



**ESTUDO DE DISTÚRBIOS IONOSFÉRICOS PROPAGANTES NA
REGIÃO SUL DO BRASIL UTILIZANDO MEDIDAS DE
LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICAS DA REGIÃO F.**

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

Michel Baptistella Stefanello
(UFSM – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCTI)
E-mail: michelstefanello@gmail.com

Alexandre Alvares Pimenta
Orientador
Divisão de Aeronomia Espacial
DAE/CEA/INPE – MCTI
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPE - MCTI
E-mail: pimenta@laser.inpe.br

Julho de 2012



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO:

Título:

**ESTUDO DE DISTÚRBIOS IONOSFÉRICOS PROPAGANTES
NA REGIÃO SUL DO BRASIL UTILIZANDO MEDIDAS DE
LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICAS DA REGIÃO F.**

Processo: 151391/2011-4

Aluno Bolsista no período de agosto/2011 a Julho/2012:

Michel Baptistella Stefanello

Acadêmico do Curso de Física Licenciatura

Centro de Ciências Naturais e Exatas – CCNE/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Orientador:

Dr. Alexandre Alvares Pimenta.

Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCTI

Co-Orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE-MCTI

Colaboradores:

Doutorando **Cristiano Sarzi Machado** - CRS/CCR/INPE – MCTI

Doutoranda **Lilian Piecha Moor** - CRS/CCR/INPE – MCTI – LACESM/CT – UFSM

Local de Trabalho/Execução do projeto:

Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica – CRS/CCR/INPE - MCTI

Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE – MCTI

Trabalho desenvolvido no âmbito da parceria INPE/MCTI – UFSM, através do Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica - LMLA/CRS/CCR/INPE – MCTI com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT - UFSM.



AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Dr. Nelson Jorge Schuch do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE-MCTI, pelo apoio que ele tem prestado em todos os campos.

Ao Dr. Alexandre Álvares Pimenta da Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCTI, pela dedicação e orientação nas minhas atividades de Iniciação Científica no CRS;

Ao Doutorando em Geofísica Espacial Cristiano Sarzi Machado por todo apoio que e pela sua amizade.

A Doutoranda em Física Lilian Piecha Moor pelo apoio na realização desse Programa de Pesquisas e por sua amizade.

Ao meu colega de laboratório Douglas W. de Vargas, pelo auxílio e por sua amizade.

Meus sinceros agradecimentos:

Aos funcionários, servidores do CRS/CCR/INPE – MCTI e do LACESM/CT – UFSM pelo apoio e pela infra-estrutura disponibilizada.

Ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCTI pela aprovação do Projeto de Pesquisa, que me permitiu dar os primeiros passos na Iniciação Científica & Tecnológica, propiciando grande crescimento profissional.

Ao Coordenador Dr. Ezzat Selim Chalhoub e a Sra. Egidia Inácio da Rosa, Secretária do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCTI, pelo constante apoio, alertas e sua incansável preocupação com toda a burocracia e datas limites do Programa para com os bolsistas de I. C. & T do CRS/CCR/INPE - MCTI.

De maneira geral, agradeço a todos que de alguma forma colaboraram com a execução deste Programa de Pesquisas.



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Estudante
Michel Baptistella Stefanello



[Link para Currículo Lattes](#)

[Dados gerais](#)

[Indicadores de produção C, T & A](#)

Dados gerais

Identificação do estudante

Nome: Michel Baptistella Stefanello

Nível de treinamento: Graduação

Currículo Lattes: 06/06/2012 14:06

E-mail:

Homepage:

Grupos de pesquisa que atua

[Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites](#) - INPE (estudante)

Linhas de pesquisa que atua

[AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA](#)

[MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)

Orientadores participantes de grupos de pesquisa na instituição

[Alexandre Alvares Pimenta](#)

Indicadores de produção C, T & A dos anos de 2009 a 2012

Tipo de produção	2009	2010	2011	2012
Produção bibliográfica	1	1	2	1
Produção técnica	0	0	0	0
Orientação concluída	1	1	1	0
Produção artística/cultural e demais trabalhos	0	0	0	0



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Grupo de Pesquisa
**Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas,
 Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites**



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

Identificação

Dados básicos

Nome do grupo: Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites

Status do grupo: **certificado pela instituição**

Ano de formação: 1996

Data da última atualização: 18/05/2012 15:38

Líder(es) do grupo: Nelson Jorge Schuch -

Natanael Rodrigues Gomes -

Área predominante: Ciências Exatas e da Terra; Geociências

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Órgão:

Unidade: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

Endereço

Logradouro: Caixa Postal 5021

Bairro: Camobi

Cidade: Santa Maria

Telefone: 33012026

CEP: 97110970

UF: RS

Fax: 33012030

Home page: http://

Repercussões dos trabalhos do grupo

O Grupo - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS, GEOMAGNETISMO:INTERAÇÃO TERRA-SOL, NANOSATÉLITES do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/INPE-MCT, em Santa Maria, e Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/INPE - MCT, Lat. 29°26'24"S, Long. 53°48'38"W, Alt. 488m, e m São Martinho da Serra, RS, criado por Nelson Jorge Schuch em 1996, colabora com Pesquisadores da: UFSM (CT-LACESM), INPE, CRAAM-Universidade P. Mackenzie, IAG/USP, OV/ON e DPD/UNIVAP no Brasil e internacionais do: Japão (Universidades: Shinshu, Nagoya, Kyushu, Takushoku e National Institute of Polar Research), EUA (Bartol Research Institute/University of Delaware e NASA (Jet Propulsion Laboratory e Goddard Space Flight Center)), Alemanha (DLR e Max Planck Institute for Solar System Research), Austrália (University of Tasmania), Armênia (Alikhanyan Physics Institute) e Kuwait (Kuwait University). Linhas de Pesquisas: MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO, AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA, NANOSATÉLITES. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência, Raios Cósmicos,



Muons, Desenvolvimento de Nanosatelites Científicos, em especial CubeSats: o NANOSATC-BR1 e NANOSATC-BR2. Objetivos: Pesquisar o acoplamento energético na Heliosfera, mecanismos de geração de energia no Sol, Vento Solar, sua propagação no Meio Interplanetário, acoplamento com as magnetosferas planetárias, no Geo espaço com a Ionosfera e a Atmosfera Superior, previsão de ocorrência de tempestades magnéticas e das intensas correntes induzidas na superfície da Terra, Eletricidade Atmosférica e seus Eventos Luminosos Transientes (TLEs). As Pesquisas base de dados de sondas no Espaço Interplanetário e dentro de magnetosferas planetárias, e de modelos computacionais físicos e estatísticos. Vice-Líderes: Alisson Dal Lago, Nalin Babulau Trivedi, Otávio Santos Cupertino Durão, Natanael Rodrigues Gomes.

Recursos humanos	
Pesquisadores	Total: 51
Adriano Petry	Jose Humberto Andrade Sobral
Alexandre Alvares Pimenta	Juliano Moro
Alicia Luisa Clúa de Gonzalez	Lilian Piecha Moor
Alisson Dal Lago	Lucas Lopes Costa
Andrei Piccinini Legg	Lucas Ramos Vieira
Antonio Claret Palerosi	Mangalathayil Ali Abdu
Barclay Robert Clemesha	Marco Ivan Rodrigues Sampaio
Carlos Roberto Braga	Marlos Rockenbach da Silva
Cassio Espindola Antunes	Nalin Babulau Trivedi
Clezio Marcos De Nardin	Natanael Rodrigues Gomes
Cristiano Sarzi Machado	Nelson Jorge Schuch
Delano Gobbi	Nivaor Rodolfo Rigozo
Eduardo Escobar Bürger	Odim Mendes Junior
Eurico Rodrigues de Paula	Otavio Santos Cupertino Durão
Ezequiel Echer	Pawel Rozenfeld
Fabiano Luis de Sousa	Petrônio Noronha de Souza
Fernanda de São Sabbas Tavares	Polinaya Muralikrishna
Fernanda Gusmão de Lima Kastensmidt	Rajaram Purushottam Kane
Geilson Loureiro	Renato Machado
Gelson Lauro Dal' Forno	Ricardo Augusto da Luz Reis
Guilherme Simon da Rosa	Rubens Zolar Gehlen Bohrer
Gustavo Fernando Dessbesell	Severino Luiz Guimaraes Dutra
Hisao Takahashi	Tardelli Ronan Coelho Stekel
Igor Freitas Fagundes	Walter Demetrio Gonzalez Alarcon
Jean Pierre Raulin	William do Nascimento Guareschi
João Baptista dos Santos Martins	
Estudantes	Total: 24
Adilson José Rambo Pilla	José Paulo Marchezi
Andrei Camponogara	Leonardo Zavareze da Costa
Bruno Knevez Hammerschmitt	Lucas Camponogara Viera
Cássio Rodinei dos Santos	Lucas Lourencena Caldas Franke
Claudio Machado Paulo	Magdiel Schmitz
Dimas Irion Alves	Maurício Ricardo Balestrin



