



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

VARIABILIDADE TEMPORAL DO CONTEÚDO INTEGRADO DE OZÔNIO NO SUL DO BRASIL

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

PROCESSO Nº 101534/2006 - 0

Caroline Bertagnolli (UFSM, Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT)
E-mail: caroline@lacesm.ufsm.br

Dr. Nelson Jesus Ferreira (CPTEC/INPE - MCT, Orientador)
E-mail: nelson@cptec.inpe.br

Dr. Nelson Jorge Schuch (CRS/CIE/INPE - MCT, Co-Orientador)
E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

Dra. Damaris Kirsch Pinheiro (LACESM/CT - UFSM, Co-Orientadora)
E-mail: damaris@lacesm.ufsm.br

Julho de 2007

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Título: VARIABILIDADE TEMPORAL DO CONTEÚDO INTEGRADO DE OZÔNIO NO SUL DO BRASIL

Processo CNPq Nº: 101534/2006 - 0

Bolsista:

Caroline Bertagnolli

Curso de Engenharia Química

Centro de Tecnologia - CT/UFSM

Curso de Meteorologia

Centro de Ciências Naturais e Exatas - CCNE/UFSM

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

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Orientador:

Nelson Jesus Ferreira

Divisão de Operações - DOP/CPTEC/INPE - MCT

Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE - MCT

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/MCT

Co-Orientadores:

Dr. Nelson Jorge Schuch

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE - MCT

Dr^a. Damaris Kirsch Pinheiro

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

Local de Trabalho/Execução do projeto:

Laboratório de Troposfera, Estratosfera, Radiação Ultravioleta e Ozônio Atmosférico - CRS/CIE/INPE - MCT

Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT

Trabalho desenvolvido no âmbito do Convênio INPE - UFSM, através do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE - MCT e do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT/UFSM.

Relatório Final de Atividades, 2007



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Grupo de Pesquisa
Ciências Atmosféricas - Ozônio x Radiação - Energias Renováveis

Identificação	Recursos Humanos	Linhas de Pesquisa	Indicadores do Grupo
---------------	------------------	--------------------	----------------------

Identificação

Dados básicos

Nome do grupo: Ciências Atmosféricas - Ozônio x Radiação - Energias Renováveis

Status do grupo: **aguardando certificação pela instituição**

Ano de formação: 1992

Data da última atualização: 18/06/2007 17:11

Lider(es) do grupo: Nelson Jorge Schuch - nelson.schuch@pq.cnpq.br

Damaris Kirsch Pinheiro - damaris@lacesm.ufsm.br

Área predominante: Ciências Exatas e da Terra, Geociências

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

órgão: Coordenação de Gestão Científica - CIE

Unidade: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

Endereço

Logradouro: Caixa Postal 5021

Bairro: Camobi

Cidade: Santa Maria

Telefone: 33012026

E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

CEP: 97110970

UF: RS

Fax: 33012030

Home page: <http://>

Repercussões dos trabalhos do grupo

O Grupo de Pesquisa - Ciências Atmosféricas - Ozônio x Radiação - Energias Renováveis, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE-MCT, em Santa Maria, e Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, Latitude: 29°26'24"S, Longitude: 53°48'38"W, Altitude 488m, em São Martinho da Serra, RS, colabora com pesquisadores do INPE (CEA e CPTEC), da USP (DM/ICB e IAG), do DBG/ICB-UFRN, do LACESM-UFSM e internacionais: Japão (Universidades de Takushoku e Rikkyo) e EUA (NASA). Linhas de Pesquisas: CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS: OZÔNIO x RADIAÇÃO, ENERGIAS RENOVÁVEIS. Pesquisa: a composição, a estrutura, os processos físicos-químicos e dinâmicos, o potencial energético renovável e o transporte de energia, com medidas in situ e fenômenos: Atmosféricos, Biosféricos e Genéticos. O Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico - PMOA, criado por Nelson Jorge Schuch em maio de 1992, executado em Convênio: CRS/CIE/INPE-MCT - LACESM/CT-UFSM, objetiva: a análise de sua concentração; o comportamento de sua "camada", a +/- 25 Km no RS, suas correlações com: Radiação Ultravioleta (UV-A, UV-B); gases traçadores (NO₂ - SO₂-CO₂); aerossóis - queimadas; dados físicos e meteorológicos de sondagens troposféricas e estratosféricas; precipitação de partículas na Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS. Pesquisa e monitoramento da Radiação Ultravioleta - UV: UV-A (400-320 nm), UV-B (320 e 280 nm). Pesquisa da sensibilidade à Radiação UV: de seu Espectro de Ação; obtenção de Dose; do Índice Ultravioleta_J-UV_J, efeitos biológicos da Radiação UV-B em: nível celular, humanos, animais, vegetais, ecossistemas aquáticos. Pesquisa de Energias Renováveis com ênfase nas fontes solar e eólica. Vice-Líderes: Damaris K. Pinheiro, Marcelo B. da Rosa, Enio B. Pereira.

Recursos humanos

Pesquisadores Total: 16

André Passaglia Schuch	Lucymara Fassarella Agnez Lima
Augusta Maria Passaglia Schuch	Marcelo Barcellos da Rosa
Carlos Frederico Martins Menck	Marcelo Pizzuti Pais
Damaris Kirsch Pinheiro - (líder)	Nelson Jesus Ferreira
Enio Bueno Pereira	Nelson Jorge Schuch - (líder)
Ezequiel Echer	Neusa Maria Paes Leme
Fernando Luís Guarnieri	Plínio Carlos Alvalá
Fernando Ramos Martins	Ricardo André Guarnieri

Estudantes Total: 12

Ana Marcell Soares	Luana Serafini dos Santos
Caroline Bertagnoli	Marcus Guedes
Daniel Vinicius Florin	Nadliara Pereira
Diogo Alessandro Arsego	Pabulo Henrique Rampelotto
Germano Possani	Rafael Jonas Righi Batista
Gustavo Pereira Guerra	Simone Spiazzi Favarin

Técnicos Total: 5

Anderson Colvero - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Eletrônica
Eduardo Ceretta Dalla Favera - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação
Fabrício Colvero - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico de Manutenção
Koiti Ozaki - Especialização - Analista de Sistemas
Roben Castagna Lunardi - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação

Linhas de pesquisa Total: 2

- ♦ [Ciências Atmosféricas: Ozônio x Radiação](#)
- ♦ [Energias Renováveis](#)

Empresas associadas ao grupo Total: 0

Indicadores de recursos humanos do grupo

	Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)		16
Estudante(s)		12
Técnico(s)		5

Relatório Final de Atividades, 2007



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Linha de Pesquisa
Ciências Atmosféricas: Ozônio x Radiação

Linha de pesquisa

Ciências Atmosféricas: Ozônio x Radiação

Nome do grupo: [Ciências Atmosféricas - Ozônio x Radiação - Energias Renováveis](#)

Palavras-chave: Efeitos Biológicos da Radiação Solar - UV, Espessuras Óticas de Aerossóis; Monitoramento Ambiental; Ozônio Estratosférico; Ozônio Troposférico; Radiação Solar e Ultravioleta - UV;

Pesquisadores:

[André Passaglia Schuch](#)
[Augusta Maria Passaglia Schuch](#)
[Carlos Frederico Martins Menck](#)
[Damaris Kirsch Pinheiro](#)
[Ezequiel Echer](#)
[Fernando Luis Guarnieri](#)
[Lucymara Fassarella Agnez Lima](#)
[Marcelo Barcellos da Rosa](#)
[Nelson Jesus Ferreira](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Neusa Maria Paes Leme](#)
[Plínio Carlos Alvalá](#)
[Ricardo André Guarnieri](#)

Estudantes:

[Ana Marcell Soares](#)
[Caroline Bertagnoli](#)
[Germano Possani](#)
[Gustavo Pereira Guerra](#)
[Luana Serafini dos Santos](#)
[Nadira Pereira](#)
[Pabulo Henrique Rampelotto](#)
[Simone Spiazzi Favarin](#)

Árvore do conhecimento:

Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Ozônio; Ozônio;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Fenômenos Físico - Químicos da Atmosfera;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Influência na Radiação UV;

Setores de aplicação:

Produtos e serviços voltados para a defesa e proteção do meio ambiente, incluindo o desenvolvimento sustentado

Objetivo:

Monitoramento do Ozônio, da Radiação Solar e Ultravioleta, UV-A (400-320 nm), UV-B (320-280nm), efeitos biológicos-genéticos, Aeronomia dos fenômenos físico-químico e dinâmica da Atmosfera Terrestre; análise da concentração do Ozônio; o comportamento de sua "camada", a +- 25 Km no RS, suas correlações com: Radiação Ultravioleta (UV-A, UV-B); gases traçadores; aerossóis; dados de sondagens troposféricas e estratosféricas; precipitação de partículas na AMAS. Vice-Líder: Damaris K. Pinheiro

AGRADECIMENTOS

A bolsista gostaria de agradecer em primeiro lugar a Deus pelo dom da vida, da perseverança e do amor, e aos seus pais, Carlos e Marcia, pelo constante apoio e incentivo nos estudos.

Ao Dr. José Carlos Becceneri, Coordenador do programa PIBIC/INPE - CNPq/MCT, por ter acreditado no seu potencial para realizar este Projeto Científico.

Ao orientador Dr. Pesquisador Nelson Jesus Ferreira, da Divisão de Operação - DOP/CPTEC/INPE - MCT, em Cachoeira Paulista, SP pela atenção e orientação que dedicou ao bolsista durante o período de Projeto, apesar da distância.

Em especial ao Co-Orientador Dr. Nelson Jorge Schuch, Pesquisador Titular III do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, em Santa Maria, RS, pela confiança depositada, pela orientação pessoal/profissional e acadêmica e pelo constante incentivo, sempre indicando a direção a ser tomada nos momentos de maior dificuldade.

A Co-Orientadora Dr^a. Damaris Kirsch Pinheiro, Diretora do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria, por toda atenção, apoio ao desenvolvimento do projeto, paciência, amizade, orientação e estímulo à vida acadêmica.

A sua irmã Juliane pela paciência, abdicando muitas vezes do uso do computador e de seus momentos de lazer na internet para que pudessem ser continuados trabalhos em casa.

Aos colegas do Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico pela ajuda e atenção na continuidade do Projeto, especialmente a Nadiara Pereira pela contribuição nas análises com o GRADS.

Ao Jorge Conrado Conforte pela ajuda nos primeiros estudos das ondeletas variando com a latitude e longitude.

Aos funcionários do LACESM/CT - MCT e da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, em especial ao Luis Fermino Nascimento pelo apoio ao longo do Projeto. E aos funcionários do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE - MCT, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e do Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, que de alguma forma contribuíram para a realização deste Projeto, em especial as secretárias Egídia e Angelita pelo constante apoio e atenção às necessidades dos alunos/estagiários do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais.

RESUMO

Este trabalho tem como intuito analisar as múltiplas escalas de tempo que dominam a variabilidade do conteúdo total de ozônio atmosférico na Região Sul do Brasil, especialmente oscilações de pequena escala, como os efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico sobre a região, através da transformada de ondeletas. Dados da coluna total de ozônio de Espectrofotômetros Brewer MKIV # 081 (1992 - 2000), MKII # 056 (2000 - 2002) e MKIII # 167 (2002 - até o momento) vêm sendo monitorados desde 1992 em Santa Maria e após 1995 no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT (29,42°S, 53,87°O), em São Martinho da Serra, através de uma cooperação entre o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT - UFSM, o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE - MCT e o Laboratório de Ozônio - LO/DGE/CEA/INPE - MCT. O Brewer possibilita a determinação, de forma indireta, da concentração da densidade do ozônio atmosférico usando observações da intensidade da radiação solar nos comprimentos de onda 306,3; 310,1; 313,5; 316,8 e 320,1 nm, quando do rastreo diurno do Sol no Observatório. Dados da coluna total de ozônio do instrumento TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), a bordo de satélite da NASA e do instrumento OMI (Ozone Monitoring Instrument), o qual vem, desde 2006, substituindo os dados do TOMS, são utilizados para completar descontinuidades nos dados do Brewer, devido à nebulosidade, pois em dias altamente nublados ou com chuva, o espectrofotômetro não consegue coletar medidas válidas de DS (Direct Sun), e a períodos de ausência de dados devido a trocas de equipamento. Os dados de ozônio foram re-analisados e o ano de 2006 foi incluído na análise, sendo gerados espectros de potência, contínuo e escalograma de frequências para o período de janeiro de 1997 a dezembro de 2006. As variabilidades anual, semi-anual, intra-sazonal e quase-bianual do ozônio são marcantes, assim como a observação de todos os eventos de efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico sobre a região. Variáveis da NCEP foram usadas para gerar os campos de ventos sobre o Observatório reafirmando a influência de massas de ar pobres em ozônio sobre o Sul do Brasil. Verificaram-se cerca de 13 eventos secundários do Buraco de Ozônio Antártico alterando o conteúdo total de ozônio, no período de 1997 a 2006, sobre a região Sul do Brasil.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	10
CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo do Programa de Monitoramento de Ozônio Atmosférico (PMOA)	11
2.2 Objetivos do Projeto	11
CAPÍTULO 3 - DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	13
3.1 Camadas da Atmosfera.....	13
3.3.1 Oscilação Quase-Bianual (QBO).....	18
3.3.2 El Niño Oscilação do Sul (ENSO)	19
3.3.3 Halogênios e Química Heterogênea	20
3.3.4 Atividade solar.....	21
3.3.5 Ondas Planetárias	21
CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA.....	23
4.1 Equipamentos utilizados na análise.....	23
4.1.1 Espectrofotômetro Brewer.....	23
4.1.2 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS).....	27
4.1.3 Ozone Monitoring Instrument (OMI).....	28
4.2 Análise das Wavelets.....	29
4.2.1 Concepção de Frequência e Escala.....	29
4.2.2 Análise Tempo-Frequência.....	30
4.2.3 Transformada de Ondeleta	31
4.2.4 Cone de Influência (COI)	33
4.2.5 Intervalo de Confiança	34
4.3 GrADS	34
CAPÍTULO 5 - ATIVIDADES DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA	35
5.1 Visitas Técnicas ao Observatório Espacial do Sul	35
5.1.1 Calibração do Espectrofotômetro Brewer	35
5.1.2 Manutenção Preventiva dos Equipamentos.....	36
5.1.3 Coleta de Dados.....	37
5.1.4 Redução de Dados	37
5.1.5 Manutenção Técnica do Espectrofotômetro Brewer	37
CAPÍTULO 6 - RESULTADOS E ANÁLISES	39
6.1 Re-análise dos Dados da Coluna Total de Ozônio do Brewer	39
6.2 Descontinuidades dos Dados de Ozônio	40
6.3 Variabilidades Temporais do Conteúdo Total de Ozônio no OES/CRS/CIE/INPE – MCT, re-análise e inclusão do ano de 2006	41
6.4 Análise detalhada com campos de ventos dos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico no Sul do Brasil através de ondeletas	45
6.4.1 Efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico no ano de 1997	47
6.4.2 Efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico no ano de 2000	50
6.4.3 Efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico no ano de 2001	52
6.4.4 Efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico no ano de 2002	57
6.4.5 Efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico no ano de 2003, 2004 e 2005	60
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E ATIVIDADES FUTURAS.....	

CAPÍTULO 8 - TRABALHOS PUBLICADOS E APRESENTADOS	68
CAPÍTULO 9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico - PMOA vem sendo realizado desde 1992 no sul do Brasil em Santa Maria - RS, através da Parceria entre o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais do Instituto Nacional Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE – MCT, o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria - LACESM/CT – UFSM e o Laboratório de Ozônio - LO/DGE/CEA/INPE – MCT. Neste período, diversos equipamentos foram instalados no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, dentro da parceria entre o INPE/MCT e a UFSM e da Cooperação Internacional em Ciências Espaciais e Atmosféricas Brasil - Japão. Cooperação esta desenvolvida no Brasil pelo CRS/CIE/INPE - MCT em conjunto com LACESM/CT - UFSM.

No Laboratório de Troposfera, Estratosfera, Radiação Ultravioleta e Ozônio Atmosférico do CRS/CIE/INPE - MCT, onde é desenvolvido o Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico, existe uma série de equipamentos que monitoram continuamente a Radiação Ultravioleta Tipo A e Tipo B, a Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) e a Coluna Total de Ozônio Atmosférico.

O declínio do ozônio global e do Buraco de Ozônio Antártico resultou em um crescente interesse da comunidade científica sobre a variabilidade do ozônio. Este trabalho pesquisa a variabilidade temporal do conteúdo de ozônio no Sul do Brasil sob o ponto de vista das ondeletas, utilizando-se dados dos instrumentos TOMS e OMI a bordo de satélites, e observações feitas por espectrômetros Brewer no período de 1997 a 2006.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

2.1 Objetivo do Programa de Monitoramento de Ozônio Atmosférico (PMOA)

O PMOA, desenvolvido dentro do Programa de Cooperação Técnico-Científica entre o CRS/CIE/INPE - MCT e o LACESM/CT - UFSM, executado em Convênio com o Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Convênio: MMA - UFSM, em Cooperação com o Laboratório de Ozônio do INPE/MCT, no âmbito do Convênio INPE - UFSM e Convênio Agência Espacial Brasileira - Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência - Convênio: AEB/PR - FATEC/UFSM. Esta cooperação objetiva proceder o monitoramento, as análises estatísticas e comportamentais da Camada de Ozônio, na latitude de 30° Sul, acompanhando e estudando a expansão do fenômeno “Buraco de Ozônio Antártico” e seus efeitos secundários na latitude de Santa Maria/São Martinho da Serra, bem como a correlação com o monitoramento sistemático da radiação ultravioleta, de partículas de radiação cósmica, de gases traçadores atmosféricos, NO₂ e SO₂, com dados físicos e meteorológicos obtidos através de sondagens troposféricas e estratosféricas e correlação com os fenômenos da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS, junto ao Observatório Espacial do Sul do CRS/CIE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.

2.2 Objetivos do Projeto

Este estudo tem por objetivo caracterizar as diversas escalas de variabilidade temporal do conteúdo integrado de ozônio no Sul do Brasil, em especial eventos de pequena escala, utilizando ondeletas e dados do instrumento TOMS e de Espectrômetros Brewer. Tem por objetivos específicos:

- Manutenção do banco de dados de ozônio atualizado e ordenado;

- Re-análise dos dados da coluna total de ozônio obtidos por observações terrenas do espectrofotômetro Brewer no OES/CRS/CIE/INPE – MCT e do instrumento TOMS/NASA a bordo de satélite;
- Revisão bibliográfica sobre as variabilidades do conteúdo total de ozônio;
- Adaptação e testes utilizando softwares sobre Wavelets;
- Análise de variáveis derivadas do modelo NCEP e suas conexões com dados de ozônio.

CAPÍTULO 3

DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

3.1 Camadas da Atmosfera

Uma das classificações mais conhecidas da divisão das camadas da atmosfera terrestre é quanto ao perfil de temperatura. A atmosfera está estruturada em três camadas relativamente quentes, separadas por duas camadas relativamente frias. Os contatos entre essas camadas são áreas de descontinuidade e recebem o sufixo "pausa", após o nome da camada subjacente. Um esquema ilustrativo das camadas da atmosfera pode ser visto na Figura 3.1.

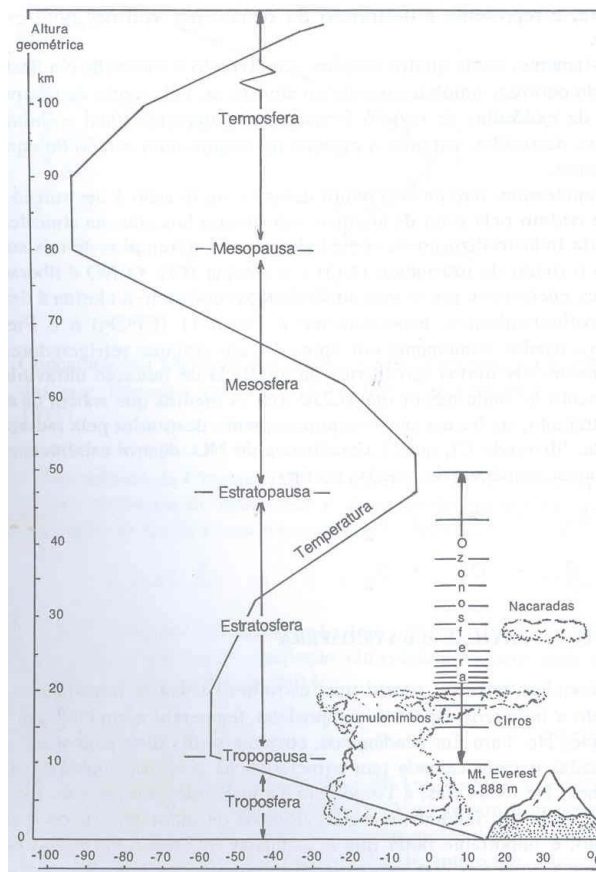


Fig. 3.1 - Estrutura vertical da atmosfera terrestre até 110 km de altura. Fonte: U.S. Navy Weather Research Facility.

3.1.1 Troposfera

Estende-se da superfície da Terra até a base da estratosfera, 15-18 km do solo no equador e de 6-8 km nos pólos, sendo sua espessura variável com as estações do ano. Os movimentos atmosféricos, tanto verticais (convecção e subsidência) quanto horizontais, são intensos nessa camada. É nela que ocorrem os mais importantes fenômenos meteorológicos tais como: chuva, trovoadas, relâmpagos, arco-íris, nuvens, ventos, etc. Esta camada responde por oitenta por cento do peso atmosférico, sendo que em sua composição tem, entre outros gases, oxigênio, dióxido de carbono e vapor de água, permitindo assim a vida na superfície terrestre. Na troposfera, a temperatura diminui com a altitude em média $6,5^{\circ}\text{C}$ por quilômetro. Diversos gases-traço, tais como ozônio, dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio e os aerossóis também estão presentes nesta camada da atmosfera. O ozônio troposférico é extremamente oxidante e, por este motivo, é considerado um forte poluente, é um gás fotoquimicamente instável, por isso é comum o ozônio desta camada reagir com o radical oxidrila (OH) muito abundante na Troposfera e principal agente “limpador” desta região atmosférica. A troposfera termina quando ocorre uma inflexão do perfil da temperatura com a altitude, passando esta a aumentar com a altitude. Essa região onde ocorre a inflexão é conhecida como tropopausa, a qual marca o início da estratosfera.

