

**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
COORDENAÇÃO DE ENSINO, DOCUMENTAÇÃO E PROGRAMAS ESPECIAIS
COORDENAÇÃO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS E ATMOSFÉRICAS - CEA
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS - CRSPE
OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL - OES/CRSPE/INPE**

Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC - CNPq

RELATÓRIO FINAL DE ATIVIDADES

Título do Projeto:

**Estudo da Camada de Ozônio sobre o Sul do Brasil no
Observatório Espacial do Sul**

**Bolsista:
Adriane Griebeler**

**Orientador:
Volker W. J. H. Kirchhoff**

Santa Maria, Julho de 2001.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
1.1 OBJETIVO DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO OZÔNIO ATMOSFÉRICO	7
1.2 LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA- LACESM E A IMPLANTAÇÃO DO OES/CRSPE/INPE	8
2. ATMOSFERA TERRESTRE	12
2.1. CAMADAS DA ATMOSFERA.....	12
2.2.1. Compostos de Cloro.....	14
2.2.2. Compostos de Nitrogênio	15
2.2.3. Compostos de Enxofre.....	16
2.2.4. Compostos de Hidrogênio	16
2.3. OZÔNIO.....	17
2.3.1 Ozônio Troposférico	18
2.4 PROCESSOS DE PRODUÇÃO E DESTRUIÇÃO DE OZÔNIO	20
2.5. BURACO DE OZÔNIO ANTÁRTICO	22
2.5.1 Efeitos Secundários do Buraco de Ozônio Antártico sobre o Sul do Brasil.....	25
2.5. RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA.....	28
3. INSTRUMENTAÇÃO	31
3.1 SISTEMA METEOROLÓGICO W 9000	31
3.1.1 Descrição Técnica do Sistema	31
3.1.2 Bastidor Zeemet.....	34
3.1.3 Módulo de Força	34
3.1.4 Barramento P90	34
3.1.5 Receptor de 403 MHz.....	36
3.1.6 Módulo GPS.....	36
3.1.7 Interface do Sistema	37
3.1.8 Sistema de Antenas de 403 MHz	37
3.1.9 Módulo da Chave Eletrônica	38



3.1.10 Antenas de GPS	38
3.1.11 Microsonda MARK II	39
3.1.12 Ozônio-Sonda ECC	41
3.1.13 Unidade de Teste Ozonizadora Modelo KTU-2.....	43
4.1 INSTALAÇÃO DO NOVO SISTEMA DE NAVEGAÇÃO GPS PARA O SISTEMA W-9000	45
4.2 CORRELAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS DE SONDAGENS COM OS DADOS DOS MODELOS MATEMÁTICOS DA COSPAR.....	49
4.3 DEMAIS ATIVIDADES REALIZADAS	56
4.4 PARTICIPAÇÃO EM CONGRESSOS E SEMINÁRIOS.....	56
5. CONCLUSÕES.....	58
ANEXO 01	60
ANEXO 02	62
ANEXO 03.....	64
ANEXO 04	66



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Fotografia mostrando as instalações do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE-INPE.....	9
Figura 2 - Camadas da atmosfera com suas respectivas temperaturas	12
Figura 3 - Definição das camadas da atmosfera em função da variação de temperatura com altura	13
Figura 4 - Diagrama esquemático da Coluna Total de Ozônio e da Unidade Dobson.....	19
Figura5 - Processo de Chapman para produção de Ozônio.....	20
Figura 6- Processo de Chapman para destruição de Ozônio.....	21
Figura 7- Processo catalítico de destruição da molécula de Ozônio por átomo de cloro liberado por uma molécula de CFC.....	21
Figura 8 - Montagem de medidas feitas pelo instrumento TOMS instalado a bordo dos satélites NIMBUS-7 e METEOR-3 da NASA ao longo do período de 1979 a 1997.....	23
Figura 9 - Imagem obtida no dia 06 de setembro de 2000, com o instrumento TOMS instalado no satélite Earth Probe da NASA, mostrando uma visão global do planeta.....	24
Figura10 – Imagem obtida no dia 18 de outubro de 1993, com o instrumento TOMS, instalado no Satélite da NASA, mostrando a diminuição da concentração de Ozônio nas latitudes do Rio Grande do Sul, norte da Argentina e Uruguai.....	26
Figura11– Imagem obtida no dia 28 de outubro de 1993, com o instrumento TOMS, instalado no Satélite da NASA, mostrando a diminuição da concentração de Ozônio nas latitudes do Rio Grande do Sul, norte da Argentina e Uruguai.....	26
Figura 12 - Imagem obtida no dia 09 de outubro de 2000, com o instrumento TOMS instalado no satélite Earth Probe da NASA, mostrando uma redução no valor da Coluna Total de Ozônio.....	27

Figura 13 - Imagem obtida no dia 25 de outubro de 2000, com o instrumento TOMS instalado no satélite Earth Probe da NASA, mostrando uma redução no valor da Coluna Total de Ozônio.....	28
Figura 14 - Visão esquemática do Sistema de Processamento Meteorológica W-9000.....	31
Figura 15 - Esquema do Sistema Meteorológico W-9000.....	33
Figura 16 - Diagrama de blocos da Microsonda Mark II GPS.....	41
Figura 17 - Ozôniosonda de Célula de Concentração Eletroquímica.....	42
Figura 18 - Unidade de calibração das sondas de ozônio, Ozonizador.....	43
Figura 19 - Gráfico da sondagem realizada no dia 11/10/2000 no Observatório Espacial do Sul	46
Figura 20- Gráfico da sondagem realizada no dia 13/10/2000 no Observatório Espacial do Sul	46
Figura 21- Gráfico da sondagem realizada no dia 10/11/2000 no Observatório Espacial do Sul	47
Figura 22- Gráfico da sondagem realizada no dia 01/12/2000 no Observatório Espacial do Sul	48
Figura 23- Gráfico da sondagem realizada no dia 16/12/2000 no Observatório Espacial do Sul.....	48
Figura 24 - Comparação do perfil de ozônio atmosférico obtido de sondagens no OES, com o modelo da COSPAR para a média do mês de março dos anos de 1997 e 1998.....	50
Figura 25 - Comparação do perfil de ozônio atmosférico obtido de sondagens no OES, com o modelo da COSPAR para a média do mês de abril dos anos de 1997 e 1998.....	50
Figura 26- Comparação do perfil de ozônio atmosférico obtido de sondagens no OES, com o modelo da COSPAR para a média do mês de maio do ano de 1997.....	51
Figura 27 - Comparação do perfil de ozônio atmosférico obtido de sondagens no OES, com o modelo da COSPAR para a média do mês de setembro do ano de 1997.....	51

Figura 28 - Comparação do perfil de ozônio atmosférico obtido de sondagens no OES, com o modelo da COSPAR para a média do mês de outubro do ano de 1997.....	52
Figura 29 - Comparação do perfil de ozônio atmosférico obtido de sondagens no OES, com o modelo da COSPAR para a média do mês de novembro do ano de 1997.	52
Figura 30 - Correlação entre os dados da COSPAR e os dados obtidos no OES/CRSPE/INPE para o mês de março dos anos de 1997 e 1998.	53
Figura 31 - Correlação entre os dados da COSPAR e os dados obtidos no OES/CRSPE/INPE para o mês de abril dos anos de 1997 e 1998.....	53
Figura 32 - Correlação entre os dados da COSPAR e os dados obtidos no OES/CRSPE/INPE para o mês de maio do ano de 1997.	54
Figura 33 - Correlação entre os dados da COSPAR e os dados obtidos no OES/CRSPE/INPE para o mês de setembro do ano de 1997.	54
Figura 34 - Correlação entre os dados da COSPAR e os dados obtidos no OES/CRSPE/INPE para o mês de outubro do ano de 1997.	55
Figura 35 - Correlação entre os dados da COSPAR e os dados obtidos no OES/CRSPE/INPE para o mês de novembro dos anos de 1996 e 1997.	55

1. INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVO DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO OZÔNIO ATMOSFÉRICO

Uma consequência direta da ação indiscriminada do homem sobre o meio ambiente é a diminuição da Camada de Ozônio, que atua como um filtro natural da Radiação Ultravioleta. Assim, sob a perspectiva de um aumento na incidência de catarata, queimaduras e câncer de pele, prejuízos ao sistema imunológico, redução da Camada de Ozônio, aumento das infecções fúngicas e bacterianas, envelhecimento precoce da pele e sua degeneração elástica, redução de safras agrícolas, devido a alterações na camada de Ozônio, torna-se necessário um monitoramento do Ozônio Atmosférico.

Deste modo, o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM e o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRSPE-INPE, no Observatório Espacial do Sul, através do Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico, desenvolvido em conjunto via convênio INPE-UFSM, vem atuando nesta área com o objetivo de monitorar, analisar e estudar o comportamento da Camada de Ozônio na Região Sul do Brasil, bem como organizar um banco de dados sobre Ozônio, Radiação Ultravioleta e Raios Cósmicos.

Para tornar possível este monitoramento, Laboratório de Ozônio do INPE com o LACESM iniciou em 1992 o Programa com um Espectrofotômetro Brewer, instalado no "campus" da UFSM, que em 1995 foi transferido para instalações provisórias na cidade de São Martinho da Serra e posteriormente, em 1996, para as suas instalações definitivas junto ao Prédio 01 do Observatório Espacial do Sul, no Rincão dos Negrinhos, Município de São Martinho da Serra, RS.

Hoje está instalado no OES/CRSPE/INPE um Espectrofotômetro Brewer e um sistema de Telemetria e Sondagem W9000, que foi implantado em outubro de 1996. Ambos estão instalados no Observatório Espacial do Sul –OES, em São Martinho da Serra.



1.2 LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA- LACESM E A IMPLANTAÇÃO DO OES/CRSPE/INPE

O Brasil, País de dimensões continentais, constitui-se num excelente local de observações de fenômenos geofísicos e espaciais. Efeitos Secundários do Buraco de Ozônio Antártico, Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), Eletrojato Equatorial, Equador Magnético, Amazônia, massas de ar e variedade de climas, maior incidência de relâmpagos em todo o Planeta, relativa proximidade ao continente Antártico, todas estas características favorecem a ocorrência de variedades de fenômenos naturais os quais por si só merecem estudo e compreensão.

Devido as condições naturais favoráveis, em 13 de outubro de 1973 foi criado o Núcleo de Estudos e Pesquisas Aeroespaciais - NEPAE, o qual teve sua designação alterada para Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM, em 1995.

O LACESM é um órgão setorial administrativamente vinculado a Direção do Centro de Tecnologia da UFSM. O LACESM é o órgão executor do Projeto Radioastronomia, através de convênios: FINEP-UFSM-FATEC-INPE

A partir de um sucesso de desenvolvimento e sistemática superação de dificuldades financeiras e burocráticas impostas a consolidação do Projeto RA e do LACESM, a Direção do INPE demonstrou interesse em instalar no Sul do País um Complexo de Pesquisas Espaciais, consolidando os objetivos da Política Nacional de Desenvolvimento de Atividades Espaciais - PNDAE. Diante deste interesse, em 1996 foi renovado e assinado o Convênio MCT/INPE - UFSM, para implantação do CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS - CRSPE/INPE, incluindo subprojetos da ESTAÇÃO TERRENA DE RASTREIO E CONTROLE DE SATÉLITES -ETRCS/INPE, em Santa Maria, e do OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL - OES/INPE, em São Martinho da Serra, RS.

A Prefeitura com o apoio da Câmara Municipal de São Martinho da Serra desapropriaram no Município a área escolhida para a Sede do Observatório, uma gleba de área de 12 hectares para a construção do OES pelo INPE. Esta área é adequada para a construção dos prédios necessários para a implementação do OES e permite uma otimização com um melhor aproveitamento da distribuição física, no terreno, de sensores, equipamentos e antenas de telescópios.



O Prédio 01 do Observatório Espacial do Sul financiado pela FNDCT/FINEP, em São Martinho da Serra - RS, foi construído e entrou em operação sistemática com coleta de dados científicos em 19/12/1996. Portanto, no mês de dezembro/1996 foi iniciado o processo da transferência dos equipamentos de controle e coleta de dados instalados no Campus da UFSM, inclusive os equipamentos da Cooperação Brasil - Japão e do Programa do Ozônio, conforme estabelecido pelo cronograma aprovado pela FINEP/FNDCT para o PROJETO RADIOASTRONOMIA.

A sub-unidade do CRSPE/INPE, o Observatório Espacial do Sul (Figura 01), em São Martinho da Serra, RS, tem como coordenadas geográficas:

Latitude: - 29° 26' 24 ''

Longitude: - 53° 48' 38''

Altitude elipsoidal: 488.7001 m

valores obtidos através de levantamentos por técnicas GPS na posição do 3° ponto da linha de base do radiointerferômetro do Projeto RA no Sítio do OES.

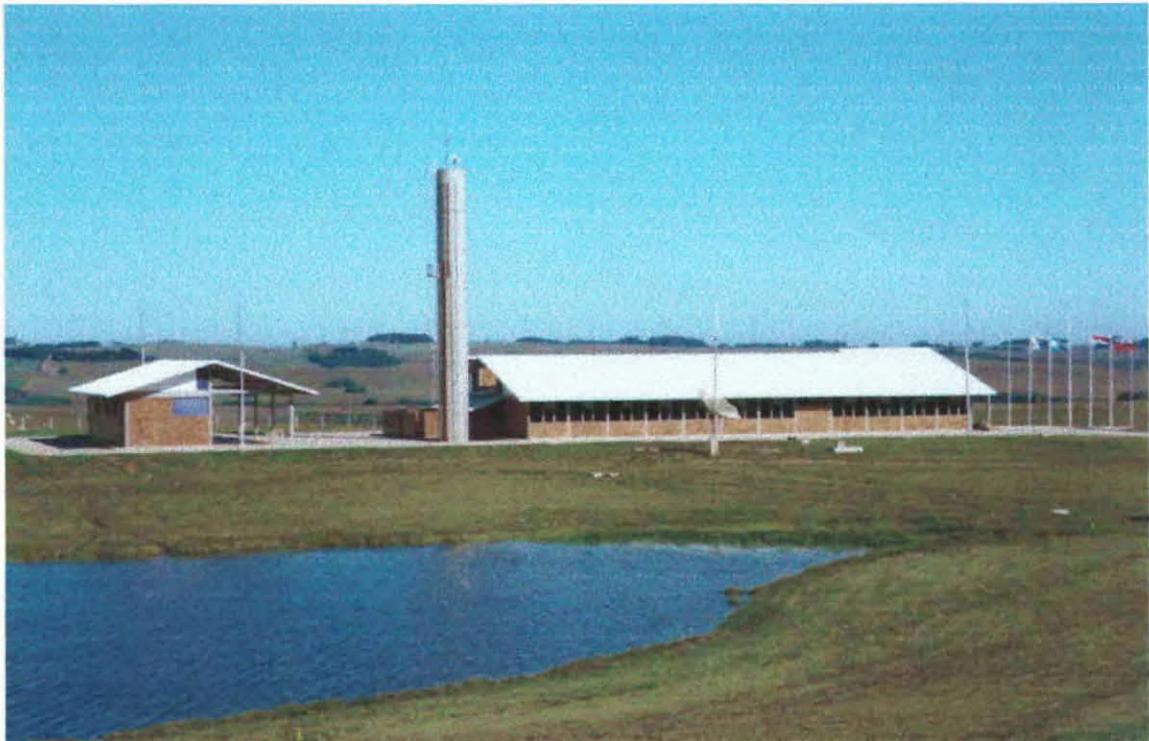


Figura 1- Fotografia mostrando as instalações do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE-INPE

Foram definidas como atribuições do Observatório Espacial do Sul:

1. Executar e desenvolver as atividades e projetos de pesquisa técnico-científica em Astronomia, nas áreas de Astrofísica e Radioastronomia.
2. Executar e desenvolver as atividades e projetos de pesquisa técnico-científica em Geofísica Espacial, nas áreas de Geomagnetismo, Magnetosfera e Heliosfera, Eletricidade Atmosférica, Física e Química da média e baixa Atmosfera.
3. Executar e desenvolver as atividades e projetos de pesquisa técnico científica em Aeronomia, nas áreas de físico-química e física da alta Atmosfera e Ionosfera.
4. Coletar dados, arquivando-os e mantendo-os em banco de dados formatados de acordo com padrões internacionais.
5. Desenvolver e fortalecer atividades de cooperação científica com pesquisadores e instituições de pesquisas nacionais e estrangeiras.

São objetivos do CRSPE/INPE em Santa Maria, RS:

1. Dar suporte logístico, técnico-científico ao desenvolvimento de programas, projetos e atividades do INPE na região Sul do Brasil e Cone Sul da América.
2. Apoiar os lançamentos e monitoramentos de satélites, foguetes e balões, no trânsito dos mesmos, na calibração das cargas-úteis e no processamento dos dados.
3. Efetuar manutenção de banco de dados obtidos pela ETRCS/INPE e OES/INPE.
4. Prestar apoio a usuários localizados nas regiões Sul do Brasil e Cone-Sul da América na obtenção de dados produzidos pelo Instituto.
5. Desenvolver equipamentos para suporte aos laboratórios, para uso de missões do INPE e para coleta de dados convencionais ou via satélite.
6. Realizar a administração das atividades, dos recursos humanos e dos recursos financeiros movimentados pelo CRSPE, ETCRS e OES/INPE, bem como as de suprimento de materiais, bens patrimoniais, orçamento e finanças.

Santa Maria, com o LACESM e com o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE/INPE e a sua sub-unidade, o Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE - INPE, em São Martinho da Serra, apresentam as condições logísticas e antropogênicas ideais do Sul do País para dar suporte a uma Cooperação Científica Internacional de longo período, 12 anos (abrangendo no mínimo um período completo do ciclo solar de 11 anos), como a do Brasil/Japão em Ciências

Espaciais Básicas, que tem como principal objetivo pesquisar os fenômenos físico-químicos que ocorrem na grande região da AMAS.

Em 1996, com o apoio do CEA/INPE e da UFSM/LACESM foi aprovado pelo Governo Japonês o projeto de Cooperação Internacional Brasil - Japão em Ciências Espaciais Básicas, para estudo de fenômenos relacionados a Anomalia Magnética do Atlântico Sul, com coordenação pelo lado brasileiro do LACESM/CT/UFSM e do CEA/INPE, e coordenação pelo lado japonês do *National Institute of Polar Research*.



2. ATMOSFERA TERRESTRE

A Atmosfera Terrestre é constituída por uma mistura de gases, sendo os mais abundantes o nitrogênio (N_2) e o oxigênio (O_2) este o gás mais importante para o processo biológico de respiração.

De acordo com a composição, divide-se a Atmosfera em duas camadas: Homosfera, correspondente a região até cerca de 100 Km, na qual a composição permanece praticamente constante, com o predomínio de N_2 e O_2 e a Heterosfera, acima de 100Km, na qual predomina a difusão molecular, não havendo mais a mistura proporcional dos gases.

2.1. CAMADAS DA ATMOSFERA

A Atmosfera pode ser dividida em quatro camadas de acordo com a variação da temperatura com a altura, cada uma com seu nome próprio, como pode ser visualizada na Figura 2:

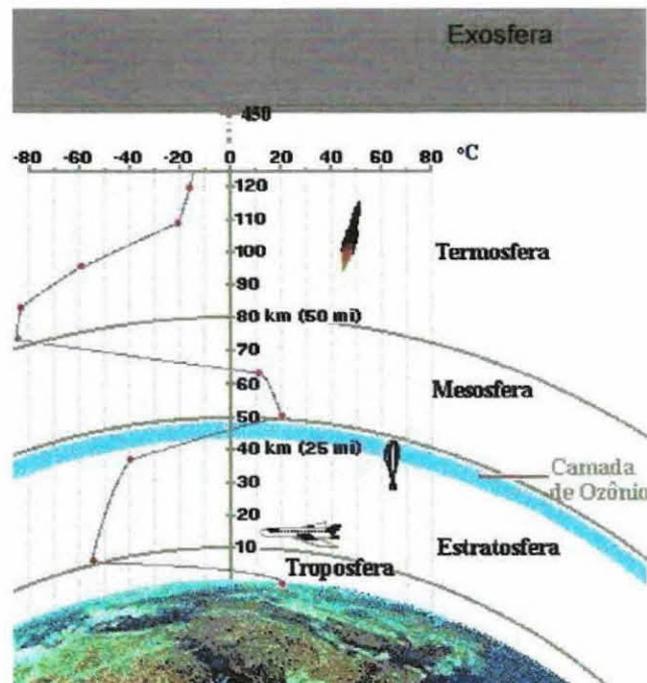


Figura 2 - Camadas da Atmosfera com suas respectivas temperaturas
Fonte: http://www.iag.usp.br/sisterra/betatest/meteo/met_atm2.htm

TROPOSFERA: camada mais próxima da superfície terrestre, atingindo até 20 Km do solo no Equador e aproximadamente 10 Km nos pólos. É nesta Atmosfera que ocorrem os fenômenos climáticos e onde os seres vivos podem respirar normalmente, está subdividida em Biosfera, região superficial e Camada Limite, estendendo-se nos primeiros 3 Km.