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCTI
Relatório Final de Atividades 2012

[Edson Rodrigo Thomas](#)

[Felipe Cipriani Luzzi](#)

[Felipe de Souza Nogueira Coelho](#)

[Fernando Landerdahl Alves](#)

[Guilherme Paul Jaenisch](#)

[Iago Camargo Silveira](#)

[Mauricio Rosa de Souza](#)

[Michel Baptistella Stefanello](#)

[Pietro Fernando Moro](#)

[Tális Piovesan](#)

[Tiago Bremm](#)

[Vinícius Deggeroni](#)

Técnicos	Total: 0
-----------------	-----------------

Linhas de pesquisa	Total: 4
---------------------------	-----------------

- [AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA](#)
- [DESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BR](#)
- [MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO](#)
- [MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)

Relações com o setor produtivo	Total: 2
---------------------------------------	-----------------

- [ALPHA SOUTH AMERICA - REPRESENTACOES E CONSULTORIA AEROESPACIAL LTDA - ASARCA_PPROV](#)
- [Lunus Comércio e Representação Ltda - LUNUS](#)

Indicadores de recursos humanos do grupo

	Integrantes do grupo	Total
--	-----------------------------	--------------

Pesquisador(es)		51
-----------------	--	----

Estudante(s)		24
--------------	--	----

Técnico(s)		0
------------	--	---



Linha de Pesquisa

AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA

Linha de pesquisa

AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA

Nome do grupo: [Clima Espacial](#), [Interações Sol-Terra](#), [Magnetosferas](#), [Geespaço](#), [Geomagnetismo](#), [Nanosatélites](#)

Palavras-chave: Aeronomia/Aeroluminescência-Fotômetros/Imageadores; Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS; Eletrojato Equatorial; Interações Sol - Terra; Ionosfera - Digissonda - Radares; Mesosfera - Radares - Rastros Meteóricos;

Pesquisadores:

[Alexandre Alvares Pimenta](#)
[Andrei Piccinini Legg](#)
[Barclay Robert Clemesha](#)
[Clezio Marcos De Nardin](#)
[Cristiano Sarzi Machado](#)
[Delano Gobbi](#)
[Eurico Rodrigues de Paula](#)
[Fernanda de São Sabbas Tavares](#)
[Gelson Lauro Dal' Forno](#)
[Hisao Takahashi](#)
[Jean Pierre Raulin](#)
[Lilian Piecha Moor](#)
[Mangalathayil Ali Abdu](#)
[Marco Ivan Rodrigues Sampaio](#)
[Marlos Rockenbach da Silva](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)
[Polinaya Muralikrishna](#)
[Renato Machado](#)

Estudantes:

[Cássio Rodinei dos Santos](#)
[Claudio Machado Paulo](#)
[Dimas Irion Alves](#)
[Edson Rodrigo Thomas](#)
[Felipe Cipriani Luzzi](#)
[Iago Camargo Silveira](#)
[Leonardo Zavareze da Costa](#)
[Lucas Camponogara Viera](#)
[Magdiel Schmitz](#)
[Michel Baptistella Stefanello](#)
[Pietro Fernando Moro](#)
[Tiago Bremm](#)

Árvore do conhecimento:



Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Aeronomia;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Interações Sol - Terra;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Geofísica Espacial;

Setores de aplicação:

Aeronáutica e Espaço

Objetivo:

Aeronomia dos fenômenos físicos, químicos, dinâmica eletricidade da Atmosfera e seus(TLEs), observando com radares, GPS, imageadores, fotômetros e aeroluminescência (ventos) das ondas atmosféricas: planetárias, de gravidade e marés; Pesquisas com radares e digissonda da dinâmica da Troposfera, Estratosfera, Ionosfera e Alta Atmosfera, investigando o acoplamento vertical e transporte de energia do Sistema Atmosfera-Ionosfera na Região Sul Brasileira. Vice-Líder: Marcelo Barcellos da Rosa.



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Linha de Pesquisa

MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL

Linha de pesquisa

MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL

Nome do grupo: [Clima Espacial](#), [Interações Sol -Terra](#), [Magnetosferas](#), [Goespaço](#), [Geomagnetismo](#):
[Nanosatélites](#)

Palavras-chave: Campo Magnético Interplanetário; Muons; Raios Cósmicos; Tempestade Geomagnética;

Pesquisadores:

[Adriano Petry](#)
[Alexandre Alvares Pimenta](#)
[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)
[Alisson Dal Lago](#)
[Andrei Piccinini Legg](#)
[Carlos Roberto Braga](#)
[Cassio Espindola Antunes](#)
[Eduardo Escobar Bürger](#)
[Ezequiel Echer](#)
[Jean Pierre Raulin](#)
[Juliano Moro](#)
[Lilian Piecha Moor](#)
[Lucas Lopes Costa](#)
[Lucas Ramos Vieira](#)
[Marlos Rockenbach da Silva](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)
[Rajaram Purushottam Kane](#)
[Renato Machado](#)
[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)



[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)

Estudantes:

[Adilson José Rambo Pilla](#)
[Bruno Knevez Hammerschmitt](#)
[Claudio Machado Paulo](#)
[Dimas Irion Alves](#)
[Iago Camargo Silveira](#)
[José Paulo Marchezi](#)
[Leonardo Zavareze da Costa](#)
[Lucas Camponogara Viera](#)
[Magdiel Schmitz](#)
[Mauricio Rosa de Souza](#)
[Michel Baptistella Stefanello](#)
[Pietro Fernando Moro](#)
[Tális Piovesan](#)
[Tiago Bremm](#)
[Vinícius Deggeroni](#)

Árvore do conhecimento:

Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Geofísica Espacial;
Ciências Exatas e da Terra; Astronomia; Astrofísica do Sistema Solar;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Instrumentação Científica;

Setores de aplicação:

Aeronáutica e Espaço

Objetivo:

Pesquisar e prover em tempo real com o Telescópio Multidirecional de Raios Cósmicos-Muons, 2x(4mx7m), >50GeV, no Observatório Espacial do Sul, o monitoramento de muons e fenômenos das interações Sol-Terra, a previsão no Geoespaço de eventos solares e distúrbios geofísicos, graves efeitos das tempestades e subtempestades geomagnéticas sobre dispositivos e sistemas tecnológicos afetando equipes de trabalho e equipamentos na superfície da Terra e no Espaço. Vice-Líder: Alisson Dal Lago.



“Se enxerguei mais longe, foi porque me apoiei nos ombros de gigantes”
(Isaac Newton)



RESUMO

O Relatório apresenta atividades desenvolvidas pelo bolsista Michel Baptistella Stefanello, acadêmico do curso de Física Licenciatura, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, durante o período de Agosto de 2011 a Julho de 2012, com o seguinte tema de pesquisa: “ESTUDO DE DISTÚRBIOS IONOSFÉRICOS PROPAGANTES NA REGIÃO SUL DO BRASIL UTILIZANDO MEDIDAS DE LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICAS DA REGIÃO F”. As atividades desenvolvidas, contaram com a colaboração da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – via Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM – em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCTI – via Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE-MCTI –, em Santa Maria, RS e do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE - MCTI – em São Martinho da Serra, RS. Durante o período de vigência da bolsa o acadêmico em paralelo as suas atividades de pesquisas do Projeto colaborou com a manutenção e operação do equipamento “*all-sky*” no Observatório Espacial do Sul e na redução e manutenção do banco de dados do Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica – LMLA/CRS/CCR/INPE - MCTI, em Santa Maria - RS, em parceria com a Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCTI, em São José dos Campos - SP.



