



**IRREGULARIDADES NO PLASMA IONOSFÉRICO OBSERVADO  
ATRAVÉS DE MEDIDAS ÓTICAS DA EMISSÃO OI 630nm NA  
REGIÃO TROPICAL BRASILEIRA**

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

**Anderson Vestena Bilibio**

(UFSM – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCTI)

**E-mails:** andersonvetenabilibio05@gmail.com,  
anderson.bilibio304@hotmail.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 2013

**DADOS DE IDENTIFICAÇÃO:**

**Título:**

**IRREGULARIDADES NO PLASMA IONOSFÉRICO OBSERVADO  
ATRAVÉS DE MEDIDAS ÓTICAS DA EMISSÃO OI 630nm NA  
REGIÃO TROPICAL BRASILEIRA.**

**Processo: 161128/2012-2**

**Aluno Bolsista no período de agosto/2012 a Julho/2013:**

**Anderson Vestena Bilibio**

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



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 a minha família: meu pai Luiz Carlos Bilibio, minha mãe Suzana Terezinha Vestena Bilibio, meu irmão Andreos Vetena Bilibio, por todo apoio, carinho e incentivo que estou ganhando.

Ao Dr. Alexandre Álvares Pimenta, da divisão de Aeronomia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - LASER/DAE/CEA/INPE – MCTI, pelo acolhimento da minha pessoa ao grupo e por sua dedicação e orientação nas minhas atividades de Iniciação Científica.

Ao Dr. Nelson Jorge Schuch do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE-MCTI, por todo apoio, dedicação e orientação que tem me prestado.

Ao Doutorando em Geofísica Espacial Cristiano Sarzi Machado por seu apoio, ajuda e também por sua amizade.

Ao meu colega de laboratório por toda sua ajuda e apoio nos meus trabalhos de pesquisas, e amigo Michel Baptistella Stefanello.

Ao grupo de alunos graduandos e pesquisadores do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE-MCTI. Meus sinceros agradecimentos.

Sra. Egídia Inácio da Rosa, pelo constante apoio, alertas e sua preocupação com toda a burocracia de datas limites do Programa para com os bolsistas de I. C. & T do CRS/INPE - MCTI.



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



**Estudante**  
**Anderson Vestena Bilibio**



[Link para Currículo Lattes](#)

[Dados gerais](#)

[Indicadores de produção C, T & A](#)

#### Dados gerais

##### Identificação do estudante

**Nome:** Anderson Vestena Bilibio

**Nível de treinamento:** Graduação

**Currículo Lattes:** 20/06/2013 10:06

**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](#)

[DESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BR](#)

##### Orientadores participantes de grupos de pesquisa na instituição

[Alexandre Alvares Pimenta](#)



Indicadores de produção C, T & A dos anos de 2010 a 2013				
Tipo de produção	2010	2011	2012	2013
Produção bibliográfica	0	0	0	0
Produção técnica	0	0	1	1
Orientação concluída	0	0	0	0
Produção artística/cultural e demais trabalhos	0	0	0	0

Fechar



## 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:** 14/06/2013 10:54

**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, em 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 Nanosatélites 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 Geoespaço 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: 52**

[Adriano Petry](#)

[Alexandre Alvares Pimenta](#)

[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)

[Alisson Dal Lago](#)

[Andrei Piccinini Legg](#)

[Antonio Claret Palerosi](#)

[Barclay Robert Clemesha](#)

[Carlos Roberto Braga](#)

[Cassio Espindola Antunes](#)

[Clezio Marcos De Nardin](#)

[Cristiano Sarzi Machado](#)

[Delano Gobbi](#)

[Eduardo Escobar Bürger](#)

[Eurico Rodrigues de Paula](#)

[Ezequiel Echer](#)

[Fabiano Luis de Sousa](#)

[Jose Humberto Andrade Sobral](#)

[Juliano Moro](#)

[Lilian Piecha Moor](#)

[Lucas Lopes Costa](#)

[Lucas Ramos Vieira](#)

[Mangalathayil Ali Abdu](#)

[Marco Ivan Rodrigues Sampaio](#)

[Marlos Rockenbach da Silva](#)

[Nalin Babulau Trivedi](#)

[Natanael Rodrigues Gomes](#)

[Nelson Jorge Schuch](#)

[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)

[Odim Mendes Junior](#)

[Osmar Marchi dos Santos](#)

[Otavio Santos Cupertino Durão](#)

[Pawel Rozenfeld](#)



[Fernanda de São Sabbas Tavares](#)  
[Fernanda Gusmão de Lima Kastensmidt](#)  
[Geilson Loureiro](#)  
[Gelson Lauro Dal' Forno](#)  
[Guilherme Simon da Rosa](#)  
[Gustavo Fernando Dessbesell](#)  
[Hisao Takahashi](#)  
[Igor Freitas Fagundes](#)  
[Jean Pierre Raulin](#)  
[João Baptista dos Santos Martins](#)