3.1.2 Estratosfera

Situa-se entre 10 ou 20 km até cerca de 50 km de altitude aproximadamente, sendo a segunda camada da atmosfera compreendida entre a troposfera e a mesosfera. A temperatura nesta camada parte dos -70°C (aproximadamente) e aumenta gradativamente devido a absorção da radiação ultravioleta pela molécula de ozônio. É nesta camada que se encontra a maior concentração do gás ozônio e, portanto, é a região onde se encontra a chamada Camada de Ozônio. Na estratosfera encontram-se, além do gás ozônio, diversos outros gases, entre eles, dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de nitrogênio (NO_2) e os aerossóis.

A estratosfera tem como limite superior a estratopausa, onde está outro ponto de inflexão da temperatura, quando a temperatura começa novamente a decair com a altitude.

3.1.3 Mesosfera

Está situada entre 50 e 90 km de altitude com a estratopausa em sua parte inferior e mesopausa em sua parte superior. É muito fria, com temperaturas abaixo de 100°C negativos. A parte inferior é mais quente porque absorve calor da estratosfera. Nesta camada a temperatura diminui com a altitude. Na mesosfera ocorrem os fenômenos de aeroluminescência, com as emissões de gases como oxigênio, sódio, hidroxila, etc. A mesopausa fica entre a mesosfera e a termosfera, e é a região da atmosfera que determina o limite entre uma atmosfera com massa molecular constante de outra onde predomina a difusão molecular.

3.1.4 Termosfera

O topo da termosfera fica a cerca de 450 km acima da Terra. É a camada mais quente, uma vez que as raras moléculas de ar absorvem a radiação do Sol. As temperaturas no topo chegam a 2.000°C.

3.1.5 Exosfera

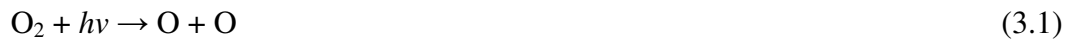
A camada superior da atmosfera fica a mais ou menos 900 km acima da Terra. O ar é muito rarefeito e as moléculas de gás "escapam" constantemente para o espaço. Por isso é chamada de exosfera (parte externa da atmosfera).

3.2 Ozônio

O ozônio foi descoberto em 1840 pelo químico suíço C. F. Schönbein (Whitten e Prasad, 1985), sendo uma molécula constituída por três átomos de oxigênio e sua maior concentração ocorre na estratosfera. Nesta região, a temperatura começa a aumentar com a altitude porque, ao absorver radiação ultravioleta, o ozônio libera energia na

forma de calor. Isso influencia decisivamente na estrutura da atmosfera. A existência dessa maior concentração de ozônio na Estratosfera determina a inversão do perfil de temperatura na Tropopausa e o máximo secundário na Estratopausa, sendo uma fonte de calor que alimenta diversos processos dinâmicos e contribui para o sistema de circulação atmosférica global (Whitten e Prasad, 1985; Brasseur e Solomon, 1986). A região entre 15 e 35 km de altitude é conhecida como camada de ozônio devido a maior abundância desse gás, cerca de 90% do ozônio total encontra-se nesta região.

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



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



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

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

3.3 Variabilidade Temporal do Conteúdo Total de Ozônio

O ozônio age como uma proteção natural da biosfera contra os danos da radiação ultravioleta. Apresenta uma grande variabilidade no espaço e no tempo, especialmente na troposfera onde seu tempo de residência é curto. O aumento ou diminuição do ozônio na estratosfera é gerado por processos físico-químicos e transporte meridional (Dobson, 1968). À medida que a latitude aumenta, para altas latitudes, se tem maior variação sazonal na concentração do ozônio estratosférico (Wakamatzu, 1989). A variabilidade do ozônio estratosférico pode ser analisada em escala diária, sazonal, de ano para ano e por um longo período de tempo.

Muitas análises vêm sendo regularmente feitas a fim de determinar as tendências a longo prazo no ozônio (WMO, 1999 e 2003). A variabilidade diária ou semanal do ozônio está relacionada aos sistemas atmosféricos, já que os valores altos e baixos de ozônio são correspondentes aos sistemas atmosféricos (baixa pressão corresponde a altos valores de ozônio e vice-versa) (Dobson, 1968; André, 2001; NASA/TOMS, 2002; Gurney et al, 1993).

André (2001) avaliou o comportamento diário do ozônio estratosférico na América do Sul e no setor Ocidental da Antártida, identificando as relações da variabilidade do ozônio estratosférico e a dinâmica atmosférica, no período de 11 a 20 de outubro de 2000 e concluiu que os sistemas atmosféricos encontrados nas altas latitudes da América do Sul demonstraram significativas relações nas variações diárias do ozônio estratosférico.

As principais contribuições para a variabilidade decadal do ozônio são mudanças no fluxo solar, substâncias que destroem ozônio e o transporte do ozônio (Dhomse, 2006). A descoberta do declínio global de ozônio (Solomon, 1999; Herman et al., 1993) e da influência do buraco de ozônio em baixas latitudes durante a primavera, período que deveria possuir o valor máximo (Kirchhoff et al., 1996) despertaram um crescente interesse da comunidade científica e social sobre a variabilidade temporal do ozônio.

Um dos primeiros trabalhos enfocando a variabilidade espacial e temporal do ozônio estratosférico foi feito por Stanford et al. (1996), analisando o comportamento dos dados TOMS para o período 1979-1991, utilizando-se a análise espectral, e apresentou uma climatologia dessa variável. Shiotani (1992) também utilizando dados do TOMS, diagnosticou diversos tipos de periodicidades (por exemplo, anual, quase-bianual, etc) na região equatorial. Kayano (1997) concluiu, em sua análise do conteúdo total de ozônio do TOMS, que as principais componentes da variabilidade mensal de ozônio global estão associadas com extremos da Oscilação do Sul. Conexões das oscilações quase-bianual e quase-tri-anual com o vento zonal na região equatorial e a temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico foram propostas por Kane e Sahai (1998). Ambrizzi et al. (1998) mostraram a ligação da variabilidade interanual com o padrão ENSO de onda 1 nos extratropicos do Hemisfério Sul.

Recentemente Dhomse (2006) analisou estatisticamente 25 anos de dados do conteúdo total de ozônio usando variáveis explicativas que representam processos físicos e químicos, como oscilação quase-bianual, ondas planetárias, química heterogênea, variabilidade solar, entre outros, os quais são conhecidos por modificar a distribuição global do ozônio.

3.3.1 Oscilação Quase-Bianual (QBO)

A oscilação quase-bianual (QBO) foi descoberta por Reed et al. (1961) e Veryard e Ebdon (1961), e é uma oscilação na temperatura e nos ventos zonais da estratosfera tropical, onde esses mudam seu sentido de leste para oeste, com um período irregular geralmente um pouco superior a dois anos. Esse tipo de oscilação é suscetível acima de 30 km, propagando-se para baixo na razão de 1 km/mês, sem perdas na amplitude entre 30 e 23 km e com atenuação rápida abaixo de 23 km (Holton, 2004).

A QBO é uma oscilação interanual na qual sua fase de origem leste é associada com fortes ventos leste na estratosfera inferior, produzindo um grande cisalhamento vertical do vento. Esta fase persiste geralmente por 12 a 15 meses e inibe a formação de furacões. Já sua fase de origem oeste exhibe fracos ventos leste na estratosfera inferior e fraco cisalhamento vertical do vento. Esta fase, que dura tipicamente entre 13 e 16

meses, é associada ao acréscimo em tempestades e furacões, sendo estes muito mais intensos com relação à fase leste.

A QBO influencia a variabilidade interanual da coluna de ozônio tropical e subtropical (Baldwin et al., 2001), induzindo uma circulação secundária diabática que transporta mais ou menos ozônio de altitudes com maior produção fotoquímica para altitudes nas quais é considerado componente traço (Dhomse, 2006). Segundo Dhomse (2006) a amplitude da variabilidade interanual do ozônio é de 5 – 10 UD no trópico, sendo independentemente da sazonalidade, enquanto Bowman (1989) e Baldwin (2001) conectam a QBO a mudanças no ozônio para latitudes médias e polares, com maiores amplitudes de resposta da QBO para o ozônio no inverno e primavera.

O conteúdo de ozônio na região Antártica é fortemente relacionado com ventos equatoriais (Garcia e Solomon, 1987), onde o vórtice polar sofre distúrbios maiores durante a fase de origem leste, a qual implica na intensificação do movimento diabático, do que durante a fase de origem oeste, a qual é mais próxima de uma simetria zonal e do equilíbrio radioativo deixando o vórtice polar isolado.

O reflexo da oscilação quase-bianual na variação do conteúdo de ozônio possivelmente se deve a modulação de propagação de ondas em médias latitudes, transporte de anomalias equatoriais para altas latitudes ou mudanças na mistura meridional. A influência da QBO no ozônio depende de sua fase e intensidade (Dhomse, 2006).

3.3.2 El Niño Oscilação do Sul (ENSO)

“*El Niño Southern Oscillation*” (ENSO) é o mais importante fenômeno de interação oceano-atmosfera, o qual causa variabilidades climáticas ou interanuais na escala de tempo em todo o globo, tais como: secas, enchentes, altas temperaturas, etc. A Oscilação Sul foi definida como a diferença de pressão atmosférica entre localidades no Pacífico tropical oeste e leste (Moran et al., 1994), quando a pressão atmosférica estava alta no Tahiti (17°S e 150°O), em Darwin (12°S e 130°O) estava baixa, e vice-versa. O termo El Niño é derivado do espanhol, e refere-se à presença de águas quentes que todos os anos aparecem na costa norte do Peru na época de Natal. Os pescadores do

Peru e Equador chamaram a esta presença de águas mais quentes de corrente de El Niño em referência ao Menino Jesus.

Uma explicação para a relação entre a Oscilação Sul e o El Niño sugere a suposição que, para a temperatura da superfície do mar mudar em associação com a Oscilação Sul, elas são parte de uma resposta do oceano às variações dos ventos superficiais. Durante os anos em que ocorre La Niña, os intensos ventos alísios carregam as águas aquecidas da superfície do oceano Pacífico em direção à parte oeste deste oceano, fazendo com que a temperatura da superfície do mar fique abaixo do normal, ou seja, ocorre a ressurgência de águas frias na parte central e leste do oceano Pacífico. Em contrapartida, durante a ocorrência do El Niño, observa-se o aquecimento das águas do Pacífico central e leste devido ao enfraquecimento e posterior inversão na direção dos ventos alísios (Philander, 1985). A duração do El Niño pode variar entre 12 a 18 meses, enquanto que a ocorrência do fenômeno se dá em intervalos irregulares de 2 anos até uma década (Big, 1990). A escala de tempo do fenômeno ENSO é aproximadamente 3 a 5 anos, sendo que possui característica considerada não cíclica, podendo haver períodos onde o fenômeno é mais intenso do que em outros (Hasebe, 1993).

Anomalias no conteúdo total de ozônio são opostas as anomalias de temperatura na troposfera causadas pelo fenômeno zonal ENSO. Mudanças no conteúdo de ozônio durante fortes eventos de El Niño e La Niña podem introduzir variações adicionais e modificar o conteúdo de ozônio (Dhomse, 2006).

3.3.3 Halogênios e Química Heterogênea

Nas últimas décadas foram observadas modificações expressivas na composição dos constituintes minoritários da atmosfera, tais como: CO, CH₄, NO, O₃, SO₂, CFCs. Estas modificações devem-se, fundamentalmente, às contribuições antropogênicas (Stern, 1984). Os vários componentes halogênicos têm diferentes potenciais de destruição dependendo de suas propriedades físicas e químicas (Dhomse, 2006). Além disso, no continente Antártico detecta-se uma considerável diminuição do conteúdo total de ozônio durante as primaveras, conhecida como “Buraco” na Camada de Ozônio (Farman, 1985), este é causado pela química heterogênea na superfície de partículas

minúsculas, presentes em nuvens formadas nas condições extremamente frias do inverno polar, conhecidas como Nuvens Polares Estratosféricas (PSC - *Polar Stratospheric Clouds*), que ativam grande quantidade de cloro para catalisar a destruição do ozônio (Solomon, 1999).

3.3.4 Atividade solar

O Sol é uma estrela ordinária da seqüência principal e tem idade estimada de 4,5 bilhões de anos. Sua atividade não é constante, observando-se uma periodicidade de 11 anos. O número de manchas presentes no Sol é indicativo dessa atividade solar, sendo considerado “Sol Ativo” quando esse número é máximo. Nesse período ocorrem grandes explosões na cromosfera e coroa, com conseqüente liberação de energia e emissão, chamada de vento solar, de partículas atômicas (Vianello et al. 2000).

A relação entre o ozônio e a atividade solar tem sido considerada em todas as avaliações de tendências de ozônio (WMO, 1999 e 2003). Os efeitos da variabilidade solar estão ligados a oscilações na irradiância espectral do ultravioleta solar que modificam as razões de produção de ozônio na alta estratosfera e, secundariamente, no aumento da precipitação de partículas solares, causando decréscimos de curta duração na concentração de ozônio em altas altitudes associados ao declínio do transporte de NO_y da baixa mesosfera para alta estratosfera (Dhomse, 2006).

3.3.5 Ondas Planetárias

A estratosfera é uma região que pode ser considerada livre de fontes para gerar distúrbios como, por exemplo, ondas planetárias. Sua circulação é mantida e está indiretamente relacionada a processos troposféricos. Ondas planetárias geradas na troposfera se propagam verticalmente, fornecendo fluxo de momento e energia para a estratosfera. Esta circulação residual influencia o ozônio, pois sendo mais forte pode transportar mais ozônio da região de origem no equador, para latitudes mais elevadas, onde a fotoquímica é mais estável, tendo menos ozônio destruído por reações heterogêneas. A habilidade das ondas de propagarem-se verticalmente é dependente do fluxo médio zonal e, conseqüentemente, a atividade da onda é a mais forte no inverno

do respectivo hemisfério. A força de circulação residual de um inverno influencia a variabilidade interanual do ozônio, podendo ser remanescente até o outono seguinte (Fioletov e Shepherd, 2003).

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA

4.1 Equipamentos utilizados na análise

Os dados sobre a coluna total de ozônio atmosférico utilizados nesta análise foram obtidos através dos Espectrofotômetros Brewer modelo MKIV, MKII e MKIII, instalados no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT (29,4 °S; 53,8°O; 488,7m), pelo Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) que esteve a bordo dos satélites Nimbus-7, Meteor-3 e atualmente está a bordo do satélite Earth Probe da National Aeronautics and Space Agency (NASA), e pelo Ozone Monitoring Instrument (OMI), o qual vem substituindo os dados do TOMS desde 2006 quando este saiu de operação. Este equipamento está a bordo do satélite ERS-2 sendo uma contribuição do Programa Aeroespacial da Netherlands's Agency (NIVR) em colaboração com o Finnish Meteorological Institute (FMI) para a Missão Aura EOS.

4.1.1 Espectrofotômetro Brewer

Os Espectrofotômetros Brewer são uma família de instrumentos científicos que realizam medidas da radiação ultravioleta no espectro solar, examinando a absorção diferencial de comprimentos de onda selecionados no espectro da radiação ultravioleta do tipo B (UV-B), além de inferir as colunas totais dos gases O₃ e SO₂. Este equipamento foi instalado no Observatório Espacial do Sul, em Martinho da Serra, a partir de um convênio entre a UFSM e o INPE/MCT e durante o período de 1992 – 2000 ficou instalado o equipamento MKIV #081, de 2000 – 2002 o equipamento MKII #056 e de 2002 até o momento opera o equipamento MKIII # 167.

Os dois primeiros Espectrofotômetros Brewer são compostos por um monocromador e um detector para observar e medir um espectro de radiação. O monocromador é essencialmente constituído de um elemento de dispersão e dispositivos para controle da largura da faixa de comprimentos de onda desejados. A fonte de energia a ser analisada deve fornecer um espectro contínuo, no caso do Espectrofotômetro Brewer esta é o Sol.

Os elementos de dispersão podem ser prismas de vidro ou quartzo e redes de difração, sendo para o Espectrofotômetro Brewer o meio atenuador a coluna atmosférica acima do instrumento.

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

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

O Brewer é formado por um espectrofotômetro e por um sistema de rastreamento do Sol, acoplados a um microcomputador o qual, através de software próprio, realiza a aquisição, redução e armazenamento de dados e o controle do instrumento (testes de desempenho geral, medidas). O equipamento pode ser programado para trabalhar sozinho através do uso de esquemas de medidas previamente elaborados pelo usuário.

A luz solar pode entrar no aparelho pelo domo de UV ou através de uma janela de quartzo inclinada, sendo direcionada ao prisma diretor o qual seleciona a luz de céu zênite (ZS), direto ao Sol (DS), do domo de UV ou das lâmpadas de calibração; a forma de entrada da luz dependerá do tipo de medida que se quer realizar.

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

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

As medidas DS objetivam a obtenção da coluna total de ozônio e dióxido de enxofre, sendo utilizados para isso cinco comprimentos de onda 306,3; 310,1; 313,5; 316,8; 320,1 nm, com resolução aproximada de 0,5 nm para ozônio.

Quando as medidas de radiação ultravioleta são realizadas, a radiação UV-B proveniente do Sol e do céu, respectivamente radiação direta e difusa, atingem o domo de onde a radiação é direcionada para o prisma, o qual está voltado para o interior do equipamento. A radiação solar medida pelo instrumento passa por um conjunto de lentes, filtros atenuadores e selecionadores de radiação, colimadores, fendas seletoras, espelhos e rede de difração para incidir no cátodo de um tubo fotomultiplicador que transforma o feixe de luz de comprimento de onda λ num sinal elétrico interpretado como pulso pela cadeia eletrônica Brewer. As diferentes posições do prisma e os percursos que a luz executa até atingi-lo, para depois entrar na íris, estão ilustrados na Figura 4.1.

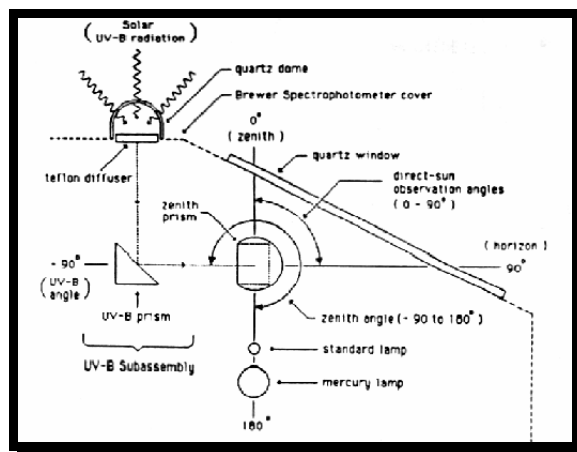


Fig. 4.1 - Possíveis posicionamentos do prisma e caminhos percorridos pela luz até chegar ao prisma nos Brewers MKII e MKIV. Fonte: Manual de Operação do Espectrofotômetro Brewer MK II.

O modelo MKIII #167 difere dos dois espectrofotômetros citados anteriormente por possuir a faixa de medida da radiação espectral mais ampla, compreendendo de 286,5 nm a 363,0 nm, também com resolução de 0,5 nm, e por apresentar um duplo sistema óptico, o qual oferece uma maior confiabilidade no isolamento dos comprimentos de onda selecionados.

A luz, após incidir na máscara, SL1, é direcionada para baixo e refletida sob outro espelho esférico, SM2, que faz o feixe de luz incidir sobre uma segunda grade de difração, GR2, e só então que o feixe de luz vai para a fotomultiplicadora, PM1, conforme ilustrado na Figura 4.2.

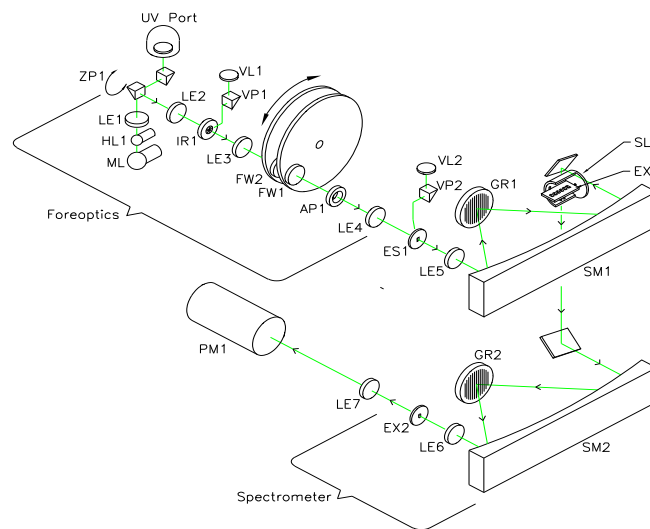


Fig. 4.2 – Elementos ópticos do Espectrofotômetro Brewer MK III. Fonte: Manual do Espectrofotômetro Brewer MK III.

O Espectrofotômetro Brewer instalado no Observatório Espacial do Sul é mostrado na Figura 4.3, onde se observa em detalhe o tripé, o sistema de rastreamento do Sol (tracker), a janela de entrada do feixe de luz solar, para medida dos gases atmosféricos, e o domo, acima da janela, para medida da radiação ultravioleta.

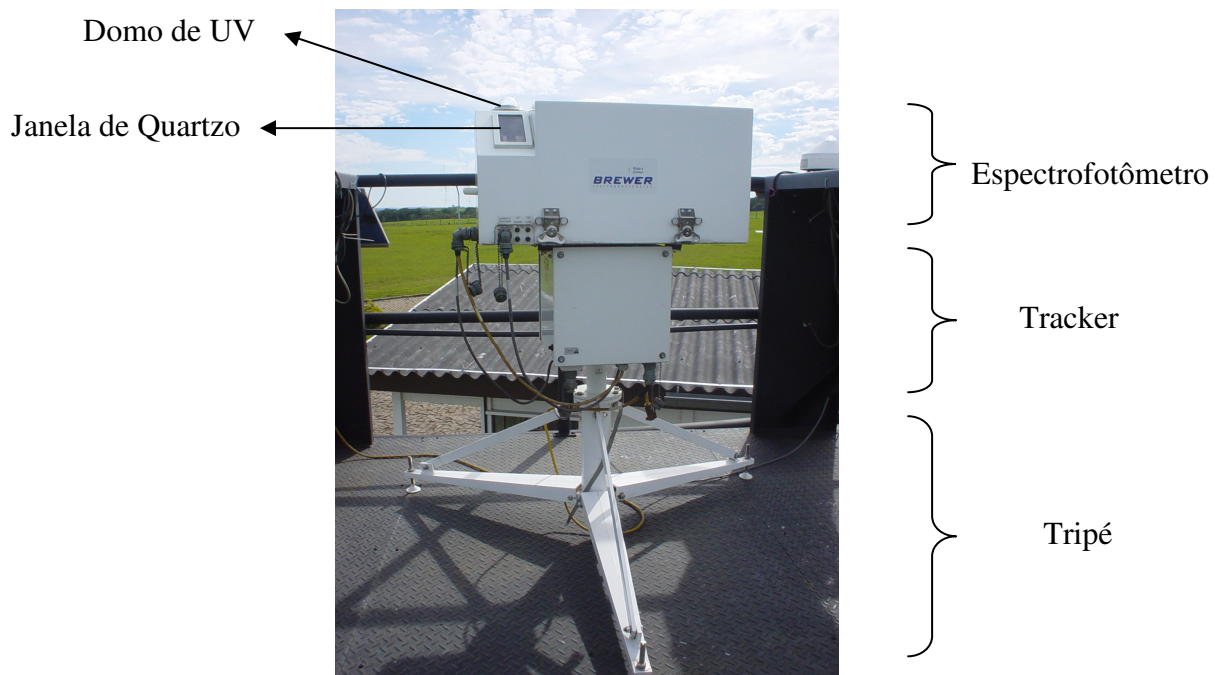


Fig. 4.3 - Espectrofotômetro Brewer MK III # 167 atualmente instalado no Observatório Especial do Sul, em São Martinho da Serra, RS.

