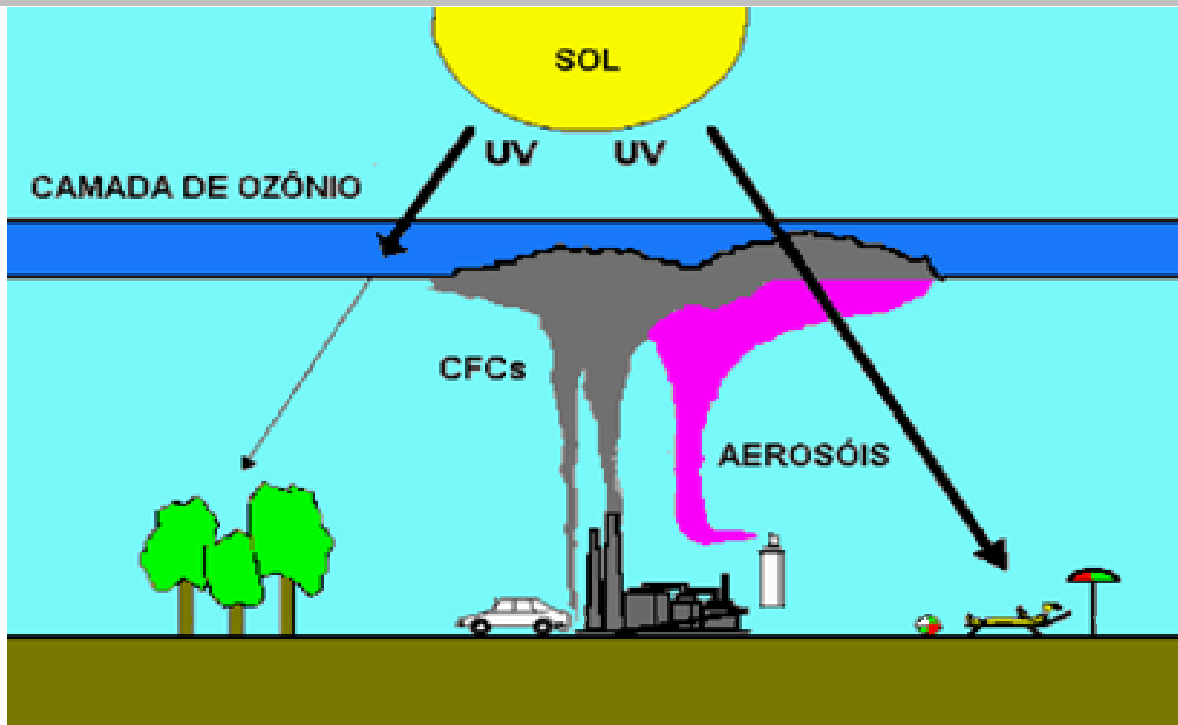


## CAMADA DE OZÔNIO



O ozônio ( $O_3$ ) é produzido pela ação da luz ultravioleta proveniente do Sol sobre o oxigênio ( $O_2$ ) do ar. A camada de ozônio é uma porção da estratosfera situada a cerca de 22 km do nível do solo.

**Esta camada protege a Terra dos efeitos nocivos da radiação solar ultravioleta, que provoca câncer de pele, cataratas, prejudica as plantas e mata o plâncton dos oceanos.**

O ozônio está constantemente sendo produzido e destruído dentro desta camada: O ozônio é formado quando a radiação ultravioleta do Sol interage com as moléculas de oxigênio ( $O_2$ ). A luz ultravioleta divide o oxigênio em dois átomos separados ( $O$ ). Estes átomos livres recombinaem com as moléculas de oxigênio para formar o ozônio ( $O + O_2 = O_3$ ).

A molécula resultante absorve novamente a radiação ultravioleta e reinicia o processo. Dessa forma a radiação ultravioleta não chega na superfície da Terra.

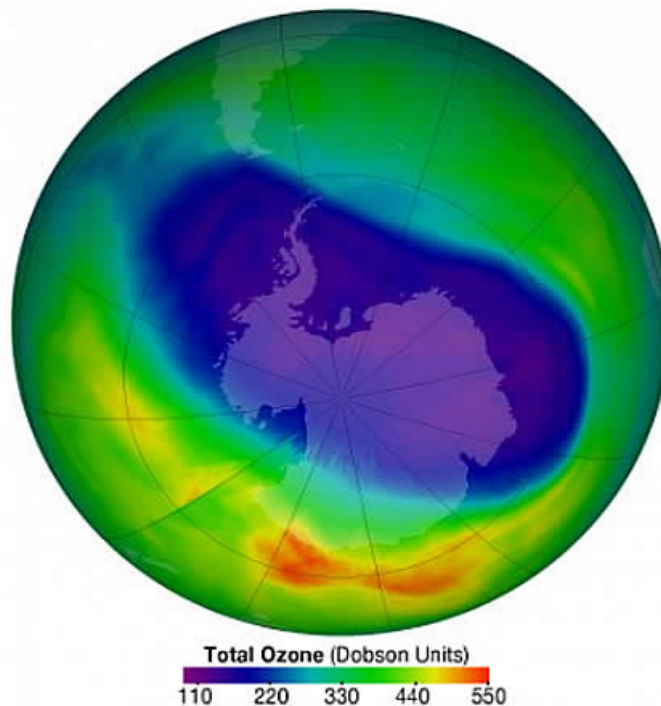


A boa notícia é que **o buraco da camada de ozônio sobre a Antártida está lentamente se curando**, graças aos controles das substâncias que empobrecem a camada de ozônio que foram uma vez amplamente utilizadas em produtos como refrigeradores e aerossóis.