[Petrônio Noronha de Souza](#)  
[Polinaya Muralikrishna](#)  
[Rajaram Purushottam Kane](#)  
[Renato Machado](#)  
[Ricardo Augusto da Luz Reis](#)  
[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)  
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)  
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)  
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)  
[William do Nascimento Guareschi](#)

<b>Estudantes</b>	<b>Total: 22</b>
-------------------	------------------

[Anderson Vestena Bilibio](#)  
[Ândrei Camponogara](#)  
[Andreas Vestena Bilibio](#)  
[Bruno Knevitz Hammerschmitt](#)  
[Claudio Machado Paulo](#)  
[Dimas Irion Alves](#)  
[Fernando Landerdahl Alves](#)  
[Guilherme Paul Jaenisch](#)  
[Iago Camargo Silveira](#)  
[José Paulo Marchezi](#)  
[Leonardo Zavareze da Costa](#)

[Lucas Lourencena Caldas Franke](#)  
[Maurício Ricardo Balestrin](#)  
[Michel Baptistella Stefanello](#)  
[Miguel Rossatto Bohrz](#)  
[Pietro Fernando Moro](#)  
[Rodrigo Passos Marques](#)  
[Tális Piovesan](#)  
[Thales Nunes Moreira](#)  
[Thales Ramos Mânica](#)  
[Tiago Bremm](#)  
[Vinícius Deggeroni](#)

<b>Técnicos</b>	<b>Total: 0</b>
-----------------	-----------------

<b>Linhas de pesquisa</b>	<b>Total: 4</b>
---------------------------	-----------------

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

<b>Relações com o setor produtivo</b>	<b>Total: 1</b>
---------------------------------------	-----------------

- [ALPHA SOUTH AMERICA - REPRESENTACOES E CONSULTORIA AEROESPACIAL LTDA - ASARCA PPROV](#)



Indicadores de recursos humanos do grupo	
Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)	52
Estudante(s)	22
Técnico(s)	0

Fechar



## Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



### 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:**

[Anderson Vestena Bilibio](#)  
[Claudio Machado Paulo](#)  
[Dimas Irion Alves](#)  
[Iago Camargo Silveira](#)  
[Leonardo Zavareze da Costa](#)  
[Michel Baptistella Stefanello](#)  
[Pietro Fernando Moro](#)  
[Thales Ramos Mânica](#)  
[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.

[Fechar](#)



**Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil**



**Linha de Pesquisa**

**DESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BR**

Linha de pesquisa



#### DESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BR

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

**Palavras-chave:** CubeSats; Desenvolvimento de Engenharias - Tecnologias; Miniaturização; Nanosatélites;  
Nanotecnologia; Pesquisa do Geoespaço;

#### **Pesquisadores:**

[Adriano Petry](#)  
[Alexandre Alvares Pimenta](#)  
[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)  
[Alisson Dal Lago](#)  
[Andrei Piccinini Legg](#)  
[Antonio Claret Palerosi](#)  
[Cassio Espindola Antunes](#)  
[Clezio Marcos De Nardin](#)  
[Cristiano Sarzi Machado](#)  
[Eduardo Escobar Bürger](#)  
[Ezequiel Echer](#)  
[Fabiano Luis de Sousa](#)  
[Fernanda Gusmão de Lima Kastensmidt](#)  
[Geilson Loureiro](#)  
[Gelson Lauro Dal' Forno](#)  
[Guilherme Simon da Rosa](#)  
[Gustavo Fernando Dessbesell](#)  
[Igor Freitas Fagundes](#)  
[Jean Pierre Raulin](#)  
[João Baptista dos Santos Martins](#)  
[Jose Humberto Andrade Sobral](#)  
[Lilian Piecha Moor](#)  
[Lucas Lopes Costa](#)  
[Marlos Rockenbach da Silva](#)  
[Nalin Babulal Trivedi](#)  
[Natanael Rodrigues Gomes](#)  
[Nelson Jorge Schuch](#)  
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)  
[Odim Mendes Junior](#)  
[Osmar Marchi dos Santos](#)  
[Otavio Santos Cupertino Durão](#)  
[Pawel Rozenfeld](#)  
[Petrônio Noronha de Souza](#)  
[Renato Machado](#)  
[Ricardo Augusto da Luz Reis](#)  
[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)  
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)  
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)  
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)  
[William do Nascimento Guareschi](#)

#### **Estudantes:**

[Anderson Vestena Bilibio](#)  
[Andrei Camponogara](#)  
[Andreas Vestena Bilibio](#)  
[Dimas Irion Alves](#)  
[Fernando Landerdahl Alves](#)  
[Guilherme Paul Jaenisch](#)  
[Iago Camargo Silveira](#)  
[José Paulo Marchezi](#)  
[Leonardo Zavareze da Costa](#)



[Lucas Lourencena Caldas Franke](#)  
[Maurício Ricardo Balestrin](#)  
[Miguel Rossatto Bohr](#)  
[Pietro Fernando Moro](#)  
[Rodrigo Passos Marques](#)  
[Tális Piovesan](#)  
[Thales Nunes Moreira](#)  
[Thales Ramos Mânica](#)  
[Tiago Bremm](#)  
[Vinicius Deggeroni](#)