4.1.2 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS)

Outra fonte de aquisição de dados para esta análise foi através do Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) que é um instrumento desenvolvido pela National Aeronautics and Space Agency (NASA) e mede ozônio diariamente fornecendo mapas globais de alta resolução de ozônio total contido na atmosfera. Esse instrumento existe desde 1978, iniciando suas medidas com o lançamento do satélite Nimbus-7, continuando de 1991 a 1994 a bordo do satélite Meteor-3 e desde 1996 a bordo do Earth Probe, parando de operar no final de 2005 devido a problemas de calibração.

O TOMS utiliza a técnica Backscatter Ultraviolet (BUV), um método de medida que determina ozônio indiretamente pelo mapeamento da luz ultravioleta emitida pelo Sol e retroespalhada pela atmosfera terrestre na direção do satélite. Ele faz amostragem da radiação UV retroespalhada em 6 comprimentos de onda, que sofrem absorção diferencial pelo ozônio. Comparando essas medidas entre si com as medidas provenientes do Sol, o algoritmo do TOMS calcula a coluna total de ozônio.

Os dados de ozônio do TOMS utilizados neste trabalho são do algoritmo processado versão 8, disponíveis no site da NASA e freqüentemente correlacionados com as medidas do Espectrofotômetro Brewer a fim de verificar a acuracidade dos dados.

4.1.3 Ozone Monitoring Instrument (OMI)

No final do ano de 2005, o equipamento TOMS parou de realizar suas medidas, passando a ser disponibilizados no site da NASA dados do Ozone Monitoring Instrument (OMI). Este equipamento opera desde agosto de 2004 a bordo do satélite ERS-2, sendo uma contribuição do Programa Aeroespacial da Netherlands's Agency (NIVR) em colaboração com o Finnish Meteorological Institute (FMI) para a Missão Aura EOS. O equipamento mede mais componentes atmosféricos que o TOMS, como o conteúdo total de O₃, NO₂, SO₂ e aerossóis.

Assim como o TOMS, o OMI realiza medidas pela técnica Backscatter Ultraviolet (BUV), com duas imagens alimentando a grade do espectrômetro. Tem duas faixas de ultravioleta: UV-1, 270 a 314 nm e UV-2 306 a 380 nm com resolução espectral de 1 – 0,45 nm. A Figura 4.5 apresenta a configuração esquemática do OMI.

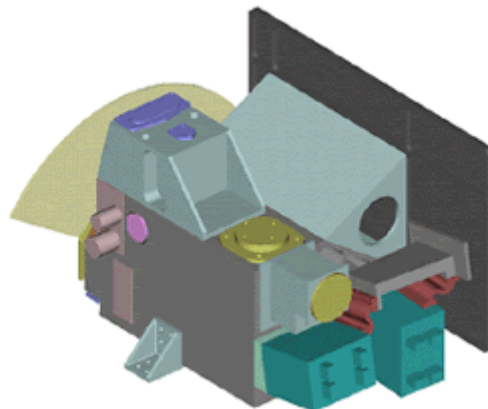


Fig. 4.5 – Esquema de montagem do Ozone Monitoring Instrument (OMI). Fonte: http://aura.gsfc.nasa.gov/instruments/omi/omi_gallery.html

Os dados da coluna total de ozônio do OMI são usados para completar os dados do Brewer a partir de 2006, tendo, assim como o TOMS, suas medidas correlacionadas com as medidas do Espectrofotômetro Brewer para verificar a acuracidade dos dados.

4.2 Análise das Wavelets

Análise por Wavelets (ondeletas) é uma ferramenta contemporânea importante para estudos em estatística, processos estocásticos, certas áreas da matemática como processamento de sinais, codificação e compressão de imagens, turbulência, música, estudo de fenômenos geofísicos, entre outros. Segundo Meyers (1993), sua história passa por pesquisadores como Fourier em 1807, Haar em 1910, Calderón em 1960, Grossmann e Morlet em 1980. A análise de ondeletas focaliza-se no processamento de sinais, localizados no tempo (ou espaço), o que as torna ideais para analisar sinais não-estacionários contendo estruturas tipo fractais e transitoriedades. As ondeletas analisam a decomposição de uma série temporal dentro do espaço tempo-freqüência simultaneamente, podendo-se determinar a variação desta amplitude em relação ao tempo. Ao contrário das bases de Fourier, os coeficientes de ondeletas caracterizam o comportamento local de um sinal, enquanto os coeficientes de Fourier caracterizam o comportamento global.

4.2.1 Concepção de Freqüência e Escala

Freqüência é um atributo físico de um processo ou sinal, como por exemplo, a característica de propagação de um meio que depende da freqüência de viagem da onda. Já o entendimento de Escala no contexto geofísico, segundo Bloschl e Sivapalan (1995), apresenta duas perspectivas: “escala de processo” a qual envolve a escala natural do fenômeno exibido, é caracterizada em termos de tempo de duração, período e correlação de extensão do processo; e “escala de observação” a qual depende da escolha de forma de medida do fenômeno, sendo caracterizada em termos da cobertura ou extensão temporal ou espacial, espaço entre dados ou integração do volume de dados.

4.2.2 Análise Tempo-Frequência

Uma característica marcante da transformada de ondeletas é apresentar boas propriedades de localização nos domínios de tempo e frequência através da possibilidade de obtenção de expansão de bases ortogonais.

O Princípio da Incerteza, segundo o qual não se pode ganhar simultaneamente em resolução no domínio do tempo e da frequência, aplica-se à transformada de ondeleta. Por meio da Figura 4.4 observa-se o uso de diferentes bases cada qual favorecendo tempo ou frequência. Quando a transformada de ondeleta é a base (Figura 4.4(d)) altas frequências podem ser bem localizadas no tempo, porém a incerteza na localização da frequência aumenta com o aumento da frequência, ou seja, grandes escalas bem resolvidas no domínio da frequência implicam em incerteza em sua localização. Assim, como exemplificado pela Figura 4.4, o plano tempo-frequência é predeterminado pela função base.

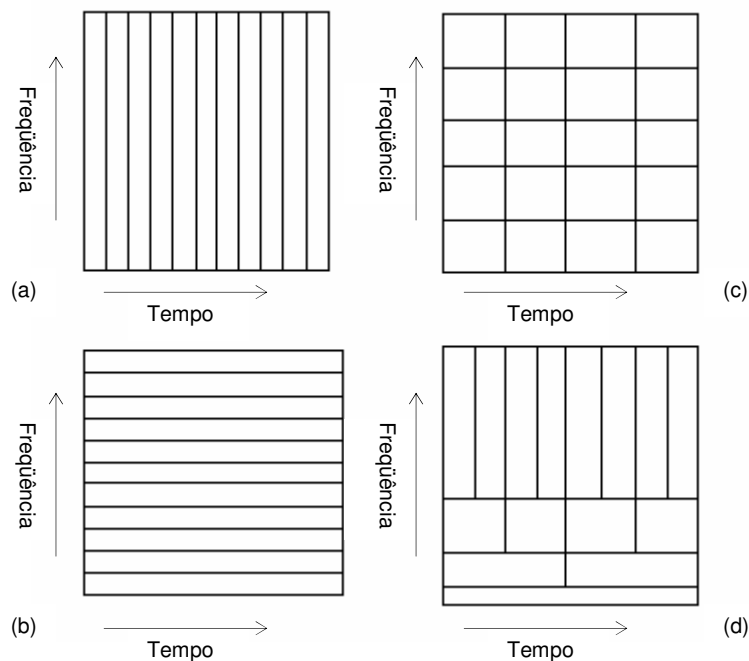


Fig. 4.4 - Esquema de decomposição do plano tempo-frequência usando diferentes bases: (a) Padrão, (b) Fourier, (c) Fourier Janelada e (d) Ondeleta. Fonte: Kumar P. e Foufoula-Georgiou, 1997, pg 389, com modificações.

4.2.3 Transformada de Ondeleta

A análise por ondeletas tem como base a convolução do sinal de interesse com sucessivas funções, representativas de escalas diferentes que são as funções ondeletas. A idéia tanto na análise de Fourier quanto na análise usando ondeletas (ou em qualquer outra base) é aproximar uma função por uma combinação linear de senos e cossenos ou ondeletas, respectivamente. Funções com descontinuidades e picos necessitarão menos ondeletas do que senos e cossenos, para uma aproximação comparável.

A transformada de ondeletas de uma função $f(t)$, que representa a série de dados a ser analisada, é definida como a transformada da integral

$$Wf(\lambda, t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(u) \overline{\psi_{\lambda, t}}(u) du \quad \lambda > 0, \quad (4.1)$$

onde

$$\psi_{\lambda, t}(u) \equiv \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \psi\left(\frac{u-t}{\lambda}\right) \quad (4.2)$$

representa um família de funções chamadas ondeletas, λ é o parâmetro de escala, t o parâmetro de localização (corresponde aos diferentes instantes ao longo do tempo) e $\overline{\psi_{\lambda, t}}(u)$ o complexo conjugado de $\psi_{\lambda, t}(u)$. Mudando o valor de λ tem-se o efeito de dilatação ($\lambda > 1$) ou contração ($\lambda < 1$) da função $\psi(t)$, e mudando t tem-se a análise da função $f(t)$ ao longo de diferentes pontos. A transformada de ondeleta promove uma flexibilidade na janela tempo-escala, funcionando como um zoom, onde se reduz para características de pequena escala e amplia-se quando foco é de larga escala. É importante notar ainda que $\psi_{\lambda, t}(t)$ tem a mesma forma para todos os valores de λ . A transformada de ondeleta expressada em (4.1) é chamada Transformada Wavelet Contínua (CWT), pode ser obtida de diversos parâmetros λ e t diferentes para uma mesma função; é uma transformada linear onde a transformada de ondeleta da soma de dois sinais é a soma da transformada de ondeleta individual de cada sinal; e também a transformada de ondeleta de uma função vetor é um vetor cujos elementos são a transformada de ondeleta dos componentes do vetor.

O termo $\sqrt{\lambda}$ no denominador da equação (4.2) corresponde a um fator de normalização da energia de cada ondeleta $W(\lambda, t)$, onde a função $\psi(t)$ tem a mesma energia para todas as escalas. A equação (4.1) apresentada possibilita transformar uma série temporal num espaço a dois parâmetros (λ, t) que traduz a medida local da amplitude relativa de variabilidade com escala “ λ ” no instante “ t ”.

A transformada de ondeleta inversa, apresentada a seguir na expressão (4.3), pode ser vista como uma reconstrução $f(t)$, uma vez que $Wf(\lambda, t)$ é escrito como a superposição de ondeletas $\psi_{\lambda,t}(u)$.

$$f(t) = \frac{1}{C_{\psi}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \lambda^{-2} Wf(\lambda, u) \psi_{\lambda,t}(t) d\lambda du \quad (4.3)$$

onde C_{ψ} é constante, dependendo do tipo de ondeleta escolhida.

Com isso, existem muitas possibilidades de escolha usando diferentes funções como ondeletas. A escolha da função ondeleta depende de diversos fatores como, por exemplo, simetria e assimetria, ondeleta contínua ou discreta, complexa ou real entre outros. A seguir são discutidos alguns parâmetros:

4.2.3.1 Função Ondeleta Simétrica ou Assimétrica

A magnitude da transformada de ondeleta usando uma ondeleta simétrica é grande em fronteiras de transição, enquanto que usando ondeleta assimétrica é grande no centro de transição.

4.2.3.2 Função Ondeleta Ortogonal ou Não Ortogonal

Em uma análise ortogonal, o número de convoluções em cada escala é proporcional à largura da ondeleta base desta escala. A análise de algumas séries temporais com mudanças aperiódicas produz um espectro diferente. Neste caso, uma análise não ortogonal é altamente redundante em largas escalas, onde o espectro em tempos adjacentes é altamente correlacionado.

4.2.3.3 Função Ondeleta Complexa ou Real

Uma ondeleta complexa retorna informações sobre amplitude e fase, além de ser melhor para capturar o comportamento oscilatório. Já a ondeleta real retoma somente componentes simples e pode ser usada para isolar picos ou discontinuidades.

Uma ondeleta popular é a Morlet (Figura 4.5), utilizada nesta análise por ser uma função complexa e possuir características tais como simetria ou assimetria, e variação temporal brusca ou suave (Torrence e Compo, 1998), expressa na equação

$$\psi(t) = \pi^{1/4} e^{iw_0 t} e^{-t^2/2} \quad (4.4)$$

Esta ondeleta é a multiplicação de uma onda seno por uma gaussiana, onde a primeira exponencial do produto da equação corresponde à onda exponencial complexa e a segunda exponencial corresponde à parte gaussiana. A ondeleta pode ser representada pela parte real de seu coeficiente, na qual é capaz de descrever tanto a intensidade quanto a fase do sinal (Weng e Lau, 1994).

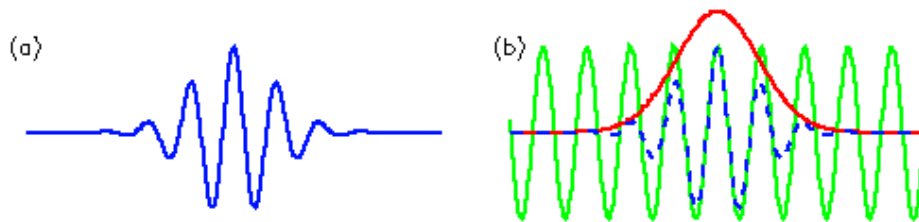


Fig. 4.5 - (a) Ondeleta de Morlet, de largura e amplitude arbitrárias. (b) Construção da ondeleta de Morlet (linha azul tracejada) como uma curva seno (linha verde) modulada por uma Gaussiana (em vermelho). Fonte: Torrence e Compo, 1998.

4.2.4 Cone de Influência (COI)

O cone de influência é a região do espectro de ondeleta onde os efeitos de borda tornam-se importantes. Como as séries temporais são finitas, erros irão ocorrer no começo e no fim do espectro da ondeleta, pois a Transformada de Fourier assume que o dado é cíclico. Uma solução é incluir zeros nos extremos da série e depois removê-los, limitando assim os efeitos de borda e aumentando a eficiência do cálculo da Transformada de Fourier.

4.2.5 Intervalo de Confiança

É definido como a probabilidade que a verdadeira potência da ondeleta em um determinado local e escala se encontra dentro de um determinado intervalo sobre a potência estimada da ondeleta.

4.3 GrADS

O software de domínio público GrADS (Grid Analysis and Display System) é um programa para visualização e análise de dados de Ciências da Terra e trabalha com dados de modelos de 4 dimensões, onde as dimensões são usualmente latitude, longitude, nível e tempo. Juntamente com os dados de direção dos campos de ventos fornecidos pelo NCEP/NCAR Reanalysis 1, foram realizadas análises das trajetórias das massas de ar sobre a região do Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT.

Parâmetros diários das componentes meridional (v-wind) e zonal (u-wind) dos ventos, uma na direção norte – sul e outra na direção oeste – leste, respectivamente, fornecidos pela NCEP/NCAR, foram utilizados para visualização do percurso e da procedência destas massas de ar através do GrADS. Além desses parâmetros sobre ventos, dados como: temperatura, nível da tropopausa, altura geopotencial, velocidade vertical do vento, umidade relativa, umidade específica, etc estão disponíveis para re-análises. Estes dados podem ser obtidos de observações de 6 em 6 horas, média diária ou ainda média mensal, desde 1948, com cobertura total do globo.

CAPÍTULO 5

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA

5.1 Visitas Técnicas ao Observatório Espacial do Sul

Um grupo de integrantes do Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico desloca-se semanalmente ao Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra - RS, com a finalidade de verificar o funcionamento dos equipamentos, calibração e manutenção preventiva, coleta de dados e limpeza de equipamentos, conforme citado a seguir.

5.1.1 Calibração do Espectrofotômetro Brewer

O Espectrofotômetro Brewer, por ser um equipamento bastante delicado, em parte devido à sua grande complexidade e precisão, precisa ser calibrado quinzenalmente de forma a atenuar possíveis imprecisões de suas medidas provenientes de desajustes naturais. Um kit composto por uma fonte ajustável de precisão, um multímetro, um suporte para as lâmpadas e as lâmpadas padrão fornecidas pelo fabricante é utilizado para calibração.

As lâmpadas possuem um espectro de radiação conhecido e são testadas em laboratório pelo fabricante do equipamento. Estas lâmpadas são instaladas em um anteparo apropriado que é acoplado sobre o domo de UV-B. Através de uma seqüência de comandos dados no programa de controle do Brewer, este ajusta a rede de difração e faz a leitura da irradiância da lâmpada, medindo a potência em alguns comprimentos de onda, da mesma forma como se estivesse executando uma medida do tipo UV. Em cada calibração podem ser utilizadas de uma a três lâmpadas, sendo que para cada lâmpada acoplada entra-se com a linha de comandos de calibração no programa do Brewer. As medidas que o Brewer faz das lâmpadas são gravadas em um arquivo de nome *XLdddyy.167*, onde *ddd* representa o dia Juliano e *yy* o ano.

Cada lâmpada possui um arquivo contendo a sua irradiância medida em laboratório. São arquivos do tipo *LAMPnnn.IRR*, onde *nnn* representa o número da lâmpada. Pela

comparação das medidas obtidas pelo Brewer e originárias dos arquivos de irradiância padrão das mesmas, é gerado um arquivo de resposta no formato UVRdddyy.167, onde ddd é o dia Juliano da calibração, yy é o ano e 167 é o número do equipamento. Esse arquivo é gerado no Software UVBrewer 2.1.

A calibração serve para observar as respostas do aparelho à irradiância emitida pela lâmpada. As curvas de calibração originárias são guardadas no arquivo UVR, que é o arquivo de resposta do espectrofotômetro.

5.1.2 Manutenção Preventiva dos Equipamentos

5.1.2.1 Troca da Sílica Gel

Todo equipamento eletrônico é bastante vulnerável à ação da umidade, principalmente suas partes ópticas, tais como filtros a base de sílica. Assim, a maioria dos equipamentos pertencente os PMOA possui um compartimento interno próprio para sílica gel. Esta sílica é trocada frequentemente a fim de se ter um controle da umidade no interior dos equipamentos e conseqüentemente medidas mais confiáveis.

5.1.2.2 Limpeza e Polimento

A limpeza dos equipamentos se faz necessária não somente por questões estéticas, mas principalmente para diminuir a interferência de poeira, por exemplo, na absorção de energia solar. Todos os detectores são de cor branca, o que aumenta o albedo dos corpos. Sendo assim, a energia incidente nos equipamentos é mínima exceto nos domos de quartzo, onde a radiação é transmitida para o interior do equipamento. Essa refletividade da radiação evita o superaquecimento, o que implicaria em alterações nas medidas. No caso do Brewer, este é ainda polido com uma cera especial evitando ao máximo que a radiação seja absorvida por partes que não sejam o domo ou a janela de quartzo.

5.1.3 Coleta de Dados

Visitas freqüentes ao OES/CRS/CIE/INPE – MCT são necessárias para que sejam coletados dados. O equipamento Biômetro 501-A funciona com datalogger, sendo de extrema importância a coleta periódica dos dados, pois possui um sistema de aquisição com tempo limitado. Os Radiômetros e o Espectroradiômetro, que até o início de 2005 encontravam-se acoplados a dataloggers, atualmente funcionam com laptops permitindo um período maior de armazenamento. Mesmo assim, fazem-se necessárias visitas semanais para que os dados dos equipamentos citados e também do GUV e Brewer, ligados a computadores, sejam copiados e trazidos ao CRS/CIE/INPE - MCT para redução e análise.

5.1.4 Redução de Dados

Para se trabalhar com os dados dos equipamentos é necessário que estes sejam previamente reduzidos. Esta redução é feita a partir de programas como UVBrewer versão 2.1, Origin e Excel. Uma vez reduzidos, os dados estão prontos para serem analisados. São efetuadas diversas análises, tais como correlações e comparações dependentes do tipo de variável em questão, tais como irradiância total, ponderada com espectros de ação específicos, eritema, índice de UV, etc. Comparações entre equipamentos são normalmente feitas para verificar o seu funcionamento. Demais análises visam o monitoramento da radiação UV na região central do Rio Grande do Sul.

5.1.5 Manutenção Técnica do Espectrofotômetro Brewer

No período de 22 a 27 de Março de 2007, o técnico José Roberto Chagas, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, esteve no Observatório Espacial do Sul realizando manutenção técnica no Espectrofotômetro Brewer. Esta manutenção foi acompanhada pelos integrantes do Programa de Monitoramento do Ozônio Atmosférico visando maior conhecimento do equipamento, dos ajustes e visualização da ótica do espectrofotômetro. Entre os testes e ajustes realizados a principal mudança foi a

atualização do software do Brewer e da rotina de calibração, onde, atualmente, a irradiância da lâmpada é média de a cada 3,5 nm com varredura do maior ao menor comprimento de onda retornando do menor ao maior. As medidas das lâmpadas são gravadas em um arquivo de nome QLdddyy.167, onde ddd representa o dia Juliano e yy o ano, a partir do qual é gerado o arquivo de calibração UVR em um novo programa chamado LampsPro, disponível no site <http://www.io3.ca/Software>. A Figura 5.1 mostra um gráfico gerado por Chagas comparando arquivos de calibração gerados por diferentes programas, onde se visualiza para o teste QL o comportamento mais próximo ao UVR 24901.167, que corresponde à primeira calibração feita durante a instalação do equipamento no Brasil. Os dados a partir de 25 de março de 2007 são reduzidos segundo essa nova rotina.

