



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

A CAMADA DE OZÔNIO



LABORATÓRIO DE OZÔNIO DO INPE

Coordenador - Dr. VOLKER W. J. H. KIRCHHOFF
kir@dge.inpe.br

TEXTO: Dra. NEUSA PAES LEME
nleme@dge.inpe.br

DOCUMENTO INFORMATIVO

INTRODUÇÃO

O ozônio é uma molécula que existe em toda a atmosfera. Na parte mais baixa, a troposfera, região entre o solo e 15 km de altura, a concentração é relativamente baixa. Na estratosfera, que fica entre 15 e 50 km, a concentração do ozônio passa por um máximo a aproximadamente 30 km. Entre 25 e 35 km define-se, arbitrariamente, a região da "**Camada de Ozônio**". O ozônio desta região tem uma função muito importante ele absorve a radiação ultravioleta, tipo B, que vem do sol e que é prejudicial à vida de homens, animais e plantas. Apenas o ozônio, na atmosfera, tem esta propriedade importante de absorver a radiação UV-B.

A partir dos anos 60, percebeu-se uma nítida diminuição do conteúdo da camada de ozônio, a nível mundial, de ano a ano. Esta diminuição, que é de ordem de 4% por década, em média, continua ainda hoje, e deve permanecer nesta tendência por várias décadas.

Sabe-se que o problema da camada de ozônio está associado aos chamados CFC's, substâncias produzidas artificialmente pelo homem moderno, e que foram e são muito úteis nos processos de refrigeração, em geladeiras e ar condicionado, principalmente. Nestas substâncias existe o cloro, o que somente pode ser liberado da molécula do CFC quando esta é submetida a altas doses de radiação UV-B. É exatamente isto que acontece na estratosfera, na altura e acima da camada de ozônio. O CFC é liberado na superfície, e demora muitos anos para chegar, na estratosfera. Quando chega na altura certa o cloro é liberado de sua molécula, podendo então reagir quimicamente com o ozônio, numa reação química que destrói o ozônio.

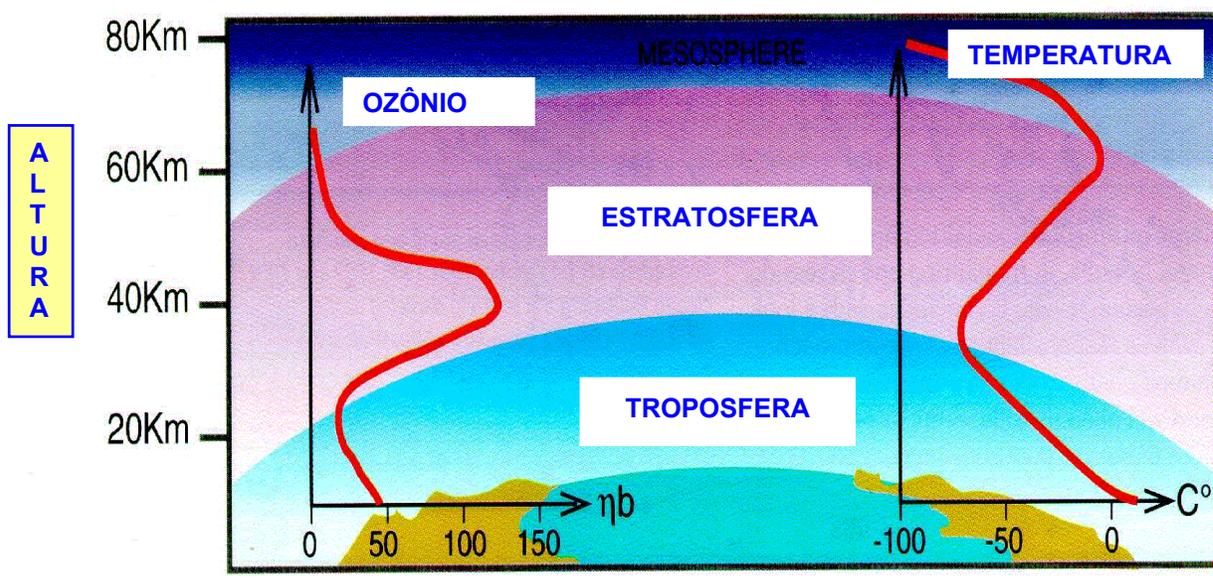
Atualmente duas questões importantes são feitas pela comunidade científica:

- A diminuição na concentração da camada de ozônio causa mudanças climáticas?
- A radiação ultravioleta está aumentando devido à queda do ozônio? Já existem evidências das conseqüências deste aumento?

A variação do ozônio tem dois efeitos sobre a temperatura da Terra: ao absorver a radiação ultravioleta, emite calor aquecendo a estratosfera, região entre 20-60 Km de altitude (veja a figura 1). Na baixa atmosfera (troposfera) atua como poluente. Absorve a radiação infravermelha que vem do solo, contribuindo para o aquecimento da baixa atmosfera. Sua maior importância está relacionada com a radiação UV-B que afeta diretamente a vida na Terra.

A maior variação na concentração do ozônio ocorre na região Antártica, na estratosfera. Todos os anos nos meses de agosto a novembro ocorre uma diminuição muito grande do ozônio. Este fenômeno é chamado de **Buraco na Camada de Ozônio**. A conseqüência principal é o grande aumento da radiação ultravioleta do tipo B que atinge o solo, afetando os seres vivos da região.

A destruição da camada de ozônio e o aparecimento do buraco de ozônio na Antártica são, na opinião de muitos, o maior problema ambiental do planeta, causado artificialmente pela ação do Homem. O problema é que os gases destruidores do ozônio duram várias décadas, e mesmo com o compromisso atual dos governantes de controlar e reduzir a emissão destes gases, eles estarão afetando o ozônio ainda por vários anos. Além disto, o Buraco de Ozônio também depende de parâmetros meteorológicos, como temperatura e circulação atmosférica na região antártica (vórtice polar). Isto provoca variações anuais contribuindo ainda mais para a complexidade do fenômeno.



Fonte: figura adaptada <http://toms.gsfc.nasa.gov/teacher/>

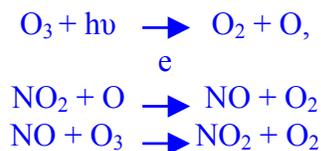
A figura (1) acima, mostra a variação do ozônio (gráfico à esquerda) e da temperatura (gráfico à direita) com a altura, na atmosfera. A temperatura diminui com a altura, mas na região onde o ozônio é máximo ela aumenta, pois o ozônio ao absorver a radiação UV-B, libera calor.

OZÔNIO ESTRATOSFÉRICO

O Ozônio é um gás formado pela interação da radiação ultravioleta mais energética com a molécula de oxigênio (O_2). Ela se quebra liberando dois átomos de oxigênio atômico que irão se unir com outras moléculas de O_2 , a produção de ozônio, ocorre na etapa seguinte quando a molécula de O_2 se associa com um átomo de oxigênio (O) e na presença de um terceiro corpo M, forma o ozônio O_3 .

