



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA  
ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL**

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

**PROCESSO Nº 104748/2010-9**

**Dimas Irion Alves – (UFSM – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT,  
Agosto 2010 a Fevereiro de 2011)  
E-mail: dirion@lacesm.ufsm.br**

**Lucas Camponogara Viera – (UFSM – Bolsista PIBIC/INPE –  
CNPq/MCT, Março a Julho de 2011)  
E-mail: lucas.camponogara@lacesm.ufsm.br**

**Dr. Polinaya Muralikrishna  
Orientador**

**Divisão de Aeronomia Espacial  
DAE/CEA/INPE – MCT  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
INPE - MCT  
E-mail: murali@dae.inpe.br**

**Santa Maria, Julho de 2011**



**RELATÓRIO FINAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO  
PROGRAMA: PIBIC/INPE – CNPq/MCT**

**PROJETO**

**ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA  
ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL**

**PROCESSO: 104748/2010-9**

**Relatório elaborado por DIMAS IRION ALVES, relativo ao período de  
Agosto de 2010 a Fevereiro de 2011 de execução das atividades por:**

**Dimas Irion Alves - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT  
E-mail: dirion@lacesm.ufsm.br**

**Relatório elaborado por LUCAS CAMPONOGARA VIERA relativo ao período de  
Março de 2011 a Julho de 2011 de execução das atividades por:**

**Lucas Camponogara Viera - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT  
E-mail: lucas.camponogara@lacesm.ufsm.br**

**Dr. Polinaya Muralikrishna – Orientador  
Divisão de Aeronomia – DAE/CEA/INPE – MCT  
E-mail: murali@dae.inpe.br**

**Dr. Nelson Jorge Schuch – Co-Orientador  
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CCR/INPE – MCT  
E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br**



## **DADOS DE IDENTIFICAÇÃO**

**Título:**

**ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL**

**Processo CNPq Nº: 104748/2010-9**

**Bolsista no período de Agosto/10 a Fevereiro/11**

**Dimas Irion Alves**

Curso de Engenharia Elétrica

Centro de Tecnologia – CT/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

**Bolsista no período de Março/11 a julho/11**

**Lucas Camponogara Viera**

Curso de Física – Bacharelado

Centro de Ciências Naturais e Exatas – CCNE/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

**Orientador:**

**Dr. Polinaya Muralikrishna**

Divisão de Aeronomia - DAE/CEA/INPE - MCT

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – MCT

**Co-Orientador:**

**Dr. Nelson Jorge Schuch**

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

**Colaboradores:**

**Dr. Jean Pierre Raulin**

Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica Mackenzie – CRAAM,  
São Paulo - Brasil.



**Dr. Kazuo Makita**  
University of Takushoku, Tokyo - Japão

**Cláudio Machado Paulo**  
Acadêmico do Curso de Física – Licenciatura Plena da UFSM

**Juliano Moro**  
Doutorando em Geofísica Espacial  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/MCT  
São José dos Campos, SP.

**Pietro Fernando Moro**  
Aluno do Ensino médio  
Escola Estadual Prof. Margarida Lopes.  
Santa Maria, RS.

**Locais de Trabalho/Execução do Projeto:**

- Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre - LSIANT/CRS/CCR/INPE – MCT
- Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CCR/INPE – MCT

Trabalho desenvolvido no âmbito da Parceria e Convênio: INPE/MCT – UFSM, através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM.



**1ª PARTE**

**ATIVIDADES TÉCNICAS CIENTÍFICAS DESENVOLVIDAS NO  
PROJETO PELO BOSISTA SUBSTITUÍDO**

**DIMAS IRION ALVES**



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Estudante  
**Dimas Irion Alves**



[Link para  
Currículo Lattes](#)

Dados gerais

Indicadores de produção C, T & A

**Dados gerais**

**Identificação do estudante**

Nome: Dimas Irion Alves

Nível de treinamento: Graduação

Currículo Lattes: 26/11/2010 08:11

E-mail:

Homepage: <http://www.ufsm.br>

**Grupos de pesquisa que atua na instituição**

Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br - INPE

**Linhas de pesquisa que atua**

AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA

Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR

MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO

MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL

**Orientadores participantes de grupos de pesquisa na instituição**

Polinaya Muralikrishna

**Indicadores de produção C, T & A dos anos de 2008 a 2011**

Tipo de produção	2008	2009	2010	2011
Produção bibliográfica	0	1	5	0
Produção técnica	0	4	7	0
Orientação concluída	0	0	0	0
Produção artística/cultural e demais trabalhos	0	0	0	0



Linha de Pesquisa  
**MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO**

**Linha de pesquisa**

**MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO**

**Nome do grupo:** Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br

**Palavras-chave:** Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS; Desenvolvimento de Instrumentação Espacial; Eletricidade Atmosférica - Descargas Elétricas; Física Magnetosferas, Física Solar e Heliosférica; Geomagnetismo; Magnetômetros;

**Pesquisadores:**

Alisson Dal Lago  
Cassio Espindola Antunes  
Clezio Marcos De Nardin  
Gelson Lauro Dal' Forno  
Jean Carlo Santos  
Joao Paulo Minussi  
Mangalathayil Ali Abdu  
Nalin Babulal Trivedi  
Nivaor Rodolfo Rigozo  
Osmar Pinto Junior  
Pawel Rozenfeld  
Severino Luiz Guimaraes Dutra

**Estudantes:**

Claudio Machado Paulo  
Dimas Irion Alves  
Edson Rodrigo Thomas  
José Paulo Marchezi  
Leonardo Zavareze da Costa  
Lucas Camponogara Viera  
Lucas Lourencena Caldas Franke  
Pietro Fernando Moro  
Roger Hatwig de Lima  
Rubens Zolar Gehlen Bohrer  
Tális Piovesan  
Tardelli Ronan Coelho Stekel  
William do Nascimento Guareschi

**Árvore do conhecimento:**

Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Geofísica; Geofísica Aplicada;  
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Geofísica Espacial;  
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Instrumentação Científica;

**Setores de aplicação:**

Produtos e Serviços Voltados Para A Defesa e Proteção do Meio Ambiente, Incluindo O Desenvolvimento Sustentado

**Objetivo:**

Pesquisas: acoplamento da Heliosfera, Meio Interplanetário e Magnetosferas Planetárias, com dados de sondas espaciais e nas magnetosferas; modelos físicos/estatísticos; variação secular do Campo Total-F, 22883 nT no OES, na razão -28 nT/ano; deslocamento para oeste da AMAS observado desde 1985, via Cooperação: UFSM-ON-INPE com o SERC/KU-Japão; pulsações contínuas e/ou impulsivas observadas na componente H amplificadas pela precipitação na região da AMAS. Vice-Líder: Nalin Babulau Trivedi.



Linha de Pesquisa  
**AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA**

**Linha de pesquisa**

**AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA**

**Nome do grupo:** Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br

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

**Pesquisadores:**

Barclay Robert Clemesha  
Caitano Luiz da Silva  
Clezio Marcos De Nardin  
Cristiano Max Wrasse  
Cristiano Sarzi Machado  
Delano Gobbi  
Eurico Rodrigues de Paula  
Fábio Augusto Vargas dos Santos  
Fernanda de São Sabbas Tavares  
Gelson Lauro Dal' Forno  
Hisao Takahashi  
Jean Pierre Raulin  
Mangalathayil Ali Abdu  
Marcelo Barcellos da Rosa  
Marco Ivan Rodrigues Sampaio  
Nelson Jorge Schuch  
Nivaor Rodolfo Rigozo  
Polinaya Muralikrishna

**Estudantes:**

Cássio Rodinei dos Santos  
Claudio Machado Paulo  
Dimas Irion Alves  
Edson Rodrigo Thomas  
Eduardo Weide Luiz  
Felipe Cipriani Luzzi  
Guilherme Grams  
Leonardo Zavareze da Costa  
Lucas Camponogara Viera  
Pietro Fernando Moro  
Tardelli Ronan Coelho Stekel  
William do Nascimento Guareschi

**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.





Linha de Pesquisa  
**MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL**

**Linha de pesquisa**

**MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL**

**Nome do grupo:** Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br

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

**Pesquisadores:**

Alan Prestes  
Alicia Luisa Clúa de Gonzalez  
Alisson Dal Lago  
Carlos Roberto Braga  
Cassio Espindola Antunes  
Ezequiel Echer  
Fernando Luis Guarnieri  
Jean Pierre Raulin  
Juliano Moro  
Lucas Ramos Vieira  
Marcos Vinicius Dias Silveira  
Nelson Jorge Schuch  
Nivaor Rodolfo Rigozo  
Rajaram Purushottam Kane  
Severino Luiz Guimaraes Dutra  
Walter Demetrio Gonzalez Alarcon

**Estudantes:**

Bruno Knevez Hammerschmitt  
Claudio Machado Paulo  
Dimas Irion Alves  
Eduardo Escobar Bürger  
Guilherme Grams  
José Paulo Marchezi  
Leonardo Zavareze da Costa  
Lucas Camponogara Viera  
Mauricio Rosa de Souza  
Nikolas Kemmerich  
Pietro Fernando Moro  
Roger Hatwig de Lima  
Tális Piovesan  
Tardelli Ronan Coelho Stekel  
William do Nascimento Guareschi

**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.



Linha de Pesquisa  
**Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR**

**Linha de pesquisa**

**Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR**

**Nome do grupo:** Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo; Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br

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

**Pesquisadores:**

Ademar Michels  
Alicia Luisa Clúa de Gonzalez  
Alisson Dal Lago  
Antonio Claret Palerosi  
Cassio Espindola Antunes  
Clezio Marcos De Nardin  
Cristiano Sarzi Machado  
Ezequiel Echer  
Fabiano Luis de Sousa  
Fernando Luis Guarnieri  
Ijar Milagre da Fonseca  
Jean Pierre Raulin  
Jose Humberto Andrade Sobral  
Lucas Ramos Vieira  
Nalin Babulal Trivedi  
Natanael Rodrigues Gomes  
Nelson Jorge Schuch  
Nivaor Rodolfo Rigozo  
Odim Mendes Junior  
Otávio Santos Cupertino Durão  
Pawel Rozenfeld  
Petrônio Noronha de Souza  
Rafael Lopes Costa  
Severino Luiz Guimaraes Dutra  
Walter Demetrio Gonzalez Alarcon

**Estudantes:**

Dimas Irion Alves  
Eduardo Escobar Bürger  
Guilherme Grams  
Guilherme Simon da Rosa  
Igor Freitas Fagundes  
José Paulo Marchezi  
Leonardo Zavareze da Costa  
Lucas Lopes Costa  
Lucas Lourencena Caldas Franke  
Mauricio Rosa de Souza  
Nikolas Kemmerich  
Pietro Fernando Moro  
Roger Hatwig de Lima  
Rubens Zolar Gehlen Bohrer  
Tális Piovesan  
Tardelli Ronan Coelho Stekel  
William do Nascimento Guareschi

**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 em Engenharias/Tecnologias: eletrônica, comunicações, mecânica, lançamento de pequenos satélites científico universitário - iniciação científica: CubeSat (100g-1Kg, 10x10x10cm), Nanosatélite (1Kg-10Kg); Carga útil: magnetômetro e detector de partículas; Desenvolvimentos: estrutura mecânica, computador-bordo, programas, estação terrena, testes/integração, sub-sistemas: potencia, propulsão, telemetria, controle: atitude, térmico, Vice-Líder: Otávio Santos Cupertino Durão



## **AGRADECIMENTOS**

O bolsista agradece a todos os funcionários do CRS/CCR/INPE – MCT pelo apoio, atenção, gentileza e pela infra-estrutura disponibilizada.

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC/INPE-CNPq/MCT e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, assim como ao Coordenador do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, pela oportunidade de dar seus primeiros passos na Iniciação Científica e Tecnológica, propiciando grande desenvolvimento acadêmico.

Ao Orientador do Projeto, Dr. Polinaya Muralikrishna, Pesquisador do DAE/CEA/INPE-MCT, pela atenção e ajuda prestada com suas sugestões e correções aos trabalhos desenvolvidos.

O bolsista agradece, especialmente, a seu Co-Orientador Dr. Nelson Jorge Schuch, Pesquisador Titular Sênior III do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCT, pela confiança depositada, orientação pessoal e acadêmica, auxílio durante os momentos de dificuldades e pelo constante incentivo.

Outro agradecimento especial aos colegas de Laboratório Cláudio Machado Paulo e Pietro Fernando Moro e a Juliano Moro, doutorando em Geofísica Espacial no INPE/MCT, por toda atenção, companheirismo e apoio, no desenvolvimento do Projeto de Pesquisa.

O bolsista agradece a seus amigos e sua família, principalmente a seus pais Maria do Carmo Oliveira Irion e Dimas José Cardoso Alves, pelo constante apoio e incentivo em seus estudos e pelo auxílio para vencer todos os obstáculos e seguir em frente.



## RESUMO

O relatório apresenta as atividades e os estudos referentes ao Projeto “**ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL**” (Processo nº 108483/2010-0), com vigência de Agosto de 2010 a Fevereiro de 2011, realizados por Dimas Irion Alves aluno do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, bolsista no Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT.

O Projeto tem dois objetivos específicos. O primeiro objetivo é, através do uso do equipamento integrante da rede *South American Riometer Network* (SARINET), Riômetro Imageador instalado no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CCR/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS, estudar as interações Sol-Terra e a precipitação de partículas na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, a partir de observações da variação da absorção ionosférica de ondas de rádio de origem cósmica. O segundo objetivo é o monitoramento da atividade solar, em longo prazo, para o estudo da região da AMAS, utilizando a rede de receptores da rede *South America VLF Network* (SAVNET), que utiliza as propriedades de rádio propagação de ondas VLF (*Very Low Frequency*: 3 - 30 kHz). O estudo e o desenvolvimento da pesquisa, redução, análise e interpretação de dados, é realizada no Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre – LSIANT do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.



## SUMÁRIO

<b>ATIVIDADES TÉCNICAS CIENTÍFICAS DESENVOLVIDAS NO PROJETO PELO BOSISTA SUBSTITUÍDO – DIMAS IRION ALVES.....</b>	<b>05</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>20</b>
<b>IONOSFERA.....</b>	<b>20</b>
1.1 - <i>Introdução.....</i>	<i>20</i>
1.2 - <i>Equilíbrio Iônico.....</i>	<i>21</i>
1.3 - <i>Regiões Ionosféricas.....</i>	<i>22</i>
1.3.1 - <i>Região D.....</i>	<i>23</i>
1.3.2 - <i>Região E.....</i>	<i>23</i>
1.3.3 - <i>Região F.....</i>	<i>23</i>
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>25</b>
<b>ATIVIDADE SOLAR.....</b>	<b>25</b>
2.1 - <i>Ciclo Solar.....</i>	<i>25</i>
2.2 - <i>Explosões Solares e Ejeções Coronais de Massas.....</i>	<i>26</i>
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>28</b>
<b>CAMPO GEOMAGNÉTICO.....</b>	<b>28</b>
3.1 - <i>Campo Magnético Terrestre.....</i>	<i>28</i>
3.2 - <i>Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS).....</i>	<i>29</i>
3.3 - <i>Cinturões de Radiação de Van Allen.....</i>	<i>31</i>
3.4 - <i>Tempestades Magnéticas Sub-Tempestades Magnéticas.....</i>	<i>32</i>
3.5 - <i>Sub-Tempestades Magnéticas.....</i>	<i>34</i>
3.6 - <i>Índices Magnéticos.....</i>	<i>35</i>
3.6.1 - <i>Índice Dst.....</i>	<i>35</i>
3.6.2 - <i>Índice Kp e Ap.....</i>	<i>36</i>
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>38</b>
<b>REDE SARINET.....</b>	<b>38</b>
4.1 - <i>Rede SARINET.....</i>	<i>38</i>
4.2 - <i>Riômetros.....</i>	<i>40</i>
4.3 - <i>Riômetro Imageador.....</i>	<i>42</i>
4.4 - <i>Rotina de Aquisição de Dados.....</i>	<i>45</i>
4.5 - <i>Análise de Dados.....</i>	<i>47</i>
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>50</b>
<b>REDE SAVNET.....</b>	<b>50</b>
5.1 - <i>Rede SAVNET.....</i>	<i>50</i>
5.2 - <i>Estação Receptora de VLF.....</i>	<i>51</i>
5.3 - <i>Rotina de Aquisição de Dados.....</i>	<i>53</i>
5.4 - <i>Análise de Dados.....</i>	<i>55</i>
<b>APÍTULO 6.....</b>	<b>57</b>
<b>ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE A VIGÊNCIA DA BOLSA.....</b>	<b>57</b>
<b>CAPÍTULO 7.....</b>	<b>59</b>
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>60</b>

<b>ATIVIDADES TÉCNICAS CIENTÍFICAS DESENVOLVIDAS NO PROJETO PELO BOSISTA SUBSTITUÍDO – LUCAS CAMPONOGARA VIERA .....</b>	<b>62</b>
<b>CAPÍTULO 8 .....</b>	<b>72</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>72</b>
<b>CAPÍTULO 9 .....</b>	<b>74</b>
<b>ATMOSFERA .....</b>	<b>74</b>
9.1 - <i>Evolução da atmosfera terrestre</i> .....	74
9.2 - <i>composição</i> .....	74
9.3 - <i>Ionosfera</i> .....	76
9.3.1 - <i>Principais fontes de ionização</i> .....	76
9.3.2 - <i>Principais constituintes</i> .....	77
9.3.3 - <i>Densidade eletrônica</i> .....	78
<b>DIVISÕES DA IONOSFERA .....</b>	<b>79</b>
Região D .....	79
Região E .....	80
Região F .....	80
<b>CAPÍTULO 10 .....</b>	<b>81</b>
<b>CAMPO GEOMAGNÉTICO .....</b>	<b>81</b>
10.1 - <i>Campo Magnético Terrestre</i> .....	81
10.2 - <i>Cinturões de Radiação de Van Allen</i> .....	81
10.3 - <i>Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS)</i> .....	83
10.4 - <i>Tempestades Magnéticas e Sub-Tempestades Magnéticas</i> .....	84
10.5 - <i>Ruídos Cósmicos</i> .....	85
<b>CAPÍTULO 11 .....</b>	<b>86</b>
<b>ESTUDO DO PLASMA IONOSFÉRICO COM RIÔMETROS .....</b>	<b>86</b>
11.1 - <i>Riômetros</i> .....	86
11.2 - <i>Riômetro Imageador</i> .....	86
11.3 - <i>Curva do Dia Quietos (QDC)</i> .....	89
11.4 - <i>Rede SARINET</i> .....	89
<b>CAPÍTULO 12 .....</b>	<b>91</b>
<b>ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE A VIGÊNCIA DA BOLSA .....</b>	<b>91</b>
<b>CAPÍTULO 13 .....</b>	<b>92</b>
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>92</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>93</b>