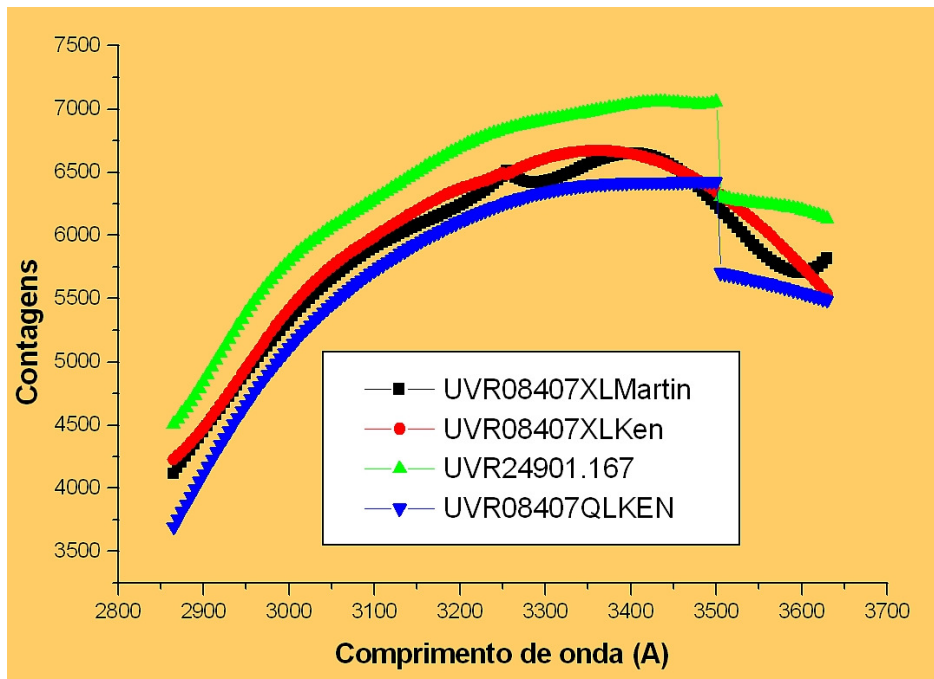


Fig. 5.1 – Comparação entre um mesmo arquivo de calibração resposta gerado por diferentes programas.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS E ANÁLISES

A partir dos dados da coluna total de ozônio, foi feita a análise da variabilidade temporal do conteúdo integrado de ozônio para a Região Central do Sul do Brasil. Para tanto os dados de ozônio obtidos pelo Brewer foram re-analisados, a fim de incluir dias que apresentaram falhas e o ano de 2006. Simultaneamente à análise, dados do satélite OMI foram avaliados para substituir os dados do TOMS que parou de operar no fim de 2005 devido a problemas de calibração. Estudos sobre variabilidades do conteúdo total de ozônio, juntamente com variações de pequena escala, especialmente os efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico sobre o Observatório foram priorizados.

6.1 Re-análise dos Dados da Coluna Total de Ozônio do Brewer

Os dados da coluna total de ozônio do Brewer, utilizados nesta análise, provêm das medidas DS, por serem mais precisas. O teste diário de calibração SL (Standard Lamp) do Brewer foi verificado para cada dia da análise, incluindo o ano de 2006. Este teste de calibração é feito com a finalidade de garantir a boa performance do Brewer em suas medidas de ozônio ao longo da banda operacional espectral utilizada, realizado diariamente. Ao final de um dia, a partir dos resultados médios das calibrações diárias, é gerada uma constante que é comparada com a constante de referência do Brewer. Dias com valores distantes da referência não foram usados, visto que podem indicar problemas com o equipamento ou fontes de energia elétrica.

Verificando as medidas diárias DS de ozônio, foi observado que alguns dias, apesar de apresentarem teste de calibração SL ruim, tiveram medidas válidas de ozônio, ou seja, analisando todas as medidas realizadas no dia, elas apresentam desvio padrão menor que 2,5 UD (máximo desvio aceitável) e estão de acordo com os valores esperados para o período. Esse tipo de falha foi observada para os dias 261 e 268 de 2004 e 213 de 2005, sendo incluídos esses dados, ao invés da substituição por dados do TOMS. Outra falha constatada foi na primeira medida de ozônio realizada no dia, onde se tem valores muito distantes dos demais, isso possivelmente está ligado ao fato da medida ter sido

realizada com ângulo zenital maior que 60° , onde se tem maiores desvios devido à maior massa atmosférica que deve ser percorrida pelo raio de luz solar. Esses arquivos tiveram sua média refeita ignorando a primeira medida, o que diminuiu o desvio padrão diário tornando mais concisas as médias do dia.

6.2 Descontinuidades dos Dados de Ozônio

Nos dados da coluna total de ozônio do Espectrofotômetro Brewer observaram-se descontinuidades devido principalmente aos seguintes fatores:

- **Nebulosidade:** em dias muito nublados ou com chuva, o espectrofotômetro não consegue coletar medidas válidas de DS, esta é substituída pela medida ZS (Céu Zênite), que é mais imprecisa. As medidas ZS não foram utilizadas neste trabalho.
- **Períodos de trocas de equipamento:** houve duas trocas de equipamentos, uma em 1999 e a segunda em 2002, resultando em ausência significativa de dados nesses períodos.

A maioria dessas descontinuidades foi completada com dados de ozônio da coluna total do sensor TOMS, e com dados de ozônio do instrumento OMI a partir do ano de 2006, para a mesma latitude do Observatório Espacial do Sul, de forma a obter-se um arquivo com o mínimo de falhas possível. A utilização de dados de ozônio do TOMS e OMI para completar falhas do Brewer é possível, pois os equipamentos apresentam uma boa correlação entre seus dados, conforme mostra a Figura 6.1, onde se visualiza as descontinuidades; em preto são os valores encontrados pelo Brewer, em vermelho pelo TOMS e em verde pelo OMI. Pode-se observar a boa correlação entre os dados, sendo que desvios nos dados de ozônio do TOMS são devido a problemas que este vinha apresentando antes de eu desligamento total e foram parcialmente corrigidos matematicamente na versão V.8, mesmo assim, a diferença média entre os instrumentos Brewer e TOMS é de 2,6 % e entre Brewer e OMI de 1,4 % possibilitando a análise.

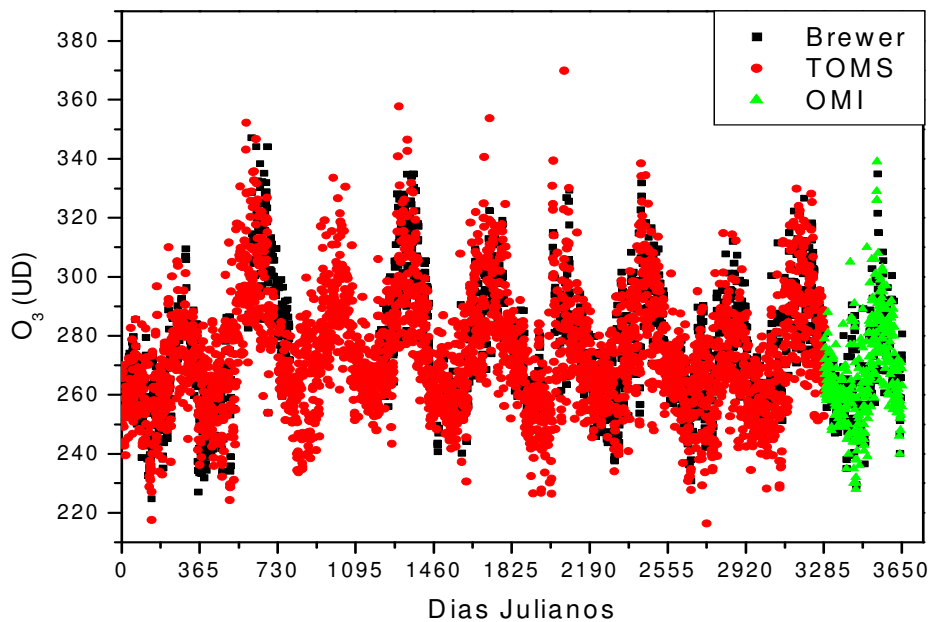


Fig. 6.1 - Comparação entre a coluna total de ozônio fornecida pelos equipamentos Espectrofotômetro Brewer (em preto), pelo sensor TOMS (em vermelho) e pelo instrumento OMI (em verde), no período de 01/01/1997 a 31/12/2006 para o Observatório Especial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS.

6.3 Variabilidades Temporais do Conteúdo Total de Ozônio no OES/CRS/CIE/INPE – MCT, re-análise e inclusão do ano de 2006

Conforme constatado no Relatório Final de Atividades – 2006, as variabilidades mais marcantes do ozônio estão relacionadas com escalas temporais, como por exemplo, diária, semanal, sazonal, anual, interanual, entre outras. Assim como visualizado nos trabalhos anteriores, essas variabilidades continuam sendo muito bem observadas através da análise com ondeletas para o ano de 2006. A variabilidade do conteúdo total de ozônio no Observatório Especial do Sul, em São Martinho da Serra, durante o período de 01 de janeiro de 1997 a 31 de dezembro de 2006, é apresentada na Figura

6.2, onde se observa claramente o ciclo anual com máximos durante a primavera e mínimos no outono.

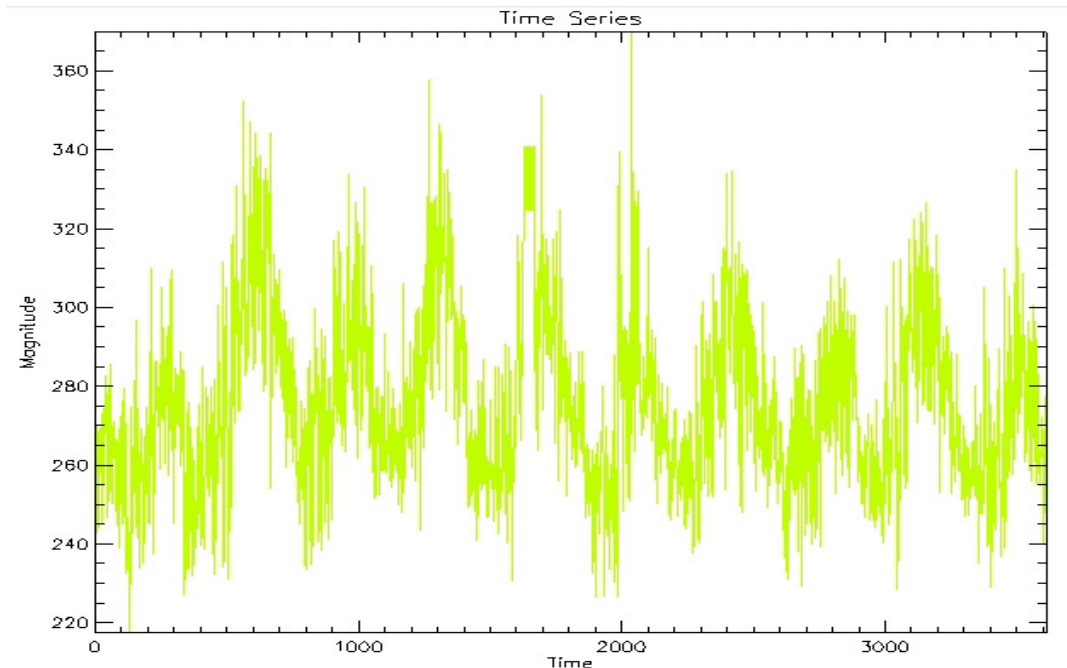


Fig. 6.2 - Série temporal diária do conteúdo total de ozônio (em Unidades Dobson) no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS, utilizando-se dados obtidos pelo espectrofotômetro Brewer, pelo sensor TOMS e o instrumento OMI, durante o período de 01/01/1997 a 31/12/2006.

A partir dos dados da coluna total de ozônio, são gerados o espectro de potência sobreposto pelo escalograma de frequências e o espectro contínuo, apresentados nas Figuras 6.3 e 6.4, respectivamente, onde se verificam picos no diagrama de escalas em torno de poucos dias, por volta de seis dias, e harmônicos dominantes em 28, 62, 96 e 175 dias e em 1, 1,7 e 2,4 anos. Nesta segunda análise surge uma nova oscilação marcante, conforme mostra a Figura 6.4, em 62 dias, sendo as demais praticamente coincidentes com as encontradas anteriormente. As pequenas variações possivelmente estão relacionadas à re-análise dos dados, com a inclusão de alguns dados do Brewer que foram recuperados, ao invés de serem completados com dados do TOMS.

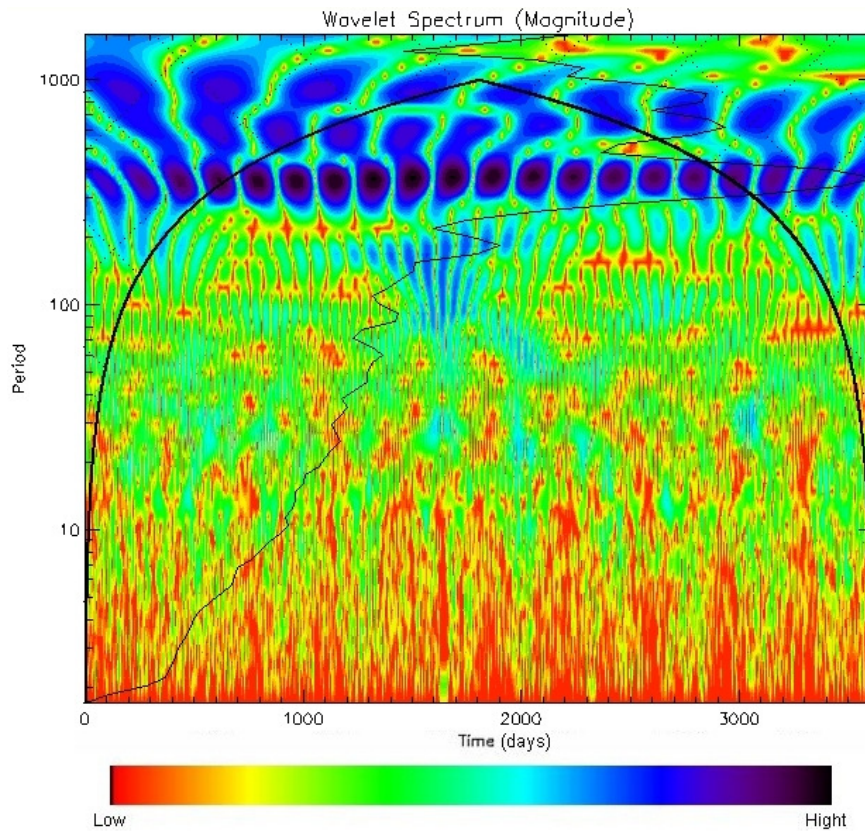


Fig. 6.3 - Espectro global de potência sobreposto pelo diagrama de escalas (Transformada Ondeleita) do conteúdo total de ozônio no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, período de 01 de janeiro de 1997 a 31 de dezembro de 2006.

Variações em escalas de poucos dias possivelmente estão associadas à passagem de sistemas frontais pela região. Nestes casos, a tropopausa pode ficar mais baixa ou alta, e a quantidade de ozônio aumentar ou diminuir (Vigliarolo, et al., 2001). Ondas de gravidade e planetárias também afetam em pequena escala o conteúdo total de ozônio sendo responsáveis por variações de alguns dias. Escalas de 7 a 15 dias possivelmente estão ligadas a ondas planetárias, estudos subsequentes visam um maior detalhamento.

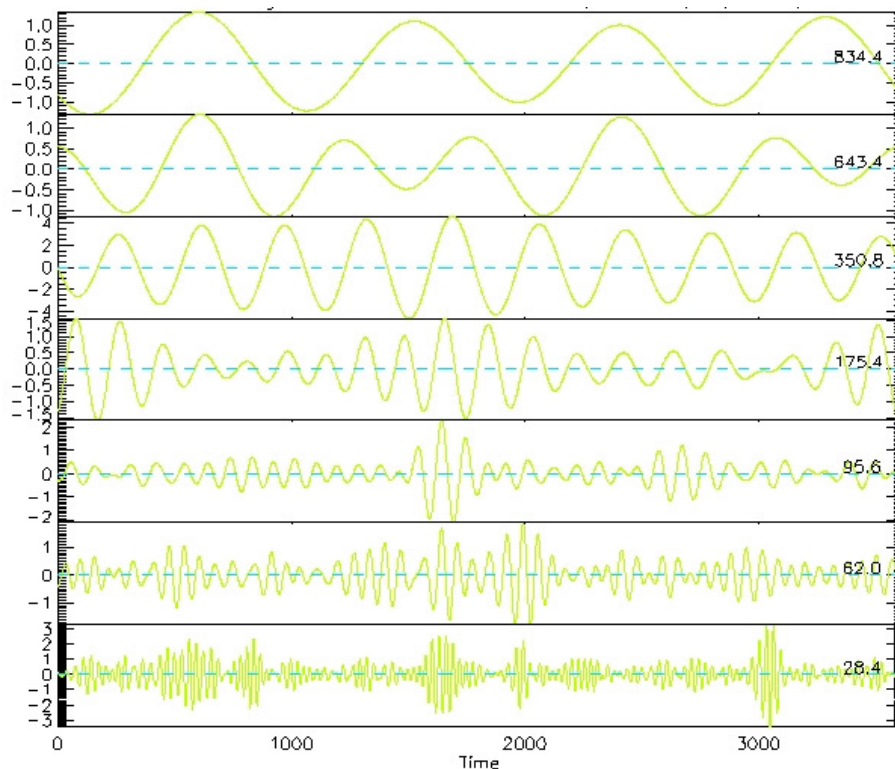


Fig. 6.4 - Espectro contínuo mostrando o comportamento das oscilações de maior frequência do conteúdo total de ozônio no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, período de 01 de janeiro de 1997 a 31 de dezembro de 2006.

Assim como apresentado no Relatório Final de Atividades – 2006, variabilidades nas escalas de 28 e 62 e 96 dias correspondem à presença de oscilações intra-sazonais, conforme mostra a Figura 6.3, a qual é mais evidente em alguns anos do período considerado. Por outro lado, o ciclo anual, semianual e a oscilação quase-bianual estão bem caracterizados, destacando-se que essas componentes também variam com o tempo, apresentando inclusive forte interação de escalas em alguns anos, entre os ciclos semianual e intra-sazonal com o anual. Os processos físicos que possibilitam essas interações ainda não são bem conhecidos e dependem de diversas variáveis. O ciclo QBO dos ventos equatoriais na estratosfera é marcante constituído por dois harmônicos com períodos de 1,7 e 2,4 anos.

6.4 Análise detalhada com campos de ventos dos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico no Sul do Brasil através de ondeletas

O Relatório Final de Atividades – 2006 apresentou um estudo preliminar para o ano de 2000 dos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico a 30° S através de ondeletas. A fim de melhor constatar essas evidências, foram gerados os campos de ventos para região do Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, por meio dos parâmetros da NCEP/NCAR, juntamente com a ferramenta GrADS, para todos os eventos entre os anos de 1997 a 2006 que apresentaram oscilações na escala diária em torno de 2 a 5 dias, entre os dias julianos 200 e 320, que poderiam estar correlacionados com o efeito secundário do Buraco de Ozônio Antártico. Foram observadas variações nos anos de 1997, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 e 2005, totalizando 15 eventos de efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico sobre a região Sul do Brasil, para os quais foram traçados os campos de ventos no nível de 30 hPa. Este nível foi selecionado, pois corresponde à máxima concentração de ozônio na atmosfera para a latitude do OES (29,4°S, 53,8°O), perturbações neste nível afetam consideravelmente a coluna total de ozônio.

Os valores médios de ozônio para a região do Observatório Espacial do Sul nos meses de setembro e outubro, os quais correspondem ao máximo de ozônio no hemisfério Sul e ao período em que a região é mais atingida pelos efeitos secundários, são apresentados nas Figuras 6.5 e 6.6. As médias da coluna total de ozônio foram calculadas para os dados do Espectrofotômetro Brewer de todos os setembros e outubros, respectivamente, de 1992 a 2006. Destaca-se que essas médias foram realizadas considerando-se os dias que apresentaram queda na coluna total de ozônio devido aos efeitos secundários do buraco de ozônio Antártico, estando, portanto, minimizadas em relação aos valores que deveriam ser encontrados para esses meses caso a região não fosse afetada pelo buraco de ozônio Antártico.

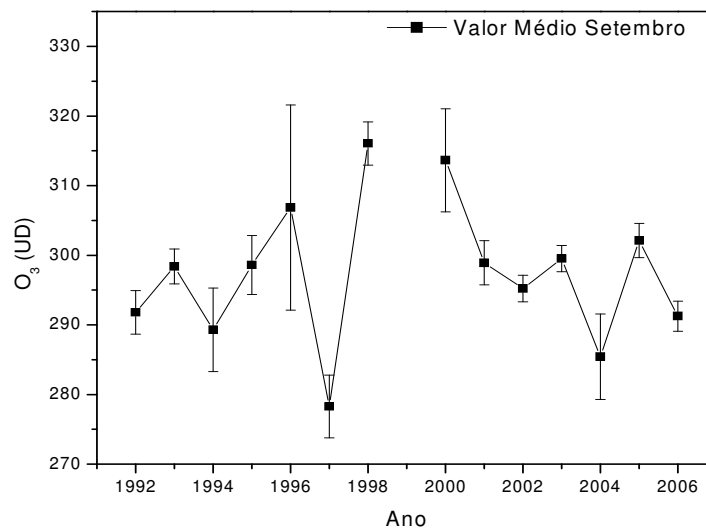


Fig. 6.5 – Dados da coluna total de ozônio do Espectrofotômetro Brewer, valores médios dos setembros de 1992 a 2006.