## Buraco da camada de Ozônio

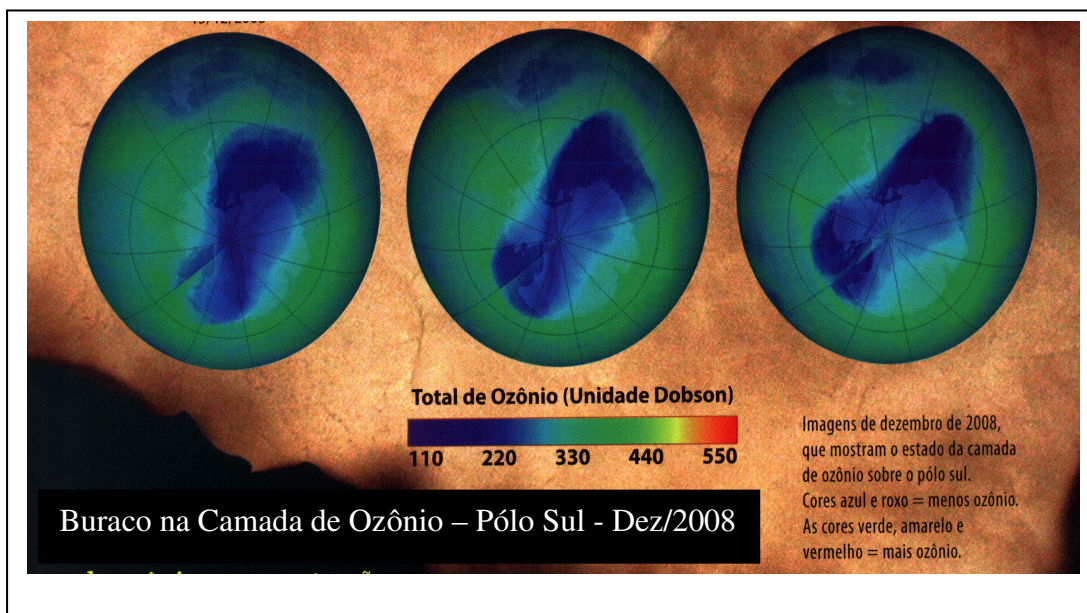
21 de setembro de 2007

Fonte: NASA



O regresso de um fino cobertor suspenso sobre o ozônio estratosférico irá elevar a temperatura ao longo do sul da região polar, de acordo com um novo estudo realizado por cientistas da Universidade do Colorado em Boulder, do National Oceanic and Atmospheric Administration, e da NASA Goddard Space Flight Center.

Os cientistas que dependiam dos computadores da NASA para as suas previsões, também informaram que a **cura do buraco irá enfraquecer os ventos que atualmente protegem o interior da Antártida de massas de ar quente do norte.**



Buraco na Camada de Ozônio – Pólo Sul - Dez/2008

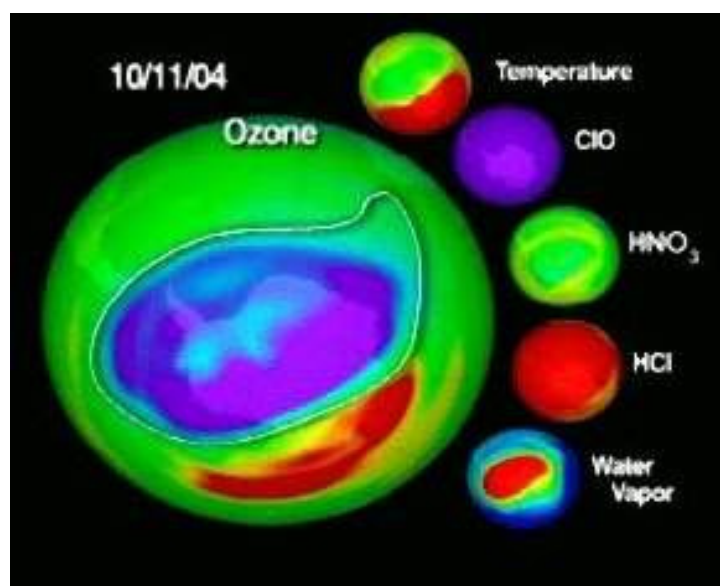
Imagens de dezembro de 2008, que mostram o estado da camada de ozônio sobre o pólo sul. Cores azul e roxo = menos ozônio. As cores verde, amarelo e vermelho = mais ozônio.

A Antártida pode não ser o único continente afetado: Os pesquisadores também descobriram que as alterações na circulação do ar causada pelo ozônio pode significar condições húmidas durante o **final da primavera e início do verão no sul da América do Sul, e mais quente e seco na Austrália**, condições meteorológicas que já estão sofrendo a partir de uma longa seca.

“Nós podemos finalmente ver o interior da Antártica começar a esquentar com o resto do mundo”, diz Judith Perlwitz, o principal autor do estudo, que será publicado na revista *Pesquisa Geofísica*.  
*Fonte: Dawn Stover por Popular Science*

## CAMADA DE OZÔNIO MONITORADA EM TEMPO REAL

Cientistas da NASA anunciaram que o satélite de monitoramento ambiental Aura começou a fornecer medições diárias dos níveis da camada de ozônio e de vários outros poluentes que afetam a qualidade do ar.



Pela primeira vez será possível aos cientistas monitorar a geração e o transporte de poluição em nível global. As medições do satélite Aura poderão dar novas pistas sobre como as mudanças climáticas influenciam a recuperação da camada de ozônio, que protege a Terra dos raios ultravioletas do Sol.

O Aura é o terceiro de um conjunto de satélites da NASA que compõem o projeto **Sistema de Observação da Terra**. Os outros dois são o Terra, que monitora o solo, e o Aqua, que monitora o ciclo da água no planeta.

Os instrumentos do Aura estudam a química da troposfera e irão permitir o monitoramento de vários poluentes em tempo real e continuamente. A complexidade do transporte da poluição torna difícil quantificar quanto as indústrias e os automóveis contribuem para piorar a qualidade do ar.

Além disso, a presença da camada de ozônio na estratosfera, logo abaixo do satélite, torna difícil a observação do ozônio troposférico.

Um novo equipamento a bordo do Aura, chamado **Espectrômetro de Emissão Troposférica**, utiliza uma tecnologia inovadora para ver através da camada de ozônio estratosférica e medir o **ozônio troposférico**.

## CAMADA DE OZÔNIO – COMPROMISSOS INTERNACIONAIS

Chamamos de **camada de ozônio** a concentração do gás ozônio -  $O_3$  na estratosfera, localizada a cerca de 25 km da superfície da Terra.

Esta camada cumpre um papel fundamental na preservação da vida.

Funciona como filtro para as radiações solares, impedindo que cheguem à superfície grandes quantidades de raios ultravioleta, causadores de sérios prejuízos à saúde humana como: câncer de pele, catarata e problemas imunológicos.

Em 1.977, cientistas britânicos detectaram pela primeira vez, sobre a Antártida, a existência de um buraco na camada de ozônio.

Desde então, têm se acumulados registros de que a camada está se tornando mais fina em várias partes do mundo, especialmente nas regiões próximas do Pólo Sul e, recentemente, do Pólo Norte.

Nos últimos séculos, devido ao desenvolvimento industrial, passamos a utilizar produtos que emitem algumas substâncias químicas contendo Cloro (Cl) e Bromo (Br) à atmosfera, como os clorofluorcarbonos (CFCs), hidroclorofluorcarbonos (HCFCs), halons, tetracloreto de carbono, metil clorofórmio, e brometo de metila.

