



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-13025-PRE/8302

**ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DE OZÔNIO NO EXTREMO SUL DO
BRASIL, SÃO MARTINHO DA SERRA, RS, DURANTE FASES
EXTREMAS DO EL NIÑO/OSCILAÇÃO SUL**

Samara Carbone*

*Bolsista UFSM

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE), orientado pela
Dra. Mary T. Kayano

INPE
São José dos Campos
2005



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DE OZÔNIO NO EXTREMO SUL DO
BRASIL, SÃO MARTINHO DA SERRA, RS, DURANTE FASES
EXTREMAS DO EL NIÑO/OSCILAÇÃO SUL**

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

PIBIC/INPE – CNPq/MCT

PROCESSO Nº 107624/2003-6

Samara Carbone (UFSM, Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT)

E-mail: samara@lacesm.ufsm.br

Dra. Mary T. Kayano (CPTEC/INPE – MCT, Orientador)

E-mail: mary@cptec.inpe.br

Santa Maria, Maio de 2005

Dados de Identificação

Bolsista:

Samara Carbone

Acadêmica do Curso de Engenharia Química

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Processo Número:

CNPq: 107624/2003-6

Orientador:

Dra. Mary T. Kayano

Centro de Previsão de Tempo 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

Dr. Marcelo Barcellos da Rosa – CRSPE/INPE – MCT

Robinson Luciano Manfro – Curso de Engenharia Química – UFSM

Local de Trabalho/Execução do Projeto:

Laboratório de Atmosferas Planetárias e Terrestre – CRSPE/INPE – MCT

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM

Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT



Agradecimentos

O bolsista gostaria de agradecer aos seus colegas do Programa de Monitoramento de Ozônio Atmosférico e a Dra. Damaris K. Pinheiro que contribuíram para a realização deste trabalho. Por fim o bolsista gostaria de agradecer ao Dr. Nelson Schuch pela co-orientação e a Dr. Nelson Jesus Ferreira pelo seu empenho e pronta disposição como orientador.



SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	5
CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS	7
2.1 OBJETIVO DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO DE OZÔNIO ATMOSFÉRICO (PMOA)	7
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DO PROJETO	7
CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	8
3.1 A ATMOSFERA	8
3.1.1 EXOSFERA	8
3.1.2 TERMOSFERA	8
3.1.3 MESOSFERA	9
3.1.4 ESTRATOSFERA	10
3.1.5 TROPOSFERA	15
3.2 INTERAÇÃO OCEANO - ATMOSFERA	15
3.2.1 EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL (ENOS)	16
3.2.3 – Índice de Oscilação Sul (IOS)	17
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA	19
4.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA ANÁLISE	19
4.1.1 ESPECTROFOTÔMETROS BREWER MK IV e MKII	19
4.1.2 ESPECTROFOTÔMETRO BREWER MK III	23
4.1.3 TOTAL OZONE MAPPING SPECTROMETER (TOMS)	24
4.1.4 BÓIAS OCEÂNICAS	25
4.2.1 BIOMETER 501 A DA SOLAR LIGHT	27
4.2.2 RADIÔMETROS UV-B MS 210 W E MS - 212 W	28
4.2.3 RADIÔMETRO UV-A MS - 212 A	30
4.2.4 GROUND – BASED ULTRAVIOLET RADIOMETER GUV 511C	31
4.2.5 ESPECTRORADIÔMETRO MS-701	31
CAPÍTULO 5 – ATIVIDADES DO BOLSISTA	33
5.1 VISITAS TÉCNICAS AO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL	33
5.1.1 CALIBRAÇÃO DOS ESPECTROFOTÔMETROS BREWER	33
5.1.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA DOS EQUIPAMENTOS	34
5.1.3 COLETA DE DADOS	35
5.2 REDUÇÃO DE DADOS	35
5.3 ANÁLISE DOS DADOS	35



CAPÍTULO 6 – RESULTADOS	36
6.1 – CORREÇÃO DOS DADOS DA COLUNA TOTAL DE OZÔNIO	36
6.2 – CÁLCULO DA CLIMATOLOGIA DE OZÔNIO PARA O OES	36
6.2.1 – <i>DESCONTINUIDADE DE DADOS</i>	38
6.3 – CÁLCULO DAS ANOMALIAS DE OZÔNIO PARA O OES	39
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES	46
CAPÍTULO 8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
CAPÍTULO 9 – ATIVIDADES EXTRACURRICULARES	51

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico (PMOA), no Sul do Brasil, em Santa Maria, vem desenvolvendo com sucesso suas atividades desde 1992, quando da instalação do primeiro equipamento, o Espectrofotômetro Brewer #081. Neste período, diversos equipamentos foram instalados no Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (OES/CRSPE/INPE – MCT), dentro da parceria entre o INPE/MCT e a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e da Cooperação Internacional Brasil com o Japão. Cooperação esta desenvolvida no Brasil pelo INPE/MCT e pela UFSM. O PMOA visa,



principalmente, o monitoramento da camada de ozônio e radiação ultravioleta no extremo sul do País.

O estudo do comportamento do ozônio durante períodos de El Niño e La Niña é muito importante, pois implica em reduções e aumentos na coluna total de ozônio sobre a região central do Rio Grande do Sul, o que ocasiona diretamente em uma redução ou aumento de Radiação UV-B sobre as populações dessa região.

Neste trabalho, estuda-se o comportamento da coluna total de ozônio durante os episódios de El Niño e La Niña sobre o OES, no período de 1993 a 2004.

CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO DE OZÔNIO ATMOSFÉRICO (PMOA)

O PMOA, desenvolvido dentro do Programa de Cooperação Técnico-Científica entre o CRSPE/INPE – MCT e o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria do Centro de Tecnologia da UFSM – 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 INPE/MCT, no âmbito dos Convênios INPE/MCT – UFSM e Agência Espacial Brasileira, Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência – Convênio: AEB/PR – FATEC/UFSM. Este convênio objetiva proceder o monitoramento, as análises estatísticas e comportamentais da Camada de Ozônio, na latitude de 30° 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, NO₂ e SO₂, 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

- Estudar os aspectos sazonais da quantidade de ozônio para o período de 1993 a 2004 e sua relação com os períodos de fases quente (El Niño) e fria (La Niña) do El Niño/Oscilação Sul (ENOS).
-

CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

3.1 A ATMOSFERA

Uma das classificações mais conhecidas da divisão de camadas na atmosfera é quanto ao perfil de temperatura. Assim, a atmosfera terrestre está dividida em: baixa atmosfera, média atmosfera e alta atmosfera: a baixa atmosfera compreende a troposfera e a tropopausa; a média atmosfera compreende a estratosfera, estratopausa, mesosfera e mesopausa; e a alta atmosfera compreende a termosfera. São chamadas: tropopausa - a camada que separa a troposfera da estratosfera, estratopausa – a camada que separa a estratosfera da mesosfera e mesopausa – a camada que separa a mesosfera da termosfera.

3.1.1 EXOSFERA

A camada superior da atmosfera fica a mais ou menos 900 km acima da Terra. O ar é muito rarefeito e as moléculas de gás "escapam" constantemente para o espaço. Por isso é chamada de exosfera (parte externa da atmosfera). Nesta região estão presentes hidrogênio e hélio.

3.1.2 TERMOSFERA

O topo da termosfera fica a cerca de 450 km acima da superfície da Terra. É a camada mais quente, uma vez que as raras moléculas de ar absorvem a radiação do Sol. As temperaturas no topo chegam a 2000°C. É nessa camada que se encontra a Ionosfera, região da Atmosfera cuja formação está ligada principalmente ao processo de fotoionização, onde partículas neutras absorvem a Radiação Solar, predominante no extremo ultravioleta e raios – X.

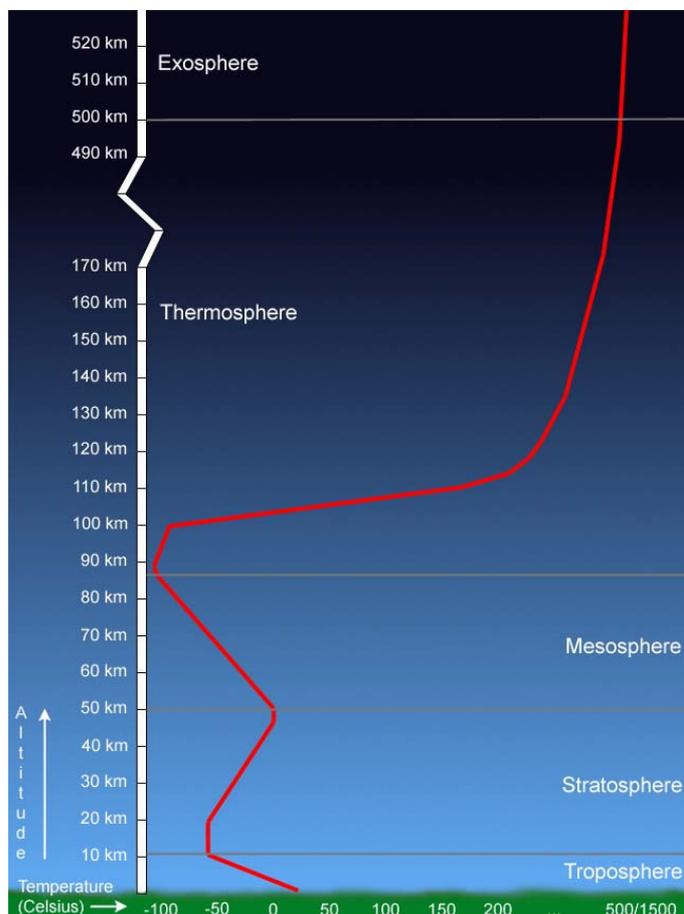


Fig. 3.1 – Perfil da atmosfera terrestre, ilustrando as diferentes camadas da atmosfera.

Fonte: <http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/earth/Atmosphere/overview.html>

3.1.3 MESOSFERA

O topo da mesosfera fica a 80 km do solo. É muito fria, com temperaturas abaixo de 100°C negativos. A parte inferior é mais quente porque absorve calor da estratosfera. Nesta camada a temperatura diminui com a altura.

3.1.4 ESTRATOSFERA

A estratosfera chega a 50 km do solo e se comparada à troposfera é seca e menos densa. A temperatura nesta camada parte dos -3 °C e aumenta gradativamente devido a absorção da radiação ultravioleta.

É nesta camada que se encontra a maior concentração do gás ozônio e, portanto compreende a região chamada de camada de ozônio. Na estratosfera encontram-se além do gás ozônio, os gases dióxido de enxofre (SO₂) e dióxido de nitrogênio (NO₂).

3.1.4.1 OZÔNIO

O ozônio é uma molécula constituída por três átomos de oxigênio e sua maior concentração ocorre na estratosfera (16 – 50 Km). 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 devido a maior abundância desse gás, como pode ser observado na Figura 3.2. O ozônio foi descoberto em 1840 pelo químico suíço C. F. Schönbein (Whitten e Prasad, 1985) e presente na atmosfera terrestre cerca de 1,5 bilhões de anos atrás (Walker, 1977; Lovelock, 1988; Mészáros, 1993). É provável que há 500 milhões de anos já houvesse ozônio em quantidade suficiente na atmosfera para atenuar a radiação UV de forma muito eficaz, permitindo que a vida pudesse se expandir na superfície terrestre.

A existência da camada de ozônio determina a inversão no perfil de temperatura na tropopausa e o máximo secundário de temperatura na estratopausa, sendo uma fonte de calor na estratosfera, alimentando diversos processos dinâmicos que contribuem para o sistema de circulação global atmosférico (Whitten e Prasad, 1985; Brasseur e Solomon, 1986).

O ozônio é produzido na estratosfera através de uma série de reações que iniciam com a fotodissociação do oxigênio molecular. O mecanismo básico de produção de ozônio pode ser representado pelas seguintes expressões:





Este mecanismo de produção de ozônio é contrabalançado por vários mecanismos de perda, sendo os principais a recombinação do ozônio com o oxigênio e ciclos catalíticos envolvendo H, NO_x e Cl (Whitten e Prasad, 1985; Brasseur e Solomon, 1986), além da absorção de radiação solar pelo ozônio nas suas bandas de absorção, definidas a seguir, na reação apresentada na expressão 3.3:



Esta reação ocorre nas bandas de absorção molecular do ozônio de Hartey (200 a 310 nm) e Hugging (310 a 350 nm).