## LISTA DE FIGURAS e TABELAS

<b>FIGURA 1.1 – DIVISÃO DA ATMOSFERA E IONOSFERA TERRESTRE .....</b>	<b>20</b>
<b>FIGURA 1.2 – ILUSTRAÇÃO DA VARIAÇÃO DA DENSIDADE ELETRÔNICA E A VARIAÇÃO DE ALTITUDE DA BASE DA IONOSFERA ENTRE OS PERÍODOS DIURNO E NOTURNO DURANTE O MÁXIMO E MÍNIMO SOLAR.....</b>	<b>21</b>
<b>FIGURA 1.3 – ILUSTRAÇÃO DAS DENSIDADES ELETRÔNICAS EM RELAÇÃO À ALTITUDE DAS TRÊS REGIÕES IONOSFÉRICAS, COM SUA NOMENCLATURA.....</b>	<b>22</b>
<b>FIGURA 2.1 – PREVISÃO DO NÚMERO DE MANCHAS SOLARES PARA O CICLO SOLAR 24, REALIZADA EM JANEIRO DE 2011 .....</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA 2.2 – EXPLOSÃO SOLAR EM PRIMEIRO DE SETEMBRO DE 1859.....</b>	<b>26</b>
<b>FIGURA 2.3 – EJEÇÃO CORONAL DE MASSA E O APROXIMADO TAMANHO DA TERRA EM RELAÇÃO AO SOL .....</b>	<b>27</b>
<b>FIGURA 3.1 – REPRESENTAÇÃO DAS LINHAS DE FORÇA MAGNÉTICA DO CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE. NO CENTRO DA IMAGEM, REPRESENTAÇÃO DE UMA BÚSSOLA INDICANDO O EIXO NORTE SUL MAGNÉTICO .....</b>	<b>28</b>
<b>FIGURA 3.2 – MAPA GLOBAL DE CURVAS EQUIPOTENCIAIS DO MODELO GEOMAGNÉTICO WMM2010 IMPLEMENTADO POR (STEKEL, 2010). .....</b>	<b>30</b>
<b>FIGURA 3.3 – REPRESENTAÇÃO DO CINTURÃO DE RADIAÇÃO DE VAN ALLEN.....</b>	<b>31</b>
<b>FIGURA 3.4 – REPRESENTAÇÃO DO RESULTADO DA COLISÃO DE PARTÍCULAS ENERGÉTICAS COM CONSTITUINTES ATMOSFÉRICOS.....</b>	<b>32</b>
<b>FIGURA 3.5 – REPRESENTAÇÃO DA MAGNETOSFERA (AZUL) E DO CHOQUE DE PARTÍCULAS ENERGÉTICAS COM O CAMPO GEOMAGNÉTICO.....</b>	<b>33</b>
<b>FIGURA 3.6 – FASES DE UMA TEMPESTADE MAGNÉTICA.....</b>	<b>34</b>
<b>FIGURA 3.7 – ÍNDICE DST PARA O MÊS DE OUTUBRO, 2010 .....</b>	<b>35</b>
<b>TABELA 3.1 – CLASSIFICAÇÃO DAS TEMPESTADES MAGNÉTICAS .....</b>	<b>36</b>
<b>FIGURA 3.8 – ÍNDICE KP PARA O PERÍODO DE 10 A 13 DE OUTUBRO, 2010.....</b>	<b>36</b>
<b>TABELA 3.2 – RELAÇÃO DA ATIVIDADE MAGNÉTICA COM O ÍNDICE KP .....</b>	<b>36</b>
<b>FIGURA 3.8 – ÍNDICE AP PARA O PERÍODO DE 10 A 13 DE OUTUBRO, 2010.....</b>	<b>37</b>
<b>TABELA 3.3 – NÍVEIS KP PARA O ÍNDICE AP .....</b>	<b>37</b>
<b>FIGURA 4.1 – REPRESENTAÇÃO DOS SÍTIOS DE COLETAS DE DADOS DA REDE SARINET.....</b>	<b>39</b>
<b>FIGURA 4.2 – FOTOGRAFIA DAS ANTENAS DO RIÔMETRO CONVENCIONAL NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL, OES/CRS/CCR/INPE – MCT.....</b>	<b>39</b>
<b>FIGURA 4.3 – DIAGRAMA DE BLOCOS SIMPLIFICADO DE UM RIÔMETRO.....</b>	<b>40</b>
<b>FIGURA 4.4 – REPRESENTAÇÃO DA QDC (VERMELHO) E DO SINAL ATENUADO PELA IONOSFERA (PRETO) .....</b>	<b>41</b>
<b>FIGURA 4.5 – FOTOGRAFIA DAS ANTENAS DO RIÔMETRO IMAGEADOR NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL, OES/CRS/CCR/INPE – MCT.....</b>	<b>42</b>
<b>FIGURA 4.6 – DISPOSIÇÃO DAS ANTENAS DE UM RIÔMETRO IMAGEADOR (4X4).....</b>	<b>43</b>
<b>FIGURA 4.7 – IMAGENS GERADAS A PARTIR DE UMA ROTINA <i>MATLAB</i>, ATRAVÉS DE DADOS OBTIDOS PELO SISTEMA RIÔMETRO IMAGEADOR OPERACIONAL NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL, OES/CRS/CCR/INPE – MCT, DA TEMPESTADE MAGNÉTICA OCORRIDA NO DIA 15/12/2006.....</b>	<b>43</b>





<b>FIGURA 4.8 – GRÁFICOS GERADOS A PARTIR DE UMA ROTINA MATLAB, ATRAVÉS DE DADOS OBTIDOS PELO SISTEMA RIÔMETRO IMAGEADOR OPERACIONAL NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL, OES/CRS/CCR/INPE – MCT, DA TEMPESTADE MAGNÉTICA OCORRIDA NO DIA 15/12/2006.....</b>	<b>44</b>
<b>FIGURA 4.9 – ÍNDICE DST PARA O MÊS DE DEZEMBRO, 2006 .....</b>	<b>47</b>
<b>FIGURA 4.10 – ÍNDICE KP PARA O PERÍODO DE 14 A 17 DE DEZEMBRO, 2006.....</b>	<b>48</b>
<b>FIGURA 4.11 – ÍNDICE AP PARA O PERÍODO DE 14 A 17 DE DEZEMBRO, 2006.....</b>	<b>48</b>
<b>FIGURA 4.12 – ABSORÇÃO IONOSFÉRICA LOCAL NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL, OES/CRS/CCR/INPE–MCT, PARA O PERÍODO 15:34–16:21UT NO DIA 27 DE ABRIL DE 2006.....</b>	<b>49</b>
<b>FIGURA 4.13 – O PRIMEIRO GRÁFICO APRESENTA DADOS REFERENTES AO FLUXO DE RAIOS-X DO GOES, OS OUTROS APRESENTAM O RUÍDO CÓSMICO REGISTRADO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL, OES/CRS/CCR/INPE–MCT, PELAS ANTENAS N3E1, N3E3 E N3E4, RESPECTIVAMENTE, DO RIÔMETRO IMAGEADOR NO DIA 27 DE ABRIL DE 2006. EM DESTAQUE A ERUPÇÃO SOLAR ESTUDADA.....</b>	<b>49</b>
<b>FIGURA 5.1 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES RECEPTORAS (VERMELHO) E TRANSMISSORAS (AMARELO) DA REDE SAVNET .....</b>	<b>50</b>
<b>FIGURA 5.2 – ESQUEMA SIMPLIFICADO DOS COMPONENTES DE UMA ESTAÇÃO RECEPTORA DE VLF DA REDE SAVNET .....</b>	<b>51</b>
<b>FIGURA 5.3 – ANTENAS “LOOP” E ANTENA VERTICAL INSTALADAS NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL, OES/ CRS/CCR/INPE – MCT.....</b>	<b>51</b>
<b>FIGURA 5.4 – INTERFACE DO PROGRAMA <i>SOFTPAL</i> UTILIZADO NA ESTAÇÃO RECEPTORA INSTALADA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL, OES/ CRS/CCR/INPE – MCT.....</b>	<b>52</b>
<b>FIGURA 5.5 – CONFIGURAÇÃO CORRETA DO ESPECTRO NO PROGRAMA <i>SOFTPAL</i>....</b>	<b>53</b>
<b>FIGURA 5.6 – CONFIGURAÇÃO CORRETA DO PROGRAMA <i>SOFTPAL</i> .....</b>	<b>54</b>
<b>FIGURA 5.7 – FLUXO DE RAIOS-X PARA O PERÍODO DE 31 DE MAIO A 02 DE JUNHO DE 2007. EM DESTAQUE DUAS EXPLOSÕES SOLARES DE CLASSE M .....</b>	<b>56</b>
<b>FIGURA 5.8 – VARIAÇÃO NOITE-DIA DA VELOCIDADE DE FASE (VERDE) E DE AMPLITUDE (AMARELO). EM DESTAQUE AS DUAS EXPLOSÕES SOLARES DA FIGURA 5.7.....</b>	<b>56</b>
<b>FIGURA 9.1 – PRINCIPAIS FONTES DE IONIZAÇÃO DA BAIXA IONOSFERA TERRESTRE. ....</b>	<b>77</b>
<b>FIGURA 9.2 – GRÁFICO ILUSTRANDO A DISTRIBUIÇÃO DAS REGIÕES ATMOSFÉRICAS SEGUNDO ALTITUDE E DENSIDADE ELETRÔNICA. REGIÃO D: EM TORNO DE 60 KM A 80 KM, REGIÃO E: 105 KM A 160 KM, REGIÃO F DIVIDIDA EM CAMADA F<sub>1</sub>: 160 KM A 180 KM, CAMADA F<sub>2</sub>: MÁXIMO DE DENSIDADE ELETRÔNICA 300 CM<sup>-3</sup> .....</b>	<b>79</b>
<b>FIGURA 10.1 – REPRESENTAÇÃO DOS CINTURÕES DE RADIAÇÃO DE VAN ALLEN .....</b>	<b>82</b>
<b>FIGURA 10.2 – DISTRIBUIÇÃO DA INTENSIDADE DO CAMPO MAGNÉTICO TOTAL, REPRESENTADA POR ISOLINHAS, PARA O GLOBO TERRESTRE UTILIZANDO O MODELO MAGNÉTICO MUNDIAL WMM2010-2015. O TRIANGULO VERDE IDENTIFICA A REGIÃO DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL, NO SUL DO BRASIL.....</b>	<b>83</b>



**FIGURA 10.3 – ILUSTRAÇÃO ARTÍSTICA DO CHOQUE DE PARTÍCULAS ENERGÉTICAS COM O CAMPO MAGNÉTICO. EM AZUL, REPRESENTAÇÃO DA MAGNETOSFERA..... 84**

**FIGURA 11.1 – GRÁFICO GERADO A PARTIR DE UMA ROTINA DO SOFTWARE *MATLAB*, ATRAVÉS DE DADOS OBTIDOS PELO SISTEMA RIÔMETRO IMAGEADOR OPERACIONAL NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – OES/CRS/CCR/INPE – MCT 29,4° S, 53,8° O 480 M DE ALTITUDE, EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS, DO DIA 15/12/2006 ..... 87**

**FIGURA 11.2 – DISPOSIÇÃO DAS ANTENAS DO RIÔMETRO IMAGEADOR INSTALADO NO OES ..... 88**

**FIGURA 11.3 – FOTOGRAFIA DAS ANTENAS DO RIÔMETRO IMAGEADOR NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL, SÃO MARTINHO DA SERRA, RS ..... 88**



## INTRODUÇÃO

O presente Relatório descreve as atividades realizadas no Projeto intitulado **ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL** (Processo número 108483/2010-0), com vigência de Agosto de 2010 a Agosto de 2011. No período de **Agosto de 2010 até Fevereiro 2011** as atividades foram realizadas pelo aluno **Dimas Irion Alves**, autor do presente relatório, aluno do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM.

O objetivo do Projeto de Pesquisa é observar a variação da absorção ionosférica do ruído cósmico em 38,2 MHz, na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS. Os dados do ruído cósmico utilizado no presente estudo são adquiridos pelo equipamento Riômetro (do inglês *Riometer: Relative Ionospheric Opacity Meter*), instalado e em operação no Observatório Espacial do Sul OES/CRS/CCR/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS. O estudo e o desenvolvimento da pesquisa, redução, análise e interpretação de dados são realizados no Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRS/CCR/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.

O presente relatório foi dividido em seis capítulos, descritos a seguir:

O Capítulo 1 apresenta a revisão bibliográfica referente à Ionosfera Terrestre e aos eventos físicos e químicos que podem ocorrer nesta parte da Atmosfera.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão teórica sobre a atividade solar, ciclo solar, explosões solares e Ejeções Coronais de Massa.

O Capítulo 3 apresenta uma revisão bibliográfica referente ao Campo Magnético Terrestre, a Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS, Cinturões de Radiação de Van Allen e os índices magnéticos Dst, Kp e Ap.

O Capítulo 4 refere-se à rede SARINET – *South America Riometer*, apresentando o projeto, o equipamento Riômetro, sua constituição e métodos de análise de dados.

O Capítulo 5 refere-se à rede SAVNET *South – America VLF Network*, apresentando o projeto, os equipamentos envolvidos no sistema e métodos de análise de dados.

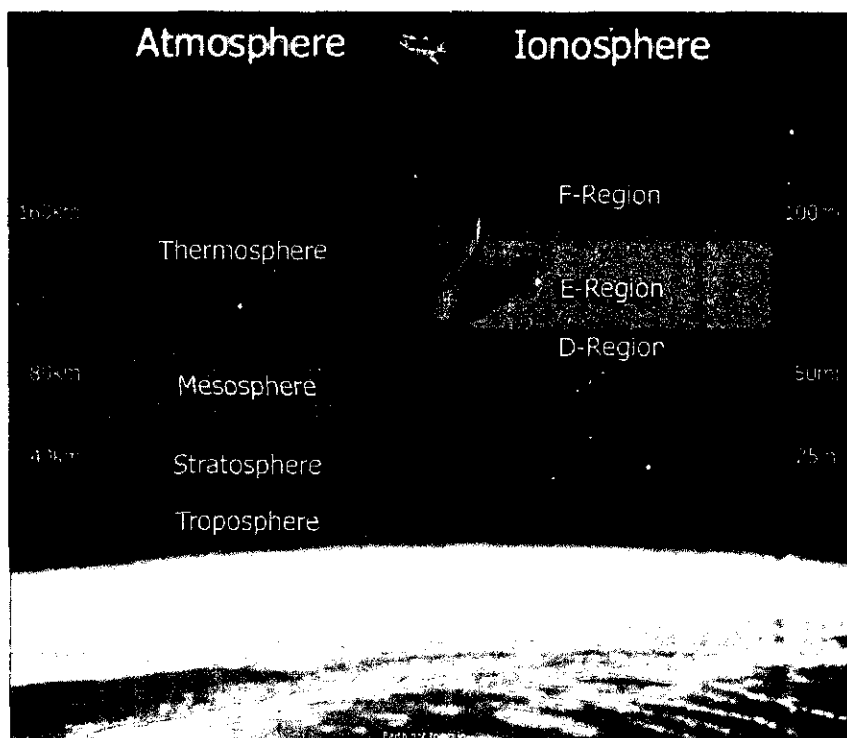
No Capítulo 6 é realizado um resumo das atividades desenvolvidas pelo bolsista durante a vigência da bolsa.

## CAPÍTULO 1

### IONOSFERA

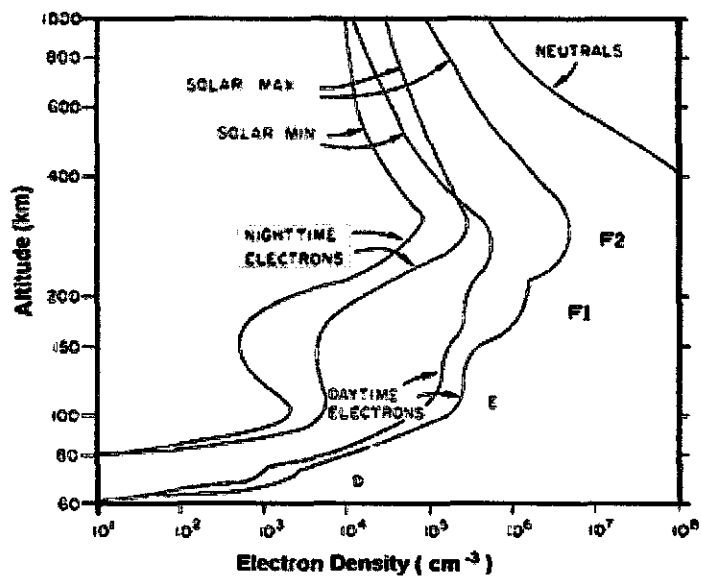
#### 1.1 – Introdução

A Atmosfera Terrestre pode ser dividida em Atmosfera neutra e Atmosfera ionizada, de acordo com as características dos seus elementos constituintes (Figura 1.1). A Atmosfera neutra é formada por moléculas de gases em estado neutro. A Ionosfera, Atmosfera ionizada, é constituída por íons moleculares e elétrons livres produzidos pela influência ionizante da radiação solar e por partículas cósmicas energéticas (Hargreaves, 1995). Não existe um limite definido entre a Atmosfera neutra e a Ionosfera, devido à grande variação deste limite durante os períodos noturnos e diurnos (Figura 1.2). Durante o dia, a base da Ionosfera situa-se em torno de 60 a 70 km de altitude e a noite situa-se em torno de 90 a 100 km de altitude.