ESTRATOSFERA: camada logo acima da Troposfera que se estende de 16 a 50 Km de altura. Existe uma fonte de calor representada pela absorção de luz ultravioleta pelo oxigênio (O_2) e Ozônio(O_3). Isto cria uma camada de inversão global, o que impede a movimentação do ar para a Estratosfera e dentro desta, isto devido a que o ar aquecido paira acima do ar frio, impedindo a convecção.

MESOSFERA: camada que se estende de 50 a 100Km de altura. A temperatura volta a decrescer.

TERMOSFERA: estende-se de 100 a 400Km de altura. A temperatura mais uma vez aumenta com a altura pela dissociação e ionização das partículas.

EXOSFERA: Camada acima de 400 Km . 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).

A nomenclatura das divisões da atmosfera em camadas terrestres é feita observando o perfil de temperatura, como mostrado na Figura 3.

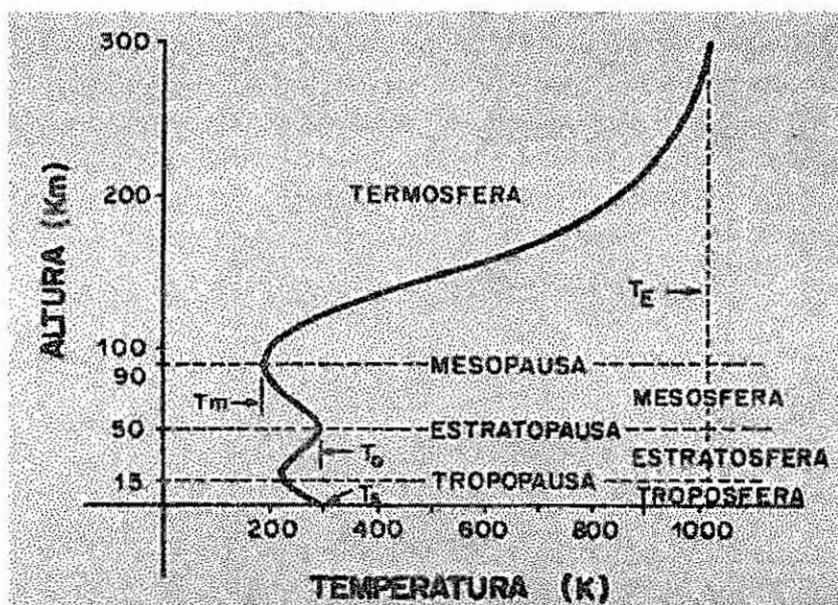


Figura 3 - Definição das camadas da atmosfera em função da variação de temperatura com altura. Fonte: Kirchoff, V.W.J.H; *Queimadas na Amazônia e Efeito Estufa*. Ed. Contexto, 1992. Pg 26.

2.2. QUÍMICA DA ATMOSFERA

A Atmosfera Terrestre é constituída de uma grande variedade de gases, embora em proporções reduzidas, muitos destes tem importância fundamental no equilíbrio planetário. O acúmulo de energia solar na Atmosfera e na superfície do planeta é um dos fatores que controlam o perfil de temperatura na Atmosfera. A temperatura da Atmosfera, o Campo Gravitacional do Planeta e o peso molecular médio dos constituintes determinam a densidade de átomos e moléculas a uma dada altura. A densidade e a temperatura, por sua vez, determinam a frequência de colisões dos constituintes atmosféricos. A frequência de colisões e a temperatura controlam as taxas de reações químicas que nela ocorrem. Por causa do transporte dinâmico da Atmosfera e pelo acúmulo de energia nesta, o equilíbrio químico não é atingido geralmente, e nem mesmo um estado estacionário existe para muitos componentes.

2.2.1. Compostos de Cloro

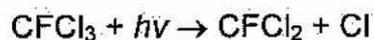
Os compostos de cloro na Atmosfera contribuem para a destruição do Ozônio através de ciclos catalíticos. Devido a isso, um aumento em suas concentrações na Atmosfera poderia refletir-se diretamente nos níveis de Ozônio.

A maior parte do cloro encontrado na Atmosfera tem origem nos clorofluorcarbonos (CFC's) e outros compostos a base de cloro produzidos pelo homem. Somente 15 a 20% provém de compostos de origem animal.

Na Troposfera o principal composto inorgânico é o HCl, o qual é formado pela acidificação do spray de NaCl; os principais compostos orgânicos são os CFC's. O CH_3Cl é o único a ter origem natural (oceanos e queimadas de biomassa).

Na baixa Estratosfera os halocarbonos são a forma dominante de cloro.

Os compostos orgânicos de cloro são dissociados pela Radiação Ultravioleta de comprimento de onda igual de 230 nm. Como esses comprimentos de onda são também absorvidos pelo Ozônio e oxigênio, esses compostos devem subir a altas altitudes para que a fotólise possa ocorrer.

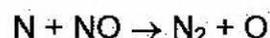
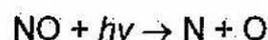


2.2.2. Compostos de Nitrogênio

O NO_x é formado na Estratosfera ou Mesosfera pelo bombardeio de partículas carregadas.

Na Mesosfera, os compostos de NO_x são formados por ionização resultantes da precipitação de elétrons relativísticos e bombardeio de prótons solares.

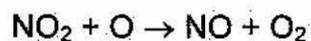
A decomposição do monóxido de nitrogênio ocorre por:



Na Troposfera o NO_x colabora na formação do Ozônio de superfície. É o caso do *smog* fotoquímico. A altas altitudes na Troposfera, reações químicas similares produzem Ozônio como um subproduto da oxidação do metano.

Na Estratosfera a principal fonte de NO_x é o N₂O, cuja maior parcela provém da decomposição bacteriológica da matéria orgânica. O N₂O é pouco reativo, atingindo a Estratosfera é convertida a nitrogênio e oxigênio pela fotólise ultravioleta.

O ciclo da depleção do Ozônio com compostos de nitrogênio é



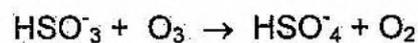
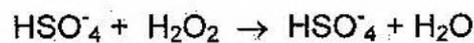
O NO₂ reage com ClO, formando o inativo ClONO₂. Por um lado o NO_x atua diretamente na diminuição do Ozônio, por outro inativa o Cl.



2.2.3. Compostos de Enxofre

O enxofre está presente sob a forma de diversos compostos, tais como ácido sulfúrico, NH_4HSO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. A concentração de SO_2 , porém é a maior de todos os gases contendo enxofre. Suas principais fontes são a poluição industrial e as erupções vulcânicas.

As principais reações são com a água e Ozônio:



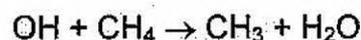
O ácido sulfúrico é formado dentro de gotas em nuvens por oxidação de SO_2 dissolvido. Devido sua baixa pressão de vapor, o ácido sulfúrico é condensado em gotas e partículas de aerossol, as quais podem precipitar-se sobre a superfície, formando a chuva ácida.

O aerossol de sulfato tem grande importância em fenômenos atmosféricos, pois pode servir de sítio para reações heterogêneas. Afeta também o balanço de energia global, pois absorve radiação solar em comprimentos de onda específicos.

2.2.4. Compostos de Hidrogênio

O hidrogênio na forma de radical hidroxila (OH) participa de reações químicas que contribuem para a destruição do Ozônio atmosférico. Sua produção deve-se a reação do vapor d' água com oxigênio monoatômico resultante da fotodissociação do Ozônio.

A hidroxila (OH) e o H produzidos reagem então com outros compostos.



Sendo M uma molécula qualquer, possuindo algum momentum que é regenerada após a seqüência reacional.

2.3. OZÔNIO

O Ozônio é uma molécula triatômica alótropa do oxigênio. Apresenta um ângulo de ligação de 117° , sendo o comprimento de ligação entre os átomos de oxigênio igual a 0,118nm.

O O_3 é um gás instável, diamagnético, de cor azul intensa e se deve à intensa absorção de luz vermelha. Também absorve fortemente na região do Ultra-violeta. Essa propriedade é muito importante, uma vez que o UV é uma radiação de alta energia e prejudicial aos seres vivos.

É um gás que existe em estado puro e livre na Atmosfera Terrestre, sendo um subproduto do oxigênio. A região atmosférica onde estão localizadas, preferencialmente, as moléculas de Ozônio é a estratosfera, definida entre 15 e 40 km de altura. Nesta região a temperatura começa a aumentar com a altura porque, ao absorver radiação ultravioleta, o Ozônio libera energia na forma de calor. Esta camada é muito estável e caracteriza-se por conter a maior parte do Ozônio existente na atmosfera, em média, cerca de quase 90 % do Ozônio total encontra-se entre 15 e 30 km

A concentração de Ozônio não é a mesma em diferentes alturas, devido aos processos de produção e perda terem intensidades diferentes a diferentes alturas. O próprio processo de produção de O_3 , atenua a intensidade de UV de cima para baixo, o que resulta numa concentração máxima de O_3 em torno dos 28 Km, diminuindo para cima e para baixo. O O_3 forma assim, uma camada na Atmosfera que absorve a Radiação Ultravioleta Solar, impedindo-a de atingir a superfície da Terra, onde poderia causar danos irreparáveis aos seres vivos.

A quantidade de Ozônio varia entre o dia e a noite e com as estações do ano, sendo máxima na primavera e mínima no outono. A concentração não é homogênea em toda superfície terrestre, observa-se uma marcante variação com a latitude, aumentando conforme o aumento da latitude.

A concentração de O_3 na Atmosfera é medida pela coluna total de Ozônio que é a integral sobre a espessura da Atmosfera da quantidade de Ozônio por quantidade de volume. A coluna de Ozônio é normalmente espessa como a espessura que o Ozônio isolado ocuparia nas condições normais de temperatura e pressão. É medido em milésimos de centímetros-unidades Dobson (1 UD = 0,001 cm de espessura).



2.3.1 Ozônio Troposférico

O Ozônio na troposfera possui uma concentração muito menor que o Ozônio na estratosfera, e contribui para o efeito estufa, além disso, é um gás poluente e tóxico. Pode ser produzido por processos de combustão. O ozônio de superfície pode ter um significativo aumento em sua concentração, quanto maior for a ocorrência de queimadas devido ao CO, que é liberado. Este gás quando combinado com outras substâncias dá origem a novas moléculas de O₃ troposférico, sendo prejudicial aos seres vivos devido à sua toxicidade.

2.3.2 Unidades de Medida de Ozônio Atmosférico

2.3.2.1 Definição da Unidade Dobson

A concentração de ozônio para observações a partir da superfície pode ser definida pela densidade mássica ρ_{O_3} (gramas por cm³) ou pela densidade numérica n_{O_3} (moléculas por cm³). 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 ótico da radiação. Surge assim a definição de “ozônio total” ou “coluna de ozônio”, definido pela integral abaixo. O número total de moléculas na coluna vertical de área unitária de uma altura z até o topo da atmosfera é:

$$N_{O_3} = \int_z^{\infty} n_{O_3} dz \quad (\text{cm}^{-2})$$

Se fosse possível comprimir verticalmente todo o ozônio da atmosfera em uma camada de altura h , onde a concentração do ozônio fosse constante, a integral (7) ficaria:

$$N_{O_3} = n_{O_3} \int dz = n_{O_3} \cdot h$$

No caso de ter condições de temperatura e pressão padrões, ou seja, 0 °C e 1 atm, o número de partículas, por definição, fica igual ao número de Loschmidt $n_{O_3} = L = 2,69 \times 10^{19}$ mol/cm³, e sabendo que das observações, em média, uma coluna de ar contém 8×10^{18} moléculas/cm², assim:

$$h = N_{O_3}/L \cong 0,3 \text{ cm}$$

ou seja, nas condições de temperatura e pressão padrões, a altura da Camada de Ozônio na atmosfera seria de apenas 0,3 cm. Desse modo, a quantidade total de



ozônio na atmosfera pode ser expressa em função da altura. Multiplicando o valor de h por 1.000 tem-se a unidade Dobson (em homenagem a G. Dobson), ou seja, $h = 300$ UD (Unidades Dobson), onde um Dobson corresponde à fração de $1/300$ de h (1 UD = 0,001 cm de espessura). A Figura 4 apresenta um diagrama esquemático da Unidade Dobson.

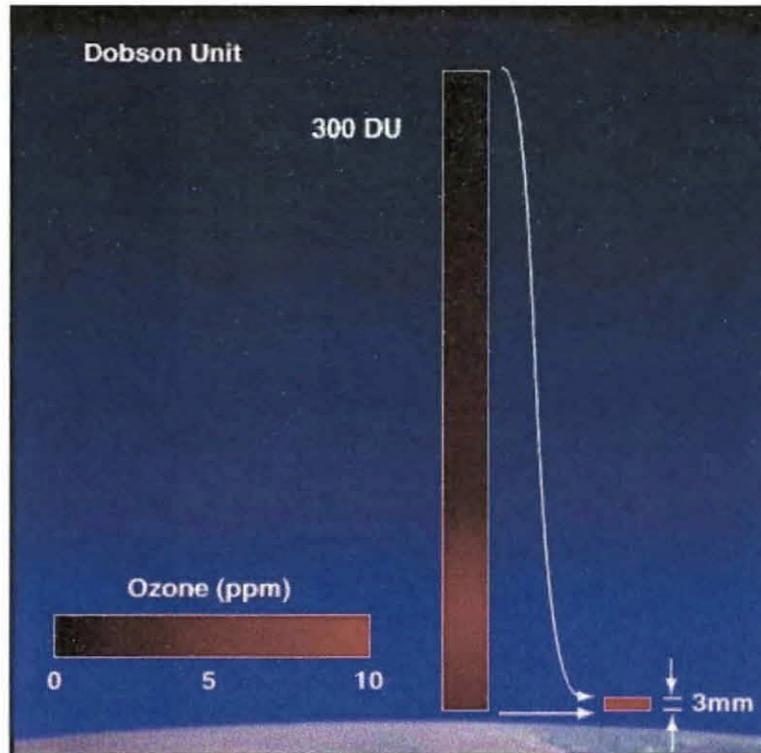


Figura 4 - Diagrama esquemático da Coluna Total de Ozônio e da Unidade Dobson (Fonte: página da internet da National Atmospheric and Space Administration - NASA - <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>)

2.3.2.2 Outras Unidades Referentes ao Ozônio

A densidade de ozônio ρ_{O_3} é expressa costumeiramente em g/cm^3 no sistema cgs e kg/m^3 no SI.

A razão de mistura é definida como a razão entre a pressão parcial de ozônio e a pressão atmosférica, não tendo dimensões, mas sendo expressa em “partes por milhão”, ppmv, ou “partes por bilhão”, ppbv.

A pressão parcial de ozônio é dada pela razão entre a densidade volumétrica de ozônio e a densidade volumétrica do ar, vezes a pressão atmosférica total. As unidades mais usadas são o milibar (mb), nanobar (nb) ou o micro-milibar (μmb).

2.4 PROCESSOS DE PRODUÇÃO E DESTRUIÇÃO DE OZÔNIO

Em resumo, considera-se o processo de produção de Ozônio como aquele onde três moléculas de oxigênio geram duas de Ozônio e o de perda como processos catalíticos onde OH ou NO ou Cl, mais um átomo de oxigênio, destroem uma molécula de Ozônio, regenerando duas de oxigênio molecular. As Figuras 5, 6 e 7 mostram esquemas destes processos de produção e perda.

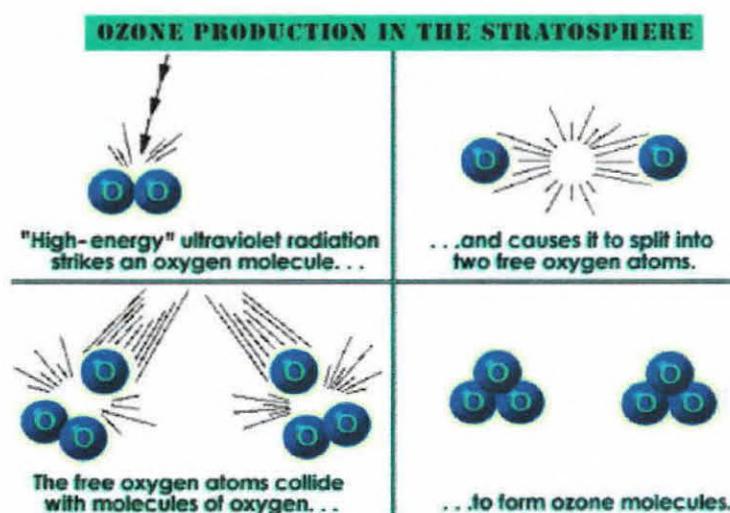


Figura 5 - Processo de Chapman para produção de Ozônio (Fonte: página da internet da National Atmospheric and Space Administration - NASA - <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>)

Além destes processos químicos, pela molécula de Ozônio ter um tempo de vida muito grande da estratosfera, da ordem de meses, os processos de transporte em grande escala adquirem importância, podendo o Ozônio ser transportado tanto horizontal quanto verticalmente. Por exemplo, massas de ar com conteúdo rico em Ozônio são transportadas desde a zona equatorial até altas latitudes, sendo a Célula de Hadley a responsável pela redistribuição do Ozônio produzido no equador (Holton, 1979). Isto faz com que o Ozônio esteja presente em maior quantidade em latitudes mais altas.