A combinação desses mecanismos de perda e de produção resulta na formação da camada de ozônio. A altura de máxima concentração de ozônio na atmosfera varia de acordo com a latitude geográfica, por influência da distribuição latitudinal de radiação solar que influi tanto na criação quanto na dissociação do ozônio (Whitten e Prasad, 1985; Brasseur e Solomon, 1986).

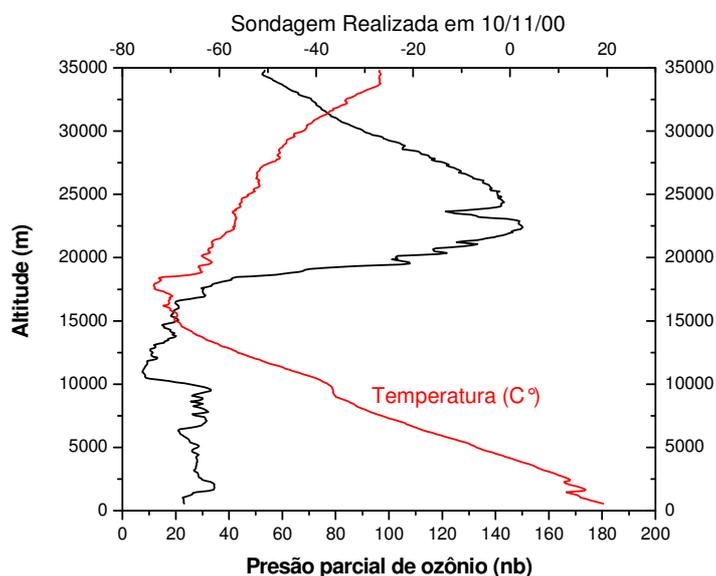


Fig. 3.2 – Perfil de ozônio obtido a partir de sondagem realizada em 10 de Novembro de 2000 no Observatório Espacial do Sul/CRSPE/INPE – MCT.

O ozônio absorve fortemente em duas bandas na região do ultravioleta. A banda de Hartley ($\Delta\lambda_1$ na expressão 3.3) do ozônio é localizada entre 200 e 310 nm, com um máximo próximo a 250 – 260 nm. Próximo de 300 nm a banda de Hartley sobrepõe-se a banda de Huggins ($\Delta\lambda_2$ na expressão 3.3), que se estende até 350 nm.

A Figura 3.3 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.

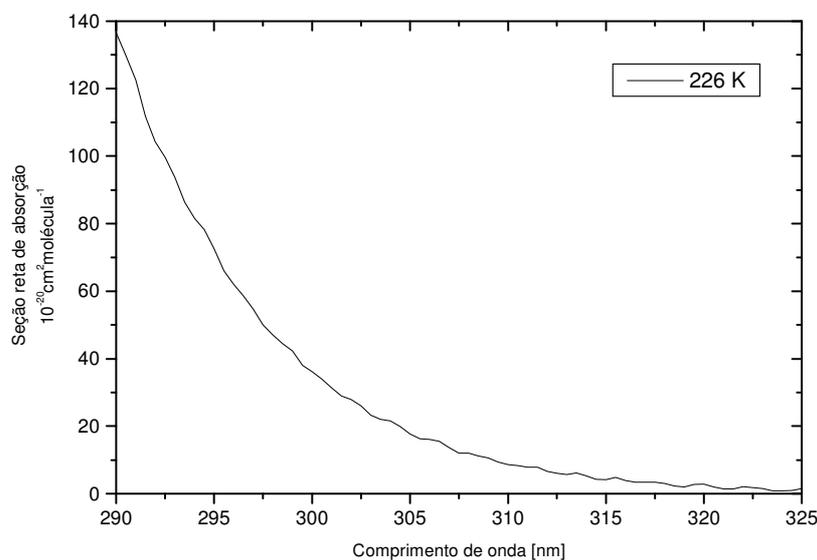


Fig 3.3 – Seção de absorção molecular de ozônio (290 – 325 nm) – temperatura de 226 K

Faixa medida pelo espectrofotômetro Brewer.

Fonte: Dados de Molina e Molina (1986).

3.1.4.2 DIÓXIDO DE ENXOFRE

O SO_2 é o gás traço que possui maior seção de choque depois do NO_2 , portanto ele é muito importante na atenuação da radiação UV. Dentre as fontes emissoras de SO_2 para a atmosfera destacam-se: a emissão antropogênica proveniente da queima de combustível

fóssil, a emissão natural resultante de erupções vulcânicas e a produção a partir de sulfetos orgânicos (Wameck, 1988; Fioletov et al., 1998).

Em regiões onde a poluição é pequena a concentração de SO_2 é menor que 2 UD (Unidades Dobson), enquanto que em regiões poluídas este valor é em torno de 4 a 6 UD, podendo em casos extremos chegar a 20 UD.

3.1.4.3 DIÓXIDO DE NITROGÊNIO

A absorção da radiação solar pela molécula de dióxido de nitrogênio é um fenômeno extremamente importante na baixa e média atmosfera terrestre. Isto deve-se ao fato de que o NO_2 absorve a radiação solar não só na faixa do ultravioleta mas também do visível, sendo fotodissociado em toda a atmosfera, inclusive na troposfera onde é o principal responsável pela presença do átomo de oxigênio proveniente de sua dissociação. Assim, a absorção pela molécula de NO_2 da radiação na faixa do visível é importante por ser responsável pela formação do *smog* fotoquímico na troposfera e por ser efetiva na redução da intensidade da radiação solar que atinge o solo (Shimazaki, 1985).

Esta molécula pode resultar da oxidação do NO nas camadas superiores da estratosfera (Summers, 1999), ou produzida na troposfera a partir da combustão em alta temperatura de combustível fóssil e da ocorrência de relâmpagos (Walker, 1977). O solo e o oceano também são fontes importantes de óxidos de nitrogênio oriundos da nitrificação realizada por microorganismos (Kinzig e Socolow, 1994). Em geral o NO e o NO_2 são os principais produtos desses processos, o NO é posteriormente oxidado transformando-se em NO_2 .

3.1.4.4 ESPALHAMENTO POR AEROSSÓIS

Este tipo de espalhamento ocorre quando o diâmetro das partículas atmosféricas é essencialmente igual ao comprimento de onda da radiação. Aerossóis são partículas pequenas, mas bem maiores que moléculas, sólidas ou líquidas encontradas mesmo na atmosfera mais limpa. Os aerossóis atmosféricos possuem tamanhos que, em geral, variam cerca de 0,01 a 10 μm de diâmetro. Podem ser de origem natural como da ação erosiva dos ventos sobre o solo e a superfície oceânica, ou da conversão gás-partícula ocorrida entre

moléculas numa reação química. Podem ter também origem antropogênica como da emissão de particulados da combustão de combustível fóssil (Seinfeld, 1985).

Os aerossóis têm grande influência no clima uma vez que eles aumentam a quantidade de radiação refletida para o espaço (efeito albedo) ao mesmo tempo que, como núcleos formadores de gotículas d'água, levam à formação de nuvens que ajudam a concentrar a radiação infravermelha na troposfera (efeito estufa) (Twitty e Weinman, 1971; McCartney, 1976; Michelangeli et al., 1992; Lorente et al., 1994).

O comportamento dos aerossóis para os cinco comprimentos de onda do Espectrofotômetro Brewer: 306,3; 310,1; 313,5; 318,8 e 320,1 nm, para o período de janeiro e fevereiro de 2003 para a região de Santa Maria, está ilustrado na Figura 3.4.

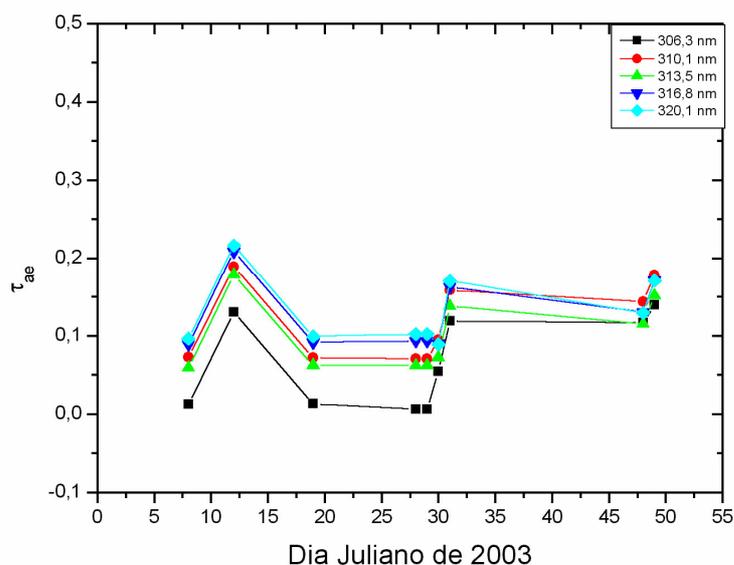


Fig. 3.4 – Comportamento das partículas de aerossóis para os dois primeiros meses do ano de 2003 para a região do Observatório Espacial do Sul/CRSPE/INPE – MCT, no âmbito da parceria UFSM – INPE.

3.1.5 TROPOSFERA

Esta é a camada que está em contato com a superfície da Terra e é nela que acontecem os mais importantes fenômenos meteorológicos tais como: chuva, trovoadas, relâmpagos, arco-íris, nuvens, ventos, etc... A troposfera se estende até 20 km do solo no equador e até 10 km nos pólos. É nesta camada também que existe uma mistura de gases ideais para a vida terrestre. Na troposfera a temperatura diminui com a altitude Fig. 3.1. A temperatura diminui em média, cerca de 6°C por cada 1000 metros.

Quanto à composição do ar, esta é a camada mais volumosa em termos de gases: oxigênio, dióxido de carbono e vapor de água, permitindo assim a vida na superfície terrestre. Contudo, por ser nesta camada que existe a vida, é também esta camada que está mais sujeita à poluição e é assim também, a camada mais poluída, principalmente nos primeiros 3000 metros de altitude.

A pressão varia de 1000 a 200 milibars. A troposfera termina quando a temperatura não varia mais com a altura. Essa região é conhecida como tropopausa, a qual marca o início da estratosfera. A concentração de umidade diminui com a altura até a tropopausa. Os gases-traço: ozônio, dióxido de enxofre e dióxido de nitrogênio e os aerossóis também estão presentes nesta camada da atmosfera.

3.1.5.1 OZÔNIO TROPOSFÉRICO

O ozônio troposférico corresponde entre 10 e 15% em média da coluna total de ozônio. Sabe-se que este gás na baixa troposfera é extremamente oxidante e por este motivo é considerado um poluente. Na troposfera, o ozônio é um gás fotoquimicamente instável. É comum o ozônio desta camada reagir com o radical oxidrila (OH) muito abundante na Troposfera devido a maior quantidade de umidade.

3.2 INTERAÇÃO OCEANO - ATMOSFERA

Os oceanos ocupam 71% da superfície terrestre e desempenham papel fundamental na variabilidade do clima deste planeta através de processos dinâmicos e termodinâmicos na

sua interação com a atmosfera. A energia proveniente do Sol é responsável por 99% de toda a energia térmica que chega a superfície terrestre, provocando diariamente, a evaporação de milhares de toneladas de água para a atmosfera. Os oceanos podem armazenar enormes quantidades de energia solar, liberando essa energia progressivamente sem que a temperatura da água varie de maneira sensível durante esse processo. Essa propriedade da água torna o conjunto oceano-atmosfera um grande regulador do clima e dos fenômenos meteorológicos. Parte da energia absorvida pelo oceano, cerca de 32%, retorna para a atmosfera por radiação, condução e por evaporação. Desta forma, o oceano funciona como uma fonte de energia para a atmosfera.

3.2.1 EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL (ENOS)

El Niño representa o aquecimento anormal das águas superficiais e sub-superficiais do Oceano Pacífico equatorial leste. A palavra El Niño é derivada do espanhol, e refere-se à presença de águas quentes que todos os anos aparecem na costa norte de Peru na época de Natal. Os pescadores do Peru e Equador chamaram a esta presença de águas mais quentes de corrente de El Niño em referência ao Niño Jesus ou Menino Jesus.

