



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**INPE-13024-PRE/8301**

**INFLUÊNCIAS DOS SISTEMAS METEOROLÓGICOS NAS  
VARIÇÕES DA COLUNA TOTAL DE OZÔNIO ATMOSFÉRICO  
OBSERVADO NO SUL DO BRASIL, EM SÃO MARTINHO DA  
SERRA, RS**

Robinson Luciano Manfro\*

\*Bolsista UFSM

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE), orientado pelo  
Dr. Nelson Jesus Ferreira

INPE  
São José dos Campos  
2005



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**INFLUÊNCIAS DOS SISTEMAS METEOROLÓGICOS NAS  
VARIAÇÕES DA COLUNA TOTAL DE OZÔNIO ATMOSFÉRICO  
OBSERVADO NO SUL DO BRASIL, EM  
SÃO MARTINHO DA SERRA, RS.**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
PIBIC/CNPq/INPE-MCT**

**PROCESSO Nº 104434/2004-0**

Robinson Luciano Manfro (UFSM, Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT)

E-mail: [manfro@lacesm.ufsm.br](mailto:manfro@lacesm.ufsm.br)

Nelson Jesus Ferreira (Orientador, CPTEC/INPE – MCT)

E-mail: [nelson@cptec.inpe.br](mailto:nelson@cptec.inpe.br)

**Santa Maria, junho de 2005**



### Dados de identificação:

**Bolsista:**

Robinson Luciano Manfro  
Acadêmico de Engenharia Química  
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

**Processo:**

CNPq: 104434/2004-0

**Orientador:**

Dr. Nelson Jesus Ferreira  
Centro de Previsão e Estudos Climáticos – CPTEC/INPE – MCT.  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT.

**Colaboradores:**

Dr. Nelson Jorge Schuch – CRSPE/INPE - MCT  
Dra. Damaris Kirsch Pinheiro – LACESM/CT – UFSM  
Samara Carbone – Acadêmica do curso de Engenharia Química –  
UFSM

**Local de Trabalho/Execução do Projeto:**

Laboratório Troposfera – Estratosfera Radiação Ultravioleta – Ozônio  
Atmosférico – CRSPE/INPE – MCT  
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT –  
UFSM  
Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT

---



## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. OBJETIVOS.....	7
2.1 OBJETIVO DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO DE OZÔNIO ATMOSFÉRICO.....	7
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DO PROJETO.....	8
3. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO.....	9
3.1. O OZÔNIO.....	9
3.1.1. O OZÔNIO ATMOSFÉRICO.....	9
3.1.2. FORMAÇÃO E DESTRUIÇÃO DO OZÔNIO.....	9
3.1.3. A DISTRIBUIÇÃO GLOBAL DE OZÔNIO NA ESTRATOSFERA.....	12
3.1.3. PODER DE ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO UV PELO OZÔNIO.....	15
3.1.4. UNIDADE DOBSON.....	16
3.2. ATMOSFÉRA.....	17
3.2.1. COMPOSIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	18
3.2.2. TEMPERATURA E AS CAMADAS ATMOSFÉRICAS.....	18
3.3. CIRCULAÇÃO GERAL ATMOSFÉRICA.....	22
3.3.1. CÉLULA DE HADLEY.....	23
3.3.2. CÉLULA DE FERREL.....	23
3.3.3. CÉLULA POLAR.....	23
3.4. PRINCIPAIS MASSAS DE AR.....	24
3.4.1. POLAR CONTINENTAL ( <i>Pc</i> ).....	28
3.4.2. POLAR MARÍTIMA ( <i>mP</i> ).....	30
3.4.3. TROPICAL MARÍTIMA ( <i>Tm</i> ).....	31
3.4.4. TROPICAL CONTINENTAL ( <i>Tc</i> ).....	32
3.5. CENTROS DE ALTA E BAIXA PRESSÕES.....	33
4. METODOLOGIA.....	35
4.1 ESPECTROFOTÔMETROS BREWER MK IV e MKII.....	35
4.2 ESPECTROFOTÔMETRO BREWER MKIII #167.....	37
4.3 TOTAL OZONE MAPPING SPECTROMETER.....	40
4.4. ANÁLISE DAS TRAJETÓRIAS.....	41
5. ATIVIDADES DO BOLSISTA.....	43
5.1 VISITAS AO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL,.....	43
5.1.1. CALIBRAÇÃO DOS ESPECTROFOTÔMETROS BREWER.....	43
5.1.2. MANUTENÇÃO PREVENTIVA DOS EQUIPAMENTOS.....	45
5.1.3. COLETA DE DADOS.....	45
5.2. ANÁLISE DOS DADOS.....	46
6. RESULTADOS.....	47
6.1. ANÁLISE DOS DADOS DOS BREWERS.....	47
6.2. DISTRIBUIÇÃO ANUAL DO OZÔNIO NO OES/CRSPE/INPE – MCT ..	47

---



6.3. PERTURBAÇÕES NA CONCENTRAÇÃO DO OZÔNIO ATMOSFÉRICO .....	49
6.4. TRAJETÓRIAS DOS CAMPOS DE VENTO .....	50
7. CONCLUSÕES .....	54
8. PERSPECTIVAS DE ATIVIDADES FUTURAS .....	55
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56
10. ATIVIDADES EXTRACURRICULARES .....	58
Anexos – Certificados .....	60
Anexos – Resumos .....	61

---



## **1. INTRODUÇÃO**

O projeto de Monitoramento da Camada de Ozônio, que faz parte do Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico – PMOA vem sendo realizado desde 1992 no sul do Brasil em Santa Maria – RS, através da Parceria entre o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais do Instituto Nacional Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT e o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, através do CRSPE e LACESM, participa da Cooperação Científica Internacional Brasil - Japão em Ciências Espaciais Básicas e Ciências Atmosféricas, implementando sete grandes áreas de pesquisa no Sul do Brasil, com os equipamentos instalados no Observatório Espacial do Sul INPE/UFSM, em São Martinho da Serra, desde dezembro de 1996.

No Laboratório Troposfera – Estratosfera Radiação Ultravioleta – Ozônio Atmosférico do CRSPE/INPE - MCT onde é desenvolvido o Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico em Parceria com o LACESM/CT/UFSM, existem uma série de equipamentos que monitoram continuamente a Radiação Ultravioleta Tipo A e Tipo B, a Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) e também a Coluna Total de Ozônio Atmosférico.

Desde 1992 até o presente momento foram instalados três Espectrofotômetros Brewers, o primeiro deles foi o MKIV número 081 que operou de 1992 a 2000, o segundo Brewer foi MKII número 056 que operou de 2000 a 2002, estes dois Brewers eram compostos com um simples monocromador com banda espectral de 290 a 325 nm. O terceiro Brewer instalado, presente até o momento, é o mais sofisticados em relação aos anteriores, pois este é composto com duplo monocromador com banda espectral compreende de 286.5 a 363.0 nm.

---



Para a realização deste trabalho foi utilizado dado da Coluna Total de Ozônio Atmosférico dos respectivos Brewers, instalados inicialmente em Santa Maria até 12/1996 e posteriormente no Observatório Espacial do Sul (29,44°S, 53,8°O) em São Martinho da Serra.

O objetivo principal deste trabalho é analisar eventos de aumento e de queda da Coluna Total de Ozônio Atmosférico, juntamente procurando identificar as causas destas anomalias na concentração do ozônio atmosférico.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO DE OZÔNIO ATMOSFÉRICO**

O Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico, desenvolvido dentro do Programa de Cooperação Técnico-Científica entre o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE e o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM, executado em Convênio com o Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Convênio: MMA – UFSM, em Cooperação com o Laboratório de Ozônio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, no âmbito dos Convênios MCT/INPE – UFSM e Agência Espacial Brasileira, Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência – Convênio: AEB/PR – FATEC/UFSM, objetiva o monitoramento, as análises estatísticas e comportamentais da Camada de Ozônio, na latitude de 30º Sul, acompanhando e estudando a expansão do fenômeno “Buraco de Ozônio Antártico” e seus efeitos secundários na latitude de Santa Maria/São Martinho da Serra, bem como a correlação com o monitoramento sistemático da Radiação Ultravioleta, de partículas de radiação cósmica, de gases traçadores atmosféricos, NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>, com dados físicos e meteorológicos obtidos através de sondagens troposféricas e estratosféricas e correlação com os fenômenos da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS.

---



## **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DO PROJETO**

- Obter uma distribuição média da coluna total de ozônio ao longo do ano.
  - De posse da distribuição média da coluna total de ozônio, selecionar períodos onde ocorreram grandes variações em um curto período de tempo.
  - Para os períodos selecionados, localizar as origens das massas de ar responsáveis pela alteração no comportamento médio da coluna total de ozônio atmosférico.
  - Avaliar quais fatores meteorológicos que ocorrem com mais frequência nos períodos de grande perturbação na concentração do ozônio atmosférico.
-

## **3. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO**

### **3.1. O OZÔNIO**

#### **3.1.1. O OZÔNIO ATMOSFÉRICO**

O componente atmosférico mais importante na atenuação da radiação Ultravioleta do tipo B, é o Ozônio.

O Ozônio é uma molécula constituída por 3 átomos de oxigênio e é um dos gases minoritários da atmosfera terrestre, cuja maior concentração ocorre na Estratosfera (16 – 50 km). Nesta região, a temperatura começa a aumentar com a altura porque, ao absorver radiação ultravioleta, o ozônio libera energia na forma de calor. Isso influi decisivamente na estrutura da atmosfera. A existência dessa maior concentração de ozônio na Estratosfera determina a inversão do perfil de temperatura na Tropopausa (limite entre a Troposfera e a Estratosfera) e o máximo secundário na Estratopausa (limite entre a Estratosfera e a Mesosfera), sendo uma fonte de calor que alimenta diversos processos dinâmicos e contribui para o sistema de circulação atmosférica global.

Esta camada é muito estável e cerca de 90% do ozônio total encontra-se entre 15 e 30 km. A região entre 25 e 35 km de altitude é conhecida como Camada de Ozônio pela maior abundância deste elemento entre estes limites.

#### **3.1.2. FORMAÇÃO E DESTRUIÇÃO DO OZÔNIO**

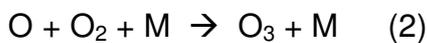
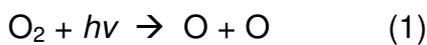
A formação da Camada de Ozônio Estratosférica pode ser compreendida de modo simplificado pelo Modelo de Chapman, que foi primeiramente apresentado em 1930. Na estratosfera, a energia da radiação UV é suficientemente intensa para produzir a dissociação do oxigênio molecular ( $O_2$ ), que posteriormente, através da associação de um terceiro corpo, forma o

---

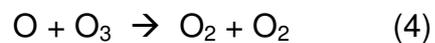
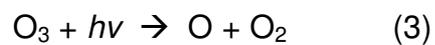
ozônio ( $O_3$ ) estratosférico. Por sua vez, o processo de dissociação do ozônio (destruição), absorve radiação UV. Assim, tanto na formação de ozônio como na sua há absorção de energia  $h\nu$  correspondente à radiação UV, sendo o processo de destruição de ozônio o mais efetivo na absorção da radiação UV-B.

Conforme o modelo de Chapman, os processos ocorrem segundo as reações:

FORMAÇÃO:

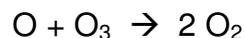
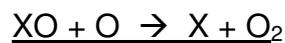


DESTRUIÇÃO:



Na reação (1) ocorre a fotodissociação das moléculas de oxigênio por radiação solar nos comprimentos de onda entre 180 e 240 nm (UV-C); em (2) a junção do oxigênio atômico e molecular na presença do terceiro corpo (M); em (3) a fotodissociação do ozônio na faixa entre 200 e 310 nm, e em (4) a destruição de ozônio pela reação com o átomo de oxigênio.

Trabalhos na década de 70 descobriram que a reação (4) não era suficiente para conciliar a teoria com as observações do perfil da concentração de ozônio. Foi sugerido o seguinte processo catalítico de perda:



Como o esquema é catalítico, o elemento que produz a destruição se regenera novamente. No caso de uma estratosfera limpa, os elementos que poderiam substituir X são OH e NO, sendo que o OH é mais eficiente na alta estratosfera e o NO na baixa estratosfera. No caso de uma estratosfera perturbada, com produtos de origem antropogênica, tais como

---

clorofluorcarbonos, com espécies que podem liberar cloro, o elemento X pode ser o Cl (cloro atômico) e este ciclo adquire grande importância.

As Fig. 1 e 2 ilustram de forma simplificada a formação e a destruição do ozônio atmosférico, respectivamente, segundo o Modelo de Chapman:

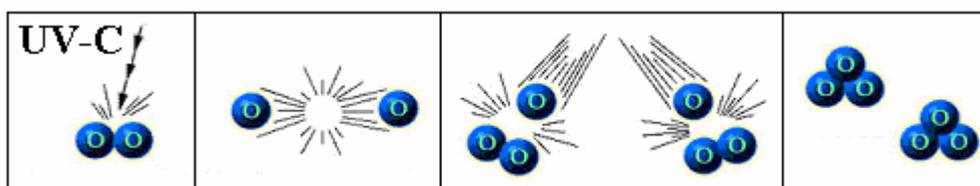


Fig. 1 - Processo de Chapman para produção de ozônio. Adaptado de: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

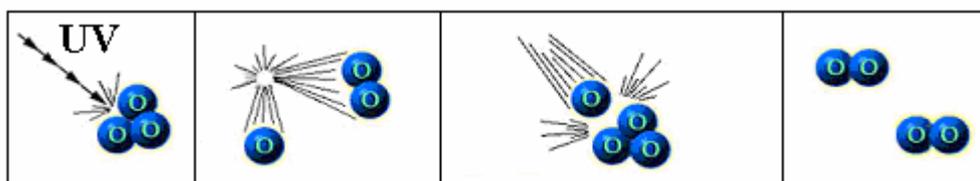


Fig. 2 - Processo de Chapman para destruição do ozônio. Adaptado de: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

A Fig. 3 ilustra a interação da molécula de clorofluorcarbono (CFC) com a radiação ultravioleta, a grandes altitudes, ocasionando a liberação de um átomo de Cloro (1 e 2), que promove o ataque e a destruição da molécula de Ozônio (3). Formam-se moléculas de Oxigênio e Óxido de Cloro (4). Ao final do processo, o cloro atômico está novamente livre para promover novos ataques (6).