SUMÁRIO

SUMÁRIO	13
LISTA DE FIGURAS.....	15
CAPITULO 1	16
INTRODUÇÃO	16
CAPÍTULO 2	17
RELAÇÃO SOL – TERRA	17
2.1 Campo Magnético Terrestre	17
2.2 Magnetosfera.....	18
CAPÍTULO 3	20
ATMOSFERA TERRESTRE	20
3.1 Atmosfera Neutra	20
3.2 Ionosfera	22
CAPITULO 4	24
LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA	24
4.1 Emissões.....	24
4.2 Irregularidades na região F da ionosfera	27
4.3 Imageador “All-Sky”	30
4.4 Câmera CCD	32
CAPITULO 5	34
CAPITULO 6	36
PRINCIPAIS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	36
CAPITULO 7	37
PRINCIPAIS ATIVIDADES A CONCLUIR	37
CAPITULO 8	38



CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS	39



LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ilustração das linhas de Campo Magnético terrestre.	17
Figura 2.2 – Ilustração das linhas de Campo Magnético terrestre.	18
Figura 2.3 – Campo Geomagnético total para o ano de 2000. O contorno da cor azul destaca a Anomalia Magnética do Atlântico Sul.	19
Figura 3.1 – Perfil vertical da Atmosfera Terrestre mostrando suas camadas.....	20
Figura 3.2- Nomenclatura e localização das camadas ionosféricas.	23
Figura 4.1: As camadas de emissão de aeroluminescência estão representadas esquematicamente, juntamente com o perfil de temperatura da atmosfera da Terra.....	24
Tabela 4.1 – Emissão atmosférica do oxigênio atômico.	25
Figura 4.2 – Deslocamento de uma bolha de plasma ao longo do equador magnético.....	29
Figura 4.2.1 - Uma série de imagens de uma bolha de plasma obtida através do imageador “all-sky”. No dia 19/01/2012	30
Figura 4.3 - Esquematização de um imageador com câmera CCD utilizado para observação ótica de aeroluminescência.....	30
Figura 4.3.1 – Equipamento instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE - MCT –, em São Martinho da Serra, RS - Imagem externa do equipamento.....	31
Figura 4.3.2 - A roda de filtros de interferência. Sob a mesma, encontra-se uma unidade eletrônica de controle.	32
Figura 5.1: (a) Horas de observação com imageador “all-sky” da emissão OI 630,0 nm para o período de outubro de 2011 a maio de 2012; (b) frequência de ocorrência de Bolhas de Plasma.	35



CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

Aeroluminescência é definida como a radiação ótica amorfa continuamente emitida pela atmosfera de um planeta (CHAMBERLAIN, 1961). Na Terra ela ocorre entre 80 e 300 km de altitude, através da radiação eletromagnética devido aos processos de reações fotoquímicas e iônicas.

A observação desse fenômeno é de muita importância para obter informações sobre a alta atmosfera. As medidas e variações nos mostram informações de processos físicos como propagação de ondas, temperaturas, e reações químicas entre os elementos presentes na atmosfera.

No Projeto de Pesquisa e Relatório primeiro foi efetuada uma revisão bibliográfica teórica sobre Clima Espacial e Interações Sol-Terra, Campo Magnético Terrestre, Anomalia Magnética do Atlântico Sul, Camadas da Atmosfera.

Após, foram estudados manuais técnicos, teses e dissertações relacionadas ao equipamento “*all-sky*” em operação no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE – MCTI.

Posteriormente são apresentados: um estudo estatístico da ocorrência de irregularidades de plasma da região-F durante o presente período ascendente de atividade solar, são descritas as atividades que foram desenvolvidas no período, são apresentadas as atividades planejadas para o futuro próximo e, finalmente as conclusões.

CAPÍTULO 2

RELAÇÃO SOL – TERRA

2.1 Campo Magnético Terrestre

O Campo Geomagnético pode ser entendido como a composição de um dipolo magnético excêntrico (como uma barra imantada) localizado no centro da terra. Acreditasse que a componente principal do Campo Geomagnético origina-se no interior da Terra, resultante de correntes, que fluem em um núcleo metálico em estado de fusão. Essas correntes seriam oriundas de uma ação equivalente a de um dínamo de auto-excitação, que estaria presente no núcleo terrestre, representando mais de 90% da intensidade total do Campo Magnético da Terra. A Figura 2.1 é uma representação do Campo Magnético terrestre.

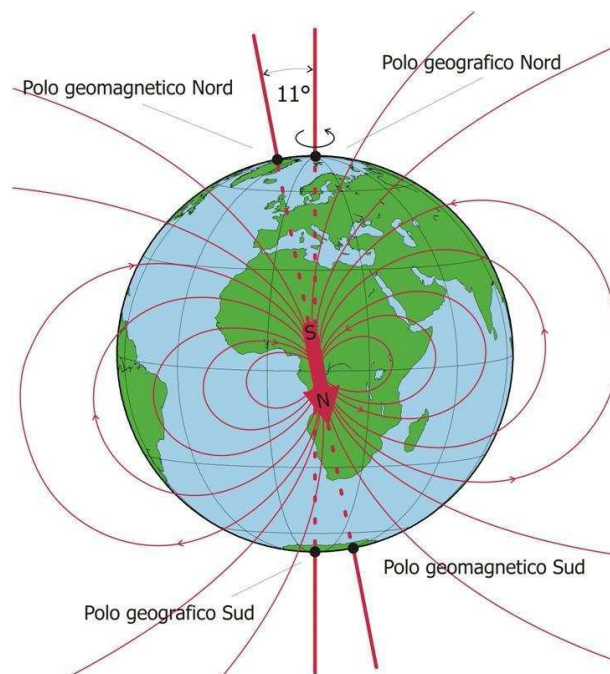


Figura 2.1 – Ilustração das linhas de Campo Magnético terrestre.
Fonte: Fonte: www.ingv.it/temi-ricerca/la-terra/.

Devido a interações do Campo Magnético terrestre com o vento solar emitido continuamente pelo sol, em todas as direções, a forma das linhas do campo iguala-se a uma cauda longa de um cometa.

2.2 Magnetosfera

É uma região em que o Campo Magnético domina o movimento do plasma, constituído principalmente de prótons e elétrons. A forma das linhas do Campo Magnético é tal que elas estão achatadas de frente ao sol, pela ação do vento solar, sendo alongadas do lado oposto (KIRCHHOFF, 1991). Podemos ver bem na Figura 2.2. A existência do Campo Geomagnético (e a região originada, a magnetosfera) é essencial para a vida terrestre, uma vez que ele protege a superfície terrestre de partículas de altas energias oriundas dos ventos solares e de parte dos raios cósmicos. O vento solar se choca com o Campo Geomagnético em velocidades supersônicas, como podemos ver na Figura 2.2.