Depois de liberadas estas substâncias (usados como propelentes em aerossóis, isolantes em equipamentos de refrigeração e para produzir materiais plásticos) levam cerca de **oito anos para chegar à estratosfera** onde, atingidos pela radiação ultravioleta, se **desintegram e liberam cloro**.

O cloro liberado reage com o ozônio e é transformado em **oxigênio ( $O_2$ )**.

O grande problema é que o **oxigênio não é capaz filtrar os raios ultravioleta**.

Uma única molécula de CFC pode destruir **100 mil moléculas de ozônio**.

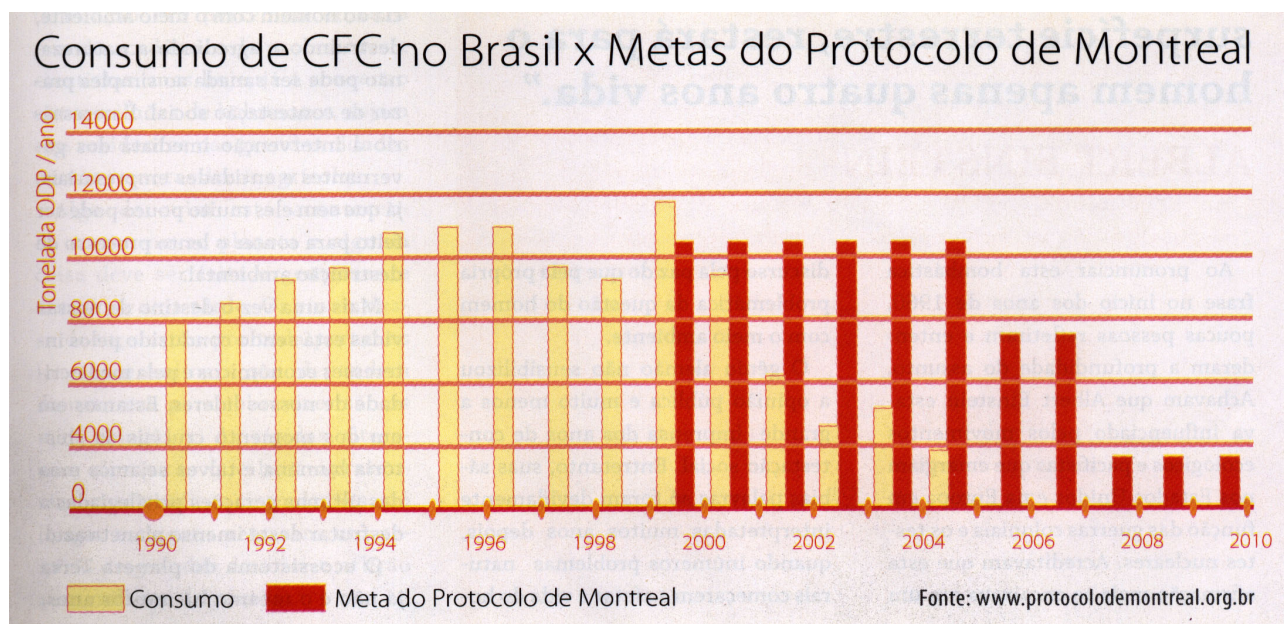


Em março de 1985, 21 países assinaram a Convenção de Viena, onde se comprometeram a proteger a saúde humana e o meio ambiente dos efeitos do esgotamento da Camada de Ozônio.

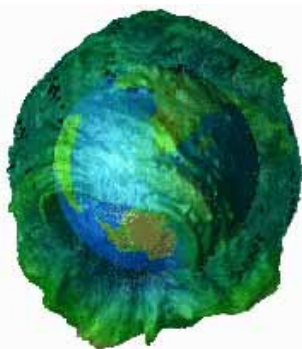
As medidas necessárias para concretização desses princípios se estabeleceram através do **Protocolo de Montreal**, assinado em setembro de 1987, que definiu uma lista de substâncias com potencial de destruição da Camada de Ozônio, bem como prazos para redução de produção e consumo.

Em 1996, já eram cerca de 160 países os que aderiram ao Protocolo. **O Brasil aderiu ao Protocolo em junho de 1990**. Estabelece estratégias para eliminação de produção e consumo das substâncias que destroem a Camada de Ozônio nos vários setores industriais (espumas, refrigeração e ar condicionado, extinção de incêndios, solventes, esterilizantes e aerossóis).

O Comitê Executivo do Fundo Multilateral para a Implementação do Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio aprovou o PBCO em sua XIII Reunião, realizada em **Montreal, em julho de 1994**.

