



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INVESTIGAÇÃO DA INTERAÇÃO DE ONDAS PLANETÁRIAS COM O BURACO DE OZÔNIO ANTÁRTICO UTILIZANDO DADOS DE SATÉLITES E INSTRUMENTOS DE SOLO.

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE – CNPq/MCTIC)**

**Mateus Schmitz Venturini
(UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)
CRS/COCRE/INPE–MCTIC
E-mail: mateusventurini97@gmail.com**

**Dr. José Valentin Bageston
(Pesquisador do CRS/COCRE/INPE–MCTIC, Orientador).
E-mail: bageston@gmail.com**

COLABORADORES

**Dr. Nelson Jorge Schuch (CRS/COCRE/INPE)
Dra. Damaris Kirsch Pinheiro (PPGMet/UFSM)**

Julho de 2019



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO:

Título:

INVESTIGAÇÃO DA INTERAÇÃO DE ONDAS PLANETÁRIAS COM O BURACO DE OZÔNIO ANTÁRTICO UTILIZANDO DADOS DE SATÉLITES E INSTRUMENTOS DE SOLO.

Processo: 129536/2017-2

Aluno Bolsista no período de Agosto/2018 a Julho/2019:

Mateus Schmitz Venturini

Acadêmico do Curso de Engenharia Aeroespacial

Centro de Tecnologias – CT/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Orientador:

Dr. José Valentin Bageston

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/COCRE/INPE – MCTIC

Co-Orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/ COCRE/INPE-MCTIC

Dra. Damaris Kirsch Pinheiro

Programa de Pós-Graduação em Meteorologia – Universidade Federal de Santa Maria – PPGMet/UFSM

Local de Trabalho/Execução do Projeto:

Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica – CRS/COCRE/INPE

Trabalho desenvolvido no âmbito da parceria INPE/MCTIC & UFSM, por meio do Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica - LMLA/CRS/COCRE /INPE – MCTIC e com apoio do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT – UFSM.

RESUMO

O Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica – PIBIC/INPE-CNPq/MCTIC, apresenta as atividades realizadas Mateus Schmitz Venturini, no período de Agosto de 2018 até Julho de 2019, referentes ao projeto de pesquisa “INVESTIGAÇÃO DA INTERAÇÃO DE ONDAS PLANETÁRIAS COM O BURACO DE OZÔNIO ANTÁRTICO UTILIZANDO DADOS DE SATÉLITES E INSTRUMENTOS DE SOLO”. Foi feita uma revisão teórica acerca da fenomenologia do Buraco de Ozônio Antártico e sua relação com o sul do Brasil. Além disso, buscou-se conhecimento quanto à dinâmica e a quebra de filamentos do buraco de ozônio, causador do chamado efeito secundário, e da teoria de ondas planetárias. No presente estudo foram analisados dados dos satélites AURA/OMI e AURA/MLS, assim como do instrumento Brewer, a fim de investigar a ocorrência do Buraco de Ozônio Antártico sobre a região da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) durante os anos de 2010 a 2012. A partir desta análise, foi observada grandes picos de variação na concentração de ozônio durante os meses de setembro e outubro. Ao se comparar os resultados obtidos neste trabalho com pesquisas realizadas por outros autores, confirmou-se que o nível de concentração de ozônio tem diminuído significativamente nos últimos anos. Além disso, verificou-se que há influência do BOA em regiões de baixa latitude.

Palavras-chave: Buraco de Ozônio Antártico. Efeito Secundário. Camada de Ozônio.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1 – Concentração de ozônio em relação à altitude para uma região do Hemisfério Norte (35° N).	8
Figura 2 – Perfil vertical da temperatura média atmosférica.....	9
Figura 3 – Quantidade total de ozônio (em Dobsons) no Polo Sul em Julho de 2018. .	10
Figura 4 - Satélite AURA (EOS CH-1) e seus instrumentos. Fonte: NASA (2018).....	14
Figura 5 - Espectrofotômetro Brewer nas estações de São Marinho da Serra (a) e na EACF (b).....	15
Figura 6 - Coluna Total de Ozônio na Região da EACF entre os anos de 2010 e 2012, resolução espectral de 0.25°, instrumento OMI.....	16
Figura 7 - Coluna Total de Ozônio na Região da EACF entre os anos de 2010 e 2012, resolução espectral de 1°, instrumento TOMS.....	17
Figura 8 - Variação da coluna total de ozônio ao longo da Península Antártica com foco na região da EACF (em preto). Longitude variando de 60 a 65° S.....	18
Figura 9 - Variação na concentração total de ozônio na região da EACF ($\pm 2.5^\circ$). Análise do ano de 2010 (a), Agosto a Novembro de 2010 (b) e Outubro de 2010 (c)....	19
Figura 10 - Número de eventos identificados do BOA ao longo dos anos.....	20

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BOA	Buraco de Ozônio Antártico
IDL	Serviço de Informação e Documentação
EOS	Earth Observing System
ESBOA	Efeito Secundário do Buraco de Ozônio Antártico
IC	Iniciação Científica
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JAI	Jornada Acadêmica Integrada
MLS	Microwave Limb Sounder
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OES	Observatório Espacial do Sul
OMI	Ozone Monitoring Instrument
SBGEA	Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia
SICINPE	Seminário de Iniciação Científica e Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação
UFMS	Universidade Federal de Santa Maria

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	6
2 REVISÃO TEÓRICA.....	8
2.1 Ozônio Atmosférico	8
2.2 Buraco de ozônio	10
2.3 Relação do ozônio com a temperatura.....	11
2.4 Efeito Secundário do Buraco de Ozônio Antártico	11
3 MATERIAIS E MÉTODOS	13
4 RESULTADOS	15
4.1 Análise das Colunas Totais de Ozônio	15
4.2 Variação de Ozônio em Relação à Latitude	16
4.2.1 Análise da Península Antártica	16
4.2.2 Análise na EACF.....	17
4.3 Comparação com Pesquisas Relacionadas	18
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Neste relatório são apresentadas as atividades desenvolvidas no período de Agosto de 2018 até Julho de 2019 referentes ao Projeto de Iniciação Científica intitulado “INVESTIGAÇÃO DA INTERAÇÃO DE ONDAS PLANETÁRIAS COM O BURACO DE OZÔNIO ANTÁRTICO UTILIZANDO DADOS DE SATÉLITES E INSTRUMENTOS DE SOLO” realizado pelo bolsista Mateus Schmitz Venturini. O plano de trabalho da bolsa consiste nas seguintes etapas:

- I. Estudo dos instrumentos a serem utilizados nesse projeto. Citam-se: Espectrofotômetro Brewer, Radares Meteorológicos e Satélite OMI.
- II. Familiaridade com os dados dos instrumentos supracitados;
- III. Pesquisa e análise dos dados obtidos;
- IV. Investigação de fenômenos físicos;
- V. Apresentação de trabalhos e escrita de resumos para eventos (SICINPE, JAI, etc.);
- VI. Escrita de um novo artigo referente ao projeto.