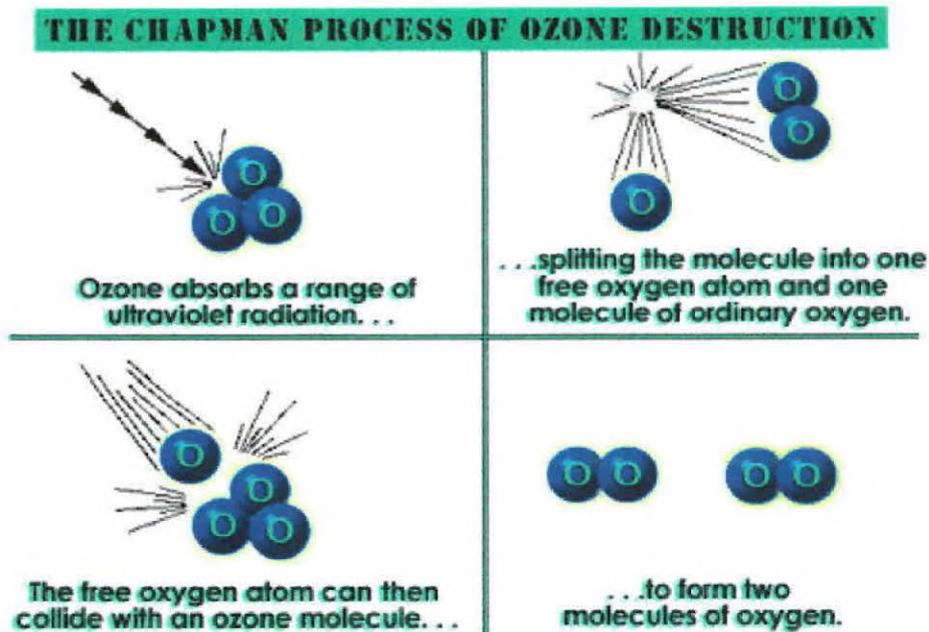


Figura 6 - Processo de Chapman para destruição de Ozônio (Fonte: página da internet da National Atmospheric and Space Administration - NASA - <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>)

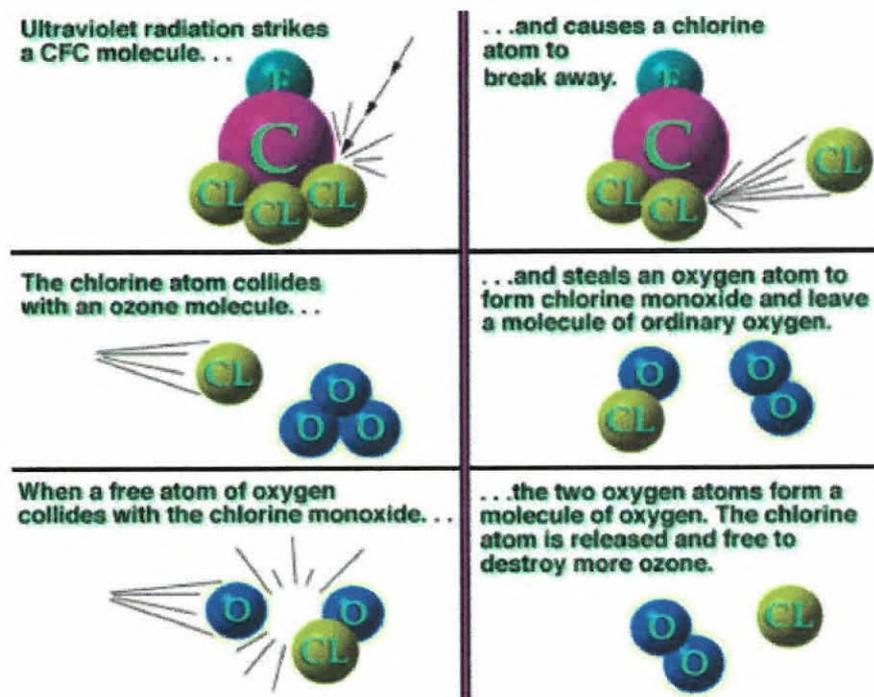


Figura 7 - Processo catalítico de destruição da molécula de Ozônio por átomo de cloro liberado por uma molécula de CFC (Fonte: página da internet da National Atmospheric and Space Administration - NASA - <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>)



2.5. BURACO DE OZÔNIO ANTÁRTICO

O fenômeno do Buraco de Ozônio descoberto na década de 80 deve-se a reações entre halogênios e a molécula de Ozônio. Sendo o Ozônio produzido por uma série de reações que principiam com a fotodissociação do oxigênio molecular, este pode ser destruído pela recombinação com O_2 e por uma variedade de ciclos catalíticos envolvendo H, NOX, e Cl.

A Atmosfera da Antártica apresenta condições favoráveis para a ocorrência das reações catalíticas com O_3 . Devido as baixas temperaturas, formam-se no inverno antártico, nuvens estratosféricas de partículas, principalmente de ácido nítrico congelado, as quais favorecem a liberação dos átomos de cloro dos campos reservatório e propiciam a ocorrência de reações químicas heterogêneas entre Ozônio e espécies de cloro e bromo, principalmente.

Favorecem a destruição do Ozônio na Antártica, algumas condições especiais como o vórtex polar. Durante o inverno polar, a massa de ar estratosférico sobre a Antártica é efetivamente isolada do resto da atmosfera por uma forte circulação centrada sobre o Pólo. Este vórtex polar forma-se quando o ar polar esfria-se, contrai e desce. O ar que se move para o Pólo das baixas latitudes é desviado pelo efeito Coriolis, e um forte vórtex circular é produzido sobre uma região correspondente ao continente antártico.

No Hemisfério Norte, as temperaturas não são tão baixas e então o vórtex Ártico é mais fraco e tende a ser destruído durante o inverno. O vórtex antártico, entretanto, é completamente estável e conserva-se até a primavera quando o Sol surge e aquece o ar. Uma rápida mudança no modo de circulação dos ventos resulta, então, de tal forma que o ar das baixas latitudes penetra na Região Polar Sul.

As formas de cloro acumuladas durante o inverno rapidamente se dissociam no retorno da luz solar na primavera para produzir átomos de cloro reativos que atacam o Ozônio. O mecanismo mais provável para a destruição da molécula de Ozônio é : o ciclo começa com a junção de duas moléculas de ClO para formar o dímero Cl_2O_2 . Se a fotólise do dímero produzir um átomo de cloro livre e uma forma particular de dióxido de cloro, esta molécula decompõe-se rapidamente, fechando um ciclo catalítico efetivo em remover o Ozônio.

As medições feitas até agora com instrumentos a bordo de satélites como, por exemplo, o TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), mostram que este fenômeno evolui no tempo e no espaço. A Figura 8 ilustra o crescimento em área atingida e valores mínimos da coluna de Ozônio sobre o Continente Antártico, no período de 1979 a 1997, a partir de uma montagem de medidas feitas com o TOMS. Observa-se claramente o aumento da coloração púrpura sobre a região antártica, o que denota baixa concentração de Ozônio atmosférico como representado pelo código de cores.

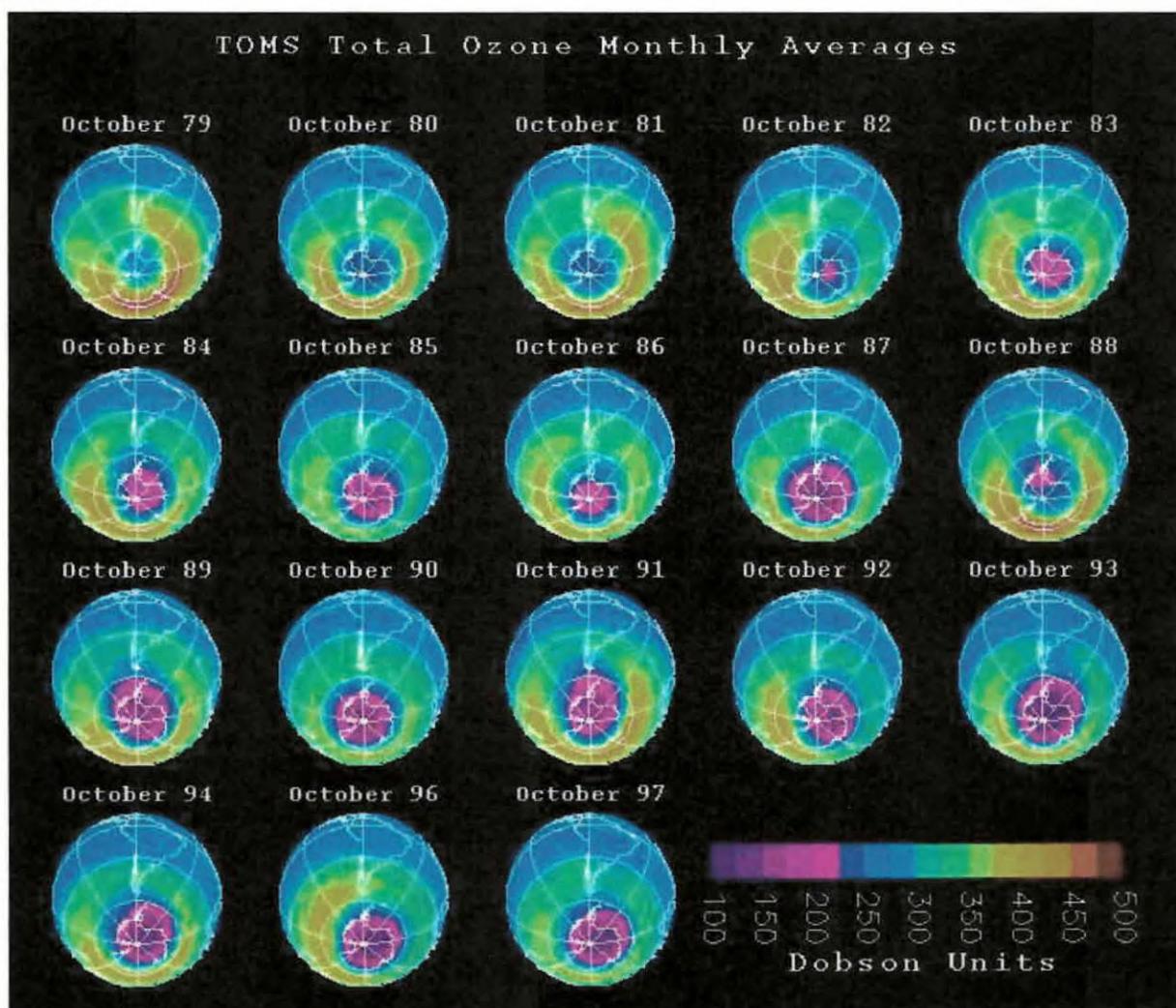


Figura 8 - Montagem de medidas feitas pelo instrumento TOMS instalado a bordo dos satélites NIMBUS-7 e METEOR-3 da NASA ao longo do período de 1979 a 1997 (Fonte: página da internet da NASA – <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>).

Uma forma de caracterizar o “Buraco de Ozônio Antártico” é analisar a evolução da área que este ocupa, ou seja, o interior dos níveis de 220 UD. No ano de 1979 a área do contorno de 220 UD era de apenas 0,02 milhões de km², em 1980

era de 0,45 e em 1981 de 0,24 milhões de km^2 . Após 1981 o crescimento da área média é rápido, em 1985 a área é de 13,3 milhões de km^2 e em 1993 é de 21,9 milhões de km^2 . 1979 a 1997. Deve-se observar que já em 1987 a área atingida ultrapassou a totalidade do Continente Antártico. O ano de 1998 apresentou um recorde tanto em valores mínimos quanto em área atingida, com 27,3 de milhões de km^2 . No ano de 2000 a área ocupada pelo “Buraco de Ozônio Antártico” atingiu novo recorde, em torno de 28 milhões de km^2 , segundo a NASA. A Figura 9 mostra uma imagem de feita por satélite do tamanho do buraco de ozônio sobre a Antártida.

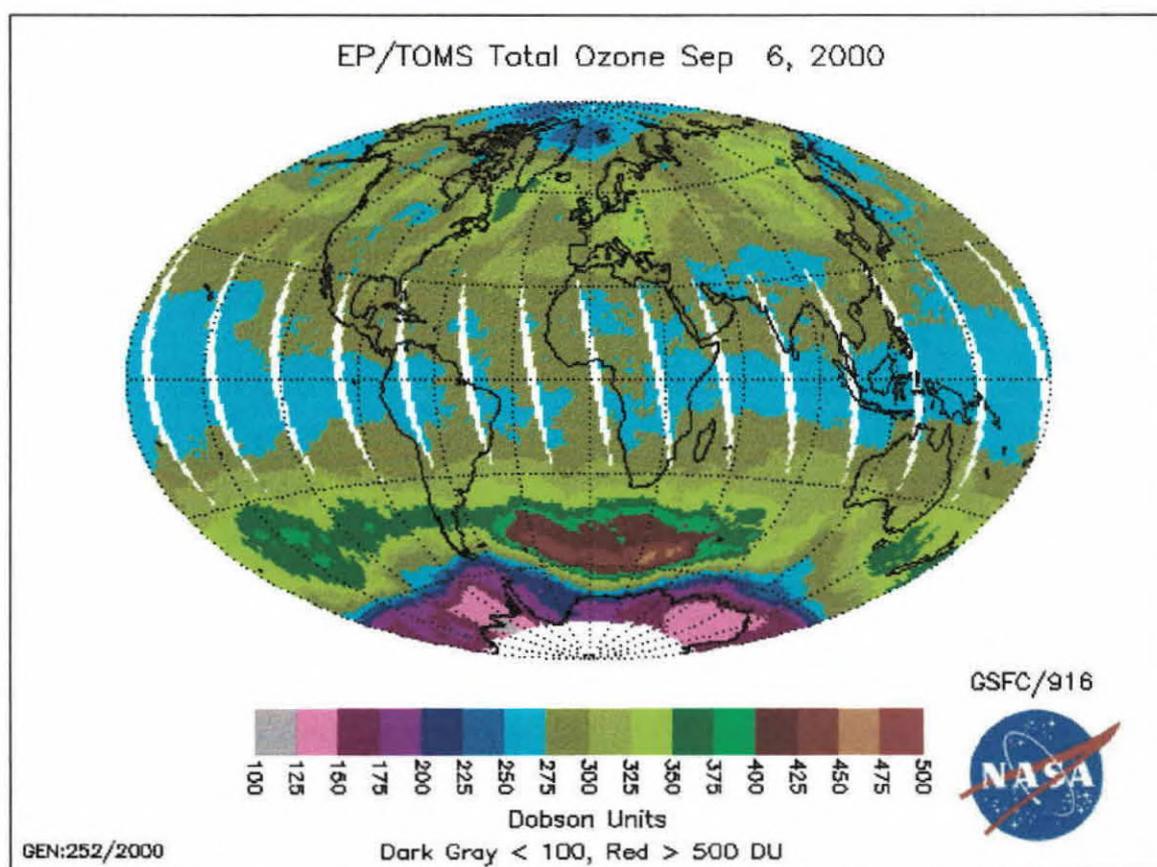


Figura 9 - Imagem obtida no dia 06 de setembro de 2000, com o instrumento TOMS instalado no satélite Earth Probe da NASA, mostrando uma visão global do planeta; o código de cores indica o valor da Coluna Total de Ozônio (Fonte: página da internet da NASA – <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>).

2.5.1 Efeitos Secundários do Buraco de Ozônio Antártico sobre o Sul do Brasil

As medidas da concentração de Ozônio efetuadas pelo LACESM, mostram que o comportamento da Camada de Ozônio na Região Sul do Brasil apresenta-se dentro da normalidade, exceto em outubro de 1993, quando sofreu efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, por meio de ventos atmosféricos que trazem ar pobre em ozônio do Continente Antártico até a latitude 30° Sul .

A equipe do LACESM observou uma diminuição significativa da Camada de Ozônio sobre a região de Santa Maria no ano de 1992, fato que causou certo espanto, pois não se esperavam ocorrer efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico em latitudes tão baixas. Equipes do LACESM e do Laboratório de ozônio do Inpe decidiram efetuar observações intensivas em meados da primavera nos meses de setembro, outubro, novembro de 1993, com objetivo de confirmar as observações de diminuição da concentração de Ozônio de 1992, procurando uma possível correlação com o fenômeno do Buraco de Ozônio Antártico.

No ano de 1993 foram instalados dois Espectrofotômetros Brewer em locais distintos de Santa Maria. Foram efetuadas sondagens com sondas de balões estratosféricos para medir a concentração de ozônio em função da altura.

Foi confirmada a diminuição da concentração do Ozônio Atmosférico em Santa Maria, e em outubro de 1993, foram detectados dois picos de mínimo de concentração nos dias 18 e 28. Sondagens feitas nos dias 26 e 28 confirmaram uma queda significativa da coluna de ozônio mostrando uma diminuição da concentração em todas as alturas. Através de consulta aos dados da National Atmospheric and Space Administration – NASA, foi constatado que realmente ocorreu uma injeção de ar estratosférico da Antártica pobre em Ozônio, que alcançou as latitudes do Rio Grande do Sul, norte da Argentina e Uruguai, como mostram as Figuras 10 e 11.

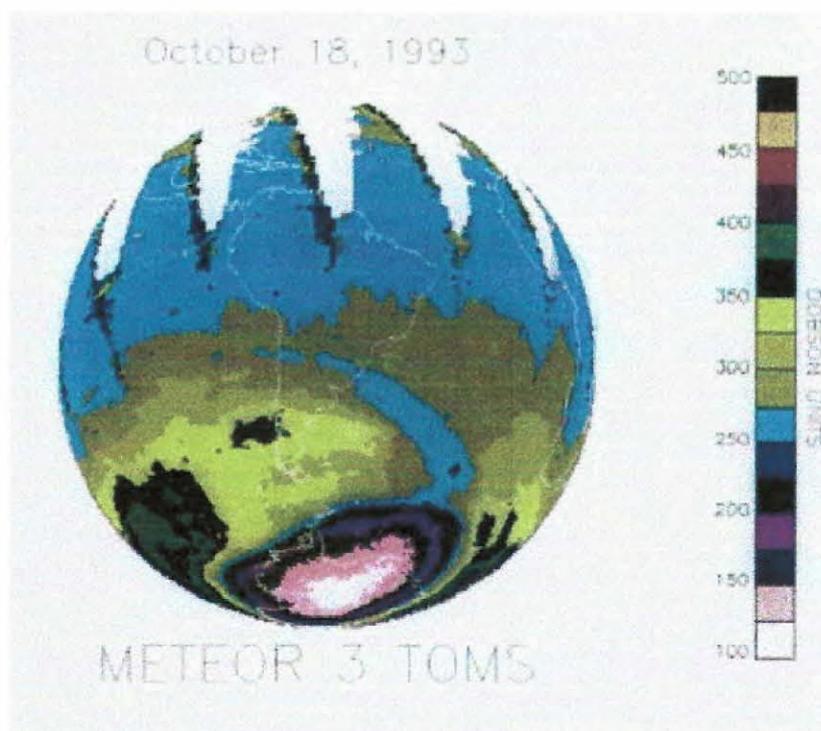


Figura 10 – Imagem obtida no dia 18 de outubro de 1993, com o instrumento TOMS, instalado no Satélite da NASA, mostrando a diminuição da concentração de Ozônio nas latitudes do Rio Grande do Sul, norte da Argentina e Uruguai

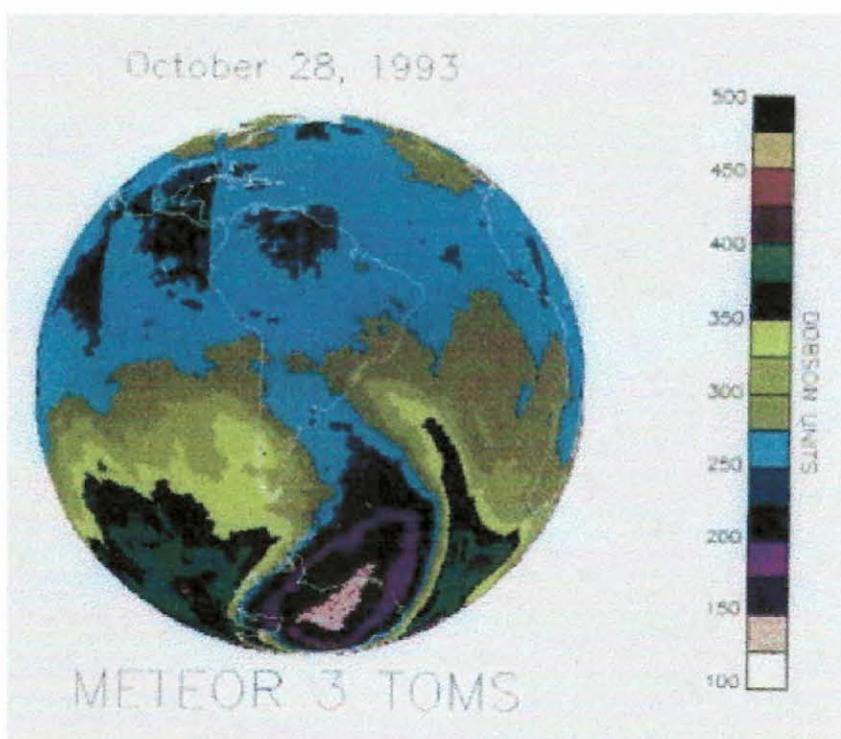


Figura 11 – Imagem obtida no dia 28 de outubro de 1993, com o instrumento TOMS, instalado no Satélite da NASA, mostrando a diminuição da concentração de Ozônio nas latitudes do Rio Grande do Sul, norte da Argentina e Uruguai

Voltaram a ocorrer quedas significativas na concentração de Ozônio em Santa Maria em outubro de 1995 e setembro de 1996, provavelmente caudas por efeitos secundários no Buraco de Ozônio Antártico.