**Árvore do conhecimento:**

Ciências Exatas e da Terra; Astronomia; Astrofísica do Sistema Solar;  
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Instrumentação Científica;  
Engenharias; Engenharia Aeroespacial; Engenharia Aeroespacial - Pequenos Satélites;

**Setores de aplicação:**

Aeronáutica e Espaço

**Objetivo:**

Pesquisas: Geoespaço e Nanosatélites Científicos - Iniciação Científica & Tecnológica: CubeSats: (100g-1Kg) o NANOSATC-BR1 e (1Kg-10Kg) o NANOSATC-BR2; Carga útil: magnetômetros, sondas de Langmuir, fotômetros/imageadores e detector de partículas; Desenvolvimentos Engenharias/Tecnologias Espaciais: estrutura mecânica, computador-bordo, programas, estação terrena, testes/integração. Sub-sistemas: potencia, propulsão, telemetria, térmico controle/atitude. Vice-Líder: Otávio Santos Cupertino Durão

---

**Fechar**



## **RESUMO**

O Relatório expõe as atividades desenvolvidas pelo bolsista Anderson Vestena Bilibio, acadêmico do curso de Física Licenciatura, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, durante o período de Agosto de 2012 a Julho de 2013, com a seguinte linha de pesquisa: “IRREGULARIDADES NO PLASMA IONOSFÉRICO OBSERVADO ATRAVÉS DE MEDIDAS ÓTICAS DA EMISSÃO OI 630nm NA REGIÃO TROPICAL BRASILEIRA”. 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

<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>13</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>15</b>
<b>CAPITULO 1</b> .....	<b>16</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>CAPITULO 2</b> .....	<b>18</b>
2.1 Ionosfera .....	18
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>19</b>
<b>LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA</b> .....	<b>19</b>
3.1 Emissões .....	19
3.2 Irregularidades na região F da ionosfera – Bolhas de Plasmas.....	22
3.3 Formas de Observarmos as Irregularidades no Plasmas atmosférico .....	24
3.3 Imageador “All-Sky” .....	24
3.4 Câmera CCD .....	28
3.5 Sonda de Langmuir.....	28
<b>CAPITULO 5</b> .....	<b>31</b>
Resultados e Discussões .....	31
5.1 Bolhas de Plasmas.....	31
5.2 Sonda de Langmuir .....	31
<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>32</b>
<b>PRINCIPAIS ATIVIDADES A CONCLUIR</b> .....	<b>33</b>



<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>35</b>



## **LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 2.1.1- Nomenclatura e localização das camadas ionosféricas. ....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 3.1- Camadas de emissão da aeronomia .....</b>	<b>21</b>
<b>Tabela 3.1.1- Emissão atmosférica do oxigênio atômico. ....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 3.2- Bolha de Plasma.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 3.2.1- Bolha de Plasma na linha de emissão OI 630nm.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 3.3.1- Esquematização de um imageador com câmera CCD....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 3.3.2 Imageador no Observatório Regional Sul.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 3.3.3– Campo de visão do imageador “all-sky” .....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 3.3.4 - A roda de filtros de interferência do imageador.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 3.5 - Curva característica da Sonda de Langmuir.....</b>	<b>30</b>



## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

As irregularidades de plasma podem prejudicar a propagação de ondas eletromagnéticas na ionosfera, interferindo na transmissão de sinais de rádio e em sistemas de posicionamento (GPS). Irregularidades no plasma ionosférico como, bolhas de plasma e distúrbios ionosféricos propagantes de média escala (MSTID's), são fenômenos que continuam a despertar grande interesse na área de Aeronomia. Para detectar tais irregularidades no plasma ionosférico, utilizamos alguns equipamentos científicos voltados para a física ótica e de radio frequência. Com relação aos equipamentos óticos, utilizamos fotômetros tipo all-sky. Tal equipamento utiliza a emissão de luminescência atmosférica OI 630nm.

As irregularidades no plasma da região-F, (bolhas de plasma) têm sua origem na ionosfera equatorial e são formadas por regiões onde a densidade de plasma é drasticamente reduzida, o que representa um dos fenômenos mais importantes da ionosfera noturna nas regiões equatoriais e latitudes mais baixas. As irregularidades ionosféricas de larga escala são usualmente chamadas “bolhas de plasma”, e também existem outras irregularidades que ocorrem como: (Medium Scale Traveling Ionospheric disturbances - MSTDs, e outras). Neste trabalho focaremos atualmente nas chamadas bolhas de plasmas.

Outra técnica que permite estudar irregularidades no plasma da região F (in loco) é a sonda de Langmuir. H. M. Mott-Smith e Langmuir I desenvolveram um método que é comumente usado em foguetes de sondagens e satélites, onde através de uma sonda eletrostática, é possível obter medidas da densidade de plasma na ionosfera. Passando a ser chamada técnica de “Langmuir probe”. No trabalho é apresentada a teoria da sonda de Langmuir para aplicações na área de Aeronomia.