Quanto à metodologia aplicada nesse projeto, delimitam-se:

- a) Estudar a atmosfera terrestre: composição e estrutura vertical segundo a temperatura; estudar a interação, por meio de ondas, entre as diferentes camadas da atmosfera, principalmente entre a Estratosfera e Mesosfera;
- b) Estudar a teoria de Ondas Planetárias: identificar e caracterizar os principais tipos/modos de ondas planetárias;
- c) Estudar o Buraco de Ozônio Antártico (BOA): identificar os principais períodos de ocorrência do buraco de ozônio e quando esse buraco pode ser quebrado por dinâmica de ondas planetárias;
- d) Analisar dados de satélite e de superfície: utilizar rotinas de programação para, primeiramente, organizar esses dados e posteriormente analisar as séries temporais das diferentes variáveis (temperaturas e ventos) obtidas por medidas de satélite e modelo de reanálise. Analisar os dados de imagens do buraco de ozônio e tentar correlacionar essas

informações com os resultados de ondas planetárias. Analisar dados do espectrofotômetro Brewer de superfície e correlacionar com os dados do buraco de ozônio visto por satélites (nos períodos em que os filamentos do buraco de ozônio se desprendem e se deslocam para o sul do Brasil).

De maneira a documentar o processo efetivado durante a efetividade da bolsa, serão apresentadas as etapas realizadas pelo bolsista Mateus Schmitz Venturini. Entre os meses de Agosto e Dezembro de 2018, o aluno de Iniciação Científica (IC) pesquisou sobre os instrumentos que foram utilizados no desenvolvimento deste projeto. Além disso, Além disso, o aluno Mateus apresentou parte dos resultados obtidos no processo de bolsa anterior e deste no VII Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia (SBGEA) no mês de Novembro de 2018. Nos meses de Janeiro a Março de 2019, foram analisados os dados dos instrumentos a cerca de ozônio nas regiões estudadas. Durante Abril e Junho, seguiram-se as análises de dados, adicionando comparações com resultados obtidos por outros pesquisadores. Por fim, durante o mês de Julho, o aluno de IC escreveu resumo para o Seminário de Iniciação Científica e Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (SICINPE), e redigiu este relatório para o PIBIC/INPE.

O presente Relatório Final está estruturado da seguinte forma:

- O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica realizada durante o período de desenvolvimento da pesquisa;
- O Capítulo 3 refere-se à instrumentação e metodologia utilizada;
- O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos nas análises dos dados;
- O Capítulo 5 apresenta as considerações finais do bolsista sobre o Projeto desenvolvido no período da vigência da bolsa, assim como o que necessita ser finalizado e/ou pode ser adicionado pra trabalhos futuros; e
- As Referências utilizadas estão no Capítulo 6.

2 REVISÃO TEÓRICA

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica dos assuntos trabalhados durante o desenvolvimento das atividades dos bolsistas durante o segundo semestre de 2017 e primeiro semestre de 2018.

2.1 Ozônio Atmosférico

Assim como vapor d'água, o ozônio (O_3) é um dos compostos essenciais para a vida no planeta Terra. Uma vez que este controla o balanço radioativo do planeta através das reações das moléculas com os raios ultravioletas. A maior concentração de ozônio (de 100 a 130 μPa) é encontrada na Estratosfera (aproximadamente em 25 km de altitude, podendo variar com a latitude) (Guarnieri, 2004). Estima-se que 90% da concentração de ozônio está localizada na Estratosfera e os outros 10% na alta Troposfera (Seinfeld, 1963). A Figura 1 apresenta a variação na concentração de ozônio pela altitude.

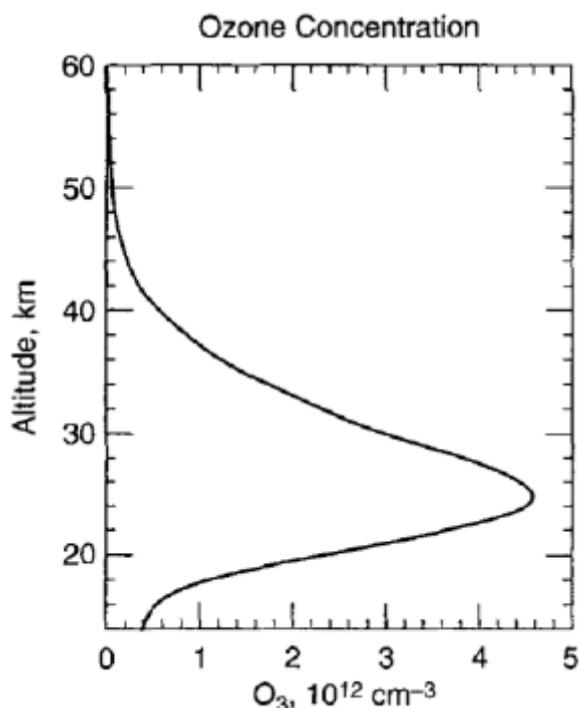


Figura 1 – Concentração de ozônio em relação à altitude para uma região do Hemisfério Norte ($35^\circ N$).

Fonte: Adaptado de Seinfeld (1963).

Essa região de concentração de ozônio é delimitada “Camada de Ozônio”. A Camada de Ozônio atua como uma barreira contra os raios ultravioletas do tipo C (UV-C) e B (UV-B). A radiação do tipo B é extremamente nociva aos seres vivos, pois está relacionada com as causas de doenças como câncer de pele (Salby, 1996). A partir dessa

absorção de radiação do tipo B, a moléculas de ozônio liberam energia térmica e, conseqüentemente, elevam a temperatura de parte de uma região da camada de ozônio (Slusser, 1999). Dessa forma, é possível ver pela Figura 2, que há um aumento na temperatura atmosférica na região onde se encontra a camada de ozônio.