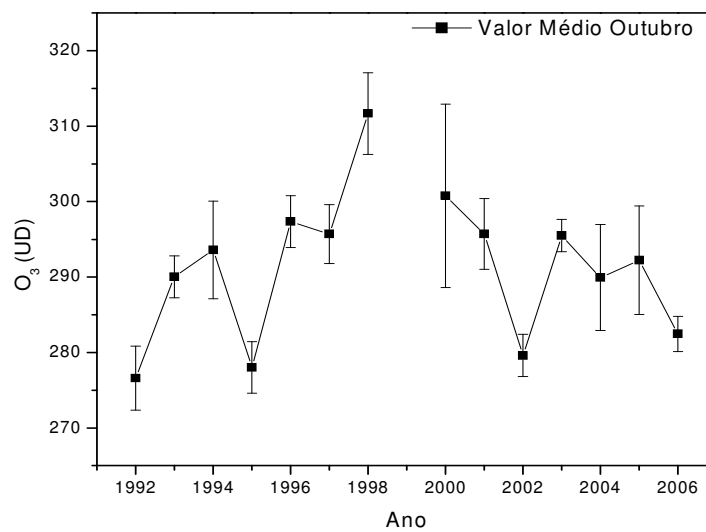


Fig. 6.6 – Dados da coluna total de ozônio do Espectrofotômetro Brewer, valores médios dos outubros de 1992 a 2006.

Analisando todas as médias o valor médio de ozônio para a região do Observatório Espacial do Sul é 297,53 UD no mês de setembro e de 291,34 UD no mês de outubro, com desvios de 10,31 e 9,83, respectivamente.

6.4.1 Efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico no ano de 1997

O espectro contínuo de ondeletas para os dias julianos entre 200 e 320 foi gerado através dos dados da coluna total de ozônio do ano de 1997, sendo visualizadas variações na escala de 3,1 dias, conforme mostra Figura 6.7. Neste ano observaram-se dois eventos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, um em agosto e o outro em outubro. As Figuras 6.8 e 6.9, para o primeiro e segundo eventos, respectivamente, confirmam e caracterizam a influência de massas de ar pobres em ozônio sobre o Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT.

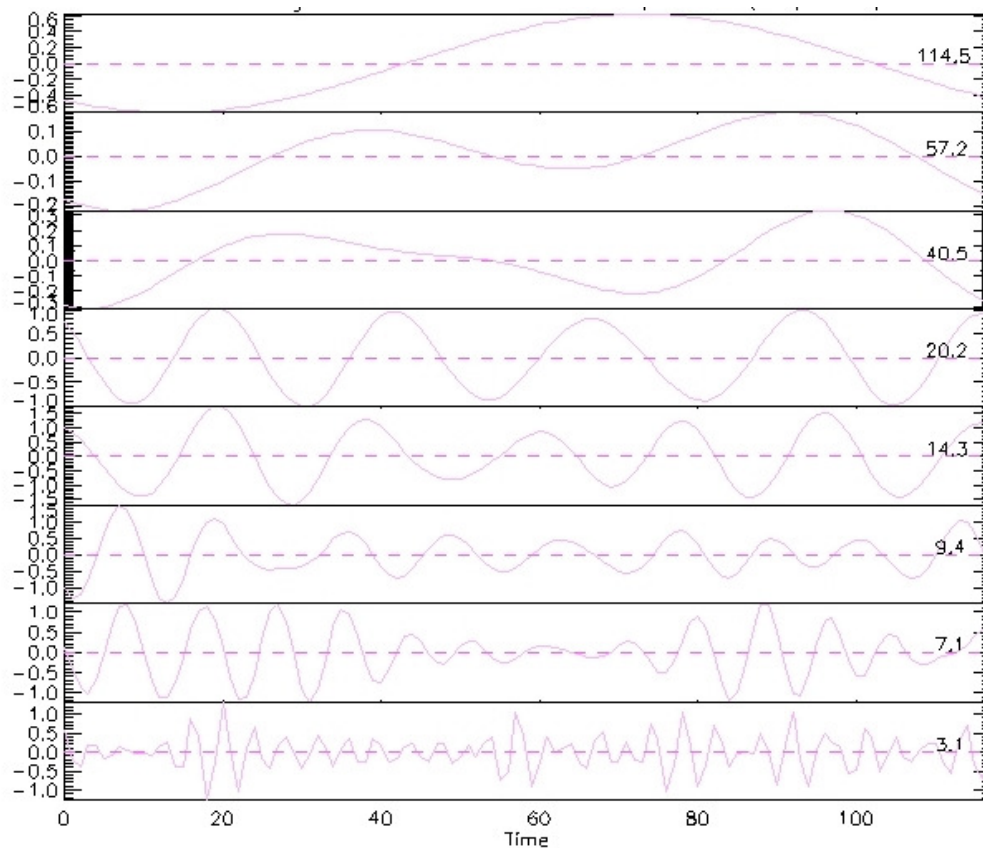


Fig. 6.7 - Espectro contínuo dos dias julianos entre 200 e 320, mostrando o comportamento das oscilações de maior frequência do conteúdo total de ozônio no Observatório Espacial do Sul, durante o ano de 1997, destaque para as oscilações de 3,1 dias.

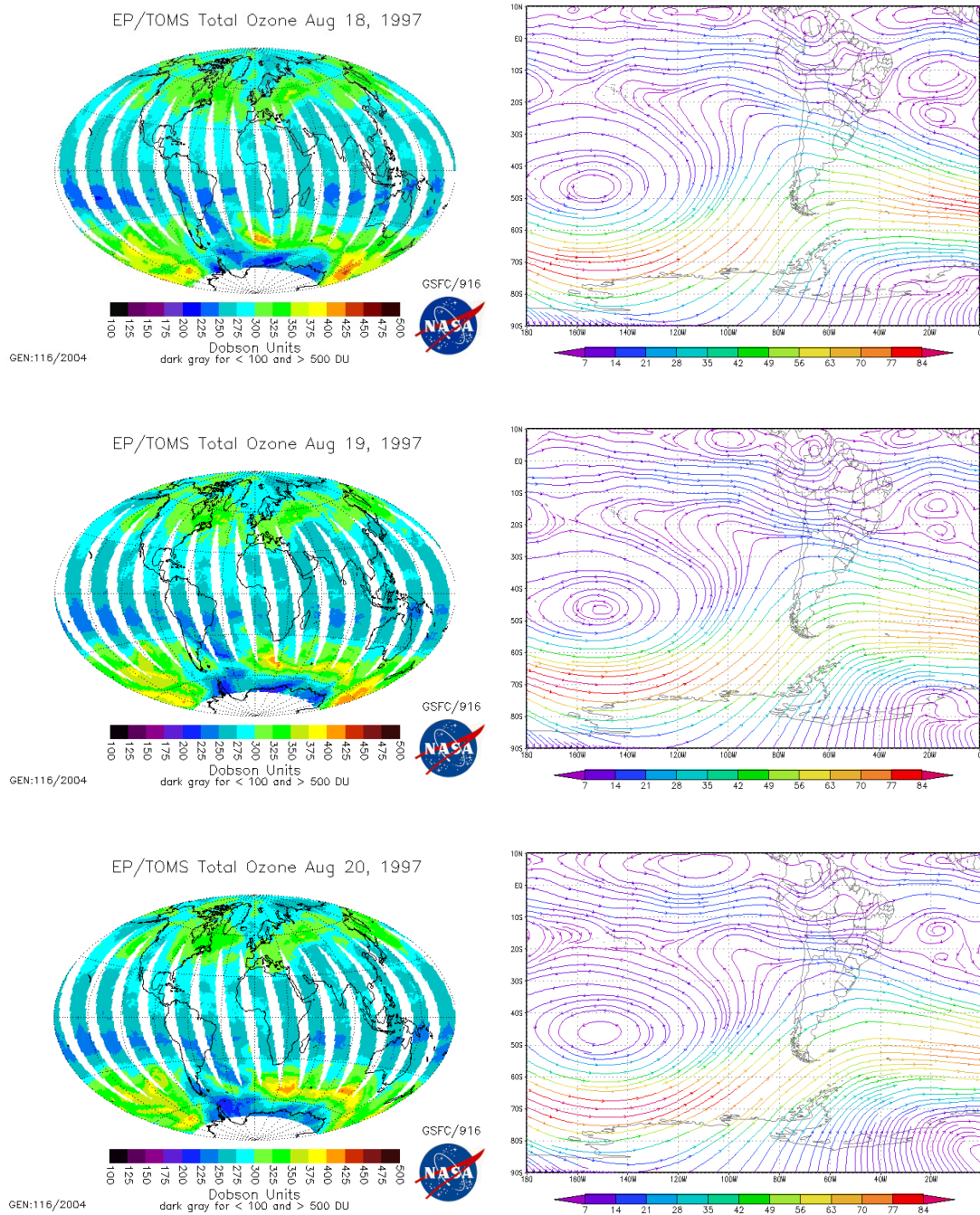


Fig. 6.8 - Imagens mostrando diminuição de ozônio na região do Observatório Espacial do Sul devido aos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, para os dias 18, 19 e 20 de agosto de 1997 com os respectivos campos de ventos a 30 hPa. Fonte: http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html e <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>

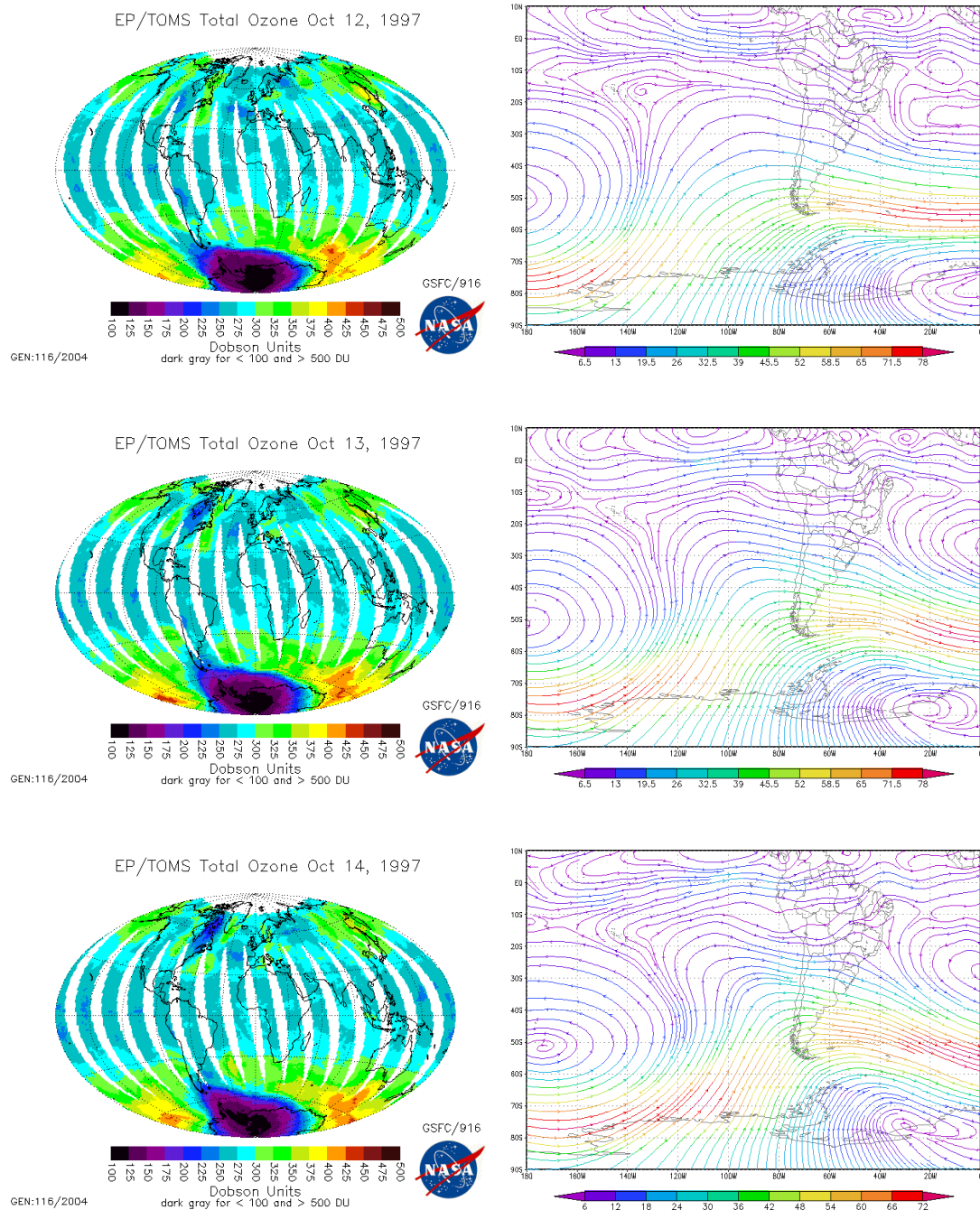


Fig. 6.9 - Imagens mostrando diminuição de ozônio na região do Observatório Espacial do Sul devido aos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, para os dias 12, 13 e 14 de outubro de 1997, com os respectivos campos de ventos a 30 hPa. Fonte: http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html e <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>

Efeitos secundários do buraco de ozônio Antártico dificilmente ocorrem em agosto e podem não estar completamente vinculados a massas de ar pobres em ozônio provenientes da Antártica, pois neste período o buraco está começando a se formar. Valores em torno e 270 UD são obtidos para o mês de agosto no Observatório Espacial do Sul, tendo sido observado um mínimo de 249,4 UD no dia juliano 231, caracterizado na Figura 6.8, correspondendo a uma diminuição de 20 UD no conteúdo total de ozônio a região. Para uma completa análise seria necessário o traçado das trajetórias dos ventos, onde poderia ser visualizado todo o caminho da massa de ar considerando diferentes níveis de pressão.

O evento mostrado na Figura 6.9, ocorrido em outubro, onde a média é de 297,53 UD, teve registrada uma queda bastante significativa para 257,2 UD no dia juliano 287.

6.4.2 Efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico no ano de 2000

O ano de 2000, um dos mais atingidos pelos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, e evidenciado no Relatório Final de Atividades 2006, teve os campos de ventos traçados, confirmando a influência de massas pobres em ozônio. Neste ano se observam variações nas escalas de 2 e 3,5 dias correspondendo a chegada, permanência e passagem da massa de ar pobre em ozônio pelo Observatório Espacial do Sul, conforme as Figuras 6.10 e 6.11 mostram. Para estes eventos em outubro e setembro, respectivamente, observaram-se decréscimos para 273 UD na coluna total de ozônio.

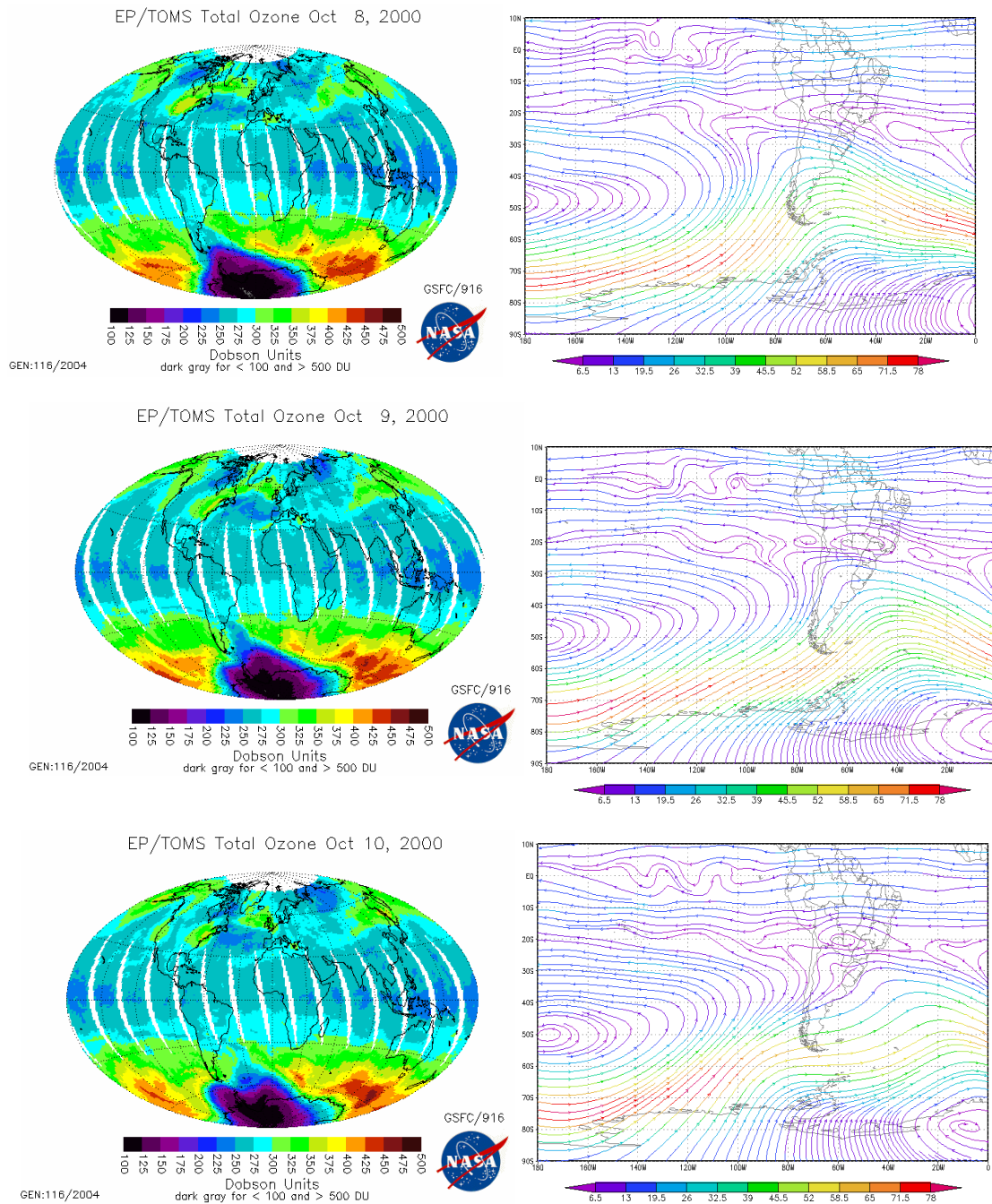


Fig. 6.10 - Imagens mostrando diminuição de ozônio na região do Observatório Espacial do Sul devido aos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, para os dias 08, 09 e 10 de outubro de 2000, com os respectivos campos de ventos a 30 hPa. Fonte:

http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html

e

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

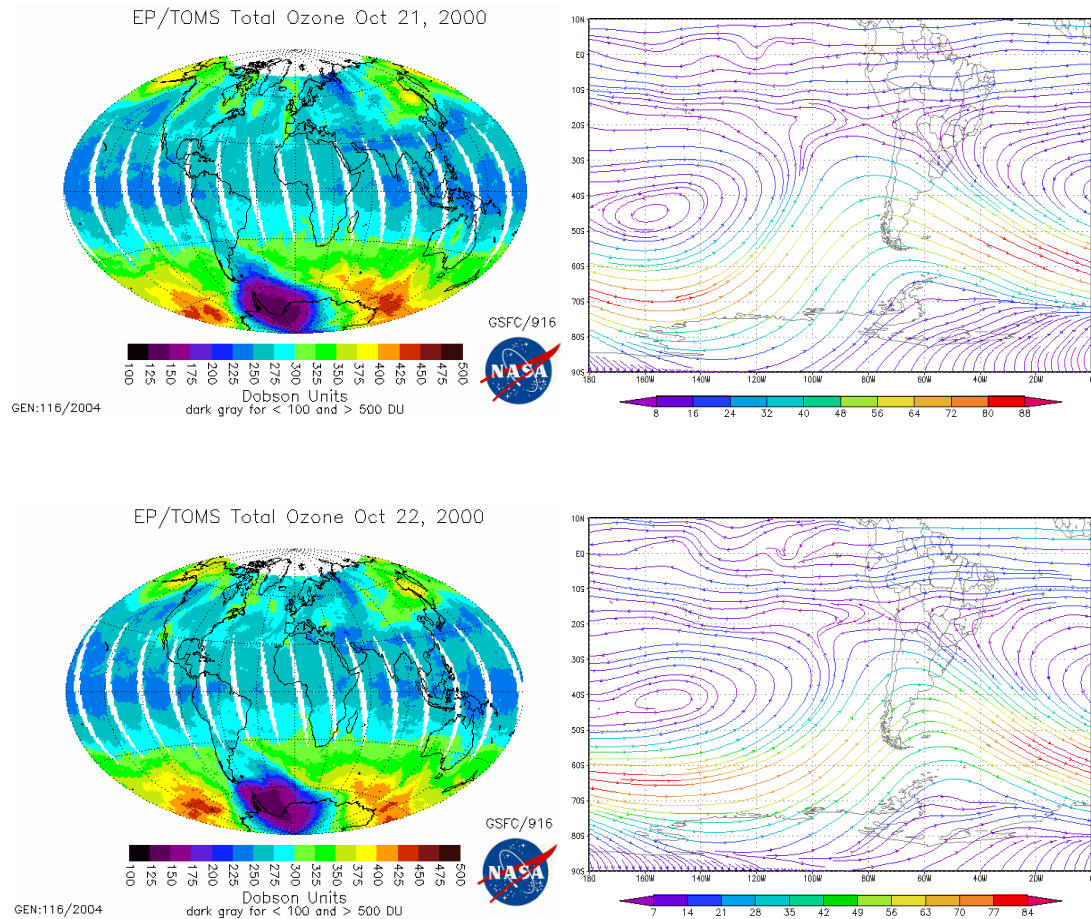


Fig.6.11 - Imagens mostrando diminuição de ozônio na região do Observatório Espacial do Sul devido aos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, para os dias 21 e 22 de outubro de 2000, com os respectivos campos de ventos a 30 hPa. Fonte: http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html e <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>

6.4.3 Efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico no ano de 2001

Da mesma forma que anos de 1997 e 2000, o ano de 2001 foi analisado por meio de ondeletas apresentando oscilações na escala de 3,2 dias. Para a grande maioria dos

campos de ventos, especialmente para o ano de 2001, observam-se formações de ciclones e anticiclones em latitudes próximas, os quais proporcionaram um deslocamento das parcelas de ar da região próxima ao Pólo Antártico refletindo em quedas no conteúdo total de ozônio sobre o Observatório Espacial do Sul; as Figuras 6.12, 6.13 e 6.14 apresentam os eventos ocorridos neste ano. O evento caracterizado na Figura 6.12 apresentou um decréscimo do conteúdo total de ozônio na região para 274 UD, o que representa uma queda de 17 UD. O dia 24 de outubro de 2001 corresponde ao período de recuperação da camada de ozônio sobre a região do Observatório, visto que os eventos apresentados nas Figuras 6.13 e 6.14 correspondem a uma seqüência no mês de outubro. Através dos mapas de ozônio do TOMS observa-se uma primeira língua de massa de ar pobre em ozônio na Figura 6.13 que se desfaz e no dia 25 de outubro, Figura 6.14, forma-se novamente atingindo a região. Nesses dois eventos foram registrados os valores de 286,9 e 283,4 UD, respectivamente, para a coluna total de ozônio.