Nesse trabalho foram analisadas imagens “all-sky” com presença de (bolhas de plasmas) detectadas por imageador “all-sky” instalado no Observatório Espacial do Sul –





OES/CRS/CCR/INPE-MCTI, em São Martinho da Serra, RS, (29,28°S, 53,82°O, dip. latitude 18,57°S). As imagens analisadas foram do ano de 2011.



## **CAPÍTULO 2**

### **2.1 IONOSFERA**

A ionosfera está situada entre aproximadamente 60 km (dia) e 200 km (noite) até 1000 km de altura, sendo uma região rica em irregularidades e perturbações de plasma. É a 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- $\alpha$ .

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<sup>+</sup>.

A região F2 constituída também, de elétrons livres e O<sup>+</sup>. 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 2.1.1 apresenta as regiões ionosféricas em função da densidade eletrônica.

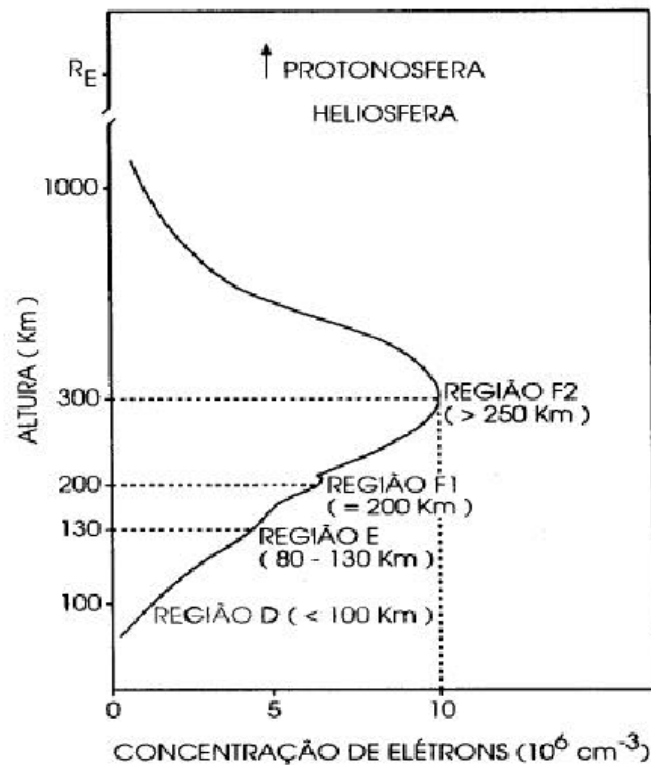


Figura 2.1.1- Nomenclatura e localização das camadas ionosféricas.

FONTE: Kirchoff (1991, p.77)



## **CAPITULO 3**

### **LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA**

#### **3.1 Emissões**

A Luminescência Atmosférica ou Aeroluminescência é um fenômeno óptico da Atmosfera Terrestre que ocorre principalmente entre 80 e 400 km de altitude, consistindo na emissão da radiação eletromagnética pelos constituintes atmosféricos em decorrência de processos de reações fotoquímicas e iônicas. Sendo assim a 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 energética, os elementos químicos excitados emitem, através de bandas e linhas espectrais, uma radiação de extensa faixa espectral, a aeroluminescência. Esta radiação compreende desde o ultravioleta ( $\lambda \sim 250 \text{ nm}$ ) até o infravermelho ( $\lambda \sim 4\mu\text{m}$ ).

As irregularidades de plasma da região F ionosférica podem ser estudadas através de observações óticas das emissões de aeroluminescência utilizando-se imageadores *All-Sky*. Desta forma podemos investigar as emissões noturnas mais estudadas de aeroluminescência atmosférica, na região F da Atmosfera, as emissões de oxigênio atômico: OI 777.4nm, OI 557.7nm, OI 630.0nm.

No Relatório são analisados conceitos a cerca das emissões OI 630 nm. A linha de emissão OI 630,0 nm possui uma extensão de aproximadamente 50 km na Atmosfera em uma faixa de altura de 220-300 km. Esta linha de emissão é a mais utilizada no estudo da química e dinâmica da região F noturna e amplamente empregada para detecção dos eventos de Bolhas de Plasma e das Perturbações Ionosféricas Propagantes. 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 observar como vemos na Tabela 3.1.1 às emissões de luminescência atmosférica:

A figura a seguir demonstra os agentes emissores de aeroluminescência que estão presentes na atmosfera entre 80-400 km de altura como mostra a Figura 3.1.1.

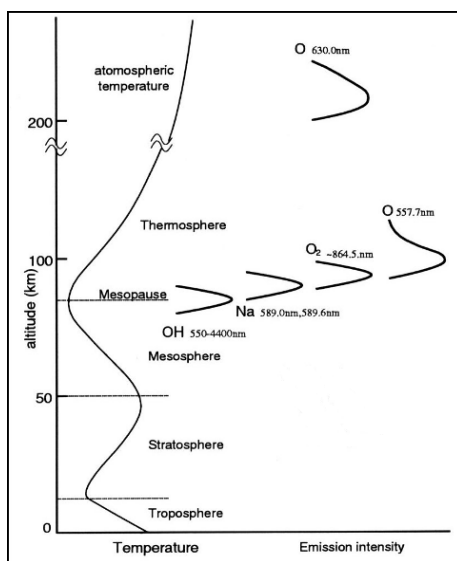


Figura 3.1.1: As camadas de emissão de aeroluminescência estão representadas esquematicamente, juntamente com o perfil de temperatura da atmosfera da Terra.