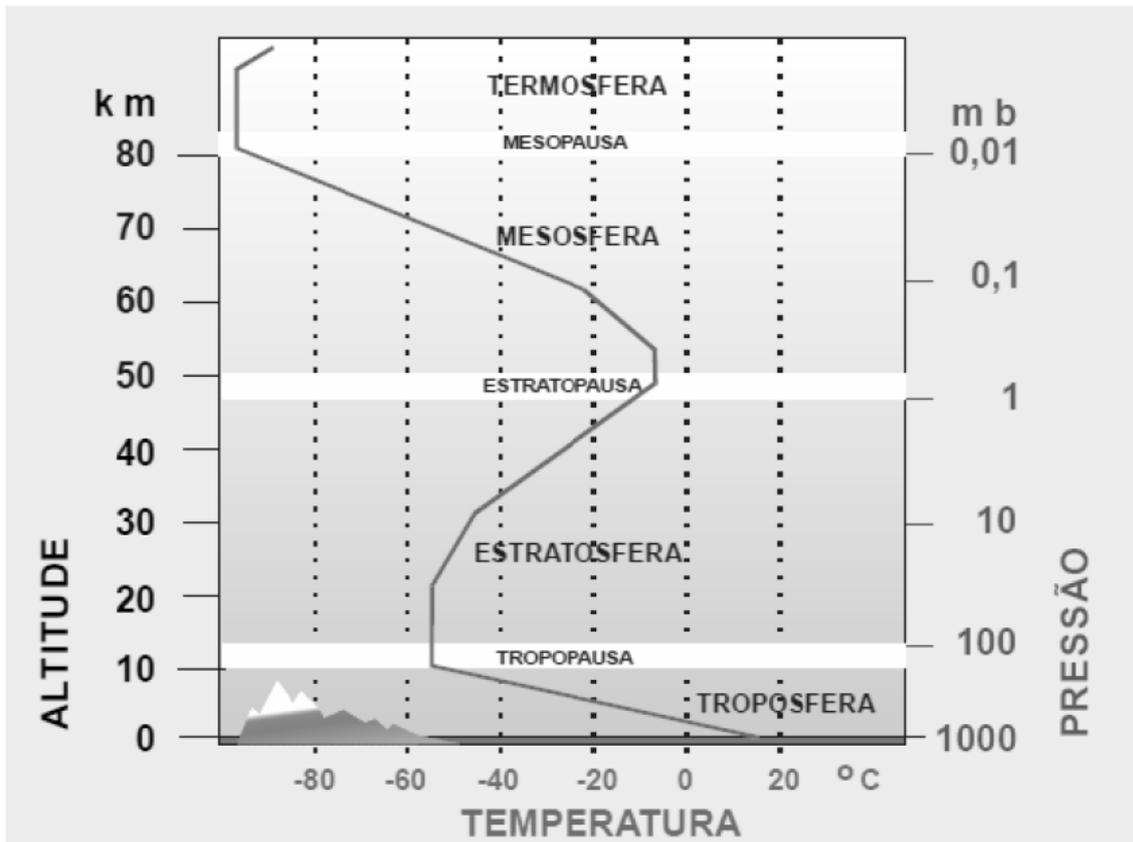


Figura 2 – Perfil vertical da temperatura média atmosférica. Fonte: Silva (2011).]

A maior produção de ozônio ocorre nos trópicos, devido a receberem maiores quantidades de radiação solar direta. No entanto, a partir da atuação das massas de ar e da chamada “Circulação Brewer Dobson”, a maior quantidade de ozônio é encontrada nos polos terrestres (Butchart, 2014). A Figura 3 apresenta a quantidade total de ozônio no Polo Sul em Julho de 2018.

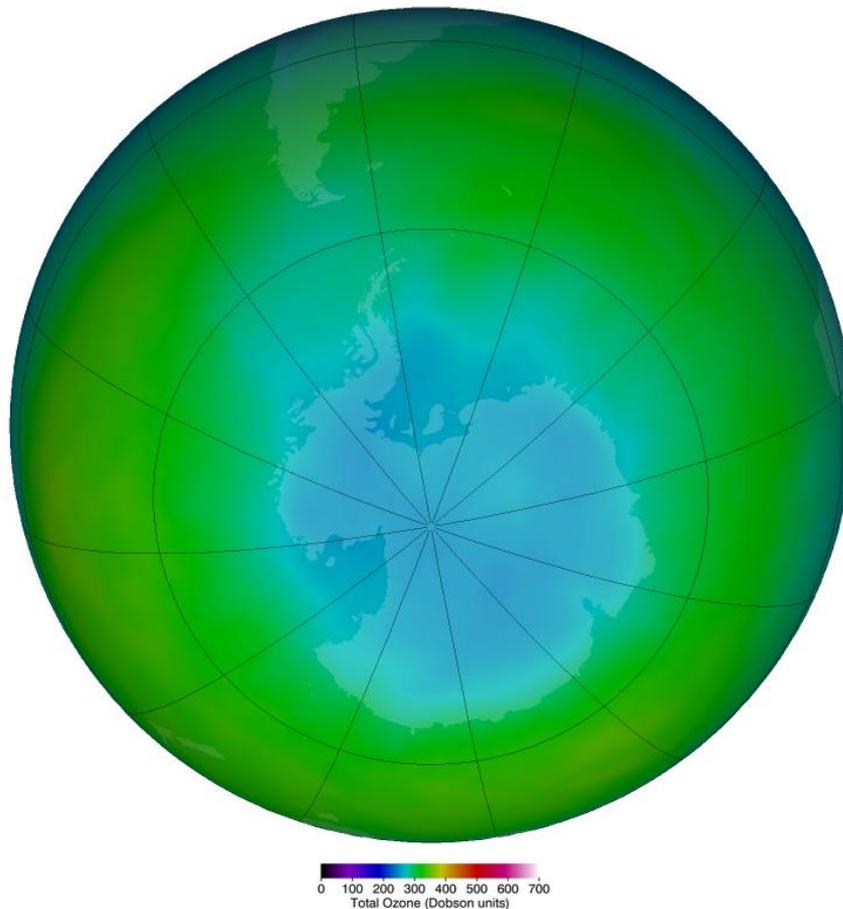


Figura 3 – Quantidade total de ozônio (em Dobsons) no Polo Sul em Julho de 2018. Fonte: NASA. (NASA, 2018)

Outro fator a se considerar é vorticidade potencial, a qual está ligada com o estudo do movimento e massas de ar ricas em ozônio e de seus filamentos. Estes filamentos possuem alto gradiente de vorticidade potencial e são encontrados no centro dessas massas de ar (Pinheiro, 2011).

2.2 Buraco de ozônio

Em 1985 o cientista Joseph Farmam apresentou um grande problema à sociedade científica e à população em geral. A partir da análise de dados de ozônio na região da Antártica durante a primavera austral, Joseph descobriu uma diminuição significativa na concentração de ozônio dessa região e uma redução da temperatura na estratosfera durante esse período (Farmam, 1985). Esse caso foi determinado como “Buraco de Ozônio Antártico” (BOA), que ao longo dos anos foi estudado por diversos outros

cientistas. Em termos de quantidade de ozônio, uma região é considerada “Buraco de Ozônio” quando a coluna total de ozônio possui valores inferiores a 220 UD.

Durante o inverno polar, na Antártica há a formação de um ciclone na região da estratosfera em torno da região polar. Essa formação de grande escala é chamada de “Vórtice Polar”, este ciclone permanece estável durante o inverno envolvendo uma região ar de baixíssima temperatura. Essa estabilidade mantém o ar frio em seu centro e o ozônio ao seu redor (Bresciani, 2017)

À medida que a primavera austral se aproxima e a radiação solar volta a afetar a região polar, ocorre o enfraquecimento do Vórtice Polar e a diminuição expressiva de ozônio. É estimado que a concentração de ozônio da região polar pode reduzir pela metade na primavera em relação ao inverno polar (Solomon, 1999).

2.3 Relação do ozônio com a temperatura

Como já explicado, a liberação de energia térmica das moléculas de ozônio que receberam radiação do tipo B eleva a temperatura do ambiente. Dessa forma, há um acréscimo de temperatura na região da Estratosfera onde se encontra a camada de ozônio (Seinfeld, 1963). Outros fatores também influenciam na absorção e na variabilidade da temperatura atmosférica, mas o escopo deste trabalho é estudar a fenomenologia do buraco de ozônio.

No entanto, quando se tem o fenômeno do buraco de ozônio antártico, a concentração de ozônio diminui muito nessa região e, assim, a radiação ultravioleta não é mais absorvida e atinge diretamente a superfície terrestre e os seres vivos. Conforme isso ocorre, essa região tem sua temperatura diminuída e a incidência de radiação UV-B cresce consideravelmente (Gettelman, 2011).

