-se quando um fóton de elevada energia ( $\lambda < 242\text{nm}$ , onde se lê, longitudes de onda de onda inferior a 242 nanômetros ou  $2,42 \times 10^{-8}$  metros) atingem a molécula de O<sub>2</sub>, desestabilizando-o e provocando nova ligação, sendo representado da seguinte forma:

$O_2 + h\nu (\lambda < 242 \text{ nm}) \rightarrow O' + O' - 118.111 \text{ Kcal/mol}$  (reação 1)

$O_2 + O' \rightarrow O_3$  (reação 2)

$O_3 + O_3 \rightarrow 3 O_2 + 64 \text{ Kcal/mol}$  (reação 3)

Isto leva a um ciclo contínuo de produção e degradação do ozônio.

Do ozônio total existente na atmosfera 85 a 90% estão acima da tropopausa (ver figura 01) e abaixo da mesosfera, como também na troposfera em baixos níveis. A quantidade de ozônio é expressa em Unidades Dobson<sup>4</sup> (DU). A coluna média de ozônio sobre a Terra varia entre 290 e 310 DU. Para se ter uma idéia da quantidade irrisória de ozônio, se ela fosse compactada à superfície terrestre à pressão e temperatura padrões a camada teria cerca de 3 milímetros (equivalente a 300 DU), exatamente isso, embora aparentemente irrisório, este gás é extremamente fundamental para barramento da energia UV-B.

### **Os CFCs**

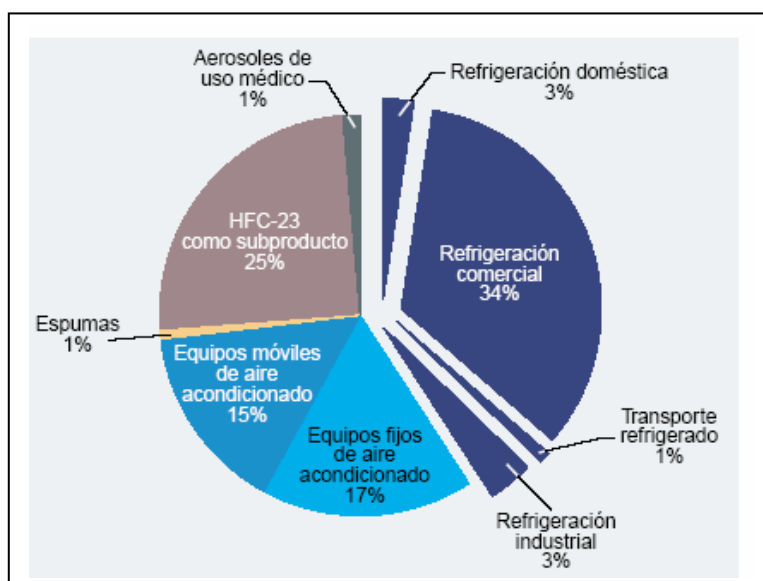
Os CFCs compreendem uma vasta gama de produtos que são utilizados na refrigeração comercial e industrial, sistemas de ar condicionado fixo e móvel, fabricação de espumas, aerossóis de uso médico, outros aerossóis e dissolventes,

---

<sup>4</sup> Um (1) DU é a medida em unidades de centésimos de milímetro, que a coluna de ozônio poderia ocupar, a temperatura e pressão padrão (273° Kelvin e 1 atmosfera).

sistemas de proteção contra incêndio, entre outros usos. Em termos percentuais estão divididos conforme a figura 02, segundo o relatório do IPCC sobre o ozônio.

Figura 02. Percentual dos CFCs, segundo o tipo de uso.

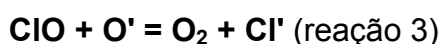
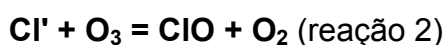
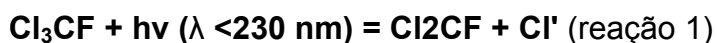


Fonte: IPCC Ozônio, 2005.

Entre as varias substâncias que são apontadas como degradadoras da camada de ozônio (ver quadro 01), apenas os CFCs sofrem proibição e outros como o: tetracloreto de carbono (um solvente), dióxido de nitrogênio (utilizado na composição do ácido nítrico), metilcloroformio (anestésico e solvente) usados em lavagem a seco e no ramo farmacêuticos e os "halons", usados em alguns extintores de incêndios, que contém bromo e são dez vezes mais destruidores de ozônio do que os CFCs, ainda não sofrem nenhum tipo de proibição.

Em uma edição da revista Ciência Hoje de 1990 vol. 2, No. 9, págs. 41-48, mostra o detalhes da teoria de Mario Molina e Sherwood Rowland, sendo que os dois "observaram que a produção anual de CFC alcançava cerca de 1 milhão de toneladas".

Vários pesquisadores mostraram que o CFC é bastante estável, mas na presença da radiação UV-C, tornar-se-ia muito instável, produzindo uma reação fotoquímica que libera átomos de cloro, onde. Esquematicamente assim representada:



Para tanto, os CFCs precisam chegar à estratosfera e serem expostos à radiação da banda UV-c de comprimento de onda inferior a 230nm(2,30 x 10<sup>-8</sup> cm) de longitude de onda, coisa que ocorre acima dos 36 a 40 km segundo estas fontes esta "viagem" dos CFCs levaria aproximadamente oito meses. Com o ozônio, o comprimento de onda necessário para destruí-lo seria da ordem de 250nm, radiação existente por

volta dos 30km de altitude. Ainda segundo os autores o mero atrito das moléculas entre si, bastaria para provocar sua destruição, dada a instabilidade da molécula. Segundo a mesma fonte, as reações em cadeia provocadas pelo CFC, promoveriam uma destruição continua de cerca de 100.000 moléculas de ozônio por uma de CFC. Mas ainda existem outros inúmeros compostos que podem retardar ou acelerar as transformações nesta parte da atmosfera, a exemplo do dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) que pode bloquear a degradação do ozônio. Outro aspecto interessante sobre este gás é que seu “tempo de permanência médio na atmosfera (ver quadro 01) é de aproximadamente 20 anos para o HFC e HCFC e de várias décadas até séculos para alguns HFC e a maioria dos Halons e CFC e entre 1.000 a 50.000 anos para os PFC”(IPCC ozônio)