A interação oceano-atmosfera durante episódios de El Niño provoca alterações na circulação geral da atmosfera, o que causa adversidades climáticas em todo o globo, tais como: secas, enchentes, altas temperaturas, etc,... Na atualidade, as anomalias do sistema climático que são mundialmente conhecidas como El Niño e La Niña representam uma alteração do sistema oceano-atmosfera no oceano Pacífico tropical, e que tem conseqüências no tempo e no clima em todo o planeta. Nesta definição, considera-se não somente a presença das águas quentes da corrente de El Niño, mas também as mudanças na atmosfera próxima à superfície do oceano, com o enfraquecimento dos ventos alísios (que sopram de leste para oeste) na região equatorial. Com esse aquecimento do oceano e com o enfraquecimento dos ventos, começam a ser observadas mudanças da circulação da atmosfera nos níveis baixos e altos, determinando mudanças nos padrões de transporte de umidade e, portanto variações na distribuição das chuvas em regiões tropicais e de latitudes médias e altas. Em algumas regiões do globo também são observados aumento ou queda de

temperatura. A figura abaixo mostra a situação observada em dezembro de 1997, no pico do fenômeno El Niño 1997/98.

3.2.3 – ÍNDICE DE OSCILAÇÃO SUL (IOS)

A Oscilação Sul é representada por um índice, o Índice de Oscilação Sul (IOS), que indica sua intensidade e fase. Este índice é calculado a partir das diferenças de pressões atmosféricas (no nível do mar) entre as localidades de Tahiti e Darwin, no Oceano Pacífico, Figura 3.5.



Fig. 3.5 – Mapa localizando Tahiti e Darwin, no Oceano Pacífico.

Fonte: www.cpc.ncep.noaa.gov

A fase positiva da Oscilação Sul (condições de La Niña) ocorre quando no Pacífico Sudeste (perto e leste do Tahiti) a pressão atmosférica é anormalmente mais alta do que a pressão normal (média de longo prazo) e no norte da Austrália (oeste e perto de Darwin) a pressão atmosférica é anormalmente mais baixa do que a pressão normal. A diferença da pressão nessas duas localidades (leste - oeste) ao longo do equador faz com que o ar da superfície flua para o oeste. Essas condições proporcionam uma intensificação dos movimentos ascendentes, aumento da atividade convectiva e precipitação sobre a Indonésia e norte da Austrália. Esta configuração também contribui para o aumento da atividade convectiva sobre a Amazônia e Nordeste do Brasil. O ar ascendente nestas regiões desce sobre o Pacífico Oriental, contribuindo para o aumento da pressão naquela região, e sobre todo o

Atlântico subtropical até a costa da África. Durante o episódio de El Niño, fase negativa, a pressão do ar é menor que o normal em Tahiti e maior que o normal em Darwin. A diferença dessa variável sinaliza uma queda e/ou até uma inversão da pressão entre essas duas localidades. Isso causa um enfraquecimento dos ventos de leste na superfície e sua retração para leste.

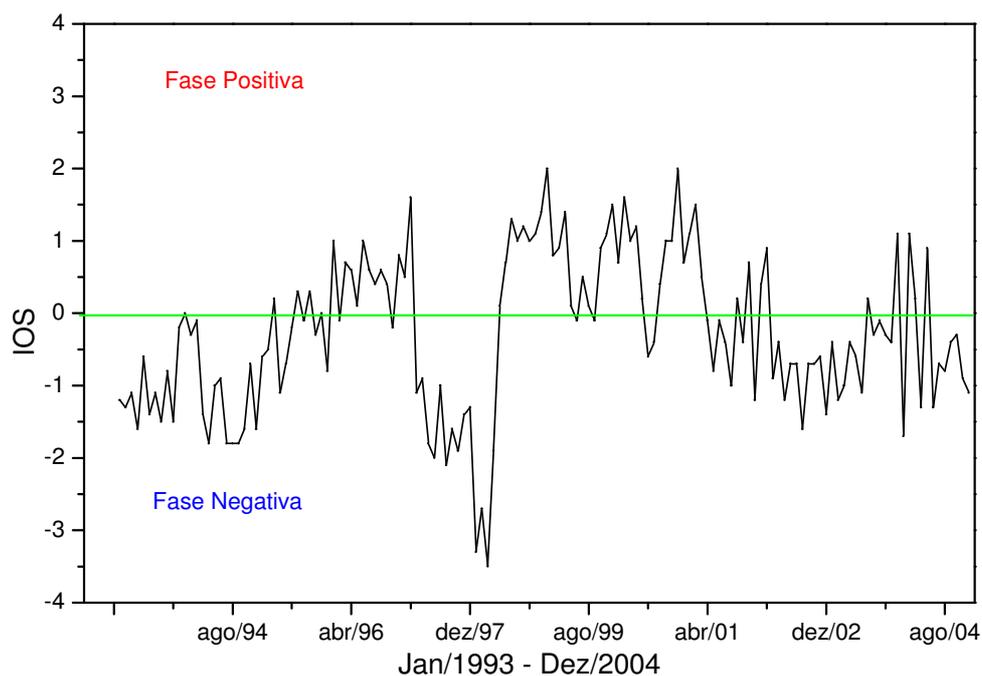


Fig. 3.6 – Índice de Oscilação Sul (IOS) para o período de 1993 a 2004.

CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA

4.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA ANÁLISE

Os equipamentos utilizados na análise proposta para este trabalho foram os espectrofotômetros Brewer modelos MKIV, MKII e MKIII, instalados no OES/CRSPE/INPE – MCT (29,4°S, 53,8°O 488,7 m), Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS), a bordo do satélite Earth Probe da NASA e as bóias oceânicas de coleta de dados.

4.1.1 ESPECTROFOTÔMETROS BREWER MK IV E MKII

Os espectrofotômetros Brewer são os equipamentos utilizados para a obtenção dos dados de medidas da radiação Ultravioleta global, além das colunas totais dos gases O₃ e SO₂. Estes equipamentos encontram-se instalados em São Martinho da Serra no OES/CRSPE/INPE – MCT, a partir de um convênio entre a UFSM e o INPE/MCT, durante o período de 1992 – 2000, modelo MKIV e 2000 – 2002, o modelo MKII.

O Brewer é um equipamento totalmente automatizado, contendo seu próprio microprocessador que controla as operações internas do instrumento, como os prismas, filtros, grade de difração, micrômetro e outras partes móveis dotadas de motores. O microprocessador está ligado a um microcomputador que contém os programas de operação do instrumento, bem como de redução e armazenamento de dados. O microcomputador encontra-se instalado no Prédio 1. O instrumento Brewer é composto por 3 partes que podem ser visualizadas na Figura 4.1: tripé, tracker e espectrofotômetro propriamente dito.

A luz solar pode entrar pelo aparelho de duas formas diferentes, dependendo do tipo de medida a ser efetuada: pela janela de quartzo ou pelo domo de UV. A radiação ultravioleta é medida através de varreduras do espectro. O Brewer mede UV em uma faixa que vai de 290 nm a 325 nm, com uma resolução de 0,5 nm. Assim, para cada comprimento de onda, a cada 0,5 nm, é medida uma quantidade de energia particular.

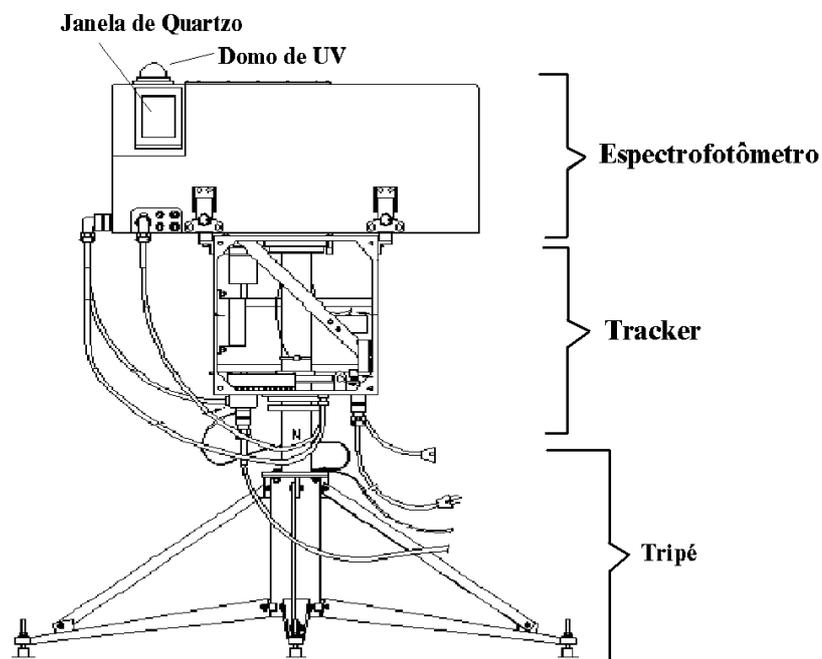


Fig. 4.1 – Espectrofotômetro Brewer composto por três partes principais: o tripé, o tracker e o espectrofotômetro. Fonte: Manual do Espectrofotômetro Brewer MK II.

Entre os diversos tipos de medidas realizadas pelo Brewer, existe a medida de radiação direta (técnica DS) (Sci-Tec, 1995). Para a realização das medidas ds o aparelho se posiciona com sua janela lateral diretamente para o Sol. Devido ao fato das medidas de ds objetivarem a obtenção da coluna de ozônio, são utilizados apenas cinco comprimentos de onda na faixa do UV, que são: 306,3, 310,1, 313,5, 316,8 e 320,1 nm. Quando o equipamento executa medidas de ozônio a luz é coletada pela janela de quartzo posicionada de forma inclinada na frente do aparelho. No interior dessa janela existe um prisma móvel também de quartzo, denominado *prisma de zênite*, que pode apontar diretamente para o Sol ou para o Céu Zênite. Existem, portanto dois tipos de medidas de ozônio, DS (Direct Sun) e ZS (Zenith Sky) dependendo do posicionamento do prisma. As diferentes posições do prisma e os percursos que a luz executa até atingi-lo, para depois entrar na íris, estão ilustradas na Figura 4.2.

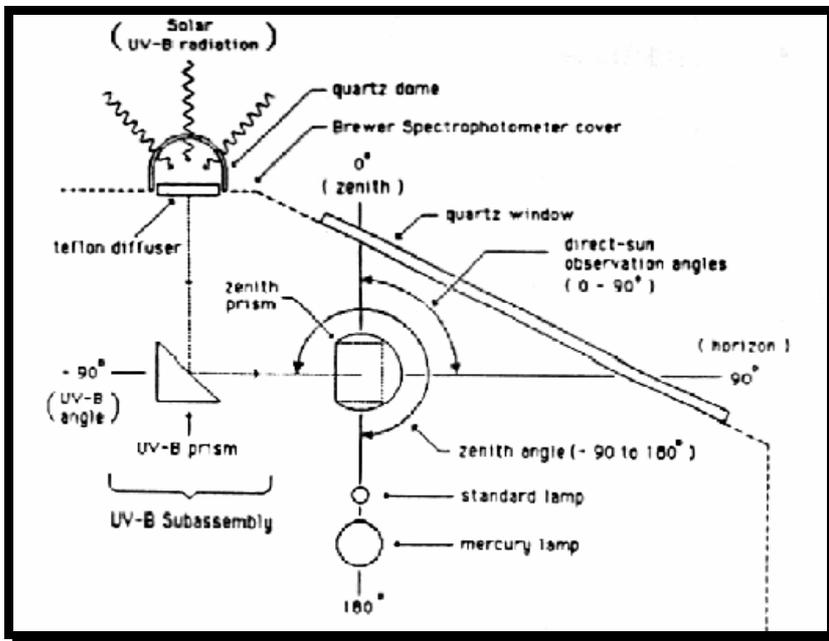


Fig. 4.2 – Possíveis posicionamentos do prisma e caminhos percorridos pela luz até chegar ao prisma. Fonte: Manual do Espectrofotômetro Brewer MK II.