2.4 Efeito Secundário do Buraco de Ozônio Antártico

O BOA, como já diz o nome, afeta a região do sul do polo terrestre. No entanto, pode ocorrer do BOA afetar direta ou indiretamente regiões de latitudes próximas, como a

região Sul do Brasil, Uruguai e Argentina. Essa influência é conhecida como “Efeito Secundário do Buraco de Ozônio Antártico” (ESBOA).

O ESBOA ocorre quando parte do vórtice polar se desprende em filamentos que avançam em direções contrárias ao polo para médias latitudes. As regiões afetadas por estes filamentos sofrem um decréscimo de ozônio que pode durar de 7 a 20 dias, como mostrado por Kirchoff et. al. (1996).

A influência é dita como indireta quando os filamentos que se desprenderam se movimentam para uma região de média latitude e lá influenciam a concentração de ozônio local. No entanto, a influência direta é quando a borda do vórtice polar atinge as regiões de médias latitudes sem a necessidade do desprendimento de filamentos. A situação é pior para o segundo caso, pois os filamentos que se desprenderam não diminuem tanto a concentração de ozônio quanto o vórtice em si (Lary, 1995).

O primeiro caso observado foi relatado por Kirchoff et. al. (1996), que identificou massas de ar pobres em ozônio vindas de regiões da Antártica em direção às médias latitudes. Pinheiro et. al. (2011) e Bresciani et. al. (2018) detalharam casos de ocorrência do ESBOA no Sul do Brasil e Uruguai. Outros estudos mostram que não apenas o Sul da América do Sul foi afetado, mas também a Nova Zelândia (Brinksma, 1998) e regiões do Sul da África (Perez, 2000; Semane, 2005).

Além da variação da temperatura, o principal problema da ocorrência do ESBOA em regiões de médias latitudes é a forma como a radiação UV-B afeta a vida dos seres vivos. Em regiões de média latitude estão situadas muitas civilizações e culturas, toda a população, fauna e flora dessas regiões é atingida diretamente pelos raios ultravioletas que não foram devidamente absorvidos pela Camada de Ozônio, ocasionando diversos problemas, como doenças de pele (no caso da população).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

No Capítulo 3 são apresentadas as metodologias de análise de dados, assim como a validação dos mesmos, dos principais equipamentos utilizados no período da bolsa.

O satélite AURA, do programa Earth Observing System (EOS), da NASA possui órbita quase polar, inclinação de 98° e está a 705 km de altura. A bordo dele está o instrumento Microwave Limb Sounder (MLS), que analisa as microondas termais (French; Mulligan, 2010). O AURA tem a capacidade de varrer o globo terrestre durante o dia e a noite, mesmo com presença de nuvens glaciares e aerossóis (AURA/MLS, 2018).

Outro instrumento utilizado para o estudo foi o Ozone Monitoring Instrument (OMI) também a bordo do satélite a bordo do satélite AURA. O instrumento OMI identifica dados da coluna total de ozônio e de outros parâmetros atmosféricos relacionados à química do ozônio e ao clima (OMI, 2018).

A Figura 4 apresenta o satélite AURA e os instrumentos supracitados.

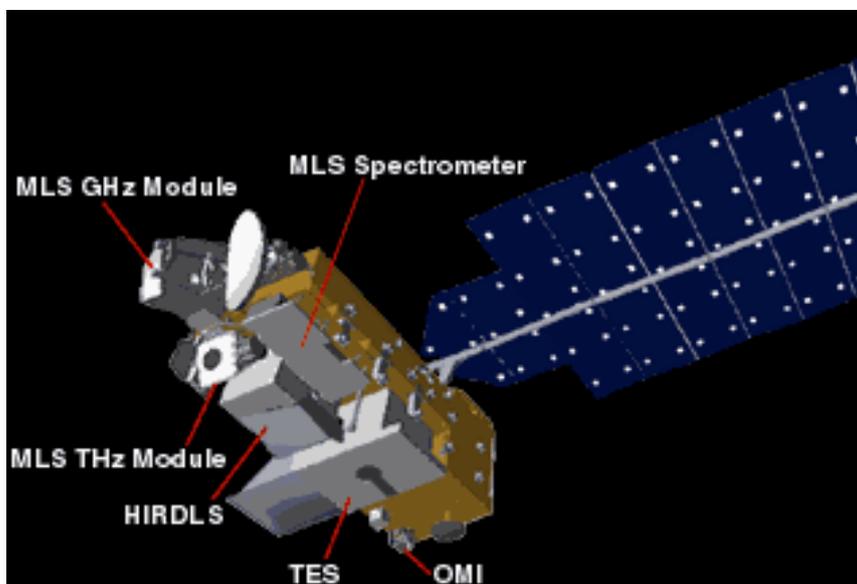


Figura 4 – Satélite AURA (EOS CH-1) e seus instrumentos. Fonte: NASA (2018).

Para auxiliar na análise dos dados de ozônio foi utilizado do instrumento de solo Brewer, um Espectrofotômetro, que identifica a diminuição na quantidade de ozônio de

uma região. O Espectrofotômetro Brewer é utilizado para analisar as colunas totais de ozônio nas regiões determinadas e, por sua vez, identificar diminuições na coluna total de ozônio (em DU) que podem estar ligadas com o BOA. Seu funcionamento baseia-se na medição do espectro de irradiação na faixa do ultravioleta (UV-B), a partir disso, é possível estimar a coluna total dos gases atmosféricos, como o ozônio. A Figura 1.a apresenta o espectrofotômetro Brewer presente na estação terrena em São Martinho da Serra/RS e a Figura 1.b o mesmo instrumento da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), situada a $62^{\circ}05'07''\text{S}$ $58^{\circ}23'29''\text{W}$.

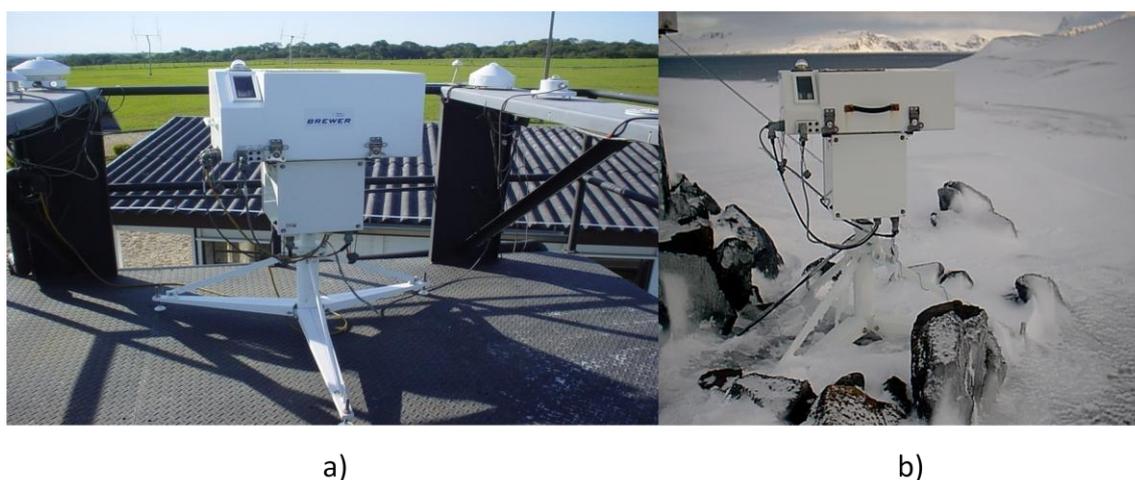


Figura 5 – Espectrofotômetro Brewer nas estações de São Martinho da Serra (a) e na EACF (b). Fonte: Arquivo de imagens do Laboratório de Ozônio da UFSM.