**Figura 1.1** – Divisão da Atmosfera com relação ao perfil vertical de temperatura e a ionização.

Fonte: <http://atmosphere.igetweb.com/index.php?mo=3&art=405489>.



**Figura 1.2** – Ilustração da variação da densidade eletrônica e a variação de altitude da base da Ionosfera entre os períodos diurno e noturno durante o máximo e mínimo solar.

Fonte:

[http://www.weather.nps.navy.mil/~psguest/EMEO\\_online/module3/module\\_3\\_2.html](http://www.weather.nps.navy.mil/~psguest/EMEO_online/module3/module_3_2.html).

## 1.2 – Equilíbrio Iônico

A Ionosfera tem origem a partir da ionização dos elementos neutros constituintes da Atmosfera, como N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e O. Por isso, em larga escala a Ionosfera é considerada eletricamente neutra, pois o número de elétrons livres é diretamente proporcional ao número de íons positivos. A ionização ocorre principalmente através da absorção de radiação solar na faixa espectral do extremo ultravioleta (com  $\lambda$  entre 1027 e 1118Å) e dos raios-X (com  $\lambda$  entre 2 e 8 Å). A radiação *Lyman- $\alpha$*  (1216Å) também tem uma importante influência na ionização na base da Ionosfera, assim como a precipitação de partículas energéticas. Uma vez formados, os íons e elétrons tendem a recombinar-se ou reagir com outras espécies de gases para produção de outras espécies de íons (Kirchhoff, 1991).

A dinâmica de equilíbrio da densidade eletrônica da Ionosfera depende das velocidades relativas de produção e perdas de íons e pode ser expressa na seguinte equação da continuidade:

$$(1.2-1)$$

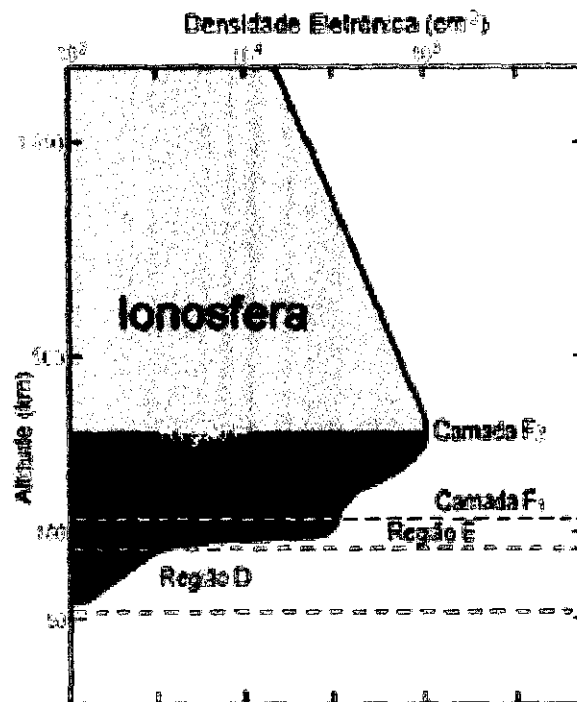
onde  $q$  é a taxa de produção eletrônica,  $L$  é a taxa de perda de ionização por recombinação eletrônica,  $div(Nv)$  é a taxa de perda de elétrons por transporte e  $v$  é a velocidade das partículas ionizadas. A produção de elétrons é dada por:

$$(1.2-2)$$

onde  $I$  é a intensidade da radiação ionizante no topo da Atmosfera,  $\epsilon$  é a eficiência da ionização,  $S_0$  é a secção transversal de absorção do gás e  $n$  a concentração de átomos.

### 1.3 – Regiões da Ionosfera

A Ionosfera é dividida em três regiões distintas: D, E e F (Figuras 1.3). Estas divisões levam em consideração os pontos em que ocorrem os picos na densidade eletrônica.



**Figura 1.3** – Ilustração das densidades eletrônicas em relação à altitude das três regiões ionosféricas, com sua nomenclatura.

Fonte: [http://www.dae.inpe.br/~clezio.denardin/SCI\\_iono\\_regioes.htm](http://www.dae.inpe.br/~clezio.denardin/SCI_iono_regioes.htm) (modificada).

### **1.3.1 – Região D**

É a região inferior da Ionosfera que divide a Atmosfera neutra da Ionosfera e está situada entre 60 e 90 km de altitude, aproximadamente. Esta é a região limite entre a Atmosfera neutra e a Ionosfera e, devido a processos turbulentos, há uma grande mistura entre os gases neutros e ionizados, ocorrendo uma elevada taxa de perdas. Esta região possui a menor densidade eletrônica da Ionosfera e não é mais detectada por equipamentos de rádio sondagem durante a noite, devido à combinação de elétrons livres presentes nesta região com moléculas neutras formando íons, processo que é denominado *attachment*.

As principais fontes de ionização da região D são a radiação *Lyman- $\alpha$* , a radiação na faixa dos Raios X, os raios cósmicos e as partículas energéticas de origem solar.

### **1.3.2 – Região E**

É a região situada entre a região D e a região F que ocorre em torno de 80 a 130 km de altitude. Nesta região ocorre o Eletrojato Equatorial, que é uma corrente restrita a região ao longo do equador magnético.

As principais fontes de ionização são as radiações na faixa do extremo ultravioleta e os *raios-X moles* (de menor energia e de comprimento de onda maior).

### **1.3.3 – Região F**

Esta região é subdividida nas camadas F1 e F2. A camada F1, situada entre 140 e 200 km de altitude, é formada principalmente a partir da ionização solar com radiação na faixa do extremo ultravioleta. Esta camada ocorre somente de dia, pois depende do ângulo zenital solar. Nesta região ocorre também a transição entre as leis quadráticas de perdas eletrônicas e as leis lineares, (Figura 1.3).

A camada F2, situada entre 200 e 1000 km de altitude é a região que possui a maior densidade eletrônica da Ionosfera, mesmo durante a noite. A densidade eletrônica



máxima da camada F2 esta situada entre 250 e 400 km. A radiação na faixa do extremo ultravioleta é a principal radiação ionizante desta região.

Existe um grande interesse no estudo da radio propagação na camada F2, por ela possuir um grande número de irregularidades ionosféricas, como bolhas de plasma, que alteram as características do meio (Kirchhoff, 1991).

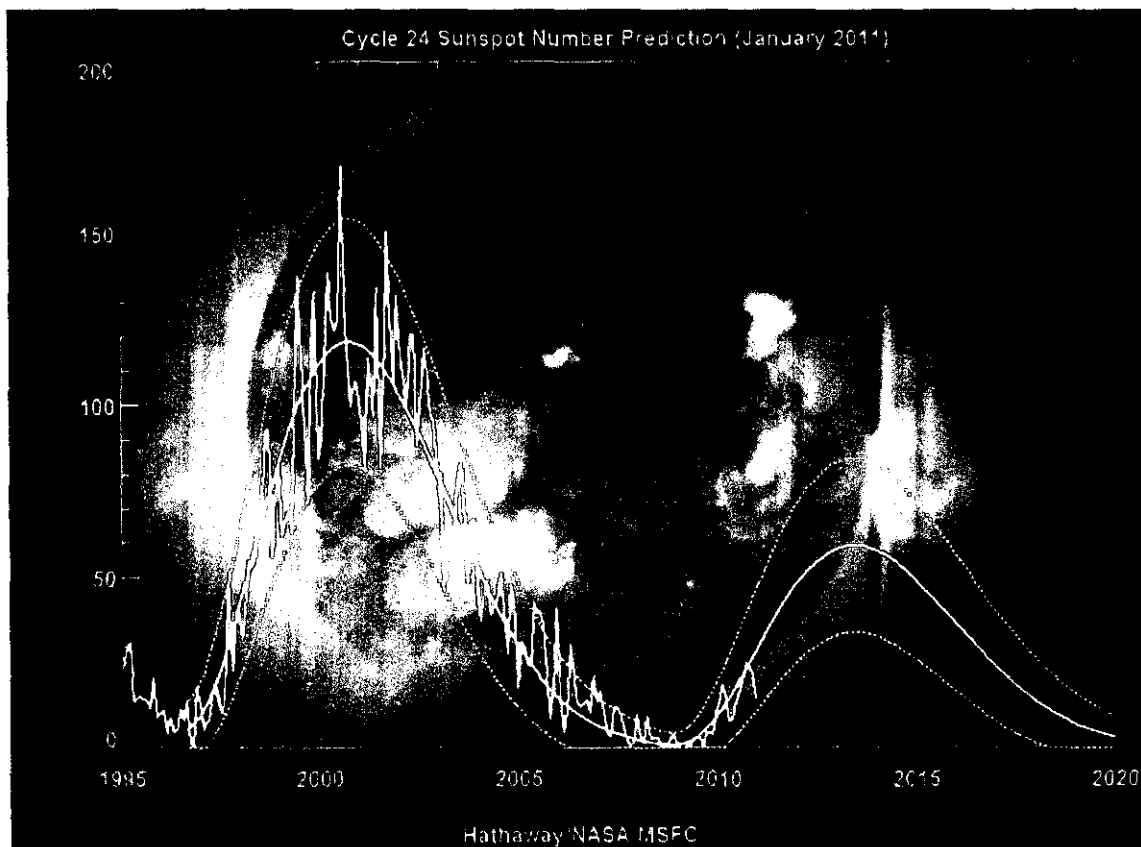


## CAPÍTULO 2

### ATIVIDADE SOLAR

#### 2.1 – Ciclo Solar

O Ciclo Solar é o ciclo que mostra a atividade do Sol em intervalos de aproximadamente 11 anos, sendo caracterizado por um aumento no número de manchas solares. As manchas solares são regiões do Sol com temperatura e pressão reduzidas e com um elevado campo magnético, atingindo um máximo e decrescendo em seguida (Figura 2.1).



**Figura 2.1** – Previsão do número de manchas solares para o Ciclo Solar 24, realizada em Janeiro de 2011.

Fonte: <http://solarscience.msfc.nasa.gov/predict.shtml>.

Durante o Ciclo Solar são caracterizadas duas fases, o mínimo solar (fase ascendente) e o máximo solar (fase descendente). O máximo solar é caracterizado pela ocorrência de Explosões Solares e Ejeções Coronais de Massa (CMEs).

## 2.2 – Explosões Solares e Ejeções Coronais de Massa

O Sol está continuamente emitindo radiação e partículas carregadas. A emissão dessas partículas é denominada vento solar. Devido a instabilidades solares, frequentemente, ocorrem explosões solares (“*Solar Flares*”) (Figura 2.2), que consistem na emissão de uma grande quantidade de radiação em todo espectro de onda eletromagnética, em um curto intervalo de tempo. A expulsão do plasma solar aprisionado nas linhas de campo de uma mancha solar, e ocorrida junto com *Flare*, denomina-se Ejeção Coronal de Massa (CME) (Figura 2.3). Caso a intensidade do *Flare* seja elevada e ocorra uma CME, podem ser originados distúrbios ionosféricos súbitos (“DIS”), tempestades e sub-tempestades geomagnéticas.



**Figura 2.2** – Explosão solar em primeiro de Setembro de 1859.

Fonte: [http://www.newscientist.com/data/images/ns/cms/dn11456/dn11456-1\\_600.jpg](http://www.newscientist.com/data/images/ns/cms/dn11456/dn11456-1_600.jpg).



**Figura 2.3** – Ejeção Coronal de Massa e o aproximado tamanho da Terra em relação ao Sol.

Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/esol/explorsol.htm>.

## CAPÍTULO 3

### CAMPO GEOMAGNÉTICO

#### 3.1 – Campo Magnético Terrestre

A Terra possui um Campo Magnético que a envolve e se estende pelo espaço interplanetário, (Figura 2.1). A Terra assemelha-se a um dipolo-magnético, com seus dois pólos, localizados próximos aos pólos geográficos, cujas linhas de força magnéticas estendem-se a grandes distâncias da Terra, cerca de 10 raios Terrestres no lado de frente ao sol.

Acredita-se que a origem de cerca de 99% do campo geomagnético é a de um processo de indução eletromagnética que ocorre no interior da Terra, devido a fortes correntes elétricas que fluem na parte líquida do núcleo Terrestre. Estes fenômenos são conhecidos como Dínamo Hidromagnético. O restante do campo é considerado fruto de correntes elétricas presentes nas regiões ionizadas ao redor da Terra (Jaskulski, 2007).



**Figura 3.1** – Representação das linhas de campo magnético do Campo Magnético Terrestre. No centro da imagem, representação de uma bússola indicando o eixo Norte-Sul magnético.

Fonte: <http://rbrebello.wordpress.com/>.



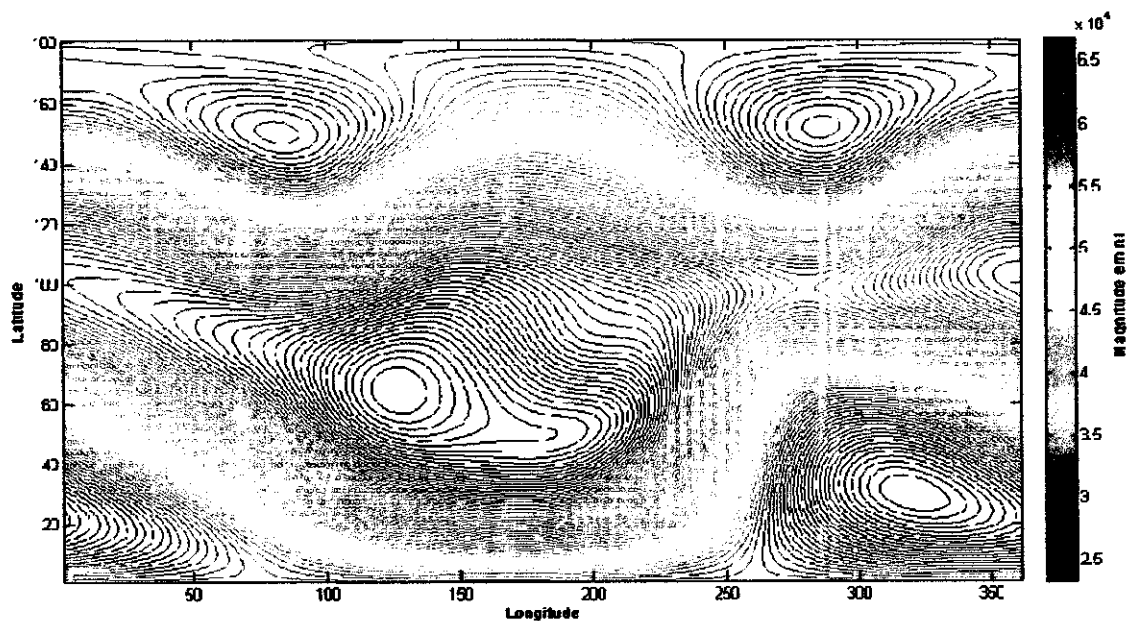
As medidas de campo geomagnético são feitas com instrumentos chamados magnetômetros. Devido a sua importância, para o estudo da magnetosfera, existe uma rede mundial de magnetômetros que medem, permanentemente, as componentes do Campo Magnético Terrestre.

O Campo Geomagnético possui uma intensidade na linha do Equador aproximadamente 30000 nT, e nos pólos magnéticos da Terra de aproximadamente 60000 nT. Porém, as anomalias e a distribuição não uniforme de materiais magnéticos próximos a crosta Terrestre podem causar grandes variações na intensidade do Campo Magnético, podendo alcançar milhares de quilômetros de extensão.

O Campo Magnético Terrestre controla o movimento das partículas ionizadas, pois ele altera e modula a trajetória das partículas energéticas incidentes, impedindo a incidência direta de tais partículas na Atmosfera Terrestre, logo, qualquer perturbação no Campo Magnético Terrestre ocasiona modificações nas condições de transporte do meio ionizado.

### **3.2 – Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS)**

Descoberta na década de 1950, a Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) (Figura 2.2) localizava-se sobre o Atlântico, por este motivo recebeu este nome. A AMAS, que está em contínuo movimento para o oeste, é a região que apresenta a menor intensidade do Campo Geomagnético ao longo da superfície Terrestre. Atualmente, localiza-se no sudeste brasileiro.



**Figura 3.2** – Mapa global de curvas equipotenciais do modelo geomagnético WMM2010 implementado por (Stekel, 2010).

Fonte: (Stekel, 2010).

Acredita-se que a AMAS é causada por distribuições assimétricas de correntes elétricas no magma fluido do interior da Terra, gerando um Campo Magnético oposto ao Campo Magnético Principal Terrestre, enfraquecendo o Campo Magnético nesta região. Em virtude do Campo Magnético nesta região ser mais fraco, há um contínuo fluxo de partículas energéticas precipitando-se, contribuindo para a ionização da Ionosfera Terrestre e produzindo efeitos semelhantes aos que ocorrem nas regiões polares aurorais (Moro, 2008).

A menor intensidade do Campo Geomagnético nesta região facilita a entrada de partículas energéticas aprisionadas nos Cinturões de Radiação de Van Allen. O ponto de reflexão das partículas aprisionadas, que estão espiralando nas linhas do Campo Geomagnético sobre a AMAS, situa-se aproximadamente a 100 km de altitude. Nesta região o cinturão interno está mais próximo da superfície Terrestre, enquanto que no local que é o conjugado magnético no hemisfério norte, esta altitude é em torno de 600 km. Esta precipitação é bastante intensificada em períodos de tempestades magnéticas, principalmente durante períodos de máximo solar (Moro, 2008).