Fonte: MAEKAWA (2000, p.4).

Tabela 3.1.1 – Emissão atmosférica do oxigênio atômico.

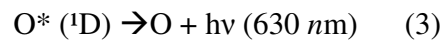
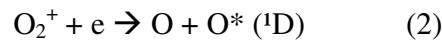
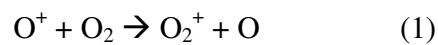
<b><i>Emissão Atmosférica</i></b>	<b><i>Intensidade Típica (R)</i></b>	<b><i>Comprimento de onda (nm)</i></b>	<b><i>Altura média da camada de emissão (km)</i></b>
<b>OI 557,7 nm</b>	60	557,7	250-300
<b>OI 630,0 nm</b>	300	630,0	250-300
<b>OI 777,4 nm</b>	20	777,4	300-400

Fonte: Pimenta (2003) p.67.



A linha vermelha de emissão (630,0 nm) do OI é emitida pelo átomo de oxigênio no nível de energia O(<sup>1</sup>D), ou seja, excitado. Ao decair libera o excesso de energia na forma de radiação eletromagnética. O nível O(<sup>1</sup>D) é gerado a partir do processo de recombinação dissociativa do íon molecular O<sub>2</sub><sup>+</sup> com elétrons da região F da ionosfera.(WHOITE, 2000):

As expressões a seguir representam as reações químicas que geram a emissão OI 630 nm na região F:



Onde,

O<sub>2</sub> = oxigênio molecular

O<sub>2</sub><sup>+</sup> = íon do oxigênio molecular;

O\* = átomo de oxigênio excitado;

e = elétron ;

h = energia do fóton;

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.

### **3.2 Irregularidades na região F da ionosfera - BOLHAS DE PLASMA:**

As bolhas ionosféricas desenvolvem-se no equador magnético, estendendo-se transequatorialmente ao longo das linhas de força do campo geomagnético. Podem alcançar até em torno de 10.000 km nesta direção e de 100 km a 300 km na direção perpendicular às linhas de campo (Abdu et al., 1991). Sua expansão ocorre ao longo

das linhas de campo geomagnético devido a grande mobilidade dos elétrons livres sobre tais linhas. As bolhas de plasma ou bolhas ionosféricas podem ser definidas como uma região da Atmosfera terrestre em que a densidade de plasma ionosférico é acentuadamente reduzida em comparação à densidade do plasma da vizinhança.

A figura 3.2 demonstra esquematicamente a evolução temporal e espacial de uma bolha de plasma.

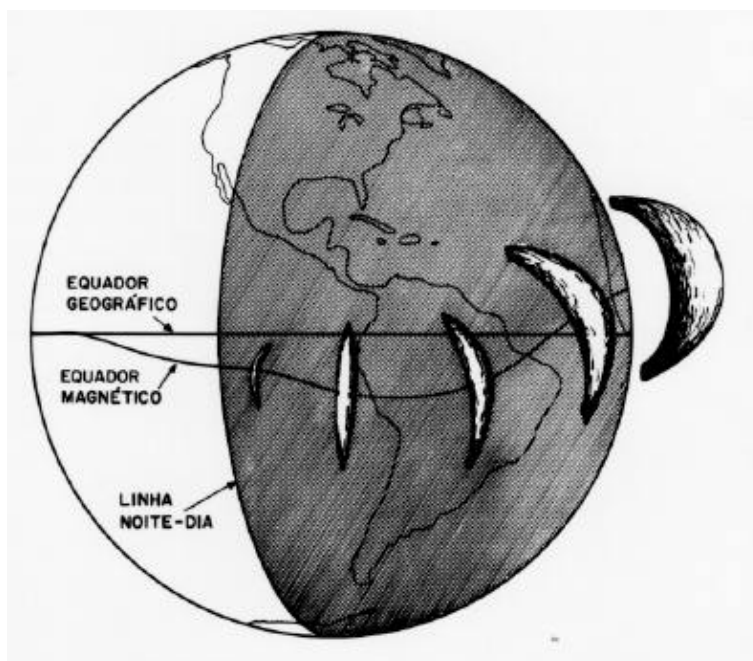


Figura 3.2 – Representação esquemática da evolução de uma bolha de plasma.

FONTE: Sobral (1999).

As bolhas ionosféricas começam a ser geradas em aproximadamente 250 km de altura, em toda a faixa equatorial do globo terrestre, mas com maior intensidade sobre o território brasileiro. As bolhas de plasma observadas na região brasileira se deslocam, de modo geral, de oeste para leste. O fenômeno não acontece durante o dia em virtude da alta condutividade iônica influenciada pela radiação solar, ou seja, sua variação é dependente do ciclo solar.