No presente trabalho os perfis de coluna total de ozônio e variação de ozônio pela latitude dos anos de 2010 a 2012 foram analisados. A explicação da análise foi feita a partir de dados dos satélites AURA/MLS, AURA/OMI e Espectrofotômetro Brewer, conforme apresentados nesta seção, a partir da plataforma *Giovanni* da NASA.

O trabalho também buscava entender como a variação do ozônio em certas regiões, a partir da ocorrência do ESBOA, poderia influenciar na variação de temperatura, assim como entender se há correlação entre ondas planetárias e o BOA. No entanto, não foi possível analisar os dados de temperatura e ondas planetárias neste período, o que ficará para uma próxima análise futura.

4 RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos a partir da análise das colunas totais de ozônio nas regiões da EACF e da variação de ozônio em relação à longitude entre os anos de 2010 e 2012.

4.1 Análise das Colunas Totais de Ozônio

O instrumento Brewer e o AURA/OMI foram utilizados, a partir da plataforma *Giovanni*, para identificar as colunas totais de ozônio, conforme mostram as Figura 6 e 7. Estas diferem apenas pela resolução dada pelo instrumento, 0.25° para o primeiro (OMI) e 1° para o segundo (TOMS), o que não afeta demasiadamente nos resultados obtidos.

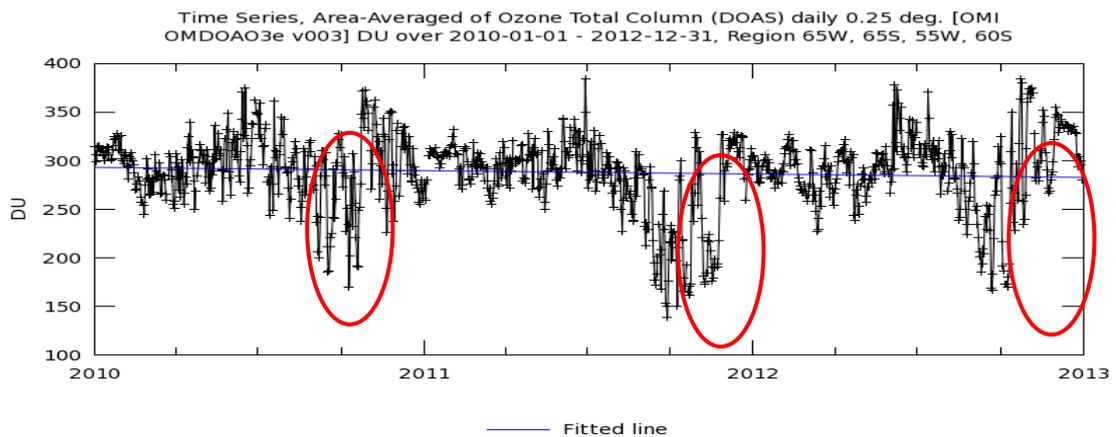


Figura 6 – Coluna Total de Ozônio na Região da EACF entre os anos de 2010 e 2012, resolução espectral de 0.25° , instrumento OMI. Fonte: Plataforma *Giovanni*/NASA.

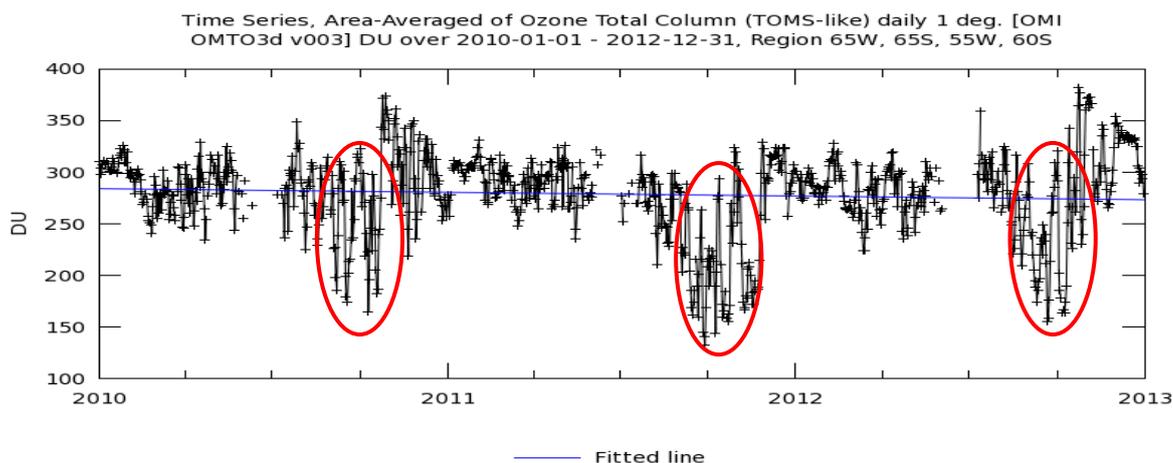


Figura 7 – Coluna Total de Ozônio na Região da EACF entre os anos de 2010 e 2012, resolução espectral de 1°, instrumento TOMS. Fonte: Plataforma *Giovanni*/NASA.

Notam-se em ambas as Figura 6 e 7 que durante os entre os meses de Setembro e Novembro (conforme notação em vermelho) há uma diminuição significativa nos valores de ozônio. Isso deve estar ligado com a ocorrência do BOA, uma vez que este ocorre predominantemente durante estes meses.

4.2 Variação de Ozônio em Relação à Latitude

Para esta análise, foram utilizadas duas abordagens, a primeira análise foi realizada com latitudes entre 60 e 65° S, mas com longitude variando ao redor do globo, de forma a identificar quais as proporções do ESBOA, ao longo da Península Antártica. Enquanto que a segunda análise evidencia a EACF, com grade de variação de $\pm 2.5^\circ$ tanto em latitude quanto longitude, de forma identificar a variação de concentração ozônio na região da EACF.

4.2.1 Análise da Península Antártica

De forma a entender como o ESBOA pode influenciar em regiões de baixa e média latitude, é necessário antes entender como o BOA atua região de sua origem. Para isso a Figura 8 apresenta a variação da concentração de ozônio ao longo da região da Península Antártica. Na figura, também é apresentada a região onde a EACF se encontra, que será verificada na próxima seção.