Ao processo de produção, seguem-se vários processos de perda principalmente com compostos nitrogenados e com a própria radiação UV:

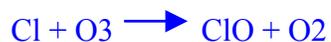
Exemplo:



A concentração da camada não é a mesma em função da altura porque os processos de produção e perda têm intensidades diferentes para diferentes alturas.

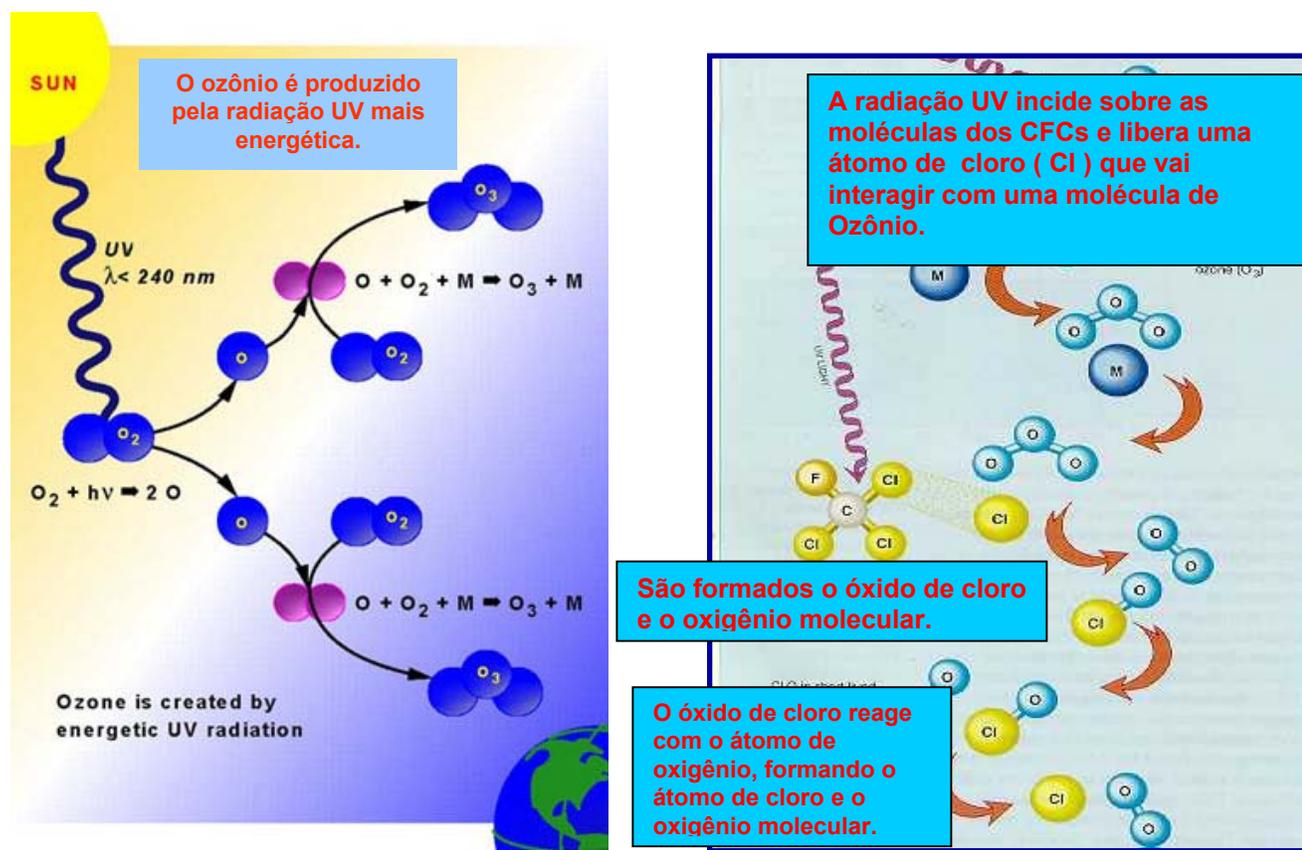
Após a era industrial, um mecanismo adicional de perda do ozônio foi criado pelo homem. Foram as moléculas clorofluorcarbonetos, usadas em uma série de aplicações, como na refrigeração e na fabricação de plásticos. Já na década de 70, medidas atmosféricas mostraram quantidades elevadas de carbonetos clorofluorados.

O cloro, que faz parte destas moléculas, reage rapidamente com o ozônio, produzindo óxido de cloro e oxigênio molecular.



Podemos esquematizar o ciclo do ozônio nas equações representadas nas figuras abaixo:

DESTRUIÇÃO DO OZÔNIO



Fonte: figuras de <http://toms.gsfc.nasa.gov/teacher/>

Figuras 2a e 2b, mostram o ciclo químico de produção e perda do ozônio na atmosfera.

A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

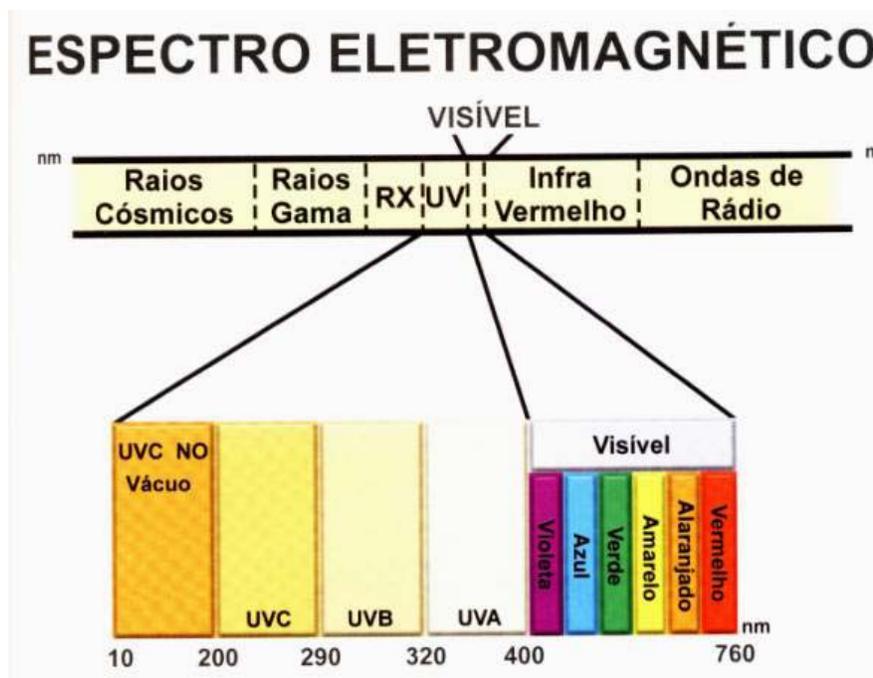
A radiação ultravioleta é uma parte sui-generis do espectro solar, e pode ser separada em tres partes: a radiação **UV-A**, que se estende desde 320 a 400 nanometros (nm); a radiação **UV-B**, que vai de 280-320 nm; a radiação **UV-C**, que vai de 100 a 280 nm.