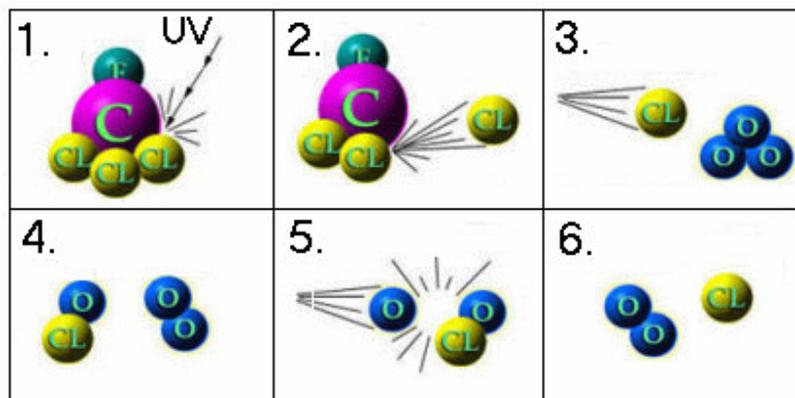


Fig. 3 - Processo catalítico de destruição da molécula de ozônio por átomo de cloro liberado por uma molécula de CFC. Adaptado de: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>

Como a molécula de ozônio tem um tempo de vida muito grande na estratosfera, da ordem de meses, os processos de transporte em grande escala adquirem importância, podendo o ozônio ser transportado tanto horizontal quanto verticalmente.

### 3.1.3. A DISTRIBUIÇÃO GLOBAL DE OZÔNIO NA ESTRATOSFERA

Na ausência de qualquer outro fator, poderia pensar que níveis da coluna total de ozônio seriam mais altos em cima dos trópicos e correspondentemente abaixaria nas regiões polares, isso tudo, por causa da maior intensidade de radiação ultravioleta solar nas regiões equatoriais. Tendo em vista as reações do ciclo de produção e perda de ozônio.

Era de esperar que níveis de ozônio na estratosfera deveriam diminuir à medida que avançamos na latitude em direção aos pólos, pois a intensidade da Radiação Ultravioleta diminui à medida que aproximamos dos pólos. Porém, este não é o caso. Realmente, o fato que ocorre é exatamente o contrário disto.

A distribuição de ozônio simplesmente não é um equilíbrio entre produção e perda. Ventos podem transportar ozônio para longe da região de produção, alterando a distribuição básica do ozônio na atmosfera.

As largas características da distribuição global de ozônio são razoavelmente bem estabelecidas. (veja, por exemplo, Londres et al.. 1967, Shimizu, 1971). Para uma média anual, a concentração total de ozônio possui um mínimo nas latitudes equatoriais e aumenta em ambos os hemisférios para um máximo nas latitudes de subpolar.

A máxima densidade do ozônio ocorre nas altas latitudes devido o resultado de transporte do ozônio da região de produção primária que se dá em latitudes equatoriais e na estratosfera superior para a baixa estratosfera em regiões polares, onde tem um tempo de relaxamento fotoquímico relativamente longo.

Nota que a exposição eritematosa (exposição espectral responsável pela queimadura de pele) mostrada na Fig. 4 tem níveis mais altos nos trópicos. Estes altos níveis estão associados ao ângulo solar sobre a região dos trópicos associadas com os baixos níveis de ozônio dos trópicos.

Na Fig. 5 mostra a coluna total de ozônio obtida pelo sensor Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) abordo do satélite da NASA Nimbus-7. As falhas que apresenta o mapa refere-se a contínua noite polar, pois o TOMS não efetua medidas sobre uma área que não esta sendo iluminada pela radiação solar.

---

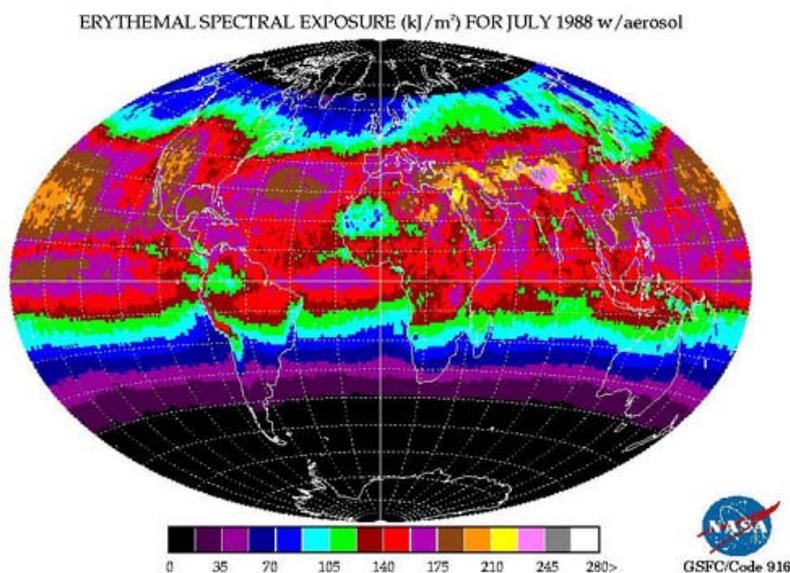


Fig. 4 – Energia eritematosa no mês de julho de 1988.  
Fonte: <http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/class>

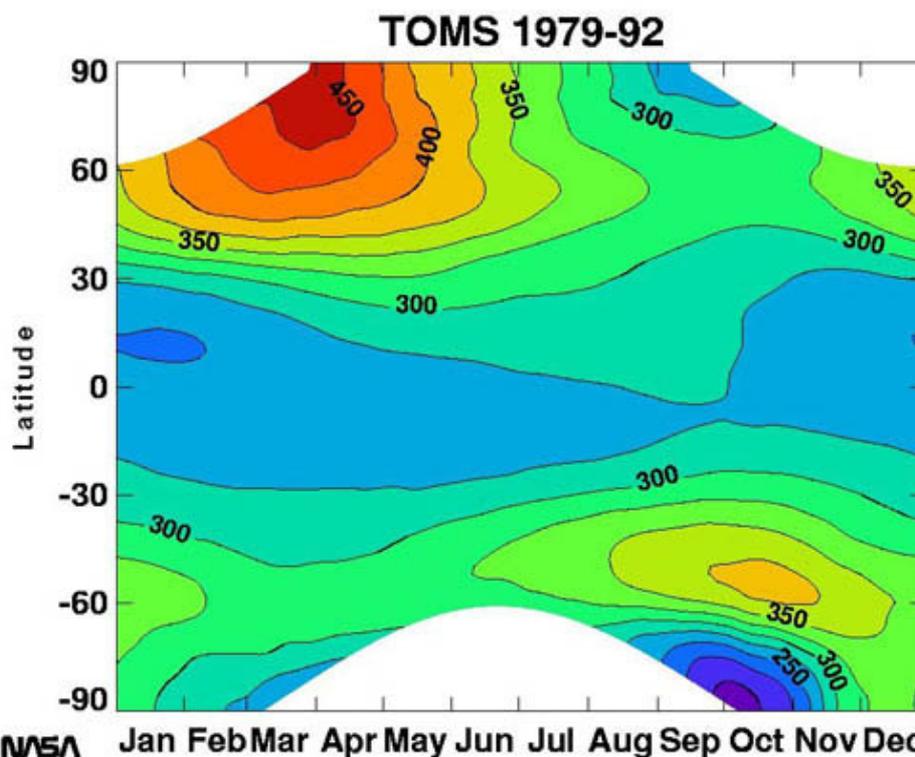


Fig. 5 – Média da coluna total de ozônio atmosférico em cores falsas, níveis altos de ozônio em laranja e vermelho, enquanto baixos níveis são mostrados dentro azul e violeta.  
Fonte: <http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/class>

### **3.1.4. PODER DE ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO UV PELO OZÔNIO**

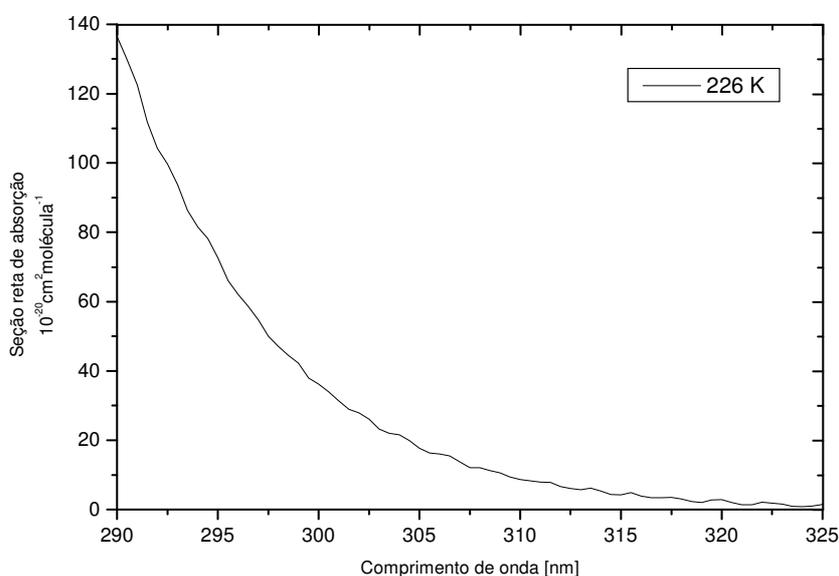
Uma vez que a radiação ultravioleta, em especial a radiação UV-B, pode causar sérios danos aos sistemas biológicos, o ozônio atmosférico assume um papel de importância vital para a Biosfera terrestre. A radiação UV-B é a mais suscetível às variações da quantidade de ozônio.

O ozônio absorve na banda contínua entre 200 e 300 nm denominada banda Hartley, e na banda entre 300 e 360 nm, chamada banda Huggins, na qual absorve debilmente. O ozônio também absorve na banda Chappius, que começa em 410 nm e vai até comprimentos de onda do infravermelho, que não tem importância no estudo da radiação UV.

A Fig. 6 apresenta a seção reta de absorção molecular para o ozônio na temperatura de 226 K para a faixa 290-325 nm, obtidos por Molina e Molina (1986). Observa-se que a seção reta de absorção molecular decai exponencialmente com o comprimento de onda na região espectral considerada, ou seja, a absorção de radiação pelo ozônio é mais intensa em comprimentos de onda mais curtos.

Outros gases na atmosfera que podem afetar os níveis de UV, geralmente em regiões poluídas, são o dióxido de nitrogênio, NO<sub>2</sub>, e o dióxido de enxofre, SO<sub>2</sub>, mas estes poluentes possuem uma concentração na atmosfera muito pequena quando comparados com o ozônio.

---



**Fig. 6 – Seção de absorção molecular de ozônio (290 – 325 nm) – temperatura de 226 K.**

### 3.1.5. UNIDADE DOBSON

A Unidade Dobson é definida como a integral da concentração das moléculas de ozônio na atmosfera. A concentração de ozônio pode ser definida pela densidade de massa  $\rho_{\text{O}_3}$  (gramas por  $\text{cm}^3$ , por exemplo) ou pela densidade numérica  $n_{\text{O}_3}$  (moléculas por  $\text{cm}^3$ ). Quando se usa a atmosfera terrestre como uma célula de absorção para a luz solar, é importante definir a quantidade total de moléculas de ozônio no caminho óptico da radiação. Surge então a definição de “ozônio total” ou “coluna total de ozônio”.

A unidade adotada para a Coluna Total de Ozônio é a Unidade Dobson (UD). Uma Unidade Dobson (1 UD) equivale a uma coluna atmosférica de ozônio de 0,001 cm de espessura, comprimida nas condições normais de temperatura e pressão,  $0^\circ\text{C}$  e 1 atm. Uma Unidade Dobson contém  $2,69 \cdot 10^{16}$  moléculas de Ozônio, numa coluna de base unitária de área  $1 \text{ cm}^2$ . A Figura 7 ilustra a definição de Unidade Dobson.