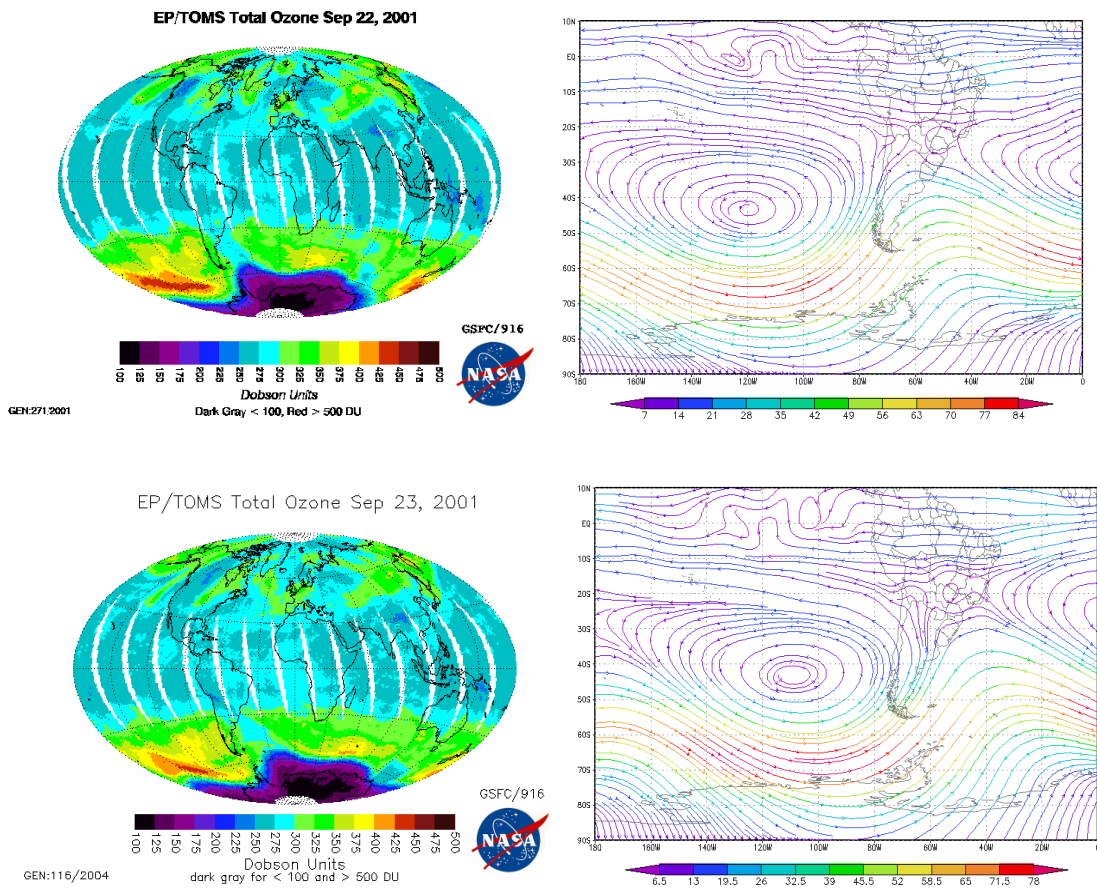


Fig.6.12 - Imagens mostrando diminuição de ozônio na região do Observatório Espacial do Sul devido aos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, para os dias 22 e 23 de setembro de 2001, com os respectivos campos de ventos a 30 hPa. Fonte: http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html e <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>

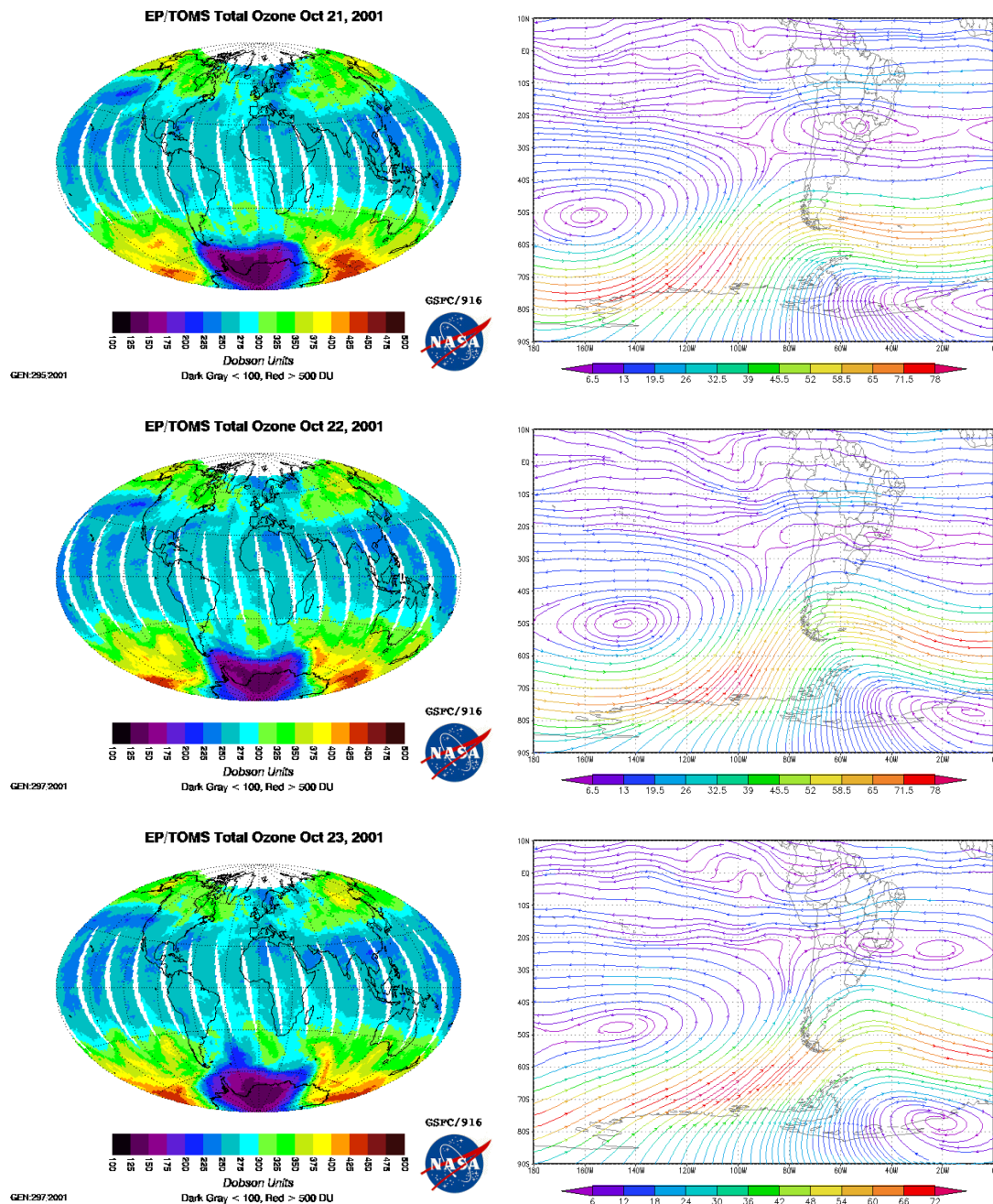


Fig.6.13 - Imagens mostrando diminuição de ozônio na região do Observatório Espacial do Sul devido aos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, para os dias 21 e 22 e 23 de outubro de 2001, com os respectivos campos de ventos a 30 hPa. Fonte: http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html e <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>

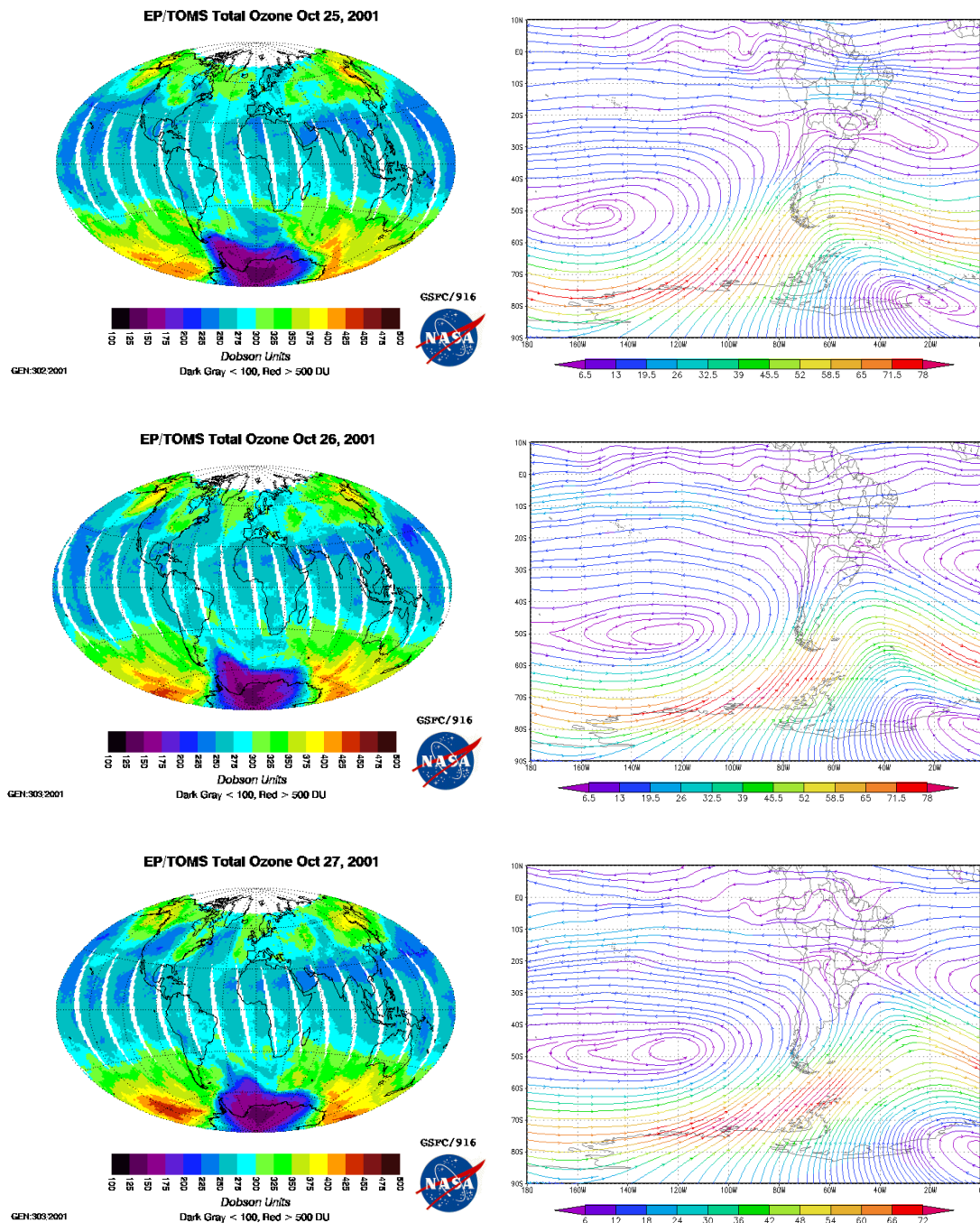


Fig.6.14 - Imagens mostrando diminuição de ozônio na região do Observatório Espacial do Sul devido aos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, para os dias 25 e 26 e 27 de outubro de 2001, com os respectivos campos de ventos a 30 hPa. Fonte: http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html e <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>

6.4.4 Efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico no ano de 2002

O ano de 2002 apresenta oscilações na escala de 3,4 dias, conforme mostra a Figura 6.15. Massas de ar pobres em ozônio provenientes da Antártica atingiram a região em dois eventos, apresentados nas Figuras 6.15 e 6.17, esses eventos possivelmente sofreram a influência de massas tropicais, sendo traçadas os campos de ventos para 4 dias, a fim de melhor visualizar as massas polares.

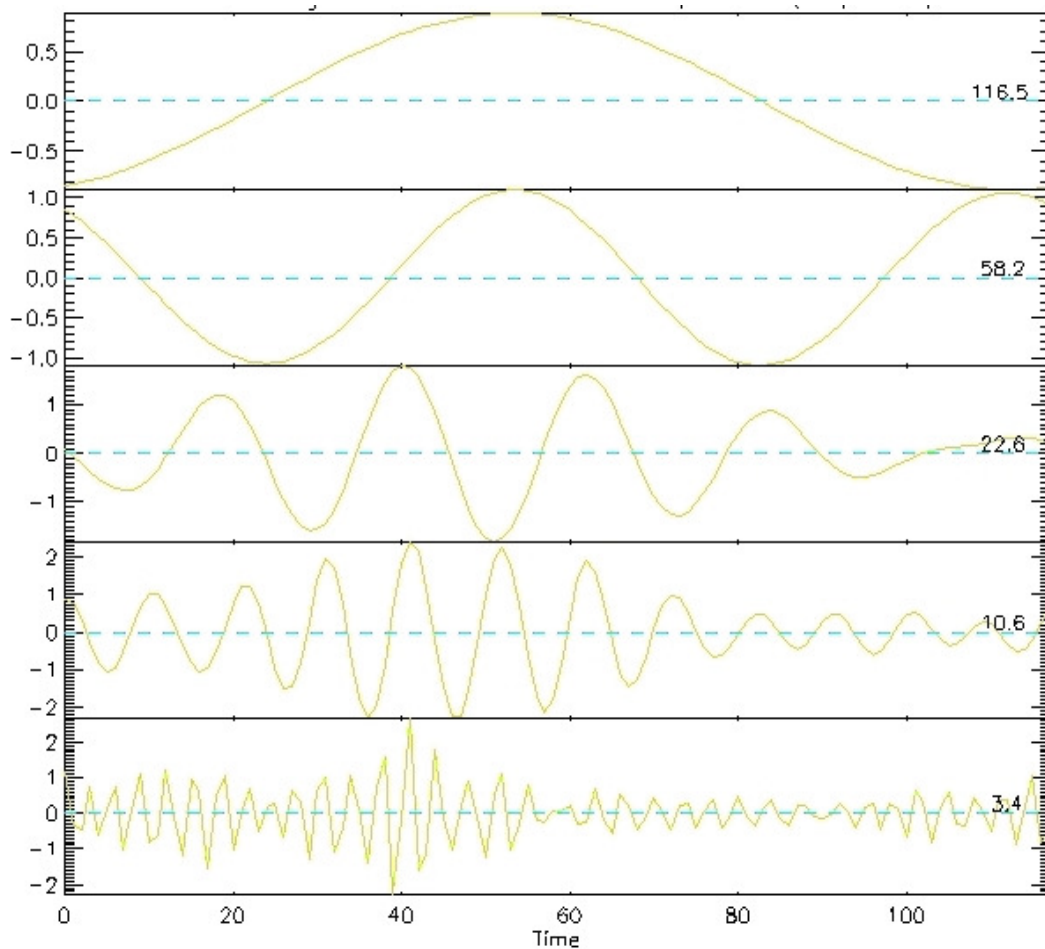
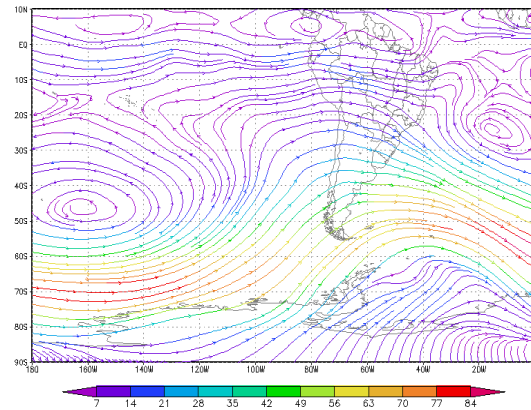
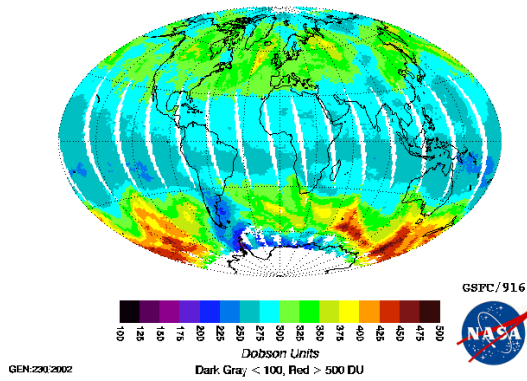
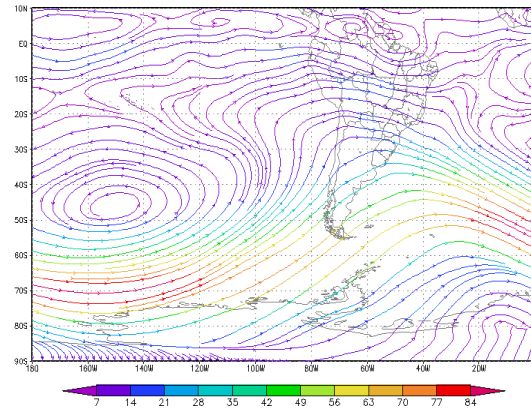
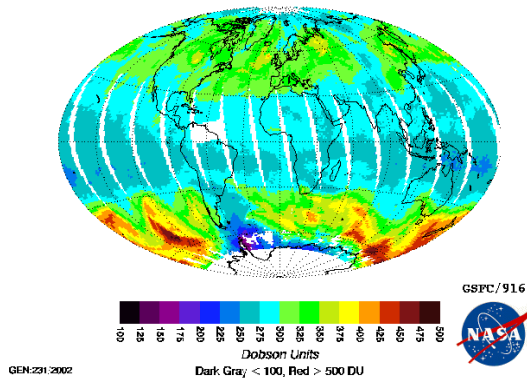


Fig. 6.15 - Espectro contínuo dos dias julianos entre 200 e 320, mostrando o comportamento das oscilações de maior frequência do conteúdo total de ozônio no Observatório Espacial do Sul, durante o ano de 2002, destaque para as oscilações de 3,4 dias.

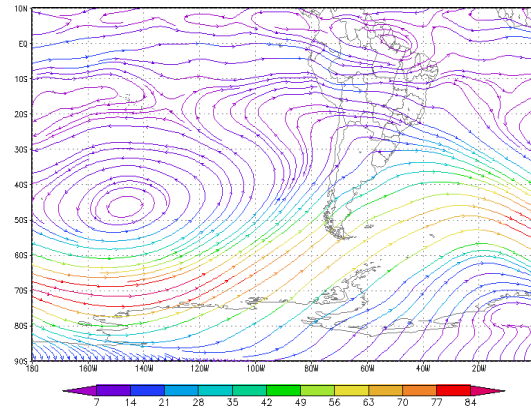
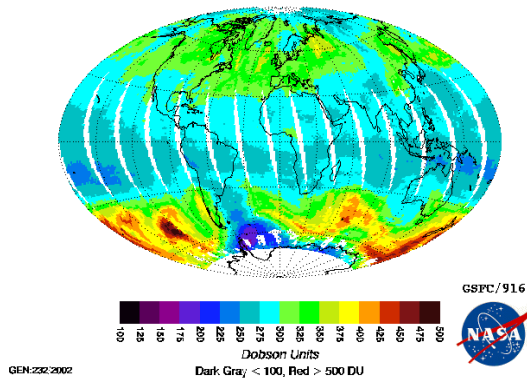
EP/TOMS Total Ozone Aug 16, 2002



EP/TOMS Total Ozone Aug 17, 2002



EP/TOMS Total Ozone Aug 18, 2002



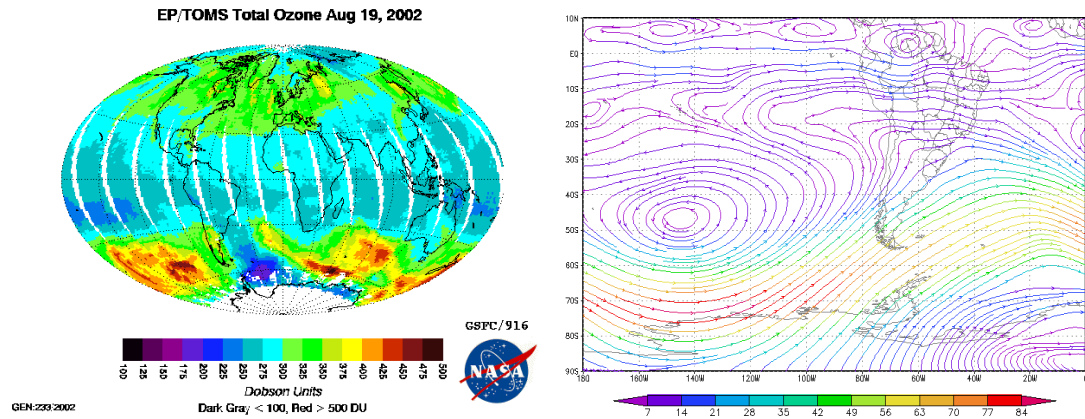
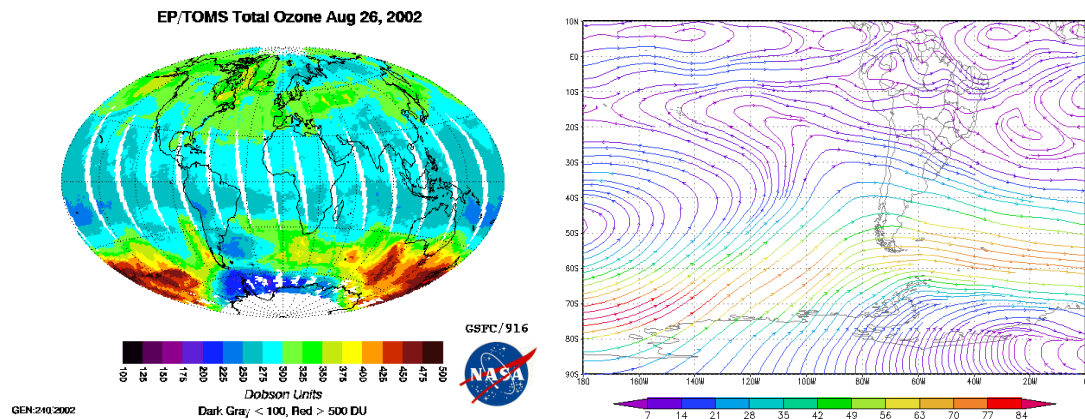
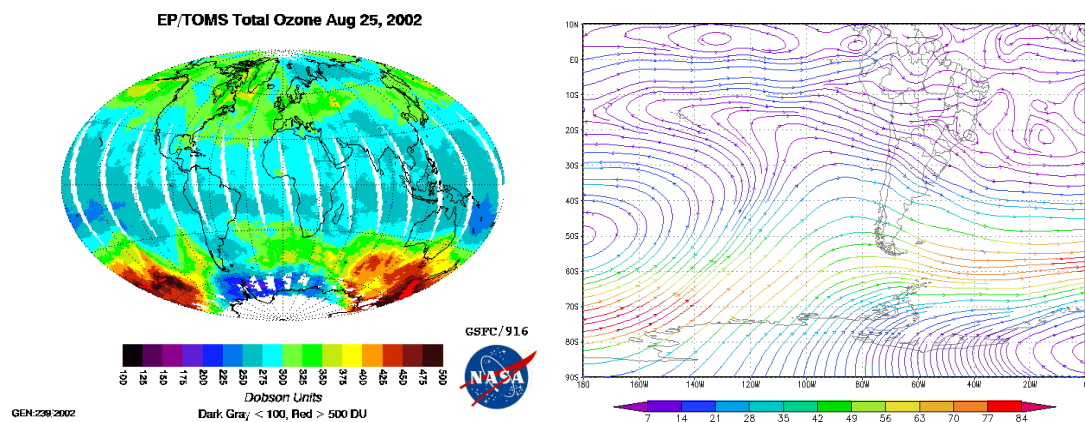