Quando o equipamento executa medidas de radiação ultravioleta, o prisma de zênite é voltado para o interior do instrumento na direção da luz que entra pelo domo de UV. A radiação UV-B proveniente do Sol e do céu, isto é, a radiação direta e a difusa, atingem o domo e passam por um difusor de teflon. A radiação é direcionada ao prisma de UV-B e deste ao prisma de zênite. O prisma de zênite é controlado por um pequeno motor que o posiciona de 4 formas diferentes, de onde pode coletar luz: direto ao Sol, zênite do céu, domo de UV e para as lâmpadas de calibração. A radiação solar medida pelo instrumento passa por um conjunto de lentes, filtros atenuadores e selecionadores de radiação, colimadores, fendas seletoras, espelhos e rede de difração para incidir num tubo fotomultiplicador que transforma o feixe de luz de comprimento de onda λ num sinal elétrico interpretado como pulso pela cadeia eletrônica Brewer.

O Brewer possui duas lâmpadas de autocalibração com funções específicas e que se localizam abaixo do prisma de zênite. Após atingir o prisma de zênite, a luz entra na íris e passa por dois filtros cuja função é eliminar alguns comprimentos de onda e ajustar a luz que entrará no sistema espectrométrico. Na parte espectrométrica, o feixe de luz incide sobre um espelho côncavo e é projetado sobre uma grade de difração, onde é separado em seus comprimentos de onda. O feixe difratado atinge novamente o espelho e em seguida penetra no tubo fotomultiplicador que executa a contagem dos fótons e determina a energia transportada por aquele comprimento de onda isolado.

Na medida de ozônio, o Brewer faz uso de uma máscara que seleciona cada um dos 5 comprimentos de onda operacionais, fazendo com que cada um seja medido individualmente, após a reflexão no espelho. Nas medidas de ultravioleta a grade de difração é movida pelo micrômetro de forma a ajustar o comprimento de onda que cada equipamento mede. Cada comprimento de onda, a cada 0,5 nm é medido individualmente pela fotomultiplicadora, o que denomina-se *scan*.

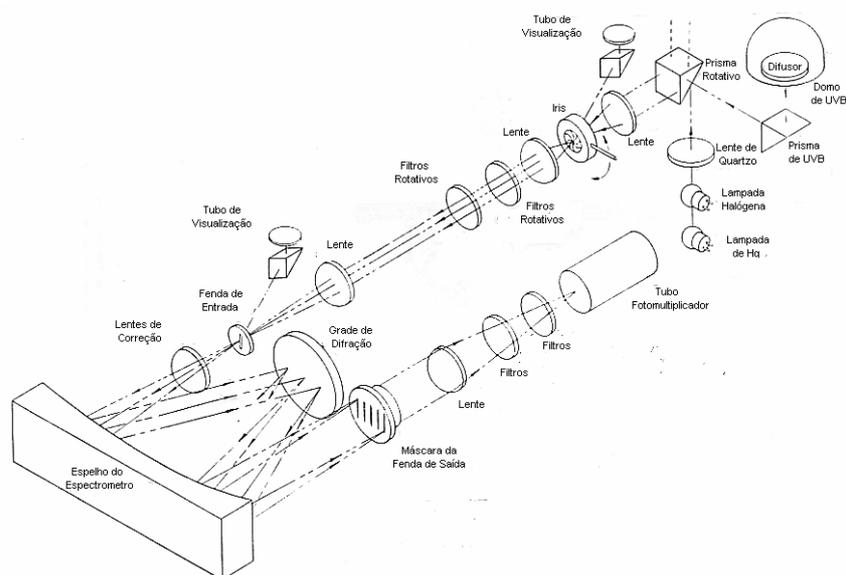


Fig. 4.3 - Vista esquemática dos componentes do sistema óptico do Brewer.

Fonte: Manual do Espectrofotômetro Brewer MK II.

Este equipamento não se encontra mais instalado no OES, onde esteve operando entre os anos 2000 – 2002. Atualmente o espectrofotômetro que realiza medidas de radiação e ozônio é o Espectrofotômetro Brewer MK III.

4.1.2 ESPECTROFOTÔMETRO BREWER MK III

Este equipamento se diferencia dos anterior descrito neste Relatório em três aspectos:

- FAIXA ESPECTRAL – O Espectrofotômetro Brewer MK III realiza medidas de radiação numa faixa mais ampla, que compreende: 286,5 nm à 363,0 nm também com resolução de 0,5 nm.
- DUPLO SISTEMA ÓPTICO – Este equipamento possui duplo sistema óptico, o que confere maior confiabilidade na separação dos comprimentos de onda, diminuindo assim a largura da banda do feixe de entrada. Na Figura 4.15 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.

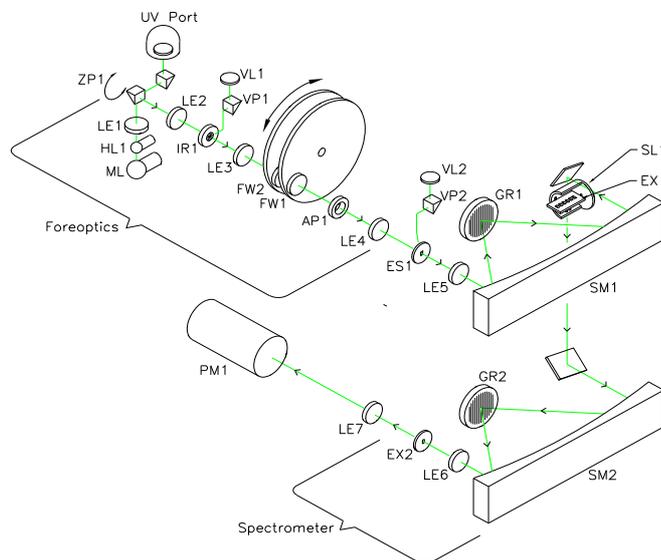


Fig. 4.4 – Elementos ópticos do Espectrofotômetro Brewer MK III.

Fonte: Manual do Espectrofotômetro Brewer MK III.



Fig. 4.5 – Espectrofotômetro Brewer modelo MKIII, instalado no Observatório Espacial do Sul.

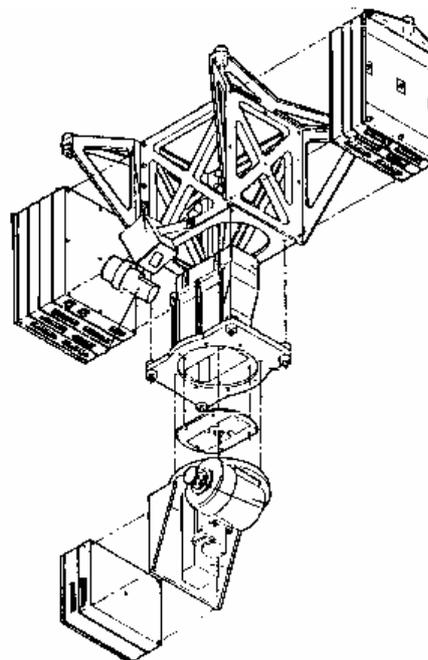
4.1.3 TOTAL OZONE MAPPING SPECTROMETER (TOMS)

O instrumento TOMS, a bordo do satélite Earth Probe da NASA, Figuras 4.6 (a) e (b) teve seus dados de coluna total de ozônio utilizados nesta análise. Este instrumento encontra-se operando continuamente desde 1996. Além da medida da coluna total de ozônio, o TOMS fornece dados de coluna total de SO₂, proveniente de vulcões, radiação UV, aerossóis e reflectividade.

O TOMS mede ozônio a partir do método de retro-espalhamento, isso significa que ele calcula a coluna total de ozônio a partir da radiação refletida pela Terra e nuvens. Dessa forma, o TOMS é um medidor indireto de ozônio, assim como o Brewer, porém com um erro maior. Para o cálculo da coluna total de ozônio, o TOMS mede a radiação UV em dois comprimentos de onda específicos: 317.5 e 331.2 nm, com um erro médio de 2%.



(a)



(b)

Fig. 4.6 (a) – TOMS antes do lançamento, (b) TOMS a bordo do satélite Earth Probe.

Fonte: www.gfsc.nasa.gov

Os dados utilizados neste trabalho são do algoritmo processado versão 8, disponíveis no website da NASA.

4.1.4 BÓIAS OCEÂNICAS

O Índice de Oscilação Sul (IOS) está disponibilizado na internet pela National Oceanic Atmosphere Administration (NOAA). Estes dados são obtidos a partir de uma rede de bóias oceânicas espalhadas em locais estratégicos ao longo do Oceano Pacífico, Figura 4.7. Estas bóias fazem medidas da pressão do ar e temperatura locais.

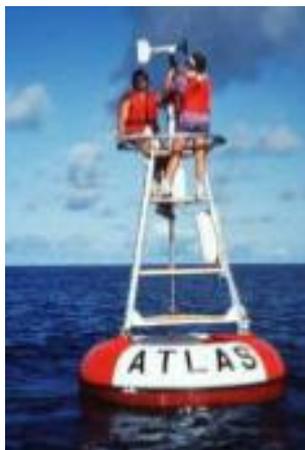


Fig. 4.7 – Bóia oceânica da rede de bóias espalhadas no Oceano Pacífico.

4.2 DEMAIS EQUIPAMENTOS

Paralelamente às atividades propostas neste trabalho a bolsista realizou trabalhos com os demais equipamentos instalados na Plataforma (Figura 4.8 (a) e (b)). Encontram-se instalados no OES cinco medidores de radiação ultravioleta, além do Brewer, os quais são descritos a seguir.



(a)



(b)

Fig. 4.8 (a) e (b) – Plataforma com equipamentos no Observatório Espacial do Sul, São Martinho da Serra, ao lado do Prédio 1.

4.2.1 BIOMETER 501 A DA SOLAR LIGHT

O princípio de medição deste aparelho baseia-se na detecção de luz por um elemento de fósforo com um diodo de GaAs (Arseneto de Gálio). A radiação solar que incide sobre um domo de quartzo do aparelho é parcialmente filtrada, de modo que apenas os comprimentos de onda na faixa de 280-340nm excitam o componente de fósforo. O sensor possui uma sensibilidade semelhante ao Espectro de Ação Eritema (Mckinlay-Diffey), simulando a sensibilidade da pele humana ao UV-B. O tempo de integração utilizado geralmente é de uma hora e os resultados obtidos são em MED/h (dose de energia necessária para queimar a pele em uma hora), sendo gravados em um *dataloger*. Periodicamente, as medidas são coletadas e armazenadas no banco de dados do LACESM/UFSM – Convênio: INPE/UFSM. A aproximação da resposta do equipamento com o Espectro de Ação de Eritema (Mckinlay-Diffey) está representada na Figura 4.9. O equipamento está representado nas Figuras 4.10(a) e (b).

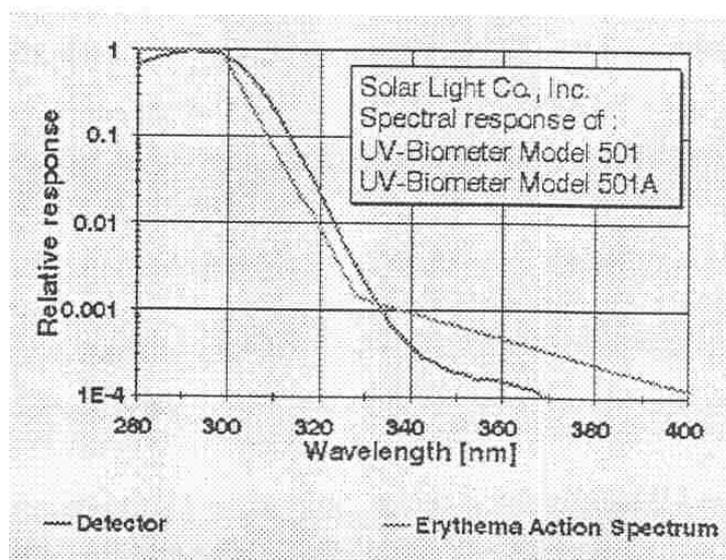
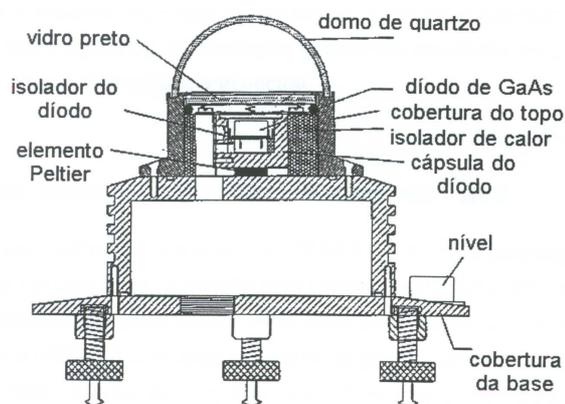


Fig. 4.9– Resposta do detector Biômetro 501 A muito aproximada do Espectro de Ação de Eritema (Mckinlay-Diffey). Fonte: Manual do Biômetro 501 A da Solar Light.