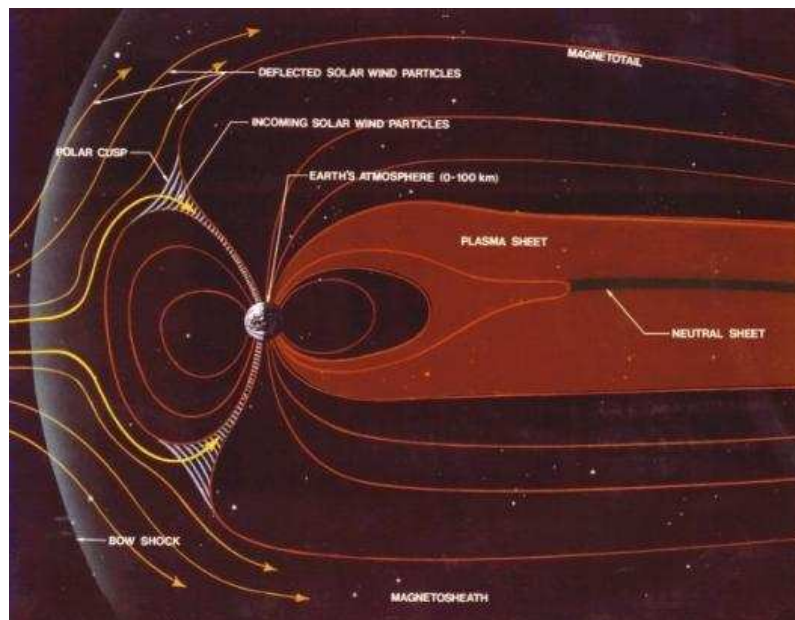


Figura 2.2 – Ilustração das linhas de Campo Magnético terrestre.

Fonte: <http://www.nasa.gov/>

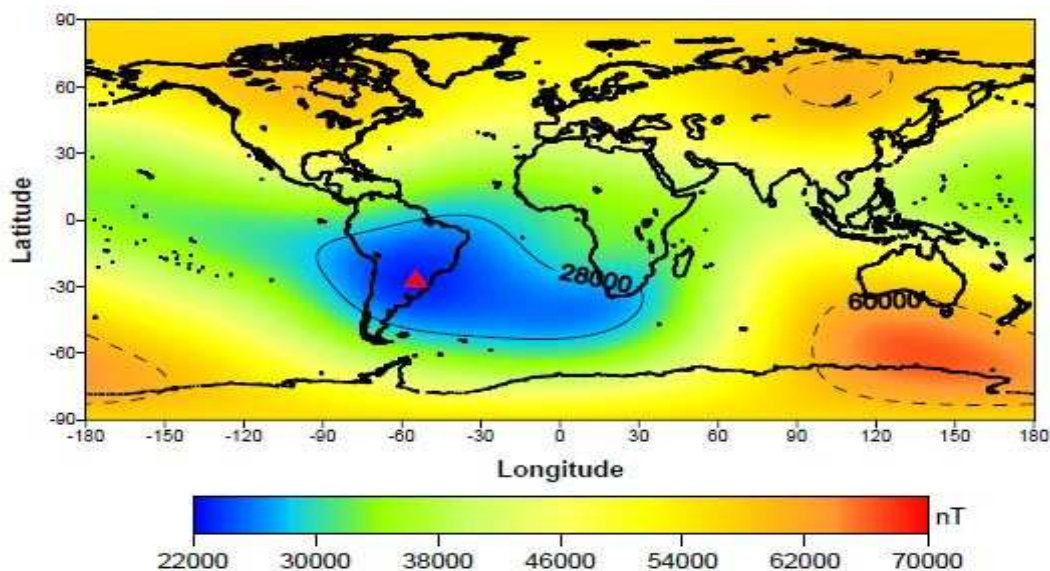


Figura 2.3 – Campo Geomagnético total para o ano de 2000. O contorno da cor azul destaca a Anomalia Magnética do Atlântico Sul.

Fonte: <http://bloglaurabotelho.blogspot.com/2010/02/saa-anomalia-do-atlantico-sul.html>.

A Anomalia devido aos estudos realizados pode dizer que ela é causada pelo fato de seu centro magnético não está localizado no núcleo da Terra, por isso acaba criando um campo mais fraco no lugar da anomalia. Devido a essa depressão na Magnetosfera, os cinturões de radiação de Van Allen são pressionados em direção à superfície terrestre, ocasionando larga precipitação de partículas energéticas na alta atmosfera da região. Como consequência, ocorre perturbações no Campo Geomagnético e na Ionosfera. Por esse motivo, a AMAS é um excelente local de observação de fenômenos que envolvam a Alta Atmosfera (MAKITA et al., 1997).

CAPÍTULO 3

ATMOSFERA TERRESTRE

3.1 Atmosfera Neutra

A Atmosfera Terrestre é constituída de uma combinação de gases, que atraídos pela força gravitacional da Terra.

O perfil de temperatura da terra é apresentado na Figura 3.1.

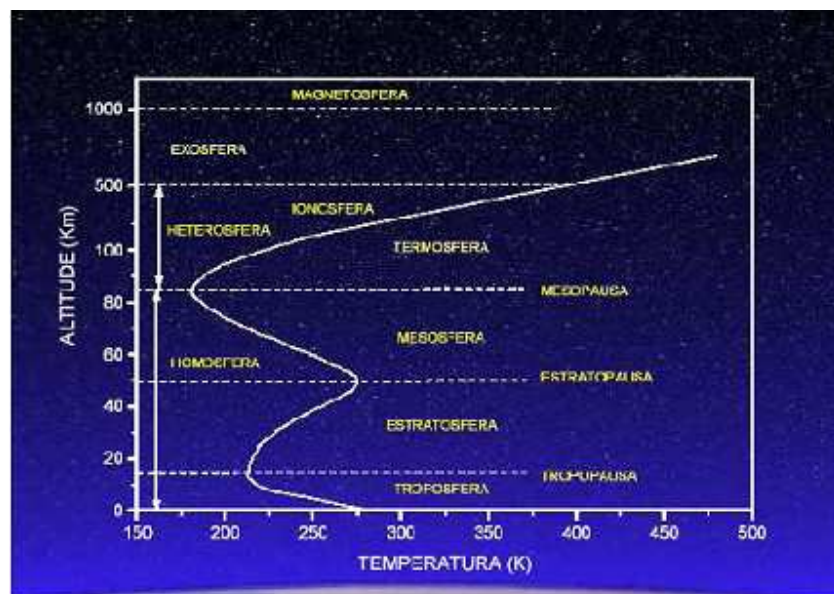


Figura 3.1 – Perfil vertical da Atmosfera Terrestre mostrando suas camadas
Fonte: Adaptada de BRASSEUR e SOLOMON (1986, p. 33).

- Troposfera: É a camada mais próxima da superfície da terra estendendo-se até aproximadamente 15 km, sua temperatura diminui com a altitude. Ela diminui numa taxa de -7 K km^{-1} , atingindo um valor de 200 K. Nessa região a radiação e a convecção são processos importantes para a transferência de energia, isto é, na dissipação de calor. A



absorção de radiação solar contribui para o balanço radioativo e influenciam também na determinação da temperatura.

- Estratosfera: Ela encontra-se acima da troposfera, entre 15 e 50 km de altura, sua temperatura aumenta com a altitude cerca de 270 K. As absorções da radiação solar pelo ozônio e pelas moléculas de vapor d'água dão origem ao máximo de temperatura em torno de 50 km de altitude.

- Mesosfera: Situada a cima da estratosfera, entre 50 e 90 km de altitude, sua temperatura diminui com a altitude atingindo 190 K.

- Termosfera: Esta camada começa em torno de 90 km de altitude e estende-se até 300 km, sua temperatura aumenta com a altitude. A temperatura da termosfera depende da atividade sola. No mínimo solar é da ordem de 800 -1000 k e no máximo solar pode chegar a 2000 k.

- Estratopausa: Região compreendida entre a alta estratosfera e a baixa mesosfera. Situa-se em torno de 50 km de altitude com a temperatura em torno de 270 K.

- Mesospausa: É localizada entre a mesosfera e a termosfera, situada a 85 km de altitude, sua temperatura é de aproximadamente 190 K.

A Atmosfera Terrestre é classificada devido aos seus processos físicos:

- Homosfera: Esta camada vai da superfície terrestre até 100 km de altitude. Essa região é caracterizada por possuir uma mistura praticamente uniforme dos gases, compondo-se



principalmente de nitrogênio (78,08%), oxigênio (20,94%), argônio (0,93%), dióxido de carbono (0,03%) e vapor de água (1%).