Hovmoller, Latitude-Averaged of Ozone Total Column (TOMS-like) daily 1 deg. [OMI OMT03d v003] DU over 2010-10-01 - 2010-10-31, Region 180W, 65S, 180E, 60S

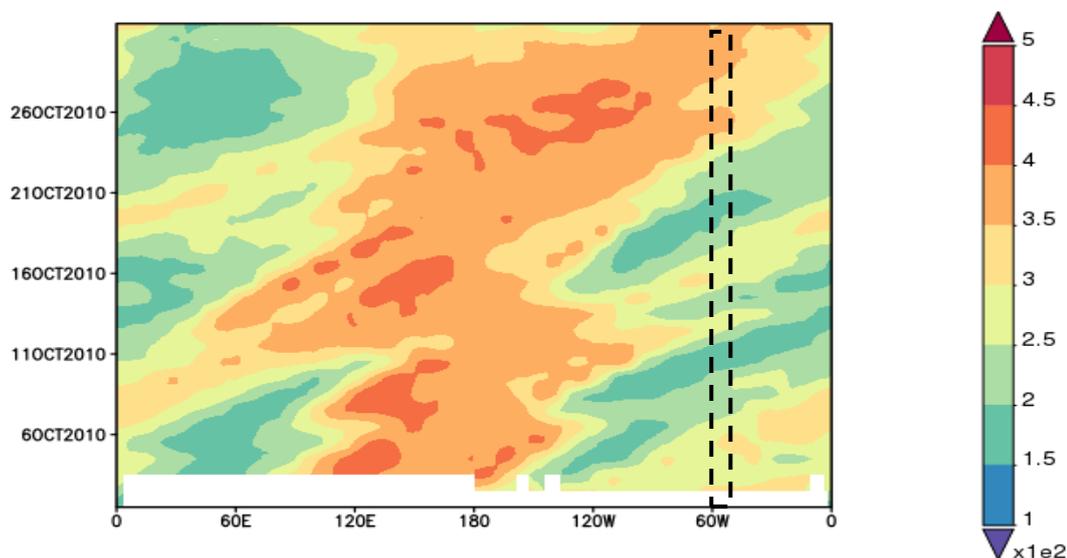


Figura 8 – Variação da coluna total de ozônio ao longo da Península Antártica com foco na região da EACF (em preto). Longitude variando de 60 a 65° S. Fonte: Plataforma *Giovanni*/NASA.

Nota-se pela Figura 8 que a EACF está situada em uma região de alta ocorrência do BOA, uma vez que os valores de concentração de ozônio beiram os 150-200 DU. Dessa forma, a seção seguinte analisa a variação da concentração de ozônio na região da EACF, apenas.

4.2.2 Análise na EACF

De forma a complementar a análise apresentada na seção anterior, selecionou-se o ano de 2010 como forma de exemplo para apresentar a variação da concentração de ozônio ao longo de um ano (Figura 9.a). Após isso, nota-se que os menores valores de concentração do ozônio estão presentes, novamente, entre os meses de Setembro e Novembro. Para isso, faz-se outra análise, dessa vez, tendo apenas esse intervalo de medidas (Figura 9.b). Por fim, ao analisar este intervalo reduzido, pode-se verificar que durante os meses de Setembro e Outubro que ocorrem, principalmente, as grandes quedas na concentração de ozônio. A Figura 9.c, por sua vez, evidencia que a concentração de ozônio na região próxima à EACF durante o mês de Outubro de 2010

chegou a valores inferiores a 200 DU, valor muito baixo quando comparada à média anual que é de mais de 300 DU.

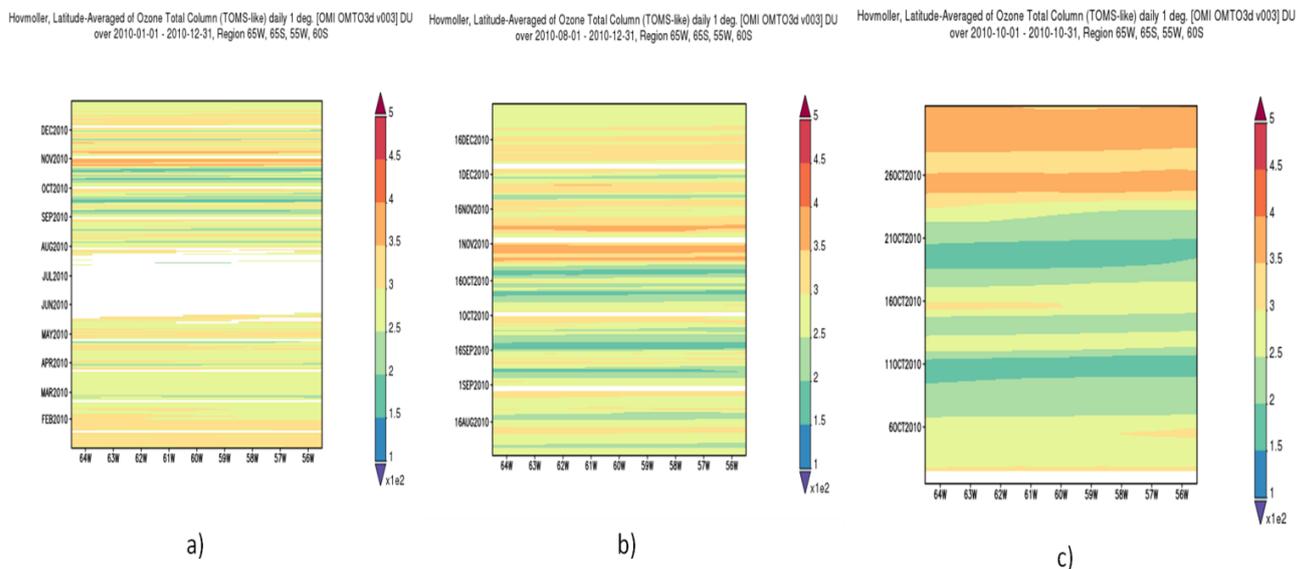


Figura 9 – Variação na concentração total de ozônio na região da EACF ($\pm 2.5^\circ$). Análise do ano de 2010 (a), Agosto a Novembro de 2010 (b) e Outubro de 2010 (c). Fonte: Plataforma *Giovanni*/NASA.

Ao realizar estas mesmas análises nos outros anos, 2011 e 2012, chegaram-se a conclusões idênticas, ou seja, os meses de Setembro e Outubro são aqueles que possuem as principais ocorrências do BOA, e devem ser estudados cada vez mais.

4.3 Comparação com Pesquisas Relacionadas

Diversos autores realizaram análises relacionadas a este trabalho, como o caso de da Silva (2008), Pinheiro *et. al* (2011) e Bresciani *et. al* (2018), onde todos os autores estudaram a influência no ESBOA na região Sul do Brasil.

Silva (2008) utilizou dados dos instrumentos TOMS e OMI – ambos utilizados nesse projeto – para identificar eventos de mínima concentração de ozônio sobre a região de Santa Maria, RS (29°S , 54°W) durante os anos de 1987 e 2007. Silva (2008) conclui que, durante os anos analisados, as médias para a coluna total de ozônio na região eram de $\mu_{set} = 299.7 \pm 18.94 \text{ DU}$, para setembro, e $\mu_{out} = 292.62 \pm 17.42 \text{ DU}$, para outubro. Sua análise apresenta correlações entre a diminuição da concentração de ozônio na Península Antártica e a região de Santa Maria.