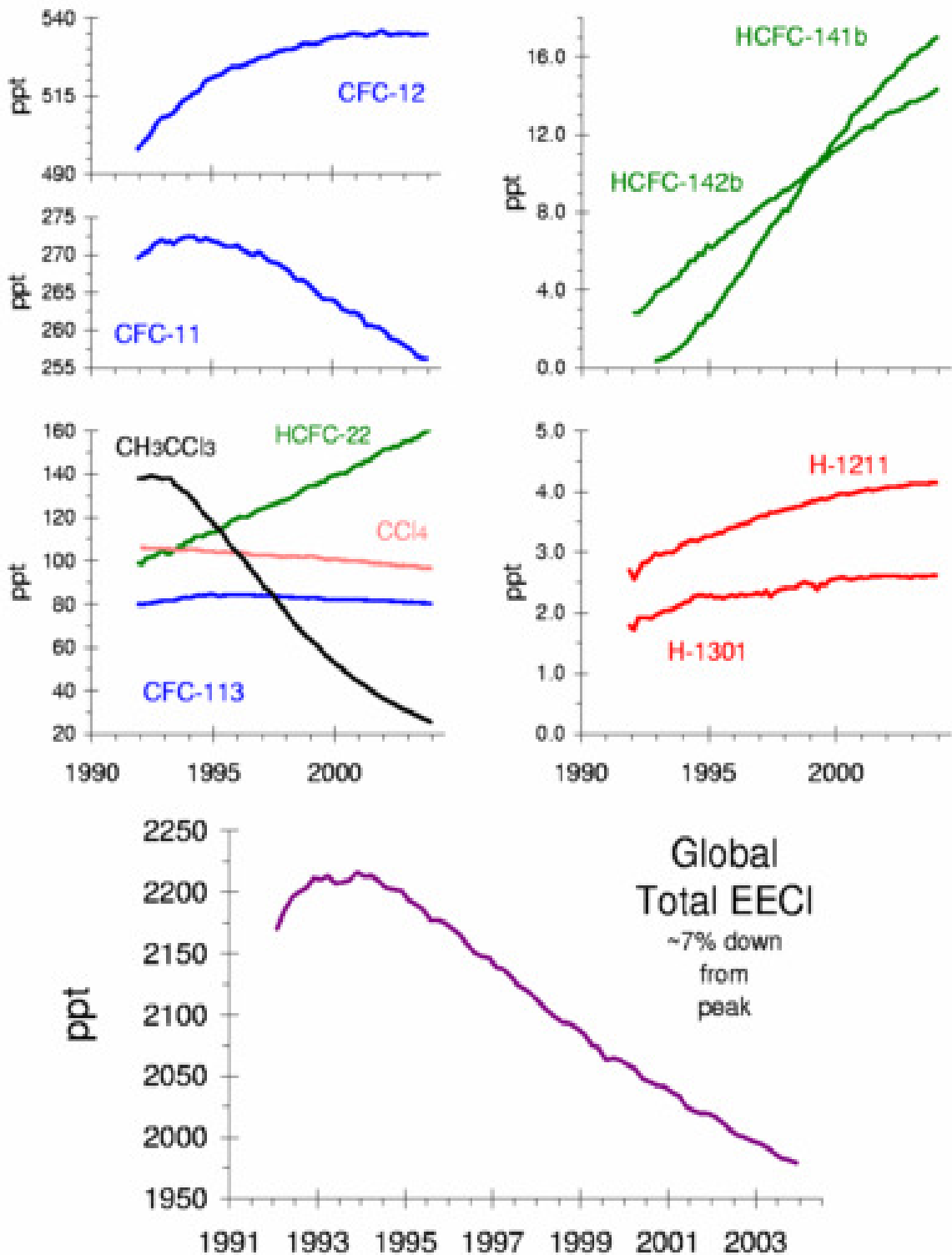


Contudo, nem só os governos devem fazer a lição de casa, pois caso a população mundial não tome conhecimento dos problemas que podem ser causados pelo “**buraco da camada de ozônio**” e não se conscientizem, continuando a **consumir produtos que interferem na camada de ozônio**, continuaremos a andar sobre uma corda bamba, arriscando assim a nossa sobrevivência e a de todo o planeta. **Afinal, os protocolos são importantes, sim, mas não passam de teoria.**

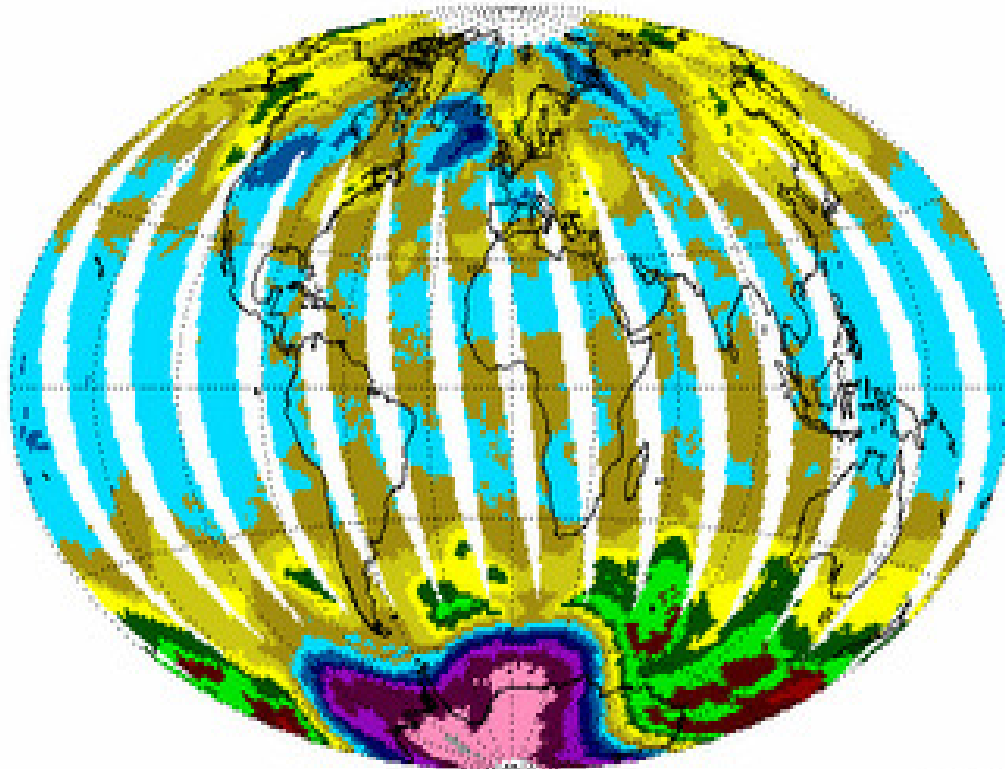


**O difícil é colocá-los em prática.**

# Global Mixing Ratios of Anthropogenic Halocarbons



EP/TOMS Total Ozone Oct 1, 1997



Dobson Units

Dark Gray < 100, Red > 500 DU

GSFC/916



GEN-276/1997

## UNIDADES DOBSON

O conteúdo total de ozônio integrado numa coluna atmosférica é comumente expresso em Unidades Dobson (DU).

Um DU é a espessura, medida em unidades de centésimos de milímetro, que a coluna de ozônio poderia ocupar, a temperatura e pressão padrão (273K e 1 atm).