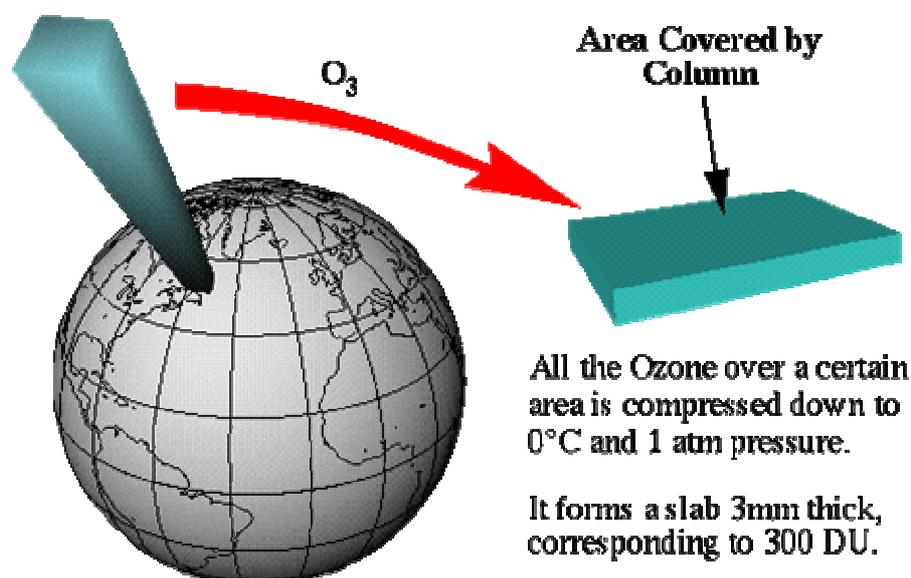


Fig. 7 - Esquema ilustrando a definição da coluna total de ozônio e da Unidade Dobson. Fonte: <http://see.gsfc.nasa.gov>

### 3.2. ATMOSFÉRA

A Atmosfera é uma fina camada que envolve o globo terrestre composta de gases, retida pela gravidade. Segundo O. Ayoade podemos definir atmosfera como sendo uma fina camada de gases sem cheiro, sem cor e sem gosto, presa à Terra pela força da gravidade (in: Introdução à climatologia dos Trópicos), Meteorologia. Visto do espaço, o planeta Terra aparece como uma esfera de coloração azul brilhante. Esse efeito cromático é produzido pela dispersão da luz solar sobre a atmosfera.

### **3.2.1. COMPOSIÇÃO ATMOSFÉRICA**

Segundo Barry e Chorley, 1976, a composição da atmosfera e sua estrutura vertical possibilitaram o desenvolvimento da vida no planeta. A sua composição, quando seca e abaixo de 25 km é: Nitrogênio (N<sub>2</sub>) 78,08 %, atua como suporte dos demais componentes, de vital importância para os seres vivos, fixado no solo pela ação de bactérias e outros microrganismos, é absorvido pelas plantas, na forma de proteínas vegetais; Oxigênio (O<sub>2</sub>) 20,94 % do volume da atmosfera, sua estrutura molecular varia conforme a altitude em relação ao solo, é responsável pelos processos respiratórios dos seres vivos; Argônio (Ar) 0,93 %; Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (variável) 0,035 %; Hélio (He) 0,0018 %; Ozônio (O<sub>3</sub>) 0,00006 %; Hidrogênio (H<sub>2</sub>) 0,00005 %; Criptônio (Kr) indícios; Metano (Me) indícios; Xenônio (Xe) Indícios; Radônio (Rn) indícios.

### **3.2.2. TEMPERATURA E AS CAMADAS ATMOSFÉRICAS**

A temperatura da atmosfera da Terra varia entre camadas em altitudes diferentes, portanto, a relação matemática entre temperatura e altitude também varia, sendo uma das bases da classificação das diferentes camadas da atmosfera. A atmosfera está estruturada em três camadas relativamente quentes, separadas por duas camadas relativamente frias. Os contatos entre essas camadas são áreas de descontinuidade, e recebem o sufixo "pausa", após o nome da camada subjacente.

#### **3.2.2.1 TROPOSFERA**

A troposfera é a camada atmosférica que se estende da superfície da Terra até a base da estratosfera. (0 - 7/17 km), a temperatura diminui com a altitude, esta camada responde por oitenta por cento do peso atmosférico, sua

---

espessura média é de aproximadamente 12 km, atingindo até 17 km nos trópicos e reduzindo-se para em torno de sete quilômetros nos pólos.

### **3.2.2.2 TROPOPAUSA**

A tropopausa é o nome dado à camada intermediária entre a troposfera e a estratosfera, situada a uma altura média em torno de 17km no equador. A distância da tropopausa em relação ao solo varia conforme as condições climáticas da troposfera, da temperatura do ar, a latitude entre outros fatores. Se existe na troposfera uma agitação climática com muitas correntes de convecção, a tropopausa tende a subir. Isto se deve por causa do aumento do volume do ar na troposfera, que empurrará a tropopausa para cima. Ao subir a tropopausa esfria, pois o ar acima dela está mais frio.

Na região tropical, a tropopausa tem sua maior altitude em relação ao solo, isto se deve por causa das temperaturas maiores do ar na região. Uma vez que a tropopausa está mais alta, a temperatura dos gases que a compõe tende a cair, portanto é no equador que a tropopausa atinge sua menor temperatura, chegando em torno de oitenta graus negativos. Nos últimos vinte anos, a altura média da tropopausa tem subido, isto se deve ao aquecimento global. Do ano de 1980 até o ano 2000, a região subiu cerca de duzentos metros de altura média em relação ao solo. Isto tem causado preocupação entre os meteorologistas, pois indica claramente que a temperatura global tem aumentado significativamente (<http://pt.wikipedia.org>).

### **3.2.2.3 ESTRATOSFERA**

A estratosfera se caracteriza pelos movimentos de ar em sentido horizontal, fica situada entre 7 e 17 até 50 km de altitude aproximadamente, sendo a segunda camada da atmosfera compreendida entre a troposfera e a mesosfera, a temperatura aumenta à medida que aumenta a altura. Ela apresenta pequena concentração de vapor d'água e temperatura constante até a

---

região limítrofe, denominada estratopausa. Na sua parte inferior, flui uma corrente de ar em jato, conhecida como jet stream, que exerce influência na meteorologia das zonas temperadas; entre trinta e cinquenta quilômetros, encontra-se a ozonfera, onde moléculas de ozônio absorvem a radiação ultravioleta do Sol devido a reações fotoquímicas, filtrando-as; neste ponto da estratosfera, o ar se aquece até a temperatura atingir cerca de 10°C. Na estratosfera existem as nuvens-de-madrepérola, estas são formadas pela capa de ozônio, costuma ser muito estável, principalmente no espaço compreendido entre a tropopausa e a camada de ozônio.

#### **3.2.2.4 ESTRATOPAUSA**

Estratopausa é a camada de transição que está situada entre a estratosfera e mesosfera. A maior parte do ozônio da atmosfera situa-se em torno de 22 quilômetros acima da superfície do Planeta Terra, na região próxima à estratopausa, na parte superior da estratosfera. A estratosfera tem como limite superior a estratopausa onde está o ponto de inflexão da temperatura, sua temperatura se mantém em torno de 0° C.

Os movimentos de ar nesta região são quase em sua totalidade horizontais, obedecendo aos ventos da estratosfera.

#### **3.2.2.5. MESOSFERA**

A Mesosfera é a camada atmosférica onde há uma substancial queda de temperatura chegando até a -90°C em seu topo, está situada entre a estratopausa em sua parte inferior e mesopausa em sua parte superior, entre 50 a 85 km de altitude. É na mesosfera que ocorre o fenômeno da aeroluminescência das emissões da hidroxila.

---

A mesosfera é uma região pouco conhecida, sabe-se que é possível monitorar as ondas de maré e ondas de gravidade através dos movimentos que se propagam através dos gases ionizados desta região. Nesta região também é possível observar as ondas atmosféricas que são facilmente observáveis devido ao fenômeno da aeroluminescência.

### **3.2.2.6. MESOPAUSA**

A mesopausa é a região da atmosfera que determina o limite entre uma atmosfera com massa molecular constante de outra onde predomina a difusão molecular.

Situa-se a aproximadamente em 90 km de altitude, é a região onde existe a temperatura mais baixa na atmosfera, cerca de oitenta graus Celsius negativos.

Na mesopausa é onde ocorre o fenômeno de reações de quimiluminescência, ou aeroluminescência

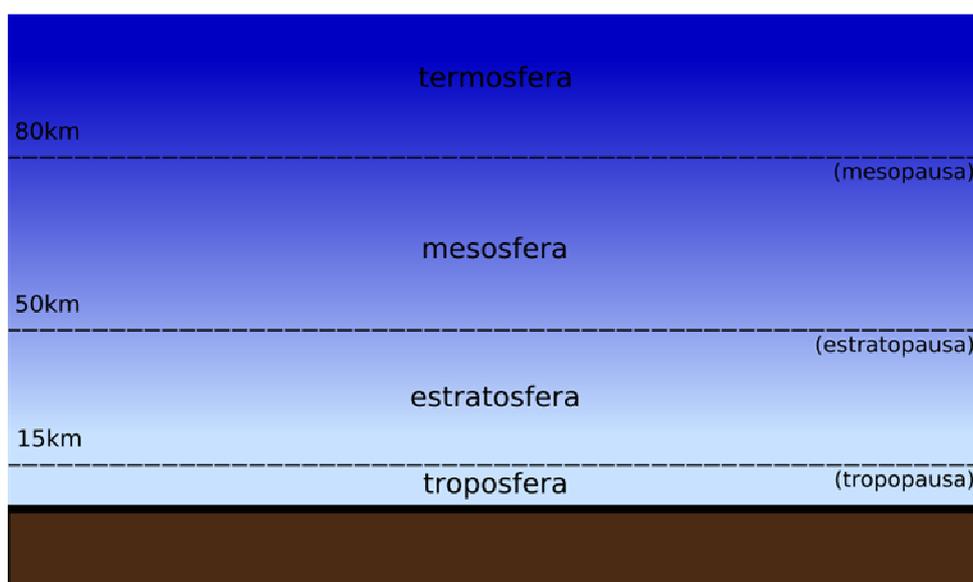
### **3.2.2.7. TERMOSFERA**

A termosfera está localizada acima da mesopausa, sua temperatura aumenta com a altitude rápida e monotonicamente até onde a densidade das moléculas é tão pequena e se movem em trajetórias aleatórias tal, que raramente se chocam. Também chamada de quimiosfera esta camada da atmosfera vai desde 80, 85 Km, até aproximadamente 640 km de altitude, em relação à superfície do planeta Terra. O aquecimento na termosfera, é devido a absorção de radiação solar no extremo ultravioleta superior, raios X e raios gama.

Os átomos isolados de oxigênio e nitrogênio reagem e dissociam-se em íons, formando camadas ionizadas que variam conforme a hora do dia, época do ano, vento solar, entre outros. Nesta região, os íons absorvem parte da

---

radiação ultra-violeta vindos do sol. Na parte superior da termosfera existe a exosfera, região onde as moléculas movem-se em trajetórias balísticas e raramente colidem entre si.



**Figura 08** – Esquema ilustrando as camadas constituintes da atmosfera.

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:Atmo\\_camadas.png](http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:Atmo_camadas.png)

### 3.3. CIRCULAÇÃO GERAL ATMOSFÉRICA

Denomina-se por este nome o sistema mundial de ventos, mais ou menos permanentes, da troposfera e a estratosfera inferior. Se a superfície terrestre fosse lisa e de composição uniforme, por exemplo, se toda a superfície fosse coberta pelo mar, e sem inclinação do eixo, as distribuições

médias a longo prazo dos ventos, temperatura, precipitação, etc, estariam ordenadas em zonas paralelas ao equador, sem variação com a longitude geográfica.

Mas basta examinar um mapa climatológico para verificar as grandes influências dos oceanos e continentes, cordilheiras, etc.

Pela configuração que o planeta possui a forma e as distribuições dos continentes, juntamente com a inclinação, e a presença de mais massa de terra no hemisfério de norte que no hemisfério sul, tudo isto faz com que o padrão global de circulação seja muito mais complicado. No lugar de um modelo de circulação em uma única célula, a circulação global consiste em um modelo de três células tanto para o hemisfério norte como para hemisfério o sul. Estas três células são: a célula tropical (também é conhecido como célula Hadley), a célula de meia latitude (também é conhecido como célula Ferrel), e a célula polar.

### **3.3.1. CÉLULA DE HADLEY**

Na célula tropical ou de Hadley o ar de baixas latitudes que fluem até o equador, sobe verticalmente devido ao aquecimento, chegando próximo a tropopausa o ar se desloca em direção aos pólos. Isto forma uma célula de transmissão que domina os climas tropicais e subtropicais.

### **3.3.2. CÉLULA DE FERREL**

Uma célula de circulação atmosférica de latitudes médias foi descoberta por Ferrel no século de XIX. Nesta célula, o ar próximo da superfície flui em direção aos pólos e para leste, o ar em níveis mais altos flui em direção ao equador e para o oeste.

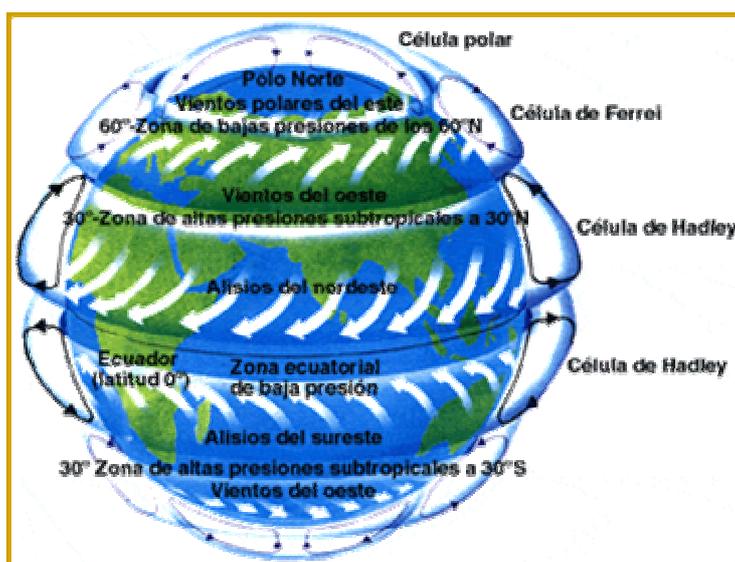
### **3.3.3 CÉLULA POLAR**

O ar ascende, diverge e viaja para os pólos. Uma vez que se encontra em cima dos pólos, o ar afunda e forma as zonas polares de alta pressão.

---

Na superfície o ar diverge para fora dessas zonas de alta pressão. Na superfície da célula polar os ventos são de leste (do leste polar).