(a)



(b)

Fig. 4.10 – Biômetro 501 A da Solar Light, instalado no OES/CRSPE/INPE – MCT (a) e diagrama esquemático de um biômetro (b).

4.2.2 RADIÔMETROS UV-B MS 210 W E MS - 212 W

O radiômetro UV-B instalado no OES efetua medidas de radiação ultravioleta incidente em uma faixa de 280 a 315 nm. Ao contrário do Brewer, que mede energias em comprimentos de onda particulares, o radiômetro mede a energia total naquela faixa. É efetuada uma medida por minuto.

No sistema óptico, a radiação solar incidente em um domo de quartzo é então difusa por um Teflon difusor, e somente a radiação UV-B é transmitida após passar por um filtro de interferência. Após a radiação ser transmitida através do filtro de interferência, ela é então convertida em fluorescência de largo comprimento de onda ao se chocar com uma lente fluorescente. As radiações de maior e de menor comprimentos de onda são removidas pelo filtro de bloqueio e a radiação fluorescente restante é transmitida ao sensor. A radiação fluorescente é então convertida em corrente, amplificada por um pré-amplificador e o sinal de saída é um nível de tensão DC de 0 a 10 mV (ou 0 à 1V). Um circuito compensador de temperatura está embutido junto ao circuito de medida, mantendo o ganho de tensão (corrente) inalterado pela variação de temperatura. Este sistema faz com que os valores das medições não sejam alterados com o aumento ou queda de temperatura.

Os dados desse instrumento são armazenados em um equipamento específico para este fim, instalado no Prédio 1. Esses dados são copiados periodicamente e gravados no Banco de Dados do LACESM, onde são convertidos para formato texto, podendo-se assim obter dados de radiação ultravioleta. A Figura 4.11 ilustra um diagrama esquemático do Radiômetro e a Figura 4.12 mostra este equipamento instalado no OES.

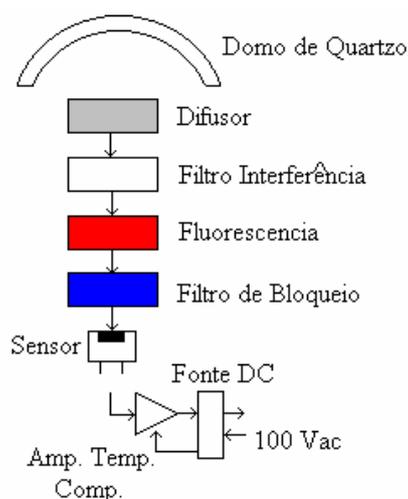


Fig. 4.11 - Diagrama mostrando os vários estágios que compõe o sistema de medição do UV – B Radiometer modelo MS - 210W. Fonte: Manual do UV – B Radiometer MS – 210W.



Fig. 4.12– Radiômetro UV-B MS-210 W instalado no OES/CRSPE/INPE – MCT, obtido a partir da cooperação Brasil – Japão.

4.2.3 RADIÔMETRO UV-A MS - 212 A

O radiômetro UV-A MS-212 A foi desenhado para medir a radiação ultravioleta na faixa espectral de 315 a 400 nm. Opera continuamente exposto às condições de tempo locais. O sistema óptico deste equipamento é semelhante aos radiômetros medidores de UV-B, a radiação incide no domo de quartzo e é difusa por um difusor de Teflon e apenas radiação UV-A é transmitida através do filtro UV especial. Após a radiação ser transmitida para o filtro, ela será convertida em voltagem DC de 0 à 10 mV ou 1V. O equipamento ainda contempla um circuito de compensação interna de temperatura. A Figura 4.13 mostra um diagrama esquemático do medidor de UV-A com suas partes integrantes, pode-se observar que sua estrutura interna é muito semelhante aos medidores de UV-B.

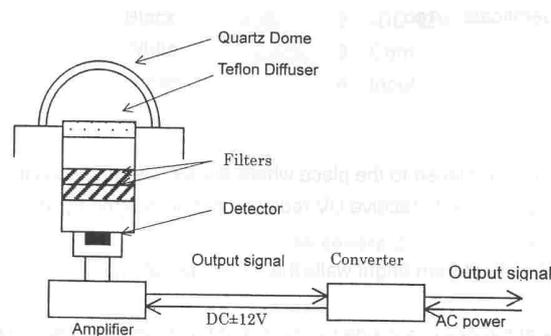


Fig. 4.13– Diagrama esquemático representando todas as partes integrantes do Radiômetro UV –A MS – 212 A, equipamento obtido a partir da cooperação Brasil – Japão.
Fonte: Manual do Radiômetro UV – A MS – 212A.



Fig. 4.14 – Foto do Radiômetro UV-A MS – 212. Equipamento obtido através da cooperação Brasil – Japão.

4.2.4 GROUND – BASED ULTRAVIOLET RADIOMETER GUV 511C

Este equipamento mede a radiação em comprimentos específicos que permitem inferir a radiação biologicamente ativa, sendo eles: 305, 320, 340 e 380 nm. Mede também a radiação fotossinteticamente ativa com um filtro na região espectral do visível. Uma novidade que aparece neste medidor de UV é um controlador de temperatura tipo PID, que mantém o interior a uma temperatura constante de 50° C, o que aumenta a precisão das medidas.



Fig. 4.15 – GUV instalado no Observatório Espacial do Sul/CRSPE/INPE – MCT.

4.2.5 ESPECTRORADIÔMETRO MS-701

O espectralradiômetro MS-701 mede radiação ultravioleta de 295 a 400 nm, a cada 1 nm, determinando a distribuição espectral da intensidade de radiação incidente, efetuando uma medida a cada 5 minutos. Diferencia-se dos detectores de UV anteriores por possuir uma grade de difração que permite a medida de radiação por comprimento de onda. O diagrama esquemático do equipamento está representado na Figura 4.16.



Fig. 4.16 – Diagrama esquemático do Espectroradiômetro MS – 701 ilustrando suas partes internas. Equipamento utilizado pelos alunos integrantes do Programa de Monitoramento de Ozônio Atmosférico a partir da cooperação Brasil – Japão.
Fonte: Manual do Espectroradiômetro MS – 701.

CAPÍTULO 5 – ATIVIDADES DO BOLSISTA

5.1 VISITAS TÉCNICAS AO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL

Visitas técnicas ao OES/CRSPE/INPE – MCT foram necessárias para coleta de dados, limpeza, calibração e manutenção preventiva dos equipamentos lá instalados. Semanalmente, um grupo de integrantes do PMOA, deslocava-se até o Observatório para a realização de atividades que serão citadas a seguir.

5.1.1 CALIBRAÇÃO DOS ESPECTROFOTÔMETROS BREWER

O Brewer é o único equipamento instalado no Prédio do PMOA que é calibrado quinzenalmente. Esta calibração é necessária para atenuar o erro das suas medidas devido à desajustes naturais do equipamento. O equipamento utilizado para calibração consiste em um kit de calibração 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 como 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. Vale lembrar que as medidas de UV do Brewer são gravadas em arquivos Uvdddyy.167.

5.1.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA DOS EQUIPAMENTOS

5.1.2.1 TROCA DA SÍLICA GEL

Todo equipamento eletrônico são bastante vulneráveis a ação da umidade. Dessa forma, faz-se necessário manter a umidade baixa no interior dos instrumentos. Por essa razão os detectores de UV e ozônio são dotados de compartimentos com sílica gel. Esta sílica deve ser trocada frequentemente para que se tenha um controle da umidade no interior dos equipamentos e conseqüentemente medidas mais confiáveis.

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 detectores, 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

Até início de 2005 alguns detectores encontravam-se acoplados a um data logger, onde os dados eram armazenados. Sendo assim, antes que este ficasse totalmente preenchido era necessário que o mesmo fosse descarregado para que as medidas não fossem sobrepostas. Apenas o equipamento biômetro 501 A ainda funciona com data logger, os radiômetros e espectralradiômetro foram acoplados a laptops. Sendo assim, suas memórias permitem um armazenamento por período maior. Mesmo assim, visitas frequentes ao OES/CRSPE/INPE – MCT são necessárias para que esses dados e do GUV e Brewer sejam copiados e trazidos ao CRSPE/INPE – MCT para redução e análise.

5.2 REDUÇÃO DE 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. No caso dos dados do Brewer, estes são interpretados pelo programa UVBrewer, mas para se trabalhar com seus dados é necessário que sejam exportados em períodos de acordo com seus arquivos de calibração respectivos. Essa é a etapa mais demorada.

5.3 ANÁLISE DOS DADOS

Uma vez reduzidos, os dados estão prontos para ser 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. E as demais análises visam o monitoramento da radiação UV na região central do Rio Grande do Sul.

CAPÍTULO 6 – RESULTADOS

A partir dos dados da coluna total de ozônio, foi feita uma climatologia diária de ozônio para a Região Central do Rio Grande do Sul. Para o cálculo da climatologia, foi necessário um refino nos dados de ozônio obtidos pelo Brewer.

6.1 – CORREÇÃO DOS DADOS DA COLUNA TOTAL DE OZÔNIO

Foram utilizados para esta análise somente dados da coluna total de ozônio obtidos a partir da medida DS, que é mais precisa. Inicialmente foi verificado o teste SL (Standard Lamp) do Brewer para cada dia da análise. O teste SL (Standard Lamp) é o 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, que é comparada com a constante de referência do Brewer. 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 da coluna total de ozônio e aplicada a correção 2 sigma (2σ) três vezes, a fim de eliminar valores absurdos da análise. Ao final das três correções 2σ , os valores obtidos finalmente estiveram prontos para uma análise posterior.

6.2 – CÁLCULO DA CLIMATOLOGIA DE OZÔNIO PARA O OES

Considerou-se por exemplo, que os dados formam uma matriz com 12 colunas, representando os anos da análise, e 365 linhas, representando os dias de um ano. Portanto tem-se uma matriz O (12, 365). Para a obtenção de uma climatologia diária de ozônio, inicialmente, foram calculadas as médias diárias de ozônio para os 12 anos do período, obtendo-se assim a matriz OM (1, 365). A fim de suavizar estes dados, fez-se uma

suavização com média corrida de 5 valores, conforme a equação 1, obtendo-se assim a matriz OMS (1, 365), Figura 6.1:

$$\text{OMS (i)} = \frac{\text{OM (i-2)} + \text{OM (i-1)} + \text{OM (i)} + \text{OM (i+1)} + \text{OM (i+2)}}{5} \quad (1)$$

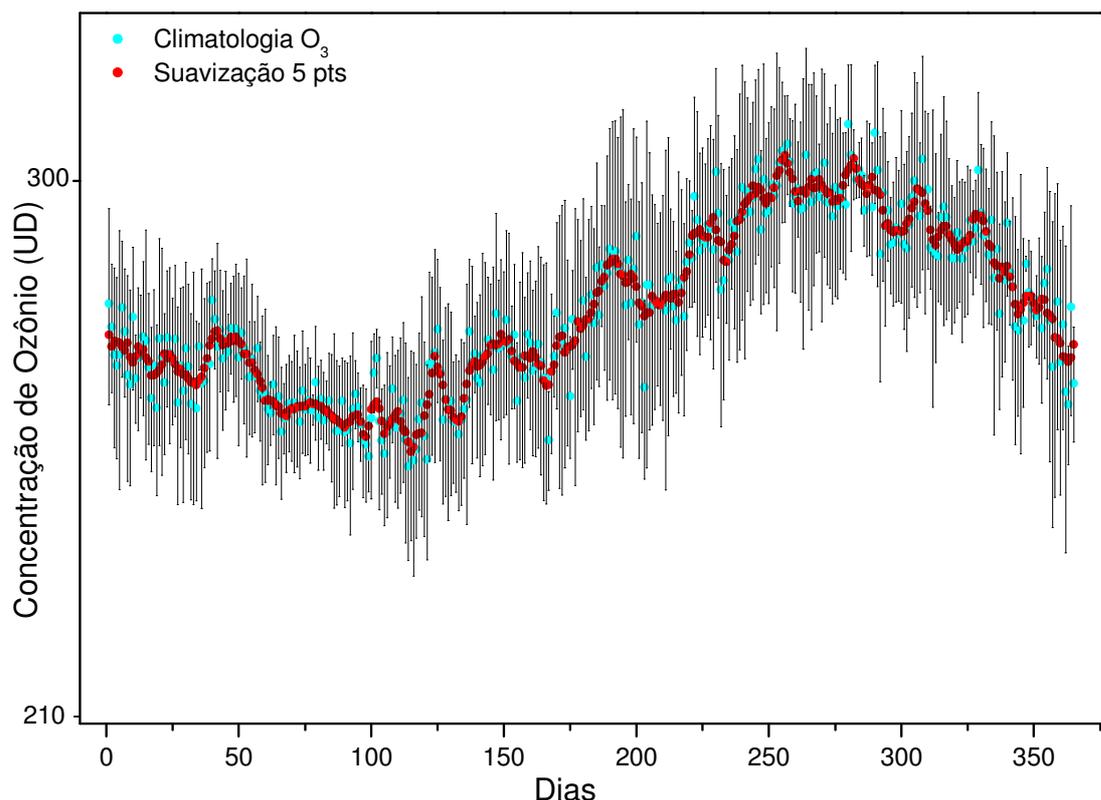


Fig. 6.1 – Climatologia diária da coluna total de ozônio com desvio padrão e suavização 5 pontos da mesma, para a região de Santa Maria, representado em escala logarítmica.