- Heterosfera: Está situada entre 100 e 500 km de altitude. As moléculas estão distribuídas de forma heterogênea devido à tendência das moléculas gasosas se distribuírem de acordo com o seu peso e carga elétrica.

- Exosfera: Camada situada acima dos 500 km de altitude apresenta poucas colisões entre átomos e moléculas. As partículas constituintes da atmosfera que são mais leves, como o H e He, são constantemente perdidas para o meio interplanetário.

3.2 Ionosfera

Região da Atmosfera Terrestre constituída por interações entre os átomos e moléculas neutras da atmosfera com fontes ionizantes solares e cósmicas, gerando um plasma fracamente ionizado com densidade de cargas livres, o plasma ionosférico. A densidade desses íons e elétrons é suficiente para afetar a propagação de ondas eletromagnéticas. As fontes solares que ionizam a ionosfera são principalmente as radiações no EUV (Extremo Ultra-Violeta), e os raios X. Em consequência dos diferentes constituintes, taxas de absorção e densidades eletrônicas, a ionosfera subdivide-se em três regiões.

- Camada D: Região que se encontra abaixo da ionosfera, situada entre 60 e 90 km de altitude, possui baixa concentração de elétrons. Radiações ionizantes predominantes são os raios X e a radiação Lyman- α .

- Camada E: Esta região apresenta como maior propriedade a condutividade, sendo de uma importância devido às correntes elétricas, é situada entre 90 e 150 km de altitude.

- Camada F: engloba regiões F1; F2 e F3.

A região F1 é constituída pela ionização do oxigênio atômico O, pelos raios EUV (extremo ultravioleta), o qual produz elétrons livres e O+.

A região F2 constituída também, de elétrons livres e O+. A concentração de elétrons nessa região varia com a atividade solar. Durante o período do dia, apresenta os maiores valores de concentração de elétrons livres. Durante o período da noite, ocorre uma diminuição na concentração, porém essa região não desaparece.

A Figura abaixo apresenta as regiões ionosféricas em função da densidade eletrônica.

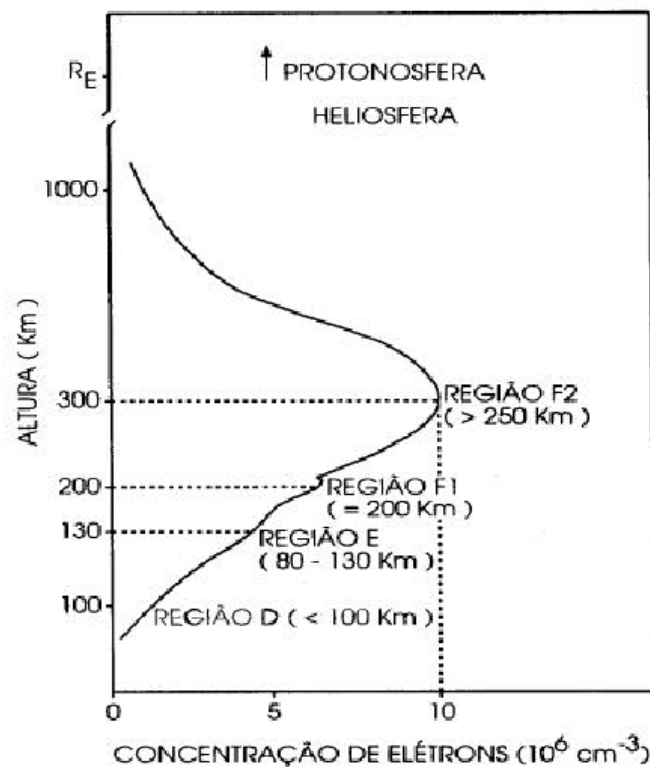


Figura 3.2- Nomenclatura e localização das camadas ionosféricas.
FONTE: Kirchhoff (1991, p.77)

CAPITULO 4

LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA

4.1 Emissões

Luminescência atmosférica é o resultado de reações químicas entre átomos e moléculas, por meio de excitações provocadas pela absorção de radiação, ou por meio de processos químicos, existentes na atmosfera superior terrestre.

Ao ocorrer o processo de relaxação os elementos químicos emitem através de bandas e linhas espectrais uma radiação de extensa faixa espectral denominada aeroluminescência. Os agentes emissores de aeroluminescência estão presentes na atmosfera entre 80-400 km de altura como mostra a Figura 4.1.

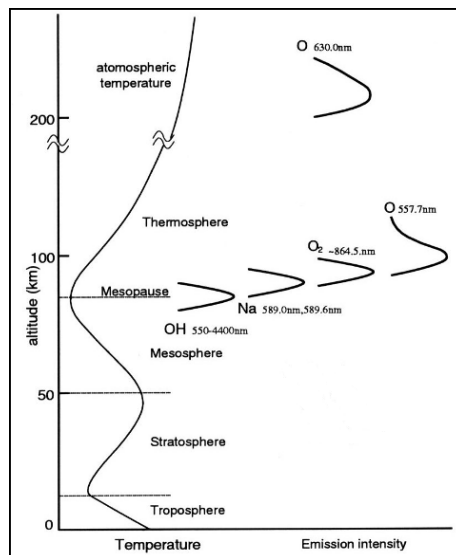


Figura 4.1: As camadas de emissão de aeroluminescência estão representadas esquematicamente, juntamente com o perfil de temperatura da atmosfera da Terra.

Fonte: MAEKAWA (2000, p.4).



Através de observação feita por um imageador “All-Sky”, podemos investigar as emissões de aeroluminescência atmosférica, na região F da atmosfera de OI 777,4, OI 557,7, OI 630,0.

A aeroluminescência pode ser denominada conforme sua ocorrência de acordo com o ângulo zenital da radiação solar, podendo ser diurna (“Dayglow”), crepuscular (“Twilight”) ou noturna (“Nightglow”).

As observações de emissão noturnas são as mais usadas, pois a presença de radiação aumenta a intensidade de ruído nas imagens.

Através da aeroluminescência podemos estudar:

Os processos químicos, iônicos e dinâmicos que regem a distribuição vertical dos vários constituintes atmosféricos.

Processos de excitação que geram emissões óticas.

A geração e propagação de irregularidades no plasma da região F da ionosfera noturna.

Os processos ligados à deposição de partículas neutras energéticas na alta atmosfera.

O acoplamento entre a termosfera e ionosfera.

As ondas atmosféricas.

A seguir podemos ver na Tabela 4.1 as emissões de luminescência atmosférica:

Tabela 4.1 – Emissão atmosférica do oxigênio atômico.

<i>Emissão Atmosférica</i>	<i>Intensidade Típica (R)</i>	<i>Comprimento de onda (nm)</i>	<i>Altura média da camada de emissão (km)</i>
OI 557,7 nm	60	557,7	250-300
OI 630,0 nm	300	630,0	250-300
OI 777,4 nm	20	777,4	300-400

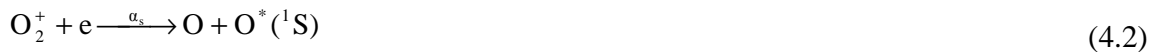
Fonte: Pimenta (2003) p.67.



- Linha de emissão (OI 557,7 nm)

A linha de luminescência OI 557,7 nm (linha verde) possui duas fontes na atmosfera: uma camada de emissão entre 90 e 110 km de altitude, na região E da ionosfera e outra entre 220 e 300 km de altitude, na região F ionosférica. (MACHADO, C.S. 2011).