Este modelo de três células é essencial para uma descrição inicial, sendo ele muito simplificado. Apesar disso, é uma boa maneira de ter uma idéia geral dos principais sistemas de circulação geral atmosférica. Na Figura 09 podemos ter uma clara idéia do regime de circulação atmosférica geral.



**Figura 09** – Demonstração esquemática dos principais sistemas de circulação geral atmosférica.

### 3.4. PRINCIPAIS MASSAS DE AR

As propriedades do ar dependem da radiação, da troca de calor e com a umidade da superfície da terra subjacente para a qual o ar foi submetido. Desta consideração podemos distinguir entre massas de ar com propriedades típicas definidas por locais geográficos, ou "regiões-fontes" onde as propriedades foram adquiridas, devido à massa de ar ter ficado longos períodos sobre a região de modo a adquirir as características e propriedades.

---

Taljaard (1972) considerava que as propriedades das massas de ar são muito mais variáveis e complexas do que originalmente se visualizava. As regiões-fontes não podem ser facilmente delimitadas e os processos de transformação são tantos e tão variados que as propriedades e a estrutura vertical observadas em casos individuais não podem ser explicados, freqüentemente, sem alguma ambigüidade. Massas de ar foram divididas em muitas classes, dependendo da região-fonte e subsequente da história de vida do ar em movimento. Considerando-se os processos advectivos de grande escala na atmosfera e as modificações das diferentes propriedades do ar devido à radiação, troca de calor e umidade entre a superfície da terra e a atmosfera, processos de condensação, etc., as subdivisões de massas de ar pode ser inúmeras. Para tanto, será necessário minimizar as questões mais complexas e adotar uma classificação genérica, mas que tenha por base as regiões-fontes. Desde modo, porém, o propósito é só lidar com algumas das mais importantes características da estrutura atmosférica e padrões de fluxo no global.

Denominam-se massas de ar as porções de ar atmosférico que possuem razoável homogeneidade horizontal na distribuição das propriedades termodinâmicas, notadamente temperatura e umidade. A homogeneidade é alcançada pelo longo tempo de contato entre porções de ar e as regiões-fontes. Além das duas propriedades já citadas, outras características são observadas quando se procura definir a massa de ar: a profundidade (ou espessura) e a estabilidade.

A maioria das classificações de massas de ar originais foi deduzida a partir de análises sinóticas de superfície onde foi fortemente influenciada pela pressão e padrões de fluxo em níveis baixos. Porém, considerando o forte vento vertical que corta o globo em muitas partes, e a variação da direção do vento em alturas diferentes, o ar em diferentes níveis numa determinada coluna pode ter vindo de regiões extensamente diferentes num recente passado de tempo. Devido a isto, e para grandes variações da altura para o qual a

---

influência da superfície da terra pode penetrar diretamente, é freqüentemente muito difícil de classificar diferentes camadas de uma coluna de ar de acordo com suas regiões-fonte originais.

Considerando as propriedades e outras características termodinâmicas, as massas de ar se classificam como demonstra a Tab. 1:

Propriedade	Temperatura	<i>Quente</i>
		<i>Fria</i>
	Umidade	<i>Seca</i>
		<i>Úmida</i>
Outras Características	Profundidade ou Espessura	<i>Rasa</i>
		<i>Profunda</i>
	Estabilidade	<i>Estável</i>
		<i>Instável</i>

**Tab. 1 – Classificação geral das massas de ar.**

Chama-se massa de ar quente quando ela é mais quente que o ar que lhe é circunvizinho. Isso implica que a massa de ar quente é mais quente que a superfície sobre a qual ela se desloca. Um exemplo interessante de massa de ar quente é a polar continental ou antártica: o ar subsidente, que se aquece adiabaticamente no percurso entre a tropopausa polar sul e o continente antártico, encontrará uma superfície mais fria do que ele. O mesmo ocorrerá na subsidência sobre a região sul do continente sul-americano, pois a massa de ar seco que desce a sotavento dos Andes se aquece adiabaticamente durante a descida e ao chegar encontrara uma superfície mais fria.

A massa de ar proveniente do continente antártico desloca-se para o oceano circumpolar, esta quando chegar, encontrará a superfície do oceano mais quente que ela e, por isso, se caracteriza como uma massa de ar fria. Fato semelhante ocorre com o ar que sai do continente sul-americano, na circulação dos ventos predominantes de oeste, para encontrar um oceano mais quente.

A massa de ar é seca, quando o processo que conduz sua formação propicia permanente ausência de umidade. É o caso daquelas que se formam

---

depois da perda de água, como a barlavento dos Andes, sobre a região sul da América do Sul ocorre massa de ar com essa característica.

É úmida a massa que tende a ser permanentemente realimentada de vapor d'água pela região-fonte, é o que ocorre com as que têm formação marítima, se o ar é aquecido por baixo pelo oceano mais quente ou mesmo quando o ar naturalmente úmido é transportado horizontalmente para regiões circunvizinhas. Na região circumpolar antártica, assim como na área marítima a leste da região sul do continente sul-americano, o ar frio que vem do continente é aquecido por baixo pelo oceano mais quente; ainda sobre o Atlântico Sul, na área subequatorial, os alísios transportam umidade para a zona de convergência intertropical e para o continente mais seco. Essas situações criam massas de ar úmidas. Na Tab. 2 encontramos uma classificação das massas de ar de acordo com a superfície e região geográfica formadora.

Massas de ar por:	Região geográfica	Equatorial
		Tropical
		Polar Ártica ou Antártica
	Tipos de superfície	Marítima
		Continental

**Tab. 2** – Classificação geral das regiões-fonte formadoras das Massas de ar.

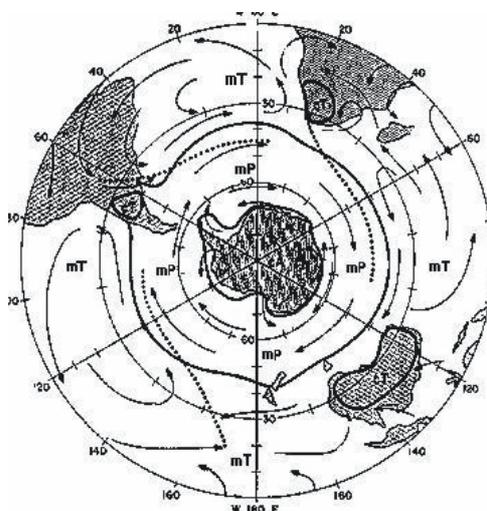
A espessura ou profundidade da massa é a sua medida vertical, isto é, a medida de sua altura, entre a base e o topo. A massa de ar tende a ser rasa quando sua formação favorece a compactação do ar, como, por exemplo, nas regiões de subsidência, em que a superfície é o limite inferior e no topo se configura uma inversão de temperatura. A massa será profunda sempre que a sua instabilização propiciar a livre ascensão do ar, até os limites superiores da atmosférica.

Antes da descrição das principais massas de ar, será necessário classificá-las, ainda, de acordo com as respectivas regiões-fontes:

---

- polar continental (*Pc*);
- polar marítima (*Pm*);
- tropical continental (*Tc*);
- tropical marítima (*Tm*).

Na Fig. 10 se refere ao verão antártico, onde é possível distinguir as regiões-fontes que favorecem o surgimento das principais massas de ar no hemisfério sul.



**Fig. 10 – Regiões-fonte e padrões de escoamento médio de massas de ar no verão.**

**Fonte: Taljaard (1972)**

### **3.4.1.POLAR CONTINENTAL (*Pc*)**

Forma-se na Antártica, evidentemente é fria. É considerada seca, pois é formada pelo ar subsidente que se aquece e isso favorece a redução de umidade relativa. É estável e rasa de pequena profundidade (3 a 4 km), devido ao movimento de descida do ar sobre a superfície continental.

---

A subsidência do ar da célula polar de circulação geral causará a formação de uma massa de ar sobre o pólo. No hemisfério sul, essa massa se posicionará sobre a Antártica.

O primeiro fato importante é que a subsidência pela *TVVT* adiabática promoverá o aquecimento, na ordem de um grau a cada cem metros, e a redução da umidade relativa da massa. Por outro lado, as temperaturas do ar acima das superfícies de neve caem muito, pois ela é boa refletora e pobre radiadora, em ondas curtas, e quase perfeita emissora e pobre refletora, no infravermelho.

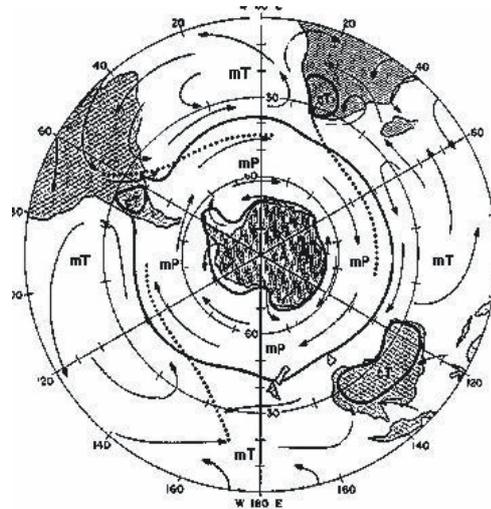
Haverá, no entanto, entre o ar que se aquece ao descer e o ar que se resfria na superfície, uma inversão de temperatura.

Na região circumpolar, a região-fonte se modifica. O oceano é quente, se compararmos com a superfície gelada do continente. Desta forma, o ar que sai da Antártica, que é mais frio, é aquecido por baixo, tornando-se instável, tendendo a subir, com isso aumentando a profundidade. Este aquecimento na região marítima promoverá a sua umidificação.

A partir do aquecimento por baixo, inicia-se o processo de destruição da inversão de temperatura, que existia anteriormente. Verifica-se que esta nova massa de ar virá a formar a chamada massa de ar Polar Continental, que será exemplificada a seguir.

Surge um problema quando se comparam as configurações do verão e do inverno, na fronteira entre as regiões-fonte de Antártica Continental e a Polar Marítima. Uma vez que no inverno a margem de gelo é estendida para o norte, criando uma faixa em que a superfície, formada pelo gelo marinho, possui características físicas específicas. Por este motivo surge no inverno entre a Continental Atlântica e Polar marítima a Atlântica marítima, que é mais estável que *Pm* e menos fria que a *Ac* e em certas condições, pode-se incluir essa faixa como fonte de Atlântica Continental.

---



**Fig. 11 – Regiões-fonte e padrões de escoamento médio de massas de ar, no inverno. Fonte: Taljaard (1972)**

### **3.4.2. POLAR MARÍTIMA (*mP*)**

Forma-se sobre áreas oceânicas em latitudes altas, na região circumpolar antártica, é formada a partir da transformação da polar continental. É considerada uma massa de ar fria, úmida, instável e profunda (estende-se através da troposfera). Esta massa pode ser conduzida pelos ventos predominantes de oeste até a extremidade sul do continente sul-americano.

Nessas condições, levada a ascender a barlavento dos Andes, com resfriamento adiabático úmido, este fato promove a perda de toda a sua umidade e criando um microclima extremamente chuvoso. Ao atingir o topo da cordilheira, a massa tornou-se seca. Descendo a sotavento, com aquecimento adiabático seco, atingirá uma superfície mais fria do que ela mesma, em condições semelhantes ao que ocorrera sobre o continente antártico. Por este motivo, esta nova massa de ar é denominada polar continental modificada ( $P_{C_{mod}}$ ), e será uma massa de ar quente, seca, rasa e estável.

---

### **3.4.3. TROPICAL MARÍTIMA (*Tm*)**

A massa de ar tropical marítima é o principal tipo de massa de ar tropical, produzida sobre os oceanos tropicais. É uma massa de ar oeste dos anticiclones subtropicais, também é instável e profunda.

As massas de ar tendem a deslocar-se das áreas de mais alta pressão para aquelas de mais baixa pressão. Elementos que caracterizam ambas as áreas são os ciclones e os anticiclones. Os primeiros consistem num centro de convergência de ventos, por razão da baixa pressão. Já o segundo consiste num centro de dispersão de ventos, por motivo de alta pressão que encerra.

A *Tm* do Atlântico Sul desempenha grande influência na formação do tempo no Brasil, não apenas sobre as regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Leste, sudeste e Sul, mas também na interação com a *Pm<sub>mod</sub>*, na formação dos sistemas frontais sobre a região oceânicas, influi, da mesma forma, na existência, na posição e na extensão da *Tc*, no verão e no inverno.

Os Sistemas Frontais estão entre as mais importantes perturbações atmosféricas responsáveis por precipitação e mudanças de temperaturas em quase todo o Brasil, sendo a Região Sul as mais afetada (Britto e Saraiva, 2001). Estes sistemas originam-se a partir de ondas baroclínicas das latitudes médias imersas em ventos de oeste. As ondas baroclínicas são provenientes do Oceano Pacífico, e ao atravessar a cordilheira dos Andes, interagem com a circulação atmosférica sobre a América do Sul. Os Sistemas Frontais que se deslocam predominantemente de oeste para Leste sobre o Pacífico, e adquirem uma componente de deslocamento em direção ao Equador após o atravessar a cordilheira dos Andes, com propagação típica de sudoeste para nordeste ao longo da costa leste da América do Sul, em alguns casos chegando a atingir latitudes tropicais.

Segundo OLIVEIRA (1986), os Sistemas Frontais são mais freqüentes quando se encontram na banda entre - 20°S e - 35°S e cerca de 6 a 7 Sistemas Frontais atingem a região costeira do Sul do Brasil por estação. Durante o

---

período do inverno o número de frentes frias que atingem o Rio Grande do sul é de 6 a 7, e o mínimo ocorre em março/abril 5 a 6 (Britto e Saraiva , 2001). E é durante o inverno que os sistemas frontais provocam geadas. As geadas acontecem após a passagem do sistema frontal e nas regiões de céu claro, ar frio e seco, do anticiclone extratropical que segue a passagem do sistema frontal.