Nos anos de 1997, 1998 e 1999 verificou-se pequenas reduções na concentração de Ozônio durante alguns dias dos meses de setembro e outubro.

No ano de 2000 verificou-se uma maior ocorrência os efeitos do buraco de Ozônio Antártico sobre a região Sul. Através de dados coletados pelo espectrofotômetro Brewer #056 instalado no OES/CRSPE/INPE e através de sondagens realizadas pode-se verificar uma redução na concentração de Ozônio, principalmente durante o mês de outubro, que também foram detectadas pelo satélite TOMS da NASA. As Figuras 12 e 13 apresentam uma imagens de satélite, onde pela escala de cores pode-se observar o fato mencionado.

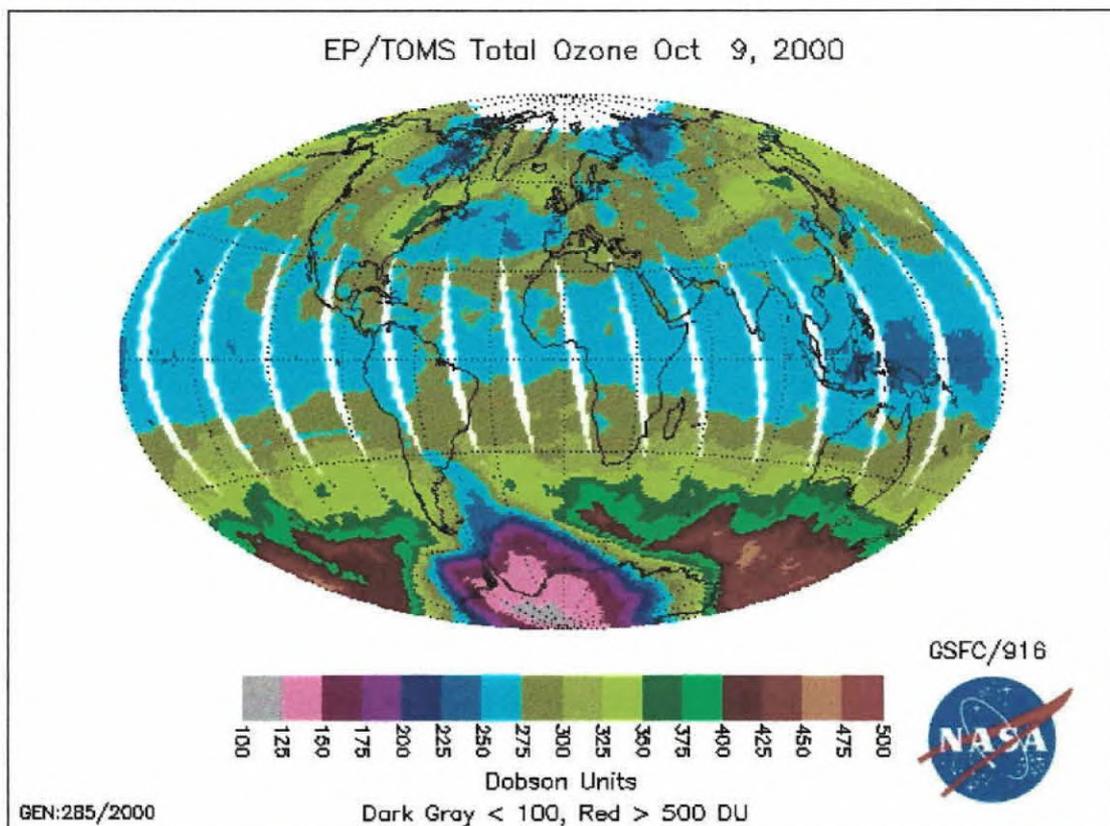


Figura 12 - Imagem obtida no dia 09 de outubro de 2000, com o instrumento TOMS instalado no satélite Earth Probe da NASA, mostrando uma redução no valor da Coluna Total de Ozônio (Fonte: página da internet da NASA – <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>).

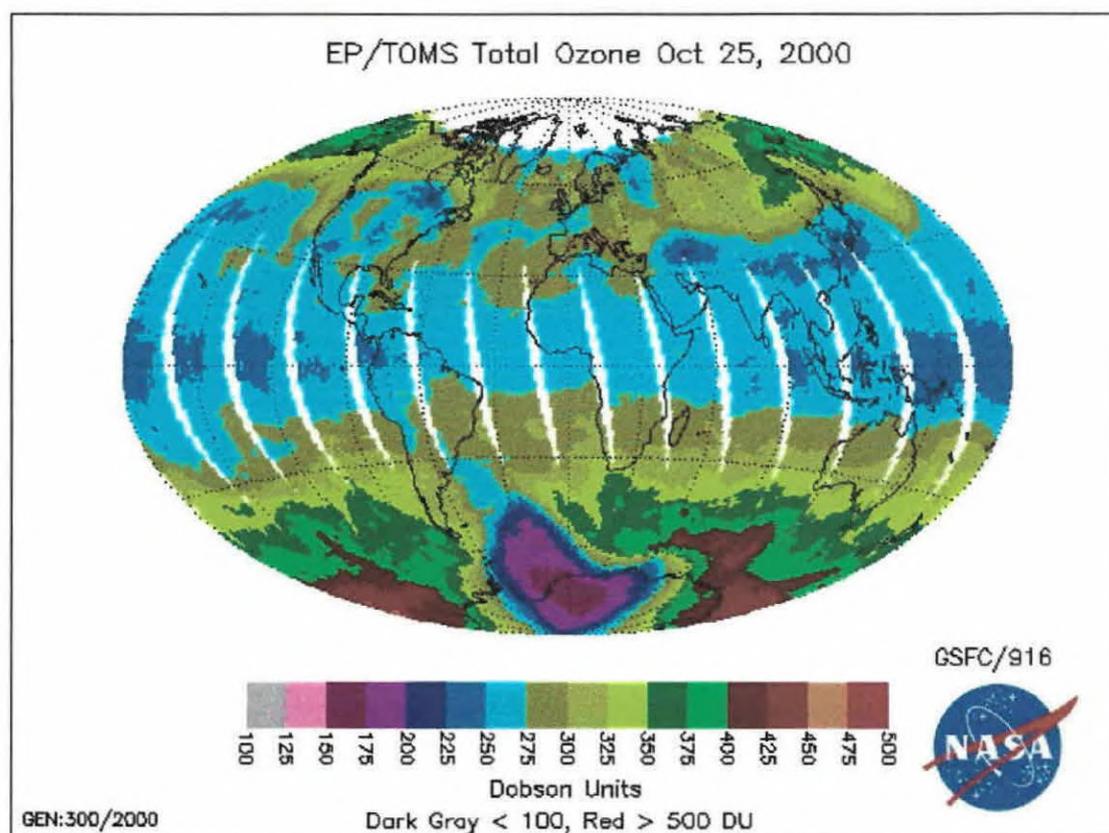


Figura 13 - Imagem obtida no dia 25 de outubro de 2000, com o instrumento TOMS instalado no satélite Earth Probe da NASA, mostrando uma redução no o código valor da Coluna Total de Ozônio (Fonte: página da internet da NASA – <http://jwocky.gsfc.nasa.gov>).

2.5 RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

A atenuação da radiação pela Atmosfera, por absorção ou espalhamento, é o fator determinante para a existência da vida na superfície terrestre. Por isso, a descoberta da redução no Ozônio estratosférico criou uma expectativa quanto a possibilidade do aumento da intensidade de Radiação Solar UV na superfície, em especial da radiação biologicamente ativa UVB (290-320 nm).

Espera-se que a radiação UVB aumente com a depleção do Ozônio atmosférico muito mais pronunciadamente que a radiação UVA, devido a que a absorção pelas Bandas de Hartley da molécula de Ozônio aumenta muito mais rapidamente para comprimentos de onda curtos, abaixo de 320 nm.

A radiação UVB tem sido classificada em curvas de acordo com seus efeitos biológicos (espectro de ação), tais como as curvas para a síntese da vitamina D, ação Erythema, ação cangerígena, ação biológica sobre o olho humano. Na faixa de



Erythema-UV, responsável pelo surgimento de queimaduras na pele, seu espectro de ação tem um máximo na região UVB (em torno de 300 nm), estendendo-se até o UVA [06].

A faixa de radiação UV próxima ao visível, UVA (320-400 nm) apresenta uma pequena ação biológica, entretanto reveste-se de certa importância por representar cerca de 90% da radiação solar no UV. UVA é menos efetivo biologicamente que UVB. Entretanto, por causa de sua intensidade muito maior na luz solar assim como em muitas fontes artificiais, e o maior período do dia no qual a luz solar UVA permanece a altas intensidades, o UVA pode ter significativos efeitos biológicos.

A radiação UVA situa-se numa região espectral sem fortes bandas de absorção molecular na Atmosfera, não sofrendo, portanto influências com a variação no Ozônio total. Esta faixa pode então servir como referência para comparação com níveis de radiação UVB, verificando se flutuações ocorridas nesta faixa estão relacionadas com variações na coluna total de Ozônio ou com variações em outros fatores, tais como nebulosidade, opacidade atmosférica e flutuações no fluxo de Radiação Solar.

A radiação no ultravioleta é apenas uma pequena parte do espectro solar, seu valor sendo da ordem de 8 a 9% da radiação solar total incidente no topo da atmosfera terrestre para $\lambda < 400$ nm e 1, 4% para $\lambda < 300$ nm. Entretanto, a radiação UV é de grande importância na estruturação da atmosfera terrestre e também tem grande ação na biosfera. A radiação de comprimentos mais curtos é responsável na atmosfera superior pela formação de uma camada ionizada importante para a radio-propagação, a ionosfera. A radiação de comprimentos de onda intermediários atua na mesosfera e estratosfera como elemento forçante em uma série de reações fotoquímicas, incluindo o importante mecanismo de formação da molécula de Ozônio. A absorção de UV na atmosfera terrestre influencia na distribuição de temperatura, na fotoquímica e no balanço de *momentum*, determinando as estruturas da estratosfera, mesosfera e termosfera inferior.

O UV pode produzir alguns efeitos danosos à biosfera tais como: redução no crescimento de plantas, efeitos nos sistemas aquáticos de algas, redução da pesca, e sobre os humanos, câncer de pele e cataratas.

A radiação ultravioleta solar incidente no topo da atmosfera depende basicamente da distância Terra-Sol e de variações da atividade solar. Já na

atmosfera terrestre a radiação UV é uma função de várias variáveis, dependendo de gases absorvedores, gases e partículas espalhadores, nebulosidade, albedo do Solo, latitude geográfica, altitude, ângulo solar de zênite entre outros fatores .

A radiação ultravioleta é atenuada à medida que penetra na atmosfera. A radiação de comprimentos de onda mais curtos é atenuada no topo da atmosfera, principalmente por O, NO; na média atmosfera o O₂ e o O₃ absorvem a radiação de comprimentos de onda médios; e na superfície terrestre chega a radiação de comprimentos de onda mais longos, por não haver forte absorção molecular na atmosfera.

3. INSTRUMENTAÇÃO

3.1 SISTEMA METEOROLÓGICO W 9000

3.1.1 Descrição Técnica do Sistema

O Sistema de Processamento Meteorológico Zeemet W-9000 é um conjunto, altamente sofisticado, de equipamentos modulares integrados e software, que fornece perfis de dados meteorológicos de alta resolução através da utilização de dados coletados por telemetria, da radiossonda e da sonda de ozônio, quando esta está acoplada ao sistema, e que permitem a medição da média e baixa atmosfera.

Incorporando um sistema de “Arquitetura Aberta”, o W-9000 atende às especificações padrões que possibilitam comunicações nos dois sentidos entre computadores e periféricos. Com tal flexibilidade, o sistema pode ser configurado para uma variedade de requisitos, como a sondagem de ozônio, com um mínimo de equipamentos e software dedicado.

Assim, o pacote de ozônio W-9000/Microsonda Mark II consiste de elementos de equipamentos e software, que permitem sondar com uma Microsonda Mark II especialmente configurada, acoplada a uma sonda de ozônio do tipo ECC (Célula de Concentração Eletroquímica), que aqui será descrita pela sonda da Companhia EN-SCI, e obter um perfil vertical dos dados de ozônio, pressão, temperatura, umidade relativa e ventos para estudos durante e após a sondagem. O conjunto radiossonda e sonda de ozônio são lançados acoplados em balões meteorológicos que podem ser tanto de 1500 quanto de 2000 litros, dependendo da altura que se quer medir.

O sistema subdivide-se em três partes, que podem ser vistas na Figura 14:

- Dispositivos de aquisição de dados, tais como radiossondas e sondas de ozônio;
- Bastidor Zeemet: uma unidade modular para recepção e acondicionamento de sinal;
- Microcomputador padrão de controle do sistema com periféricos associados para análise e processamento de dados.

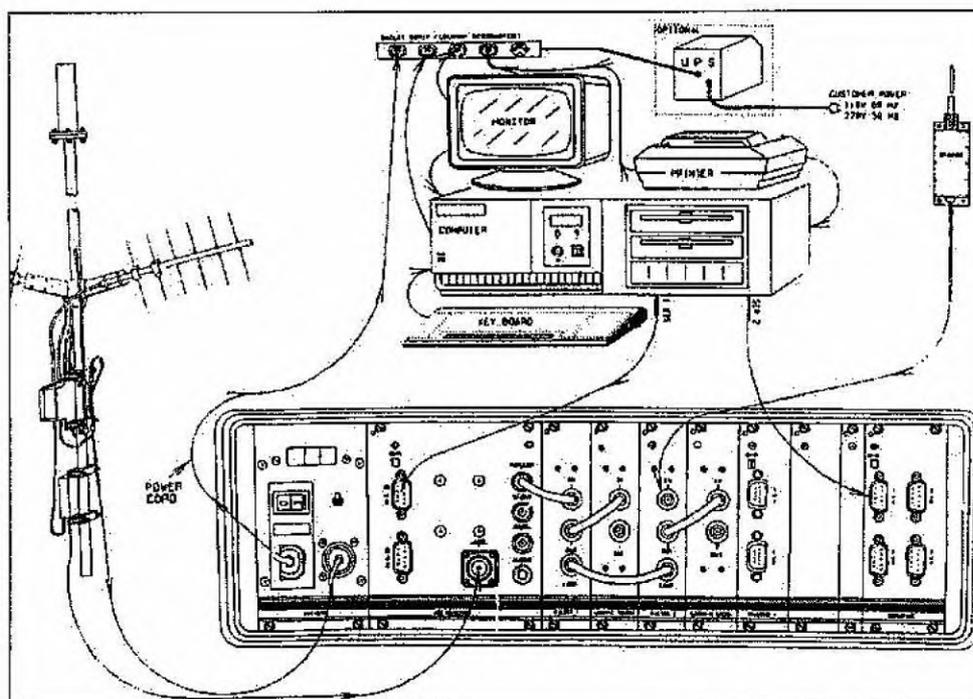


Figura 14 - Visão esquemática do Sistema de Processamento Meteorológica W-9000, onde aparecem, em primeiro plano, o bastidor Zeemet (no centro), as antenas Omni-Yagi (à esquerda) e o sistema de controle por computador. (Fonte: Catálogo do Sistema de Processamento Meteorológico W-9000)

A unidade de recepção e condicionamento do sinal é a parte mais importante do sistema. Ele é um bastidor concentrado padrão "Eurorack" contendo módulos do tipo "plug-in" interconectados por um barramento P90 e um sistema duplo de antenas. Os módulos do bastidor Zeemet, em sua maioria, comunicam-se nos dois sentidos com o barramento comum e são controlados pelo computador através da Interface do Sistema. Esta emprega dois canais RS-232 de 9600 Baud. O primeiro canal controla a ação dos módulos do bastidor Zeemet, usando um protocolo de comando/resposta e o segundo interrompe e ativa a saída dos dados meteorológicos e de navegação. O computador controla os módulos do bastidor Zeemet e processa os dados para a apresentação e saída.

As transmissões das Microsondas Mark II são recebidas pelo Receptor Sintetizado de 403MHz. Os dados meteorológicos e de Navegação são enviados ao computador através da interface RS-232C, do sistema. O sistema de navegação da sonda utilizado atualmente pelos equipamentos do INPE é o GPS (Sistema de Posicionamento Global), que atua através de equipamentos de navegação e envio de sinais instalados em satélites. Existem dispositivos para operação com Ômega

(sistema abandonado atualmente) e Loran-C, os quais podem ser usados simultaneamente para rastreamento com navegação múltipla.

Na Figura 15 é apresentado um esquema do W-9000, onde aparecem o bastidor Zeemet, com seus respectivos módulos, as antenas GPS e Omni-Yagi, o computador de controle e a radiossonda com balão.

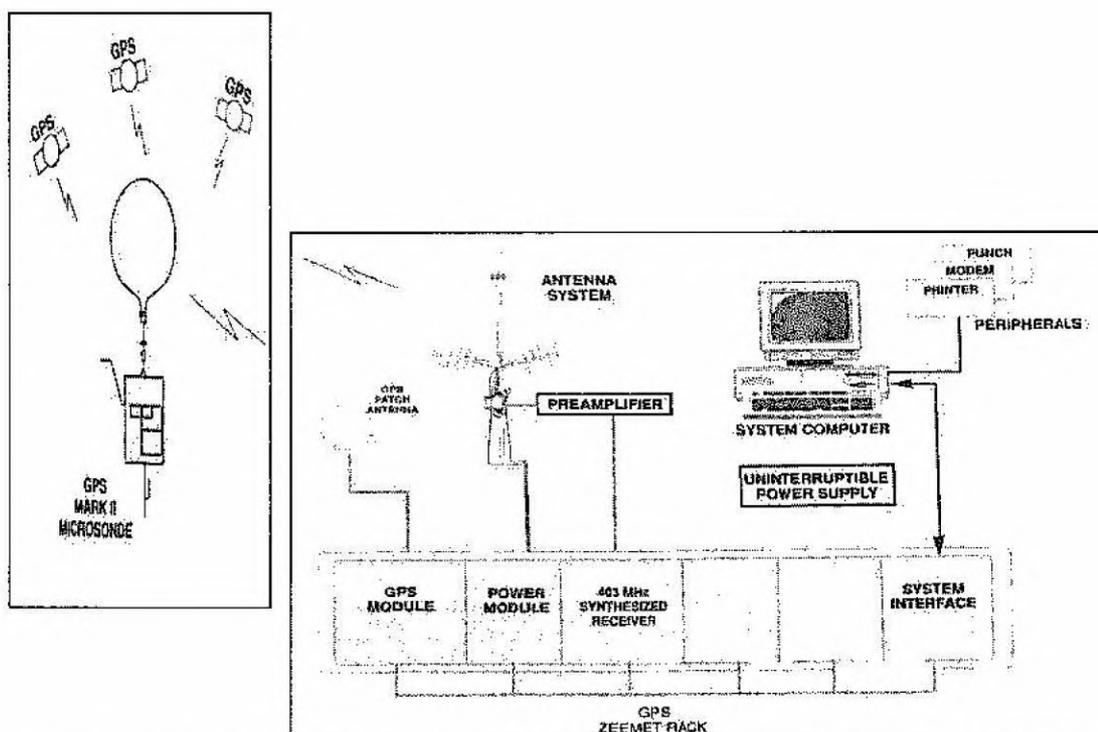


Figura 15 - Esquema do Sistema Meteorológico W-9000 (Fonte: Catálogo GPS W-9000 Meteorological Processing System, Ref. No. DS047).

A sonda de ozônio é composta por um sensor ECC (Célula de Concentração Eletroquímica), que é formado por duas cavidades, separadas por uma membrana seletiva, onde são colocadas soluções aniônica e catiônica, altamente concentradas. À medida que o ar é bombeado para dentro, passa por uma das câmaras ocorre a reação química com a molécula de ozônio e, devido à diferença de concentração das soluções nas duas cavidades, uma corrente elétrica é gerada. Esta corrente é medida pela interface da Mark II. A sonda de ozônio inclui uma bomba revestida de Teflon que força o ar através do eletrólito catódico do sensor. A célula e a bomba são empacotadas em um caixa robusto de espuma moldada.