Quadro 01. Tempo de vida útil de alguns compostos gasosos

<b>GÁS</b>	<b>Tempo de Vida (anos)</b>
<b>CFC</b>	
CFC-12	100
CFC-114	300
CFC-115	1 700
CFC-113	85
CFC-11	45
<b>HCFC</b>	
HCFC-142b	17,9
HCFC-22	12
HCFC-141b	9,3
HCFC-124	5,8
HCFC-225cb	5,8
HCFC-225ca	1,9
HCFC-123	1,3
<b>HFC</b>	
HFC-23	270
HFC-143a	52
HFC-125	29
HFC-227ea	34,2
HFC-43-10mee	15,9
HFC-134a	14
HFC-245fa	7,6
HFC-365mfc	8,6
HFC-32	4,9
HFC-152a	1,4
<b>PFC</b>	
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	10 000
C <sub>6</sub> F <sub>14</sub>	3 200
CF <sub>4</sub>	50 000
<b>Halons</b>	
Halón-1301	65
Halón-1211	16
Halón-2402	20
<b>Otros halocarbonos</b>	
Tetracloruro de carbono (CCl <sub>4</sub> )	26
Metilcloroformo (CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub> )	5,0
Bromuro de metilo (CH <sub>3</sub> Br)	0,7

Fonte: IPCC ozônio, 2005.

## A teoria e a ciência sobre o CFC e o Ozônio.

É interessante observar que do ponto de vista químico os gases e componentes da atmosfera tem suas características definidas por leis bastante rígidas, entre elas a termodinâmica. A título de ilustração, vemos no quadro abaixo, diferentes constituintes da atmosfera e outros, seu peso molecular, peso atômico e o seu percentual na atmosfera. (quadro 02)

Quadro 02. Alguns constituintes da atmosfera, peso molecular e atômico e importância na sua composição.

CONSTITUINTE	PESO MOLECULAR	PESO ATÔMICO	Volume (%) Atmosfera
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	28,02	14,1	<b>78,08%</b>
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	32	16	<b>20,95%</b>
Hélio (He)	8	4	0,0005%
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	2,016	1,08	0,00005%
Ozônio (O <sub>3</sub> )	48	-	0,000004%
Ferro (Fe)	-	55,08	-
Cloro (Cl)	-	35,5	-
Carbono (C)	-	12	-
Fluor (F)	-	19	-
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	44,01	-	0,0360%
Oxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	44,02	-	0,00003%
Metano (CH <sub>4</sub> )	16,032	-	0,00017%
FREON 11 (C <sub>1</sub> F <sub>1</sub> Cl <sub>3</sub> )	137,51	-	
FREON 12 (C <sub>1</sub> F <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> )	121,01	-	
PESO MOLECULAR MÉDIO DA ATMOSFERA =			29,01

Este quadro nos leva a algumas reflexões sobre o comportamento dos elementos da atmosfera as quais realizaremos agora.

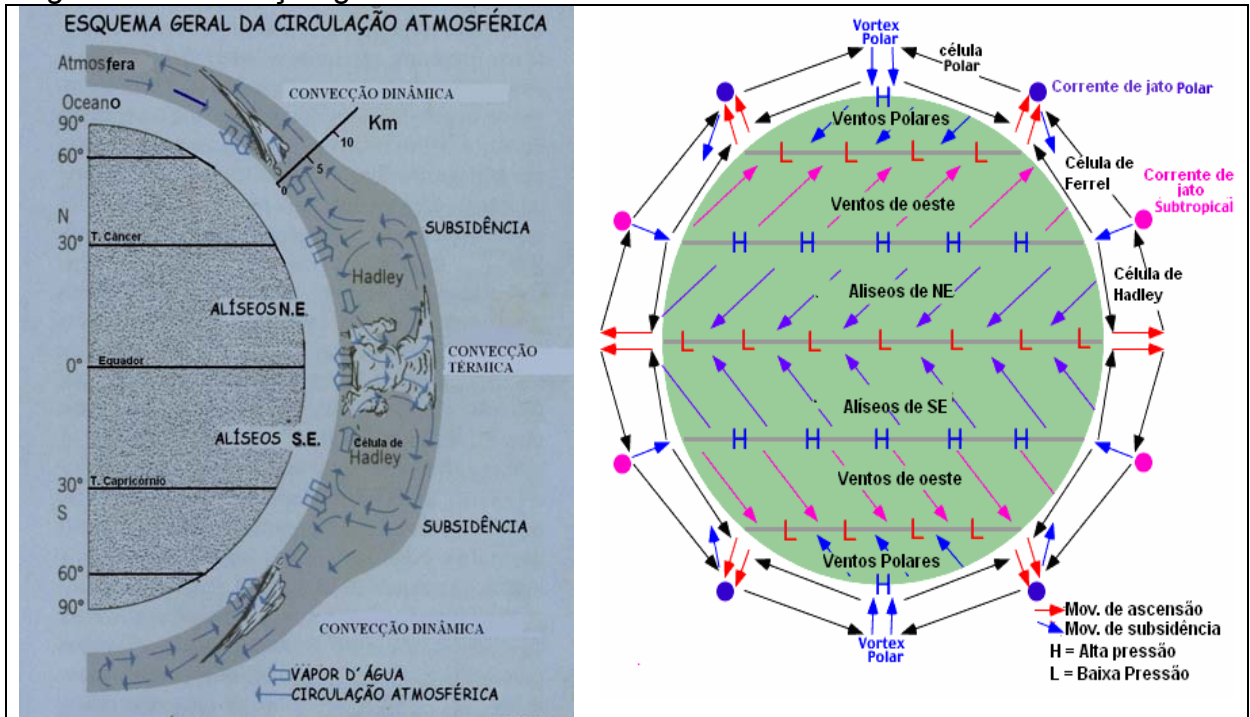
Sobre a capacidade dos freóns ascenderem na atmosfera:

A teoria diz que em uma marcha lenta e continua, eles seriam levados pelas correntes conectivas equatoriais, portanto uma ascensão térmica, para altitudes elevadas, esta "viagem" levaria cerca de oito meses. O problema: na medida em que, as correntes ascendentes equatoriais ganham altitude, elas perdem calor pelo processo adiabático (cerca de 10°C por cada 1000m), portanto iniciam seu processo de subsidência (descida) nas faixas de alta pressão na zona dos trópicos, estas derivando e formando os ventos de oeste e os alíseos de nordeste e sudeste. Depois deveriam para norte (HN) e sul (HS) até sofrer ascensão dinâmica no choque com a frente polar, acumulando-se nas zonas de alta pressão polares (ver fig. 03). Embora haja uma tendência à mistura na atmosfera, os gases obedecem a certa distribuição vertical e aos princípios da termodinâmica, ou seja, este aspecto possui elevado grau de complexidade para a simples relação que ainda hoje perdura como senso comum. Os freóns 12 e 11 pesam respectivamente 4,10 e 4,66 vezes mais que o ar atmosférico e isto, aliado aos fenômenos da circulação geral da atmosfera tornam a idéia da permanência dos freóns em elevada altitude, um aspecto bem complexo e de pouca aceitação.



No corte vertical da atmosfera (fig. 03), lado esquerdo observamos esquematicamente a dinâmica do movimento vertical de ascendência e subsidência do ar e a formação da frente polar, no lado direito outra referência ao movimento horizontal e vertical na circulação geral.

Figura 03. Circulação geral da atmosfera e suas características.



Fonte: Adaptado de Strahler e Ayoad.

Embora a circulação geral da atmosfera tenha estas características, uma outra longa série de fatores afetam este movimento, mas para nós, o que interessa são as forças que intervêm no movimento vertical, especialmente as trocas e os contatos das três células de circulação: a de Hadley, Ferrel e a Polar, e com maior detalhe sobre o Vórtice polar (conforme esquema da fig. 03, lado direito).

É importante lembrar a existência de dois tipos de forças convectivas: a térmica, provocada pelas diferenças de temperatura e gradientes de pressão e a dinâmica provocada pelo movimento e pelo efeito de Coriolis.

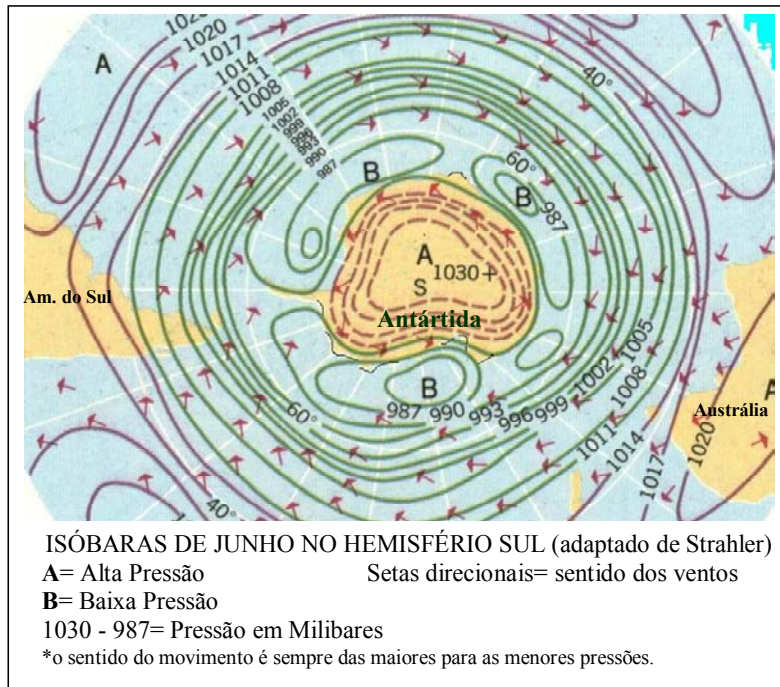
### O vórtice Antártico

Entendo estes aspectos, passamos à outra importante parte da explicação da teoria geral sobre a rarefação do ozônio. Perto do final do inverno austral, entre os fins de agosto e durante setembro inteiro, ocorre uma interessante formação no pólo sul: ventos ciclônicos (convergentes para uma zona central) de intensa velocidade, aproximadamente 400 km, abarcam a Antártida em uma circulação praticamente fechada, conforme apresentado na figura (04), onde vemos em planta as isóbaras<sup>5</sup> do mês de junho.

<sup>5</sup> Linhas que unem pontos de igual pressão atmosférica, medidas em milibares (Mb) ou em milímetros mercúrio (mm/Hg).