Observa-se uma distribuição sazonal de ozônio média, com máximo na primavera e mínimo no outono, a qual é típica para a região central do Estado do Rio Grande do Sul. Os respectivos desvios padrões da média climatológica estão representados. Observam-se os menores desvios padrões no outono. Os dados de climatologia de ozônio estão representados em escala logarítmica para melhor visualização.

6.2.1 – DESCONTINUIDADE DE DADOS

Foram observadas descontinuidades nos dados de ozônio devido principalmente por dois fatores:

- Nebulosidade – como nesta análise foram utilizados somente medidas de ozônio do tipo DS, em dias chuvosos ou muito nebulosos esta medida é substituída pela medida ZS, que é mais imprecisa.
- Troca de equipamento – houveram duas trocas de equipamentos no Observatório, a primeira em 1999 e a segunda em 2002. Nestas trocas, principalmente na de 1999, houve um período bastante significativo de ausência de dados.

Em virtude da descontinuidade de dados, optou-se em trabalhar com escala mensal, uma vez que esta análise tem como objetivo analisar as diferenças entre anos de El Niño e La Niña e anos normais. Dessa forma, foram calculadas as médias mensais e obteve-se 12 colunas, representando os anos e 12 linhas, representando os meses de cada ano, tem-se portanto a matriz OZ (12, 12). A média climatológica mensal é a média de cada mês para os 12 anos de análise, assim tem-se a matriz MOZ (1, 12). A média climatológica está representada na Figura 6.2. São observadas médias climatológicas de ozônio menores para os meses de Março, Abril e Maio e médias maiores durante os meses de Setembro, Outubro e Novembro. Este comportamento está de acordo com a Figura 6.1 e com a teoria, pois sabe-se que os períodos de mínimo e máximo do ozônio atmosférico ocorrem durante as estações de Outono e Primavera, respectivamente. Os desvios padrões encontrados são maiores no início e no final dos períodos de máximo e mínimo, pois nestes períodos o ozônio apresenta variações maiores.

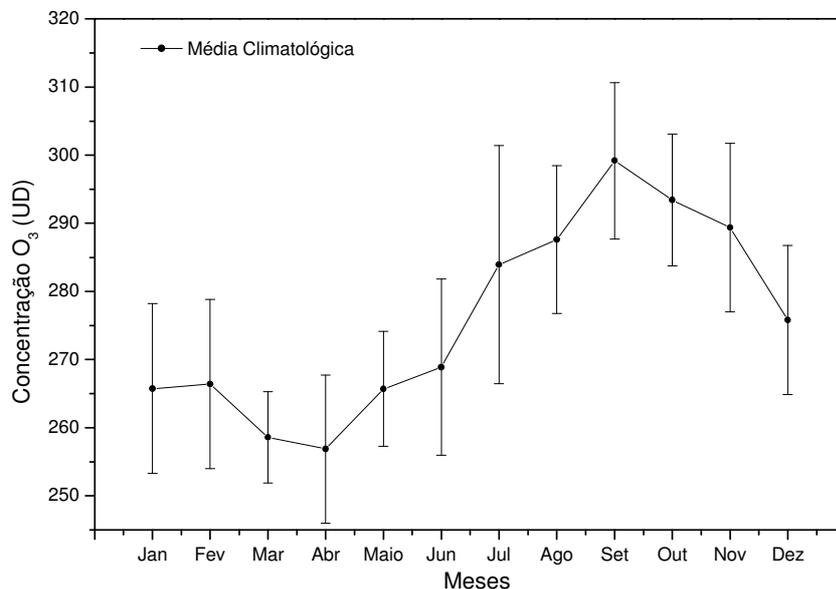


Fig. 6.2 – Média Climatológica mensal de ozônio para todo o período da análise, representada com os respectivos desvios padrões, a partir de dados do Brewer.

6.3 – CÁLCULO DAS ANOMALIAS DE OZÔNIO PARA O OES

Uma vez calculadas as médias mensais e climatológicas, tornou-se possível a obtenção das anomalias mensais de ozônio (AO). Por definição, as AO são calculadas a partir da diferença entre a média mensal e a climatológica. Após, foram utilizados os dados do Índice de Oscilação Sul normalizados, disponíveis no website do NCEP, para uma comparação com as anomalias de ozônio calculadas para o OES (Figura 6.3). As anomalias de ozônio estão representadas na escala da direita enquanto o IOS normalizado está representado na esquerda.

Os valores de anomalias de ozônio positivos indicam coluna total de ozônio acima da média climatológica e as anomalias de ozônio negativas indicam coluna total de ozônio abaixo da média climatológica. Pode-se observar que nesta comparação existem dois períodos distintos: um de Janeiro de 1993 a Dezembro de 1996 e o outro de Janeiro de 1997 a Dezembro de 2004. No primeiro período as anomalias de ozônio têm um comportamento discordante do normalmente esperado, mostrando um possível aumento na coluna total de ozônio em episódio de El Niño, 1993–1995, e uma possível diminuição no episódio de La

Niña, 1995–1996. Este fato é comprovado pelo resultado da correlação de $-0,26$ entre anomalias de ozônio e IOS para o primeiro período (Figura 6.4).

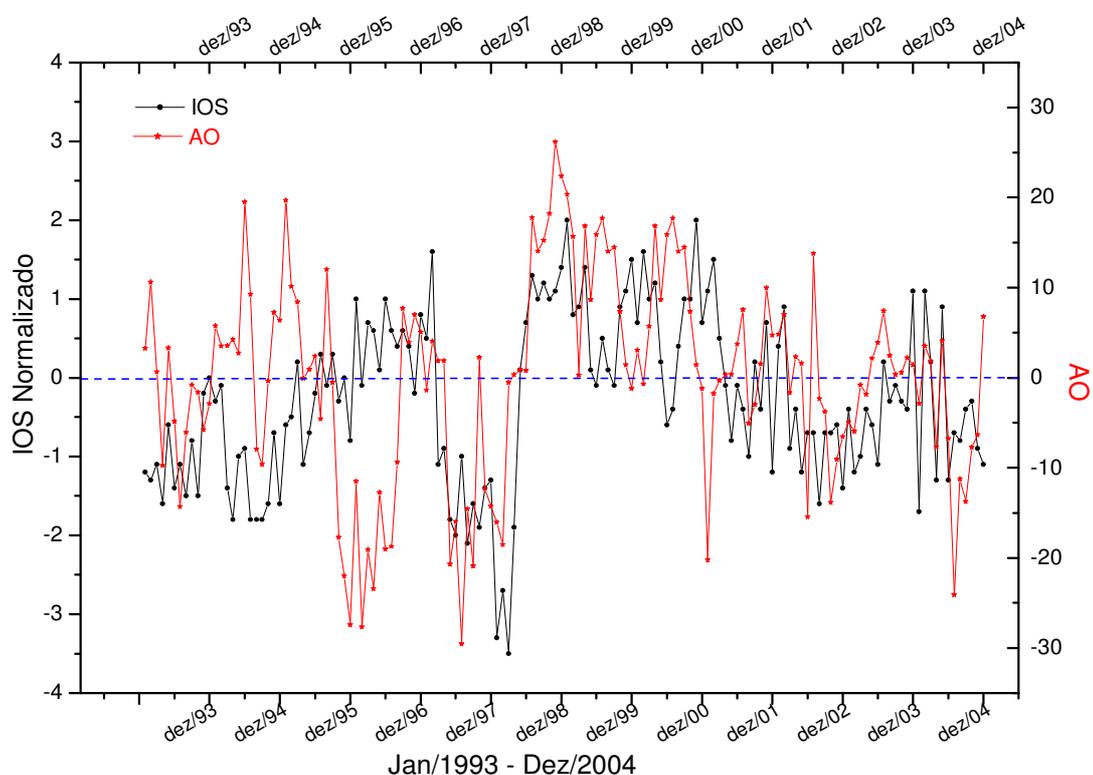


Fig. 6.3 – Comparação entre o Índice de Oscilação Sul e as anomalias de ozônio para o OES, para o período de Janeiro de 1993 a Dezembro de 2004.

Considerando uma série de 48 pontos, um para cada mês do período, de acordo com o método t de Student este valor não tem significância estatística, ou seja não se pode afirmar com base na correlação obtida, que as variações na coluna total de ozônio acompanharam variações opostas no IOS. Embora o valor não seja significativo, este resultado indica que as variações de ozônio durante 1993-1996 não estiveram relacionadas ao ENOS, mas podem ter sido ocasionadas por outros fatores, possivelmente de origem local. Por outro lado, o contrário foi verificado para o segundo período, pois a correlação obtida foi de $R = 0,55$. Considerando uma série de 96 valores, a correlação obtida sugere uma redução na coluna total de ozônio para anos de El Niño (fase negativa) e um aumento na coluna total

de ozônio para anos de La Niña (fase positiva). Este resultado é consistente com resultados anteriores obtidos usando dados de TOMS (Kayano, 1997; Ambrizzi et al., 1998).

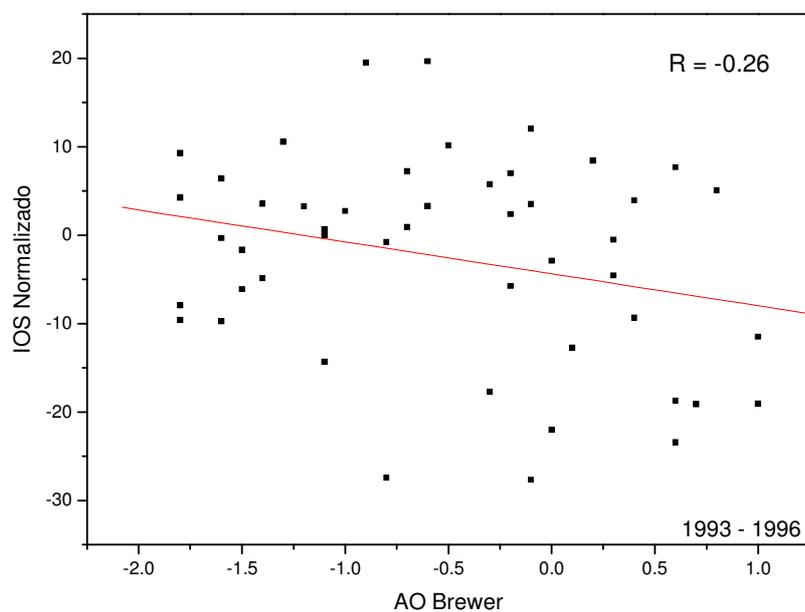


Fig. 6.5 – Correlação entre o Índice de Oscilação Sul Normalizado e as anomalias de ozônio do Brewer para o primeiro período da análise, Janeiro de 1993 a Dezembro de 1996.