A sonda de ozônio não vem de fábrica com a eletrônica de interface montada. Entretanto estão incluídos espaçadores e parafusos de montagem para se montar o circuito de interface na sonda de ozônio na própria estação de lançamento. No

interior da caixa há um termistor (bead) para medição da temperatura interna da caixa, que precisa ser controlada e mantida dentro de uma faixa de operação para um melhor funcionamento da bomba e da interface eletrônica, além do que a resposta da Célula Eletroquímica varia com a temperatura. Para calibração e preparação das sondas de ozônio é utilizada uma unidade de teste ozonizadora modelo KTU-2.

O software do Sistema de Processamento Meteorológico W-9000 permite que durante a sondagem o ozônio atmosférico seja computado e armazenado nos arquivos de dados processados. Estes dados podem ser vistos na tela em qualquer momento durante a sondagem, inclusive com a confecção de gráficos do andamento da sondagem. O software possui ainda uma série de utilitários que permitem desde a conversão de arquivos binários em arquivos de texto, para possibilitar a sua importação para outros aplicativos para estudo posterior, até a geração de gráficos.

3.1.2 Bastidor Zeemet

O conjunto do Bastidor Zeemet é uma unidade de armazenamento que permite um interfaceamento paralelo de sinal (barramento P90) para um sistema modular.

3.1.3 Módulo de Força

O Módulo de Força serve como uma entrada de força de corrente alternada C.A. e dirige esta energia para a fonte de força de corrente contínua C.C. e quaisquer outros dispositivos que necessitem de alimentação remota de força C.A. (tais como computadores portáteis e impressoras). A fonte de força C.C. é uma unidade comutável e está localizada diretamente dentro do módulo de força. Assim as tensões C.C. do bastidor Zeemet são fornecidas a partir deste módulo para o resto do bastidor.

3.1.4 Barramento P90

O barramento P90 tem como função fornecer energia e realizar a troca de sinal entre os módulos do Bastidor Zeemet. O plano de apoio em que o barramento P90 é implantado consiste de conectores fêmeas de 64 pinos (linhas A e C do

conector fêmea “C” DIN41612), interconectados em uma configuração de barramento paralelo em uma placa de circuito impresso. Todos os conectores do barramento possuem pinos “wired-wrapped” que se estendem por todo o plano de apoio, permitindo interconexões personalizadas adicionais. Os pinos de “wired-wrapped” no primeiro e último conector são folheados a ouro para permitirem a adição de cabos de extensão ao barramento. O barramento P90 é subdividido em diversos sub-barramentos ou seções funcionais:

- *Linhas de barramento das fontes de força de +5V, ±15V e +5V de apoio* - estas linhas de barramento fornecem a energia requerida pelos módulos do sistema.
- *Linhas de barramento do sinal de navegação* - fornecem um caminho para a transferência do sinal de navegação do módulo GPS.
- *Linhas de barramento de áudio* - existem duas linhas de áudio que fornecem sinais de telemetria da banda-base e sinais de áudio que são usados para acionarem o sistema de alto-falante.
- *Linhas de barramento S* - a finalidade do barramento S é a comunicação serializada entre os módulos colocados no barramento. O protocolo permite a troca de dados entre dois módulos inteligentes ou baseados em microprocessador e entre um módulo inteligente e um módulo “burro” ou não baseado em microprocessador, nos formatos assíncronos ou síncronos.
- *Linhas de barramentos diversos* - são um conjunto de barramentos que podem fornecer um sinal de “clock” produzindo uma frequência de referência para os diversos módulos do sistema e ainda fornecer um meio de sincronização de tempo para os módulos do sistema. Também tornam disponíveis sinais lógicos (“reset”) de reiniciar para todos os módulos do sistema. As fontes e usos de “reset” são selecionados por conexões ponte (jumpers) em todos os cartões de processamento. Todos os barramentos inteligentes podem funcionar como barramentos mestre ou escravo. Os módulos inteligentes são aqueles que são baseados em microprocessador. Por exemplo, o Interfaceador do Sistema, o Módulo de GPS e o Receptor de 403MHz. Os módulos não inteligentes, sem microprocessador, operam como escravos.

Quando um módulo inteligente se comunica com outro módulo inteligente, a comunicação pode ser feita tanto no modo assíncrono como no modo síncrono, porém usualmente se usa o modo assíncrono. Em qualquer caso, o esquema de



endereçamento usa uma palavra inserida na corrente de dados serializados que passa do mestre para o escravo. Quando um mestre se comunica com um escravo, o módulo mestre coloca um endereço no barramento S que é decodificado diretamente pelo escravo, simplificando o processo de decodificação do endereço.

Usando um protocolo em série do barramento P90 é possível a qualquer módulo mestre no bastidor Zeemet endereçar a qualquer outro módulo serialmente interfaceado, no barramento. O módulo inteligente designado para controlar um periférico é comandado pelos programas carregados nos diversos módulos.

3.1.5 Receptor de 403 MHz

Os sinais do transmissor da radiossonda, na faixa 400 a 410 MHz, são processados pelo Receptor Sintetizado de 403 MHz. Os dados da portadora de 403 MHz consistem de sinais de navegação, meteorológicos e de ozônio. Os sinais são, então, captados pela antena e o pré-amplificador e são injetados no receptor que, por sua vez, repassa os sinais ao bastidor Zeemet para processamento no sistema W-9000.

3.1.6 Módulo GPS

O módulo GPS consiste de um receptor GPS local e uma placa processadora. O receptor GPS local recebe os dados da antena GPS e decodifica os sinais GPS. A placa processadora do módulo processa a saída do receptor 403 MHz para obter dados da radiossonda e do GPS medido remotamente. Antes da entrada do cabo no bastidor Zeemet, foi colocado um pré-amplificador de banda larga para intensificar o sinal recebido, visto que inicialmente o sistema não conseguia captar e interpretar os dados da sonda após uma determinada altura. O uso do pré-amplificador aumentou a altura máxima na qual o sinal pode ser captado e interpretado, podendo assim se fazer medidas em toda a Camada de Ozônio.

O módulo processa a banda-base e recupera os dados meteorológicos e de navegação (GPS), os quais são enviados ao módulo processador principal que é a interface do sistema.



3.1.7 Interface do Sistema

A interface do sistema é utilizada para fornecer uma interface de comunicações entre os diversos componentes do sistema integrado dentro do Bastidor Zeemet e o computador da estação. A interface do sistema permite que toda aquisição de dados e as comunicações de controle e comando sejam feitas através de duas portas de comunicação em série, em modo duplex completo, no padrão RS232. Servindo como um concentrador de dados inteligentes, a interface do sistema diminui o número de portas de comunicações necessárias e o volume dos dados que devem ser processados pelo computador principal.

Os componentes típicos do sistema controlados pelo Módulo (Interface do Sistema) incluem o receptor de telemetria de 403 MHz, o Módulo GPS e o Módulo de Controle de Antena 403 MHz.

Em adição às suas funções de comunicações, a interface abriga também o pulso de sincronização (clock) principal do sistema. O pulso mestre de temporização (clock) fornece um sinal de referência de tempo de 16 MHz e uma marca de tempo de baixa frequência para o barramento P90. Estes sinais são derivados de um oscilador a cristal de quartzo de alta estabilidade e que é ajustado pelo microcomputador.

3.1.8 Sistema de Antenas de 403 MHz

O sistema de antenas de 403 MHz faz a coleta dos sinais durante a sondagem, que são amplificados pelo pré-amplificador e, então, são enviados ao Receptor Sintetizado de 403 MHz, para processamento. O Receptor de 403 MHz por sua vez fornece energia C.C. para o Módulo de Chaveamento Eletrônico o qual contém um pré-amplificador.

Em condições de lançamento, a antena onidirecional quadrifilar é usada para recepção do sinal no lançamento. O sinal desce pela parte central do mastro até o pré-amplificador, que é montado cerca de 1,0 m abaixo da antena. Ele é amplificado e então enviado ao receptor. Em um certo tempo durante o voo (geralmente de 10 a 20 minutos), à medida que o sinal fica mais fraco, o programa comuta o sistema para as antenas Yagi, que é um sistema direcional. Existem seis antenas Yagi distribuídas em um padrão circular, espaçadas de 60° de modo a cobrir os 360° do horizonte.

A escolha da comutação das antenas Yagi é feita no Módulo de Força/Controle de Antena, baseada nas informações de vento oriundas do computador. As “chaves” usadas no Módulo de Comutação Eletrônica são dispositivos de estado sólido de muito baixo ruído tipo GaAsFET, montados de modo a usar tanto uma só antena, como pares adjacentes.

3.1.9 Módulo da Chave Eletrônica

O Módulo de Chave Eletrônica contém um pré-amplificador e um comutador rotativo de estado sólido para seleção das antenas. A seleção das antenas é feita no computador dependendo da posição da radiossonda em voo. Assim o computador aciona o banco de comutadores e seleciona as antenas necessárias para a continuação da sondagem.

3.1.10 Antenas de GPS

A antena GPS recebe os sinais dos satélites para fornecer as correções diferenciais aos dados de vento do GPS. Ela minimiza o erro de ruído e fase, reduzindo substancialmente os erros por reflexão. Seu plano de terra com ranhuras controladas fornece uma superfície altamente capacitiva para reduzir a re-radiação de correntes de superfície.

O elemento da antena é um “microstrip patch” com dupla alimentação, tendo como base um dielétrico plástico carregado com cerâmica. O dielétrico é selecionado por sua estabilidade térmica para ressonar desvios de frequência com variações de temperatura. O erro de fase, quando comparado ao de uma antena “patch” convencional, é muito menor. A antena é vedada com anel de vedação para suportar condições climáticas severas. O radome fornece uma excelente resistência à ação abrasiva e do ultravioleta.

O amplificador da antena é equipado com quatro filtros de alto – Q (alta seletividade) que evitam supressão do sinal GPS, mesmo quando bem próximo de sistemas de transmissão.



3.1.11 Microsonda MARK II

A microsonda Mark II é uma sonda digital constituída de três subconjuntos contidos em um estojo de espuma moldada (poliestireno expandido). O conjunto dos sensores suporta os sensores de pressão e umidade e fornece suporte para o braço do elemento de temperatura. O conjunto transmissor contém um transmissor de alta estabilidade. No terceiro conjunto esta o cordão que une a sonda ao balão.

Para oferecer um ambiente adequado ao sensor (de carbono) de umidade, a caixa da sonda tem um duto que serve para proteger o elemento contra o aquecimento solar e de respingos diretos de chuva. O duto é essencial para a operação correta do sensor de umidade.

O peso da sonda é de aproximadamente 350 gr. O pequeno peso associado a um volume razoável aumenta a fragilidade da sonda e reduz o risco de danificar aeronaves ou objetos no solo quando de sua queda.

A sonda é equipada com três sensores meteorológicos e tem capacidade de canal para adicionar mais quatro outros sensores caso necessário. Os três sensores meteorológicos da sonda são:

- *Sensor de Pressão* - É construído com Nispan-C laminado a frio e tratado com calor para atingir coeficientes de temperatura nulos, ou seja, trata-se de uma cápsula aneróide capacitiva de leitura contínua. A cápsula é, então, calibrada com a eletrônica do interfaceamento para fornecer coeficientes polinomiais. A medição da pressão é feita através da determinação da capacitância entre as duas placas paralelas situadas no interior do aneróide. A esta capacitância está associada uma corrente, que é transformada em sinais digitais pela interface da Mark II e é enviada ao W-9000. No sistema W-9000 este sinal é interpretado fornecendo um valor de pressão. As radiossondas produzidas a partir de 1998 podem não ter mais este sensor, dependendo da solicitação do cliente, visto que a altura e pressão de onde a sonda se encontra são fornecidos pelo sistema GPS.

- *Sensor de Temperatura* - O sensor de temperatura é extrudado de um óxido de ferro. O óxido é queimado, tratado e chapeado em ambas as extremidades e são adicionados finos fios condutores. Após um teste de rastreamento da curva e determinação do valor da resistência de "amarração", os termistores são revestidos com material refletor. Finalmente a superfície do termistor é tratada para impedir a aglutinação de pingos d'água após a passagem por chuva ou nuvens. A medição da temperatura é feita a partir da determinação da resistência do resistor. Assim uma



corrente é associada a esta resistência, que depois de ser tratada e enviada ao W-9000, é interpretada como um valor de temperatura.

- *Sensor de Umidade* - A umidade é medida pela variação da resistência de uma película de carbono depositada sobre um substrato de acrílico. Assim, com a variação da resistência, há uma variação de corrente. Essa variação é enviada a interface da sonda, transformada em sinal digital e, então, é transmitida ao W-9000 onde é interpretada como um valor de umidade.

O transmissor da Microsonda Mark II é um circuito de múltiplos estágios de alta estabilidade. Ele é isolado da antena da sonda, reduzindo assim os efeitos dos saltos de frequência durante a preparação para o lançamento. Para minimizar as faixas de temperatura vista pelo transmissor, ele é revestido com poliestireno para reter o calor dissipado nos dispositivos ativos do transmissor.

Para cobrir a faixa de 400 MHz a 406 MHz o transmissor é sintonizável pelo lado externo do estojo. A frequência de transmissão da sonda é recebida na estação de terra por um receptor de UHF sintetizado, cujo oscilador local é referenciado a um oscilador a cristal.

A sonda transmite um fluxo de dados digitais a uma taxa de 4800 Bauds bifásicos, com código de correção de erros e CRC-16 para manutenção da integridade dos dados. O sinal de 4800 Bauds bifásicos é uma representação binária dos dados formatados contendo informações meteorológicas (PTU – pressão, temperatura e umidade relativa), dados de posicionamento GPS (PVT – posição, velocidade e tempo) e o número de série da sonda. Estes são aplicados ao transmissor variando a frequência portadora em aproximadamente 150 kHz, criando uma transmissão que possui as características de GMSK. Adicionalmente, cada conjunto de dados é transmitido duas vezes para melhorar a recepção durante as condições de desvanecimento da transmissão, que pode ocorrer quando a sonda oscila a grandes altitudes. O fluxo de dados de 4800 Bauds modula a frequência portadora, de modo que o desvio pico-a-pico não exceda a 300 khz. Pressão, temperatura e umidade são enviadas duas vezes a cada segundo.

A bateria utilizada na Microsonda Mark II é do tipo padrão, ativada a água. A energia fornecida pela bateria é suficiente para alimentar a sonda durante meia hora no solo e mais uma hora e meia em vôo.

O sistema de localização GPS necessita de, pelo menos, quatro satélites localizados durante o lançamento, pois três fornecem a posição exata da sonda e o quarto fornece a altura com maior acuracidade. Assim, o programa de controle do sistema só permite o lançamento da sonda quando estão localizados quatro satélites. Na Figura 16 é apresentado o diagrama de blocos da Microsonda Mark II, onde aparecem claramente as duas antenas de recepção dos satélites GPS e de envio dos dados a estação de terra.

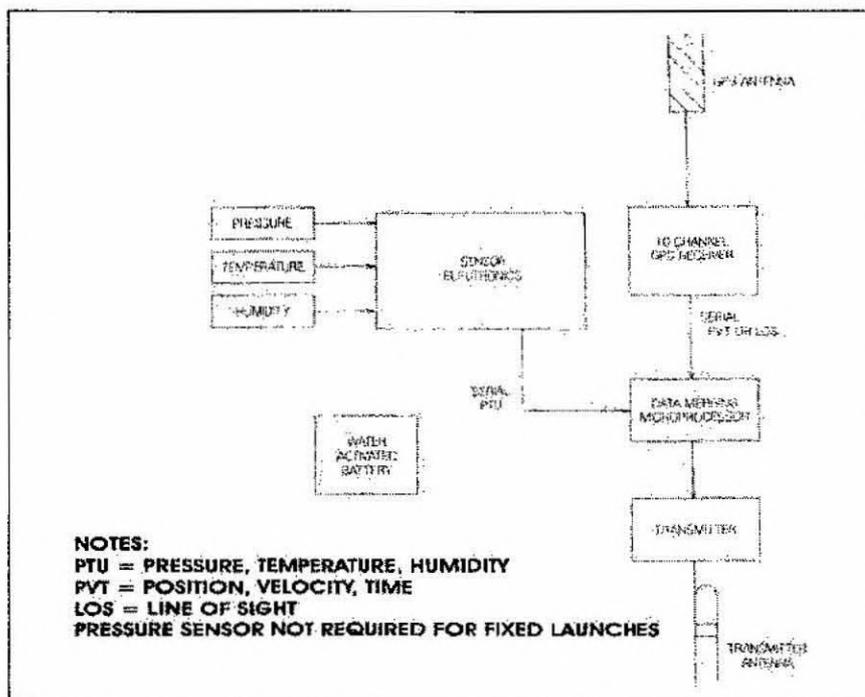


Figura 16 - Diagrama de blocos da Microsonda Mark II GPS (Fonte: Folheto de especificações da Microsonda Mark II GPS, Ref. No. DS032).

3.1.12 Ozônio-Sonda ECC

A ozônio-sonda de célula de concentração eletroquímica é construída em uma estrutura rígida principal, onde são montados os motores acionadores da bomba de gás, construída em Teflon/Vidro, os tubos de teflon, uma célula de concentração eletroquímica sensível a ozônio e uma caixa da interface eletrônica, conforme apresentado na Figura 17. Para subir até a estratosfera, o conjunto é alojado em uma caixa de poliestireno moldado impermeável.

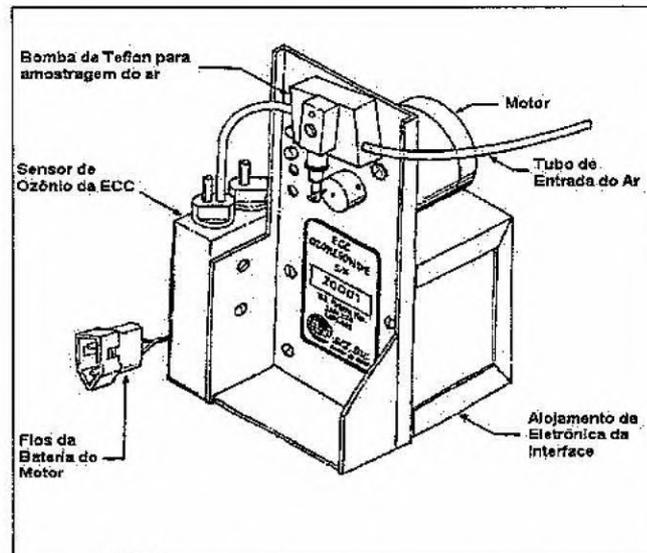
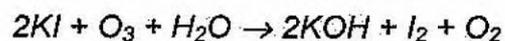


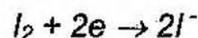
Figura 17 - Ozônio-sonda de Célula de Concentração Eletroquímica (Fonte: Manual de Treinamento de Ozônio do Sistema de Processamento Meteorológico W-9000).

O sensor de ozônio da sonda ECC é constituído de dois eletrodos de platina imersos em soluções de iodeto de potássio (KI) de diferentes concentrações em câmaras de ânodo e cátodo separadas. As câmaras são ligadas com uma ponte iônica que, em adição com um íon, retarda a associação dos eletrólitos de ânodo e cátodo, preservando, deste modo, suas concentrações. Os eletrólitos contêm também brometo de potássio (KBr) e um mediador, no qual a concentração em cada meia célula é a mesma. Obtém-se uma tensão na célula de aproximadamente 0,13 V, que é proveniente da diferença da concentração de iodeto de potássio das duas meias células. Desta forma, não é necessária uma bateria externa para operar a célula.