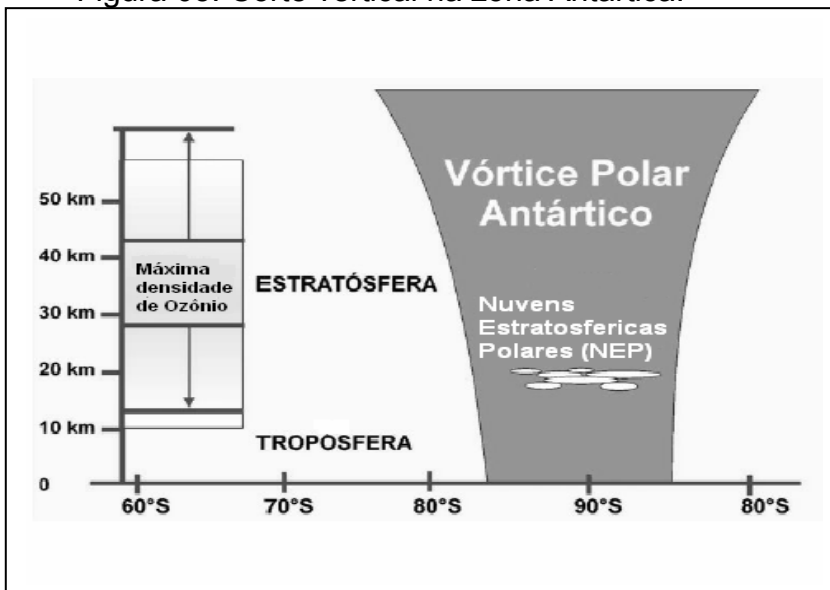
Figura 04. Isóbaras do mês de junho sobre a Antártida.



Fonte: Adaptado de Strahler.

A figura 04 mostra uma zona central (A) fechada com pressão em torno dos 1030mb, circundada por baixas pressões (B) em torno dos 987mb, o que em um corte vertical estaria representada na figura 05, identificando a zona de concentração do vórtice polar e a formação das nuvens estratosféricas polares (NEP), de baixíssimas temperaturas.

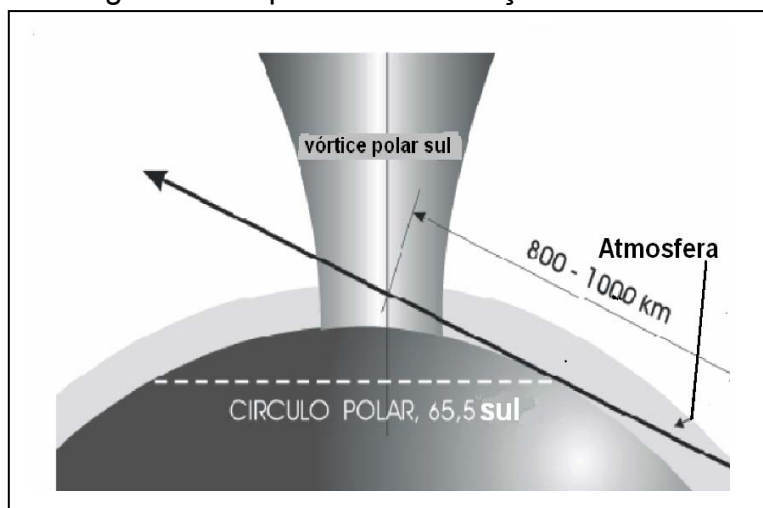
Figura 05. Corte vertical na zona Antártica.



Fonte: Ferreyra, 2006.

Segundo alguns cientistas, o fenômeno da rarefação do ozônio se produz quando os raios solares começam a iluminar a alta estratosfera (+- 20 de agosto), ainda na noite polar (ver figura 06). Devido à inclinação dos raios, provocando a opacidade da atmosfera polar, aonde chegaria apenas radiação infravermelha e luz visível (bandas superiores a 400nm).

Figura 06. Aspecto da iluminação do vórtice.



Fonte: Ferreyra, 2006

Segundo o INPE, nas regiões tropicais a variação de ozônio pode ser negligenciada, pois a radiação seria considerada constante, já em latitudes maiores:

“o máximo de concentração é estabelecido no fim do inverno, ou no começo da primavera, e o mínimo se verifica durante o outono. Durante a primavera a quantidade de ozônio encontrada em altas latitudes é maior, e em baixas latitudes menor, do que aquela que poderia ser prevista utilizando a teoria fotoquímica. Neste caso, a distribuição da intensidade de radiação solar sugeriria a formação de um máximo durante o verão sobre a região equatorial. Portanto, as causas desse fenômeno podem ser relacionadas aos padrões de circulação atmosférica. No início da primavera, a estratosfera próxima às regiões polares é caracterizada por fortes correntes de ar descendentes. Deste modo, o ozônio gerado em camadas acima de 20 km de altitude é transportado por estas correntes de ar em direção às camadas mais baixas, e uma circulação é formada com o ar fluindo em direção aos pólos na alta estratosfera e, em direção ao equador na baixa estratosfera. O ozônio acumulado nesta região é transferido para a troposfera durante o verão” (INPE, 2006).

Nestas condições o movimento giratório do vórtice impede a saída ou entrada de gases e a temperatura no seu interior chega aos  $-85^{\circ}\text{C}$ . Alguns cientistas acreditam

que este movimento caótico faz colidir um imenso número de moléculas, entre elas o ozônio, provocando sua diminuição momentânea. Assim, os níveis de ozônio de áreas circundantes ao vórtice chegam a alcançar 450 a 500 DU (Unidades Dobson) e no interior a valores inferiores a 200 DU. Neste momento quando as reações do ozônio liberam calor e este somado ao da radiação infravermelha, correntes ascendentes de ar formam-se, levando oxigênio às zonas mais elevadas, criando condições para sua regeneração. Há que se ressaltar que tais condições são únicas e só ocorrem na zona Antártica.

### **CFCs na estratosfera ? Principalmente na Antártica?**

Já foi comprovada a existência de muitos outros gases na estratosfera: o hidrogênio, hélio, metano (CH<sub>4</sub>), monóxido e bióxido de Cloro (ClO e ClO<sub>2</sub>), os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), compostos a base de Bromo (altamente reagente), Flúor, Iodo, bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) entre outros gases como o Argônio, Criptônio, Xenônio, etc, menos os CFCs.

