

# A CAMADA DE OZÔNIO E SUA ANOMALIA SOBRE A ANTÁRTICA

Luiz Carlos Baldicero Molion (\*)

Departamento de Meteorologia/CCEN/UFAL

C.Universitária, BR 101 Km 14, 57.072-970 Maceió, Alagoas

RESUMO. O modismo ambiental afirma dogmaticamente que os compostos de clorofluorcarbono (CFCs), usados nos equipamentos de refrigeração e liberados pelo homem na baixa troposfera, são os causadores da redução da Camada de Ozônio, na estratosfera terrestre, e da formação do "Buraco de Ozônio" na região antártica. Neste artigo, revêem-se criticamente essas afirmações e mostra-se que, tomando-se séries históricas existentes, mais longas que a usada pelo Painel da Tendência do Ozônio, na realidade a concentração do gás aumentou em cerca de 7% nos últimos 30 anos. Argumenta-se, ainda, que o "Buraco" não foi "descoberto" por Farman em 1985 e sim que já tinha sido observado durante o Ano Geofísico Internacional, em 1957-58, e documentado por Sir Gordon Dobson. Essas anomalias na camada de ozônio são um fenômeno natural, causadas, entre outras, por erupções vulcânicas conforme dados obtidos pelo satélite ERBE durante a erupção do Vulcão Monte Pinatubo.

## INTRODUÇÃO

Em 1960, o cientista britânico Sir Gordon Dobson, inventor do instrumento que mede a quantidade total de ozônio na atmosfera a partir da superfície terrestre, o espectrofotômetro que leva seu nome, escreveu em seu livro que **o "buraco" na camada de ozônio sobre a Antártica era natural**. Dobson, na realidade, não usou a expressão "buraco" e sim "anomalia". Quem a usou pela primeira vez foi R. Penndorf, dos Laboratórios de Pesquisas da Força Aérea em Cambridge, EEUU, em 1950, quando analisou o período 1926-1942 de dados da estação de Tromsø, ao norte da Noruega. Ele notou registros de concentrações de ozônio de valores tão baixos quanto 50 Unidades Dobson (UD) e uma grande variabilidade diurna, com um fator quase dez (1000%) entre o máximo e o mínimo registrados naquele período. A expressão, porém, só ficou famosa após 1985, quando o cientista britânico J.B. Farman, e seus colegas do British Antarctic Survey, publicaram um trabalho sobre as anomalias do ozônio na primavera austral. Nos últimos anos, por volta do mês de outubro, pesquisadores do Centro de Vôos Espaciais Goddard (GSFC), NASA, realizaram vários vôos na estratosfera da Antártica e constataram a presença do elemento químico **cloro** que, através de reações químicas, algumas feitas em laboratórios e outras teóricas, supõe-se que destrua ou impeça a formação de moléculas de ozônio. A pergunta que se coloca é: **Se o buraco é causado pelo cloro contido nos CFCs, como é que ele volta a se fechar se o Homem ainda não reduziu a emissão de CFCs para a atmosfera e o efeito desses gases é dito permanecer por mais de um século? Seriam naturais as prováveis causas do buraco?**

**O buraco é causado pelas condições climáticas especiais da Antártica, fato esse já conhecido por Dobson em 1958, e pela presença, na estratosfera antártica, de aerossóis vulcânicos, contendo cloro, fluor e bromo.** Durante o inverno, com a noite polar, a produção fotoquímica de ozônio é interrompida, pois

---

(\*) Afiliação permanente: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, S.José dos Campos, SP.