Quando o ozônio do ar entrar no sensor por ação da bomba da sonda, é formado iodo no cátodo da meia célula de acordo com a relação:



A célula converte o iodo molecular em íons de iodo de acordo com:



Durante este tempo, dois elétrons fluem para o circuito externo da célula. Medindo o fluxo de elétrons (isto é, a corrente da célula), junto com a relação da quantidade de ozônio que entra na célula por unidade de tempo, obtém-se a concentração de ozônio que entra por unidade de tempo. A concentração de ozônio de uma amostra de ar é dada por:

$$p_3 = 4,307 \times 10^{-3} (i_m - i_b) T_p t$$

Onde p_3 é a pressão parcial de ozônio em nanobars, i_m é a medida da corrente de saída do sensor em microampéres, i_b é a corrente de background do sensor (isto é, a corrente residual emanando da célula em ausência de ozônio no ar) em microampéres, T_p é a temperatura da bomba em Kelvins e t é o tempo em segundos tomado pela bomba da sonda para forçar uma amostra de gás de 100 ml de ar direto no sensor.

3.1.13 Unidade de Teste Ozonizadora Modelo KTU-2

A unidade de teste ozonizadora, Figura 18 modelo KTU-2 da companhia EN-SCI foi projetada para calibração da resposta das sondas e para verificar o desempenho das sondas antes do lançamento. Para a preparação das sondas, a unidade possui os seguintes componentes:

- Uma fonte HI OZONE, que é uma fonte geradora de ozônio, para calibração da sonda e sensor com ozônio;
- Uma fonte NO-LO OZONE, que é uma fonte que gera uma corrente de ar sem ozônio presente, e um microamperímetro (0-10 μ A)
- Uma fonte de força de 12 VCC para o motor da bomba, medidores e dispositivos associados para verificação do desempenho mecânico e elétrico (medição da tensão e corrente) da bomba e do motor da ECC;
- Uma fonte de força de 18 VCC para alimentar a radiossonda, permitindo a verificação do desempenho do conjunto de instrumentação de ozônio como um todo;
- Uma lâmpada de ultravioleta usada para geração de ozônio.

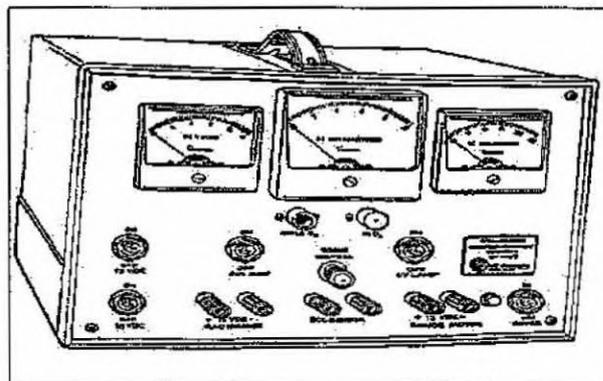


Figura 18 - Unidade de calibração das sondas de ozônio, Ozonizador (Fonte: Manual de Instruções de Operação de Teste/Ozonizadora de Sonda de Ozônio, Modelo KTU-2 da Companhia EN-SCI, 1994).

A unidade possui ainda uma válvula denominada “controle de ozônio”, que controla a produção de ozônio através da exposição da lâmpada, ou seja, quanto mais exposta à lâmpada maior a produção de ozônio e quanto menos exposta menor a quantidade de ozônio.

4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

4.1 INSTALAÇÃO DO NOVO SISTEMA DE NAVEGAÇÃO GPS PARA O SISTEMA W-9000

No mês de agosto do ano de 2000 iniciou-se as preparações para a instalação do sistema de navegação GPS. Para tal iniciou-se verificando as condições do equipamento de sondagem instalado no Observatório Espacial do Sul (micro computador, módulo de recepção do sinal, ozonizer). Verificou-se que estava em bom estado e que não haveria problemas para instalação do novo sistema de navegação.

A instalação foi efetuada na segunda semana do mês de outubro, sendo também realizado um curso sobre o equipamento e lançamento de sondas com o novo sistema, ministrado por funcionários do INPE e um representante da Lex International Consulting, da qual foi adquirido o equipamento através de recursos do INPE/MCT.

Durante o curso foram efetuadas duas sondagens com sucesso, sendo utilizados para tal balões de 2000g inflados com gás hélio, uma radiossonda e uma ozoniossonda ECC. A partir dos dados coletados destas sondagens plotou-se gráficos de pressão parcial de Ozônio e temperatura em função da altitude, que são mostrados nas Figuras 19 e 20.

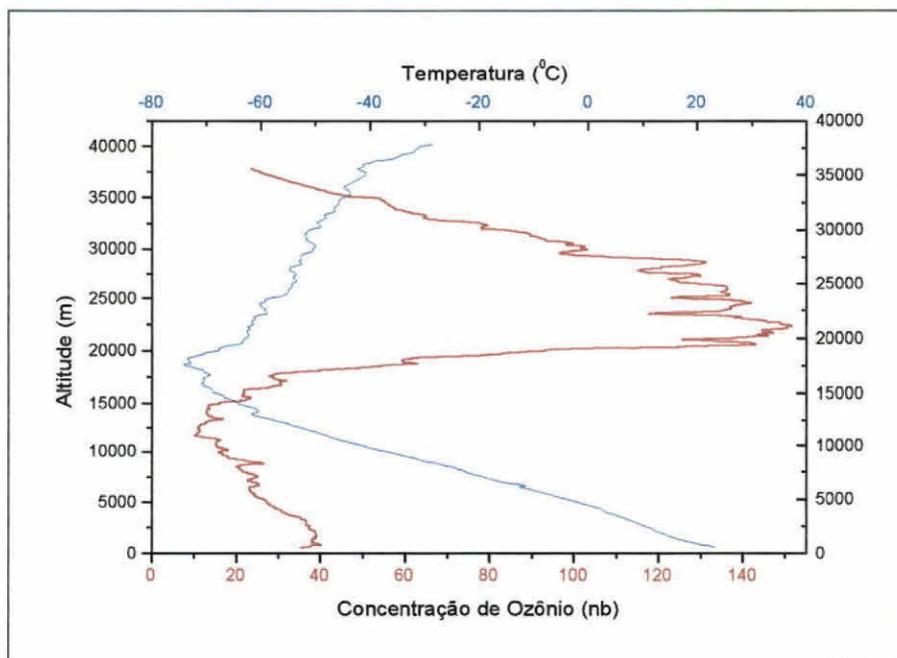


Figura 19 - Gráfico da sondagem realizada no dia 11/10/2000 no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE

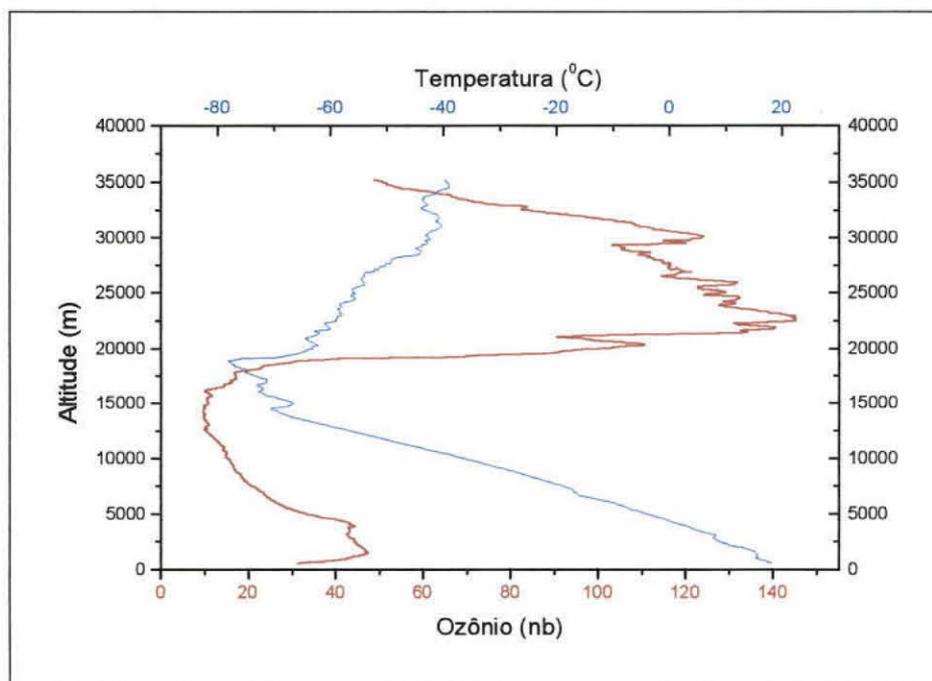


Figura 20 - Gráfico da sondagem realizada no dia 13/10/2000 no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE

Durante os primeiros lançamentos encontramos algumas dificuldades devido ao GDOP (Diluição Geométrica de Precisão) que nos dava pouco tempo de voo das sondas. O GDOP é computado das relações geométricas entre a posição do

receptor e as posições dos satélites que o receptor está usando para navegação e é considerado bom quando seu valor for menor que 3. Pode ser obtido através do site da marinha americana <http://sirius.chinalake.navy.mil>, sendo necessário informar corretamente as coordenadas OES/CRSPE/INPE, a elevação em relação ao nível do mar, o dia e a hora desejada

Foram realizadas outras três sondagens com sucesso, cujos gráficos são mostrados nas figuras 21, 22 e 23.

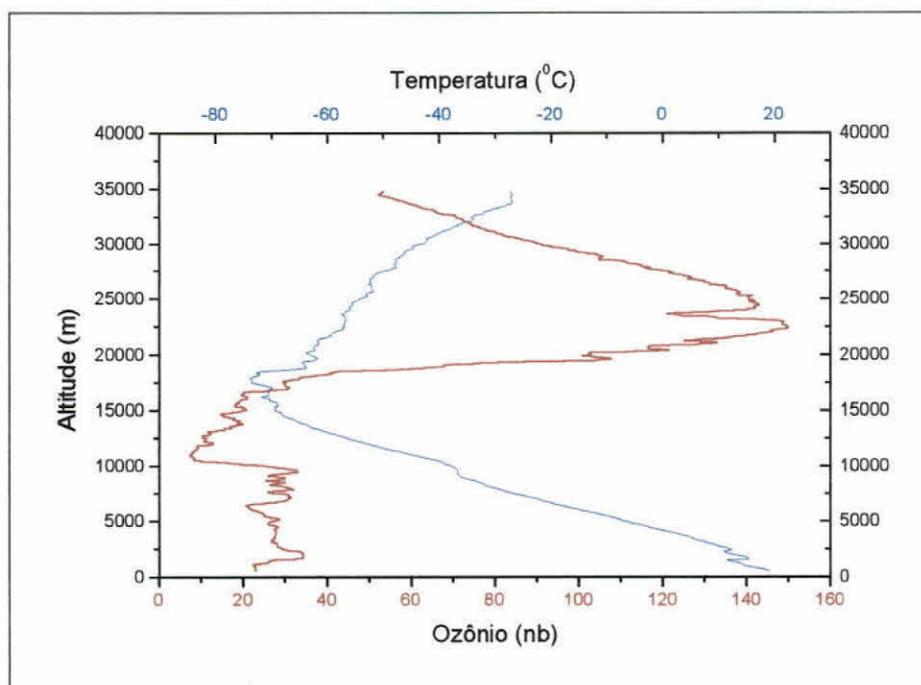


Figura 21 - Gráfico da sondagem realizada no dia 10/11/2000 no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE

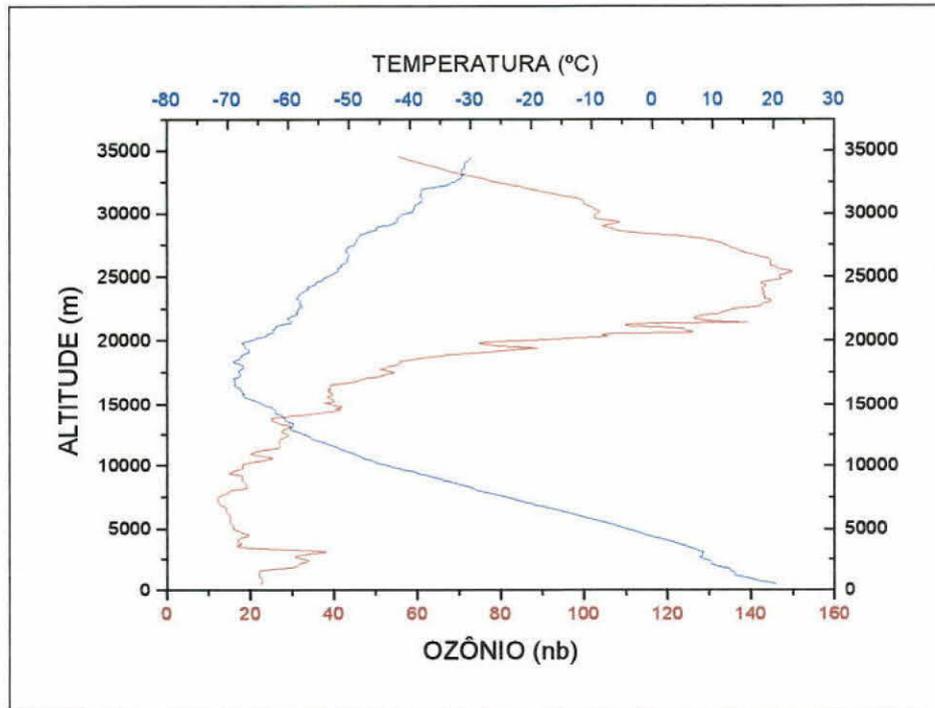


Figura 22 - Gráfico da sondagem realizada no dia 01/12/2000 no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE

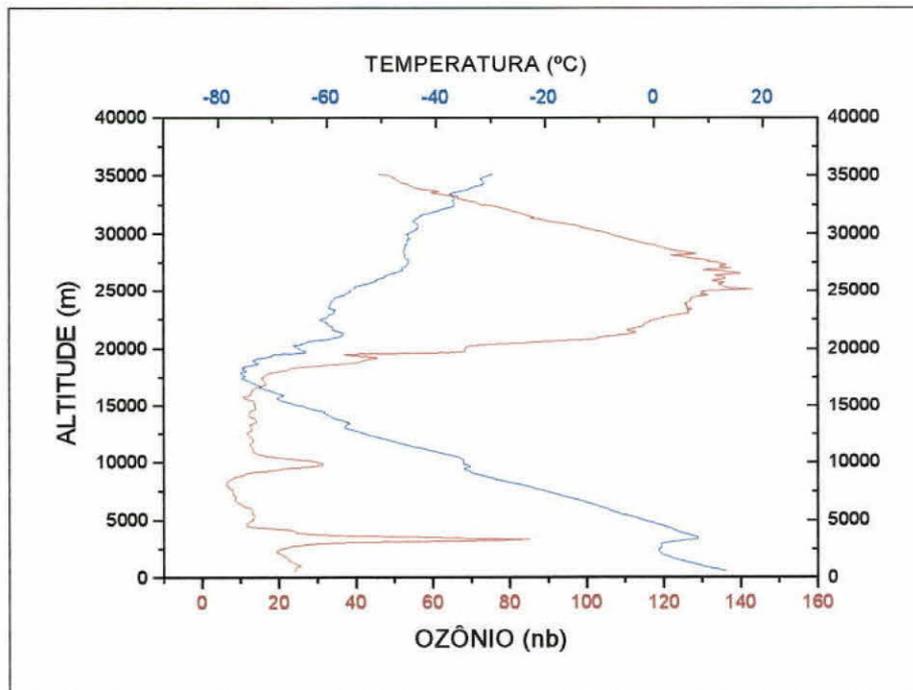


Figura 23 - Gráfico da sondagem realizada no dia 16/12/2000 no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE

Das sondagens realizadas pode-se observar um perfil vertical bem definido. Próximo à superfície a concentração de Ozônio é baixa e, a medida que aumenta a



altitude, nota-se um pequeno decréscimo na concentração que se estende até a Tropopausa. Após esta região, a concentração de Ozônio cresce rapidamente até atingir o seu máximo, por volta de 25 km, quando a concentração de Ozônio começa a decair novamente.

Analisou-se os dados coletados pelas sondagens e pode-se confirmar os efeitos secundários do buraco de Ozônio sobre a região Sul do Brasil, que já haviam sido detectados pelo espectrofotômetro Brewer #056 instalado no OES/CRSPE/INPE e pelo instrumento TOMS instalado em satélite da NASA.

4.2 CORRELAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS DE SONDAJENS COM OS DADOS DOS MODELOS MATEMÁTICOS DA COSPAR

Teve-se o objetivo de comparar os dados de perfil vertical de Ozônio, obtidos sobre a Região Central do Rio Grande do Sul, mais precisamente, no Observatório Espacial do Sul OES/CRSPE/INPE no período de 1996 a 1998, com dados de modelos matemáticos da COSPAR - International Reference Atmosphere.

Os dados da COSPAR foram coletados por instrumentos a bordo de 5 satélites: Nimbus 7 Limb Infrared Monitor of the Stratosphere; Nimbus 7 Solar Backscatter Ultraaviolet(SBUV); Applications Explorer Mission-2 (AE-2) Stratospheric Aerosol e Gas Experiment (SAGE); Solar Mesosphere Explorer (SME) UV Spectrometer (SME-UVS); Solar Mesosphere Explorer 1.27 micron airglow (SME-IR). Os modelos matemáticos fornecem a variação mensal de Ozônio da Média Atmosfera em ppmv, como função da pressão em mb e da latitude, no nosso caso, 30° S.

Utilizando um programa desenvolvido no Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT/UFSM, obteve-se os perfis verticais médios mensais destas sondagens e os valores de pressão parcial de Ozônio, que foram convertidos de nb para ppmv .

Plotando os gráficos dos dados de O_3 pela pressão atmosférica, obtemos os gráficos apresentados nas Figuras 24, 25, 26, 27, 28 e 29 . Os três primeiros são dos meses de março, abril e maio (meses de mínima concentração de Ozônio) e os três últimos são dos meses de setembro, outubro e novembro (meses de máxima concentração de Ozônio).



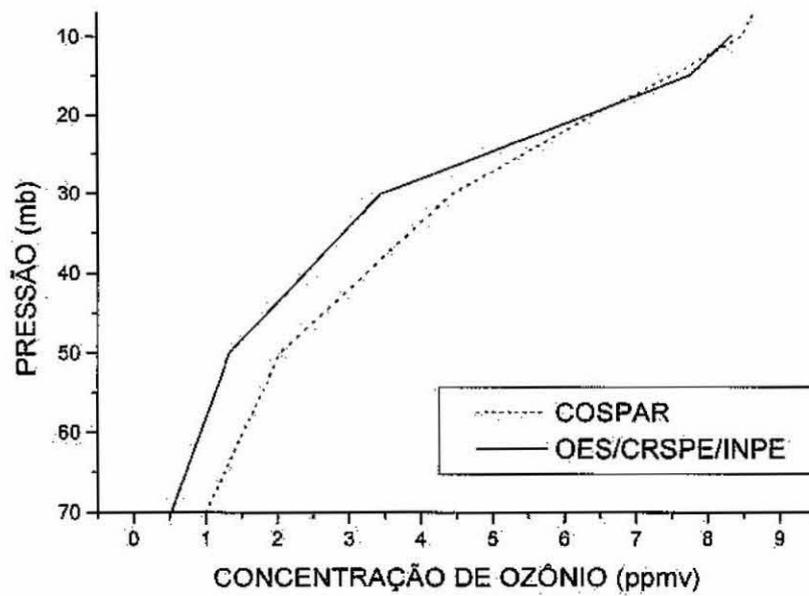


Figura 24 - Comparação do perfil de ozônio atmosférico obtido de sondagens no OES, com o modelo da COSPAR para a média do mês de março dos anos de 1997 e 1998.

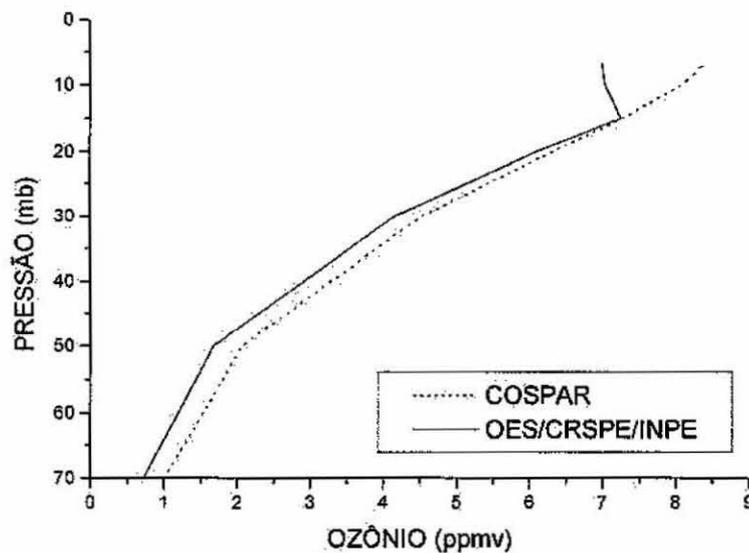


Figura 25 - Comparação do perfil de ozônio atmosférico obtido de sondagens no OES, com o modelo da COSPAR para a média do mês de abril dos anos de 1997 e 1998.