Pinheiro *et. al* (2011), por sua vez, analisou dados de coluna total de ozônio da região de São Martinho da Serra, RS, também utilizando os instrumentos OMI e TOMS. Em sua análise, Pinheiro *et. al* (2011) identificou um total de 7 eventos do ESBOA durante os anos de 2010 e 2011 na região, encontrando uma média na coluna total de ozônio no mês de Outubro de $\mu_{out} = 276.5 \pm 7.8 DU$. Essa análise complementa diretamente o que é visto neste trabalho, onde variações na coluna total de ozônio na região da Península Antártica, durante os meses de Setembro e Outubro, influenciam diretamente na concentração de ozônio em regiões de baixa latitude, como o Sul do Brasil. Schuch *et. al* (2015) confirma o número de eventos encontrados na análise de Pinheiro *et. al* (2011), assim como apresenta diversas outras ocorrência entre os anos de 1979 e 2013, conforme Figura 10.

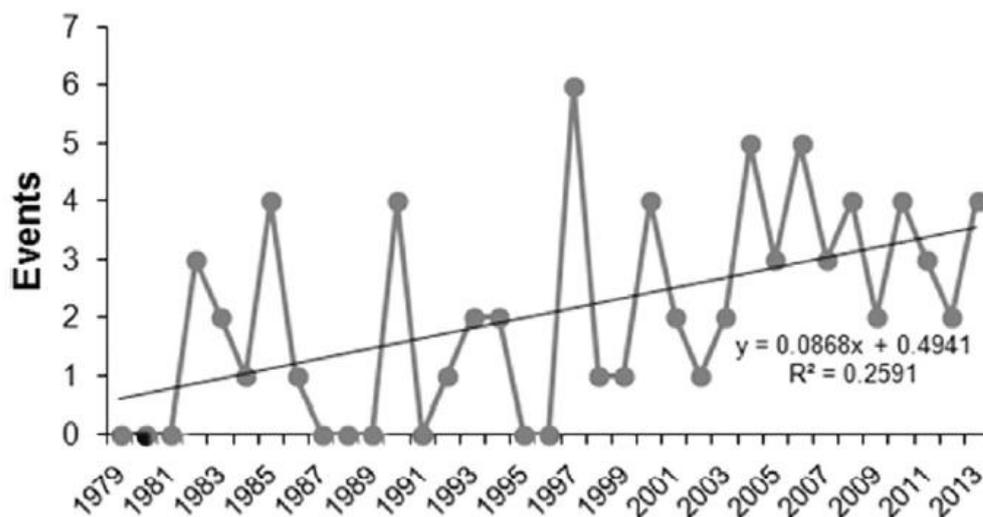


Figura 10 – Número de eventos identificados do BOA ao longo dos anos. Fonte: Modificado de Schuch (2015).

Bresciani *et. al* (2018) complementa os resultados encontrados por ambos autores citados utilizando de mais instrumentos, como satélite TIMED/SABER, dados via balão atmosférico e GPS por Rádio Ocultação. Em sua pesquisa, Bresciani *et. al* (2018), identifica valores de variação da coluna total de ozônio na região de Santa Maria, RS, ainda menores que os de Pinheiro *et. al* (2011), onde encontrou valores mínimos de concentração de ozônio de 225 DU no mês de Outubro de 2016.

Dessa forma, ao analisar os resultados encontrados nesse trabalho e nos dos autores citados, evidencia-se o fato de que a coluna total de ozônio, na região da Península Antártica e das região de baixa latitude, têm diminuído drasticamente nos

últimos anos, o que pode influenciar na vida dos seres vivos, uma vez que a Camada de Ozônio nos protege da incidência de radiação UVA e UVB. Pesquisas como a de Solomon *et. al* (2016) buscam formas de evitar esta diminuição na concentração de ozônio a fim de proporcionar melhorias na qualidade de vida do seres humanos e evitar os problemas já citados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste trabalho apresentam que o Buraco de Ozônio Antártico pode influenciar regiões de médias latitudes, como o Sul do Brasil, Uruguai e Argentina. A partir da realização de comparações com vários instrumentos, tanto de solo como satélites, foi possível evidenciar essa influência. Além disso, pode-se notar que este é um assunto de grande importância, já que diversos outros pesquisadores realizaram análises semelhantes em diferentes regiões do globo.

Ao comparar os resultados deste trabalho com o de outros pesquisadores, pode-se notar que, com o passar dos anos, a coluna total de ozônio, tanto na região da Península Antártica, como em regiões de baixa latitude, têm diminuído consideravelmente. O que pode estar atrelado com diversas atividades relacionadas ao efeito estufa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AURA/MLS. 2018. DISPONÍVEL EM: < [HTTPS://MLS.JPL.NASA.GOV/INDEX-EOS-MLS.PHP](https://mls.jpl.nasa.gov/index-eos-mls.php)>. ACESSO EM: 18 DE JULHO DE 2018.

BRESCIANI, C.; ANÁLISE DE PERFIS VERTICAIS DE OZÔNIO E TEMPERATURA EM EVENTOS DE INFLUÊNCIA DO BURACO DE OZÔNIO ANTÁRTICO SOBRE O RS. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA) – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, SANTA MARIA, RIO GRANDE DO SUL, 2017.

BRESCIANI, C.; BITTENCOURT, G.D.; BAGESTON, J.V.; ET AL. REPORT OF A LARGE DEPLETION IN THE OZONE LAYER OVER SOUTHERN BRAZIL AND URUGUAY BY USING MULTI-INSTRUMENTAL DATA. **ANN. GEOPHYS.** v. 36, p. 405–413 , 2018.

BRINKSMA, E. J. ET AL. ANALYSIS OF RECORD-LOW OZONE VALUES DURING THE 1997 WINTER OVER LAUDER, NEW ZEALAND. **GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS**, v. 25, N. 15, p. 2785–2788, 1998. ISSN 1944-8007. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://DX.DOI.ORG/10.1029/98GL52218](http://dx.doi.org/10.1029/98GL52218)>. ACESSO EM: 18 DE JULHO DE 2018.

BUTCHART, N. THE BREWER-DOBSON CIRCULATION. **REVIEWS OF GEOPHYSICS**, v. 52, p. 157–184, 2014. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://ONLINELIBRARY.WILEY.COM/DOI/10.1002/2013RG000448/FULL](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2013RG000448/full)>. ACESSO EM: 18 DE JULHO DE 2018.

COSMIC PROGRAM OFFICE: CONSTELLATION OBSERVING SYSTEM FOR METEOROLOGY, IONOSPHERE AND CLIMATE, UNIVERSITY CORPORATION FOR ATMOSPHERIC RESEARCH (UCAR), UCAR COMMUNITY PROGRAMS (UCP), DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.COSMIC.UCAR.EDU/](http://www.cosmic.ucar.edu/)>. ACESSO EM: 18 DE JULHO DE 2018.

FARMAN, J. C. LARGE LOSSES OF TOTAL OZONE IN ANTARCTICA REVEAL SEASONAL CLOX/NOX INTERACTION. **NATURE**, **NATURE PUBLISHING GROUP**, v. 315, N. 207, 1985. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://DX.DOI.ORG/10.1038/315207A0](http://dx.doi.org/10.1038/315207a0)>. ACESSO EM 18 DE JULHO DE 2018.