#### **3.4.4.TROPICAL CONTINENTAL (Tc)**

O encontro da massa polar com a massa tropical continental é a grande causa da formação das frentes frias no Brasil. Os sistemas frontais são gerados pelo encontro de duas massas de ar sendo uma fria e a outra quente.

Originada sobre as regiões áridas da faixa tropical e subtropical, trata-se de uma massa de ar quente e muito seca, instável e profunda.

Entre 20º e 30ºS na America do Sul, embora o ar costuma ser estável no verão devido à subsidência, o setor não é considerado região-fonte da tropical continental, devido à taxa de umidade ser mais alta do que a característica desse tipo de massa. No inverno, a Tc não é importante sobre a América do Sul. No entanto, com alteração de posição e extensão, esse tipo de massas de ar permanece na África e na Austrália.

---

### **3.5 CENTROS DE ALTA E BAIXA PRESSÕES**

As posições de massas de ar e de centros de alta e baixa pressões podem ser obtidas a partir da definição dos campos de temperatura e de pressão, com o traçado de isotermas e isóbaras, correspondentes a medidas feitas num mesmo horário sinótico. Quando uma coluna de ar é aquecida, ela fica leve e o ar sobe, exercendo menor pressão sobre a superfície. Isso forma um núcleo com baixos valores de pressão. Esse núcleo é conhecido como Centro de Baixa Pressão ou Ciclone. Quando uma coluna de ar é resfriada, ela fica pesada e o ar desce, formando um núcleo de altos valores de pressão. Esse núcleo é conhecido como Centro de Alta Pressão ou Anticiclone. A divergência nos centros de alta e a convergência nos de baixa pressão definem o sentido dessa circulação, da maior para a menor pressão. Centros de alta pressão caracterizam-se pela circulação anticiclônica no sentido contrário aos ponteiros do relógio no Hemisfério Sul e para o Hemisfério Norte no sentido horário, e centros de baixa pressão possuem sentido ciclônico horário no Hemisfério Sul e anti-horário no Hemisfério Norte.

A Terra não é aquecida uniformemente, centros de baixa e alta pressão são observados em todo o planeta. Dois fatores se juntam para condicionar a distribuição básica de calor ao planeta: o maior aquecimento da faixa tropical, devido à permanência do sol entre os solstícios, e a diferença de aquecimento dos continentes e oceanos, em função dos tipos de materiais da superfície e das escalas temporais de reação à radiação incidente. A partir dessas condições básicas, o campo de temperatura sofre variações sazonais e diurnas, correspondentes aos movimentos de translação e rotação da terra, à intensidade de calor irradiado e à resposta da superfície. O traçado das isolinhas de temperatura nos horários sinóticos, em vários níveis, permitira que se conheça a disposição de massas de ar na atmosfera.

Na região equatorial, predominam os centros de baixa pressão. Já, nas latitudes altas, formam-se centros de alta pressão, chamados Anticiclones Polares. Centros de alta pressão também são encontrados nas regiões

---



tropicais e subtropicais, principalmente sobre os oceanos. Esses Anticiclones Subtropicais são semi-estacionários. Nas latitudes médias, ao longo dos círculos circumpolares, predominam os núcleos de baixa pressão.

Na região tropical, eventualmente ocorrem baixas de pressão, as quais, dentro de determinadas circunstâncias, podem tornar-se ciclones tropicais. De modo geral podemos comparar pela distribuição de componentes no balanço de forças, aos ciclones extratropicais, mas deles diferem fundamentalmente pelo fato de concentrarem enorme quantidade de energia em área relativamente pequena.

Chamam-se ciclones extratropicais todos os ciclones não tropicais. No entanto, a maior parte deles faz parte dos sistemas frontais que se criam na região subtropical, no encontro das massas polares frias com a vertente quente dos anticiclones subtropicais, proveniente da região equatorial. Estes perturbações que se originam na baixa troposfera e são reconhecíveis em cartas sinóticas, presentes nos sistemas migratórios frontais.

---

## **4. METODOLOGIA**

Os dados da coluna total de ozônio atmosférico foram medidos por Espectrofotômetros Brewers modelo MKIV, MKII e MKIII, instalados no Observatório Espacial do Sul (29,4°S, 53,8°O 488,7 m), e pelo Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) que esta a bordo do satélite Earth Probe da NASA. Para verificar a procedência das massas de ar foi realizada uma análise de trajetórias utilizando o software GRADS que é de domínio público. Os dados de direção dos campos de ventos foram obtidos via internet a partir da National Centers Environmental for Prediction (NCEP).

### **4.1 ESPECTROFOTÔMETROS BREWER MK IV e MKII**

Estes dois equipamentos foram instalados em São Martinho da Serra no Observatório Espacial do Sul OES/CRSPE/INPE – MCT, a partir de um convênio entre a Universidade Federal de Santa Maria e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, durante o período de 1992 – 2000, modelo MKIV #086 e 2000 – 2002, o modelo MKII #056.

Estes dois espectrofotômetros são formados por um simples monocromador e um detector para observar e medir um espectro de radiação. Trabalha em uma ampla faixa espectral, que é selecionada com o auxílio de um monocromador. Este é essencialmente constituído de um elemento de dispersão e dispositivos para controle da largura da faixa de comprimentos de onda desejados. A fonte de energia a ser analisada deve fornecer um espectro contínuo. Os elementos de dispersão podem ser prismas de vidro ou quartzo e redes de difração. No caso do Espectrofotômetro Brewer, a fonte de energia é o Sol e o meio atenuador é a coluna atmosférica acima do instrumento.

---

Uma porção da energia radiante emitida pela fonte passa por uma fenda de entrada e vai incidir sobre o elemento de dispersão. A radiação é dispersa, dando um espectro contínuo dentro dos limites correspondentes à fonte utilizada. Por meio de uma fenda de saída, pode-se isolar uma faixa mais ou menos estreita da radiação. O comprimento de onda médio da faixa que atravessa a fenda de saída é controlado mediante a variação da posição do prisma ou da rede de difração.

A pureza da energia radiante isolada no monocromador depende, em parte, das larguras das fendas de entrada e saída. Quanto mais estreitas, mais limitada será a faixa espectral isolada, mas isso diminui a intensidade da radiação. Na construção de um espectrofotômetro devem ser conciliadas uma intensa radiação e uma estreita faixa de comprimento de onda.

Redes de difração do tipo côncavo refletem as radiações e são utilizadas para todas as regiões do espectro, pois as radiações não passam através do material.

O Espectrofotômetro Brewer é um instrumento óptico projetado para medir a intensidade da atenuação da radiação solar ultravioleta incidente em cinco comprimentos de onda, de 306 a 320 nm, no espectro de absorção do ozônio e dióxido de enxofre atmosféricos. O Brewer mede também a intensidade da radiação UVB global incidente na superfície (de 290 a 325 nm).

O Sistema Brewer é formado por um espectrofotômetro e por um sistema de rastreamento do Sol, acoplados a um microcomputador o qual, através de software próprio, controla o funcionamento do espectrofotômetro, reduz e armazena os dados. O equipamento é totalmente automatizado, podendo ser programado para trabalhar sozinho através do uso de esquemas de medidas previamente elaborados pelo usuário.

A luz entra através de uma janela inclinada de quartzo. O feixe incidente é direcionado através da parte óptica por um prisma diretor, que pode ser girado para selecionar luz tanto de céu zênite (ZS), direto ao Sol (DS) ou das lâmpadas de calibração. Uma lâmpada de mercúrio fornece uma fonte padrão

---

para calibração do comprimento de onda do Espectrofotômetro; uma lâmpada alógena fornece uma fonte de luz bem regulada para monitorar a resposta espectral relativa do espectrômetro.

Uma grade espectrométrica dispersa a luz ultravioleta para um plano focal; 6 fendas de saída estão posicionadas ao longo do plano focal nos comprimentos de onda de operação, sendo que uma delas é utilizada somente para a calibração do micrômetro através da lâmpada de mercúrio (teste HG).

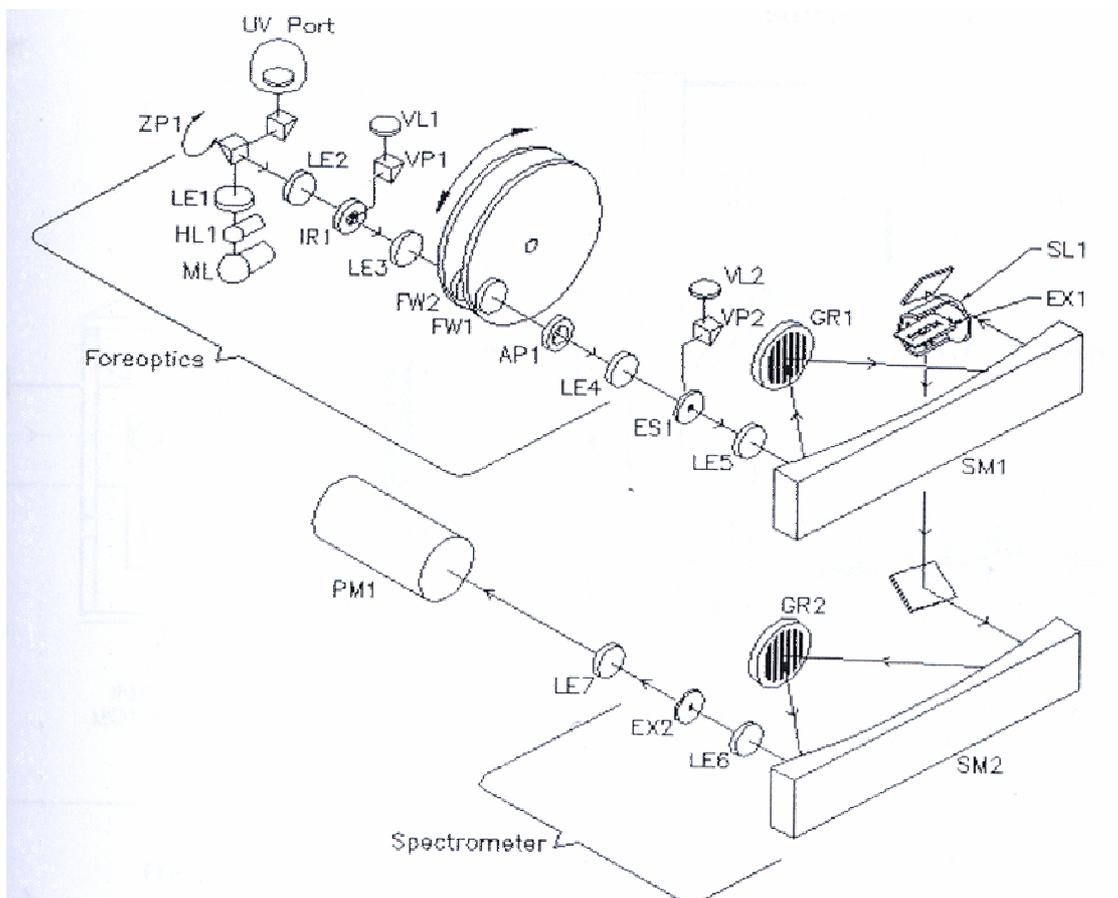
Os cinco comprimentos de onda usados para a obtenção da coluna total são: para O<sub>3</sub> e SO<sub>2</sub> – 306,3; 310,1; 313,5; 316,8; 320,1 nm, com resolução aproximada de 0,6 nm para ozônio (Kerr et al., 1983; SCI-TEC, 1999).

## **4.2 ESPECTROFOTÔMETRO BREWER MKIII #167**

De 2002 e até o momento, encontra-se instalado no OES o terceiro Espectrofotômetro Brewer, o MKIII #167, o qual difere dos demais em alguns aspectos.

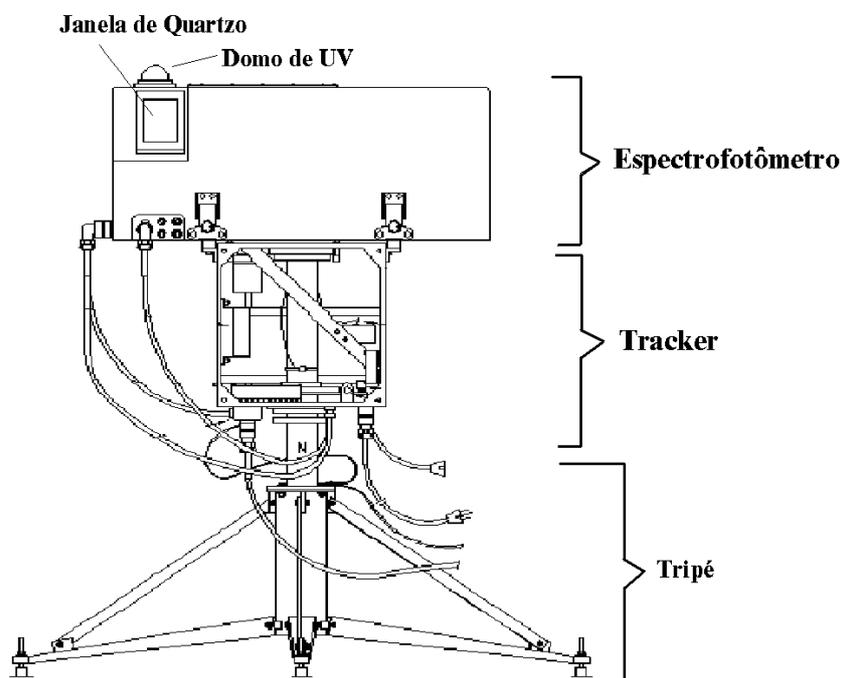
A primeira diferença é que neste espectrofotômetro a faixa de medida da radiação espectral é mais ampla, compreendendo de 286,5 nm a 363,0 nm e com resolução de 0,6 nm. A segunda grande diferença esta relacionada com o duplo sistema óptico, este sistema oferece uma maior confiabilidade no isolamento dos comprimentos de onda selecionados.