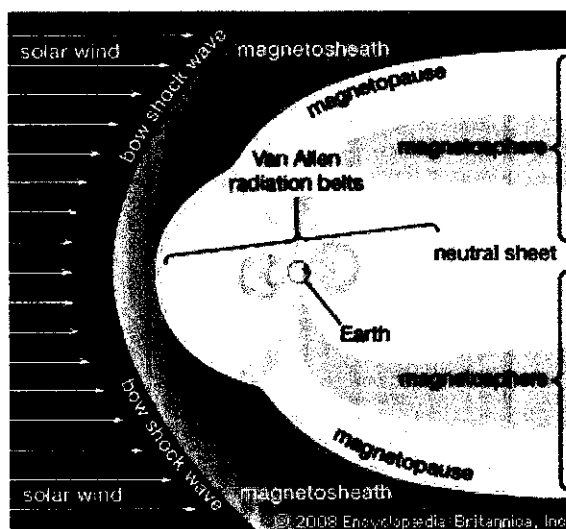
### 3.3 – Cinturões de Van Allen

O Cinturão de Van Allen foi descoberto em 1958 por James Van Allen. Ele é formado por dois cinturões em forma de anéis com centro no Equador. O primeiro situado entre 1000 e 5000 km de altitude e o segundo situado entre 15000 e 25000 km de altitude (Figura 3.3). O cinturão consiste em uma região, próxima ao planeta, onde ocorre o aprisionamento e a concentração de partículas nas linhas de Campo Geomagnético.

O primeiro Cinturão é constituído basicamente de prótons, altamente energéticos, que tem origem do decaimento de nêutrons produzidos quando ocorre a colisão de raios cósmicos contra os constituintes da Atmosfera Terrestre (Figura 3.4). Parte dos nêutrons é arremessada para fora da Atmosfera e se desintegra em prótons e elétrons ao cruzar a região do Cinturão. Essas partículas então se movem em trajetórias espirais ao longo das linhas de Campo Magnético da Terra.

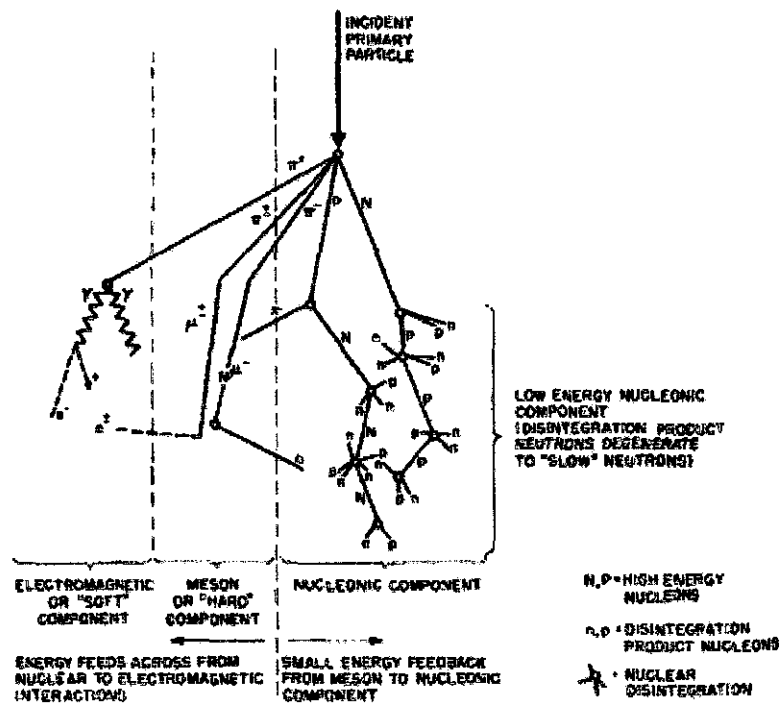
O segundo Cinturão é constituído de partículas eletricamente carregadas, tanto de origem atmosférica quanto Solar, que são principalmente íons Hélio trazidos no Vento Solar.

Durante períodos de atividade solar mais intensa, há um aumento do fluxo de partículas provenientes do vento solar, que podem romper a barreira formada pelo Cinturão de Van Allen e originar fenômenos como tempestades magnéticas e auroras polares.



**Figura 3.3** – Representação do Cinturão de Radiação de Van Allen.

Fonte: <http://onlinephys.com/magnetism.html>.



Schematic Diagram of Cosmic Ray Shower

**Figura 3.4** – Representação do resultado da colisão de partículas energéticas com constituintes atmosféricas.

Fonte: <http://sites.google.com/site/unibemfisica/Home/campus-de-paula-freitas>.

### 3.4 – Tempestades Magnéticas

Tempestades Geomagnéticas são alterações que ocorrem na magnetosfera quando uma sequência de eventos ocorre após uma explosão solar. Numa explosão solar há grande emissão de raios-X, radiação ultravioleta e pode haver uma grande quantidade de partículas de alta energia. Em consequência, a densidade de partículas presentes no vento solar pode aumentar de  $10^6$  até  $10^7$  partículas/ $m^3$  e sua velocidade pode aumentar de 300 até 1000 km/s. Caso o Campo Magnético interplanetário esteja numa configuração adequada, e se o evento for duradouro, o Campo Geomagnético será comprimido, com maior intensidade, pelo vento solar (Figura 3.5) e terá parte de sua energia transferida para a magnetosfera, dando princípio a uma tempestade geomagnética. As partículas carregadas então penetram na magnetosfera e são armazenadas nos Cinturões de Radiação de Van Allen, onde se origina a corrente de



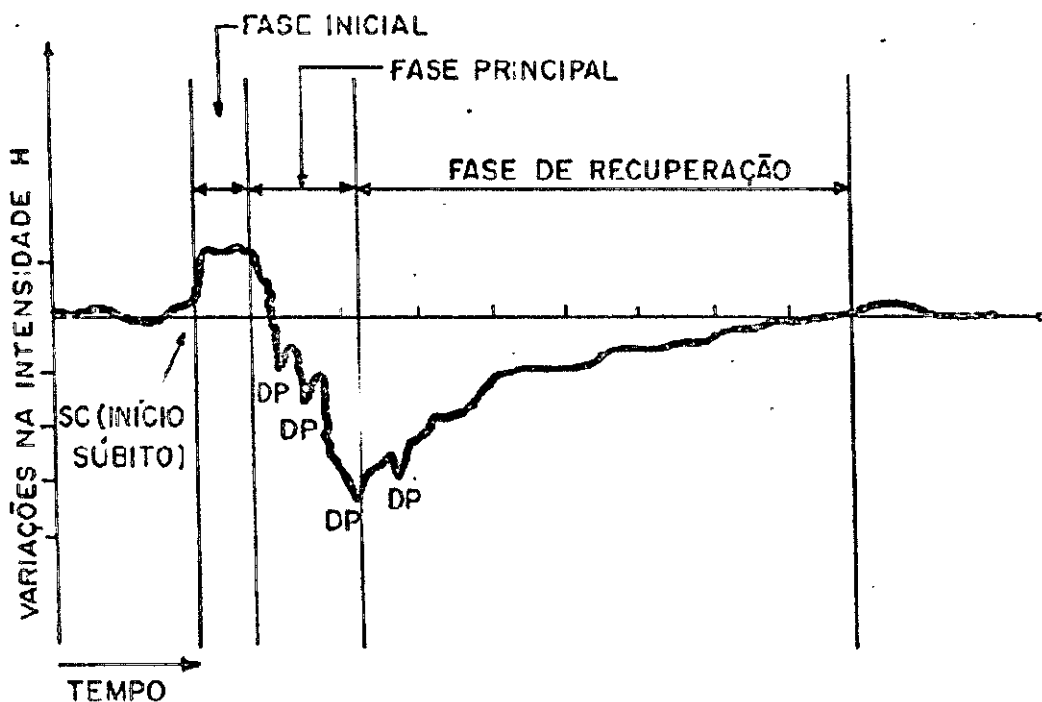
anel (“*ring current*”). A intensidade da corrente de anel pode alcançar centenas de nT podendo afetar sistemas de distribuição de energia elétrica, sistemas de telecomunicação e danificar satélites.



**Figura 3.5** – Representação da magnetosfera (azul) e do choque de partículas energéticas com o Campo Geomagnético.

Fonte: <http://www.nasa.gov/topics/aeronautics/features/airline-radiation.html>.

Uma tempestade magnética é caracterizada por apresentar três fases (Figura 3.6): 1) Um início súbito – *sudden commencement* – ou fase inicial, que está associada ao aumento da pressão dinâmica e incidência de partículas do vento solar que comprime a magnetosfera indicando um aumento brusco no campo magnético. 2) Fase principal – *main phase* – é caracterizada por uma redução, associada a corrente de anel, na intensidade do campo magnético na superfície terrestre. 3) Uma fase de recuperação – *recovery phase* – caracterizada pela diminuição e eliminação gradual da pressão, passando a predominar os processos de perda da Corrente de Anel (Moor, 2008).



**Figura 3.6** – Fases de uma Tempestade Magnética.

Fonte: (de Paula et al, 1987).

### 3.5 – Sub-Tempestades Magnéticas

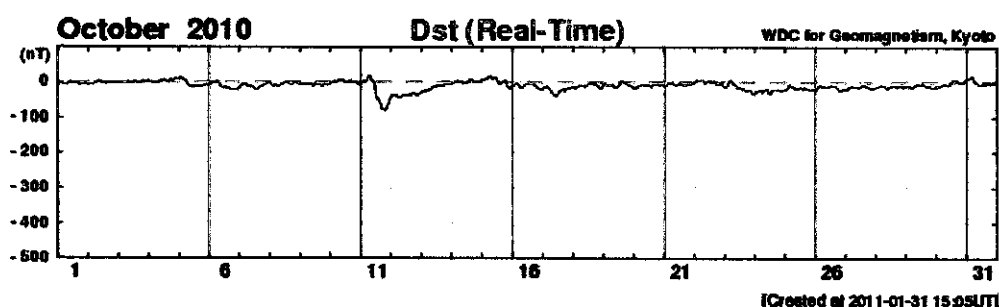
As Sub-Tempestades Geomagnéticas, que alcançam variações próximas a 40 nT, ocorrem com maior frequência do que as tempestades magnéticas. Sua origem está relacionada com as correntes de campo aurorais. As sub-tempestades surgem quando ocorre o transporte de energia da interação entre o vento solar e a magnetosfera, ocasionado pelo balanço dinâmico da energia das correntes de campo quando se torna instável. Elas estão relacionadas com processos como a rápida penetração do campo elétrico de convecção na Magnetosfera interna, resultando na injeção de plasma na região de aprisionamento (Moor, 2008)

### 3.6 – Índices Magnéticos

Os distúrbios magnéticos são monitorados por estações terrenas, instaladas em observatórios magnéticos, que registram a intensidade do campo (Moor, 2008). A partir dos dados registrados são feitos os índices geomagnéticos, que são relações matemáticas das intensidades, distúrbios e alterações no campo magnético Terrestre.

#### 3.6.1– Índice Dst

O índice Dst (*Disturbance Storm-Time*) (Figura 3.7) é uma medida da atividade geomagnética utilizada para avaliar a intensidade da tempestade magnética. Ele também pode ser definido como uma medida simétrica da corrente de anel, e é obtido em unidades de nano Tesla (nT).



**Figura 3.7** – Índice Dst para o mês de Outubro, 2010.

Fonte: [http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst\\_realtime/201103/index.html](http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/201103/index.html).

O índice Dst é baseado no valor médio da componente horizontal do Campo Magnético Terrestre, medido com resolução temporal de uma hora, por observatórios geomagnéticos com latitudes próximas ao Equador, os distribuídos longitudinalmente.

Tempestades magnéticas podem ser classificadas de acordo com sua intensidade, pelo valor fornecido pelo índice Dst (Tabela 1).



TABELA 3.1 – Classificação das Tempestades Magnéticas.

Intensidade da Tempestade	Dst (nT)
Muito Intensa	< -250
Intensa	-100 a -250
Moderada	-50 a -100
Fraca	-30 a -50

Fonte: (Gonzales et al., 1994).

### 3.6.2– Índice Kp e Ap

O índice Kp (*Planetary index*) retrata diretamente a intensidade do fluxo solar e as perturbações causadas na alta atmosfera terrestre, principalmente na Ionosfera, em uma escala quase logarítmica. Possui valores derivados do índice K, que determina os níveis locais dos distúrbios, e é atualizado a cada 3 horas (Figura 3.8).

O índice possui uma escala de 28 níveis, com um subintervalo de três partes, variando de zero a nove (Tabela 3.2).

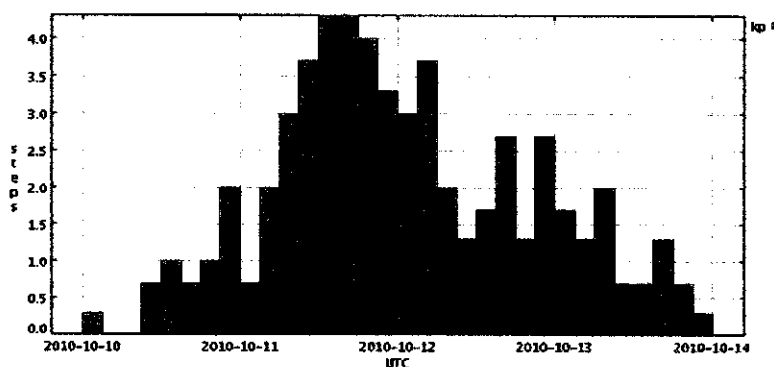


Figura 3.8 – Índice Kp para o período de 10 a 13 de Outubro, 2010.

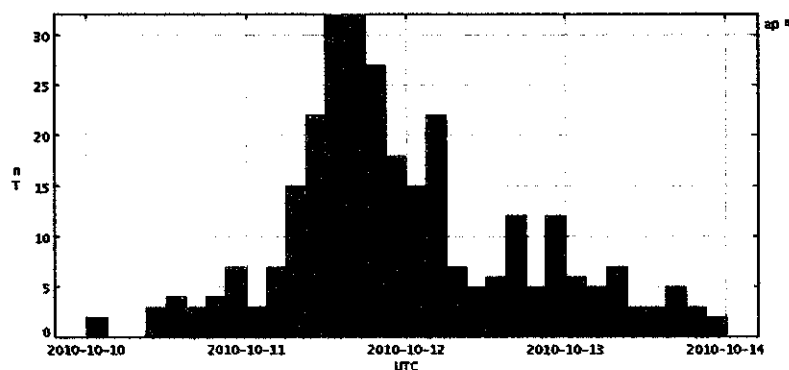
Fonte: <http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/>

TABELA 3.2 – Relação da atividade magnética com o índice Kp

Comportamento	Kp
Muito calmo	0 a 1
Calmo	1 a 2-
Normal	2- a 3+
Perturbado	3+ a 4+
Muito perturbado	4+ a 9

Fonte: Wrenn et al., 1987.

O índice planetário Ap (Figura 3.9) mede a intensidade magnética em uma escala linear. Ele é derivado do índice Kp (Tabela 3.3). Assim como o índice Kp ele possui um período de atualização de 3 horas (Prestes, 2002).



**Figura 3.9** – Índice Ap para o período de 10 a 13 de Outubro, 2010.

Fonte: <http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/>

**TABELA 3.3** – Níveis Kp para o índice Ap.

Kp	0o	0+	1-	1o	1+	2-	2o	2+	3-	3o	3+	4-	4o	4+
ap	0	2	3	4	5	6	7	9	12	15	18	22	27	32
Kp	5-	5o	5+	6-	6o	6+	7-	7o	7+	8-	8°	8+	9-	9o
ap	39	48	56	67	80	94	111	132	154	179	207	236	300	400

Fonte: (Prestes, 2002)



## CAPÍTULO 4

### REDE SARINET

#### 4.1– Rede SARINET

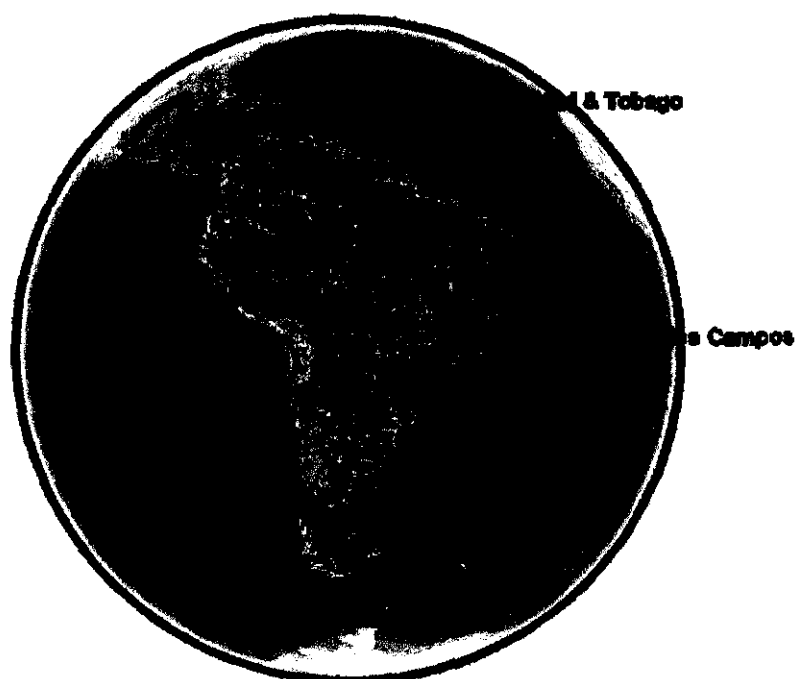
O Projeto SARINET (*South American Riometer Network*) (Figura 4.1) tem como objetivo a implantação completa de uma rede de Riômetros Imageadores e de um canal no Cone Sul da América.