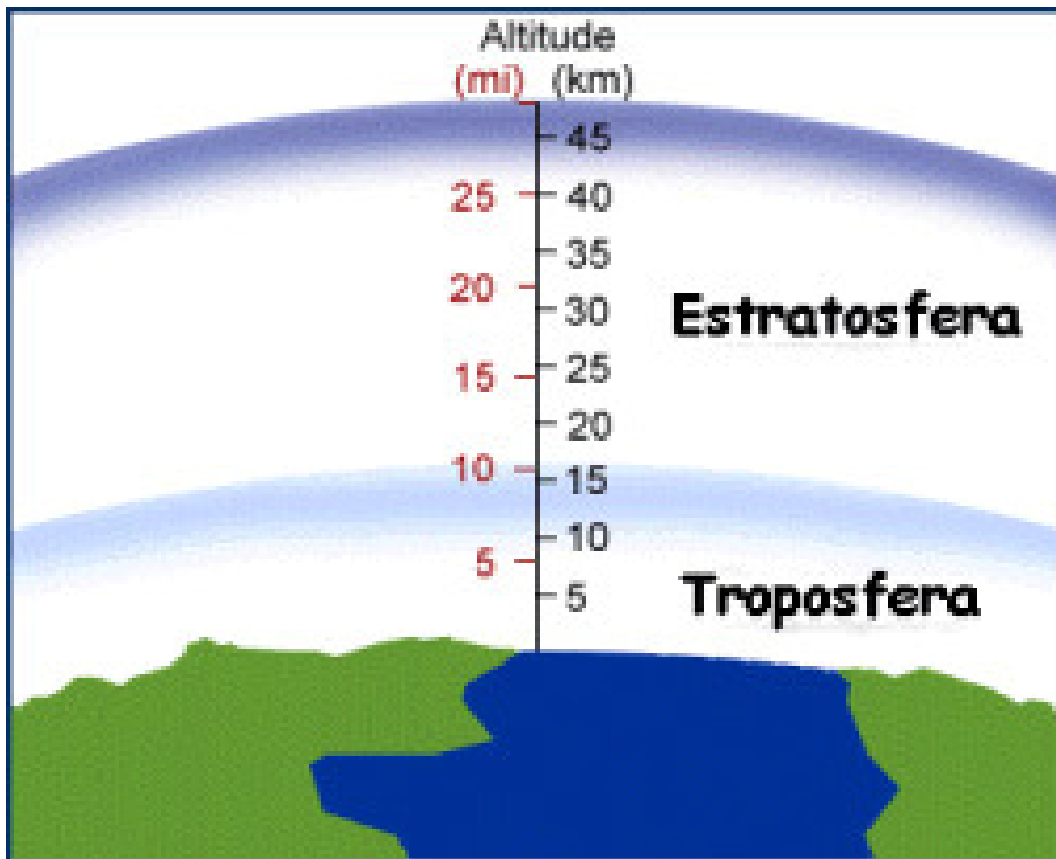
Sobre a Terra, a coluna média de ozônio varia entre 290 e 310 DU.

**Para se ter uma idéia da quantidade irrisória de ozônio na atmosfera terrestre, se todo o ozônio presente fosse compactado próximo à superfície terrestre, à pressão e temperatura padrões, seria possível obter somente uma camada de cerca de 3 mm de espessura.**

Mesmo assim, essa pequena quantidade é suficiente para absorver a radiação ultravioleta e possibilitar a existência da vida no Planeta.

A **atmosfera terrestre** é uma camada de ar de aproximadamente 700 km que rodeia o nosso globo. O ar é uma solução gasosa que contém partículas líquidas e sólidas em suspensão.

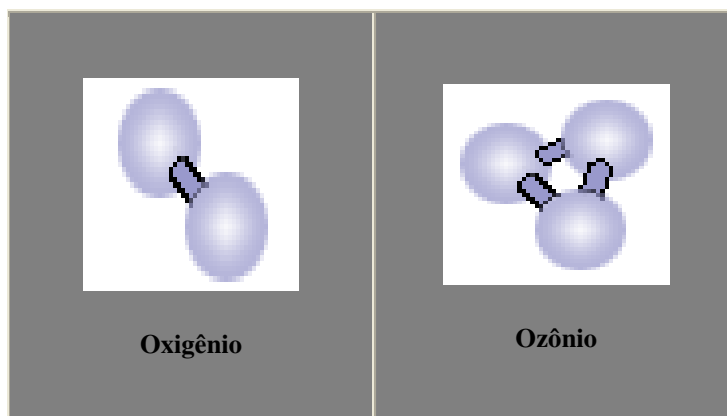
A **troposfera** é a camada da atmosfera terrestre onde vivemos, contém o ar que respiramos e onde se formam a **chuva e a neve**. Ela tem aproximadamente **16-20 km** de altitude.



A camada de ozônio tem cerca de 15 km de altura e está sempre em formação, num processo reversível

A troposfera contém gases, como oxigênio, nitrogênio, gás carbônico, que são necessários à vida no planeta.

O gás ozônio ( $O_3$ ) é uma forma de oxigênio cuja molécula tem três átomos, em vez de dois (do gás oxigênio), como costuma ser encontrada na natureza.



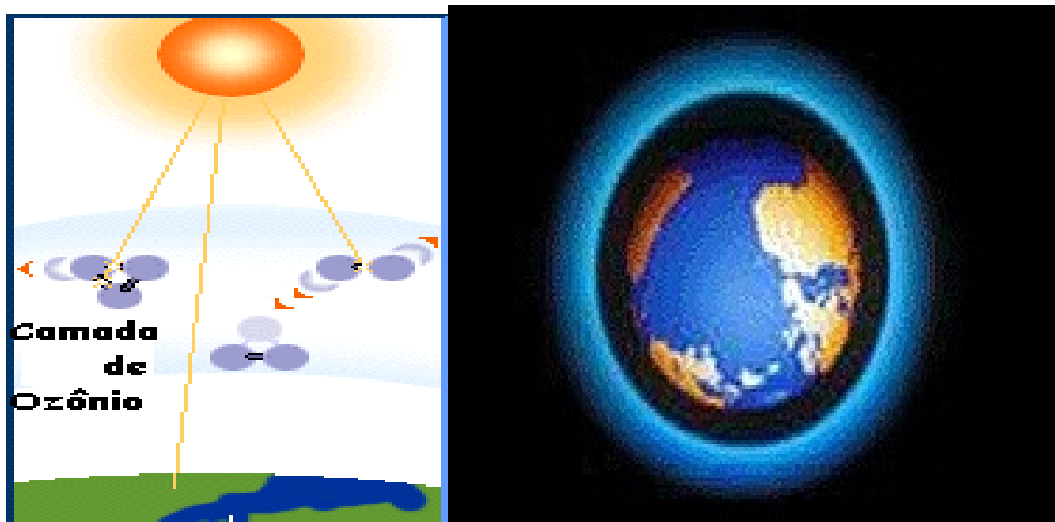
O ozônio existe tanto na troposfera quanto na estratosfera. É um gás azul-claro com um cheiro penetrante (o odor no ar após um raio, numa tempestade, é do ozônio). É um gás instável, muito reativo.

A estratosfera contém cerca de 90% do ozônio da Terra. Esta constitui a "**camada de ozônio**".

A camada de ozônio tem cerca de 15 km de altura e está sempre em formação, num processo reversível:

O gás **oxigênio ( $O_2$ )**, exposto à **radiação solar e a cargas elétricas na estratosfera**, forma o **ozônio ( $O_3$ )**, enquanto estas se desmancham para voltar a se reagrupar como **oxigênio**.

Isso explica o fato de a camada preservar a mesma espessura, desde que se formou, há cerca de 400 milhões de anos.