esta precisa da radiação ultravioleta (UV) do Sol para se realizar. Intensifica-se, também, *vórtice circumpolar*, que são ventos superiores a 150 quilômetros horários que circundam o continente antártico, da superfície até a estratosfera, e isolam sua atmosfera do resto do Planeta, reduzindo as trocas gasosas, em particular a entrada de ozônio, uma vez que a maior parte do ozônio existente na estratosfera polar é produzida na região tropical e transportada para lá pelos ventos. Simultaneamente, o resfriamento, causado pelas perdas de radiação térmica para o espaço exterior, gera temperaturas estratosféricas inferiores a 80°C abaixo de zero e a presença de núvens polares, compostas de cristais de gelo, criam as condições para que o elemento químico **cloro** comece a destruir o ozônio cataliticamente. Todos esses fatores levam à diminuição de sua concentração e ao aparecimento do **buraco** ou anomalia. A situação só se reverte, ou seja, o **buraco** se fecha, em meados de outubro, com a ruptura do vórtice circumpolar, que permite que ar tropical, rico em ozônio, entre na atmosfera antártica, e com o ressurgimento do Sol, terminando a noite polar e recomeçando as reações fotoquímicas. Nota-se que as anomalias da concentração de ozônio no inverno ártico são de amplitude até maior, de um fator 10, que na Antártica porém, como não ocorrem as mesmas condições atmosféricas da Antártica, as anomalias são de curta duração. Em particular, o vórtice circumpolar ártico é fraco e as temperaturas estratosféricas raramente são tão baixas. Esses são os únicos fatos científicos observados. Existem pelo menos quatro argumentos, discutidos a seguir, que põem em dúvida a hipótese, aceita pela maioria, de que **as atividades humanas (CFCs) estariam destruindo a camada de ozônio**.

Primeiro, porque o buraco registrado em setembro de 1958 na estação francesa Dumont D'Urville na Antártica, e reanalisado por P. Rigaud e B. Leroy em 1990, apresentou um total de ozônio de 110 UD contra 148 UD em 1987. Ou seja, o buraco já existia, em grandes proporções, antes do consumo desenfreado de CFCs.

Segundo, a grande falácia na hipótese vigente, que, diga-se de passagem, não previa a formação do "buraco", está em afirmar que o **cloro, que destrói o ozônio, vem dos freons**. Na realidade, a maior fonte natural de cloro, na forma aerossóis de cloreto de sódio - o sal de cozinha - e gases, são os oceanos que cobrem 71% do Planeta e estima-se que liberem 600 milhões de toneladas de cloro anualmente. Em adição, um dos fatos propositalmente omitido é que a Antártica possui 12 (notem, doze!) vulcões ativos, dentre estes o **Erebus**, com cerca de 4 mil metros de altitude, portanto quase na base da estratosfera antártica, que está a apenas 5 mil metros de altura no inverno. De acordo com a equipe do Instituto de Minas e Tecnologia da Universidade de Novo México, Estados Unidos, liderados pelo Dr. Philip Kyle, que analisou os dados de suas emissões entre 1972 e 1987, no ano de 1983, por exemplo, o **Erebus** lançou, na atmosfera antártica, uma média de 1.230 toneladas por dia de **cloreto de hidrogênio (HCl)**, num total anual estimado em 450 mil toneladas (Kyle e outros, 1990). Das 750 mil de toneladas de **cloro**, contidas nos CFCs produzidos anualmente pelo homem, estima-se que apenas 1%, ou seja 7.500 toneladas, escape para a atmosfera. Como se vê, somente o **Erebus** lança cerca de 60 vezes mais cloro que toda a humanidade. A atmosfera antártica, como dito acima, fica isolada do resto do Planeta durante seu inverno, além do que a intensidade de isolamento varia de ano para ano, dependendo das condições climáticas globais. Em anos de intenso isolamento, como os observados na última década em que grandes distúrbios climáticos ocorreram naturalmente, como os **El Niños** de 1982/83 e 1986/87, considerados entre os mais fortes do século, há a tendência das concentrações dos gases vulcânicos aumentarem dentro do vórtice