Este fato foi demonstrado por inúmeros cientistas, entre eles, *Igor J. Eberstein*, do *Goddard Space Flight Center* da NASA entre outros pesos pesados desta área.

Assim, não havendo nenhum vestígio de CFCs na atmosfera da zona Antártica, mas sim um conjunto de reações provocadas pelos óxidos de nitrogênio, vapor de água e oxigênio, que vem a provocar a queda rápida do ozônio nesta zona atmosférica. Alguns estudos tem indicado que dentro do vórtice os níveis de vapor d'água, ozônio e óxidos nitrosos, caem de maneira abrupta e elevam-se os níveis de cloro, e então vem a pergunta: de onde vem tanto cloro.

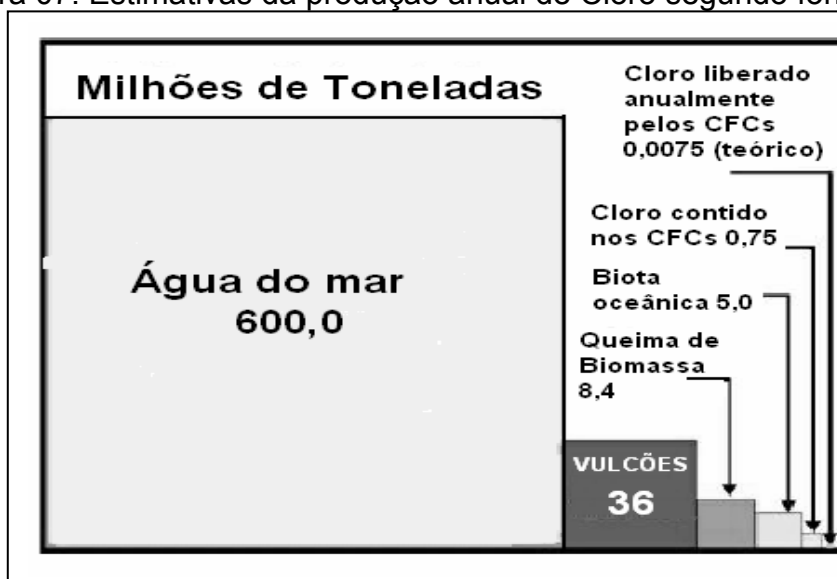
### **As fontes de cloro**

Pairando sobre o problema da redução **sazonal** ou **efetiva** da camada de ozônio, encontra-se um dos principais agentes apontados por vários dos estudiosos do assunto: o cloro. O fato de haver uma grande presença deste elemento na atmosfera Antártica, especialmente dentro do vórtice, levou a postulação da sua dissociação, a partir dos CFCs, mas é justamente aí que reside uma das grandes polêmicas, e a menos explicada. Segundo alguns cientistas, entre eles o eminente químico *Pierre Lutgen*, afirmam que seria necessário que cerca de 90% de todos os CFCs mundiais estivessem no hemisfério sul, sem contar aqui que nem tudo que é produzido em termos efetivos é liberado para atmosfera, entre outros fatores envolvidos neste processo.

Na Antártida existem dois vulcões, "O terror" e o Monte Erebus, sendo que apenas o segundo é ativo desde 1841. O Erebus está a 77°S e 168°E, muito próximo da base onde se realizam medições meteorológicas que embasam estudos científicos sobre o tema. Da base de McMurdo, são lançados constantemente sondas para medir a composição dos gases e o Dr. *Haroun Tazieff*, eminente vulcanólogo, já realizou várias campanhas para estudar os gases deste vulcão. Após avaliar detalhadamente o fenômeno, ele concluiu que são produzidas, cerca de 1.000 toneladas de cloro entre outros gases por dia, o que em uma semana produziria o cloro que todos os CFCs do mundo produziram em um ano, ou seja, 7.500 toneladas de CFCs contra cerca de 360.000 toneladas de cloro vulcânico do Erebus, estes dados totais sobre produção dos CFCs estão no relatório do IPCC e os dados de *Tazieff*, disponíveis em artigos científicos.

Vejamos então na figura 07, uma estimativa da produção anual do cloro segundo fontes diversas, fato que põe em cheque a teoria caótica dos CFCs.

Figura 07. Estimativas da produção anual de Cloro segundo fontes selecionadas.



Fonte: adaptado de Ferreyra, 2006

Tal informação impõe mais perguntas a serem feitas, como por exemplo: O que levaria implicar a ínfima quantidade de cloro dos CFCs no problema do ozônio? Seria ele de fato o acionador do mecanismo de instabilidade do O<sub>3</sub>? Qual seria o papel do cloro liberado de fontes naturais, que no caso do Monte Erebus chega a ser 48 vezes maior que toda a produção mundial provinda dos CFCs? Outros dados assustadores também põe em cheque a questão, somadas todas as fontes de cloro, estas são 80.000 vezes maiores que as liberadas pelos CFCs. E na estratosfera registra-se apenas uma concentração de cerca de 0,1 ppb. Estudiosos como o professor *Lutgen, Khalil e Rasmussen*, afirmam que a maioria do CFC produzido “são devorados por bactérias que se encontram no solo em todo mundo” (Lutgen, 2006). Bem como são dissolvidos no mar, pois como vimos anteriormente, estes são mais de 4,5 vezes mais pesados que o ar.

## CONTRADIÇÕES EVIDENTES

Publicações da NASA de 15 de março de 1988 davam conta que a camada de ozônio sobre os EUA e Europa haviam diminuído cerca de 3% entre 1969 e 1986, o que levaria a um aumento das radiações UV e conseqüente epidemia de câncer. Mas a conclusão não foi unânime, em 12 de fevereiro de 1988 a Revista *Science*, publicou um interessante estudo de **Joseph Scott**, do *Biostatistic Branch* do *National Cancer Institute* dos EUA, que apresentou evidência científica provando que a quantidade de radiação UV-B que chegava a superfície dos EUA havia diminuído

cerca de 7% entre 1974 y 1985. Ele se baseou em uma rede de leituras diretas em estações de monitoramento ao nível do solo com medidores Robertson-Berger que detectaram variações em declínio.