A camada de ozônio age como um imenso escudo protetor, absorvendo o excesso da radiação ultravioleta que vem do Sol.

Ao atravessar a camada de ozônio, a radiação ultravioleta do Sol é filtrada e incide sobre a crosta terrestre na intensidade necessária e suficiente para aquecê-la e iluminá-la.

Só assim foi possível a vida na Terra. Mas, esta proteção encontra-se cada vez mais ameaçada, devido ao crescimento acelerado do buraco que foi criado pela emissão de gases de clorofluorcarbono.

## O QUE É OZÔNIO?

O ozônio ( $O_3$ ) é um gás instável, diamagnético, com PE  $-112^{\circ}C$ . É uma forma alotrópica do oxigênio, constituído por 3 átomos unidos por ligações simples e duplas, sendo um híbrido de ressonância com comprimento médio de ligação de  $1,28 \text{ \AA}$ , formando um ângulo de  $116^{\circ}49'$ .

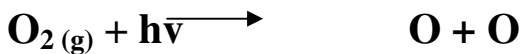
O ângulo de ligação determinado experimentalmente está de acordo com previsto pelo modelo RPECV ( $120^{\circ}$ ).

É um agente oxidante extremamente poderoso mais fraco apenas que o  $F_2$ , reagindo muito mais rapidamente que o  $O_2$ . Sua alta reatividade o transforma em elemento tóxico capaz de atacar proteínas (destruindo microorganismos) e prejudicar o crescimento dos vegetais.

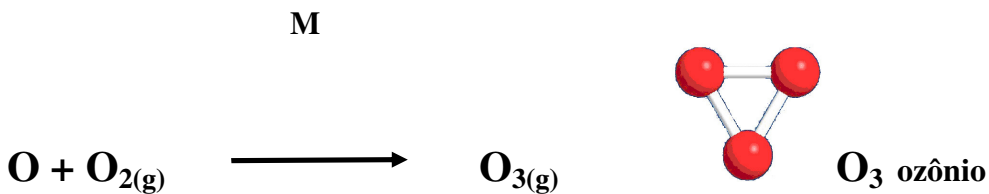
É um gás à temperatura ambiente, de coloração azul-pálida, devido à intensa absorção de luz vermelha, atingindo coloração azul-escura quando transita para o estado líquido, situação em que adquire propriedades explosivas.

## COMO O OZÔNIO É PRODUZIDO?

É produzido naturalmente na **estratosfera** pela ação fotoquímica dos raios ultravioleta sobre as moléculas de oxigênio. Esses raios são suficientemente intensos para separar os dois átomos que compõe a molécula de  $O_2$ , produzindo assim o oxigênio atômico.

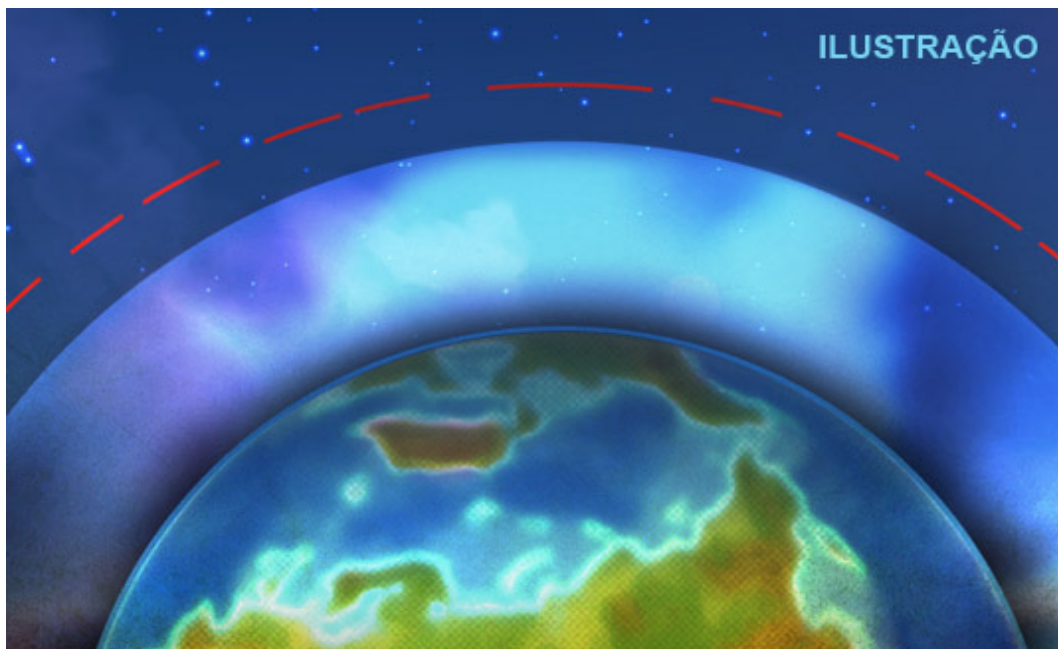


Onde  $h\nu$  representa a energia correspondente à luz ultravioleta necessária para a ocorrência da dissociação. A produção de ozônio é realizada numa etapa imediatamente posterior, resultando da associação de um átomo de oxigênio e uma molécula de  $O_2$  na presença de um catalisador (elemento necessário para manter o balanço de energia mas que não é consumido na reação).



Devido à alta reatividade, a concentração de ozônio é resultado de um equilíbrio entre a sua produção e destruição, gerando camadas de alta e baixa concentração que atingem níveis máximos numa faixa de **30 Km** de altura, chamada Camada de Ozônio.

Está situada na estratosfera, entre **15 e 50 Km**, formando um escudo protetor natural da Terra, contra as radiações UV provenientes do Sol.



Quando os raios UV incidem sobre uma molécula de ozônio, esta energia extra rompe as ligações entre os átomos, liberando uma molécula de  $O_2$  e um átomo de  $O$  livre.



Nesta reação demonstramos que o Ozônio é consumido naturalmente como também é produzido na presença de um catalisador, havendo um equilíbrio.

## COMO É DESTRUÍDA A CAMADA DE OZÔNIO

O ozônio doa, com facilidade, moléculas de oxigênio para espécies de radicais livres como o nitrogênio, hidrogênio, bromo e cloro. Esses compostos ocorrem naturalmente na estratosfera a partir de fontes como o solo, vapores d'água e oceanos.



Onde X pode ser O, NO, OH, Br ou Cl.

Está comprovado que emissões de enxofre, cloro, cinzas e calor decorrentes de fenômenos naturais (como erupções vulcânicas) contribuem para redução da camada de ozônio. Isso, porém, não livra o homem de sua parcela de responsabilidade do problema. Compostos manufaturados são também, capazes de alterar o nível de ozônio na atmosfera.