circumpolar e o buraco se ampliar. Além dos vulcões antárticos, existem cerca de **600 vulcões ativos** em todo o mundo e, entre 1963 e 1986, ocorreram 14 (25%) das 56 grandes erupções (Índice de Explosividade Vulcânica, IEV igual ou maior que 4) registradas nos últimos 120 anos, sendo que as três últimas, **Nevado del Ruiz**, Colômbia (1985), **Augustine**, Alaska (1986) e **Lascar**, Chile (1986), podem ter contribuído diretamente para o mínimo de ozônio em 1987. Não se tem muito conhecimento sobre a composição química de suas ejeções. Na literatura especializada consta que os vulcões ativos liberam, diariamente, de centenas a alguns poucos milhares de toneladas de enxofre, na forma de SO<sub>2</sub>, e centenas de toneladas de cloro, flúor e bromo (componentes básicos dos CFCs), que correspondem a 10-13% do total ejetado. Os gases e aerossóis, emitidos pelos vulcões, entram na circulação global da atmosfera e eventualmente alcançam a estratosfera do continente antártico durante o verão. O tempo para que isso aconteça pode variar de alguns dias a alguns meses, dependendo da posição geográfica do vulcão. Segundo Scott D. Doiron e outros, do GSFC/NASA (1991), as 2 milhões de toneladas de material ejetadas em agosto de 1991 pelo **Cerro Hudson**, Chile (latitude 46°S), por exemplo, demoraram apenas alguns dias para serem incorporadas ao vórtice circumpolar; já as emissões em junho de 1991 pelo **Pinatubo** (IEV=5), localizado nas Filipinas (latitude 15°N), levaram cerca de 6 meses, conforme observado por satélite. Em 1992, as concentrações de ozônio sofreram reduções de até 14% em algumas regiões, com uma redução média global de 4,7% em final de 1992 e início de 1993, segundo dados do TOMS analisados por Gleason e outros, do GSFC/NASA (1993).

O terceiro argumento é que a produção fotoquímica de ozônio depende da radiação ultravioleta proveniente do Sol, cuja intensidade não é constante. Dentre os vários ciclos, o Sol apresenta um de cerca de 11 anos, no qual há um número *máximo* de manchas- cuja frequência pode ser usada como um indicativo da atividade solar, o chamado **máximo solar** -, e um *mínimo* de manchas, que acontece 5 a 6 anos defasados do máximo. Estudos recentes mostraram que, durante os máximos solares a produção de ultravioleta é maior. Nos últimos 17 anos, que foi o período inexplicavelmente selecionado pelo Painel de Tendência do Ozônio (*Ozone Trend Panel* - OTP) já que para a Antártica, por exemplo, existem dados rotineiros desde 1964, a menor concentração de ozônio já registrada, e portanto o maior *buraco* já observado, foi o de **1987** que coincidiu com o último mínimo solar. Em 1989, no início do mais recente máximo, a concentração de ozônio voltou a aumentar! No Hemisfério Norte, a rede de estações, que faz medidas sistemáticas de concentração de ozônio utilizando espectrofotômetro Dobson a partir da superfície terrestre, começou a funcionar em meados dos anos 50. Embora tenha havido maior produção de UV durante o máximo solar de **1957-58**, que apresentou um número de *manchas solares* uma a duas vezes maior que os dos máximos subsequentes de 1969-70, 1980-81 e 1990-91, a concentração de ozônio não apresentou aumento significativo possivelmente em virtude da erupção do **Vulcão Bezymianny** (IEV=5), Rússia, em março de 1956. Durante o período do mínimo solar subsequente, entre 1962-65, as concentrações da camada de ozônio registraram o maior mínimo observado na série de 30 anos publicada por Bojkov (1988). Uma análise da frequência de atividades vulcânicas mostrou que, naquele período, ocorreram 3 grandes (IEV=4) e 40 médias (IEV=3) erupções. A partir daí, as concentrações aumentaram, atingindo um máximo entre 1973-75. No máximo solar de 1990-91 também ocorreram várias erupções, como a do Monte Unzen (Japão), Monte Pinatubo (Filipinas) e Cerro Hudson (Chile) que impediram que a

concentração de ozônio aumentasse. **Em outras palavras, a camada de ozônio parece apresentar uma variabilidade com o tempo de 10 a 20% em torno da média devido aos fenômenos naturais.**