Ela surge na sua maior parte da recombinação do oxigênio atômico. As Observações feitas do solo desta emissão medem a intensidade integrada das duas fontes, isto é, das regiões E e F. Já está bem estabelecido que o processo de produção do oxigênio atômico excitado O(1S) na região F é a recombinação dissociativa do íon oxigênio molecular com elétrons. Na região F os átomos O(1S) resultam do mesmo mecanismo que gera a linha vermelha (recombinação dissociativa de íons de oxigênio molecular na ionosfera). O tempo de vida da transição do estado O(1S) na região F é aproximadamente 0,74 segundos (PETERSON et al. 1966). Assim sendo, podemos escrever as reações do OI 557,7 nm envolvidas no processo de recombinação dissociativa como:



- Linha de emissão (OI 630,0 nm)

A linha vermelha (630 nm) do OI é emitida pelo átomo de oxigênio no nível de energia O(1D). Ao decair libera o excesso de energia na forma de radiação eletromagnética. O nível O(1D) é gerado a partir do processo de recombinação dissociativa do íon molecular O_2^+ com



elétrons da região F da ionosfera. Este processo é expresso pela seguinte reação (WHOITE, 2000):



Possui uma extensão de ~50 km na atmosfera em uma faixa de altura de 220-300 km. É a emissão mais utilizada no estudo da química e dinâmica da região F da ionosfera noturna. A intensidade da luminescência nesse comprimento de onda varia conforme o movimento vertical do plasma ionosférico, aumentando ou diminuindo quando o plasma ionosférico move-se para baixo ou para cima, respectivamente. Em geral, a intensidade desta linha de emissão está entre aproximadamente 50 e 300 Rayleighs.

- Linha de emissão (OI 777,4 nm)

É uma das menos utilizadas, devido sua intensidade ser muito fraca. Essa linha é resultado da transição do oxigênio atômico, tem intensidade fraca (aproximadamente de 20 Rayleighs) e depende fortemente da concentração eletrônica, Sua maior intensidade se dá durante a atividade solar máxima, período em onde a densidade eletrônica da ionosfera é mais alta. A emissão é gerada em todas as alturas da ionosfera, sendo seu pico em torno de 350 km, região do pico de densidade eletrônica da região F. Os dois mecanismos de recombinação são: recombinação radiativa e recombinação íon-íon.

4.2 Irregularidades na região F da ionosfera

Na Ionosfera Terrestre existem extensas regiões alinhadas ao longo das linhas do Campo Geomagnético, e cujo, interior ocorre um alto grau de rarefação do plasma ionosférico (Sahai, 2000).

São chamadas de bolhas de plasma as irregularidades de plasma de grande escala e também podem ser definidas como uma região da atmosfera terrestre em que a densidade de plasma



ionosférico é mais reduzida em comparação à densidade do plasma da vizinhança. Elas são criadas na base da camada F, logo após o pôr do Sol e estendem-se a altas altitudes, de até 1500 km. Possuem dimensões horizontais Norte – Sul, da ordem de 5000 km ao longo das linhas do campo magnético, na extensão Leste – Oeste entre a região de distúrbios de muitos km. Após se formar, as bolhas de plasma derivam para cima com uma velocidade que geralmente varia de 100 m/s a 500 m/s. Elas apresentam uma deriva zonal ao longo da linha do equador magnético, que pode chegar a aproximadamente a 200 m/s como mostra na Figura 4.2. O fenômeno não acontece durante o dia em virtude da alta condutividade iônica influenciada pela radiação solar. Sua variação é dependente do ciclo solar. Sua ocorrência mais frequente é nos meses de primavera e verão, nos períodos de inverno a frequência é mínima.

Dentro da região das bolhas de plasma, a densidade eletrônica diminui de forma acentuada, ocasionando uma redução acentuada na intensidade da aeroluminescência nessas regiões. Assim, observando a redução da intensidade da aeroluminescência do OI 630 nm é possível monitorar a ocorrência das bolhas de plasma.

Os MSTIDs outro distúrbio ionosférico é comumente observado em médias latitudes durante condições geomagneticamente calmas ($K_p \leq 3$), especialmente em período de mínima atividade solar, e se apresentam como uma ou mais faixas alternadas, escuras e claras, em imagens da emissão do 630,0 nm. Uma característica importante é que no hemisfério sul estas ondas podem ser observadas ao sul da região da crista da EIA com direção de propagação para o noroeste. (MENDILLO et al., 1997; GARCIA et al., 2000; SHIOKAWA et al., 2003; PIMENTA et al., 2008; MARTINIS et al., 2010). O mecanismo de geração das MSTIDs usado atualmente é a instabilidade de Perkins. Perkins (1973) mostrou que poderia haver instabilidades no equilíbrio entre a difusão do plasma ao longo das linhas de campo geomagnéticas e a deriva $E \times B$.

Apesar de muitos estudos na área, a obtenção da sua fonte geradora não é fácil. Alguns estudos relacionam as MSTIDs a fenômenos meteorológicos como tempestades. Onde

Estas produzem ondas de gravidade as quais, se propagando em regiões da baixa ionosfera, acarretam perturbações através de colisões entre partículas neutras e ionizadas.

A diferença entre bolhas de plasma e MSTIDs é basicamente: As bolhas de plasma se formam no equador magnético e se movimentam ao longo das linhas de campo, enquanto as MSTIDs são formadas em médias latitudes e se movimenta de sudeste para noroeste no hemisfério sul. Além disso, os mecanismos de geração desses fenômenos são diferentes.

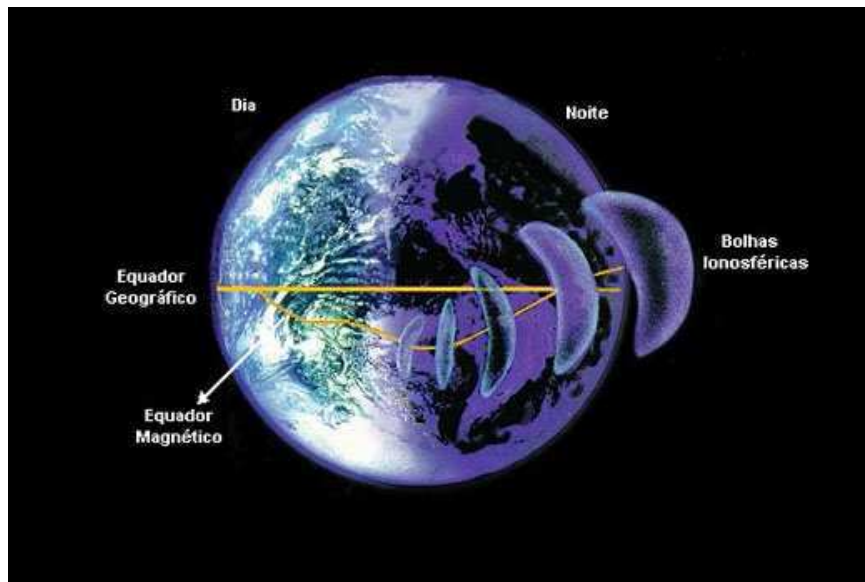
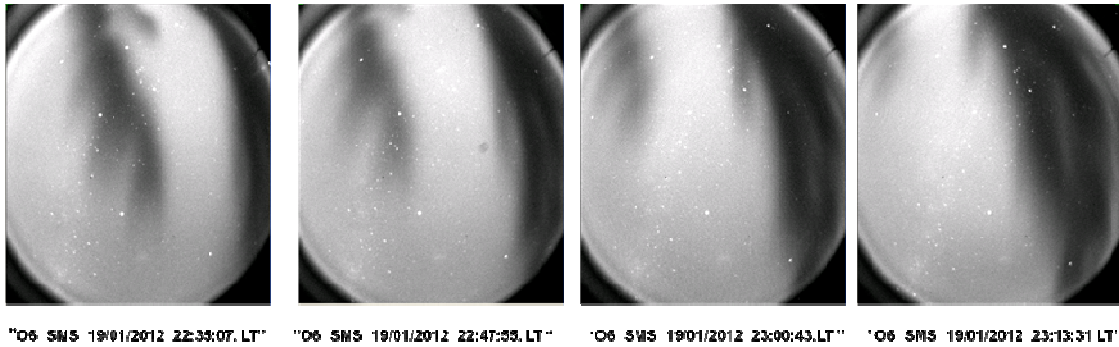


Figura 4.2 – Deslocamento de uma bolha de plasma ao longo do equador magnético.
Fonte: <http://www.ondascurtas.com/images/bolhaionosferica.jpg>.