Devido a AMAS apresentar a menor intensidade do Campo Magnético Terrestre, ocorre um contínuo fluxo de partículas, contribuindo para a ionização da Ionosfera local, produzindo efeitos semelhantes aos que ocorrem nas regiões aurorais. A menor intensidade facilita também a entrada de partículas energéticas provenientes do Sol e aprisionadas nos Cinturões de Van Allen. Esta é a região onde o Cinturão interno está mais próximo da superfície Terrestre, o que facilita a precipitação de partículas energéticas. Durante o período de máximo solar, no qual ocorre um aumento de Ejeções Coronais de Massa e do Vento Solar, que causam Tempestades e Sub-tempestades Magnéticas, a precipitação das partículas aumenta (MORO, 2008). A completa instalação da rede permitirá o estudo destes fenômenos.

Os principais objetivos da rede são, o estudo das Interações Sol-Terra, pesquisar e estudar a precipitação de partículas na região da AMAS em função de sua atividade geomagnética e determinar a estrutura espacial e dinâmica da região, monitorando a variação de absorção ionosférica e o movimento do plasma ionosférico nesta região.

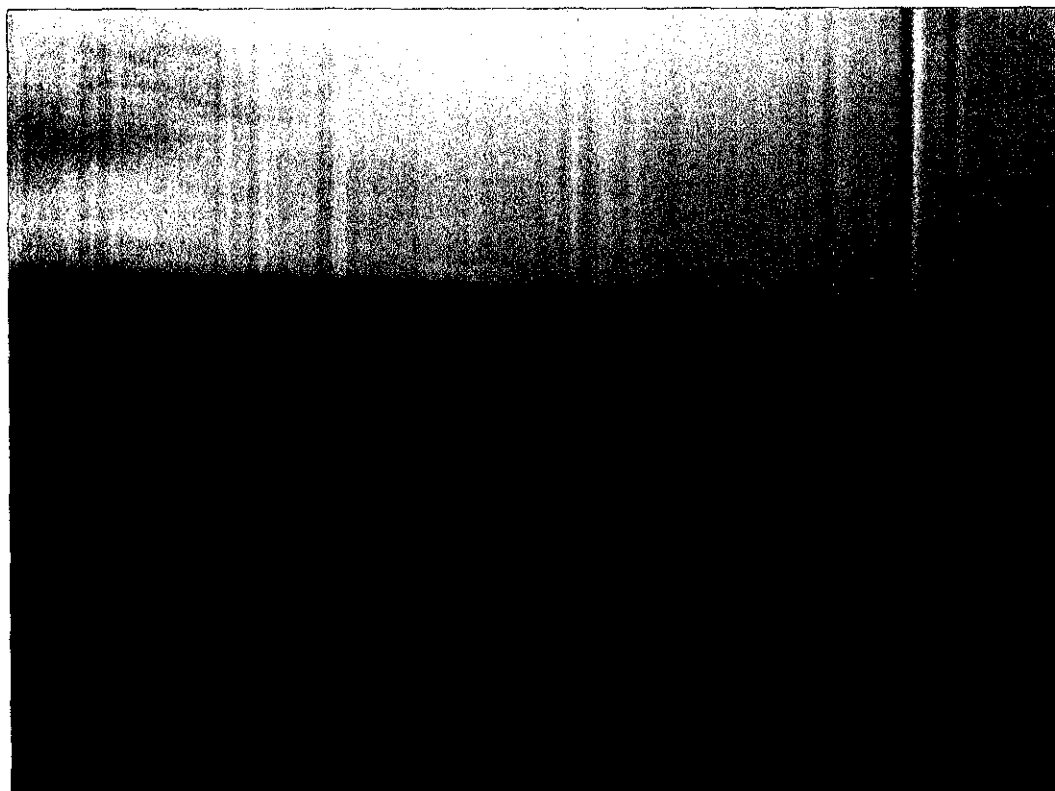
O Brasil participa desta rede no âmbito da cooperação internacional entre Japão, Chile e Argentina, tendo como Principal Investigador e Coordenador Internacional o Prof. Dr. Kazuo Makita, da *University of Takushoku*, Tokyo – Japão.

O Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS, conta atualmente com três Riômetros um do tipo Imageador e dois do tipo convencional (Figura 4.2).



**Figura 4.1** – Representação dos sítios de coletas de dados da rede SARINET.

Fonte: (Moro,2011).



**Figura 4.2** – Riômetro Convencional instalado no Observatório Espacial do Sul, OES/CRS/CCR/INPE – MCT.

## 4.2– Riômetros

O Riômetro (do inglês *Riometer: Radio Ionosphere Opacity Meter*, ou seja, medida da opacidade relativa da Ionosfera) trata-se de um rádio receptor muito sensível que registra a intensidade do ruído cósmico, na faixa de frequências de 20 a 50 MHz, incidente sobre a superfície Terrestre, através de uma antena direcional (Figura 4.3). Os Riômetros investigam principalmente a absorção na baixa Ionosfera (regiões D e E) situada na faixa de 80 km a 130 km.

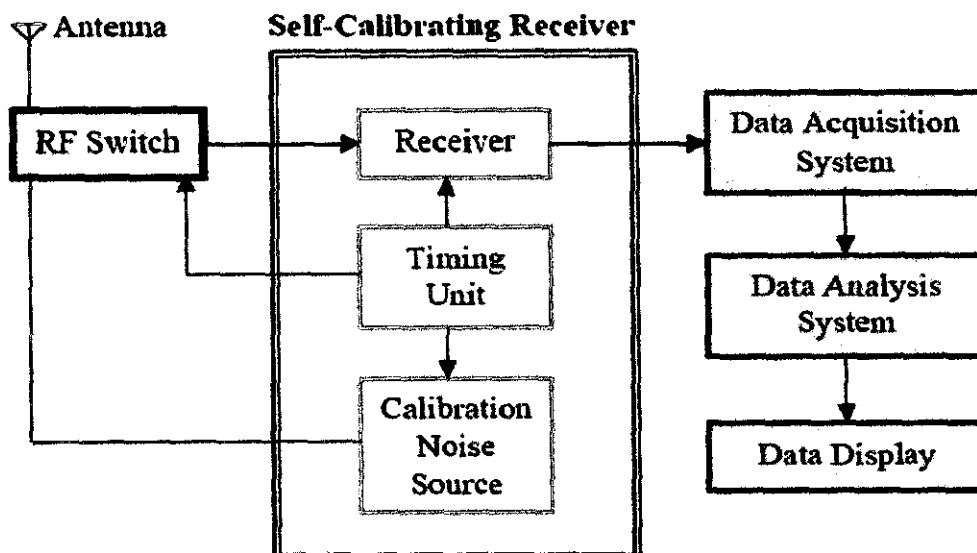


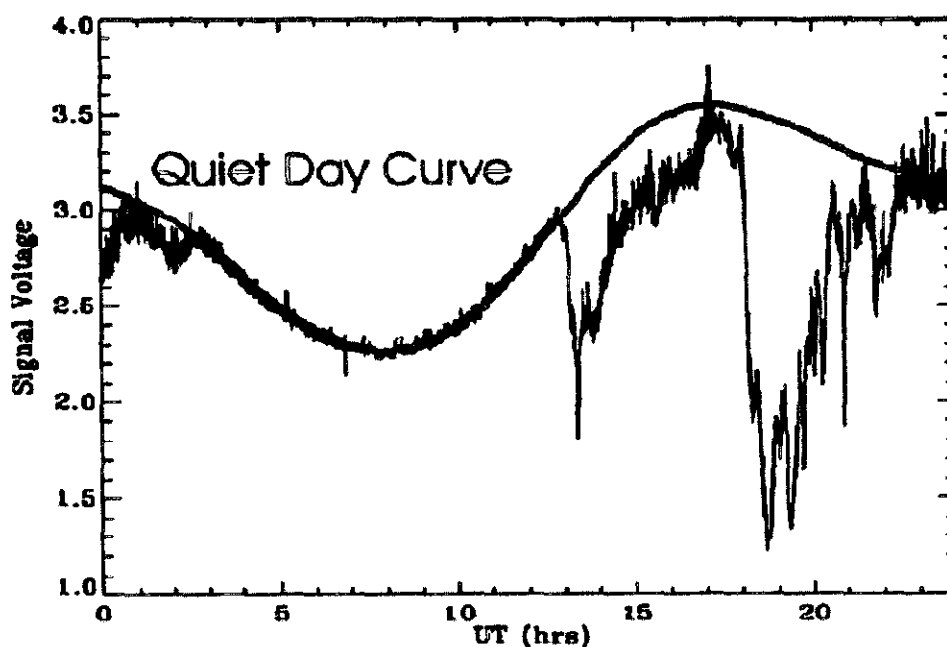
Figura 4.3 – Diagrama de blocos simplificado de um Riômetro.

O ruído cósmico é a radiação eletromagnética, proveniente das mais diversas fontes do espaço, com um espectro de frequência que corresponde ao espectro de emissão de um corpo negro. Para um dado ponto no espaço, fora da interferência da Atmosfera Terrestre, podemos considerar o sinal de ruído cósmico emitido constante, porém ao atravessar a Atmosfera parte da energia da onda é dissipada em forma de energia cinética, devido a colisões com partículas livres. Logo, quanto menor a intensidade do sinal recebido pelas antenas maior terá sido a absorção do sinal do ruído cósmico. O ruído cósmico incidente sobre a superfície Terrestre depende apenas da direção que ela aponta no espaço. Com a finalidade de obter dados relacionados sempre a mesma faixa



do céu, direciona-se a antena numa determinada direção fixa, pois a terra ao girar em torno de seu eixo fará com que a antena receba fluxo de ruído cósmico da mesma região no céu. Assim a intensidade registrada dependerá apenas da hora sideral, apresentando um ciclo diário com um máximo e um mínimo.

Não é possível determinar a intensidade do ruído cósmico incidente sobre a superfície Terrestre desconsiderando a absorção ionosférica. Logo, para analisar a intensidade do sinal recebido determina-se, através de métodos estatísticos, uma curva com o nível de intensidade mais alto captado pelo Riômetro durante um período pré-determinado, de dias geomagneticamente calmos, com baixa absorção ionosférica. Esta curva é denominada de Curva do Dia Quiet (QDC – “*Quiet Day Curve*”) (Figura 4.4).



**Figura 4.4** – Representação da QDC (vermelho) e do sinal atenuado pela Ionosfera (preto).

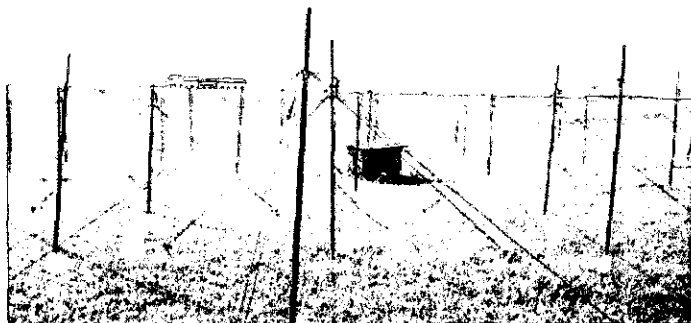
Fonte: <http://aurora.phys.ucalgary.ca/norstar/rio/>

O nível de absorção é dado pela razão entre o sinal recebido sem absorção, QDC, ( $I_r$ ) e o atual sinal recebido ( $I_q$ ), para a mesma hora sideral. Normalmente a intensidade do ruído cósmico é dada em decibéis e é calculado através da seguinte equação:

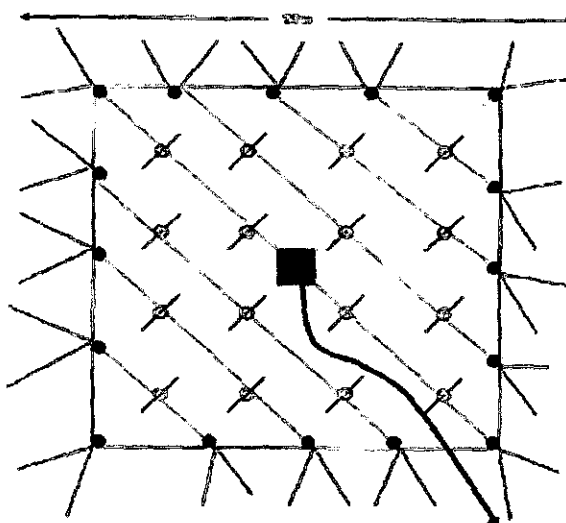
$$A(db) = 10 \log\left(\frac{I_r}{I_q}\right) \quad (3.2-1)$$

### 4.3– Riômetro Imageador

O Riômetro Imageador (Figura 4.5), instalado no Observatório Espacial Sul (OES/CRS/INPE – MCT, 29,4°S, 53,8°O, 480 m de altitude, em São Martinho da Serra, RS), é um equipamento capaz de captar o movimento espacial de irregularidades ionosféricas, através do conjunto de 16 antenas dipolo distribuídas na forma de uma matriz 4x4 (Figura 4.6), além de gerar imagens (Figura 4.7) e gráficos (Figura 4.8) em duas dimensões, a partir de rotinas em *MatLab*. As antenas se distanciam em meio comprimento de onda (~3,93 m) e com altura de um quarto do comprimento de onda (~1.96 m). O equipamento produz 16 feixes que varrem a Ionosfera local com um campo de visão de aproximadamente 330x330 km, com uma altitude de 100 km, captando sinais na faixa de 38,2 MHz, tanto na direção Norte-Sul, quanto na direção Leste-Oeste.

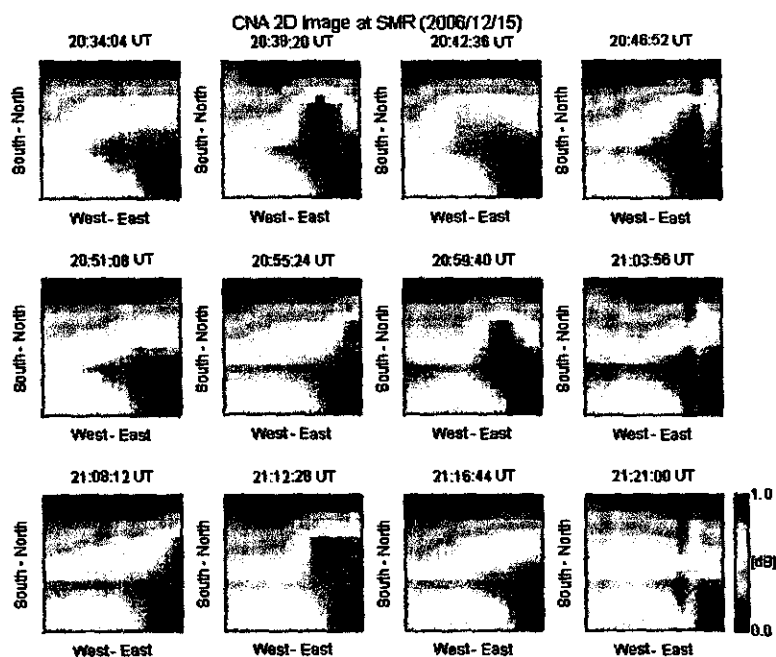


**Figura 4.5** – Fotografia das antenas do Riômetro Imageador no Observatório Espacial do Sul, OES/CRS/CCR/INPE – MCT.



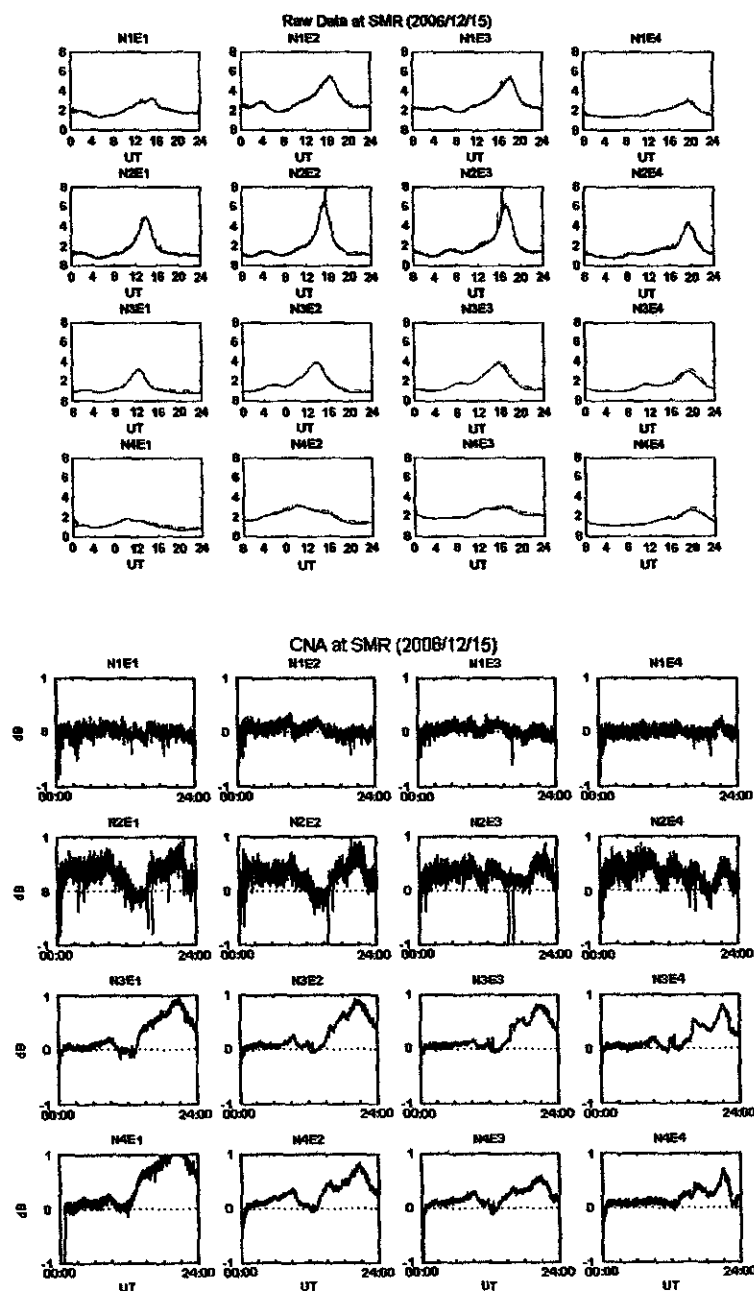
**Figura 4.6** – Disposição das Antenas de um Riômetro Imageador (4x4).