Finalmentê, se não bastassem os **vulcões e a variabilidade da atividade solar e do clima**, ainda têm-se o problema da confiabilidade da instrumentação utilizada rotineiramente nas medições do ozônio, composta de sensores passivos, isto é, que medem as concentrações de ozônio de uma maneira indireta. É importante registrar que o monitoramento da camada de ozônio através de plataformas espaciais começou **somente em novembro de 1978** com o lançamento do satélite Nimbus 7 levando a bordo o sensor **TOMS** (Espectrômetro para Mapeamento do Ozônio Total). O segundo sensor foi lançado em Março de 1985 a bordo do satélite NOAA 9. Foram observadas concentrações altas durante **1979-81**, quando da ocorrência do máximo solar, e concentrações baixas no mínimo solar em **1986-87**. Segundo relatório apresentado por P.K. Barthia e outros, do GSFC/NASA (1994), os sensores TOMS sofreram degradação e desvios (*bias e drift*) consideráveis de sua calibração original, apresentando erros superiores a 10% do valor absoluto de medições feitas para latitudes altas. Além disso, tais medições sofrem normalmente interferência do *dióxido de enxofre* lançado pelos vulcões e do vapor d'água, principalmente em regiões tropicais. Da mesma forma, as observações da espessura da camada, feitas a partir da superfície terrestre, também apresentam erros, pois o Espectrofotômetro Dobson utiliza uma faixa do espectro eletromagnético que sofre a influência do vapor d'água, de gotas d'água e cristais de gelo presentes em nuvens do tipo *cirro*, que se localizam entre 8 e 12 km de altitude e muitas vezes são tão tênues que não são percebidas pelo observador. Se, por alguma razão desconhecida, o vapor d'água tiver uma variação de prazo longo, isto é, períodos em que a alta troposfera esteja mais seca (úmida), com menos (mais) núvens cirros, isso seria suficiente para introduzir erros, impossíveis de serem corrigidos, nas séries de longo prazo das medidas de ozônio. Além dos erros observacionais, a grande variabilidade interanual que existe na concentração de aerossóis, na umidade e cobertura de nuvens impõem uma variação de cerca de  $\pm 20\%$  na média anual e até de 1.000% na variação diária. Com tal variabilidade, torna-se fisicamente difícil aceitar a afirmação que a camada de ozônio decresceu à razão de 0,27% por ano nos últimos 17 anos. Mesmo que não tivesse havido problemas com os sensores, o número de anos de observações selecionado pelo OTP, 17 anos a partir de 1969, inexplicavelmente foi muito parcial, pois foi um período em que os dados, sem "massagens", realmente apresentaram um decréscimo de concentração no Hemisfério Norte (HN). Porém, se for tomada a série toda (1957-87), verifica-se um **aumento de cerca de 7%** na concentração de ozônio. Ou seja, usando as mesmas fontes, porém uma série de dados mais longa, poder-se-ia concluir que a concentração de ozônio na camada aumentou, e não diminuiu, nas 12 estações de observação do HN, ao norte de 59°N de latitude, o hemisfério que mais usa CFCs. Ainda nessa figura, o período 1962-76, quando o consumo de CFCs subiu significativamente, houve, paradoxalmente, um **aumento de 18%** na concentração de ozônio. De qualquer forma, o período de dados existentes - 14 anos de satélites e 35 a partir da superfície - cobre cerca de **três ciclos solares** e, portanto, ainda é muito pequeno para se tirar conclusões que o decréscimo de 2,7% por década observado, se é que ele existe, tenha sido causado pelos **CFCs**.