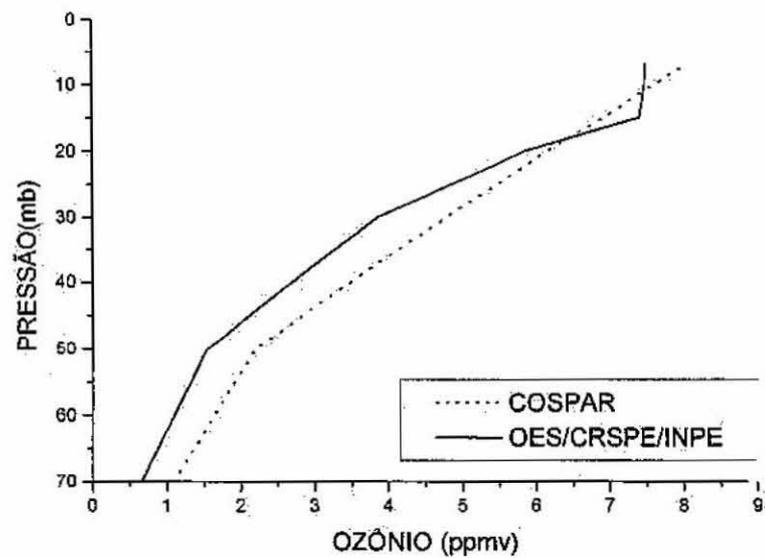


Figura 26- Comparação do perfil de ozônio atmosférico obtido de sondagens no OES, com o modelo da COSPAR para a média do mês de maio do ano de 1997.

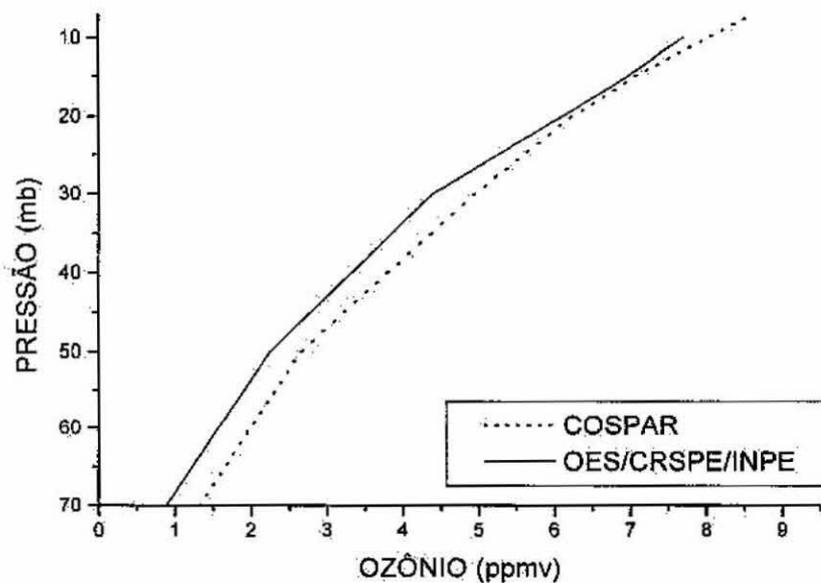


Figura 27- Comparação do perfil de ozônio atmosférico obtido de sondagens no OES, com o modelo da COSPAR para a média do mês de setembro do ano de 1997.

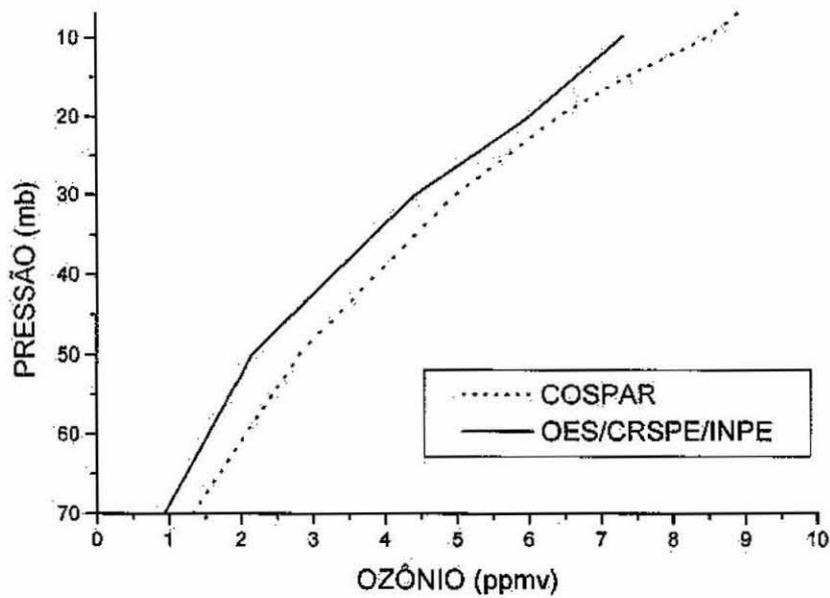


Figura 28 - Comparação do perfil de ozônio atmosférico obtido de sondagens no OES, com o modelo da COSPAR para a média do mês de outubro do ano de 1997.

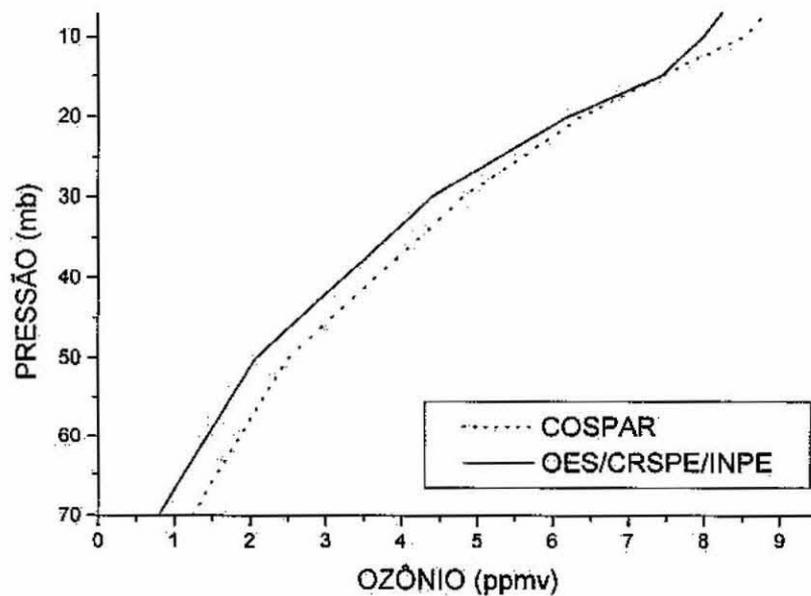


Figura 29 - Comparação do perfil de ozônio atmosférico obtido de sondagens no OES, com o modelo da COSPAR para a média do mês de novembro dos anos de 1996 e 1997.

Observou-se boa concordância entre os dados dos perfis para os meses do período analisado, sendo que as variações de concentração são acompanhadas de

modo geral uniformemente pelas duas curvas, com desvios máximos em torno de 10% para determinadas altitudes.

Plotando-se os dados da COSPAR pelos dados de sondagens do OES para o mesmo período obteve-se a correlação estatística. Os gráficos são mostrados nas Figuras 30, 31, 32, 33, 34 e 35.

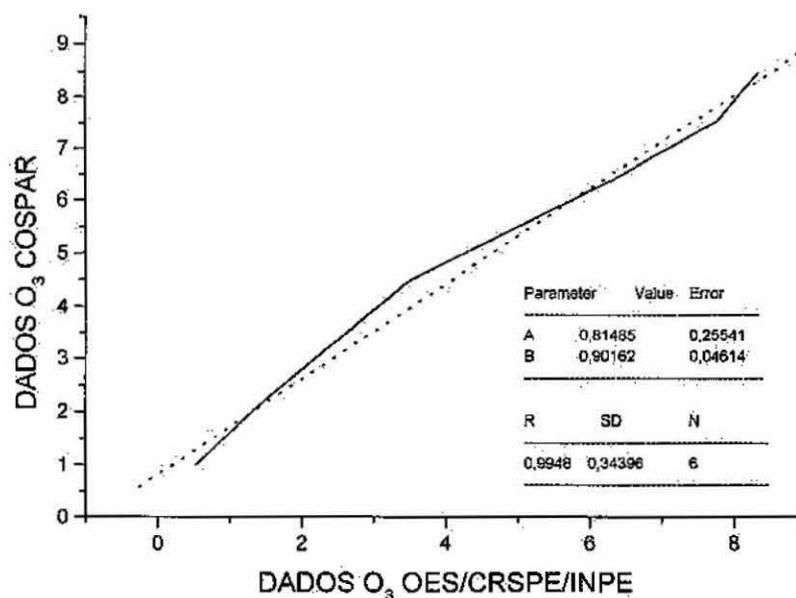


Figura 30 - Correlação entre os dados da COSPAR e os dados obtidos no OES/CRSPE/INPE para o mês de março dos anos de 1997 e 1998

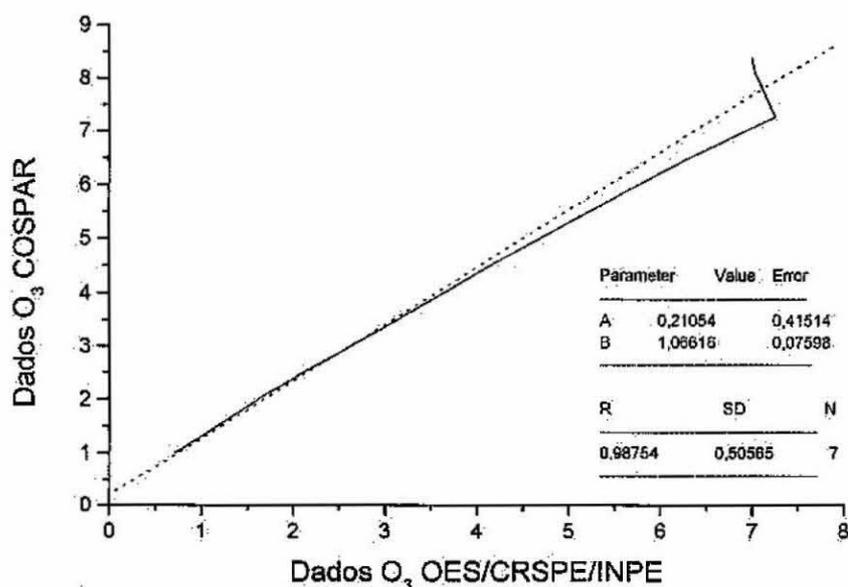


Figura 31 - Correlação entre os dados da COSPAR e os dados obtidos no OES/CRSPE/INPE para o mês de abril dos anos de 1997 e 1998.

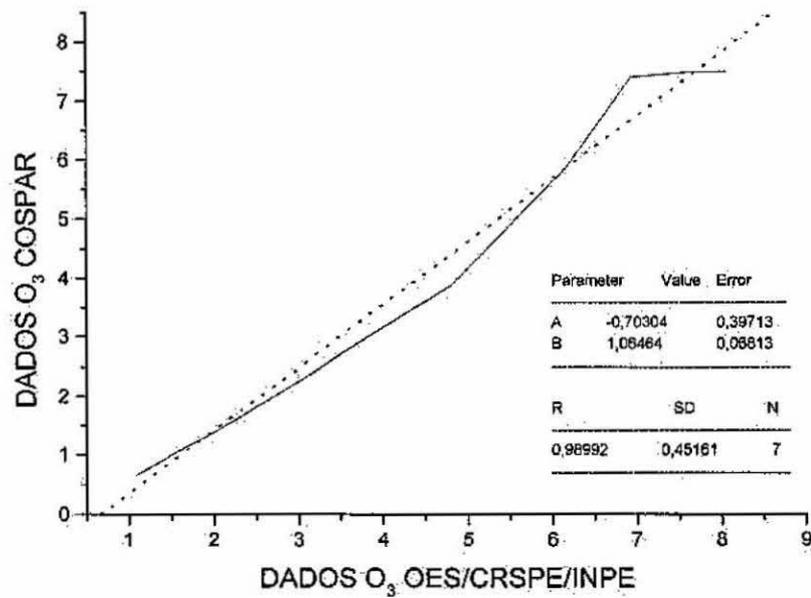


Figura 32 - Correlação entre os dados da COSPAR e os dados obtidos no OES/CRSPE/INPE para o mês de maio do ano de 1997.

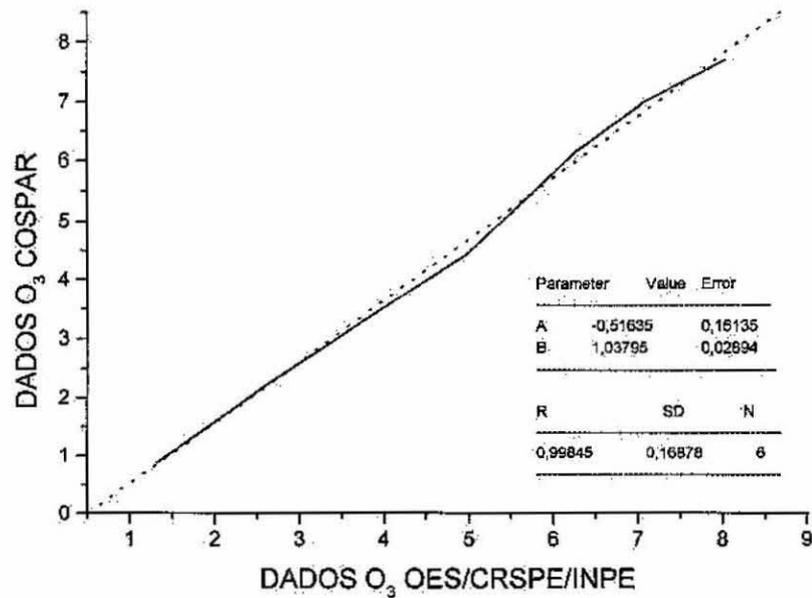


Figura 33 - Correlação entre os dados da COSPAR e os dados obtidos no OES/CRSPE/INPE para o mês de setembro do ano de 1997.

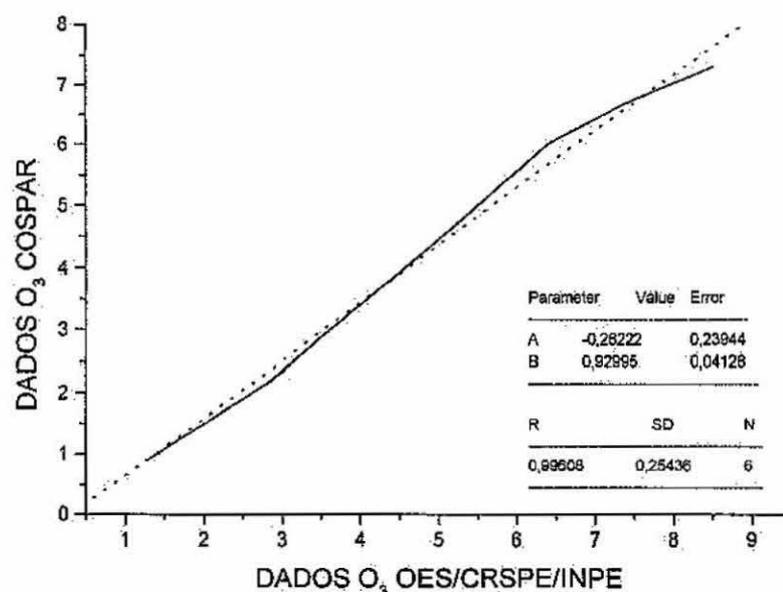


Figura 34 - Correlação entre os dados da COSPAR e os dados obtidos no OES/CRSPE/INPE para o mês de outubro do ano de 1997.

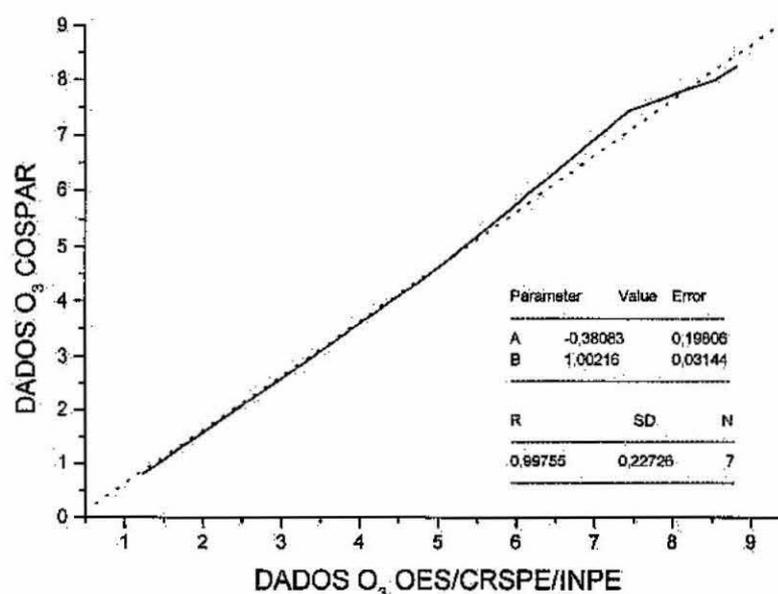


Figura 35 - Correlação entre os dados da COSPAR e os dados obtidos no OES/CRSPE/INPE para o mês de novembro dos anos de 1996 e 1997.

A partir dos gráficos pode-se verificar ótimos resultados, sendo o coeficiente de correlação R médio dos dados 0,99056. o que demonstra a qualidade das sondagens realizadas neste período.



4.3 DEMAIS ATIVIDADES REALIZADAS

Todas as semanas uma equipe do PMOA vai ao OES, para realizar a manutenção preventiva dos equipamentos instalados (limpeza, troca de sílicas, alinhamento e testes para verificar bom funcionamento), coleta de dados. Também, quando estavam previstas sondagens era efetuada uma pré-calibração das sondas para semana seguinte.

Durante o período também foi feita uma revisão bibliográfica sobre Ozônio, visando conhecer melhor suas características químicas e obter informações de pesquisas publicadas sobre a Camada de Ozônio, incluindo o Buraco de Ozônio Antártico e suas influências diretas e indiretas sobre a concentração de Ozônio.

4.4 PARTICIPAÇÃO EM CONGRESSOS E SEMINÁRIOS

Participou-se como autor e coautor de trabalhos da XV Jornada Acadêmica Integrada da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), realizada nos dias 3, 4, 5 de outubro de 2000.

Título do trabalho: *Correlação entre dados de modelos matemáticos de perfis verticais de Ozônio de sondagens realizadas no Observatório Espacial do Sul.*

Autores: Adriane Griebeler, Nelson Jorge Schuch, Turibio G. Soares Neto, Damaris K. Pinheiro, Luciana Horst, Fabiano Coeli.

Anexo 01

Título do trabalho: *Comparação das medidas de Temperatura e de Altitude da Tropopausa nos períodos de máxima e mínima concentração de Ozônio*

Autores: Fabiano Coeli, Nelson Jorge Schuch, Turibio G. Soares Neto, Damaris K. Pinheiro, Adriane Griebeler, Leandro von Muhlen.

Anexo 02

Título do trabalho: *Estudo Comparativo entre dados de Radiação Ultravioleta incidente e dados da Coluna Total de Ozônio sobre São Martinho da Serra.*

Autores: Leandro von Muhlen, Nelson Jorge Schuch, Turibio G. Soares Neto, Damaris K. Pinheiro, Luciana Horst, Adriane Griebeler.