Fig.6.16 - Imagens mostrando diminuição de ozônio na região do Observatório Espacial do Sul devido aos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, para os dias 16, 17, 18 e 19 de agosto de 2002, com os respectivos campos de ventos a 30 hPa. Fonte: http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html e <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>



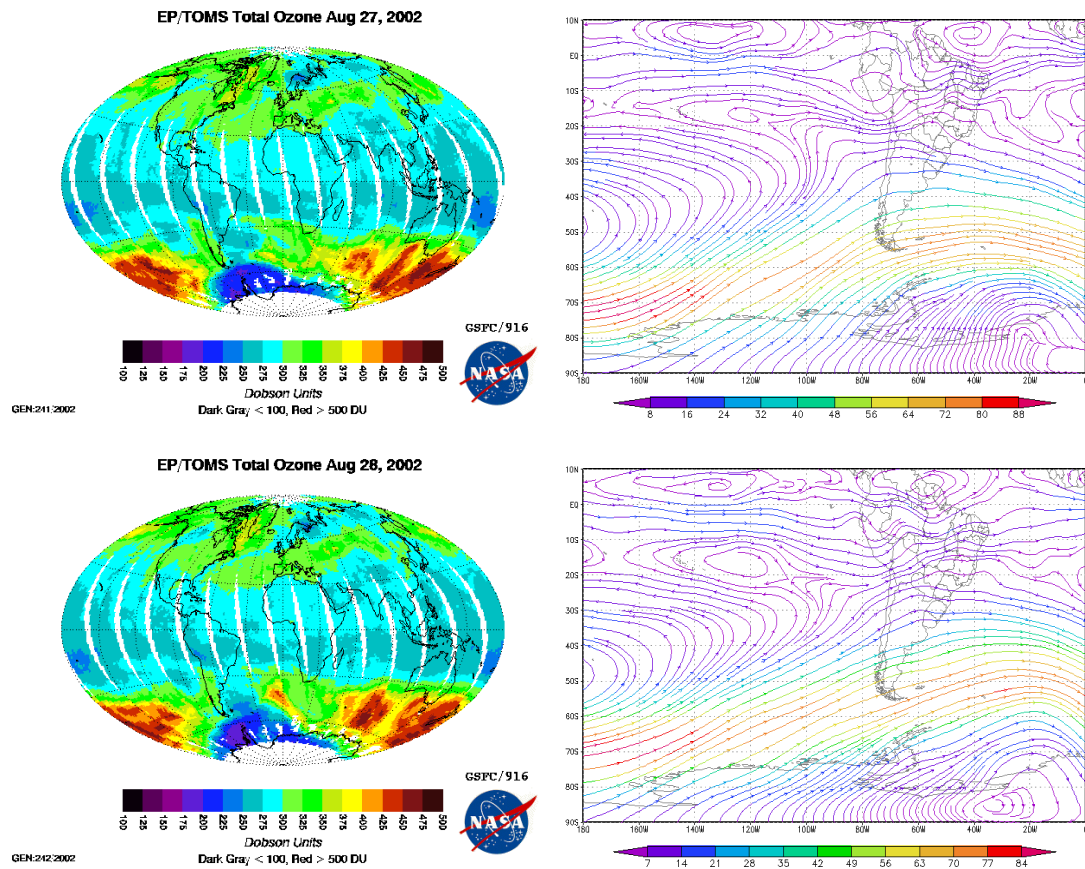


Fig.6.17 - Imagens mostrando diminuição de ozônio na região do Observatório Espacial do Sul devido aos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, para os dias 25, 26, 27, 28 de agosto de 2002, com os respectivos campos de ventos a 30 hPa. Fonte: http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html e <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>

Os eventos ocorridos no ano de 2002 tiveram decréscimos para 252,4 UD no primeiro evento, e 265,9 UD no segundo, sendo normalmente registrados valores em torno de 270 UD para esse período.

6.4.5 Efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico no ano de 2003, 2004 e 2005

Seguindo a mesma análise realizada para os anos anteriores, 2003, 2004 e 2005 foram analisados. Os espectros de potência apresentaram oscilações de pequena escala marcantes com duração de 2,3 dias em média. Nesse período ocorreram 6 eventos de

efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, cujas representações seguem nas Figuras 6.18 a 6.23. O ano de 2003 teve quedas para 274,3 e 285,8 UD em seus eventos ocorridos no mês de outubro. Para 2004 foram registrados decréscimos de 20 UD no conteúdo total de ozônio para os efeitos ocorridos em setembro na região do Observatório Espacial do Sul e de 38 UD no efeito de outubro, enquanto em 2005 no dia juliano 284 observou-se uma coluna de 273,98 UD.

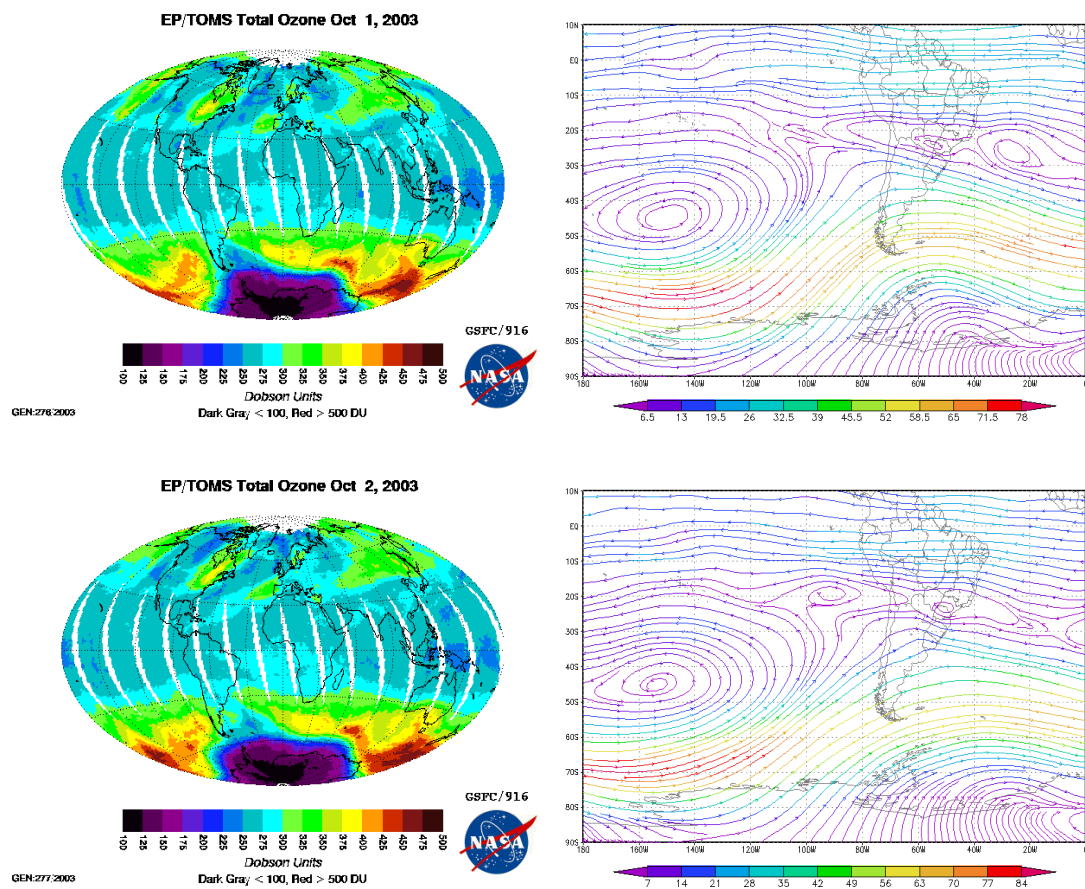


Fig.6.18 - Imagens mostrando diminuição de ozônio na região do Observatório Espacial do Sul devido aos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, para os dias 01 e 02 de outubro de 2003, com os respectivos campos de ventos a 30 hPa. Fonte:http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html, <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>

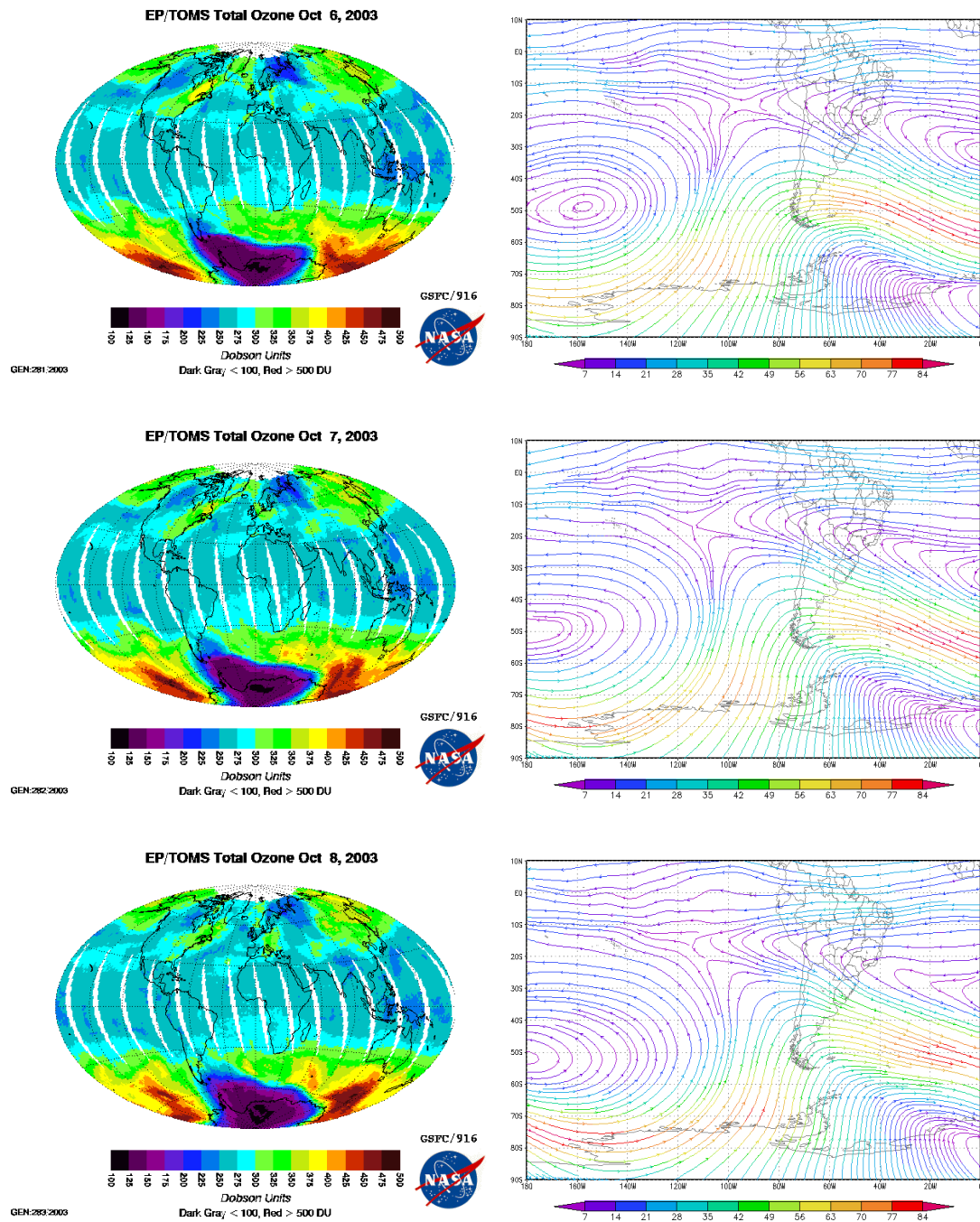


Fig.6.19 - Imagens mostrando diminuição de ozônio na região do Observatório Espacial do Sul devido aos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, para os dias 06, 07 e 08 de outubro de 2003, com os respectivos campos de ventos a 30 hPa. Fonte: http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html e <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>

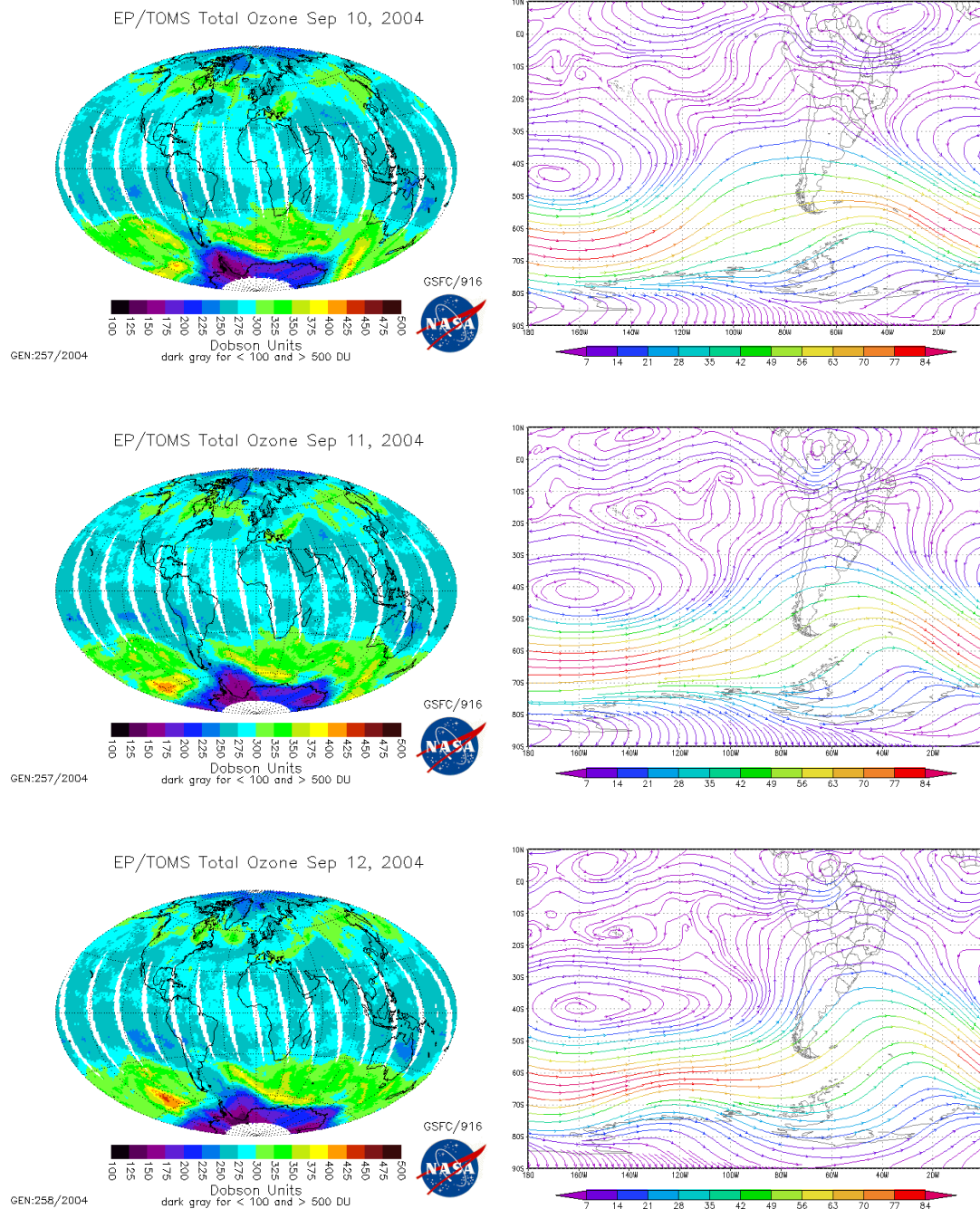


Fig.6.20 - Imagens mostrando diminuição de ozônio na região do Observatório Espacial do Sul devido aos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, para os dias 10, 11 e 12 de setembro de 2004, com os respectivos campos de ventos a

30 hPa. Fonte: http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html e
<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>

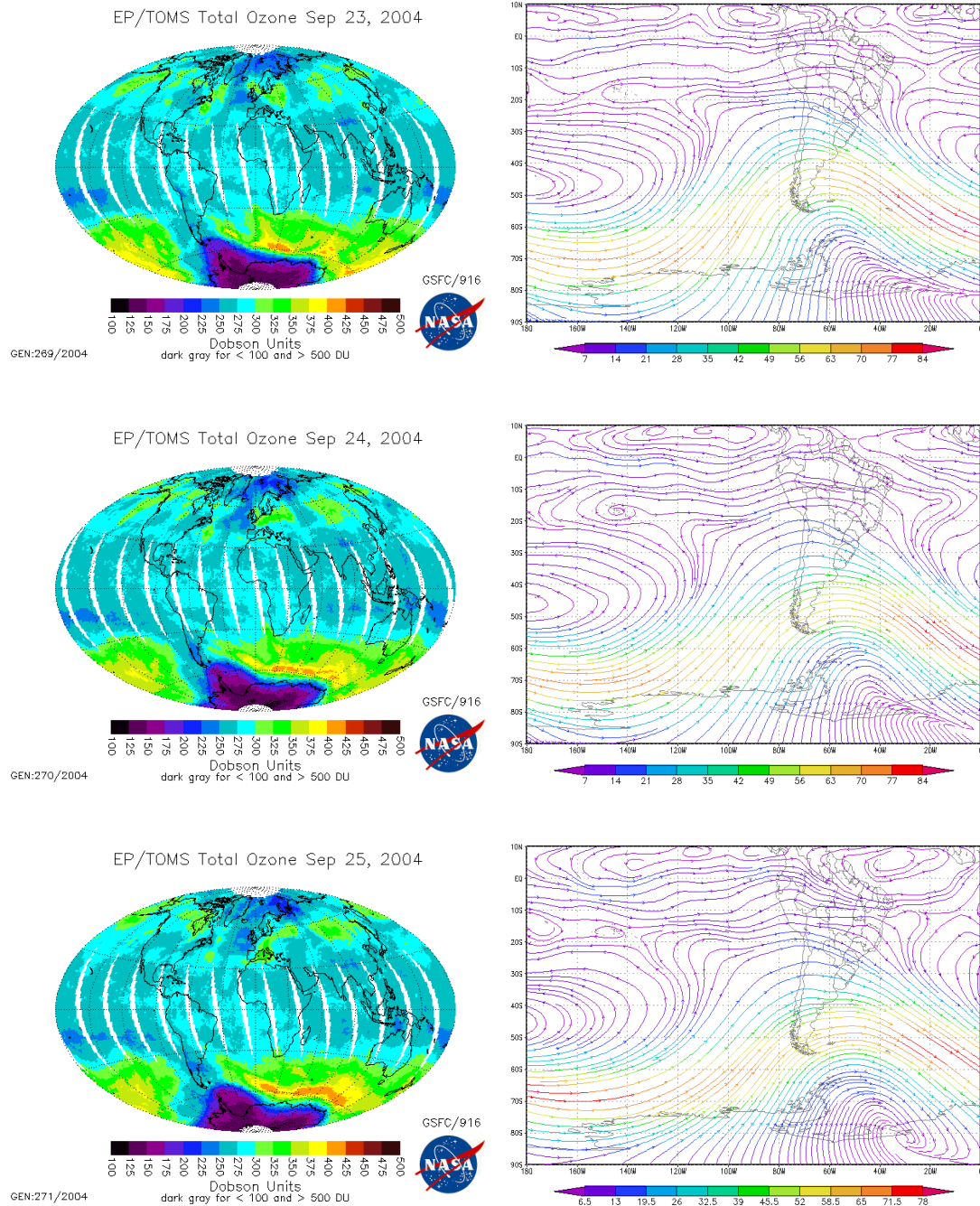


Fig.6.21 - Imagens mostrando diminuição de ozônio na região do Observatório Espacial do Sul devido aos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, para os dias 23, 24 e 25 de setembro de 2004, com os respectivos campos de ventos a

30 hPa. Fonte: http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html e
<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>