Quanto à variabilidade sazonal das bolhas de plasma, sua ocorrência é predominante nos meses de primavera e verão, entre setembro e abril, com um máximo em dezembro e janeiro. Nos meses de inverno, a frequência de ocorrência é mínima.

A Figura 3.2.1 apresenta imagens da emissão OI 630 nm. Onde é possível observar a presença de bolhas de plasma em região mais escura ao centro da imagem.

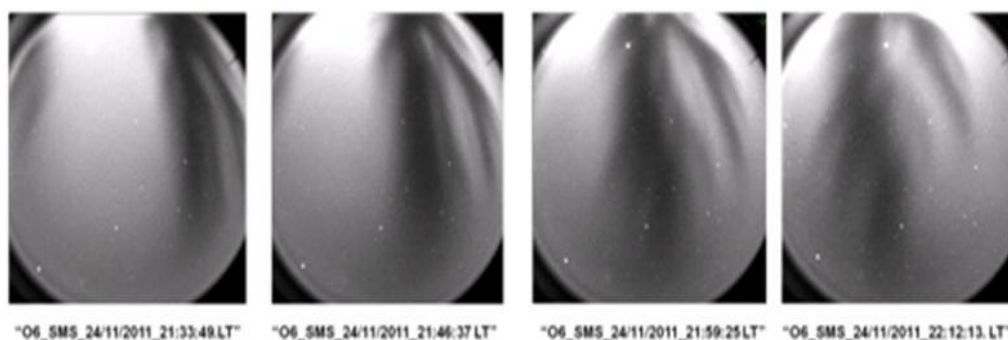


Figura 3.2.1 – Bolha de Plasma, uma das irregularidades ionosféricas obtida com o imageador all-sky, no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE-MCTI, em São Martinho da Serra, RS, (29,28°S, 53,82°O, dip. latitude 18,57°S).

### 3.3 Formas de observamos as Irregularidades no plasma atmosférico:

#### 3.3 Imageador “All-Sky”

O imageador “all-sky” é bastante usado para se estudar a morfologia e a dinâmica das irregularidades de plasma na região F. 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 3.3.1 relata a configuração de um imageador com sensor CCD.

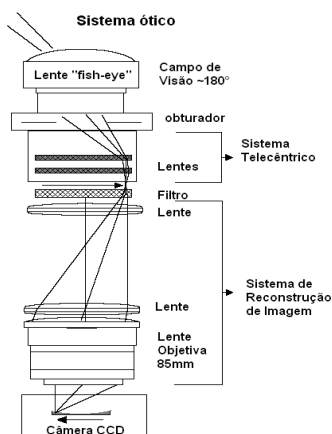


Figura 3.3.1 - Esquematização de um imageador com câmera CCD utilizado para observação ótica de aeroluminescência. FONTE: Wrasse (2004).

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 com recursos da FAPESP, por meio de um projeto aprovado pelo 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. A Figura 3.3.1 a seguir mostra o equipamento instalado em São Martinho e a Figura 3.3.2 mostra o campo de visão do imageador.



Figura 3.3.2 – Equipamento instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE - MCTI –, em São Martinho da Serra, RS - Imagem externa do equipamento.

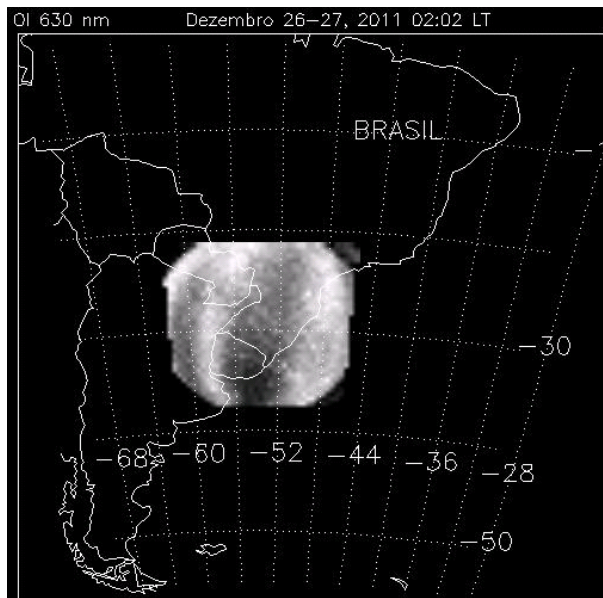


Figura 3.3.3– Campo de visão do imageador “all-sky” instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE - MCTI –, em São Martinho da Serra, RS

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 N<sub>2</sub><sup>+</sup> em 428.7 nm.

O equipamento possui um sistema de reconstrução de imagem acromática sobre o sensor CCD. O sistema ótico 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 3.3.4.