Anexo 03.



Participou-se também como co-autor de trabalho publicado no XV Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia (CRICTE) realizado na Fundação Universidade de Rio Grande (FURG) , nos dias 20 e 21 de Novembro de 2000.

Título do trabalho: *Medidas de Ozônio por Instrumentos a Bordo de Satélites e Observação do Efeito Secundário do Buraco de Ozônio Antártico Sobre o Rio Grande do Sul;*

Autores: Ricardo A. Guarnieri, Fernando L. Guarnieri, Fabiano Coeli, Adriane Griebeler, Diovani L. Rossatto, Damaris K. Pinheiro, Turibio G. S. Neto, Nelson J. Schuch.

Anexo 04.

5. CONCLUSÕES

A partir das atividades desenvolvidas e análise de dados realizados, obteve-se as seguintes conclusões:

Nas sondagens realizadas com o sistema de navegação GPS, pode-se observar novamente um perfil vertical bem definido. Próximo a superfície a concentração de Ozônio é baixa e, à medida que aumenta a altitude, nota-se um pequeno decréscimo na concentração que se estende até a Tropopausa. Após esta região, a concentração de Ozônio cresce rapidamente até atingir o seu máximo, por volta de 25 km, quando a concentração de Ozônio começa a decair novamente. Pode-se observar também que os efeitos secundários do buraco de Ozônio sobre a região Sul do Brasil, que já haviam sido detectados pelo espectrofotômetro Brewer #056 instalado no OES/CRSPE/INPE e pelo instrumento TOMS instalado em satélite da NASA, foram também medidos pelas sondagens, confirmando assim o fenômeno.

Comparando os valores de partes por milhão por volume de ozônio coletados através de sondagens realizadas no OES, com os dados de modelos matemáticos da COSPAR para a nossa latitude, observa-se que as variações de concentração são acompanhadas de maneira uniforme pelas duas curvas, com desvios máximos em torno de 10% para determinadas altitudes.

A partir dos gráficos de correlação, pode-se verificar ótimos resultados, o que demonstra a qualidade das sondagens realizadas neste período.

BIBLIOGRAFIA

1. Schuch, N.J.; Adaime, S. F.; Oliveira, N. U. V.; Bortolotto, E.; Sarkis, P. J.; Pinheiro, D. K.; Lüdke, E.; Wendt, F. A.; Trivedi, N. B.; Costa, J. M.; Kirchhoff, V. W. J. H.; Dutra, S. L. G.; Sobral, J. H. A.; Abdu, M. A.; Takahashi, H.; *Observatório Espacial do Sul - Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais/INPE*, Revista Brasileira de Geofísica; Vol 15(1), 65-70, 1997.
2. Kirchhoff, V.W.J.H; Schuch, N.J; Pinheiro, D. K; Harrys, J. M.; Evidence for an Ozone Hole Perturbation at 30° South; Atmospheric Environment Vol. 30; Nº 9; pp. 1481-1488;1996.
3. Kirchhoff, V.W.J.H; *Queimadas na Amazônia e Efeito Estufa*. Ed. Contexto, 1992. Pg 26.
4. Kirchhoff, V.W.J.H; *Ozônio e Radiação UV-B*, Transtec Editorial, 1995.b
5. *Brewer Ozone Spectrophotometer Operator's Manual*.
6. *Meteorological Processing System W-9000 - Operator Manual*.
7. *Meteorological Processing System W-9000 - Reference Manual*.
8. *Meteorological Processing System W-9000 - Theory of Operation*.
9. *EN-SCI Corporation Models Z ECC - O₃ - Sondes _ Instruction Manual*.
10. Kirchhoff, V.W.; *Introdução A Geofísica Espacial*, Editora da Universidade de São Paulo, 1991.
11. *Brewer Ozone Spectrophotometer Acceptance Manual*.
12. *Brewer Ozone Spectrophotometer Maintenance Manual*.
13. Kirchhoff, V.W.J.H.; *Variações Temporais da Concentração de Ozônio de Superfície*, Revista Brasileira de Geofísica, Vol. 6, 3-8, 1988.
14. *O Brasil e a Proteção da Camada de Ozônio*. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1997.
15. *Naturaleza y Efectos de la Radiación Ultravioleta y la Capa de Ozono*. Instituto de Investigaciones Físicas - UMSA, 1997.
16. Holton, J. R. *An introduction to dynamic meteorology*, New York, Academic Press, 1979.
17. NASA Goddard Distributed Active Archive Center, on-line http://daac.gsfc.nasa.gov/CAMPAIGN_DOCS/ATM_CHEM/ Março de 1998.



ANEXO 01



CORRELAÇÃO ENTRE DADOS DE MODELOS MATEMÁTICOS DE PERFIS VERTICIAIS DE OZÔNIO E SONDAGENS REALIZADAS NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL

Adriane Griebeler⁽²⁾; Nelson J. Schuch⁽³⁾; Turibio G. Soares Neto⁽⁴⁾; Damaris K. Pinheiro⁽⁵⁾;
Luciana Horst⁽⁶⁾; Fabiano Coeli⁽⁷⁾.

Universidade Federal de Santa Maria - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LACESM/CT - OES/CRSPE
97105-900 - Santa Maria -RS - Brasil

Este trabalho tem como objetivo a comparação dos dados de perfil vertical de Ozônio obtidos através de Sondagens Troposféricas/Estratosféricas realizadas na Região Central do Rio Grande do Sul, com os dados de modelos matemáticos da *COSPAR Internacional Reference Atmosphere*. As sondagens realizadas no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE foram efetuadas utilizando-se balões de 2000g inflados com gás contendo 99% de pureza em He, uma Ozoniosonda ECC, que mede a pressão parcial de Ozônio em nb, permitindo determinar um perfil vertical de Ozônio e uma Radiossonda Mark II que fornece dados meteorológicos de temperatura, pressão, umidade relativa e direção e velocidade dos ventos, enviando-os, juntamente com os dados da Ozoniosonda, para a estação terrena. Os modelos matemáticos da COSPAR fornecem a variação mensal de Ozônio da Média Atmosfera em ppmv, como função da pressão em mb e da latitude, no nosso caso, 30° S. Os dados da COSPAR foram coletados por instrumentos a bordo de satélites. Analisou-se dados de sondagens para o período de novembro de 1996 a abril de 1998. Utilizando um programa desenvolvido no Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT/UFSM, obteve-se os perfis verticais médios mensais destas sondagens. Os valores de pressão parcial de Ozônio foram convertidos de nb para ppmv e então efetuada a correlação. Observou-se boa correlação dos perfis para os meses do período analisado, com desvios em torno de 10% para determinadas altitudes.

(1) Pesquisa Financiada AEB/PR, MMA, FINEP, CNPq, FAPERGS, INPE, UFSM.

(2) Apresentadora e autora, Acadêmica de Física, LACESM/CT/UFSM.

(3) Orientador, Coordenador da Ação de Implantação do CRSPE/INPE.

(4) Co-orientador, Pesquisador Titular do CRSPE/CEP/INPE.

(5) Co-Autora, Professora do DTPI - LACESM/CT/UFSM

(6) Co-Autora, Acadêmica de Engenharia Química, LACESM/CT/UFSM.

(7) Co-Autor, Acadêmico de Engenharia Química, LACESM/CT/UFSM.



ANEXO 02



COMPARAÇÃO DAS MEDIDAS DE TEMPERATURA E DE ALTITUDE DA TROPOPAUSA NOS PERÍODOS DE MÁXIMA E MÍNIMA CONCENTRAÇÃO DE OZÔNIO⁽¹⁾

Fabiano Coeli⁽²⁾; Nelson J. Schuch⁽³⁾; Turibio G. Soares Neto⁽⁴⁾; Damaris K. Pinheiro⁽⁵⁾,
Adriane Griebeler⁽⁶⁾; Leandro von Muhlen⁽⁷⁾.

Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LACESM/CT – OES/CRSPE
97105-900 – Santa Maria – RS – Brasil

A Atmosfera Terrestre é dividida em camadas. Quando utiliza-se a temperatura como parâmetro de divisão, a camada mais próxima da superfície é denominada de Troposfera e corresponde a 75% da massa total da Atmosfera. Na Troposfera, a medida que se afasta do solo, a temperatura diminui aproximadamente 6,5 °C/km. O limite desta camada denomina-se Tropopausa e situa-se a cerca de 16 km de altitude em regiões tropicais. A camada seguinte é a Estratosfera, que estende-se da Tropopausa até a Estratopausa situada a cerca de 50 km de altitude. A Tropopausa é o limite entre essas duas primeiras camadas da Atmosfera, sendo que sua posição é determinada pelo ponto onde a temperatura atinge o mínimo, permanecendo com gradiente nulo, para voltar a crescer na Estratosfera. Este crescimento se deve principalmente a ausência de vapor de água e às reações que transformam ozônio em oxigênio diatômico, envolvendo espécies químicas Cl, NO e OH, com a ação dos raios ultravioletas do Sol. As medições de temperatura e altitude são efetuadas utilizando-se um Sistema de Processamento Meteorológico Zeemet W-9000, que compreende: dispositivo de aquisição de dados constituído de uma microssonda Mark II, equipada com sensores de pressão, temperatura e umidade relativa; unidade modular de recepção e acondicionamento de sinal; e microcomputador padrão de controle do sistema com periféricos associados para análise e processamento de dados. Balões Meteorológicos de 2000 g, em "cosmoprene", são utilizados para transportar as sondas a altitudes médias de aproximadamente 35-40 km. Os balões são inflados com gás contendo no mínimo 99% de He de pureza. As medições aconteceram no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, no Município de São Martinho da Serra, período de 4 de novembro de 1996 à 2 de abril de 1998, sendo realizadas de uma a três sondagens por mês (exceções para os meses de novembro de 1996 com oito sondagens e dezembro de 1997 com seis sondagens). Com os dados coletados foi possível determinar a situação da Tropopausa na Região Central do Rio Grande do Sul, comparar os valores obtidos para os meses de março, abril, maio, setembro, outubro e novembro, os meses de mínima e máxima concentração de ozônio. Para o período de máxima concentração de ozônio obteve-se uma altura média de 16,98 km (desvio padrão – 0,71 km) e temperatura média de – 71,86 °C (desvio padrão – 2,48 °C), enquanto para o período de mínima concentração uma altura média de 17,01 km (desvio padrão – 0,69 km) e temperatura média de – 72,06 °C (desvio padrão – 2,91 °C). Pode-se constatar que esses valores médios de altitude e temperatura não variaram durante as diferentes épocas do ano, apesar da concentração do ozônio apresentar variações sazonais.

⁽¹⁾ Pesquisa Financiada: AEB/PR, MMA, FINEP, CNPq, FAPERGS, INPE, UFSM.

⁽²⁾ Apresentador e autor, Acadêmico de Engenharia Química, LACESM/CT/UFSM.

⁽³⁾ Orientador, Coordenador da Ação de Implantação do CRSPE/INPE.

⁽⁴⁾ Co-orientador, Pesquisador Titular do CRSPE/CEP/INPE.

⁽⁵⁾ Co-Autora, Professora do DTPI - LACESM/CT/UFSM.

⁽⁶⁾ Co-Autora, Acadêmica de Física, LACESM/CT/UFSM.

⁽⁷⁾ Co-Autor, Acadêmico de Engenharia Química, LACESM/CT/UFSM.



ANEXO 03



MEDIDAS DE RADIAÇÃO UV-B OBTIDAS ATRAVÉS DE RADIÔMETRO INSTALADO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL OES/CRSPE/INPE⁽¹⁾

Danieli B. Contreira⁽²⁾; Nelson J. Schuch⁽³⁾; Turibio G. Soares Neto⁽⁴⁾; Damaris K. Pinheiro⁽⁵⁾; Fabiano S. Rodrigues⁽⁶⁾; Ricardo A. Guarnieri⁽⁷⁾.

Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LACESM/CT/UFSM – OES/CRSPE
97105-900 – Santa Maria – RS - Brasil

A Radiação Ultravioleta Solar (UV) pode ser dividida em 3 faixas: UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315nm) e UV-C (abaixo de 280 nm). Esta divisão relaciona-se aos efeitos biológicos provocados por este tipo de radiação, sendo que o UV-B representa cerca de 0,15 % da Radiação Solar Global que atinge a superfície terrestre. A Radiação UV-B se caracteriza por ser biologicamente prejudicial aos seres vivos e é absorvida em parte pela camada de ozônio. Em Agosto de 1999 foi adquirido entre vários equipamentos, através de Cooperação Científica Internacional Brasil-Japão em Ciências Espaciais Básicas e Ciências Atmosféricas, firmado entre Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM e vários Institutos/Universidades Japonesas, um medidor de Radiação UV-B (“Eko Instruments, UV-B Radiometer”, modelo MS210W). Este equipamento encontra-se instalado e em operação contínua no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE (Coordenadas Geográficas: 29° Sul, 53° Oeste). O medidor possui uma resposta espectral que é ideal para medidas de radiação UV-B. O funcionamento do Radiômetro utiliza uma série de estágios ópticos envolvendo: difusores, filtros de interferência, lentes fluorescentes e filtros de bloqueio. A saída do sinal em nível (DC), proporcional a intensidade de radiação UV-B medida, é conectada a um “Data Logger” (Datamark LS-2000), que adquire e armazena os dados por aproximadamente 23 dias. Estes dados são gravados a intervalos de um minuto (em V) e o controle das transferências dos mesmos para um PC é realizado por meio de um software próprio (Datamark Assist.). Através da constante de calibração do aparelho pode-se transformar V em W/m^2 . A análise de dados é feita através da interpretação de gráficos: unidades de Irradiância (W/m^2) x tempo (hh:mm). Integrando-se a área sobre a curva obtém-se a energia diária (Joule/ m^2) de Radiação UV-B que atinge a superfície. Como resultados iniciais para o período analisado, (Agosto de 1999 à Julho de 2000), observou-se para os meses de Novembro à Fevereiro os maiores valores de energia, atingindo a níveis máximos em torno de $48.210J/m^2$ e para os meses de Junho e Julho, energias diárias mais baixas, com valores máximos em torno de $12.250J/m^2$. Verificou-se que o horário de pico, isto é, o horário de maior intensidade de Radiação UV-B, tanto para os meses de verão quanto para os de inverno, ocorre em torno de 12:30 (horário local). A partir destas medidas iniciais, pode-se concluir que os valores obtidos estão de acordo com dados disponíveis na literatura científica internacional, indicando bom desempenho do equipamento.

⁽¹⁾ Pesquisa Financiada: AEB/PR, MMA, FINEP, CNPq, FAPERGS, INPE, UFSM, Takushoku University, Jaika – Japão.

⁽²⁾ Apresentadora e autora, Acadêmica de Engenharia Química, LACESM/CT/UFSM.

⁽³⁾ Orientador, Coordenador da Ação de Implantação do CRSPE/INPE.

⁽⁴⁾ Co-orientador, Pesquisador Titular do CRSPE/CEP/INPE.

⁽⁵⁾ Co-Autora, Professora do DTPI - LACESM/CT/UFSM.

⁽⁶⁾ Co-Autor, Estagiário Engenharia Elétrica, CRSPE/INPE, LACESM/CT/UFSM.

⁽⁷⁾ Co-Autor, Acadêmico de Engenharia Química, LACESM/CT/UFSM.



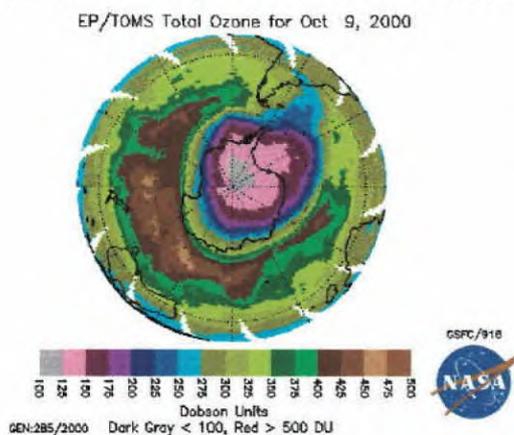
ANEXO 04



Medidas de Ozônio por Instrumentos a Bordo de Satélites e Observação do Efeito Secundário do Buraco de Ozônio Antártico sobre o Rio Grande do Sul

Ricardo A. Guarnieri, Fernando L. Guarnieri, Fabiano Coeli, Adriane Griebeler, Diovani L. Rossatto, Damaris K. Pinheiro, Turibio G. S. Neto*, Nelson J. Schuch*
Universidade Federal de Santa Maria (LACESM/CT) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (OES/CRSPE)
Centro de Tecnologia - LACESM - CEP 97105-900 Santa Maria, RS, Brasil

Na Estratosfera terrestre, região da Atmosfera situada entre 16 e 50 km de altitude, encontra-se a maior concentração de gás ozônio, constituindo aí a chamada Camada de Ozônio. A Camada de Ozônio é de fundamental importância para toda a Biosfera, uma vez que ela é a responsável por impedir que a radiação ultravioleta nociva proveniente do Sol, atinja a superfície da Terra. Porém, há algumas décadas, descobriu-se que a Camada de Ozônio sobre a Antártica apresentava-se mais rarefeita que o normal. A esse fenômeno foi dado o nome de Buraco de Ozônio. Descobriu-se posteriormente, que o cloro presente nas moléculas dos clorofluorcarbonos (CFC's), de origem antropogênica, era o fator preponderante no que diz respeito à destruição do Ozônio. A radiação ultravioleta, em especial uma faixa dela, a radiação ultravioleta tipo B (280-320 nm) pode acarretar além de danos às plantas, animais e sistemas aquáticos, prejuízos à saúde humana, destacando-se o aumento da ocorrência de cataratas e câncer de pele. Portanto, faz-se necessário o monitoramento constante da Camada de Ozônio e da Radiação UV-B incidente. O PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO OZÔNIO ATMOSFÉRICO, originado de um convênio entre o LACESM/CT/UFSM e o OES/CRSPE/INPE mede a coluna total de ozônio na região de Santa Maria, RS, em aproximadamente 30°S, a partir de um Espectrofotômetro Brewer instalado no Observatório Espacial do Sul (OES), situado em São Martinho da Serra - RS. A radiação UV-B também é medida a partir do mesmo aparelho e de um Radiômetro. Para que se tenha uma visão mais abrangente do comportamento da Camada de Ozônio e do desenvolvimento do Buraco de Ozônio Antártico, recorre-se a imagens de satélites medidores de ozônio, pois os aparelhos de superfície produzem dados pontuais locais. Duas importantes fontes de imagens globais e hemisféricas são os equipamentos TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), atualmente a bordo do Satélite Earth Probe, e TOVS (TIROS Operational Vertical Sounder), a bordo dos satélites NOAA-POES. Os satélites executam uma cobertura global e geram um contínuo mapeamento da coluna total de ozônio. Pesquisas demonstraram que toda a região sul da América do Sul, da África e a Austrália (regiões austrais de latitudes altas), podem sofrer, em determinadas épocas do ano, efeitos secundários do buraco de ozônio antártico, onde massas de ar estratosférico pobre em ozônio deslocam-se da região antártica



para essas regiões. Na região de Santa Maria, foram observados tais efeitos nos meses de Outubro dos anos 1984, 1992 e 1997. Recentemente, em Outubro de 2000, pode-se observar por intermédio de uma imagem de satélite, uma influência do Buraco de Ozônio sobre a região do Uruguai e sul do Brasil. Numa época em que predominam altos valores de ozônio, as medidas obtidas para esse dia foram mais baixas que nos dias próximos. Enquanto a média dos dias da primeira quinzena de Outubro foi de aproximadamente 304 Unidades Dobson (UD), o valor obtido para o dia 9 de Outubro (ver imagem), foi de 285 UD, segundo o TOMS. O espectrofotômetro Brewer também apresentou medida baixa para o dia em questão, evidenciando assim uma pequena influência do Buraco de Ozônio Antártico sobre a região.

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

Entidades Financiadoras: AEB/PR, MMA, FINEP, CNPq, FAPERGS, INPE, UFSM.