A radiação UV-C é totalmente absorvida na atmosfera terrestre, principalmente pelo oxigênio molecular (O₂) e por isto não é de maior importância para medidas feitas da superfície da Terra. A UV-A sofre pouca absorção na atmosfera e é importante porque metaboliza a vitamina D, mas provoca o envelhecimento precoce da pele humana a longo prazo. A radiação **UV-B é a mais importante**. Esta radiação é absorvida na atmosfera pelo ozônio, na estratosfera. A pequena quantidade que passa pela atmosfera e atinge a superfície, se tomada em excesso pode causar queimaduras, câncer de pele, danos à visão e modificação do DNA, diminuindo as defesas naturais dos organismos.

É a grande preocupação da comunidade científica e dos médicos dermatologistas e biólogos .

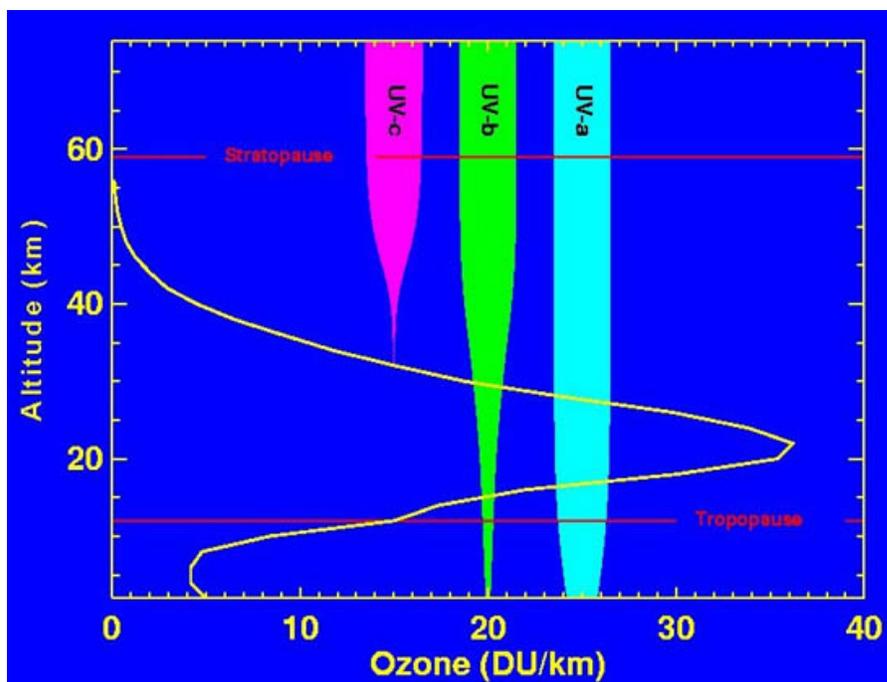
Como a camada de ozônio está ainda diminuindo e vai continuar assim por mais algumas décadas, acredita-se que o UV-B vai aumentar sua intensidade no futuro.

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



Fonte: <http://www.saudeparavoce.com.br>

A figura 3 mostra o espectro eletromagnético e a faixa de comprimento de onda onde se localiza a radiação ultravioleta.



Fonte: <http://www.saudeparavoce.com.br>

A figura 4. esquematiza a absorção da radiação ultravioleta em função do comprimento de onda, na atmosfera. A radiação UV-B é absorvida pelo ozônio, chegando apenas uma pequena parcela até o solo. A radiação UV-A quase não é absorvida pela camada de ozônio, entretanto, ela também é prejudicial À pele humana se tomada em excesso.

O LABORATÓRIO DE OZÔNIO DO INPE

Criado em 1985 a sua principal atividade é fazer medidas da camada de ozônio usando uma rede de instrumentos de superfície chamados espectrofotômetros, do tipo Dobson e do tipo mais moderno, o Brewer. No momento, desenvolvemos um importante programa de observações da camada de ozônio, mantendo uma rede de observatórios da camada de ozônio e da radiação ultravioleta. Embora o Laboratório tenha montado uma rede de monitoramento em 1985, o INPE já media a camada de ozônio desde 1974 em Cachoeira Paulista, SP e a partir de 1976 em Natal, RN.

Uma segunda prioridade do laboratório é o estudo das queimadas e a emissão dos gases do efeito estufa: gás carbônico (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), monóxido de carbono e os clorofluorcarbonetos (CFC_s) 11 e 12.

O laboratório de Ozônio é coordenado pelo Dr. Volker Kirchhoff e é composto por uma equipe de 4 doutores, 7 técnicos e 2 engenheiros. Trabalha em cooperação com a Univerisdad de Magalhanes, em

Punta Arenas, Chile, com a Universidad Mayor de San Andrés, em La Paz, Bolivia e com a Universidade de Santa Maria, RS.

LOCAIS DE OBSERVAÇÃO:

SÃO 6 LABORATÓRIOS COM COLETAS CONTÍNUAS DE DADOS MOSTRADOS NO MAPA AO LADO:

NATAL (NT), CUIABÁ (CB), CACHOEIRA Pta. (CP), SÃO JOSÉ DOS CAMPOS (SJC), LA PAZ (LP) E A ESTAÇÃO ANTÁRTICA BRASILEIRA COMTE. FERRAZ (ANT).

EM SANTA MARIA, O INPE TEM COMO COLABORADOR A UNIV. FEDERAL DE SANTA MARIA (SM) E EM PUNTA ARENAS, A UNIVERSIDAD DE MAGALHANES (PA).

O LABORATÓRIO TEM 2 TRAILERS PARA CAMPANHAS DE MONITORAMENTO DE QUEIMADAS E GASES DO EFEITO ESTUFA.



A figura 5 acima, mostra os locais de observação onde o Laboratório tem instrumentos de medidas da coluna total de ozônio e da radiação ultravioleta. Santa Maria e Punta Arenas são colaboradores a as universidades de Santa Maria e Magalhanes são responsáveis pela instrumentação.

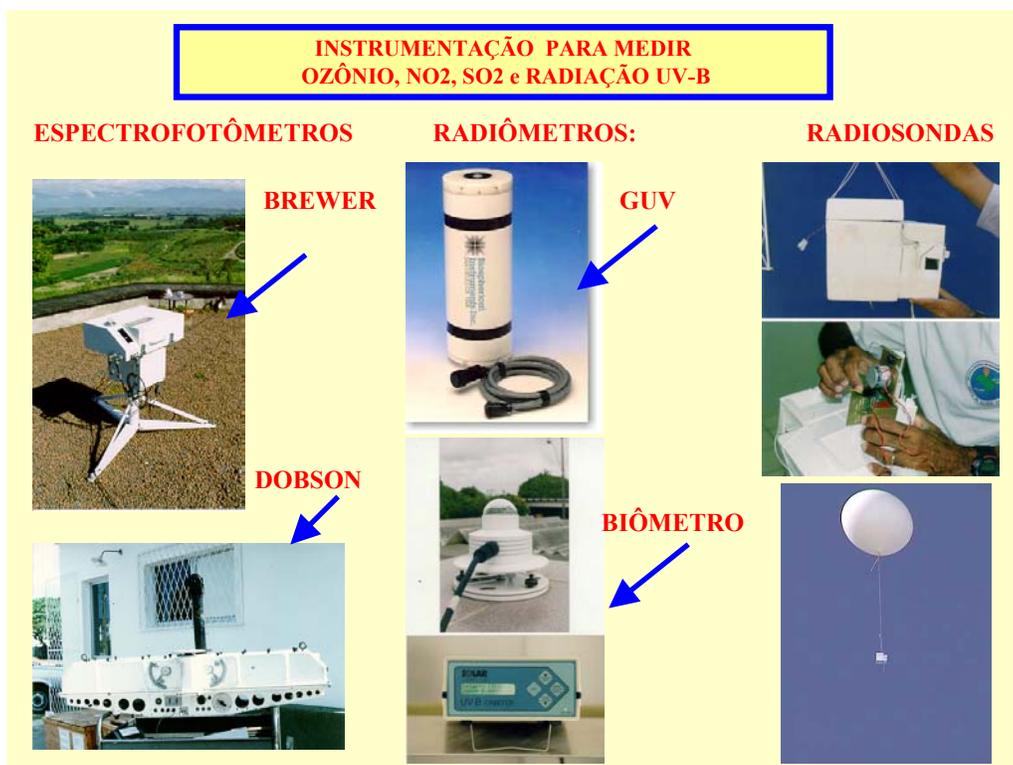
As medidas são realizadas continuamente durante todo o ano. Para complementar estas medidas ainda são realizadas campanhas especiais de sondas de ozônio em balões para medir a variação do ozônio com a altura.