Substâncias com **CFCs** e **BrFCs** podem atravessar intactas as camadas mais baixas da atmosfera e se acumularem nas camadas superiores onde a radiação UV é suficientemente forte para decompor as moléculas liberando **bromo e cloro em quantidade suficiente para atacar a camada de ozônio**.

Os **CFCs** são usados extensivamente em **aerosóis, ar-condicionado, refrigeradores e solventes de limpeza**.

Os dois principais tipos de CFCs são o triclorofluorcarbono ( $\text{CFCl}_3$ ) ou CFC-11 e diclorodifluormetano ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ) ou CFC-12. O triclorofluorcarbono é usado em aerosóis, enquanto que o diclorodifluormetano é tipicamente usado em refrigeradores.

Perto da superfície da terra clorofluorcarbonos são relativamente inofensivos porque não reagem espontaneamente. São insolúveis em água, não podendo ser "lavados" pela chuva. Está comprovado que sua estabilidade é o que o torna mais perigoso, porque ele atravessa a atmosfera intacto, acumulando-se na estratosfera, onde pode ser decomposto pelos raios UV.

Na estratosfera, a radiação UV de alta energia ocasiona a fotodecomposição das moléculas de CFCs liberando átomos de cloro que é um poderoso catalisador da destruição do ozônio. Inicialmente os átomos de cloro livres, reagem com compostos instáveis contendo oxigênio, como exemplo o ozônio, formando monóxido de cloro (ClO).



O monóxido de cloro reage com átomos de oxigênio, produzindo moléculas de  $\text{O}_2$  e novamente, átomos de cloro. O átomo de cloro regenerado inicia um novo ciclo de destruição, portanto, um único átomo de cloro pode ser capaz de destruir até cem mil moléculas de ozônio.



## O QUE É A RADIAÇÃO UV?

A radiação ultravioleta é uma parte sui-generis do espectro solar, e pode ser separada em tres partes: a radiação **UV-A**, que se estende desde 320 a 400 nanometros (nm); a radiação **UV-B**, que vai de 280-320 nm; e a radiação **UV-C**, que vai de 280 a comprimentos de onda ainda menores.

O **UV-C** é totalmente absorvido na atmosfera terrestre, e por isto não é grande 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 a grande preocupação dos médicos dermatologistas.

Como a camada de ozônio está ainda diminuindo, e vai continuar assim por mais algumas décadas, acredita-se que o UV-B vai aumentar sua intensidade no futuro.

É por isto que as medidas de **UV-B**, em diversas situações e em vários sitios, é considerada tão importante. Já existe tecnologia adequada para se medir o **UV-B**.

O INPE mantém uma importante rede de monitores de **UV-B** no território nacional, e tem oferecido estas informações à comunidade médica.

Um dos objetivos do trabalho é divulgar o índice de **UV-B**, que é um número sem dimensões que visa definir quantitativamente se o sol está forte ou fraco.

É um número de 0 a 16. No inverno, em S.Paulo, por exemplo, o índice é da ordem de 5, e no verão da ordem de 12.

## DESTRUIÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO

O ciclo de destruição do ozônio estratosférico por radiação UVB desempenha um papel importante em favor da vida, pois diminui a quantidade de radiação UV que chega até superfície do planeta.

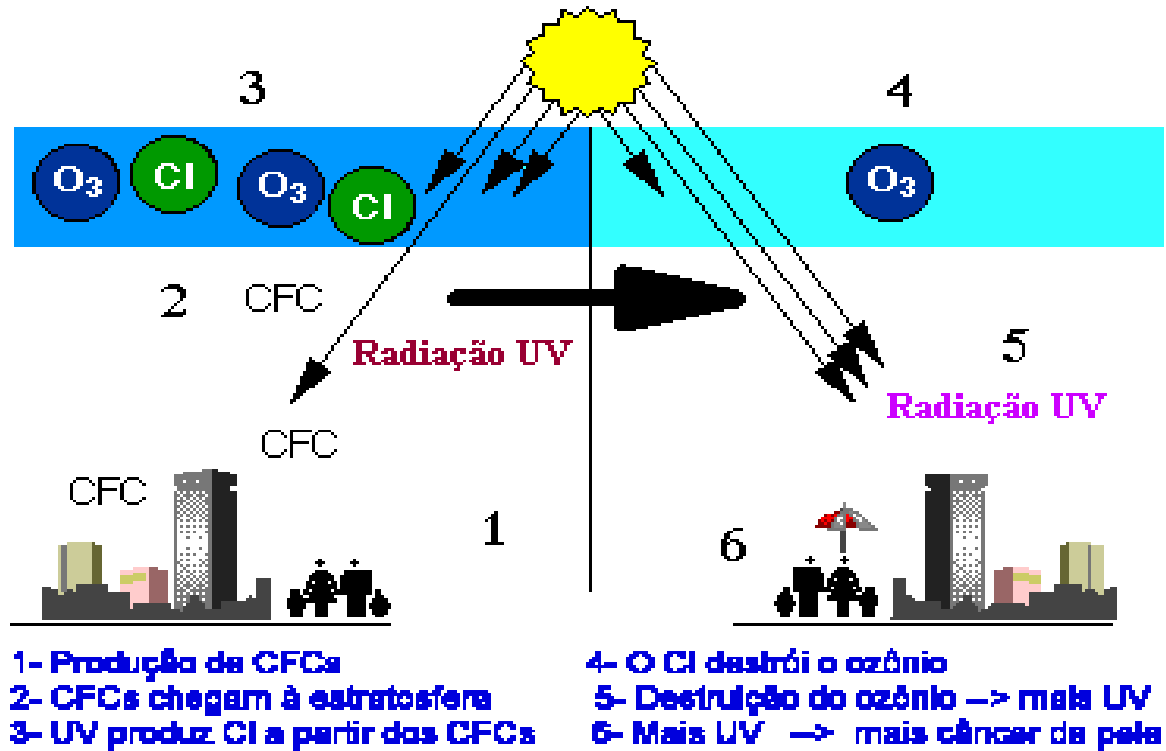
A radiação UV, que bronzeia, seca e envelhece a pele, é prejudicial aos animais e plantas, principalmente porque pode danificar o DNA (ácido desoxirribonucléico).

Essa molécula contém informações genéticas necessárias para reprodução e manutenção saudável dos seres vivos.

Danos causados ao DNA por exposição excessiva à radiação UV, aumentam a probabilidade de ocorrer uma mutação indesejável durante a reprodução celular, levando eventualmente a um **crescimento tumoral** como, por exemplo, o **câncer de pele**.