Os pesquisadores contrários às proposições de *Scotto* afirmaram estar ele equivocado por não levar em consideração que a produção fotoquímica do ozônio troposférico, especialmente nas grandes cidades, ou outras substâncias pudessem estar diminuindo a radiação pelo seu poder filtrante. Resultado, em outro número da mesma revista, *Scotto* diz que tal contaminação urbana não dispersaria os UV-B e argumenta que em Mauna Loa (Hawaii), lugar relativamente livre de qualquer contaminação, as análises preliminares não mostraram qualquer aumento de radiação entre 1974 e 1985. O resultado deste polêmico debate foi: *Scotto* não pode mais continuar suas pesquisas e suas estações foram fechadas, impossibilitando assim a continuidade no fornecimento de seus dados, o que acabou projetando-o no cone de sombra da ciência, especialmente sobre esta temática.

Nos diversos debates que sucederam, *Molina* tentou explicar as reações químicas que levavam a brusca queda dos níveis de ozônio, mas um amplo conjunto de cientistas, ainda contesta cabalmente as proposições dele, principalmente pelo fato de não explicar a origem do cloro em suas equações.

### A radiação ultravioleta

A radiação ultravioleta é uma parte do espectro solar, e pode ser separada em três partes:

UV-A – 320 - 400 nm (nanometros)	UV-C 320 – 280 nm	UV- B - <280nm
-------------------------------------	-------------------	----------------

O UV-C é totalmente absorvido na atmosfera terrestre, e por isto não é de maior importância para medidas feitas da superfície da Terra. O UV-A é importante, porque não é absorvido pela atmosfera, a não ser por espalhamento nas moléculas e partículas, e porque tem efeitos sobre a pele humana. A radiação UV mais importante, sem dúvida, é a UV-B. Esta radiação é absorvida na atmosfera pelo ozônio, na estratosfera. A pequena quantidade que passa pela atmosfera e atinge a superfície é muito importante, porque excessos desta radiação causam câncer de pele, e são de grande preocupação dos médicos dermatologistas, mas sem ela não haveria vida e a síntese de algumas vitaminas, como a D pelos seres humanos.

Algumas citações muito importantes:

Quatro pesquisadores, estudando a radiação UV, citados por *Lutgen* afirmaram que entre 1974 e 1984 informaram que a variação de ozônio foi da ordem de -0,26 a + 1,5%, completamente insignificante se forem consideradas as margens de erro do método utilizado.

Os professores *Larsem* e *Hendrikson* estudaram dados desde os anos 1930 no Ártico e em 2000 publicaram artigo na ***Nature***, mostrando não haver diminuição alguma na radiação UV.

*Soukharev*, pesquisadora da Universidade de St. Petersburgo por décadas seguidas, não registrou mudança na radiação UV em estações sob seu controle.

Ferreyra (2006) afirma após análise de diversas fontes que: "Os valores típicos de radiação global médios são de ~300 watts/m<sup>2</sup> em Buenos Aires; próximos de 100 a 150 watts/m<sup>2</sup> na Terra do Fogo; e de ~100 Watts/m<sup>2</sup> na Antártida. Os níveis de

radiação ultravioleta diretamente abaixo do Buraco de ozônio não alcançam a metade dos de Buenos Aires no mesmo momento”.

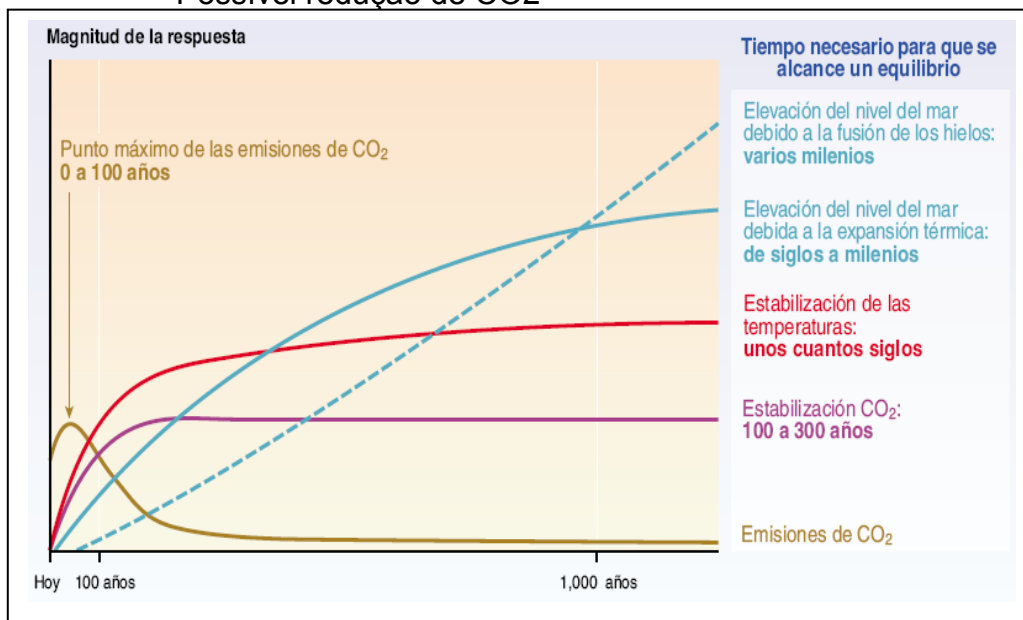
De fato, sobre os dados e suas interpretações, residem muitas controvérsias, mas um substancial número de cientistas, afirmam que muitas estações de observação, não estão detectando tal diminuição, apenas variações estacionais ou associadas a fenômenos como manchas solares ou vulcanismo de larga proporção, como o do Pinatubo em 1991 que afetou o clima global por vários anos.