Os locais mais importantes para as campanhas de lançamento das sondas são a Antártica, devido a presença do Buraco de Ozônio na primavera e em Natal, em colaboração com a NASA, os resultados servem como referência para o acompanhamento da camada de ozônio global.

Na Antártica foram realizadas várias campanhas na cidade de Punta Arenas e na Estação Antártica Brasileira Comte. Ferraz.

Para o estudo do efeito estufa são coletadas semanalmente amostras de ar em Maxaranguape, RN, e no pantanal são realizadas campanhas para estudar a emissão do metano. Os gases associados as queimadas também são monitorados.

Abaixo são mostradas as instrumentações de medidas utilizadas pela rede do Laboratório de Ozônio para medir o ozônio, o dióxido de nitrogênio, o dióxido de enxofre e a radiação ultravioleta:



Para a análise dos gases associados ao Efeito Estufa, são utilizadas garrafas especiais para a coleta de ar e depois a análise é realizada no laboratório de cromatografia, em São José dos Campos.



A foto acima ilustra o Laboratório de Cromatografia, no INPE, em São José dos Campos.

Os diferentes instrumentos de medidas serão descritos a seguir.

ESPECTROFOTÔMETRO DOBSON

O Espectrofotômetro Dobson, é o instrumento mais antigo para medir o ozônio. É um sistema óptico que mede a radiação da radiação ultravioleta em 2 comprimentos de onda. Pela radiação que é medida pode-se calcular a coluna total de ozônio. É operado manualmente. Está em operação em Cachoeira Paulista desde 1974.

A foto mostra a intercomparação dos Dobsons de Cachoeira Paulista e de Natal. A calibração e a intercomparação entre os instrumentos é muito importante para validar as medidas realizadas.



ESPECTROFOTÔMETRO BREWER

O Espectrofotômetro Brewer é um instrumento que mede a radiação solar e através da análise da absorção de alguns comprimentos de onda, consegue determinar a coluna total do *OZÔNIO (O₃)*, do *DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO₂)*, do *DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO₂)*. Mede também a radiação ultravioleta na banda UV e UV-B.



Foto do espectrofotômetro Brewer em Ferraz, durante a campanha de observação nos meses de agosto a dezembro de 2003.

O Laboratório de Ozônio tem 6 Brewers operando no Brasil, em La Paz, Bolívia, e na Antártica.

GUV – GROUND BASED ULTRAVIOLET RADIOMETER

O GUV, é um sensor que possui a capacidade de medir **A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA (UV)** em quatro comprimentos de onda: 305, 320, 340 e 380 nm e, adicionalmente, contém um canal de medição da radiação **foto-sinteticamente ativa (PAR)**, na banda 400 até 700 nm, muito importante para a biologia.



A foto à esquerda ilustra o sensor de UV. No topo da parte branca tem uma janela de acrílico especial por onde passa a radiação solar. Para a coleta das medidas um micro computador gerencia a operação e grava os dados que serão analisados posteriormente. A foto da direita mostra o GUV Operando em Cachoeira Paulista.

UV - BIOMETER

Outro sensor para medir a radiação UV é o UV – BIOMETER.

O detector é calibrado em **MED (Minimum Erythema Dosis)**, que é a quantidade mínima de energia capaz de causar queimadura na pele.

A foto ilustra o **BIÔMETRO**. A rede de monitoramento possui 5 Biometros. É um instrumento mais simples do que o GV, porém bem eficiente para medir o índice da radiação UV-B.



AS INFORMAÇÕES OBTIDAS PELO BREWER, GUV E O BIOMETER SÃO IMPORTANTES PARA O ESTUDO DA VARIAÇÃO DO FLUXO DA RADIAÇÃO UV-B QUE CHEGA AO SOLO. NA ANTÁRTICA, OS VALORES OBSERVADOS SÃO BEM MENORES QUE OS OBSERVADOS EM LATITUDES MAIS BAIXAS, PORÉM EM ALGUMAS OCASIÕES DURANTE A PRESENÇA DO BURACO DE OZÔNIO, REGISTROU-SE INTENSIDADES MAIORES OU IGUAL AS OBSERVADAS EM LATITUDES MÉDIAS. OUTRO ESTUDO MUITO IMPORTANTE É O DA VARIAÇÃO DA INTENSIDADE DA RADIAÇÃO DE UM ANO PARA O OUTRO.

SONDAGEM

Além dos instrumentos de superfície citados, usamos também a técnica ECC (células de concentração eletroquímica) para medir a concentração do Ozônio em função da altura, na troposfera e estratosfera, usando balões meteorológicos. Um programa de medidas usando esta técnica foi aplicado em Punta Arenas, Chile, com campanhas no período de setembro a novembro em 1995, 1996 e 1997 e 2001. Na Estação Antártica Comte. Ferraz foram realizadas duas campanhas nos meses de janeiro a março de 1990 e durante o ano de 1992 e 1999, 2003 e 2004.

As informações geradas durante os vôos são:

CONCENTRAÇÃO DE OZÔNIO, TEMPERATURA, VENTOS, PRESSÃO E UMIDADE DA ATMOSFERA.