Fonte: Material disponibilizado pelo Dr. Kazuo Makita.



**Figura 4.7** – Imagens geradas a partir de uma rotina *MatLab*, através de dados obtidos pelo sistema Riômetro Imageador operacional no Observatório Espacial do Sul, OES/CRS/CCR/INPE – MCT, da Tempestade Magnética ocorrida no dia 15/12/2006.

Fonte: Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre CRS/CCR/INPE – MCT



**Figura 4.8** – Gráficos gerados a partir de uma rotina *MatLab*, através de dados obtidos pelo sistema Riômetro Imageador operacional no Observatório Espacial do Sul, OES/CRS/CCR/INPE – MCT, da Tempestade Magnética ocorrida no dia 15/12/2006.

Fonte: Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre – CRS/CCR/INPE – MCT



#### 4.4– Rotina de Aquisição de Dados

É apresentada a seguir a rotina, com pequenas modificações, utilizada para a operação de dados do Riômetro Imageador, instalado no Observatório Espacial do Sul. Este manual está disponível no Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre – CRS/CCR/INPE – MCT e no Observatório Espacial Sul (OES/CRS/INPE – MCT).

##### Manual para coleta de dados e configuração do Riômetro Imageador

###### 1º Passo:

Verifique se o computador ainda está coletando dados. Se ele estiver coletando o monitor deverá estar apresentando 16 gráficos. Neste caso siga ao 2º passo.

Se não estiver coletando os dados o monitor não apresentará os 16 gráficos. Neste caso verifique se a data e o horário (UT) do computador estão corretos. Se estiverem corretos siga para o 2º passo.

Se o computador não estiver coletando dados, a data e hora estiverem erradas isso quer dizer que houve uma queda de energia ou desligamento. Neste caso siga diretamente ao 7º passo.

###### 2º Passo:

Pare o programa de aquisição de dados. Para fazer isto aperte “S” no teclado.

###### 3º Passo:

Retire o M.O do *drive*.

###### 4º Passo:

Vá ao computador que esta ao lado e utilize o *drive* de M.O deste computador para copiar os dados do Riômetro para um *pen-drive*.

Deixe uma cópia dos dados em D:\IRIS-RIOMETER

OBS 1: Este computador possui *Windows* em japonês, portanto, para acessar o *drive* do M.O abra a janela do “Meu Computador” através do atalho na área de trabalho e abra a unidade F:

OBS 2: Após abrir o M.O selecione todos os dados e para copiá-los use “Ctrl+C” e para colá-los use “Ctrl+V”.



5º Passo:

Após copiar os dados do M.O para o seu *pen-drive* e para a pasta D:\IRIS-RIOMETER apague os dados do M.O.

6º Passo:

Reinicie o computador de aquisição de dados através do botão *RESET* na parte frontal do CPU. O computador deverá retornar automaticamente ao programa de aquisição de dados (RIO44P). Insira o MO no *drive* do computador, aguarde alguns segundos e aperte “W” de *WRITE* para começar a salvar os dados. O serviço está terminado.

7º Passo:

Faça os procedimentos mostrados no 3º, 4º e 5º passos. Insira novamente o MO no *drive*.

Os passos seguintes serão usados para a configuração do computador e do programa de aquisição de dados.

7.1 Desligar o computador e ligar.

7.2 Desligar a *interface* e ligar.

7.3 No monitor deverão estar aparecendo um programa similar ao DOS.

7.4 Acertar a hora do computador. Para isso digite o comando *TIME* e coloque a hora UT.

7.5 Acertar a data UT do computador. Para isso digite o comando *DATE* e coloque a data correta.

7.6 Digite “RIO44A .-S” para entrar no programa de aquisição de dados. Atente bem ao comando: RIO44A espaço, ponto, traço, S.

7.7 Nos passos seguintes faremos a configuração do programa de aquisição de dados. Para isso selecione os itens mostrados abaixo com as setas do teclado e pressione a tecla *ENTER*.

7.7.1 SET → SCAN → 1 Hz

7.7.2 SET → GRAPH → TYPE 1

7.7.3 SET → DRIVE → E:

7.7.4 SET → NAME → SMR

{ AMP 2  
AVERAGE 1  
BG com OFF

7.8 Reinicie a máquina sem desligar a interface, desligue e ligue o monitor. O computador deverá retornar automaticamente ao programa de aquisição de dados RIO44P.

7.9 Digite “W” (*write*) para começar a salvar os dados.

8º Passo:

Os dados coletados deverão ser disponibilizados, aos colaboradores japoneses, através da internet. Para isso é utilizado um servidor de FTP da *Takushoku University*.

#### 4.5–Análise de Dados

Comparando a intensidade do sinal do ruído cósmico, recebido pelas antenas, com a curva do dia quieto e relacionando com dados de índices magnéticos e fluxo de Raios-X é possível detectar fenômenos como, tempestades magnéticas e explosões solares. Como exemplos de análise são apresentadas a tempestade do dia 15 de Dezembro de 2006 e a explosão solar de classe M ocorrida no dia 27 de Abril de 2006.

Tempestades magnéticas como a do dia 15 de Dezembro de 2006 podem ser observadas, realizando uma análise dos índices geomagnéticos Dst, Kp e Ap. Elas apresentam, o índice Dst < -100nT (Figura 4.9), o índice Kp > 4 (Figura 4.10) e o índice Ap > 30 (Figura 4.11). A partir de comparações entre a curva em vermelho, curva do dia quieto, com a curva em azul, intensidade do ruído cósmico registrada (Figura 4.8), é notável uma menor intensidade do sinal do ruído cósmico registrado, para o período de 16 às 21 horas UT (Figura 4.7), o que caracteriza uma maior densidade ionosférica local causada pela Tempestade Geomagnética, que causa esta diminuição.

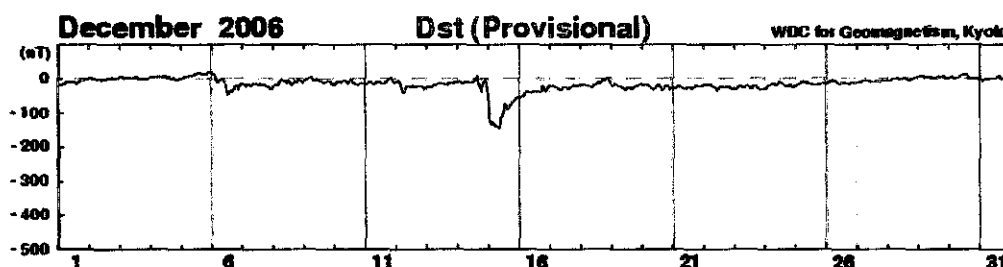


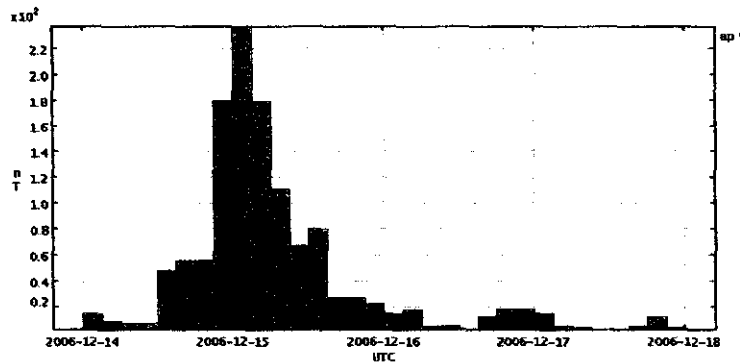
Figura 4.9 – Índice Dst para o mês de Dezembro, 2006.

Fonte: [http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst\\_realtime/201103/index.html](http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/201103/index.html).



**Figura 4.10** – Índice Kp para o período de 14 a 17 de Dezembro, 2006.

Fonte: <http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/>

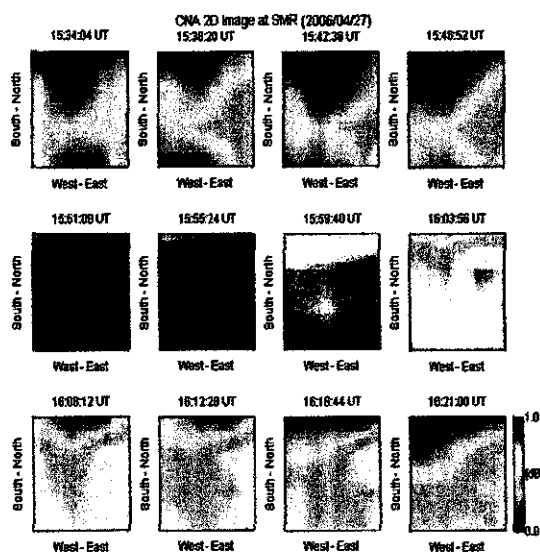


**Figura 4.11** – Índice Ap para o período de 14 a 17 de Dezembro, 2006.

Fonte: <http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/>

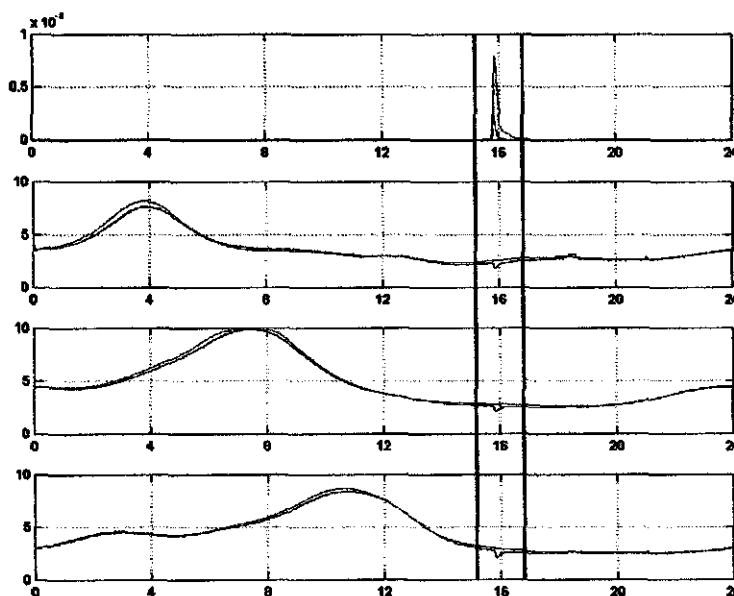
Os eventos originados pela injeção de partículas energéticas de origem solar ou pelo aumento do fluxo de raios X, como a explosão solar ocorrida no dia 27 de Abril de 2006, possuem uma assinatura caracterizada como, uma súbita queda na amplitude do sinal registrado, em resposta às perturbações sofridas (Figura 4.12), e, após atingir seu ápice, um lento e gradual retorno (recuperação) (Figura 4.13) às condições pré-perturbação (BRUM, 2004).





**Figura 4.12** – Absorção Ionosférica local no Observatório Espacial do Sul, OES/CRS/CCR/INPE–MCT, para o período 15:34–16:21UT no dia 27 de Abril de 2006.

Fonte: Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre CRS/CCR/INPE – MCT.



**Figura 4.13** – O primeiro gráfico apresenta dados referentes ao fluxo de raio-X do GOES, os outros apresentam o ruído cósmico registrado no Observatório Espacial do Sul, OES/CRS/CCR/INPE–MCT, pelas antenas N3E1, N3E3 e N3E4, respectivamente, do Riômetro Imageador, no dia 27 de Abril de 2006. Em destaque a erupção solar estudada.

Fonte: Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre CRS/CCR/INPE – MCT e <http://www.swpc.noaa.gov/index.html>.

## CAPÍTULO 5

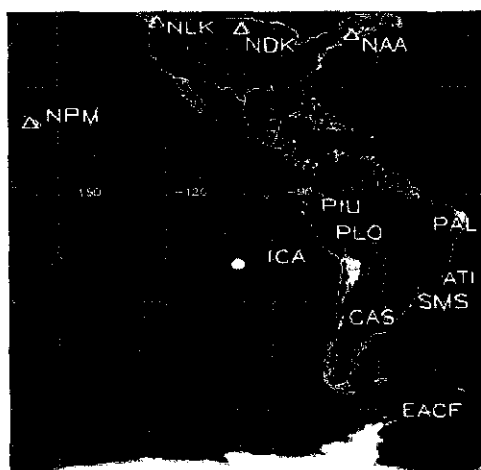
### REDE SAVNET

#### 5.1–Rede SAVNET

O Projeto SAVNET (*South America VLF Network*) consiste em uma rede de estações de radio recepção e transmissão, de sinais de VLF (*Very Low Frequency: 3 - 30 kHz*), utilizada para o monitoramento da atividade Solar em longo prazo e para o estudo dos seus efeitos na grande região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS).

A propagação de ondas de baixa frequência (VLF) é uma ferramenta potente para o estudo da região D e região E, noturna, da Ionosfera, pois, para distâncias longas entre um transmissor e um receptor, a base da Ionosfera juntamente com a superfície Terrestre atuam como as paredes superior e inferior, respectivamente, de um guia de onda esférico. Devido a isso, quando acontece uma perturbação que resulta em um aumento ou uma diminuição da ionização na região D diurna ou região E noturna, alterações nítidas são observadas nas características das ondas de VLF, como na sua velocidade de fase e amplitude (Moro, 2008).

Atualmente a rede SAVNET é composta por 7 estações receptoras e 4 transmissoras (Figura 5.1)

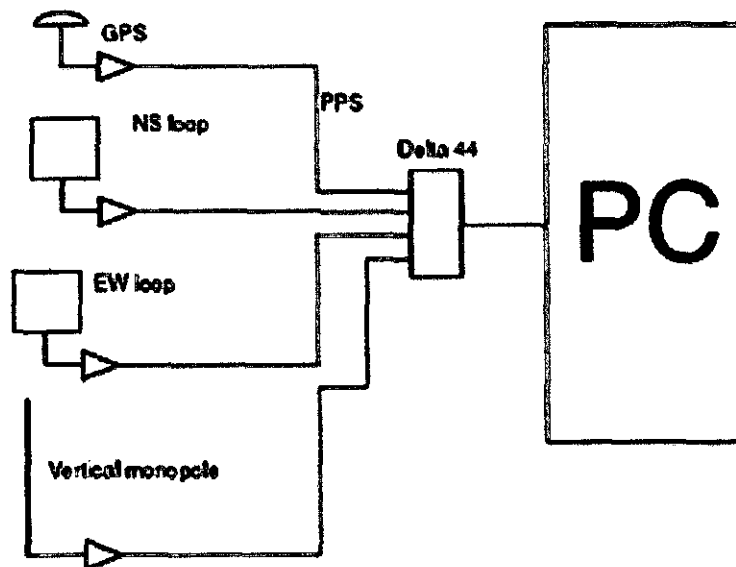


**Figura 5.1** – Localização das estações receptoras (vermelho) e transmissoras (amarelo) da rede SAVNET.

Fonte: Material disponibilizado pelo Dr. Jean-Pierre Raulin.

## 5.2– Estação Receptora de VLF

Um sistema estação receptora em VLF da Rede SAVNET é composto basicamente de um conjunto de antenas, um pré-amplificador, um sistema GPS e um computador (Figura 5.2).



**Figura 5.2** – Esquema simplificado dos componentes de uma estação receptora de VLF da Rede SAVNET.

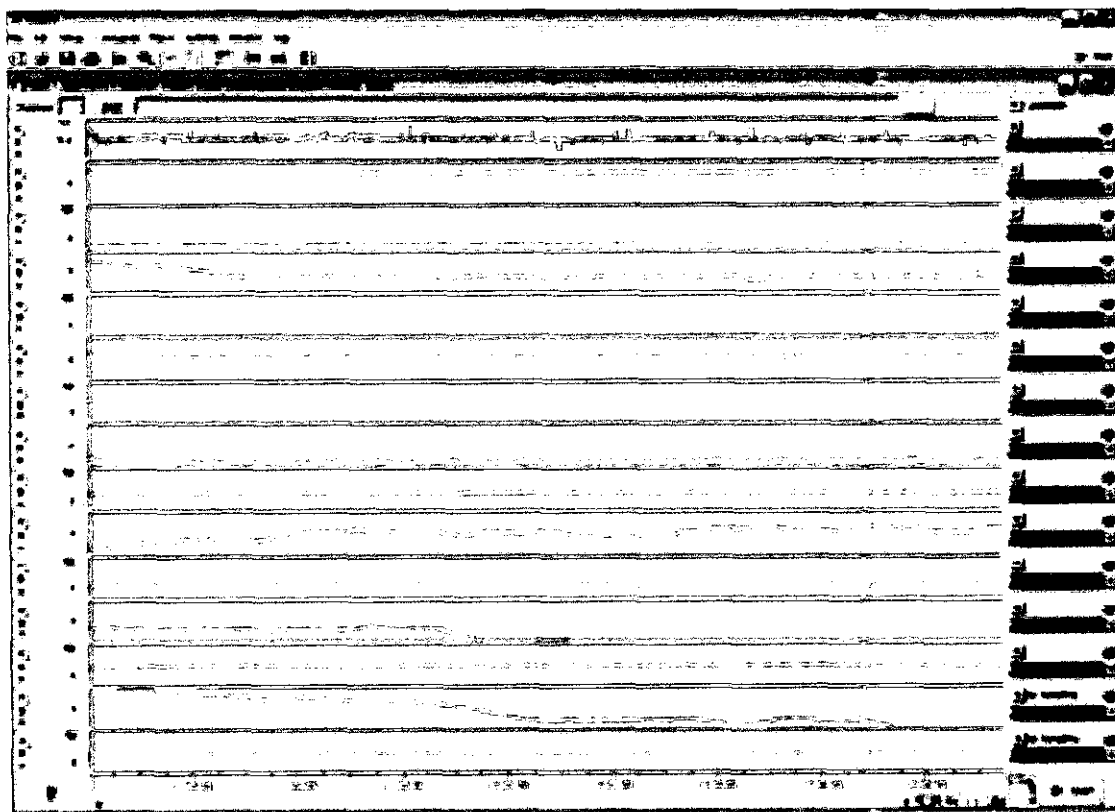
Fonte: Material disponibilizado pelo Dr. Jean-Pierre Raulin.