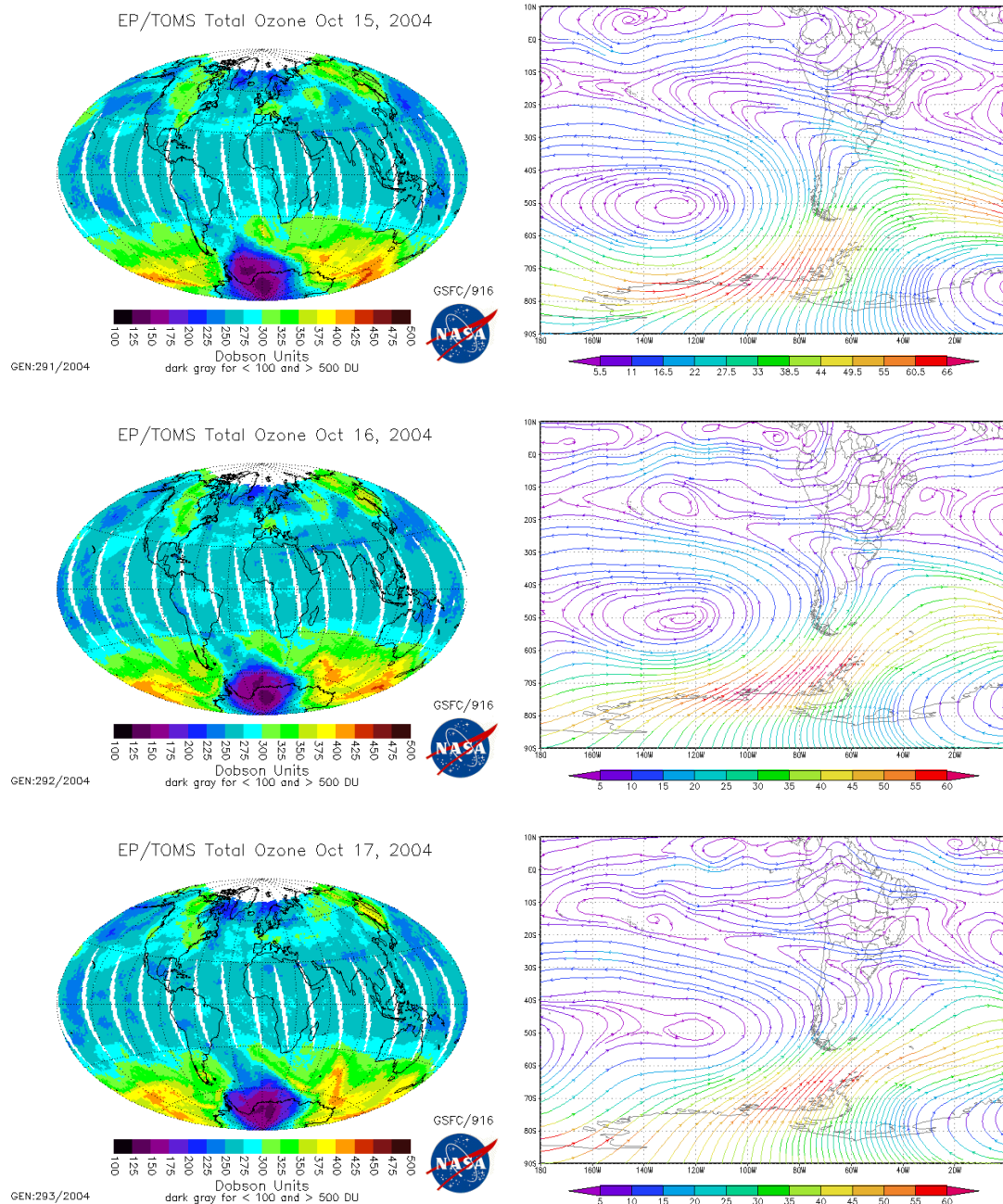


Fig.6.22 - Imagens mostrando diminuição de ozônio na região do Observatório Espacial do Sul devido aos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, para os dias 15, 16 e 17 de outubro de 2004, com os respectivos campos de ventos a 30 hPa. Fonte: http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html e <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>

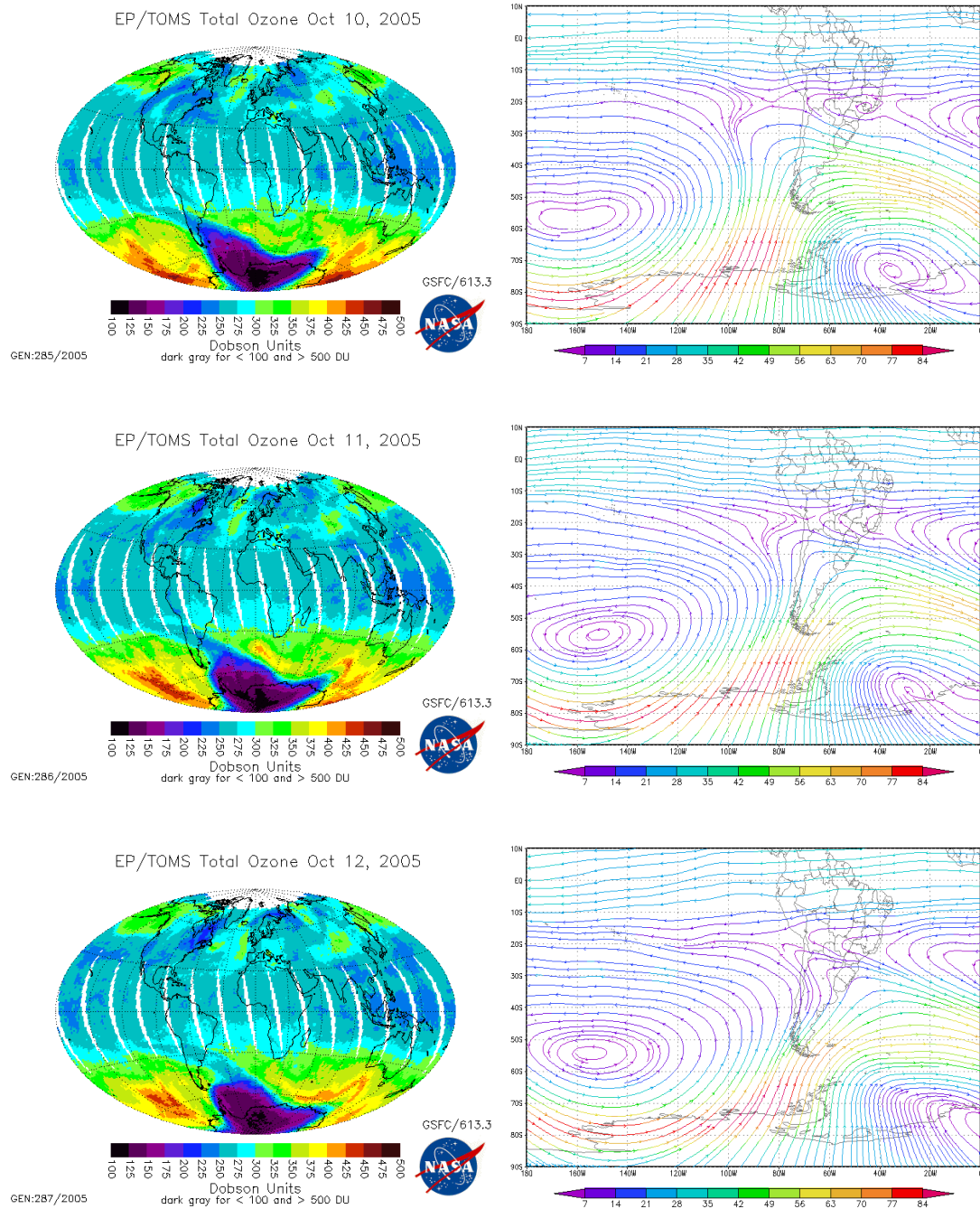


Fig.6.23 - Imagens mostrando diminuição de ozônio na região do Observatório Espacial do Sul devido aos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico, para os dias 10, 11 e 12 de outubro de 2005, com os respectivos campos de ventos a 30 hPa. Fonte: http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html e <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis>

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E ATIVIDADES FUTURAS

O estudo da variabilidade temporal do ozônio está sendo facilitado com a análise das ondeletas. A partir da análise dos dados dos gráficos de espectros de potência e frequência é possível determinar as variações temporais, fenômenos de pequena escala e associá-los com os fenômenos meteorológicos correspondentes.

Este estudo avaliou a presença de diversas oscilações estratosféricas nos dados do Observatório Especial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS, que caracterizam o comportamento do conteúdo total de ozônio nessa região. Com a inclusão do ano de 2006 foram re-analisadas as oscilações dominantes, mensal, intrasazonal, semi-anual, anual e quase-bianual, e ainda eventos de pequena escala temporal, como os efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico em baixas latitudes, onde se observaram formações de ciclones e anticiclones em latitudes próximas, que proporcionam um deslocamento de parcelas de ar da região próxima ao Pólo Antártico refletindo em quedas no conteúdo total de ozônio sobre o Observatório Espacial do Sul. A análise à 30hPa corresponde a um nível isobárico de pressão, onde se tem movimentos horizontais, para tanto níveis isentrópicos, através da vorticidade potencial isentrópica, deveriam ser analisados a fim de verificar mais claramente as reais influências dos efeitos secundários do buraco de ozônio Antártico.

Nesta análise foram reafirmadas as variabilidades mais significativas do conteúdo total de ozônio na Região Central do Rio Grande do Sul, ampliado o período de análise e feito um estudo detalhado dos efeitos secundários do Buraco de Ozônio Antártico sobre o Observatório. A análise de variabilidades no conteúdo total de ozônio ao longo da latitude e longitude está sendo desenvolvida, porém devido à antecipação no envio do relatório não foi apresentada. Futuramente, pretende-se completar o estudo de oscilações ao longo da latitude e longitude, traçar as trajetórias dos ventos e correlacionar variações na coluna total de ozônio com parâmetros da vorticidade isentrópica.

CAPÍTULO 8

TRABALHOS PUBLICADOS E APRESENTADOS

Ao longo do período da bolsa, o bolsista participou dos seguintes eventos com apresentação de trabalhos e/ou publicação em anais:

1. APLICAÇÃO DE ONDELETA NA CARACTERIZAÇÃO DAS ESCALAS DE VARIABILIDADE DO CONTEÚDO TOTAL DE OZÔNIO NO SUL DO BRASIL: 1997 – 2005

BERTAGNOLLI, Caroline; PINHEIRO, Damaris; FERREIRA, Nelson Jesus; SCHUCH, Nelson Jorge. XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis, SC, 27 de Novembro a 01 de Dezembro de 2006. Trabalho completo publicado em anais.

Observação: Trabalho premiado como o melhor Pôster Junior na área Poluição e Química da Atmosfera.

2. ANÁLISE DA SAZONALIDADE DAS ESPESSURAS ÓPTICAS DE AEROSSÓIS OBSERVADAS NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL

POSSANI, Germano; CARBONE, Samara; **BERTAGNOLLI, Caroline;** PINHEIRO, Damaris; ALVALÁ, Plínio; SCHUCH, Nelson Jorge. I Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia, São José dos Campos, SP, 23 a 26 de Outubro de 2006. Resumo publicado em anais.

3. OBSERVAÇÃO DE PERTURBAÇÕES DO BURACO DE OZÔNIO ANTÁRTICO NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL NO ANO DE 2000 ATRAVÉS DE ONDELETAS.

BERTAGNOLLI, Caroline; POSSANI, Germano; PINHEIRO, Damaris; FERREIRA, Nelson Jesus; SCHUCH, Nelson Jorge. XXI Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia e VI Feira de Protótipos, Ijuí, RS, 04 a 06 de Outubro de 2006. Resumo estendido publicado em anais.

Observação: Trabalho Destaque da seção Aeroespacial II.

4. ESTUDO DO MÉTODO DE LANGLEY NA DETERMINAÇÃO DAS ESPESSURAS ÓPTICAS DE AEROSSÓIS NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL.

POSSANI, Germano; **BERTAGNOLLI, Caroline;** CARBONE, Samara; PINHEIRO, Damaris; ALVALÁ, Plínio; SCHUCH, Nelson Jorge. XXI Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia e VI Feira de Protótipos, Ijuí, RS, 04 a 06 de Outubro de 2006. Resumo estendido publicado em anais.

- 5. FUNÇÃO DE CALIBRAÇÃO PARA O GUV A PARTIR DA COMPARAÇÃO COM OS DADOS DO SENSOR PAR**
PEREIRA, Nadiara; **BERTAGNOLLI, Caroline**; PES, Marcelo Pizzuti; PELLISER, Michel Andre, PINHEIRO, Damaris; SCHUCH, Nelson Jorge. 21^a Jornada Acadêmica Integrada, Santa Maria, RS, 28 a 30 de Novembro de 2006. Trabalho completo publicado em anais.
- 6. ANÁLISE DA SAZONALIDADE DA ESPESSURA ÓPTICA DE AEROSSÓIS DE 1997 e 1998 NO OES**
SOARES, Ana Marcelli; POSSANI, Germano; **BERTAGNOLLI, Caroline**; PINHEIRO, Damaris; SCHUCH, Nelson Jorge. 21^a Jornada Acadêmica Integrada, Santa Maria, RS, 28 a 30 de Novembro de 2006. Trabalho completo publicado em anais.
- 7. COMPARAÇÃO DA RADIAÇÃO UV-B EM DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO DE 2005 NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL**
SERAFINI, Luana; PELLISER, Michel Andre, **BERTAGNOLLI, Caroline**; POSSANI, Germano; PINHEIRO, Damaris; SCHUCH, Nelson Jorge. 21^a Jornada Acadêmica Integrada, Santa Maria, RS, 28 a 30 de Novembro de 2006. Trabalho completo publicado em anais.
- 8. COMPARAÇÃO DA RADIAÇÃO UV-A EM DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO DE 2005 NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL**
PELLISER, Michel Andre, SERAFINI, Luana; **BERTAGNOLLI, Caroline**; POSSANI, Germano; PINHEIRO, Damaris; SCHUCH, Nelson Jorge.. 21^a Jornada Acadêmica Integrada, Santa Maria, RS, 28 a 30 de Novembro de 2006. Trabalho completo publicado em anais.
- 9. WAVELETS IN THE STUDY OF THE SECONDARY EFFECTS OF THE ANTARCTIC OZONE HOLE AT SOUTHERN SPACE OBSERVATORY: 2003 – 2005**
BERTAGNOLLI, Caroline; POSSANI, Germano; PINHEIRO, Damaris; SCHUCH, Nelson Jorge. XXIV IUGG 2007, Perugia, Itália, 2 a 13 de Julho de 2007. Resumo publicado em anais.
- 10. INFLUENCE OF BIOMASS BURNING AT AEROSOL OPTICAL THICKNESS ON SOUTHERN BRAZIL FROM 1997 TO 2006**
POSSANI, Germano; SOARES, Ana Marcelli; BERTAGNOLLI, Caroline; PINHEIRO, Damaris; AVALÁ, Plínio C.; SCHUCH, Nelson Jorge. XXIV IUGG 2007, Perugia, Itália, 2 a 13 de Julho de 2007. Resumo publicado em anais.

Além disso, foram aceitos os artigos completos para publicação na revista intitulada **BRAZILIAN JOURNAL OF GEOPHYSICS**:

- **TOTAL OZONE ESTIMATION FROM A SIMPLE MODEL USING UVB AND UVA DATA FROM SOUTHERN SPACE OBSERVATORY, BRAZIL**, cujos autores são **BERTAGNOLLI, Caroline**; PERES, Rafael; CARBONE, Samara; MANFRO, Robinson; PINHEIRO, Damaris K.; SCHUCH, Augusta A. M. P.; NOZAWA, Hiromasa; Yamamoto, Hiromasa; SCHUCH, Nelson Jorge.

- **EMPIRICAL MODEL TO DETERMINE THE ULTRAVIOLET INDEX, OBTAINED THROUGH RADIOMETER AND BREWER SPECTROPHOTOMETER FOR SOUTHERN SPACE OBSERVATORY** cujos autores são CARBONE, Samara; MANFRO, Robinson; PERES, Rafael; **BERTAGNOLLI, Caroline**; PINHEIRO, Damaris K.; SCHUCH, Augusta A. M. P.; KAYANO, Mary; FERREIRA, Nelson J.; MAKITA, Kazuo; SCHUCH, Nelson Jorge.

- **OCCURRENCES OF TROPOSPHERIC OZONE PEAK IN MID-LATITUDES ABOVE THE SOUTHERN SPACE OBSERVATORY (29.4 S LAT, 53.8 W LONG): POSSIBLE CAUSES AND SEASONAL VARIATION** cujos autores são PINHEIRO, Damaris K.; MANFRO, Robinson; PERES, Rafael; CARBONE, Samara; **BERTAGNOLLI, Caroline**; GUARNIERI, Fernando L.; ECHER, Ezequiel; e SCHUCH, Nelson Jorge.

CAPÍTULO 9

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- André, I.R.N. – Análise Geográfica da Variabilidade do Ozônio Estratosférico nas Altas e Médias Latitudes da América do Sul e no Setor Oriental da Antártida na Primavera de 1979/1992 e as Relações com a Dinâmica Atmosférica de 11 a 20 de Outubro de 2000, **Doutorado em Geografia (Tese)** – UNESP/IGCE/Rio Claro, 2001. 186p.
- Ambrizzi, T., Kayano, M. T., Stephenson, D. B. A comparison of global tropospheric teleconnections using observed satellite and general circulation model total ozone column data for 1979-91. **Climate Dynamics**, Vol. 14, p. 133-150, 1998.
- Baldwin, M. P., Gray, L. J., Dunkerton, T. J., Hamilton, K., Haynes, P. H., Randel, W. J., Holton, J. R., Alexander, M. J., Hirota, I., Horinouchi, T., Jones, D. B. A., Kinnersley, J. S., Marquardt, C., Sato, K., and Takahashi, M.: The Quasi-Biennial Oscillation, **Rev. Geophys.**, 39, 179–229, 2001.
- Bowman, K. P.: Global patterns of the quasi-biennial oscillation in total ozone, **J. Atmos. Sci.**, 46, 3328–3343, 1989.
- Big, G. R., El Niño and the Southern Oscillation. **Weather**, Vol. 45, p. 2-8, 1990.
- Brewer Ozone Spectrophotometer Operator's Manual**, MKIV #081, 1999.
- Brewer Ozone Spectrophotometer Operator's Manual**, MKIII #167, 1999.
- Dhomse, S., Weber, M., Wohltmann, I., Rex, M. and Burrows, J. P., On the possible causes of recent increases in northern hemispheric total ozone from a statistical analysis of satellite data from 1979 to 2003. **Atmospheric Chemistry and Physics**. Vol. 6, p. 1165 – 1180, 2006.
- Dobson, G.M.B. – Ozone in the Atmosphere, In: DOBSON, G.M.B. **Exploring the Atmosphere**. Oxford: University Press, p. 111-136, 1968.
- Farman, J. C., B. G. Gardiner and J. D., Shanklin, Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction. **Nature**, Vol. 315, p. 207-210, 1985.
- Fioletov, V. E. and Shepherd, T. G., Seasonal persistence of midlatitude total ozone anomalies. **Geophys. Res., Lett.**, Vol. 30, doi.: 10.1029/2004GL016739, 2003.

- Garcia, R., and S. Solomon, A possible relationship between interannual variability in Antarctic Ozone and the quasi-biennial oscillation. **Geophys. Res., Lett.**, Vol. 14, p. 848-851, 1987.
- Gurney, R.J., J.L. Foster, and C.L. Parkinson., **Atlas of satellite observations related to global change**. Cambridge University Press, Cambridge, 1993.
- Hasebe, F., Dynamical Response of the Tropical Total Ozone to Sea Surface Temperature Changes. **Journal of the Atmospheric Sciences**, Vol. 50, p. 345 – 356, 1993
- Herman, J. R., R. McPeters and D. Larko, Ozone depletion at northern and southern latitudes derived from January 1979 to December 1991 Total Ozone Mapping Spectrometer data. **J. Geophys. Res.**, Vol. 98, p. 12783-12793, 1993.
- Holton, J. R., **An introduction to Dynamic Meteorology**, Elsevier Academic Press, Fourth Edition, 535 p., San Diego, USA, 2004.
- Kane, R. P., and Sahai Y, Latitude dependence of the quasi-biennial oscillation and quasi-triennial oscillation characteristics. **J. Geophys. Res.**, Vol. 103, p. 8477-8490, 1998.
- Kayano, M. T., Principal modes of the total ozone on the Southern Oscillation timescales and related temperature variations. **J. Geophys. Res.**, Vol. 102, p. 25797-25806, 1997.
- Kirchoff, V. W. J. H.; Schuch, N. J.; Pinheiro, D. K.; Harris, J. M.; Evidence for an ozone hole perturbation at 30° south. **Atmospheric Environment**, Vol. 33, N° 9, pp. 1481-1488, 1996.
- Kumar, P., FoufoulaGeorgiou, E., Wavelet analysis for geophysical applications. **Reviews of Geophysics** **35 (4)**, p. 385-412, 1997.
- Meyers, S. D., Kelly, B. G. e O'Brien, J. J., An Introduction to Wavelet Analysis in Oceanography and Meteorology: with Application to the Dispersion of Yanai Waves. **Mon. Wea. Rev.**, Vol. 121, p. 2858-2866, 1993.
- Moran, J. M., Morgan, M. D. e Pauley, P. M., **Meteorology: The Atmosphere and the Science of Weather**. New York: Macmillan, 517p., 1994.
- Philander, S. G., El Niño and La Niña. **J. Atmos. Sci.**, Vol. 42, n°. 23, p. 2652-2662, 1985.
- Salby, Murry L., **Fundamentals of atmospheric physics**. Academic Press, San Diego, 1996.

- Shiotani, M., Annual, quasi biennial, and El Niño-Southern Oscillation (ENSO) timescale variations in equatorial total ozone. **J. Geophys. Res.**, Vol 97, p. 7625 – 7633, 1992.
- Solomon, S. Stratospheric ozone depletion: a review of concepts and history. **Reviews of Geophysics**, v. 37, n. 3, p. 275 – 316, 1999.
- Stanford, J. L., Ziemke, J. R., McPeters, R. D., Krueger, A. J. Bhartia, P. K., Spectral analyses, climatology and inter-annual variability of Nimbus-7 TOMS version 6 Total column Ozone. **Bull Amer. Meteorol Soc.**, Vol. 77, p. 353-357, 1996.
- Stern, A. C.; Boudel, R. W.; Turner, D. B.; Fox, D. L. **Fundamentals of air pollution**. Orlando: Academic Press, 1984. 530p.
- Torrence, C. e Compo, G. P., **A practical guide to wavelet analysis**. Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol. 79, p. 61-78, 1998.
- Vianello, R. L., Alves, A. R., **Meteorologia Básica e Aplicações**, Editora UFV, Viçosa, 449 p., 2000.
- Wakamatzu, S. et al. Observational Study of Stratospheric Ozone Intrusions into the Lower Troposphere, **Atmospheric Environment**, Pittsburg, v.23, n. 8, p. 1815 – 1826, 1989.
- Weng, H. Y., Lau, K. M., Wavelet, period-doubling and time frequency localization with application organization of convection over the tropical western Pacific. **Journal of Atmospheric Sciences**, Vol. 51, p. 2523 - 2541, 1994.
- Whitten, R. C. and Prasad, S. S., **Ozone in Free Atmosphere**. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 288 p., 1985.
- WMO: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998, Global Ozone Research and Monitoring Project Report 44, World Meteorological Organization, Geneva, <http://www.wmo.ch/web/arep/ozone.html>, 1999.
- WMO: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002, Global Ozone Research and Monitoring Project Report 47, World Meteorological Organization, Geneva, <http://www.wmo.ch/web/arep/ozone.html>, 2003.