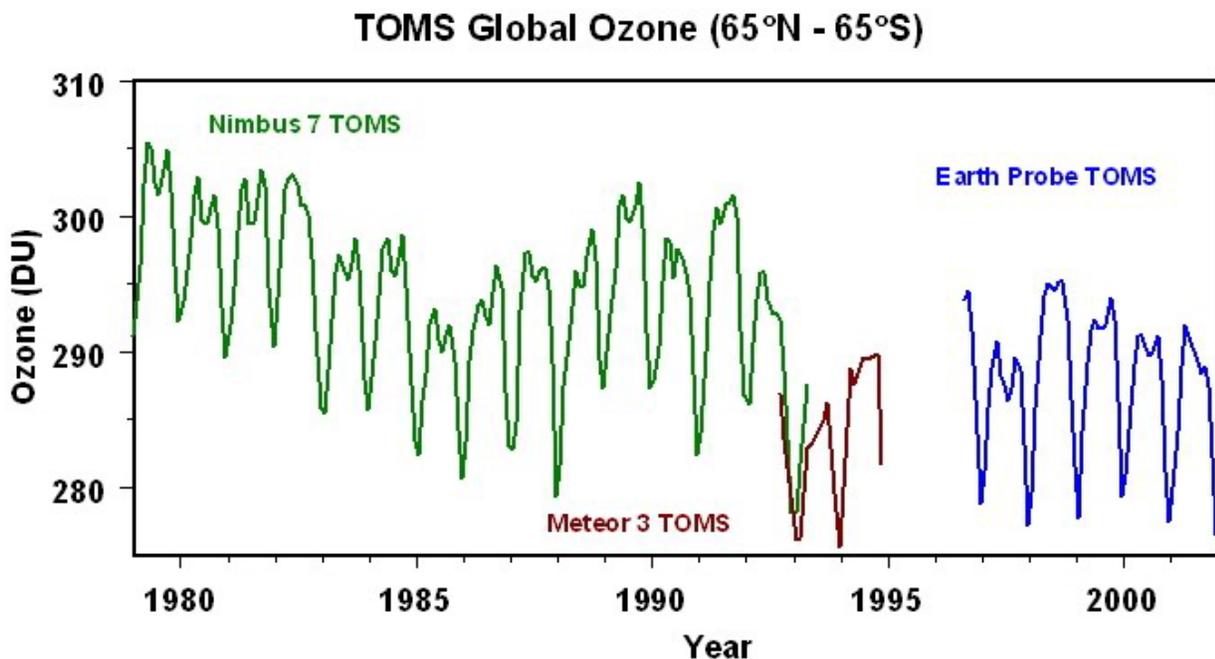
As fotos ilustram o momento do lançamento do balão. O sensor de ozônio vai anexado dentro de uma caixa de isopor para proteção durante o vôo.

Os dados coletados são enviados por sinais de rádio para um microcomputador localizado dentro do Módulo do Laboratório de Ozônio depois enviados via internet para o Brasil.

A SITUAÇÃO ATUAL DA CAMADA DE OZÔNIO

As medidas atuais da camada global de ozônio mostram que a velocidade da diminuição da concentração diminuiu, mas ainda está ocorrendo destruição da camada.

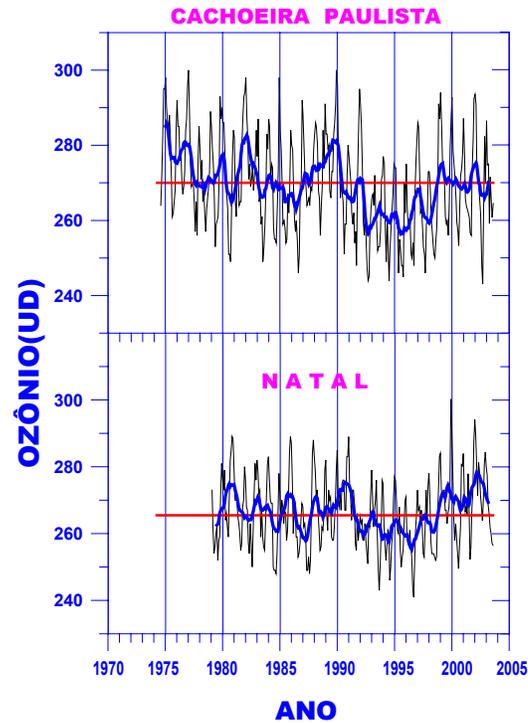
Medidas obtidas por instrumentos de solo e por satélite mostram que para latitudes médias, a diminuição média da concentração entre 1997 e 2001, é de 4% para o hemisfério norte e de 6% para o Hemisfério sul. Mesmo que não haja mais emissões de gases destruidores da Camada de Ozônio, acredita-se que a situação só vai se normalizar em 2050, pois os gases que já estão na atmosfera tem uma vida média maior do que 60 anos.



Fonte : imagens adaptadas de <http://toms.gsfc.nasa.gov/>

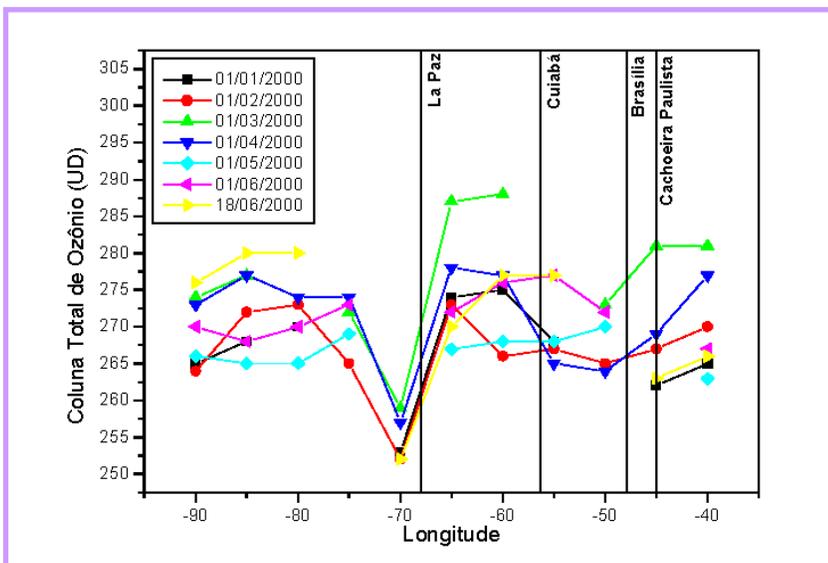
A figura 6 acima mostra as medidas feitas pelo Espectrofotômetro TOMS instalado em satélites da Nasa. Observa-se a variação da coluna total do ozônio para as latitudes entre 65°N e 65°S para o período de 1980 a 2002.

No Brasil, o INPE mede a camada de ozônio desde 1974. Em 1985 foi criado o Laboratório de Ozônio para criar uma rede de monitoração mais eficiente da camada de ozônio e da radiação ultravioleta.



Fonte: figura atualizada do trabalho: Sahai, Y., V.W.J.H.Kirchhoff, N.M.Paes Leme, and C.Casaccia, Total ozone trends in the tropics, J.Geophys.Res., 105, 19823-19828, 2000 .

A figura 7 acima, mostra a variação anual do ozônio em Cachoeira Paulista (CP) no período de 1974 a 2003 e em Natal (NT) no período de 1976 a 2003. Os dados foram coletados pelo Laboratório de Ozônio do INPE, utilizando o Espectrofotômetro Dobson. A linha vermelha é o valor médio do período. A concentração do ozônio varia com a latitude. Por isto, é importante vários locais de observação para o monitoramento contínuo da camada de ozônio.



Fonte: Kirchhoff, V.W.J.H., and F.Guarnieri, Missing ozone at high altitude: comparison of in situ and satellite data, J. Geophys. Res., 107, no D11, pages ACH 2-1 to 2-6 June, 2002.