O sistema de antenas que compõem uma estação receptora de rede SAVNET é formado por duas antenas “Loop” uma posicionada perpendicularmente a outra, e uma antena vertical (Figura 5.3).



**Figura 5.3** – Antenas “Loop” e antena vertical instaladas no Observatório Espacial do Sul, OES/ CRS/CCR/INPE – MCT.

As observações consistem em quatro sinais detectados, das três antenas e da antena GPS, que são digitalizados através de uma placa de som (Delta 44), e tratados no computador por um programa *SoftPal* (Figura 5.4). Este programa foi desenvolvido para atender os objetivos técnicos e científicos estudados no Projeto que são calcular a fase e amplitude das ondas de VLF detectadas pela estação de recepção SAVNET. Estas ondas são emitidas de forma modulada pelos transmissores MSK (*Minimum Shift Keying*). As grandes vantagens, permitindo o uso das ondas de VLF para posicionamento, são o grande comprimento de onda, a grande estabilidade dos sinais enviados e o sincronismo entre os diferentes transmissores (Moro, 2008).



**Figura 5.4** – Interface do programa *SoftPal* utilizado na estação receptora instalada no Observatório Espacial do Sul, OES/ CRS/CCR/INPE – MCT.

Fonte: Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre CRS/CCR/INPE – MCT.

### 5.3– Rotina de Aquisição de Dados

É apresentada a seguir a rotina, com pequenas modificações, utilizada para aquisição de dados do receptor de VLF instalado no Observatório Espacial do Sul. Este manual está disponível no Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre – CRS/CCR/INPE – MCT e no Observatório Espacial Sul (OES/CRS/INPE – MCT).

#### Manual para coleta de dados e configuração do Receptor de VLF

##### Salvando últimos dados

- 1- Parar o programa apertando no botão Stop;
- 2- Salvar os dados em: *Save as...>>>*Dados, com o nome SMS-YYYY-MM-DD-1;
- 3- Fechar o programa;

##### Espectros e recolhimento dos dados

- 1- Abrir novamente o programa com o *Select Devices* como *Wave Input device 44 Multi*;
- 2- Dar *Start* no programa e deixá-lo rodar por aproximadamente 15 segundos;
- 3- Selecionar tudo dando dois cliques na barra de tempo e abrir *Window>>>Spectrum*.

Escolher as antenas, sendo: 1- GPS; 2- Vertical; 3 e 4- Loops, e ajustar a escala (60 em top e 0 em bot). Configurar espectro (Figura 5.5).

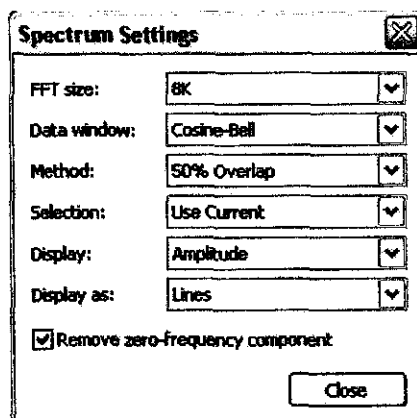


Figura 5.5 – Configuração correta do espectro no programa *SoftPal*.

Fonte: Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre CRS/CCR/INPE – MCT.

- 4- Fechar a janela do espectro e *Save as...* e renomear a pasta próximos dados para a data atual (Savnet-YYYYMMDD) e criar uma nova pasta “próximos dados”, contendo as 3 pastas (Dados, *Setup* e Espectro). Salvar os espectro como SMS-YYYYMMDD-V-L1-L2-hhmmUT (Vertical, Loop1 e Loop2) e fechar o programa;
- 5- Copiar a pasta renomeada e a nova pasta “próximos dados” para um *pen drive*;
- 6- Retirar o *pen drive* e reiniciar o computador.

Obs.: Caso houver problemas com o mouse ao ser reiniciado o computador, desligar o computador e retirar o cabo do GPS. Após iniciado o *Windows*, pode ser conectado novamente.

### Iniciação do programa

- 1- Abrir o programa com o *Select Devices* como *SoftPAL Devices: M-Audio Delta 44 Multi*;
- 2- Abrir *SoftPAL*>>>*Setup SoftPAL*(Figura 5.6).

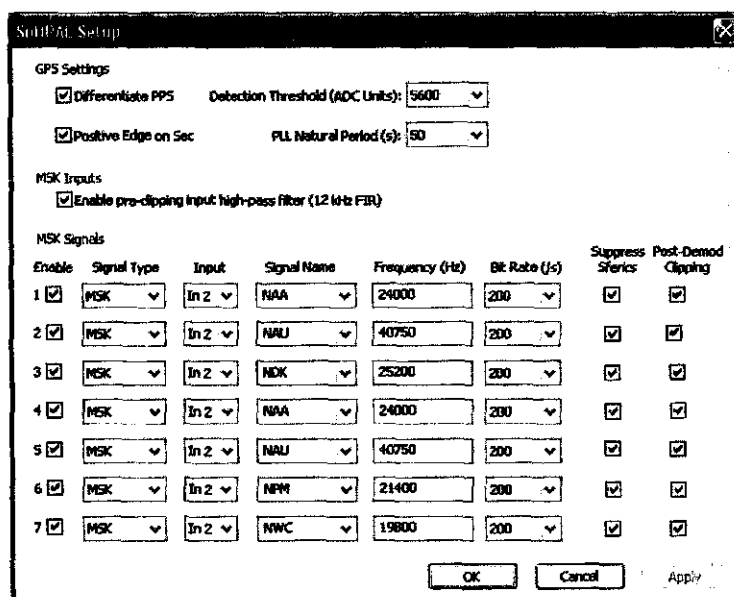


Figura 5.6 – Configuração correta do programa *SoftPal*.

Fonte: Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre CRS/CCR/INPE – MCT.



Feito isto, tirar um *print screen* e salvar a imagem no formato png com o nome Setup-SMS-YYYYMMDD na pasta *Setup*;

- 3- Abrir *SoftPAL*>>>*Scheduler* e configurar para salvar arquivo novo diariamente, sendo o nome do arquivo por data (SMS-.adicht). Vide imagem.
- 4- Ajustar os modos de visualização com a escala de 1:1 e iniciar o programa apertando em *Start*.

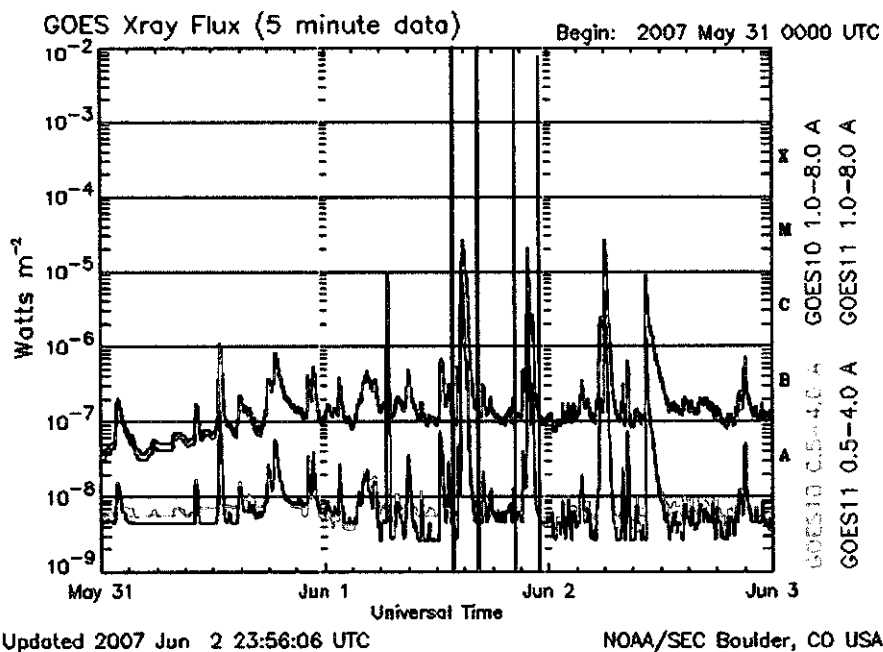
Obs.: Caso o programa não esteja rodando, reiniciar os procedimentos, até mesmo o espectro.

#### Transferência dos dados para o servidor

- 1- Salvar os arquivos copiados do OES para a pasta D:\Dados Savnet;
- 2- Abrir o programa SSH (*Secure File Transfer Client*);
- 3- Adicionar os dados ao servidor.

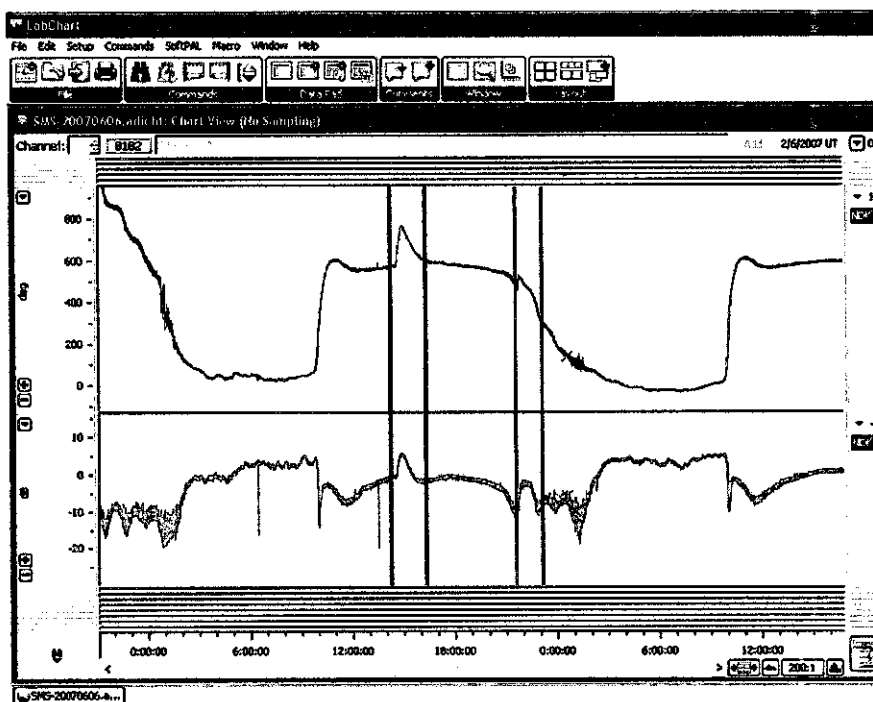
#### 5.4–Análise de Dados

A rede SAVNET devido ao seu guia de onda superfície Terrestre-base da Ionosfera detecta inúmeros fenômenos que modifiquem as características das regiões D e E noturna pode-se notar, por exemplo, explosões solares que emitem um grande fluxo de raio-X (Figura 5.7) que aumentam a ionização da região D, modificando o comportamento da variação noite-dia da fase e amplitude do sinal registrado pelo receptor (Figura 5.8).



**Figura 5.7** – Fluxo de raio-X para o período de 31 de Maio a 02 de Junho de 2007. Em destaque duas Explosões solares de classe M.

Fonte: <http://www.swpc.noaa.gov/Data/goes.html>.



**Figura 5.8** – Variação noite-dia da velocidade de fase (verde) e de amplitude (amarelo). Em destaque as duas explosões solares da Figura 5.7.

Fonte: Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre CRS/CCR/INPE – MCT.





## **CAPÍTULO 6**

### **ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE A VIGÊNCIA DA BOLSA**

A vigência da bolsa de Iniciação Científica – PIBIC/CNPq – INPE iniciou em Agosto/2010. Inicialmente o bolsista realizou uma revisão bibliográfica, a partir de artigos em revistas técnicas especializadas, dissertações, teses, sobre Ionosfera, Campo Magnético Terrestre, Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) e assuntos relacionados às redes SARINET E SAVNET.

Atualmente o Bolsista é um dos responsáveis pela pesquisa, análise, redução e coleta de dados do Riômetro Imageador, além da manutenção periódica do equipamento Instalado no Observatório Espacial do Sul (OES), também pela disponibilização destes dados na internet. Para isto foram realizadas visitas periódicas ao OES. Durante estas visitas, por duas vezes, o bolsista teve contato com o pesquisador Dr. Kazuo Makita que é um dos principais investigadores das pesquisas com Riômetros Imageadores na AMAS, junto ao Observatório Espacial do Sul – OES e no Cone Sul da América do Sul, no Chile, em Concepcion e Punta Arenas. Este contato foi de grande importância para o bolsista que adquiriu mais conhecimentos sobre o Riômetro Imageador, Ionosfera e sobre a AMAS.

A partir da redução dos dados, o bolsista está desenvolvendo estudos iniciais da evolução temporal da absorção ionosférica na região da AMAS. Os estudos foram apresentados pelo bolsista em cinco eventos científicos. Durante o período de regência da bolsa o acadêmico participou de sete trabalhos científicos publicados, sendo eles:

**ALVES, D.I ; SCHUCH, N. J. ; RAULIN, J.P. ; MURALIKRISHNA, P. ; MORO, J. ; PAULO, C.M.** Efeito de Erupções Solares na Propagação de Ondas VLF. In: XXIV Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, 2010, Rio Grande - RS. XXIV CRICTE, 2010.



**ALVES, D.I.** ; MURALIKRISHNA, P. ; SCHUCH, N. J. ; MORO, J. ; PAULO, C.M. Detecção de Erupções Solares com o Equipamento Riômetro Imageador. In: III Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia, 2010, Búzios - RJ. III SBGEA, 2010.

**ALVES, D.I.** ; MURALIKRISHNA, P. ; SCHUCH, N. J. ; MORO, J. ; PAULO, C.M ; STEKEL, T.R.C. Study of the Ionospheric Plasma in the South Atlantic Magnetic Anomaly – SAMA Region with Riometers and VLF Receiver at the Brazilian Southern Space Observatory. In: Pan-American Advanced Studies Institute, School on the Dynamics and Chemistry of the Middle Atmosphere, 2010, San Juan - Argentina. PASI, 2010.

**ALVES, D.I.** ; MURALIKRISHNA, P. ; SCHUCH, N. J. Estudos do Plasma Ionosférico na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, In: Simpósio de Iniciação Científica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2010, São José dos Campos - SP. SICINPE 2010.

**ALVES, D.I.** ; MURALIKRISHNA, P. ; SCHUCH, N. J. Estudos do Plasma Ionosférico na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – SICINPE 2010, In: 25ª Jornada Acadêmica Integrada 2010, Santa Maria – RS. JAI, 2010.

PAULO, C. M. ; SCHUCH, N. J. ; PAULA, E. R. ; REZENDE, L. F. C. ; **ALVES, D. I.** Analysis of Ionospheric Irregularities Measurements Using GPS Receivers for the South Atlantic Magnetic Anomaly Region. In: Pan-American Advanced Studies Institute, School on the Dynamics and Chemistry of the Middle Atmosphere, 2010, San Juan - Argentina. PASI, 2010.

PAULO, C. M. ; SCHUCH, N. J. ; PAULA, E. R. ; MORO, J. ; **ALVES, D. I.** Efeitos de Tempestades Magnéticas e Explosões Solares Sobre a Ionosfera Terrestre Utilizando Sondas Ionosféricas na Região da Anomalia Magnética Do Atlântico Sul (AMAS). In: 25ª Jornada Acadêmica Integrada 2010, Santa Maria – RS. JAI, 2010.



## **CAPÍTULO 7**

### **CONCLUSÃO**

No período de **Agosto de 2010** até **Fevereiro 2011** as atividades foram realizadas pelo aluno **Dimas Irion Alves** do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM. Estas atividades são apresentadas no Relatório de Atividades do Projeto: **ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL** (Processo número **108483/2010-0**) vigência de Agosto de 2010 a Julho de 2011.

O aluno desenvolveu muitas habilidades, principalmente aquelas voltadas para a pesquisa, para trabalhos em grupo e individuais. Muitos conhecimentos de grande valia foram adquiridos na revisão bibliográfica, principalmente porque estas atividades não são ministradas nas disciplinas do Curso de Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da UFSM.

De forma geral, o Projeto de Pesquisa permitiu um acesso direto do aluno com as áreas das ciências e tecnologias relacionadas ao Projeto. A participação em eventos científicos propiciou um contato com muitos profissionais, pesquisadores e acadêmicos de outras áreas e instituições, permitindo uma grande troca de experiências e de idéias, proporcionando um aprendizado de alto nível em cada situação, fator muito positivo no sentido amplo tanto pelas novas amizades construídas, como pelo crescimento profissional e pessoal do aluno. Além disso, o aluno apresentou resultados do projeto nestes eventos, fato que proporcionou excelentes experiências.



## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

**BRUM, C.G.M. VARIABILIDADE DA ABSORÇÃO DE RUÍDO CÓSMICO VIA RIÔMETRO E MODELAGEM NUMÉRICA DOS PROCESSOS ASSOCIADOS.** São José dos Campos. 299p. (INPE- 12330-TDI/993) Tese (doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004.

**de Paula, E. R. RESPOSTA DA REGIÃO F IONOSFÉRICA ÀS TEMPESTADES MAGNÉTICAS EM BAIXAS LATITUDES NO BRASIL.** São José dos Campos. 210 p. (INPE-4106-TDL/259). Tese (Doutorado em Ciência Espacial) – Instituto de Pesquisas Espaciais, 1987.

**Gonzalez, W.D., et al., 1994. WHAT IS A GEOMAGNETIC STORM?.** Journal of Geophysical Research 99, 5771-5792.

**Hargreaves, J. K. THE SOLAR-TERRESTRIAL ENVIRONMENT.** 1° Edition. Great Britain: Cambridge University Press: Cambridge, 1995. ISBN 0-521-42737-1

**Jaskulski, T.; MORO, J. ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL.** Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica. Processo CNPq: 105427/2006-3. Santa Maria: 2007.