Podemos estudar esses distúrbios ionosféricos através do monitoramento do OI 630.0 nm, onde a intensidade de aeroluminescência nesse comprimento de onda é diretamente proporcional a densidade eletrônica e a quantidade de oxigênios moleculares.

A Figura 4.2.1 mostra um caso de distúrbio ionosférico, denominado bolha de plasma, observado no monitoramento do OI 630.0 nm.



"06 SMS 19/01/2012 22:39:07.LT" "06 SMS 19/01/2012 22:47:59.LT" "06 SMS 19/01/2012 23:00:43.LT" "06 SMS 19/01/2012 23:13:31.LT"

Figura 4.2.1 - Uma série de imagens de uma bolha de plasma obtida através do imageador "all-sky" no Observatório Espacial do Sul, na noite de 19/01/2012

4.3 Imageador "All-Sky"

O imageador "all-sky" é um instrumento de alta definição, ele é bastante usado para se estudar a morfologia e a dinâmica da atmosfera. Utiliza a luminescência como mecanismo de definição. O instrumento detecta mudanças de intensidade de luminescência atmosférica, registrando essas informações em imagens. Essas imagens são importantes para se investigar e estudar o comportamento da atmosfera, e observar fenômenos ionosféricos, como bolhas de plasma, MSTIDs e blobs. A Figura 4.3 relata a configuração de um imageador com sensor CCD.

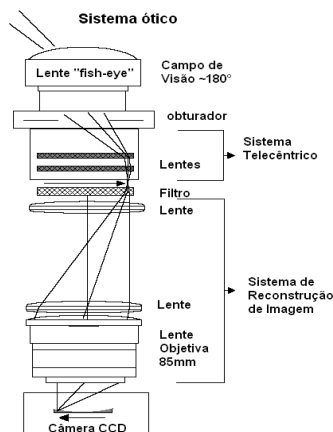


Figura 4.3 - Esquematização de um imageador com câmera CCD utilizado para observação ótica de aeroluminescência.

FONTE: Wrasse (2004).

Um imageador multi-espectral monitora várias emissões de luminescência atmosférica, possuindo mais que um filtro de interferência, O ideal monitoramento feito pelo imageador All-Sky realiza em noites claras onde o céu esteja “limpo”, ou seja, não encoberto, e sem a presença de fontes externas de luz, e sem a presença de lua refletindo a luz solar. Devidos a todos esses fatores, o monitoramento é muito restringido.

O imageador “all-sky” do LASER / INPE: instalado no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS, foi adquirido pelo INPE conveniado com a FAPESP, por meio do Dr. Alexandre Álvares Pimenta. Esse imageador trata-se de um imageador monocromático com filtros de 4 polegadas e uma câmera CCD de 2048 x 2048 pixels. As Figuras 4.3.1 e 4.3.1 a seguir mostram o equipamento instalado em São Martinho.



Figura 4.3.1 – Equipamento instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE - MCT –, em São Martinho da Serra, RS - Imagem externa do equipamento.

- Sistema óptico: O imageador possui lentes que resultam em uma imagem telecentrica, juntos ao plano dos filtros de interferência, que possui 4 polegadas de diâmetro. O

imageador, funcionar com 6 filtros: OI 630.0 nm OI 777.7 nm, OI 555.7nm , Na em 589 nm e N2+ em 428.7 nm.

O equipamento possui um sistema de reconstrução de imagem acromática sobre o sensor CCD. O sistema óptico foi projetado para ser utilizado com um sensor CCD de 27,6 X 27,6 mm. A lente primária frontal é do tipo All-Sky (ou Fish-Eye) modelo Mamiya com distância focal de 37 mm e ângulo de abertura de aproximadamente 180 graus. O sistema de lentes telecêntricas consiste em um par de lentes plano-convexas localizado entre o obturador e a roda de filtros, garantindo uma imagem centrada em cima do filtro de interferência. A roda de filtros é mostrada na Figura 4.5.2.

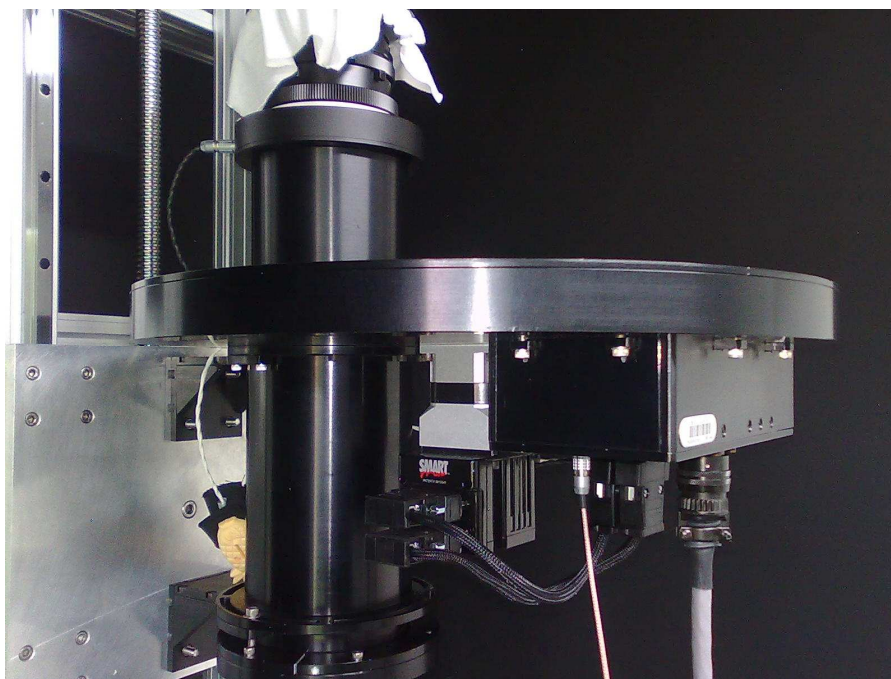


Figura 4.3.2 - A roda de filtros de interferência. Sob a mesma, encontra-se uma unidade eletrônica de controle.

4.4 Câmera CCD

O modelo da câmera CCD que equipa o imageador é o PI/Acton Pixis: 2048B. É um sensor do tipo retroiluminado (back-illuminated) com uma grade de 2048X2048 pixels, cada um



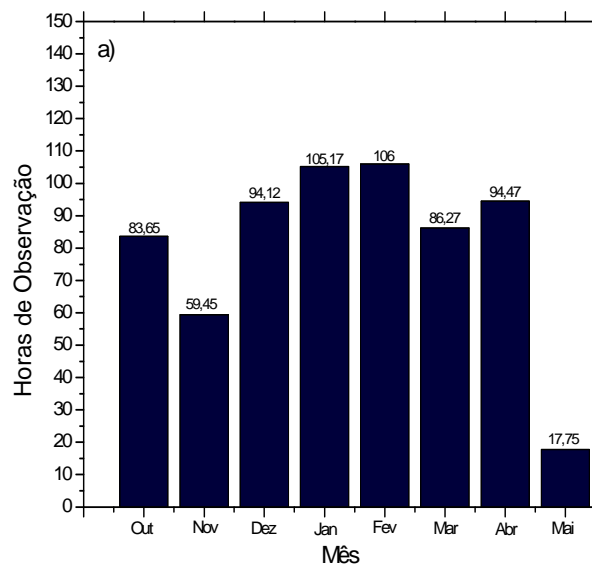
com dimensão de 13,5 X 13.5 μm . É um equipamento de baixo ruído projetado para aplicações que exigem imagens com grande campo de visão. Seu sistema de refrigeração garante temperaturas abaixo de $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sua eficiência quântica elevada e baixo nível de ruído dos componentes eletrônicos e a tornam ideal para sensoriamento de fenômenos com baixo nível de emissão de luz.