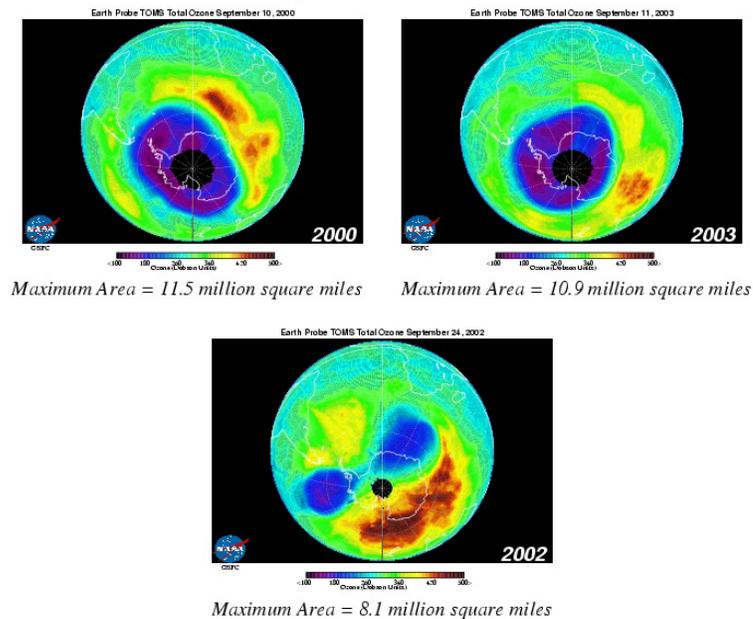
A figura 8 mostra a variação da coluna total de ozônio para diferentes latitudes e longitudes.

O BURACO DE OZÔNIO

Na década de 80, observou-se uma grande diminuição da camada de ozônio sobre a Antártica nos meses de agosto a novembro. Uma grande campanha científica foi realizada para estudar o fenômeno. Verificou-se que era consequência da presença de gases emitidos pelo homem. Mais tarde um estudo realizado por Molina e outros em 1987 (Molina, M.J., T. Tso, L.T. Molina, and F.C. Wang, Antarctic stratospheric chemistry of chlorine nitrate, hydrogen chloride, and ice: Release of active chlorine, *Science*, 238: 1253-1257, 1987), mostrou que este fenômeno era consequência da presença de gases de origem antropogênica, os clorofluorcarbonetos, que destruíam o ozônio. Foi denominado de Buraco de Ozônio e ocorre apenas na região antártica. Isto porque para o aparecimento deste fenômeno é preciso de temperaturas muito baixas e que o sistema de circulação atmosférica seja isolado (vórtice polar) condições típicas da Antártica. No Ártico, como o sistema de circulação atmosférica é diferente e a temperatura é mais quente, não favorece o aparecimento do Buraco de Ozônio. Apenas em duas ocasiões ocorreram “mini buracos de ozônio” em virtude de invernos muito frios.

Considera-se Buraco de Ozônio, quando a concentração do ozônio é menor do que 220 UD.

Second Largest Ozone Hole Area



Fonte : imagens adaptadas de <http://toms.gsfc.nasa.gov/>

A figura 9 acima exemplifica o Buraco de Ozônio (cor azul e preta) em 3 situações: no ano 2000 quando atingiu a sua maior área, 29.5 milhões de Km², chegando até ao sul do continente americano, em 2002 quando um aquecimento atípico da estratosfera dividiu o buraco em duas partes e em 2003 quando alcançou a segunda maior extensão. O buraco tem esta forma oval devido ao vórtice, ou seja, a circulação atmosférica isolada sobre o continente antártico e ele gira em sentido horário. Esta condição permanece até o início de novembro, quando a camada de ozônio volta ao “normal”.

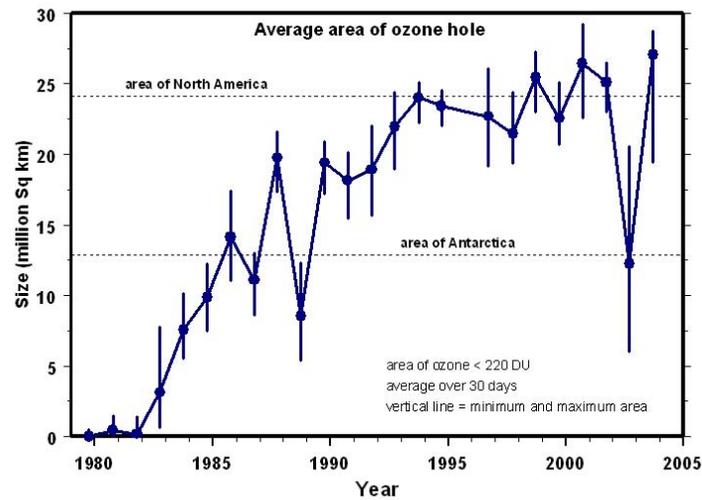
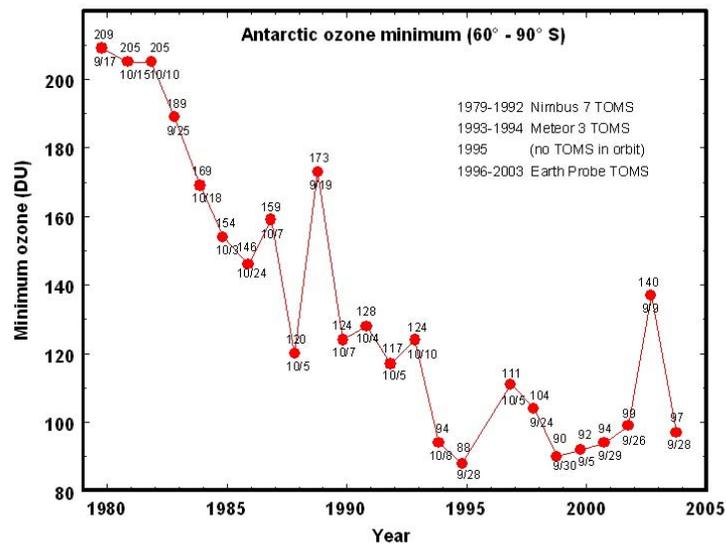


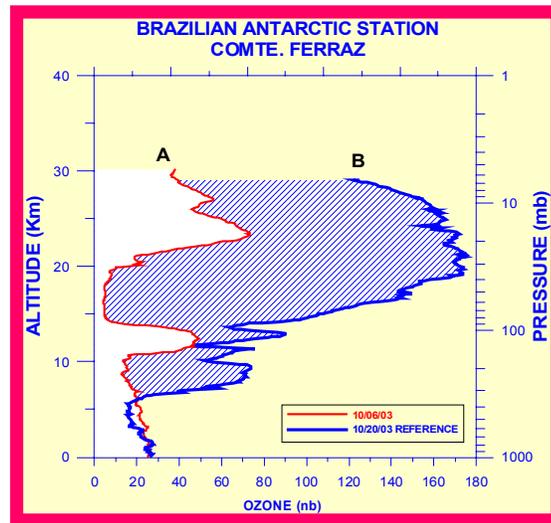
Figura 10a, mostra a variação do tamanho do Buraco de Ozônio de 1980 a 2003. Em 2002 atingiu sua maior dimensão com 29.500 milhões de Km².