### O controle do sistema climático

As respostas do sistema climático global às possíveis mudanças nas características das emissões, bem como na diminuição de gases do efeito estufa e outros reagentes com a camada de ozônio, por exemplo, levaria dezenas a centenas de anos para uma possível estabilização ou retorno de condições pretéritas. Os modelos de previsão apresentam cenários futuros onde se trabalha com meras possibilidades, uma vez que há uma intrincada relação entre inúmeros fatores, muitos dos quais pouco conhecidos. Tal afirmativa tem fundamento, por exemplo, em recentes descobertas pelo LBA na Amazônia, mostrando que muitos fundamentos que se acreditavam reais, mostraram-se muito diferentes na prática, especialmente ao papel da floresta no equilíbrio climático da região.

O exemplo tratado na figura 08 mostra a reatividade do sistema e o tempo de resposta a uma abrupta redução na emissão de CO<sub>2</sub> e as respostas das temperaturas, da expansão térmica dos oceanos e de sua elevação graças à fusão do gelo polar ou de outras áreas.

Figura 08. Possibilidades de respostas dos sistemas ambientais a uma Possível redução de CO<sub>2</sub>



Fonte: IPCC, 2005.

Nota-se claramente com este pequeno exemplo, que mesmo na mais otimista das hipóteses, mudanças no âmbito do sistema climático global, levariam décadas para o processo de adaptação. A resiliência do sistema ambiental, não responde de pronto

às torpes equações matemáticas ou balaços de economistas ou outros técnicos de formação duvidosa que acreditam manipular um tubo de ensaio com reações previsíveis. Uma vasta gama de cientistas de renomada categoria reconhece os limites de determinadas ações e possibilidades de manipulação de sistemas complexos como o ambiental.

## IMPLICAÇÕES POLÍTICAS E ECONÔMICAS.

Os elementos de ordem político e econômico serão aqui tratados mediante a apresentação de um conjunto de questionamentos sobre o tema. Iniciemos com o entendimento de como se distribui em grupos de países, a produção dos compostos banidos e de seus substitutos e sua projeção de produção até 2015(ver quadro 03).

Quadro 03. Produção de agentes espumantes por grupo de países.

	Agente espumante	1990 (toneladas)		2000 (toneladas)		2015 (toneladas)	
		Países desarrollados	Países en desarrollo	Países desarrollados	Países en desarrollo	Países desarrollados	Países en desarrollo
Total	CFC	1 532 000	201 100	1 485 000	419 800	1 031 450	196 600
	HCFC	5 200	0	841 000	40 450	900 700	515 800
	HFC	0	0	3 500	0	558 000	150
	HC	1 150	0	178 400	31 900	903 000	329 000
	Todos los agentes	1 538 350	201 100	2 507 900	492 150	3 393 150	1 041 550

Fonte: IPCC, 2005

Embora o quadro 03 mostre a produção apenas de agentes espumantes, as demais finalidades de uso dos compostos, acompanham proporção semelhante e mostram a disparidade gritante entre os dois grupos de países, obviamente por esta simples mostra, poderíamos refletir sobre o ônus diferencial a ser arcado no sentido da mitigação do problema, se é que ele existe e no processo de substituição tecnológica forçado pela proibição dos CFCs pelo protocolo de Montreal.

A substituição dos antigos agentes refrigerantes tóxicos e inflamáveis pelos CFCs data dos anos 1929, após um rápido crescimento no seu uso, por não ser inflamável, corrosivo ou tóxico, em 1991 os CFCs foram definitivamente acusados de vilões do ozônio.

Seus substitutos como HFC e PFC, chegam a ser 15 vezes mais caros e menos eficientes, como afirma *Tazieff*. As patentes dos substitutos estão ligadas a DUPONT, onde um de seus principais acionistas *Edgar Bronfman*, realizou significativas doações a ONGs nos EUA. Ainda como enlace entre corporações e ONGs, *Peter Melchett* (herdeiro da Imperial Chemical Industries) é diretor do Greenpeace na Inglaterra.

A partir dos elementos colocados, podemos refletir em várias linhas, todas altamente imbricadas:

Qual foi o custo da proibição do uso dos CFCs e como ele foi compartilhado pelas várias nações signatárias?

Quais as empresas que detêm as patentes dos substitutos aos CFCs?



Qual é a vida útil destes compostos na atmosfera?

Por que foi recentemente comemorado o fim do problema se a vida útil das moléculas de CFC são relativamente altas.

O próprio Sherwood Rowland (Nobel de Química 1995), afirma categoricamente sobre a implementação do protocolo de Montreal afirmou que se cumprido na íntegra e mantidos os níveis de outras emissões, apenas em ~2050 é que poderíamos ver uma atmosfera tal qual Lovelock encontrou em 1970. Dada à longa vida útil e instabilidade dos compostos, como seria possível comemorar o fim do “buraco da camada de ozônio” em tão pouco tempo?

O que a “indústria do câncer” e dos protetores solares tem haver com as pesquisas e seus resultados e como ela age diante de tais evidências?

Quais são de fato as vinculações entre a ciência, os cientistas e economia nesta questão?

Embora muitas questões mais possam ser elaboradas, acreditamos que estas põem uma reflexão sobre tema.