Na Fig. 12 pode-se observar que a luz após incidir na máscara SL1, é direcionada para baixo e refletida sob outro espelho esférico SM2 que faz o feixe de luz incidir sobre uma segunda grade de difração GR2 e só então que o feixe de luz vai para a fotomultiplicadora PM1.



**Fig. 12 – Elementos ópticos do Espectrofotômetro Brewer MKIII #167.**  
Fonte: Manual do Espectrofotômetro Brewer MKIII #167.

A Fig. 13 apresenta o esquema do Espectrofotômetro Brewer instalado no Observatório Espacial do Sul. Nesta foto, pode-se ver claramente o tripé com o sistema de rastreamento, a janela de entrada do feixe de luz solar, para medida dos gases atmosféricos, e o domo, acima da janela, para medida da radiação ultravioleta.



**Fig. 13 – Espectrofotômetro Brewer composto por três partes principais: o tripé, o tracker e o espectrofotômetro.  
Fonte: Manual do Espectrofotômetro Brewer MK II.**



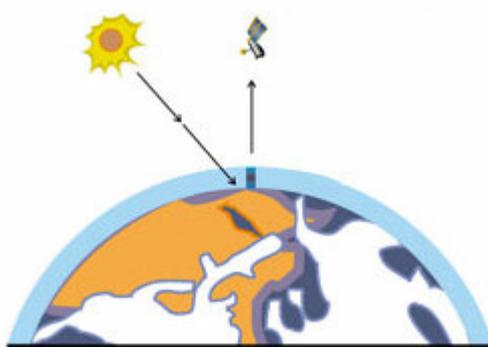
**Fig. 14 – Espectrofotômetro Brewer MKIII #167 atualmente instalado no Observatório Espacial do Sul, CRSPE/INPE – MCT.**

### **4.3 TOTAL OZONE MAPPING SPECTROMETER**

Outra fonte de aquisição da coluna total de ozônio é através da utilização de satélites, que possibilitam uma cobertura global diariamente.

O Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) é um equipamento que se encontra a bordo do satélite Earth Probe da National Aeronautics and Space Agency (NASA). O Programa TOMS, existe desde 1979 e este equipamento já acompanhou outros três satélites. O equipamento em operação atualmente funciona desde 1996.

O método de medida do TOMS é o chamado Backscatter Ultraviolet (BUV). Este método consiste na medição da radiação que entra na atmosfera terrestre em comprimentos de onda particulares, e da radiação UV que é refletida pela superfície ou retroespalhada pela atmosfera nos mesmos comprimentos de onda. A Fig. 15 mostra a geometria de observação utilizada pelos satélites que empregam essa técnica.



**Fig. 15 - Geometria de observação empregada pelos satélites BUV.**

O TOMS faz amostragem da radiação UV retroespalhada em 6 comprimentos de onda, que sofrem absorção diferencial pelo ozônio. Comparando essas medidas entre si e com as medidas provenientes do Sol, o algoritmo do TOMS calcula a coluna total de ozônio.

---

Os satélites provocaram uma verdadeira revolução no estudo da Camada de Ozônio, pois habilitaram as medidas a se expandir da atmosfera local (acima de um grupo isolado de estações com equipamentos de solo) para uma cobertura global diária, fornecendo dados amplos. Em órbita, satélites são capazes de observar a atmosfera em qualquer tempo (clima) e sobre as regiões mais remotas da Terra. São capazes de medir ozônio total, perfis verticais de ozônio, e elementos da química atmosférica. A maior importância reside nos mapas globais e hemisféricos de distribuição de ozônio que permitem acompanhar a dinâmica do ozônio estratosférico e observar o desenvolvimento de fenômenos como o Buraco de Ozônio Antártico.

Os dados do TOMS são freqüentemente utilizados para comparações com as medidas de ozônio do Espectrofotômetro Brewer, com a finalidade de atestar a acuracidade dos dados.

#### **4.4. ANÁLISE DAS TRAJETÓRIAS**

Utilizando o software de domínio público GRADS (Grid Analysis and Display System) que essencialmente é um software para visualização e análise de dados, juntamente com os dados de direção dos campos de ventos fornecidos pelo NCEP/NCAR Reanalysis 1, foi possível realizar as análises das trajetórias das massas de ar sobre a região de Santa Maria.

Os dados para reanálises estão disponíveis para inúmeros parâmetros meteorológicos, como: temperatura, nível da tropopausa, componente zonal ou meridional dos campos de vento, altura geopotencial, velocidade vertical do vento, umidade relativa, umidade específica, etc. Estes dados podem ser obtidos de observações de 6 em 6 horas, média diária ou ainda média mensal. Estes dados compreendem o dia anterior ao dia presente até 1948, com cobertura total do globo.

---



Para análise das trajetórias, utilizando o software GRADS, considera-se que a parcela de ar tenha movimento quase-horizontal, quer dizer, considera-se que toda a parcela de ar desloca-se apenas na horizontal, que não tenha movimentos na vertical. Isso tudo é uma aproximação, pois é sabido que massas de ar possuem também movimentos na vertical.

Trajetória é a história das parcelas de ar que se deslocam livremente na atmosfera e são descritas por sucessivas posições da parcela. Para realização desta análise obtemos os campos de ventos junto ao NCEP/NCAR com duas componentes, uma na direção norte – sul, chamada de componente meridional (vwnd), e outra na direção oeste – leste, chamada de componente zonal (uwnd). Utilizando o GRADS pode-se visualizar o percurso e a procedência destas massas de ar.

---

## **5. ATIVIDADES DO BOLSISTA**

### **5.1 VISITAS AO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL,**

Semanalmente, um grupo de integrantes do Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico, viaja até o OES/CRSPE/INPE – MCT, situado em São Martinho da Serra – RS, com a finalidade de efetuar a manutenção dos equipamentos lá instalados, além de efetuar testes e verificar se o funcionamento dos mesmos está normal.

Estas viagens têm também a finalidade de coletar dados dos equipamentos, limpeza, calibração e manutenção preventiva dos equipamentos instalados.

Ocorre um revezamento entre os componentes do PMOA, do qual o bolsista também faz parte, para formar as equipes que vão até o Observatório.

#### **5.1.1. CALIBRAÇÃO DOS ESPECTROFOTÔMETROS BREWER**

O Brewer é o único equipamento instalado no Observatório Espacial do Sul do PMOA que necessita ser calibrado quinzenalmente. Esta calibração é necessária para atenuar o erro das suas medidas devido a desajustes naturais do equipamento. O Espectrofotômetro Brewer é um aparelho bastante delicado, em parte devido à sua grande complexidade e precisão. Para que o equipamento faça medidas precisas da Coluna Total de Ozônio e da radiação Ultravioleta incidente, é necessária uma manutenção freqüente de forma a prevenir problemas futuros ou interferência na coleta de dados.

Utiliza-se para calibração um kit fornecido pelo fabricante do equipamento. O conjunto é formado por uma fonte ajustável de precisão, um multímetro, um suporte para as lâmpadas e as lâmpadas padrão.

---

As lâmpadas possuem um espectro de radiação conhecido e são testadas em laboratório pelo fabricante do equipamento. Estas lâmpadas são instaladas em um anteparo apropriado que é acoplado sobre o domo de UV-B.

Através de uma seqüência de comandos dados no programa de controle do Brewer, este ajusta a rede de difração e faz a leitura da irradiância da lâmpada, medindo a potência em alguns comprimentos de onda, da mesma forma com se estivesse executando uma medida do tipo UV.

Podem ser utilizadas de uma a três lâmpadas sendo que para cada lâmpada acoplada entra-se com a linha de comandos de calibração no programa do Brewer. As medidas que o Brewer faz das lâmpadas são gravadas em um arquivo de nome ULdddyy.167, onde ddd representa o dia Juliano e yy o ano.

Cada lâmpada possui um arquivo contendo a sua irradiância medida em laboratório. São arquivos do tipo LAMPnnn.IRR onde nnn representa o número da lâmpada. Pela comparação das medidas da luz das lâmpadas pelo Brewer e dos arquivos de irradiância padrão das mesmas, é gerado um arquivo de resposta no formato UVRdddyy.167, onde ddd é o dia Juliano da calibração, yy é o ano e 167 é o número do equipamento. Esse arquivo é gerado no Software UV Brewer 2.1.

A calibração serve para observar as perdas de luz no interior do aparelho, pela comparação da irradiância emitida pela lâmpada com aquela que é medida pelo equipamento. Os erros originários da trajetória da luz dentro do equipamento são guardados no arquivo UVR, que é o arquivo de resposta do espectrofotômetro. Assim, o erro que é cometido durante a calibração é o mesmo que o aparelho comete ao medir a luz solar. O arquivo UVR tem a função de “corrigir” as medidas de UV no reprocessamento dos dados.

---

## **5.1.2. MANUTENÇÃO PREVENTIVA DOS EQUIPAMENTOS**

### **5.1.2.1. TROCA DA SÍLICA GEL**

A maioria dos equipamentos pertencentes ao PMOA são bastante vulneráveis a ação da umidade, portanto a maioria deles possuem compartimentos internos próprios para troca periódica da sílica gel. É de grande importância o controle da umidade para que se tenham medidas mais confiáveis de todos os equipamentos.

### **5.1.2.2. LIMPEZA E POLIMENTO**

A limpeza dos equipamentos se faz necessária não somente por questões estéticas, mas principalmente para diminuir a absorção de energia. Todos os equipamentos lá instalados, exceto o GUV são de cor branca, o que aumenta o albedo dos corpos. Sendo assim a energia incidente nos equipamentos é mínima exceto nos domos de quartzo onde a radiação é transmitida para o interior do equipamento. Essa refletividade da radiação evita o superaquecimento o que implicaria em alterações nas medidas.

No caso do Brewer, este é ainda polido com uma cera especial evitando ao máximo que a radiação seja absorvida por partes que não sejam o domo ou a janela de quartzo.

### **5.1.3 COLETA DE DADOS**

Semanalmente são realizadas cópias dos dados. O Biômetro 501-A funciona com data logger, neste é de extrema importância à coleta periódica dos dados, pois este possui um sistema de aquisição com tempo limitado. Sendo assim, antes que este ficasse totalmente preenchido é necessário que

---

seja descarregado para que as medidas não sejam sobrepostas. Os radiômetros e Espectroradiômetro estão acoplados a laptops e isto, permite um armazenamento por período maior. Mesmo assim, visitas freqüentes ao OES/CRSPE/INPE – MCT são necessárias para que esses dados e do GUV e Brewer, que também estão ligados a computadores, sejam copiados e trazidos ao CRSPE/INPE - MCT para conseqüente redução e análise.

## **5.2. ANÁLISE DOS DADOS**

Para se trabalhar com os dados dos equipamentos é necessário que estes sejam previamente reduzidos. Esta redução é feita a partir de programas como UVBrewer versão 2.1, Origin versão 6.0 e Excel.

Uma vez reduzidos, os dados estão prontos para serem analisados. São efetuadas uma série de análises, tais como correlações e comparações dependentes do tipo de variável em questão, tais como irradiância total, ponderada com espectros de ação específicos, eritema, índice de UV, etc. Comparações entre equipamentos são normalmente feitas para verificar o seu funcionamento. Demais análises visam o monitoramento da Radiação UV na região central do Rio Grande do Sul.

---

## **6. RESULTADOS**

### **6.1. ANÁLISE DOS DADOS DOS BREWERS**

Durante o dia o Brewer realiza medidas da Coluna Total de Ozônio, através do modo DS e ZS, mas para este trabalho foi utilizado somente medidas de DS, pois esta é mais precisa.

Primeiramente foi analisado o teste SL (Standard Lamp) do Brewer para cada dia de análise. O teste SL (Standard Lamp) é um teste de calibração feito com a finalidade de garantir a boa performance do Brewer em suas medidas de ozônio ao longo da banda operacional espectral utilizada, realizado diariamente antes do Sol nascente e poente. Ao final de um dia é gerada uma constante SL, esta foi comparada com a constante de referência do Brewer e dias com valores distantes da referência foram retirados desta análise.

Após a correção SL, foi feito um tratamento estatístico nos dados de ozônio. Foram calculadas médias mensais, para cada ano, da coluna total de ozônio e aplicada a correção 2 sigma ( $2\sigma$ ) uma vez, a fim de eliminar valores absurdos da análise. Ao final desta correção, os valores obtidos foram utilizados para as análises posteriores.