Fonte : <http://toms.gsfc.nasa.gov/>

Figura 10b, mostra a variação da concentração da Camada Ozônio de 1980 a 2003. Em 1994 atingiu sua menor concentração e embora ela varie de um ano para outro verifica-se que estamos na região de concentração mínima. Se não ocorrer nenhum fator novo e se o protocolo sobre as emissões dos gases poluentes forem respeitadas, espera-se que a camada se recupere lentamente até 2050.

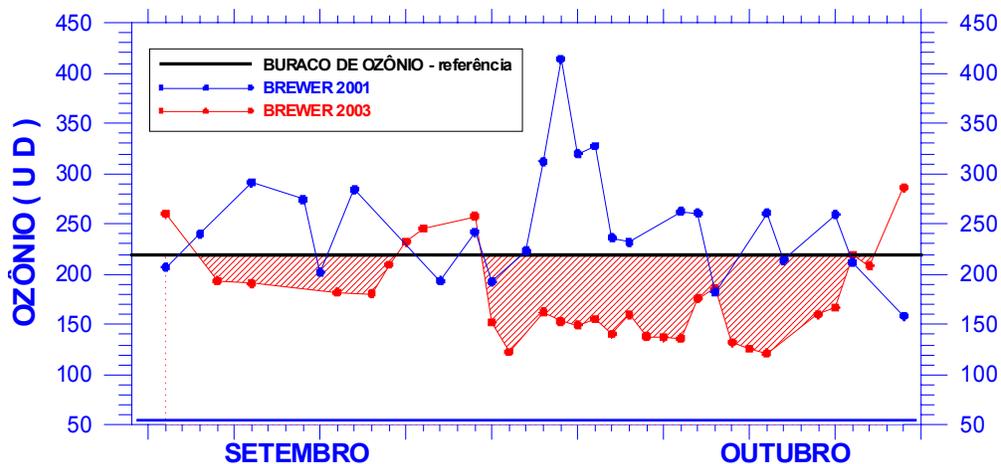
O Laboratório de ozônio mede a camada de ozônio na Antártica desde 1990. Várias campanhas com sondas em balão foram realizadas na Estação Antártica Brasileira Comte. Ferraz. Na cidade de Punta Arenas, que fica ao sul do Chile, foi instalado um Espectrofotômetro Brewer que operou de 1992 a 2002.



A figura 11 mostra um exemplo do **Buraco de Ozônio da Antártica**, medido por sondas de ozônio, lançadas em balões, mostrando um dia onde a concentração da camada é considerada “normal” (linha azul B) comparada com o dia de menor concentração de ozônio (linha vermelha A).

As concentrações de ozônio são mostradas em nbar (nanobar) em função de altura em km, quando o buraco passa por cima de Ferraz. A região azul mostra o quanto a camada perdeu de ozônio.

A maior destruição ocorre entre 14 e 17 Km. No ano de 2003, a redução na concentração da camada foi de 60% na região de Ferraz.



A figura 12 mostra as medidas feitas na Estação Antártica Comte. Ferraz, feitas pelo espectrofotômetro Brewer, em 2001 e 2003. Observa-se que o Buraco de ozônio em 2001 quase não passou sobre Ferraz enquanto que em 2003 permaneceu por vários dias sobre a região. Este fato tem um impacto ambiental muito grande, pois a diminuição do ozônio causa um grande aumento da radiação UV-B, como veremos a seguir.

A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

A maior preocupação da comunidade científica em relação a redução da camada de ozônio é avaliar o impacto que esta diminuição está causando. Espera-se o aumento da radiação UV-B que é nociva aos homens, animais e plantas. Além do monitoramento desta radiação, uma ação junto à população tem que ser feita alertando sobre os danos à saúde, como câncer de pele, catarata e modificação do DNA em organismos mais simples.

O laboratório dispõe de um “site” <http://www.dge.inpe.br/ozonio> onde os índices da radiação UV-B estão disponíveis à população em geral. São índices do valor máximo de radiação UV-B que o local pode receber, para cada dia do ano. São mostradas tabelas para várias cidades de mais de 100.000 habitantes onde se considera para o cálculo do índice, o céu azul, sem nuvens.

Também são mostrados os tipos de pele e o tempo de exposição ao sol para cada biótipo.

Tipo	Cor	Efeito da Exposição
I	branca	queima sempre
II	morena clara	bronzeia e queima
III	morena escura	bronzeia e às vezes queima
IV	Negra	bronzeia e raramente queima

A Figura 13 esquematiza o tipo de pele em função do efeito de eritema produzido pela radiação UV-B



A Figura 14 mostra os locais no Brasil onde o Laboratório de Ozônio calculou o índice UV-B máximo, para um dia de céu sem nuvens. Os índices para cada dia do ano podem ser vistos na “home page” do laboratório: www.dge.inpe.br/ozonio.

A radiação ultravioleta varia no decorrer do dia com a passagem do sol sobre a localidade, com a altitude, a latitude e o dia do ano. É muito importante o monitoramento contínuo e em vários locais geográficos.

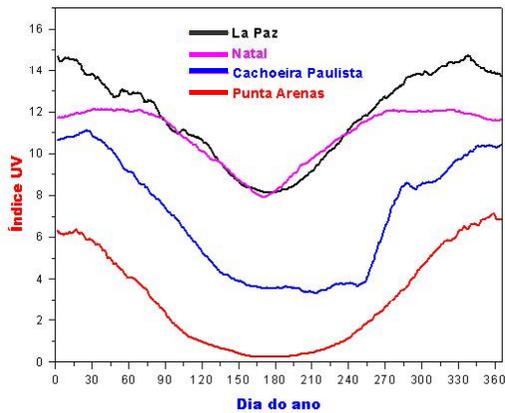


Fig.15(a)

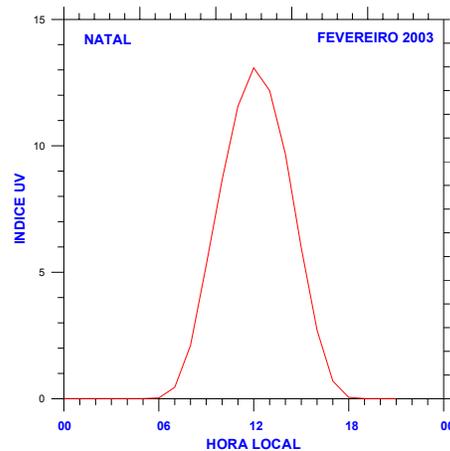
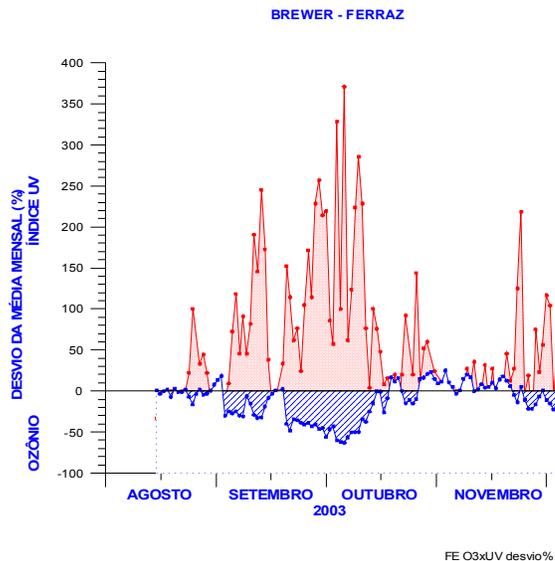


Fig. 15(b)

A figura 15(a) mostra a variação do índice da radiação UV-B ao longo do dia. Observa-se que o máximo da radiação é em torno das 12 horas local. A figura 12(b) mostra a variação da radiação UV-B ao longo do ano em diversas latitudes. Verifica-se que em La Paz, a radiação é maior, devido a sua altitude, que está entre 3100 a 4100 m. Para Punta Arenas, sul do Chile, observa-se o menor índice de radiação.