FRENCH, W. J. R.; MULLIGAN, F. J. STABILITY OF TEMPERATURES FROM TIMED/SABER v1.07(2002–2009) AND AURA/MLS v2.2 (2004–2009) COMPARED WITH OH(6-2) TEMPERATURES OBSERVED AT DAVIS STATION, ANTARCTICA. **ATMOSPHERIC CHEMISTRY**

AND PHYSICS, v. 10, n. 23, p. 11439–11446, 2010. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.ATMOS-CHEM-PHYS.NET/10/11439/2010/](https://www.atmos-chem-phys.net/10/11439/2010/)>. ACESSO EM: 18 DE JULHO DE 2018.

GETTELMAN, A. ET AL. THE EXTRATROPICAL UPPER TROPOSPHERE AND LOWER STRATOSPHERE. **REVIEWS OF GEOPHYSICS**, v. 49, n. 3, p. N/A–N/A, 2011. ISSN 1944-9208. RG3003. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://DX.DOI.ORG/10.1029/2011RG000355](http://dx.doi.org/10.1029/2011RG000355)>. ACESSO EM: 18 DE JULHO DE 2018.

GUARNIERI, F. ET AL. VERTICAL OZONE AND TEMPERATURE DISTRIBUTION ABOVE SANTA MARIA, BRAZIL (1996-1998). **ADVANCES IN SPACE RESEARCH**, v. 34, n. 4, p. 759-763, 2004. ISSN 0273-1777. TRACE CONSTITUENTS IN THE TROPOSPHERE AND LOWER STRATOSPHERE. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/PII/S0273117704004788](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117704004788)>. ACESSO EM 18 DE JULHO DE 2018.

KIRCHHOFF, V. ET AL. EVIDENCE FOR AN OZONE HOLE PERTURBATION AT 30° SOUTH. **ATMOSPHERIC ENVIRONMENT**, v. 30, n. 9, p. 1481 – 1488, 1996. ISSN 1352-2310. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/PII/S1352231095003622](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231095003622)>. ACESSO EM: 18 DE JULHO DE 2018.

LARY, D. J. ET AL. THREE-DIMENSIONAL TRACER INITIALIZATION AND GENERAL DIAGNOSTICS USING EQUIVALENT PV LATITUDE–POTENTIAL-TEMPERATURE COORDINATES. **QUARTERLY JOURNAL OF THE ROYAL METEOROLOGICAL SOCIETY**, JOHN WILEY SONS, LTD, v. 121, n. 521, p. 187–210, 1995. ISSN 1477-870X. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://DX.DOI.ORG/10.1002/QJ.49712152109](http://dx.doi.org/10.1002/qj.49712152109)>. ACESSO EM: 18 DE JULHO DE 2018.

NASA. 2018. WWW.NASA.GOV.

OMI: OZONE MONITORING INSTRUMENT, ERS-2, NASA, DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://AURA.GSFC.NASA.GOV/OMI.HTML](https://aura.gsfc.nasa.gov/omi.html)> ACESSO EM: 18 DE JULHO DE 2018.

PERES, L. V. ET AL. MEASUREMENTS OF THE TOTAL OZONE COLUMN USING A BREWER SPECTROPHOTOMETER AND TOMS AND OMI SATELLITE INSTRUMENTS OVER THE SOUTHERN SPACE OBSERVATORY IN BRAZIL. **ANNALES GEOPHYSICAE**, v. 35, n. 1, p. 25–37, 2017.

DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.ANN-GEOPHYS.NET/35/25/2017/](https://www.ann-geophys.net/35/25/2017/)>. ACESSO EM: 18 DE JULHO DE 2018.

PINHEIRO, D. K. ET AL. INFLUENCE OF THE ANTARTIC OZONE HOLE OVER SOUTH OF BRAZIL IN 2010 AND 2011. ANNUAL ACTIVITY REPORT 2011, 12 2011.

PÉREZ, A. ET AL. LOW-OZONE EVENTS AND THREE-DIMENSIONAL TRANSPORT AT MIDLATITUDES OF SOUTH AMERICA DURING SPRINGS OF 1996 AND 1997. **JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: ATMOSPHERES**, v. 105, n. D4, p. 4553–4561, 2000. ISSN 2156-2202. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://DX.DOI.ORG/10.1029/1999JD901040](http://dx.doi.org/10.1029/1999JD901040)>. ACESSO EM: 18 DE JULHO DE 2018.

SALBY, M. L. FUNDAMENTALS OF ATMOSPHERIC PHYSICS. [S.L.]: INTERNATIONAL GEOPHYSICS SERIES, 1996. v. 61.

SCHUCH, ANDRÉ PASSAGLIA, ET AL. "IDENTIFICATION OF INFLUENTIAL EVENTS CONCERNING THE ANTARCTIC OZONE HOLE OVER SOUTHERN BRAZIL AND THE BIOLOGICAL EFFECTS INDUCED BY UVB AND UVA RADIATION IN AN ENDEMIC TREEFROG SPECIES." *ECOTOXICOLOGY AND ENVIRONMENTAL SAFETY* 118 (2015): 190-198.

SEINFELD, S. N. P. J. H. ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS - FROM AIR POLLUTION TO CLIMATE CHANGE. [S.L.: S.N.], 1963.

SILVA, M. A. V. METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA. 2. RECÍFE: EDIÇÃO DIGITAL, 2006. 449. 2011.

SILVA, CAITANO LUIZ DA. "EFEITOS SECUNDÁRIOS DO BURACO DE OZÔNIO ANTÁRTICO SOBRE A REGIÃO SUL DO BRASIL." (2008).

SLUSSER, J. ET AL. COMPARISON OF COLUMN OZONE RETRIEVALS BY USE OF AN UV MULTIFILTER ROTATING SHADOW-BAND RADIOMETER WITH THOSE FROM BREWER AND DOBSON SPECTROPHOTOMETERS. *APPLIED OPTICS*, v. 38, n. 9, p. 1543—1551, MARCH 1999. ISSN 0003-6935. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://DOI.ORG/10.1364/AO.38.001543](https://doi.org/10.1364/AO.38.001543)>. ACESSO EM: 18 DE JULHO DE 2018.

SOLOMON, S. STRATOSPHERIC OZONE DEPLETION: A REVIEW OF CONCEPTS AND HISTORY. *REVIEWS OF GEOPHYSICS*, v. 37, n. 3, p. 275–316, 1999. ISSN 1944-9208. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://DX.DOI.ORG/10.1029/1999RG900008](http://dx.doi.org/10.1029/1999RG900008)>.

SOLOMON, SUSAN ET AL. "EMERGENCE OF HEALING IN THE ANTARCTIC OZONE LAYER."
SCIENCE 353.6296 (2016): 269–274.

SULFLUX/GDPDT/UFSM. 2017. DISPONÍVEL EM:
<[HTTP://WWW.SULFLUX.UFSM.BR/GDPDT/GDPDT.HTML](http://www.sulflux.ufsm.br/gdpdt/gdpdt.html)> ACESSO EM: 18 DE JULHO DE
2018.