Analisando-se separadamente o segundo período desta análise, durante episódios de El Niño as águas do Pacífico se aquecem mais que o normal e devido a interação oceano-atmosfera, esta se torna mais aquecida o que aumenta a altura da tropopausa, este efeito é chamado de efeito de tropopausa. Devido a este efeito haverão mais moléculas de ozônio na troposfera que reagirão quimicamente com compostos troposféricos como o radical oxidrila (OH), presente na troposfera em abundância devido a maior umidade nesta camada, reduzindo a coluna total de ozônio. Outro efeito também contribui para esta diminuição de ozônio é o efeito de advecção devido ao contragradiente (Hasebe, 1993). Estes dois efeitos combinados foram propostos para as águas do Pacífico, porém devido ao aumento da convecção em períodos de El Niño, as conseqüências destes efeitos podem se estender para o Sul do Brasil, de acordo com as análises anteriores mas utilizando dados do TOMS (Kayano, 1997; Ambrizzi et al., 1998.).

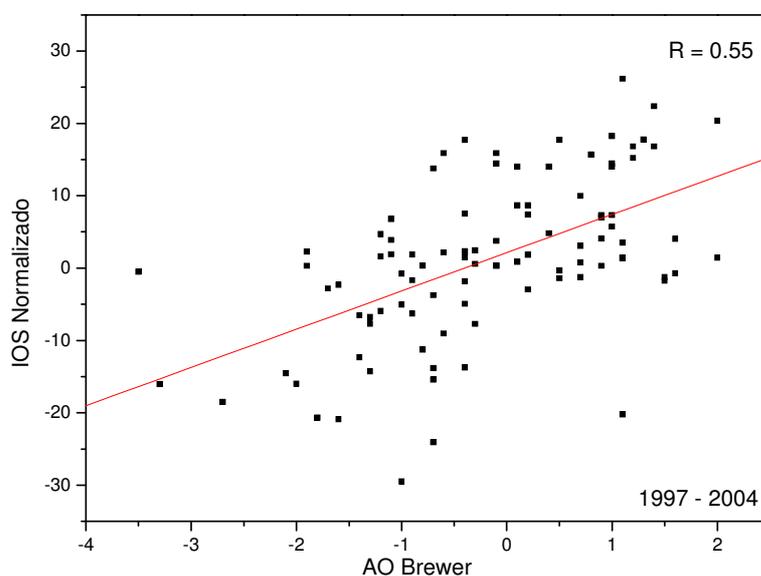


Fig. 6.6 – Correlação entre o Índice de Oscilação Sul Normalizado e as anomalias de ozônio do Brewer para o segundo período da análise, Janeiro de 1997 a Dezembro de 2004.

A mesma análise foi feita com os dados da coluna total de ozônio do TOMS. Porém, durante o período de 1993 a 1996 o TOMS encontrava-se em manutenção, portanto os dados referentes a esse período não se encontram disponíveis. Dessa forma, foram calculadas as médias mensais e climatológicas apenas para o período de Janeiro de 1997 a Dezembro de 2004, Figura 6.7. Pode-se observar que a média climatológica de ozônio obtida pelo TOMS é ligeiramente menor, para o período de máximo do ozônio, que as obtidas pelo Brewer.

As anomalias de ozônio calculadas a partir dos dados do TOMS juntamente com as anomalias obtidas pelo Brewer estão apresentadas na Figura 6.8 para o período de Janeiro 1997 a Dezembro de 2004. Nesta figura está apresentado também o IOS. É possível notar que as anomalias de ozônio, obtidas por ambos os equipamentos, acompanham o IOS e que são mais pronunciadas no período do El Niño 1997–1998, quando este evento teve maior intensidade. Foi calculada a correlação entre anomalia de ozônio e IOS para o segundo período da análise com os dados do TOMS e o resultado se aproxima do resultado encontrado utilizando os dados do Brewer, $R = 0,45$ (Figura 6.9). Este resultado também sugere uma diminuição na coluna total de ozônio sob a região central do Estado do Rio

Grande do Sul durante o episódio de El Niño e um aumento durante o episódio de La Niña, o que vem ao encontro do resultado obtido pela análise com o Espectrofotômetro Brewer.

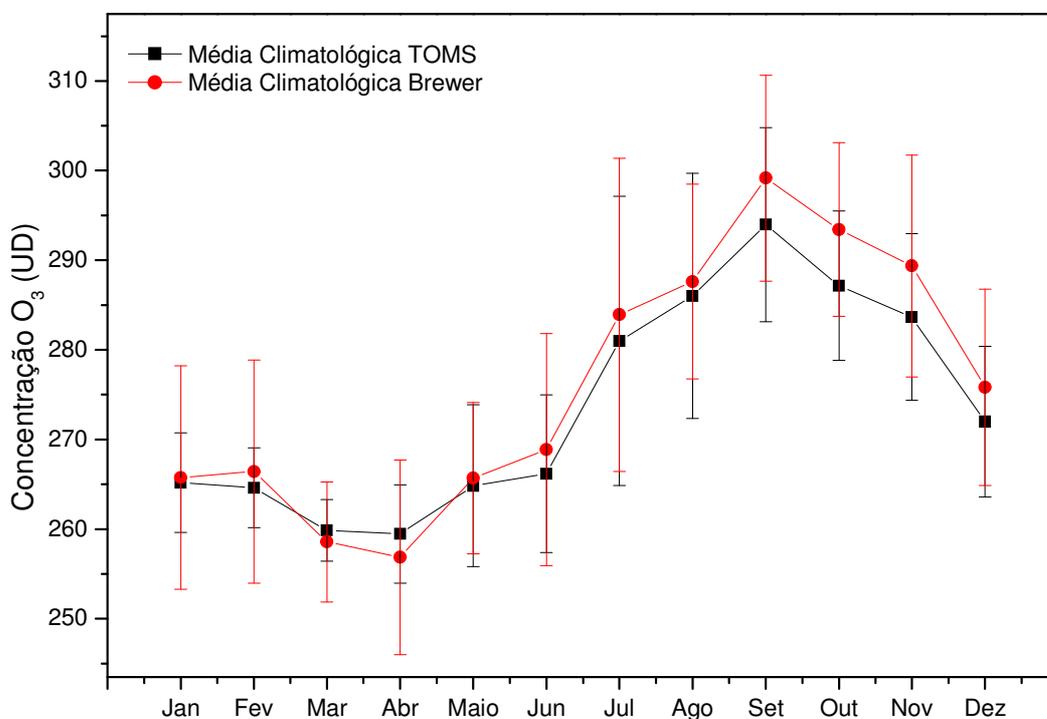


Fig. 6.7 – Médias climatológicas de ozônio obtidas a partir de dados do TOMS, linha em preto, comparadas às médias climatológicas obtidas pelo Brewer, linha em vermelho, para o OES/CRSPE/INPE – MCT.

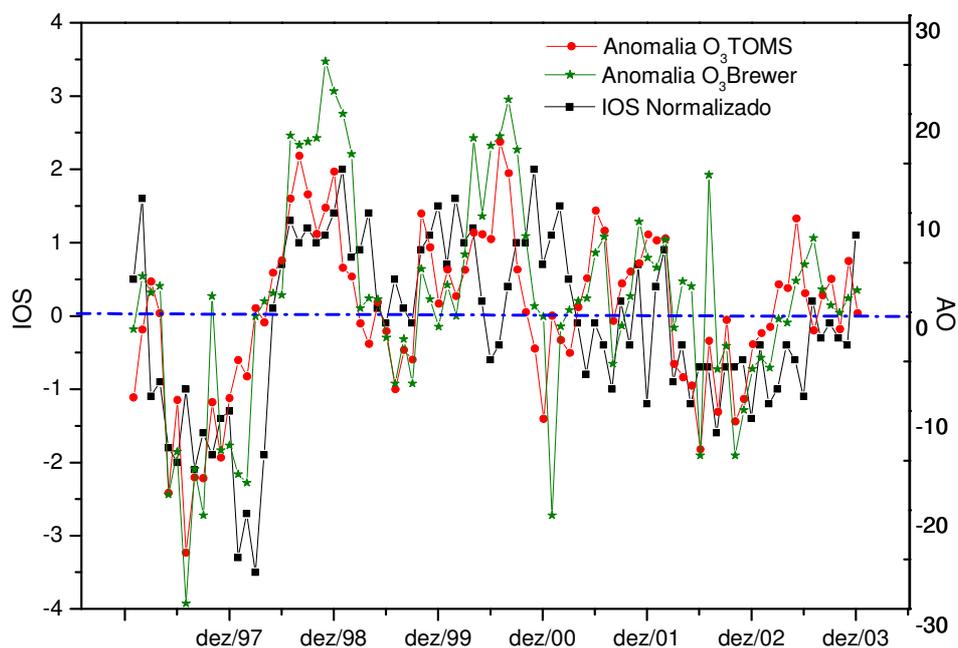


Fig. 6.8 – Anomalias de ozônio obtidas a partir do TOMS, linha em vermelho, e pelo Brewer, linha em verde, representadas na escala da direita. O IOS está representado na escala da esquerda.

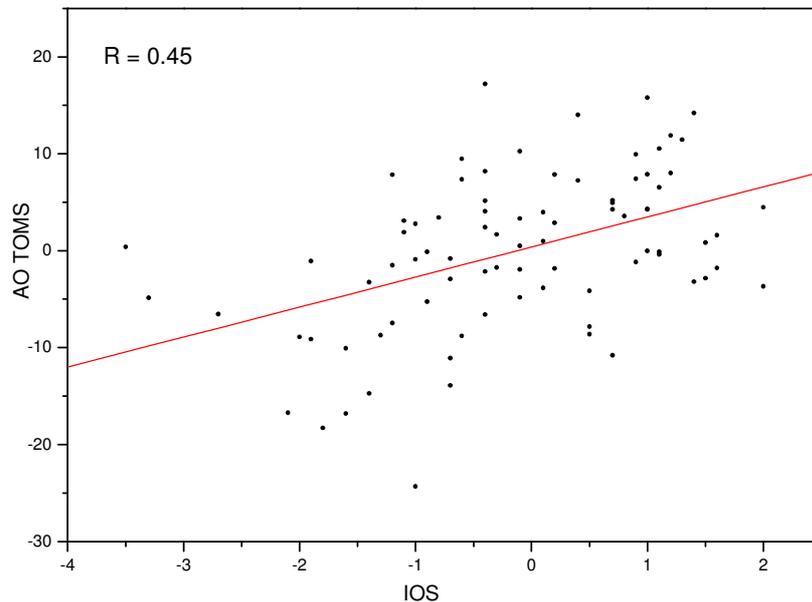


Fig. 6.9 – Correlação entre Anomalias de ozônio obtidas pelo TOMS e IOS para o período de 1997-2004.



A fim de quantificar a redução–aumento na coluna total de ozônio, foi calculada a razão entre as médias mensais e climatológicas do Brewer e TOMS. Para o episódio de El Niño reduções de $3,4\% \pm 3,7$ e $3,1\% \pm 2,7$ foram obtidas para o Brewer e TOMS, respectivamente, enquanto para o episódio de La Niña foram encontrados aumentos de $2,4\% \pm 3,7$ e $1,3\% \pm 2,4$ para o Brewer e TOMS, respectivamente. Pode-se observar que as reduções de ozônio foram maiores que os aumentos, isso se deve, principalmente ao fato de o evento de El Niño ter sido mais intenso que o de La Niña, conforme Figura 6.8.

Ressalta-se que, conforme (Guarnieri, et al 2004), uma redução de 1% na coluna total de ozônio, para a região central do Rio Grande do Sul, implica em um aumento de 1,2% em média da radiação UV-B sob a região.

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES

Com base nas análises desenvolvidas neste trabalho, conclui-se que:

As anomalias de ozônio calculadas a partir da análise dos dados obtidos com o Espectrofotômetro Brewer instalado e em operação no Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em São Martinho da Serra, RS apresentaram comportamentos diferentes para dois períodos da análise, um de Janeiro de 1993 a Dezembro de 1996 e outro de Janeiro de 1997 a Dezembro de 2004. O primeiro período apresentou um comportamento onde as anomalias de ozônio têm variações opostas às variações do Índice de Oscilação Sul (IOS). Vale ressaltar que esta correlação negativa não teve significância estatística.