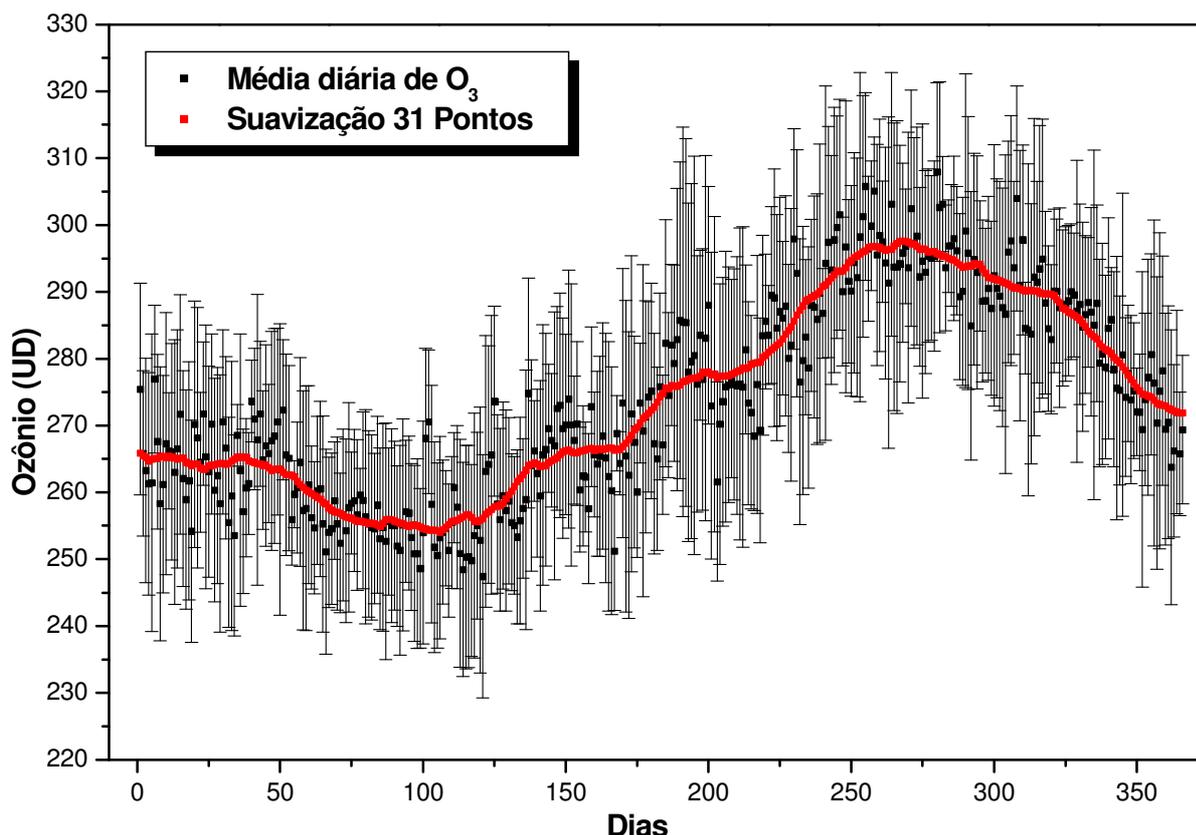
### **6.2. DISTRIBUIÇÃO ANUAL DO OZÔNIO NO OES/CRSPE/INPE – MCT**

A concentração do ozônio na atmosfera para a latitude do OES/CRSPE/INPE – MCT (29,4°S, 53,8°O) possui uma sazonalidade bem conhecida, os menores valores encontrados estão no outono as maiores concentrações na primavera a média anual fica em torno de 275 UD.

Eventos dinâmicos da atmosfera afetam esporadicamente esta sazonalidade, principalmente por injeções de massas de ar de diferentes latitudes visto que a concentração de ozônio na atmosfera é fortemente dependente da latitude.

---

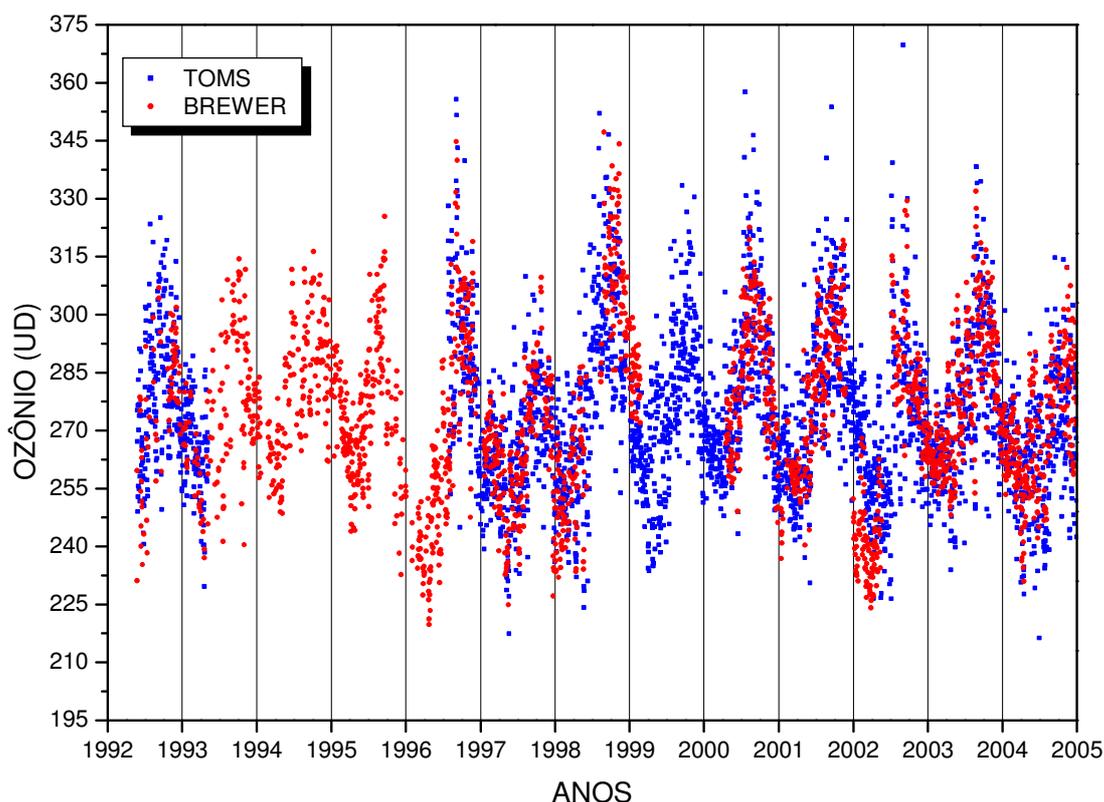
Na Fig. 16 podemos observar esta sazonalidade mencionada, este gráfico representa as médias dos 12 anos estudados com o desvio padrão e em vermelho a suavização de 31 pontos. No eixo das abscissas representa os dias julianos e nas ordenadas a concentração total da Coluna de Ozônio.



**Fig. 16 – Gráfico representando a média diária dos 12 anos de observações atmosféricas com equipamentos do tipo Espectrofotômetro Brewer, instalados na Região Central do Estado, em Santa Maria e São Martinho da Serra, RS, com desvio padrão e suavização 31 pontos, da densidade do Ozônio Atmosférico.**

Existe uma certa descontinuidade de dados de ozônio neste período devido, a troca de equipamento. Houveram duas trocas de equipamentos no Observatório Espacial do Sul, a primeira em 1999 e a segunda em 2002. Nestas trocas na de 1999, houve um período bastante significativo de ausência de dados. O TOMS também apresenta falhas principalmente entre maio de 1993 a agosto de 1996, quando foi substituído.

Na Fig. 17 podemos visualizar estas discontinuidades, em vermelho são os valores encontrados pelo Brewer e em azul pelo TOMS. Também podemos perceber a boa correlação entre as medidas.



**Fig. 17 – Distribuição diária de 1992 a 2004 de observações atmosféricas com equipamentos do tipo Espectrofotômetro Brewer, instalados na Região Central do Estado, em Santa Maria e São Martinho da Serra, RS.**

### **6.3. PERTURBAÇÕES NA CONCENTRAÇÃO DO OZÔNIO ATMOSFÉRICO**

Alguns fenômenos que acontecem na atmosfera causam grande efeito sobre o movimento das massas de ar, ciclones e anticiclones podem afetar de modo significativo a trajetória normal das massas de ar. A ocorrência de centros de baixa e alta pressão pode proporcionar o deslocamento de ar de latitudes variáveis, deste modo, a concentração do ozônio atmosférico fica

---

atrelada a origem destas parcelas, visto que a concentração de ozônio na atmosfera tem um perfil diferenciado para cada latitude.

De posse da distribuição média anual e levando-se em conta a sazonalidade, foram selecionados 19 eventos de grande variação na concentração da Coluna de Ozônio, em curto período de tempo. Na seleção dos eventos foram analisadas as maiores variações ocorridas dentro de cada ano, para isso tomou-se como base a distribuição média anual, que está representada na Figura 16.

As primeiras evidências das possíveis causas estão ligadas a formações existentes de ciclones e anticiclones em latitudes próximas. Tais ciclones e anticiclones proporcionaram um deslocamento das parcelas de ar tanto da tropical como da região próxima ao Pólo Antártico. Dependendo da estação, o deslocamento dessas massas de ar pode refletir num aumento ou numa queda na concentração do ozônio atmosférico para a região do OES.

Um deslocamento de massa de ar das redondezas da Antártida durante a existência do conhecido Buraco de Ozônio Antártico, pode refletir num empobrecimento da concentração do ozônio sobre a região por onde se desloca esta parcela de ar, para estes acontecimentos chamamos de Efeitos Secundários do Buraco de Ozônio Antártico. Outros casos de movimentos das massas de ar provenientes de latitudes maiores, podem também reduzir a concentração do ozônio atmosférico. A concentração média da Coluna de Ozônio nas proximidades da Linha do Equador fica em torno de 260 UD (Robert C. Whitten and Sheo S. Prasad), portanto massas de ar que sejam oriundas desta região carregam consigo aproximadamente estas concentrações de ozônio.

#### **6.4. TRAJETÓRIAS DOS CAMPOS DE VENTO**

---

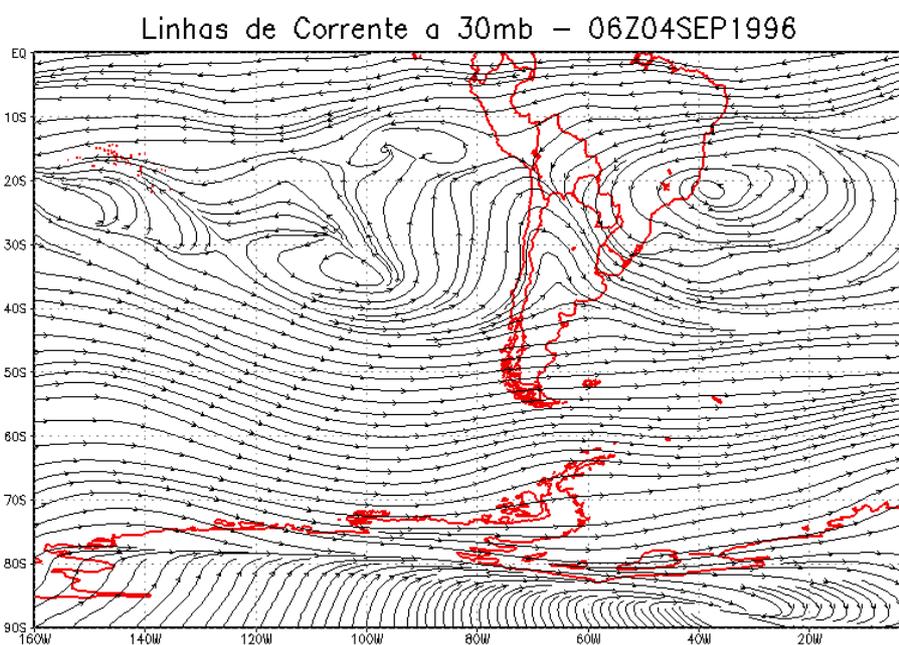
Para os 19 eventos selecionados foi realizada a análise das trajetórias para o nível de 30hPa, este nível foi selecionado, pois corresponde à altura da máxima concentração de ozônio na atmosfera para a latitude do OES (29,4°S, 53,8°O), perturbações neste nível afetariam consideravelmente a Coluna Total de Ozônio.

O objetivo da análise de trajetória é verificar a procedência das massas de ar responsáveis pela variação da concentração de ozônio atmosférico. Inicialmente a maioria dos eventos que mais se ressaltam são os eventos de diminuição e todos estes estão relacionados com advento de massas de ar das proximidades da Linha do Equador e/ou da região Polar Antártida.

A maioria das massas de ar provenientes das proximidades do Equador está associada à existência de centros de alta e baixa pressão, pois estes centros provocam uma circulação anticiclônica e ciclônica, respectivamente. Isto resulta nas injeções de massas de ar de latitudes maiores para a nossa região, ocasionando as quedas relacionadas, visto que a concentração de ozônio nas latitudes próximas ao Equador é menor.

As Figuras 15 e 16 mostram as trajetórias de alguns dos eventos selecionados, ilustrando casos típicos de massas de ar originárias da região próxima ao Equador e nas Figura 17 e 18, casos típicos de deslocamento de massas de ar da Antártida. Esses quatro eventos resultaram numa razoável redução da Coluna Total de Ozônio, por exemplo, na passagem do dia 14 a 16 de outubro de 2004, ocorreu uma queda de 281 para 253 UD, que é considerado um valor baixo para o período.