CAPITULO 5

RESULTADOS

No estudo estatístico da variação da ocorrência de Bolhas de Plasma foram somados os tempos de observação e de ocorrência do fenômeno para os meses de outubro de 2011 a maio de 2012. Foi calculada a porcentagem de ocorrência do fenômeno em relação ao tempo total de observação. São apresentados os registros da contagem de horas de observação e ocorrência de Bolhas de Plasma para o período de outubro de 2011 até maio e 2012, nas Figuras 5.1(a - b):



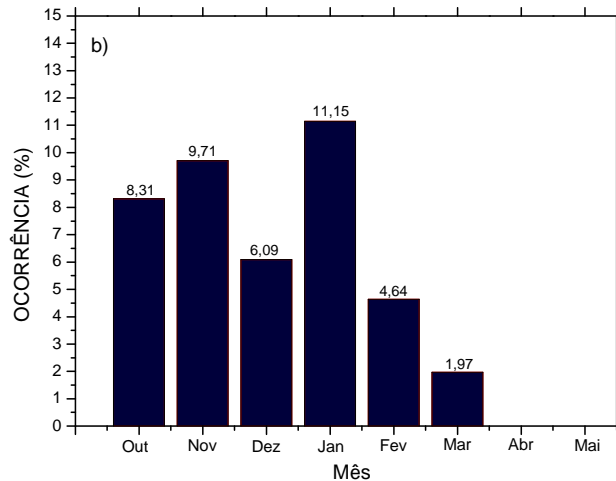


Figura 5.1: (a) Horas de observação com imageador “all-sky” da emissão OI 630,0 nm para o período de outubro de 2011 a maio de 2012; (b) frequência de ocorrência de Bolhas de Plasma.

As horas totais de observação e a frequência de ocorrência de Bolhas de Plasma são apresentadas na forma de os histogramas, respectivamente na Figura 5.1 (a) e na Figura 5.1 (b). A Figura 5.1, no histograma da Figura 5.1 (b), a frequência de ocorrência é exibida percentualmente, em relação à quantidade total de horas observadas durante o mês correspondente.

Nos meses verão no hemisfério Sul, a porcentagem de ocorrência de Bolhas de Plasma é mais elevada comparando com meses do outono. O mês de abril e maio não possui registros de ocorrência de Bolhas de Plasma. Os meses de fevereiro, e março apresentam os valores de porcentagem de ocorrência mais baixos.



CAPITULO 6

PRINCIPAIS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Foi realizada uma revisão bibliográfica de livros e artigos científicos sobre os fenômenos como Luminescência Atmosférica e da AMAS.

Foi realizada a revisão bibliográfica em livros, artigos científicos e na internet sobre fenômenos estudados e análise de dados.

Rm paralelo as suas atividades de pesquisas do Projeto o bolsista auxiliou na manutenção e no funcionamento do imageador “all-sky”, realizou o armazenamento dos dados obtidos pelo equipamento em mídias (DVD), assim como, efetuou um estudo estatístico da ocorrência de distúrbios ionosféricos.



CAPITULO 7

PRINCIPAIS ATIVIDADES A CONCLUIR

Redução dos dados, tratamento das imagens e cálculo da velocidade das MSTIDs

Estudo estatístico das MSTIDs – comportamento sazonal e estudo dos efeitos provocados pelas MSTIDs nos sinais de GPS.

Elaboração de trabalhos científicos e participação em congressos.

Continuação da revisão bibliográfica sobre os fenômenos estudados.



CAPITULO 8

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A execução do Trabalho do Projeto de Pesquisa ajudou o bolsista a aplicar os novos conhecimentos ao longo do Curso de Física.

Durante sua atuação no Laboratório de Mesosfera e Luminescência Atmosférica e no Laboratório de Óptica e Luminescência Atmosférica o bolsista aprofundou seus conhecimentos relacionados com as áreas da Geofísica Espacial, Geomagnetismo, especialmente em Aeronomia.

É preciso enfatizar que as atividades de Iniciação Científica foram essenciais para o desenvolvimento científico do bolsista, contribuindo para sua formação pessoal e profissional, visto que estimulou fortemente o interesse pela Ciência e o desenvolvimento de suas potencialidades técnico-científicas.

O bolsista teve grande desenvolvimento pessoal com as atividades de mentoreamento, com o Dr. Nelson Jorge Schuch, ressaltando em especial o aumento de sua empatia, auto-estima, sua auto-confiança e segurança interna com o trato interpessoal e intrapessoal.



REFERÊNCIAS

Amorim, D. C. M. **Caracterização de distúrbios ionosféricos propagastes na região de baixas latitudes no setor brasileiro associados a Instabilidade de plasma perkins gerada em médias latitudes.** 2010. 134p. Dissertação (mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2010.

Bageston, J. V. **Determinação da temperatura da mesosfera superior utilizando espectro - imageador.** 2005. 139p. Dissertação (mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

Braessur, G., Solomon, S. **Aeronomy of the middle atmosphere.** Dordrecht, Holanda: D. Reidel 1986, 441 p.

Chamberlain, J. W.; **Physics of the Aurora and Airglow,** American Geophysical Union, 1995.

Machado, Cristiano Sarzi. **Estudo de ocorrência de bandas claras utilizando luminescência atmosférica da região F de baixas latitudes em função do ciclo solar.** 2011. 135p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2011.

Girardi, T. J. **Estudo da aeroluminescencia ionosférica na região da anomalia geomagnética da América do Sul.** 2009. Relatório de projeto (iniciação científica) – Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, Santa Maria RS. 2009.

Kirchhoff, V. W. J. H. **Introdução à geofísica espacial.** São José dos Campos: INPE, 1991. 149 p. ISBN 85-7233-001-1. (INPE-7306-RPQ/700).

Maekawa, R. **Development mult-color all sky airglow CCD imaging system.** Kyoto University, Dec, 1998 (RASC Research Report).

Makita, K.; Okano, S.; Yukimatsu, A.; Nishino, M.; Shibasaki, K.; Yamamoto, H.; Kikuchi, T.; Nozaki, K.; Fujitaka, K.; Furukawa, M.; Takahashi, H.; Schuch, N.J.; **Upper**



Atmosphere Observations in the Brazilian Geomagnetic Anomaly Region, Bulletin of Science and Engineering, Takushoku University, V. 1, No.2, 1997.

Moor, Lilian Piecha. **Estudo das irregularidades Ionosféricas as região F durante um período de atividade Solar Mínima**. 2011. 161p. Dissertação (Mestrado em Física e Astronomia) – Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos. 2011.

Peterson, V.I; Steiger, W.R. F-region nightglow emissions of atomic oxygen. **Journal of Geophysical Research**, v.71, no.9, p. 2267-2277, 1966.

Pimenta, Alexandre Álvares. **Estudos da deriva zonal e Dinâmica das Bolhas de Plasma na região Tropical**. 2003. 184p. Tese (doutorado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.

Sahai, Y.; Fagundes, P.R.; Bittencourt, J.A. Transequatorial F-region ionospheric plasma bubbles: solar cycle effects. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics**, v.62, p. 1377-1383, 2000.

Santana, C. D. **Estudos da evolução temporal/espacial das derivas das depleções de plasma ionosféricas, por imagens digitais da aeroluminescência OI 630 nm noturna**. 2001. Dissertação (mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2001.

Siqueira J. de. **Desenvolvimento de instrumentação para medidas geomagnéticas de baixo ruído a bordo de satélites científicos – magnetômetro de núcleo saturado**. 2009. Relatório Final de atividade (iniciação científica). - Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, Santa Maria RS. 2009.

Takahashi, H., B. R. Clemesha; ET AL Rocket observations of the atomic and molecular oxygen emissions in the equatorial region. **Advance in Space Research**, 10: (10) 47-50, 1987.

Woithe, J, 2000, **Optical studies of the mesospheric region**, PhD Thesis, University of Adelaide, Australia.



Wrasse, Cristiano Max. **Observação da temperatura rotacional da hidroxila através da aeroluminescência na região da mesosfera terrestre.** 2000. 125p. Dissertação (mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2000.

Wrasse, Cristiano Max. **Estudos de Geração e propagação de ondas de gravidade atmosféricas.** 2004. 253p. Tese (doutorado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.