Se não se considerar o grande interesse econômico envolvido na substituição dos CFCs, a grande preocupação parece ser o possível aumento de

cancer de pele com a diminuição da camada de ozônio, que teria no buraco antártico sua evidência maior. Os modelos prevêem que a camada de ozônio seria reduzida de 5% no meio do próximo século a continuar a presente taxa de liberação de CFCs e que isso levaria a um aumento de cerca de 10% no fluxo de radiação ultra-violeta (UV), com conseqüente aumento do número de casos de cancer de pele. Ora, nas latitudes sub-polares, Escandinávia por exemplo, a concentração média mensal já varia naturalmente de 300 UD, em setembro/outubro, para 500 UD, em fevereiro/março, portanto uma variação de 70% no ozônio ou 140% na UV. No dia a dia, porém, essa variação pode ser de 1.000%, o que acarretaria um aumento de 20 vezes no fluxo de UV que chega à superfície. Por sua vez, as regiões tropicais apresentam uma concentração média de 230 UD, em qualquer época do ano menor que as regiões sub-polares, e, portanto, recebem maior incidência de UV. Da Escandinávia para o Nordeste do Brasil, por exemplo, há um aumento de cerca de 200%, e não 10%, na UV. Porém, não se têm registros de escandinavos terem voltado cancerosos para casa após passarem as férias em Fortaleza. Além disso, as observações indicaram que já aconteceu, por vários meses, uma redução de 5% na concentração global de ozônio após a erupção do Pinatubo (Gleason et al., 1993). Os escandinavos deveriam ser os primeiros a sofrer com tal redução. Mas, segundo Dr. Johan Moan, do Instituto de Pesquisa de Cancer, Hospital Radio, em Montebello, Noruega, o número de casos de cancer de pele não cresceu assustadoramente naquele país, conforme indicavam as previsões. É importante ressaltar que os tipos de cancer de pele conhecidos são facilmente curáveis e desconhecem-se casos de morte por essa causa.

Em resumo, não existem as alegadas evidências científicas e observacionais que a camada de ozônio e buraco na Antártica estejam sendo afetados pelas atividades humanas. Há fortes indicações que as concentrações desse gás sejam altamente variáveis e que o *buraco* seja natural, como Sir Gordon Dobson observou e afirmou há mais de 30 anos atrás. E, como tal, **prevê-se que as concentrações reduzir-se-ão e que o buraco voltará a aumentar em 1996-98**, época do próximo *mínimo solar*, e em anos com grande atividade vulcânica! A preocupação com o aumento do número de casos de cancer de pele parece exagerada e a eliminação dos CFCs, a partir de 1995 para os EEUU e 2.000 para os outros países, muito prematura pois não existem substitutos adequados. Contrariamente aos CFCs, seus substitutos são gases corrosivos e tóxicos, podendo levar à morte se inalados como o próprio rótulo do SUVA MP 39, da Du Pont, adverte. Qualquer que tenha sido as bases para decidir sua imediata eliminação, certamente a científica não foi a preponderante.

## REFRÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

Barthia, P.K., J.R. Herman, R.D. McPeters, O. Torres, 1994. Report on Total Ozone Mapping Spectrophotometer on board of Nimbus 7 spacecraft, Goddard Space Flight Center, NASA, Greenbelt, MD (in preparation).

Bojkov R.D., 1988. Interannual variability of ozone in high latitudes fo the Northern Hemisphere, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 38: 117-131.

Dobson, G.M.B., 1968. Forty years research on atmospheric ozone at Oxford University: a history, *Applied Optics* 7: 387-405.

Farman, J.B., B. Gardiner and J. Shauklin, 1985. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO<sub>x</sub>/NO<sub>x</sub> interaction, *Nature* 315:207-210.

Gleason, J.F., P.K. Barthia, J.R. Herman, R. D. McPeters, P. Newman, R.S. Stolarski, L. Flynn, G. Labow, D. Larko, C. Seftor, C. Wellemeyer, W.D. Komhyr, A.J. Miller e W. Planet, 1993. Record low global ozone in 1992, *Science* 260: 523-526.

Kyle, P.R., K. Meeker and D. Finnegan, 1990. Emission rates of sulphur dioxide, trace gases and metal from Mt. Erebus, Antarctica, *Geophysical Research Letters* 17:2125-2128.

Penndorf, R., 1950. Annual variation of the amount of ozone over Northern Norway, *Annales de Geophysique* 6: 1-9.

Rigaud, P. and B. Leroy, 1990. Presumptive evidence for a low value of the total ozone content above Antarctica in September, 1958. *Annales Geophysicae*, 8: 791-794.