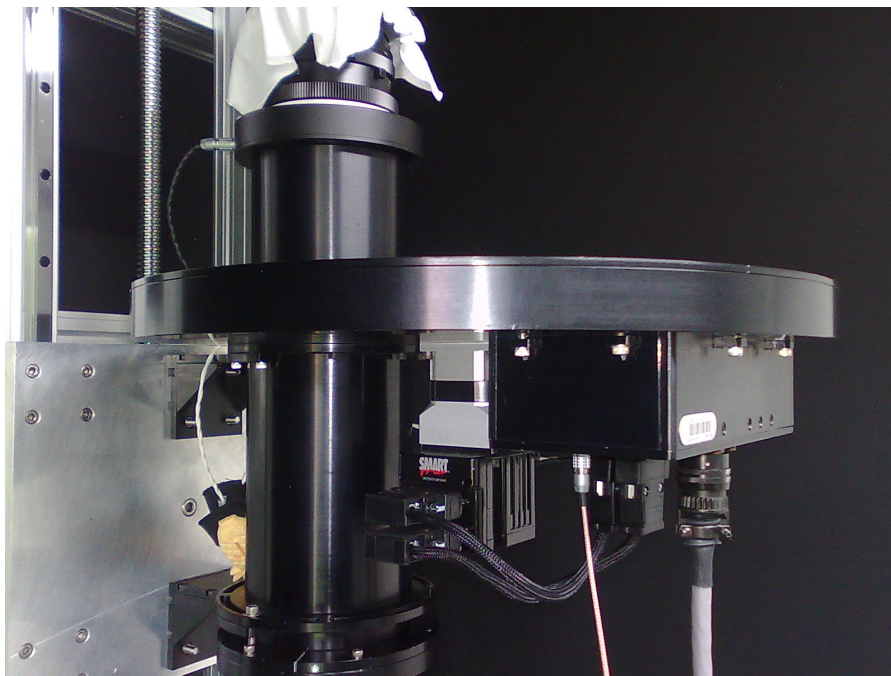


Figura 3.3.4 - A roda de filtros de interferência. Sob a mesma, encontra-se uma unidade eletrônica de controle.



### **3.4 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  $\mu\text{m}$ . 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.

### **3.5 - Sonda de Langmuir**

Em 1926, HM Mott-Smith e Langmuir I desenvolveram um método que foi um dos primeiro e mais comumente usado em foguetes de sondagens e satélites, onde através de uma sonda eletrostática é possível obter medidas de propriedades de resolução espacial e temporal da densidade de plasma. Desde então, foi chamada a técnica de Langmuir. O método de diagnóstico com sondas de Langmuir fornece uma resolução espacial, isto é, que permite medir as propriedades do plasma localmente ou de forma individual. Onde, em seguida, a sonda de Langmuir consiste de um eletrodo de pequeno porte que está imerso no plasma, a fim de recolher os fluxos de partículas ionizadas.

Uma sonda de Langmuir pode determinar a temperatura, e a concentração de energia cinética dos elétrons no plasma ionosférico. O dispositivo funciona por meio da determinação da corrente entre o plasma do ambiente e um sensor metálico, de acordo com o potencial do sensor.

Um sensor de um condutor de plasma recolhe corrente de elétrons e íons, que depende tanto da densidade e da velocidade térmica destas partículas, como a velocidade e as



potencialidades do sensor. O perfil de corrente, em princípio, pode ser convertido para os perfis de densidade e temperatura do plasma.

A relação aproximada seguinte pode ser conseguida pela corrente  $I$  recolhidos por um sensor em que um potencial  $V$  negativo é aplicado (medido em relação ao potencial do plasma em torno do sensor):

$$I = enA[V_s - V_e \exp(-eV / kT_e)]$$

Sempre que,  $(e)$  é a carga eletrônica e  $(n)$  é a densidade numérica de elétrons (ou íons),  $(V_s)$  é o sensor de velocidade no plasma,  $(V_e)$  é a velocidade média térmica dos elétrons,  $(T_e)$  é a temperatura cinética dos elétrons, o símbolo  $(k)$  representa o constante de Boltzmann e  $(A)$  é a área da superfície do sensor.

Para um potencial positivo  $(V)$  do sensor em relação ao plasma potencial, a relação aproximada para a corrente recolhida é:

$$I = enA \left\{ V_s \exp(eV / kT_i) - V_e [1 - \exp(eV / k_e)] \right\}$$

Onde,  $(T_i)$  é a temperatura cinética dos íons.