---

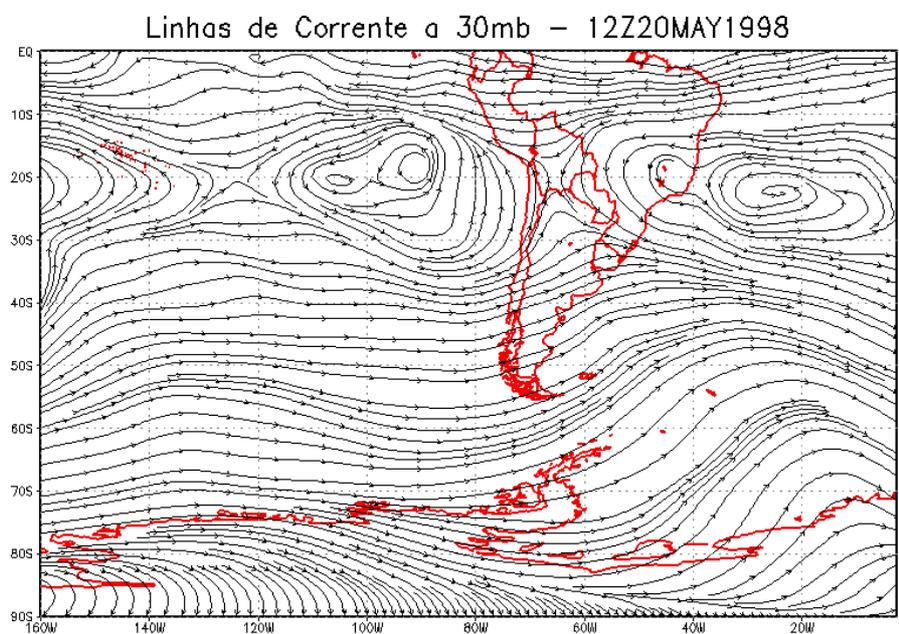


GrADS: COLA/IGES

2005-04-18-21:07

**Fig. 18 – Trajetória do dia 04 de Setembro de 1996.**

**Fonte:** <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>

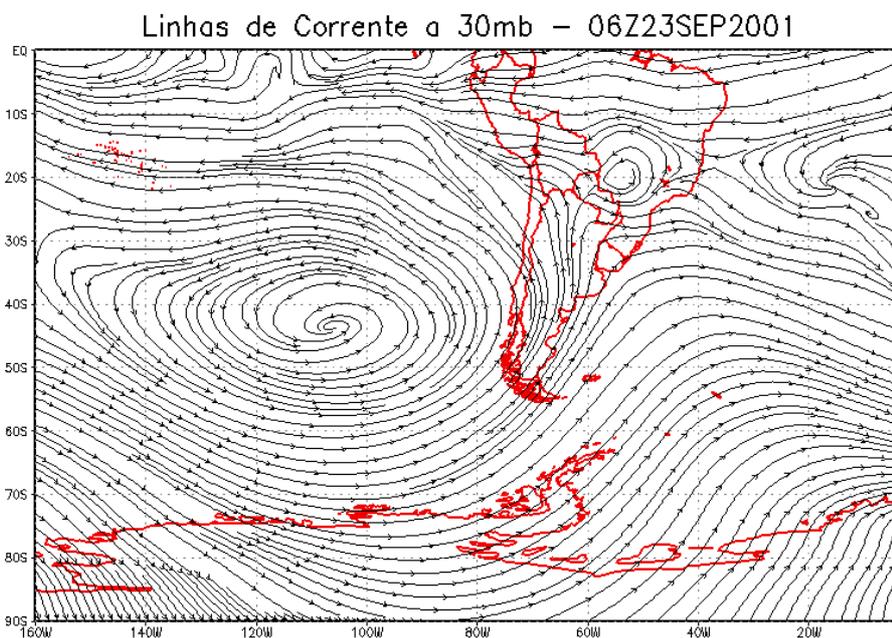


GrADS: COLA/IGES

2005-04-18-22:09

**Fig. 19 – Trajetória do dia 20 de Maio de 1998.**

**Fonte:** <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>

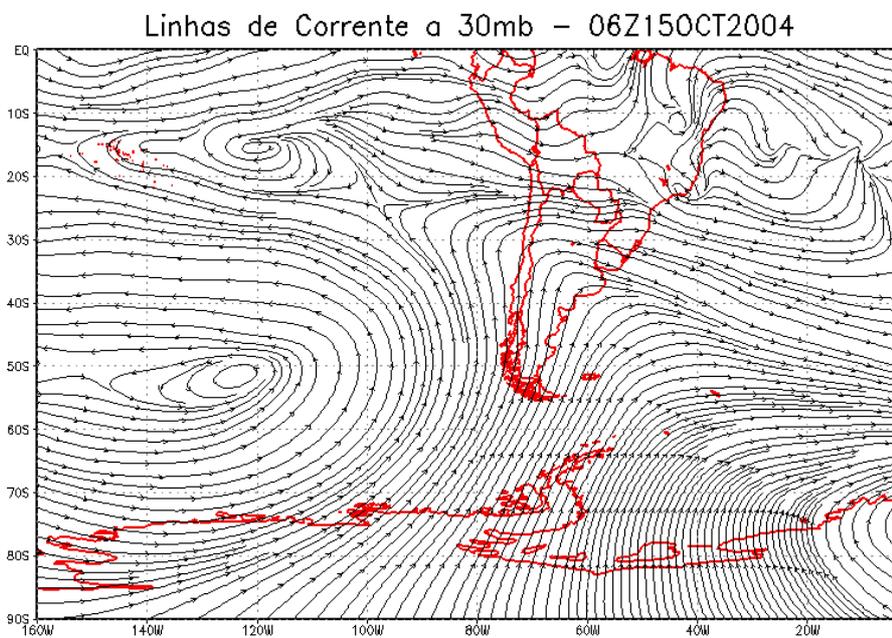


GRADS: COLA/IGES

2005-04-25-21:28

**Fig. 20 – Trajetória do dia 23 de Setembro de 2001.**

**Fonte:** <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>



GRADS: COLA/IGES

2005-04-22-11:14

**Fig. 21 – Trajetória do dia 15 de Outubro de 2004.**

**Fonte:** <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>

## 7. CONCLUSÕES

Analisando-se todas as trajetórias para os eventos selecionados, conclui-se que a formação de centros de baixa e alta pressão modificam a concentração total do ozônio atmosférico, se estes centros tiverem magnitude suficiente para transportar massas de ar de latitudes distantes.

Quase que na totalidade as variações mais significativas foram devido à redução da concentração do ozônio atmosférico. Dos 19 eventos, 17 foram devido a redução e somente 2 eventos foram devido a um aumento anormal da concentração de ozônio atmosférico.

Janeiro, fevereiro e março não apresentaram nenhuma anomalia. Agosto e setembro juntos apresentaram 9 dos 19 eventos selecionados.

---



## **8. PERSPECTIVAS DE ATIVIDADES FUTURAS**

Nesta primeira análise trabalhamos somente com aqueles eventos mais significantes, numa próxima etapa trabalharemos com eventos que promoveram uma menor alteração na concentração do ozônio atmosférico.

Dando continuidade a este projeto, numa próxima etapa o interesse é correlacionar outras variáveis climatológicas com a variação da concentração total de ozônio presente sobre a região.

Em relação à análise das trajetórias, numa fase seguinte buscaremos analisar com uso do modelo de trajetória da Universidade de São Paulo o chamado Sistema de Modelagem Atmosférico Regional (RAMS).

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ambrizzi, T.; Kayano, M. T.; Stephenson, D. B. A Comparison of global tropospheric teleconnections using observed satellite and general circulation model total ozone column data for 1979 – 91. *Climate Dyn.*, 14, 133-150, 1998.

Kayano, M.T. Principal modes of the total ozone on the southern Oscillation timescale and related temperature variations. *J. Geophys. Res.*, 102, 25797-25806. 1997.

Kerr, J. B.; McElroy, C. T. e Evans, W. F. J. The automated Brewer Spectrophotometer for measurement of SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and aerosols. In: *Proceedings Fifth Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation*, Toronto, 1983. *Anais. Boston: American Meteorological Society*, 1983. p. 470 – 472.

Kirchhoff, V. W. J. H.; Schuch, N. J.; Pinheiro, D. K.; Harris, J. Evidence for an ozone hole perturbation at 30° South. *Atmospheric Environment*, v. 30, n. 9, p. 1481 - 1488, May 1996.

Guarnieri, R. A. Correlação entre a Coluna Total de Ozônio e a Radiação Ultravioleta do tipo B incidente na Região Central do Rio Grande do Sul. (Relatório de Atividades PIBIC) – Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria, Santa Maria, Janeiro de 2001.

Lucimar Luciano de Oliveira, Rubens Leite Vianello e Nelson Jesus Ferreira, *METEOROLOGIA FUNDAMENTAL*,

Howard B. Bluestein. *SYNOPTIC – DYNAMIC METEOROLOGY IN MIDLATITUDES*, Volume I, Principles of Kinematics and Dynamics.

Palmén and Newton, *INTERNATIONAL GEOPHYSICS*, Volume 13, Atmospheric Circulation Systems,

---



Pinheiro, D. K. O Fenômeno do “Buraco de Ozônio Antártico” (Trabalho da Disciplina de Geofísica Espacial I) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, maio de 1999.

SCI-TEC Instruments. Brewer MKIV Spectrophotometer operator’s manual: OM-BA-C231 Rev B Aug 15, 1999. Saskatoon, 1999.

Sverre Pettersen, 5ª Edição, INTRIDUCCIÓN A LA METEOROLOGÍA, 1976.

Robert C. Whitten and Sheo S. Prasad, OZONE IN THE FREE ATMOSPHERE, 1985.

World Meteorological Organization (WMO). Scientific Assessment of ozone Depletion: 1998. WMO Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 44.

BREWER OZONE SPECTROPHOTOMETER MAINTENANCE MANUAL, MK III #167, 1999, 116 pag.

BREWER OZONE SPECTROPHOTOMETER OPERATOR'S MANUAL, MK III #167, 1999, 135 pag.

Páginas da Internet, consultas realizadas no mês de maio de 2005.

**<http://jwocky.gsfc.nasa.gov>**

**[http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:Atmo\\_camadas](http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:Atmo_camadas)**

**<http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/class>**

**<http://see.gsfc.nasa.gov>**

**<http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/class>**

**<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>**

---

## 10. ATIVIDADES EXTRACURRICULARES

### PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS COM TRABALHOS PUBLICADOS:

- 1. COMPARAÇÃO DA COLUNA TOTAL DE OZÔNIO ENTRE ESPECTROFOTÔMETRO BREWER E TOMS PARA O OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL 2002 – 2003.**  
**MANFRO, Robinson Luciano;** PADILHA, Liana F.; BIAZI, Leonardo Arthur; PERES, Rafael S.; ROSA, Marcelo Barcellos da; PINHEIRO, Damaris K.; KAYANO, Mary T.; SCHUCH, Nelson J..  
XIX CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA - CRICTE, 2004, Curitiba. XIX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE 2004.
  - 2. COMPARAÇÃO DO PERFIL VERTICAL DE OZÔNIO ATRAVÉS DE SONDAGENS ATMOSFÉRICAS REALIZADAS NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL E EM NATAL - RN NO PERÍODO DE 1996 - 2000.**  
**MANFRO, Robinson Luciano;** HERMES, Natanael; PERES, Rafael S.; BIAZI, Leonardo Arthur; ROSA, Marcelo Barcellos da; PINHEIRO, Damaris K.; SCHUCH, Nelson J..  
XIX CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA - CRICTE, 2004, Curitiba. XIX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE 2004.
  - 3. COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS PARA CÁLCULO DO OZÔNIO RESIDUAL EM SONDAGENS REALIZADAS NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL.**  
**MANFRO, Robinson Luciano;** CARBONE, Samara; HERMES, Natanael; BIAZI, Leonardo Arthur; ROSA, Marcelo Barcellos da; PINHEIRO, Damaris K.; FERREIRA, Nelson J.; SCHUCH, Nelson J..  
XIX CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA - CRICTE, 2004, Curitiba. XIX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE 2004.
-

#### **4. CORRELAÇÃO ENTRE RADIAÇÃO UV-B E A VARIAÇÃO DA COLUNA TOTAL DE OZÔNIO.**

**MANFRO, Robinson Luciano;** BIAZI, Leonardo Arthur; CARBONE, Samara; GUARNIERI, Ricardo A.; PES, Marcelo Pizzuti; ROSA, Marcelo Barcellos da; PINHEIRO, Damaris K.; SCHUCH, Nelson J..

XIX CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA - CRICTE, 2004, Curitiba. XIX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE 2004.

#### **5. MONITORAMENTO DE OZÔNIO DE SUPERFÍCIE ATRAVÉS DE SONDAGENS ATMOSFÉRICAS.**

**MANFRO, Robinson Luciano;** PERES, Rafael S.; BIAZI, Leonardo Arthur; PINHEIRO, Damaris K.; ROSA, Marcelo Barcellos da; SCHUCH, Nelson J..

XIX-JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA, 2004, Santa Maria. XIX-Jornada Acadêmica Integrada 2004.

#### **6. CORRELATION BETWEEN SOUTHERN OSCILLATION INDEX AND TOTAL OZONE COLUMN USING BREWER AND TOMS AT SOUTHERN BRAZIL (29.4°S, 53.8°W) FROM 1997 TO 2003.**

**MANFRO, Robinson Luciano;** CARBONE, Samara; ROSA, Marcelo Barcellos da; SCHUCH, Augusta M. P.; PINHEIRO, Damaris K.; KAYANO, Mary T.; SCHUCH, Nelson J..

EUROPEAN GEOSCIENCES UNION GENERAL ASSEMBLY, 2005, Vienna. European Geosciences Union General Assembly Vienna – Austria 2005.

#### **7. TOTAL OZONE COLUMN CORRELATION BETWEEN BREWER AND TOMS AT SOUTHERN BRAZIL (29.4°S, 53.8°W) FROM 1996 TO 2004.**

**MANFRO, Robinson Luciano;** CARBONE, Samara; ROSA, Marcelo Barcellos da; SCHUCH, Augusta M. P.; PINHEIRO, Damaris K.; FERREIRA, Nelson J.; SCHUCH, Nelson J..

EUROPEAN GEOSCIENCES UNION GENERAL ASSEMBLY, 2005, Vienna. European Geosciences Union General Assembly 2005 Austria – Vienna 2005.

---



## **Anexos – Certificados**





## **Anexos – Resumos**