### **OBSERVAÇÕES FINAIS.**

Muitos problemas advêm de informações equivocadas e/ou tendenciosas. Existem os equívocos provocados pelos limites da ciência e da técnica em se compreender algumas questões, seja por se constituir em novos campos da ciência, ou por tratar-se de fenômenos desconhecidos, o que implica em limitação técnica de mensurá-los adequadamente. Tais limites, apenas o avanço da ciência pode permitir novas leituras ou como querem os mais precavidos: “novas aproximações”. O modelo atômico, os processos de evolução da vida e do planeta são bons exemplos, onde o avanço da ciência pôs fim a dúvidas, bem como criou novas. Por outro lado, o uso da ciência como linguagem de manipulação, traz retrocessos sem igual, pois não elucida as verdadeiras causas dos fenômenos, pois impõe a necessidade de ações sem efeitos concretos sobre eles. Isto leva prejuízos à imensa maioria e benefícios a alguns que de fato detêm o conhecimento dos fundamentos reais dos problemas.

Acreditamos que o parco, mas diverso conjunto de informações que apresentamos sobre a problemática dos CFCs, torne possível desfazer algumas idéias duvidosas sobre o tema, abrindo assim um campo de questionamento, para tantos problemas evidenciados. Outro aspecto importante desta temática, é que ela demonstra a necessidade do raciocínio interdisciplinar na sua compreensão, necessitando exercitar diálogos com várias áreas do conhecimento.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo: Difel, 1986.

FERREYRA, Eduardo. **Ecologia: Mitos y Fraudes**. FAEC, 2006. disponível em <http://www.cisle.org.mx/public/ecologia.htm>. Acesso em abril 2006.

GUIRLET, M., KECKHUT, P., GODIN, S. and MEGIE, G. **Description of the long-term ozone data series obtained from different instrumental techniques at a single location: The Observatoire de Haute-Provence**. (43.9 °N, 5.7°E), Ann. Geophys.2000. Disponível em [www.aero.jussieu.fr/themes/DCAM/](http://www.aero.jussieu.fr/themes/DCAM/). Acesso em novembro de 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Índices teóricos da radiação UV-B, para as cidades Brasileiras**. 2006. <http://www.dge.inpe.br/ozonio/radiauvb.htm>. Acesso em Agosto de 2006.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL CLIMATIC CHANGE (IPCC). Cambio Climático 2001: Informe de síntesis. 2001. Disponível em [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch). Acesso maio 2004.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL CLIMATIC CHANGE (IPCC). **La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono**. 2005, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Disponível em [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch) . Acesso em novembro de 2006. ISBN 92-9169-319-7

INTERGOVERNAMENTAL PANEL CLIMATIC CHANGE (IPCC). La protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial: Cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos y a los perfluorocarbonos. PNUMA OMM, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático y Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica. 2005. disponível em [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch). Acesso em fevereiro de 2006. ISBN: 92-9169-318-9

KHRGIAN, A. K., KUZNETSOV, G.I. e KONDRATIEV, A.V.. **Atmospheric Ozone**, Ed. by D.I. Nasilov, Izdatel'stvo Nauka, Moscou, 30-35, 1975.

LEGGT, JEREMY. **Aquecimento Global** (relatório Greenpeace). Rio de Janeiro: Ed. FGV, , 1992.

LOMBARDO, M. A. "O Processo de Urbanização e a Qualidade Ambiental: Efeitos Adversos do Clima". **Rev Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, IBGE, 52(4):161-177, 1990.

LUTGEN, Pierre. **El Agujero de Ozono se Cierra**. 2006 <http://www.mitosyfraudes.org/Ozo/OzonoLutgen.html>. acesso em abril de 2006.

McHUGH, C.A.; CARRUTHERS, D.J. & EDMUNDS, H.A. "**ADMS-Urban: an air quality management system for traffic, domestic and industrial pollution**". *Environment and Pollution*, 8: 437-440, 1997.

Molina, M. J. and Rowland, F. S. **Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom catalyzed destruction of ozone**. *Nature*. 249, 810-4, 1974.

MOREIRA, Davidson e TIRABASSI, Tiziano. **Modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera: um instrumento técnico para a gestão ambiental**. Ambiente & Sociedade – Vol. VII nº. 2 jul./dez. 2004

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Largest-ever ozone hole observed over Antarctica**. NASA Goddard Space Flight Center. 2001 Disponível em <http://www.gsfc.nasa.gov/gsfc/earth/environ/ozone/ozone.htm> [Geo-2-017]. Acesso em agosto 2004.

Rowland, Sherwood. **Un Nobel explica el mayor problema ambiental**. 2006. Disponível em [www.ambiental.net/noticias/cambioclimatico/CambioClimaticoRowlandEntrevista.htm](http://www.ambiental.net/noticias/cambioclimatico/CambioClimaticoRowlandEntrevista.htm). Acesso em agosto 2006.

SALGADO-LABORIAU, M. L. **História ecológica da Terra**. São Paulo, Edgard blücher Ltda, 1994.

STRAHLER, A. N. **Geografia Física** . Barcelona, Omega 1986.

UNEP. **Report of the Twelfth Meeting of the Parties to the Montreal Protocol**. UNEP Ozone Secretariat. 2000b. Disponível em <http://www.unep.org/ozone/12mop-9.shtml> [Geo-2-019] . Acesso setembro 2005.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Action on Ozone**. Nairobi, 2000. Disponível em [www.unep.org](http://www.unep.org). Acesso em agosto 2003.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Antarctic Ozone Bulletin**. Geneva, World Meteorological Organization, 2000. disponível em [www.who.org](http://www.who.org) Acesso em novembro de 2000.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). *Report of the International Conference on the Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of Other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts. Villach, 9-15 October 1985* Geneva, 1986. Disponível em [www.who.org](http://www.who.org) . Acesso em Novembro 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for Air Quality**. Geneva, 1999. Disponível em [www.who.org/air\\_quality](http://www.who.org/air_quality). Acesso em julho de 2003.

Obs.: Agradecemos quaisquer críticas e contribuições ao trabalho ora apresentado.