Na Antártica, embora a radiação seja menor do que em baixas latitudes, durante a primavera quando ocorre a passagem do Buraco de Ozônio, pode aumentar em até 350% como ocorreu em 2003, como pode ser visto na figura abaixo.

A figura 16, mostra a correlação entre a diminuição do ozônio e o aumento da radiação UV-B na Estação Antártica Brasileira, Comte. Ferraz, durante a passagem do Buraco de Ozônio em 2003.



TRABALHOS PUBLICADOS EM REVISTAS NACIONAIS
(Peer reviewed papers, national literature)

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. "Geoquímica da Média e Baixa Atmosfera: Ambientais por Deteriorização da Camada de Ozônio". **Impactos Geochim. Bras.**, 2, 41-52, 1988.

Kirchhoff, V.W.J.H. "A Redução da Camada de Ozônio: Efeitos sobre o Brasil". **Eng. Ambient.**2, 32-35. 1989.

Kirchhoff, V.W.J.H. "O Buraco na Camada de Ozônio", **Ciência Hoje das crianças**, 15, 3-5, 1992.

Mariano, M.M. e Kirchhoff, V.W.J.H. "Índices de Monitoramento de Ozônio de Superfície", **Rev. Bras. Geofís.**, 10, 43-53, 1992.

Kirchhoff, V.W.J.H. et. al., The Brazilian Network of Stratospheric Ozone Monitors: Observations of the 1992 Ozone Hole, **Rev.Bras.Geofís.**,11(2), 205-213, 1993.

Kirchhoff, V.W.J.H., Schuch, N.J. e Hilsenrath, E. Efeitos do Buraco de Ozônio da Antártica chegam ao Sul do Brasil, **Ciência Hoje**, 17, 6-7, 1994.

Kirchhoff, V.W.J.H. A Informação é a melhor arma contra o UV-B: Radiações perigosas aumentam com a diminuição da camada de ozônio, **Ciência Hoje no. 126**, 1996.

Kirchhoff, V.W.J.H. Cuidado com os raios do Sol, **Ciência Hoje**, 22(127), 72-74, 1997.

Kirchhoff, V.W.J.H., Por trás dos raios do Sol, **Ciência Hoje das Crianças**, 72, 8-11, 1997.

Kirchhoff, V. W. J. H., E.Echer, N. Paes Leme, e A.A. Silva, A Variação Sazonal da Radiação Ultravioleta Solar Biologicamente Ativa, **Rev.Bras.Geofís.**, 18(1), 63-74, 2000.

PAPERS PUBLICADOS NA LITERATURA INTERNACIONAL

(Peer reviewed papers, international literature)

Kirchhoff, V.W.J.H., Schuch, N.J., Pinheiro, D.K., and Harris, J.M., Evidence for an Ozone Hole Perturbation at 30 degrees South, *Atmosph. Env.*, **30**, 1481-1488, 1996.

Kirchhoff, V.W.J.H., Zamorano B, F., and Casiccia S, C.A.R. UV-B Enhancements at Punta Arenas, Chile, *J. Photochem. Photobiol.*, **38**,174-177,1997.

Kirchhoff, V.W.J.H., Casiccia S, C.A.R., and Zamorano B, F., The Hole over Punta Arenas, Chile, Ozone *J. Geophys. Res.*, **102**, 8945-8953,1997.

Kirchhoff, V.W.J.H., Casiccia S., C.A.R., Zamorano B, F., Sahai, Y., and Valderrama, V., Observations of the 1995 ozone hole over Punta Arenas, Chile, *J. Geophys. Res.*, **102**,16109-16120, 1997.

Kirchhoff, V.W.J.H., e E. Echer, Tempestades de radiação ultravioleta na Antártida, *Ciência Hoje*, v**30**, no.178, 74-76, 2001.

Kirchhoff, V.W.J.H., and E.Echer, Erythema UV-B exposure near the Antarctic Peninsula and comparison with an Equatorial site, *Photochem. Photobiol.*, **60**, 102-107, 2001.

Casiccia, C.A.S., V.W.J.H. Kirchhoff, and A.Torres, Simultaneous measurements of Ozone and Ultraviolet Radiation: Spring 2000, Punta Arenas, Chile, accepted, *Atmosph. Env.*, October, 2002.

SIMPÓSIOS INTERNACIONAIS

Kirchhoff, V.W.J.H., and E.Echer, UV-B and Ozone anticorrelations at low and high latitudes, *SPARC 2000 Meeting*, Mar del Plata, Argentina, November 6-10, 2000.

Kirchhoff, V.W.J.H., E.Echer, N.Paes Leme, Vertical ozone distribution above the Brazilian Antarctic Station, *Quadrennial Ozone Symposium*, Sapporo, Hokkaido, Japan, July 3-8, 2000.

Kirchhoff, V.W.J.H., E.Echer, N.Paes Leme, C.Casiccia, F.Zamorano, and V.Valderrama, UV-B enhancements during ozone hole disturbances at the Brazilian Antarctic Station and Punta Arenas, *Quadrennial Ozone Symposium*, Sapporo, Hokkaido, Japan, July 3-8, 2000.

Paes Leme, N., V.W.J.H.Kirchhoff, E. Echer, C.Casiccia and F.Zamorano, UV-B x ozone anticorrelations at the Brazilian Antarctic Station, *Quadrennial Ozone Symposium*, Sapporo, Hokkaido, Japan, July 3-8, 2000.

Pinheiro, D.K. and V. W. J. H. Kirchhoff, Atmospheric NO₂ measurements at the Brazilian Antarctic Station, American Geophysical Union, *AGU Spring Meeting*, Washington DC May 30-June 4, 2002.

Pinheiro, D., V.W.J.H. Kirchhoff, A.A. Silva and N.P. Leme, Ozone, Nitrogen Dioxide, and Aerosol optical depth measurements made in South America using Brewer Spectrophotometers, paper presented at the *European Research Course on the Atmosphere, ERCA*, Grenoble, France, January 15, 2002.

DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

-Kirchhoff, V.W.J.H., “O Meio Ambiente e a Convenção do Clima”, **Agência Estado**, fevereiro de 2001.

-Entrevista de V.W.J.H.Kirchhoff na **Revista Ação Ambiental**, ano IV, 18, junho/julho de 2001.

LIVROS PUBLICADOS

Kirchhoff, V.W.J.H., **Ozônio e Radiação UV-B**, TRANSTEC EDITORIAL, 1995.