O segundo período apresentou correlação significativa para ambos os equipamentos utilizados nesta análise, sugerindo redução – aumento de ozônio durante os episódios de El Niño – La Niña. As reduções durante os episódios de El Niño foram de $3,4\% \pm 3,7$ e $3,1\% \pm 2,7$ para o Brewer e TOMS e os aumentos durante os episódios de La Niña foram de $2,4\% \pm 3,7$ e $1,3\% \pm 2,4$ para o Brewer e TOMS, para o segundo período da análise.

Os resultados apresentados acima são de importância fundamental para a região, pois sabe-se que a região Sul do país sofre com os efeitos secundários do buraco de ozônio Antártico, portanto qualquer aumento de radiação UV-B poderá causar danos biológicos aos inúmeros seres vivos desta região.

CAPÍTULO 8 – 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 Dynamics*, Vol. 14, p133-150, 1998.
- Blumthaler, M., Solar UV Measurement. In: Tevini, M., ed. **UV – B radiation and ozone depletion**, New York: Lewis Publisher, 1993, p. 71 – 94.
- Brasseur, G.; Solomon, S. **Aeronomy of the middle atmosphere.** Dordrecht, Holanda: D. Reidel Publishing, 1986. 452 p.
- Coulson, K. L. **Solar and Terrestrial Radiation: Methods and Measurements.** New York: Academia Press, 1975. 322p.
- Davidson, J. A.; Cantrell, C. A.; McDaniel, A. H.; Shetter, R. E.; Madronich, S.; Calvert, J. G. Visible-ultaviolet absorption cross sections for NO₂ as a function of temperatura. **Journal of Geophysical Research**, v. 93, n. D6, p. 7105 – 7112, June 1988.
- Fioletov, V. E.; Griffioen, E.; Kerr, J. B.; Wardle, D. I. Influence of volcanic sulfur dioxide on spectral uv irradiance as measured by brewer spectrophotometers. **Geophysical Research Letters**, v.25, n. 10, p. 1665-1668, May 1998.
- Guarnieri, F. L. **Radiação Ultravioleta** (Trabalho de Geofísica Espacial I – Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, maio de 1999.
- 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.
- Green, A. E. S. Attenuation by ozone and earth's albedo in the middle ultraviolet. **Applied Optics**, v. 3, n. 2, p. 203 – 209, Feb. 1964.
-

Hasebe, F., **Dynamical Response of the Tropical Total Ozone to Sea Surface**

Temperature Changes. Journal of the Atmospheric Sciences. Vol. 50, Nº 3, p345-356, 1993.

Kayano, M. T. **Principal modes of the total ozone on the Southern Oscillation timescale**

and related temperature variations, Journal of Geophysical Research, Vol. 102, Nº D22, p25,797-25,806, November, 1997.

Kirchhoff, V. W. J. H. **Ozônio e Radiação UV – B.** São José dos Campos: Transtec Editorial, 1995. 73p.

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.

Krzýscin, J. – 1996 - UV controlling factors and trends derived from the ground-based measurements taken at Belks, Poland, 1976 – 1994. *Geophys Res.*, **101 (D11):** 16797 – 16805.

Lenoble, J. **Atmospheric Radiative Transfer.** Hampton: A DEEPAK Publishing, 1993, 532 p.

Lorente, J.; Redano, A; De Cabo, X. Influence of urban aerosol on spectral solar irradiance. **Journal of Applied Meteorology**, v.33, p. 406 – 415, 1994.

Lovelock, J. P. **The ages of Gaia. A biography of our living Earth.** Oxford: The Commonwealth Fund Book Program, 1988 – 341p.

Madronich, S. UV radiation in the natural and perturbed atmosphere. In : Tevini, M. ed., **UV – B Radiation and ozone depletion.** New York: Lewis Publisher, 1993, p. 17 – 70.

McGee, T. J.; Burris Jr, J. SO₂ absorption cross sections in the near uv. **Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer**, v. 37, n.2, p. 165 - 182, 1987

Mézáros, E. **Global and regional changes in atmospheric composition.** Boca Raton: Lewis, 1993, 185 p.

- McCortney, E. J. **Optics of the atmosphere: scattering by molecules and particles**, New York; John Willey & Sons, 1976, 408 p.
- Michelangeli, D. V.; Allen, M.; Yung, Y. L.; Shia, R. L.; Crisp, D.; Eluszkiewics, J. Enhancement of atmospheric radiation by an aerosol layer. **Journal of Geophysical Research**, v. 97, n. D1, p. 865 – 874, Jan. 1992.
- Molina, L.T.; Molina, M. J. Absolute absorption cross sections of ozone in the 185 to 350 nm wavelength range. **Journal of Geophysical Research**, v. 91, n. D13, p. 14501 – 14508, Dec. 1986.
- Robinson, N. **Solar Radiation**. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1966, 347 p.
- Seinfeld, J. H. **Atmospheric chemistry and physics of air pollution**. New York: John Wiley and Sons, 1985, 760p.
- Shimazaki, T. **Minor constituents in the middle atmosphere**. Tokyo: Terra Scientific, 1985. 443p.
- Summers, M. E. Vertical couplings. **Science**, v. 284, p. 1783 – 1784, June 1999.
- Twitty, J. T.; Weinman, J. A. Radiative properties of carbonaceous aerosols, **Journal of Applied Meteorology**, v. 10, p. 725 – 731, 1971.
- World Meteorological Organization (WMO). **Scientific Assessment of ozone Depletion: 1998**. WMO Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 44, Geneva, 1999.
- Roy, C.R.; Gies, H. P.; Tomlinso, D. W. Effects of ozone depletion on the ultraviolet radiation environment at the Australian stations in Antarctica, Ultraviolet Radiation in Antarctica: Measurements and biological effects, **Antarctic Research Series**, v. 62, p. 1-15, 1994.
- Whitten, R. C.; Prasad, S. S. **Ozone in Free Atmosphere**, New York, Van Nostrand, 1985. 298p.
-



Walker, J. C. G. **Evolution of the atmosphere**. New York: Macmillan, 1977, 329p.

Waneck, P. **Chemistry of the natural atmosphere**. Boston: Academic, 1988, 770 p.

Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, Página da internet, http://satelite.cptec.inpe.br/uv/R-UV_e_pele.html, consulta realizada no dia 15 de Abril de 2005.

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, http://www.labgis.uerj.br/gis_atualizada/sensoriamento/onda.html#ray, Página da internet, consulta realizada no dia 10 de Fevereiro de 2005.

National Aeronautics and Space Administration, <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>, Página da Internet, consulta realizada no dia 23 de Abril de 2005.

National Aeronautics and Space Administration, <http://stimpny.chem.selu.edu/nasa/spectrum.gif>, Página da Internet, consulta realizada no dia 23 de Abril de 2005.

Physical Geographic, <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7f.html>, Página da Internet, consulta realizada dia 08 de Abril de 2005.

<http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/earth/Atmosphere/overview.html>

Laboratório de Meteorologia da USP,

<http://www.labmet.io.usp.br/goosbr/modulo1.htm#O%20Papel%20dos%20Oceanos%20no%20Clima>, Página da Internet consultada dia 03 de Março de 2005.

National Centers for Environmental Prediction,

www.cpc.ncep.noaa.gov, Página da Internet consultada dia 10 de Outubro de 2004.

CAPÍTULO 9 – ATIVIDADES EXTRACURRICULARES

PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS, COM TRABALHOS PUBLICADOS:

Ao longo do período da bolsa, o bolsista participou de inúmeros eventos de iniciação científica:

1. COMPARAÇÃO DA COLUNA TOTAL DE OZÔNIO ENTRE ESPECTROFOTÔMETRO BREWER E TOMS PARA O OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL 2002 – 2003

Samara Carbone, Robinson L. Manfro, Rafael S. Peres, Marcelo B. da Rosa, Damaris K. Pinheiro, Nelson J. Schuch, Mary T. Kayano.

XIX CRICTE – CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA; evento realizado em Curitiba – PR nos dias 13, 14 e 15 de Novembro de 2004.

2. COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS PARA CÁLCULO DO OZÔNIO RESIDUAL EM SONDAGENS REALIZADAS NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL.

Robinson L. Manfro, **Samara Carbone**, Rafael S. Peres, Natanael A. Hermes, Leonardo A. Biazzi, Marcelo B. da Rosa, Damaris K. Pinheiro, Nelson J. Schuch, Nelson J. Ferreira.

XIX CRICTE – CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA; evento realizado em Curitiba – PR nos dias 13, 14 e 15 de Novembro de 2004.

3. CORRELAÇÃO ENTRE RADIAÇÃO UV-B E A VARIAÇÃO DA COLUNA TOTAL DE OZÔNIO

Leonardo A. Biazi, **Samara Carbone**, Robinson L. Manfro, Marcelo Pizzuti, Ricardo A. Guarnieri, Marcelo Barcellos da Rosa, Nelson J. Schuch, Damaris K. Pinheiro.

XIX CRICTE – CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA; evento realizado em Curitiba – PR nos dias 13, 14 e 15 de Novembro de 2004.

4. COMPARAÇÃO DA ENERGIA ERITEMATOSA INCIDENTE NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL MEDIDA POR BIÔMETRO E ESPECTROFOTÔMETRO BREWER.

Samara Carbone, Natanael A. Hermes, Nelson Jorge Schuch, Liana F. Padilha, Augusta M. P. Schuch, Damaris K. Pinheiro

XIX JAI – JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA; evento realizado em Santa Maria nos dias 19, 20 e 21 de Outubro de 2004.

5. CORRELATION BETWEEN THE SOUTHERN OSCILLATION INDEX AND TOTAL OZONE COLUMN (29.4 S, 53.8 W) FROM 1997 TO 2003.

Samara Carbone, Robinson Luciano Manfro, Augusta M. P. Schuch, Marcelo B. da Rosa, Damaris K. Pinheiro, Mary T. Kayano, Nelson J. Schuch.

EUROPEAN GEOSCIENCES UNION; evento realizado em Vienna na Áustria de 24 a 29 de Abril de 2005.

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

Robinson L. Manfro, **Samara Carbone**, Augusta M. P. Schuch, Marcelo B. da Rosa, Damaris K. Pinheiro, Nelson J. Ferreira, Nelson J. Schuch.

EUROPEAN GEOSCIENCES UNION; evento realizado em Vienna na Áustria de 24 a 29 de Abril de 2005.

7. MODELO MATEMÁTICO PARA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE UV, OBTIDO COM DADOS DO RADIÔMETRO E DO BIÔMETRO PARA O OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL.

Samara Carbone, Robinson L. Manfro, Rafael Peres, Caroline Bertagnolli, Damaris K. Pinheiro, Augusta A. M. P. Schuch, Mary T. Kayano, Nelson J. Ferreira, Kazuo Makita e Nelson J. Schuch.

IX INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, a ser realizado em Salvador no Brasil de 11 a 14 de Setembro de 2005.

8. MODELO PARA CÁLCULO DA COLUNA TOTAL DE OZÔNIO USANDO DADOS DO ESPECTRORADIÔMETRO DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL.

Caroline Bertagnolli, Rafael Peres, **Samara Carbone**, Robinson L. Manfro, Damaris K. Pinheiro, Augusta A. M. P. Schuch, H. Nozawa, H. Yamamoto e Nelson J. Schuch.

IX INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, a ser realizado em Salvador no Brasil de 11 a 14 de Setembro de 2005.

9. ANÁLISE DO OZÔNIO TROTOSFÉRICO SOBRE O OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DE 1996 A 2000.

Damaris K. Pinheiro, Robinson L. Manfro, Rafael Peres, **Samara Carbone**, Caroline Bertagnolli, Augusta M. P. Schuch, Mary Kayano, Nelson J. Ferreira e Nelson J. Schuch.

IX INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, a ser realizado em Salvador no Brasil de 11 a 14 de Setembro de 2005.



10. GROUND – BASED OBSERVATIONS OF SOLAR UV RADIATION AT
TOKYO BRAZIL AND CHILE.

H. Nozawa, H. Yamamoto, K. Makita, N. J. Schuch, D. K. Pinheiro and **S.
Carbone.**

IX INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL
SOCIETY, a ser realizado em Salvador no Brasil de 11 a 14 de Setembro de 2005.