A destruição da Camada de Ozônio multiplicaria estes efeitos.

# Processo de Destruição do Ozônio



## EFEITO ANTROPOGÊNICO

É a alteração da concentração de ozônio na atmosfera por compostos manufaturados, resultante de atividades humanas e que, através de reações químicas provocam a sua destruição.

O cloro proveniente dos CFCs e o bromo proveniente dos halônios são dois dos mais importantes elementos químicos associados com a destruição do ozônio.

Os CFCs são substâncias derivadas dos hidrocarbonetos, em que os átomos de hidrogênio estão substituídos por átomos de cloro e flúor.

Como os elementos cloro e flúor, juntamente com o bromo e o iodo encontram-se no grupo dos elementos conhecidos como halogênios, são também, denominados halocarbonetos.

Comercialmente são conhecidos como *Freons*. Outro grupo de substâncias também derivadas dos hidrocarbonetos, conhecidas por halônios, contém bromo bem como cloro e/ou flúor.

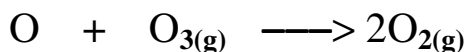
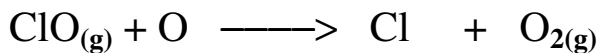
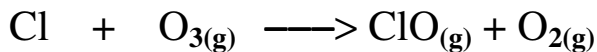
Tanto os CFCs como os halônios podem causar a destruição do ozônio.

Os halônios, apesar de liberados na atmosfera em quantidades menores que os CFCs, respondem por uma fração significativa da destruição do ozônio. Infelizmente seu potencial de destruição de ozônio é maior que o dos CFCs.

As moléculas de CFC, ou Freons, passam intactas pela troposfera. Quando passam por esta parte, desembocam na estratosfera, onde os raios UV do sol estão em maior quantidade.

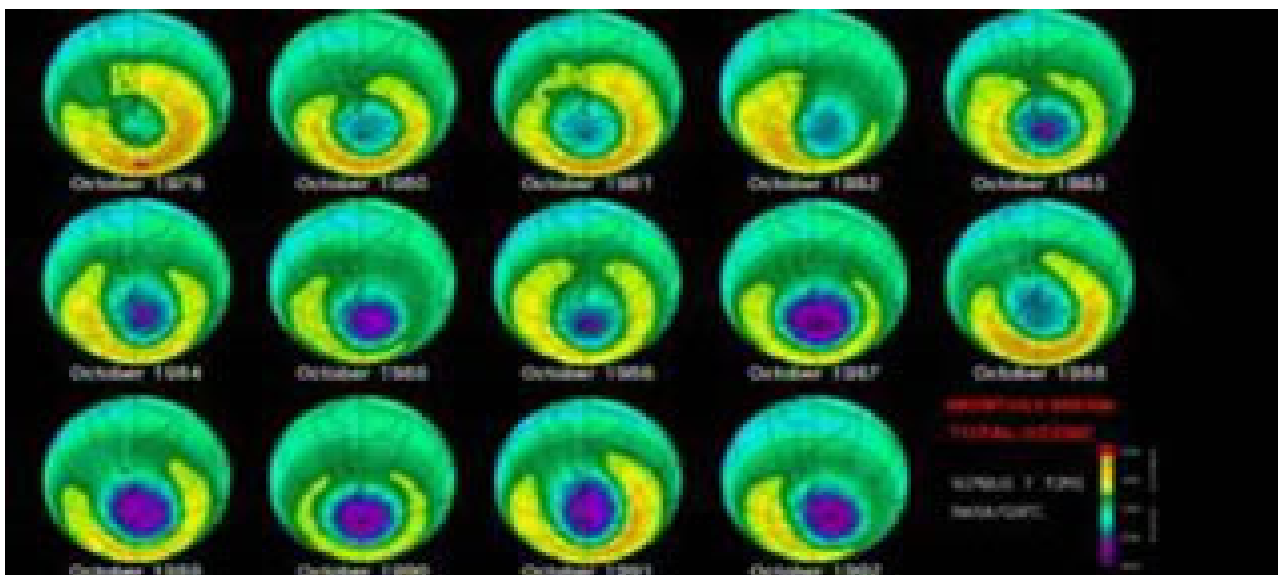
Esses raios quebram as partículas de CFCs liberando o átomo de Cl que por sua vez rompe a molécula de ozônio, formando monóxido de cloro e oxigênio.

Mas, a reação não pára por aí, havendo então uma destruição em cadeia, ou seja, a molécula de monóxido de cloro reage com um átomo de oxigênio livre regenerando o Cl e produzindo O<sub>2</sub>.



O escudo que protege as pessoas das radiações solares é atacado a todo momento por gases de metano, enxofre e monóxido de carbono, mas os estragos maiores são provocados pelos halogênios (flúor, cloro, bromo). Para se ter uma idéia do estrago possível, apenas **um átomo de cloro** pode teoricamente decompor mais de **cem mil moléculas de ozônio**, ao longo dos anos.

### Buracos na Camada de Ozônio



## EFEITOS DO VÓRTICE POLAR

Em todo o mundo, as massas de ar circulam, sendo que um poluente lançado no Brasil, pode ir parar na Europa devido às correntes de convecção. Na Antártida, por sua vez, devido ao rigoroso inverno de seis meses, essa circulação de ar não ocorre, e então se formam círculos de convecção exclusivos daquela área, chamados de vórtex ou vórtice polar.

O vórtice isola a atmosfera Antártica e impede a entrada de ozônio, essencialmente produzida sobre os trópicos e transportado até lá pelos ventos. Assim, os poluentes atraídos durante o verão, ficam retidos na Antártida até que sobem para a estratosfera.

Em setembro, com o início da primavera, os compostos acumulados começam a dissociar-se, iniciando então uma destruição em larga escala do ozônio local, situação que se perpetua até novembro, quando a circulação se modifica, com a entrada de ar oriundo de outras regiões e a constante recomposição da camada local de ozônio.

## ROMBO SOBRE A ANTÁRTIDA

Este ano o buraco de ozônio bateu todos os recordes



### Como o ozônio é destruído

#### CFCs

Átomos de cloro são liberados quando o CFC é quebrado pela radiação ultravioleta na camada de ozônio

#### Ozônio

Moléculas feitas de três átomos de oxigênio — protegem a Terra bloqueando a radiação ultravioleta

#### Cloro

Ataca o ozônio, roubando um átomo de oxigênio, para formar monóxido de cloro

#### Monóxido de cloro

Moléculas se dividem, liberando átomos de cloro que destroem mais ozônio