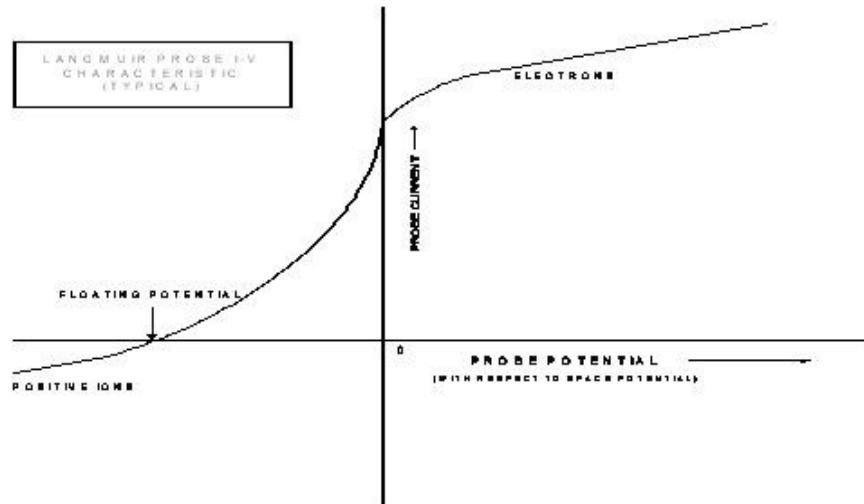


Figura 3.5: Curva característica da Sonda de Langmuir.

O sensor pode ser mantido a um potencial negativo para recolher os íons positivos ou predominantemente um potencial positivo para recolher elétrons.

A temperatura de elétrons pode ser estimada a partir da curva característica da sonda de Langmuir (LP) a partir da relação:

$$T_e = \frac{e}{k} \frac{V_2 - V_1}{\ln(I_2) - \ln(I_1)}$$

Substituindo os valores de e, k,

$$T_e = 11605 \frac{V_2 - V_1}{\ln(I_2) - \ln(I_1)}$$

Em que, (e) é a carga eletrônica, (k) é a constante de Boltzmann, (I1) e (I2) são as correntes recolhidas pelo sensor no LP potencial (V1) e (V2), respectivamente.



## **CAPITULO 5**

### **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### **5.1 Bolhas de Plasmas:**

Os fenômenos de Bolhas de Plasmas visualizados nas imagens do all-sky da emissão OI 630.0 nm são irregularidades que podem prejudicar nas linhas de comunicações como, sinais de satélites e processo de localização (GPS).

Com essas imagens da figura 3.2 obtidas pelo imageador “all-sky” observou que as Bolhas de Plasmas são alinhadas, de modo geral, de oeste para leste com a mesma velocidade de deriva zonal do plasma ionosférico. As bandas escuras visualizadas são as bolhas de plasmas ionosféricas que ocorrem por volta de 250 km de altura, em toda a faixa equatorial do globo terrestre, mas com maior intensidade sobre o território brasileiro

#### **5.2 Sonda de Langmuir:**

Do mesmo modo através da Sonda de Langmuir nos satélites é possível detectar irregularidades no plasma da região-F. As medições da densidade de elétrons com os satélites mostram que a densidade das bolhas de plasma é de cerca de uma ordem de magnitude mais baixa do que a densidade do ambiente de plasma.

Essas irregularidades de plasma podem prejudicar a propagação de ondas eletromagnéticas na ionosfera, interferindo na transmissão de sinais de rádio e em sistemas de posicionamento (GPS), sendo assim prejudicial para o desenvolvimento hoje.



## CONCLUSÕES

Foram analisadas imagens obtidas pelo imageador all-sky na emissão OI 630,0 *nm* localizado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE - MCTI – em São Martinho da Serra, RS.

Nos dados que foram observados pelo imageador all-sky notamos a passagem das irregularidades chamadas Bolhas de Plasmas, na região-F da atmosfera. Essas Bolhas de Plasmas têm a característica de se alinhar, de modo geral, de oeste para leste. Onde este fenômeno tem como contrapartida prejudicando os sinais de telecomunicações mais importantes para o desenvolvimento social e econômico atualmente.

De outro modo concluímos que o projeto, sonda de Langmuir é capaz de obter novos conhecimentos sobre as irregularidades de plasma da ionosfera no setor brasileiro. Onde está contido no projeto do satélite NANOSATC-BR2. As medições do perfil latitudinal da densidade de elétrons com a sonda de Langmuir, a partir do equador para a região, juntamente com um conhecimento detalhado sobre a distribuição de condutividade, devem formar impulsos importantes em estudos futuros para os diferentes aspectos da eletrodinâmica. Permitindo assim possíveis avanços, não só como uma tecnologia humana como resultam em pesquisas pioneiras para o Brasil.





## **PRINCIPAIS ATIVIDADES A CONCLUIR**

Redução dos dados, tratamento das imagens das Bolhas de Plasmas, e se possível de outros fenômenos de irregularidades de plasma.

Elaboração de trabalhos científicos e participação em congressos.

Continuação da revisão bibliográfica sobre os fenômenos estudados.



## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

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.

As atividades de Iniciação Científica junto com a execução do Trabalho ao Projeto de Pesquisa 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.



## REFERÊNCIAS

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).

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.

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.

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 ionosféricos, 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.

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

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.

Milton, Felipe Souza Santos Automação de um sistema de sonda de Langmuir para caracterização de plasmas. ITA, São Paulo.

Chen F.F., Huddleston R.H. e Leonard S. L., Plasma diagnostic technique, 1965, Academic.

Massi M., Formação e caracterização de plasma-duplo com geração do plasma-fonte por acoplamento indutivo de RF, 1994, Tese de mestrado, ITA, São Paulo.