**Kirchhoff, V. W. J. INTRODUÇÃO À GEOFÍSICA ESPACIAL.** 1° Edição. São Paulo: Nova Stella, Editora da Universidade de São Paulo: FAPESP, 1991. ISBN 85-7233-001-1

**Prestes, A. ESTUDO ESTATÍSTICO DA BARIABILIDADE DOS ÍNDICES GEOMAGNÉTICOS E SUA RELAÇÃO COM O CICLO SOLAR.** São José dos Campos. 121 p. (INPE-15716-TDI/1473). Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002.

**Moor, L. P. ESTUDO DA VELOCIDADE DE DERIVA ZONAL DAS IRREGULARIDADES IONOSFÉRICAS UTILIZANDO RECEPTORES ESPAÇADOS DE GPS E RECEPTORES VHF.** Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica. Processo CNPq: 105375/2005-5. Santa Maria: 2008.

**Moro, J.; SILVEIRA, A. M. M. ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL.** Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica. Processo CNPq: 105427/2006-3. Santa Maria: 2008.

**Moro, J. ABSORÇÃO IONOSFÉRICA DO RUÍDO CÓSMICO UTILIZANDO DADOS DE RIÔMETROS DA REDE SARINET.** São José dos Campos. 163 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2011/01.27.18.33-TDI) Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011.



**Stekel, T. R. C. ESTUDO E PROJETO DE UM SISTEMA DETERMINADOR DE ATITUDE PARA PEQUENOS SATÉLITES EMPREGANDO SENSOR MAGNÉTICO. 2010. 98f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.**



**2ª PARTE**

**ATIVIDADES TÉCNICAS CIENTÍFICAS DESENVOLVIDAS NO  
PROJETO PELO BOSISTA SUBSTITUÍDO**

**LUCAS CAMPOGARA VIERA**



**Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil**



**Estudante**  
**Lucas Camponogara Viera**



[Link para  
Currículo Lattes](#)

Dados gerais

Indicadores de produção C, T & A

**Dados gerais**

**Identificação do estudante**

Nome: Lucas Camponogara Viera

Nível de treinamento: Graduação

Currículo Lattes: 11/04/2011 21:04

E-mail:

Homepage:

**Grupos de pesquisa que atua na instituição**

Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br - INPE

**Linhas de pesquisa que atua**

AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA

MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO

MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL

**Orientadores participantes de grupos de pesquisa na instituição**

Polinaya Muralikrishna

**Indicadores de produção C, T & A dos anos de 2008 a 2011**

Tipo de produção	2008	2009	2010	2011
Produção bibliográfica	0	0	0	0
Produção técnica	0	0	0	0
Orientação concluída	0	0	0	0
Produção artística/cultural e demais trabalhos	0	0	0	0



Grupo de Pesquisa  
**Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo:  
Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br**



Identificação

Recursos Humanos

Linhas de Pesquisa

Indicadores do Grupo

**Identificação**

**Dados básicos**

**Nome do grupo:** Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br

**Status do grupo:** certificado pela instituição

**Ano de formação:** 1996

**Data da última atualização:** 30/05/2011 17:58

**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:** Coordenação de Gestão Científica - CIE

**Unidade:** Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

**Endereço**

**Logradouro:** Caixa Postal 5021

**Bairro:** Camobi

**Cidade:** Santa Maria

**Telefone:** 33012026

**CEP:** 97110970

**UF:** RS

**Fax:** 33012030

**Home page:** <http://>

**Repercussões dos trabalhos do grupo**

O Grupo - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS, GEOMAGNETISMO:INTERAÇÃO TERRA-SOL 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, DPD/UNIVAP e SEFET/GO, 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 (University of Greifswald e Max Planck Institute for Solar System Research), Austrália (Australian Government Antarctic Division e 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, NANOSATC-BR. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência, Raios Cósmicos, Muons, Pequenos Satélites Científicos. 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**

Ademar Michels

Jean Carlo Santos

**Total: 48**





Adriano Petry  
Alan Prestes  
Alexandre Alvares Pimenta  
Alicia Luisa Clúa de Gonzalez  
Alisson Dal Lago  
Antonio Claret Palerosi  
Barclay Robert Clemesha  
Caitano Luiz da Silva  
Carlos Roberto Braga  
Cassio Espindola Antunes  
Clezio Marcos De Nardin  
Cristiano Max Wrasse  
Cristiano Sarzi Machado  
Delano Gobbi  
Eurico Rodrigues de Paula  
Ezequiel Echer  
Fabiano Luis de Sousa  
Fábio Augusto Vargas dos Santos  
Fernanda de São Sabbas Tavares  
Fernando Luis Guarnieri  
Gelson Lauro Dal' Forno  
Hisao Takahashi  
Ijar Milagre da Fonseca

**Estudantes**

Bruno Knevitx Hammerschmitt  
Cássio Rodinei dos Santos  
Claudio Machado Paulo  
Dimas Irion Alves  
Edson Rodrigo Thomas  
Eduardo Escobar Bürger  
Eduardo Weide Luiz  
Felipe Cipriani Luzzi  
Guilherme Grams  
Guilherme Simon da Rosa  
Igor Freitas Fagundes  
José Paulo Marchezi  
Leonardo Zavareze da Costa

**Técnicos**

Fernando Sobroza Pedroso - Graduação - Outra Função  
Henrique Sobroza Pedroso - Graduação - Analista de Sistemas

Jean Pierre Raulin  
Joao Paulo Minussi  
Jose Humberto Andrade Sobral  
Juliano Moro  
Lucas Ramos Vieira  
Mangalathayil Ali Abdu  
Marcelo Barcellos da Rosa  
Marco Ivan Rodrigues Sampaio  
Marcos Vinicius Dias Silveira  
Nalin Babulal Trivedi  
Natanael Rodrigues Gomes  
Nelson Jorge Schuch  
Nivaor Rodolfo Rigozo  
Odim Mendes Junior  
Osmar Pinto Junior  
Otavio Santos Cupertino Durão  
Pawel Rozenfeld  
Petrônio Noronha de Souza  
Polinaya Muralikrishna  
Rafael Lopes Costa  
Rajaram Purushottam Kane  
Severino Luiz Guimaraes Dutra  
Walter Demetrio Gonzalez Alarcon

**Total: 25**

Lucas Camponogara Viera  
Lucas Lopes Costa  
Lucas Lourencena Caldas Franke  
Mauricio Rosa de Souza  
Michel Baptistella Stefanello  
Nikolas Kemmerich  
Pietro Fernando Moro  
Roger Hatwig de Lima  
Rubens Zolar Gehlen Bohrer  
Tális Piovesan  
Tardelli Ronan Coelho Stekel  
William do Nascimento Guareschi

**Total: 2**

**Linhas de pesquisa**

**Total: 4**

- AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA
- Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR
- MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO
- MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL



---

<b>Relações com o setor produtivo</b>	<b>Total: 0</b>
---------------------------------------	-----------------

---

<b>Indicadores de recursos humanos do grupo</b>	
<b>Integrantes do grupo</b>	<b>Total</b>
Pesquisador(es)	48
Estudante(s)	25
Técnico(s)	2

---



Linha de Pesquisa  
**AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA**

**Linha de pesquisa**

**AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA**

**Nome do grupo:** Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br

**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  
Barclay Robert Clemesha  
Caitano Luiz da Silva  
Clezio Marcos De Nardin  
Cristiano Max Wrasse  
Cristiano Sarzi Machado  
Delano Gobbi  
Eurico Rodrigues de Paula  
Fábio Augusto Vargas dos Santos  
Fernanda de São Sabbas Tavares  
Gelson Lauro Dal' Forno  
Hisao Takahashi  
Jean Pierre Raulin  
Mangalathayil Ali Abdu  
Marcelo Barcellos da Rosa  
Marco Ivan Rodrigues Sampaio  
Nelson Jorge Schuch  
Nivaor Rodolfo Rigozo  
Polinaya Muralikrishna

**Estudantes:**

Cássio Rodinei dos Santos  
Claudio Machado Paulo  
Dimas Irion Alves  
Edson Rodrigo Thomas  
Eduardo Weide Luiz  
Felipe Cipriani Luzzi  
Guilherme Grams  
Leonardo Zavareze da Costa  
Lucas Camponogara Viera  
Michel Baptistella Stefanello  
Pietro Fernando Moro  
Tardelli Ronan Coelho Stekel  
William do Nascimento Guareschi

**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.



Linha de Pesquisa  
**MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO**

**Linha de pesquisa**

**MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO**

**Nome do grupo:** Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br

**Palavras-chave:** Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS; Desenvolvimento de Instrumentação Espacial; Eletricidade Atmosférica - Descargas Elétricas; Física Magnetosferas, Física Solar e Heliosférica; Geomagnetismo; Magnetômetros;

**Pesquisadores:**

Alexandre Alvares Pimenta  
Alisson Dal Lago  
Cassio Espindola Antunes  
Clezio Marcos De Nardin  
Gelson Lauro Dal Forno  
Jean Carlo Santos  
Joao Paulo Minussi  
Mangalathayil Ali Abdu  
Nalin Babulal Trivedi  
Nivaor Rodolfo Rigozo  
Osmar Pinto Junior  
Pawel Rozenfeld  
Severino Luiz Guimaraes Dutra

**Estudantes:**

Claudio Machado Paulo  
Dimas Irion Alves  
Edson Rodrigo Thomas  
José Paulo Marchezi  
Leonardo Zavareze da Costa  
Lucas Camponogara Viera  
Lucas Lourencena Caldas Franke  
Pietro Fernando Moro  
Roger Hatwig de Lima  
Rubens Zolar Gehlen Bohrer  
Tális Piovesan  
Tardelli Ronan Coelho Stekel  
William do Nascimento Guareschi

**Árvore do conhecimento:**

Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Geofísica; Geofísica Aplicada;  
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Geofísica Espacial;  
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Instrumentação Científica;

**Setores de aplicação:**

Produtos e Serviços Voltados Para A Defesa e Proteção do Meio Ambiente, Incluindo O Desenvolvimento Sustentado

**Objetivo:**

Pesquisas: acoplamento da Heliosfera, Meio Interplanetário e Magnetosferas Planetárias, com dados de sondas espaciais e nas magnetosferas; modelos físicos/estatísticos; variação secular do Campo Total-F, 22883 nT no OES, na razão -28 nT/ano; deslocamento para oeste da AMAS observado desde 1985, via Cooperação: UFSM-ON-INPE com o SERC/KU-Japão; pulsações contínuas e/ou impulsivas observadas na componente H amplificadas pela precipitação na região da AMAS. Vice-Líder: Nalin Babulau Trivedi.



Linha de Pesquisa  
**MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL**

**Linha de pesquisa**

**MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL**

**Nome do grupo:** Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br

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

**Pesquisadores:**

Adriano Petry  
Alan Prestes  
Alexandre Alvares Pimenta  
Alicia Luisa Clúa de Gonzalez  
Alisson Dal Lago  
Carlos Roberto Braga  
Cassio Espindola Antunes  
Ezequiel Echer  
Fernando Luis Guarnieri  
Jean Pierre Raulin  
Juliano Moro  
Lucas Ramos Vieira  
Marcos Vinicius Dias Silveira  
Nelson Jorge Schuch  
Nivaor Rodolfo Rigozo  
Rajaram Purushottam Kane  
Severino Luiz Guimaraes Dutra  
Walter Demetrio Gonzalez Alarcon

**Estudantes:**

Bruno Knevez Hammerschmitt  
Claudio Machado Paulo  
Dimas Irion Alves  
Eduardo Escobar Bürger  
Guilherme Grams  
José Paulo Marchezi  
Leonardo Zavareze da Costa  
Lucas Camponogara Viera  
Mauricio Rosa de Souza  
Michel Baptistella Stefanello  
Nikolas Kemmerich  
Pietro Fernando Moro  
Roger Hatwig de Lima  
Tális Piovesan  
Tardelli Ronan Coelho Stekel  
William do Nascimento Guareschi

**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.



## **AGRADECIMENTOS**

O aluno agradece a todos os colaboradores do CRS/CCR/INPE – MCT pelo apoio e pela infra-estrutura disponibilizada, assim como ao Coordenador do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT pela oportunidade do encargo na continuação do projeto científico. Ao Orientador do Projeto, Dr. Polinaya Muralikrishna, Pesquisador do DAE/CEA/INPE-MCT e ao seu Co-Orientador Dr. Nelson Jorge Schuch, Pesquisador Titular Sênior III do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCT, o aluno agradece incondicionalmente pela confiança depositada no período vigente de sua Iniciação Científica.

Agradece ao carinho recebido por todos os seus colegas de laboratório, Cláudio Machado Paulo e Pietro Fernando Moro, não obstante ao colega Dimas Irion Alves, pela indicação e auxílio ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação científica – PIBIC/INPE – CNPq/MCT e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, e ao doutorando Juliano Moro, pela atenção dedicada aos trabalhos desenvolvidos e pela forte amizade construída.



## RESUMO

O Relatório apresenta as atividades e os estudos realizados referentes ao Projeto “**ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL**” (Processo nº 104748/2010-9) com vigência de Julho de 2010 a Agosto de 2011. No período de Março de 2011 a Julho de 2011 o Projeto foi realizado por Lucas Camponogara Viera, aluno do curso de Física Bacharelado da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM e bolsista no Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT. O Projeto tem dois objetivos específicos. O primeiro objetivo é observar a variação da absorção ionosférica de ondas de rádio de origem cósmica através do uso do equipamento Riômetro instalado no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CCR/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS. O segundo objetivo é o monitoramento da atividade solar alongo prazo para o estudo da região da Anomalia Magnética da América do Sul – AMAS, utilizando a rede de receptores do Sistema SAVNET (do inglês *South American VLF Network*), que utiliza as propriedades de rádio propagação de ondas VLF (do inglês *Very Low Frequency*: 3 - 30 kHz). O estudo e o desenvolvimento da pesquisa, redução, análise e interpretação de dados é realizada no Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre – LSIANT do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.



## **CAPÍTULO 8**

### **INTRODUÇÃO**

São apresentadas no Relatório as atividades que foram realizadas no Projeto: ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL (Processo número 104748/2010-9) com vigência de Agosto de 2010 a Julho de 2011. No período de Março de 2011 a Julho 2011 as atividades foram realizadas pelo aluno Lucas Camponogara Viera, aluno do Curso de Física Bacharelado da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, dando continuidade as pesquisa do Projeto, apresentadas na Parte I do Relatório.

O objetivo científico geral do Projeto de Pesquisa é estudar a variação da absorção ionosférica de ondas de rádio de origem cósmica na faixa de 38,2 MHz com o equipamento Riômetro. O equipamento está instalado e em operação no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CCR/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS. Os estudos, desenvolvimento da pesquisa, redução, análise e interpretação de dados são realizados no Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRS/CCR/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.

A partir dos dados coletados com o Riômetro, obtêm-se informações do ruído cósmico de origem galáctica. Conseqüentemente é possível realizar estudos da absorção ionosférica do ruído cósmico durante períodos de interesse. Por fim, pode-se determinar o fluxo de partículas energéticas observada na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, recentemente transliterada para Anomalia Magnética da América do Sul – AMAS.

Com base no objetivo científico apresentado acima, o presente Relatório foi estruturado da seguinte forma:

- No Capítulo 9 é apresentada a revisão bibliográfica referente à evolução da Atmosfera Terrestre e as características da Ionosfera;
- O Capítulo 10 refere-se ao Campo Magnético Terrestre, Cinturões de Radiação de Van Allen e a AMAS;





- O Capítulo 11 refere-se à instrumentação utilizada, ou seja, o equipamento Riômetro e o Projeto SARINET – *South America Riometer*.
- Por fim, no Capítulo 12 é realizado um resumo das atividades desenvolvidas pelo bolsista durante o período de vigência da bolsa.



## CAPÍTULO 9

### ATMOSFERA

#### 9.1 A Evolução da Atmosfera Terrestre

A Terra formou-se a cerca de 4,6 bilhões de anos. Acredita-se que a atmosfera terrestre seja secundária, isto é, teve origem pela liberação de gases do interior da Terra. Os gases mais abundantes eram provavelmente  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{H}_2$ , liberados por erupções vulcânicas. A única fonte de oxigênio era pela dissociação do vapor de água pela radiação solar. A produção sistemática de oxigênio só teve início com o surgimento das algas, organismos fotossintetizantes que usam  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  no processo da fotossíntese. Esta produção superou as perdas por oxidação, acumulando-se na atmosfera. A sua transição estima-se que ocorreu há 600 milhões de anos, época remota da qual se encontravam vestígios de animais multicelulares (V.W.J. Kirchhoff, 1991).

#### 9.2 Composição

A atmosfera terrestre é uma mistura de gases dos quais o nitrogênio é o mais abundante. Até aproximadamente uma altura de 100 km, a mistura dos gases é praticamente constante, isto é, a cada altura, a proporção de certo gás em relação ao todo se mantém. A essa porção mais baixa da atmosfera chama-se Homosfera. Nela predomina a difusão turbulenta. A 100 km tem-se uma região de transição, a Turbopausa, acima da qual predomina a difusão molecular. Os gases, a partir desta altura, se distribuem de acordo com suas próprias escalas de altura, e não há mais a mistura proporcional. Esta região superior é chamada de Heterosfera. [V.W.J. Kirchhoff, 1991]. A seguir, a homosfera e heterosfera são discutidas em maiores detalhes.

**Homosfera:** Região onde predomina a difusão turbulenta. A 100 km tem-se uma região de transição, a Turbopausa, acima da qual predomina a difusão molecular. Na Homosfera, a proporção volumétrica é de 78% de  $\text{N}_2$  e 21% de  $\text{O}_2$ , sendo o restante

argônio (Ar), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), os gases nobres, e outros em proporções menores como vapor d'água e ozônio, O<sub>3</sub>. A Homosfera possui grande importância devido a sua capacidade de absorver diretamente a radiação solar, enquanto o ozônio é responsável pela absorção dos raios ultravioletas.

A Homosfera pode ser discutida em termos do perfil vertical de temperatura. Considerando a variação da temperatura com a altitude, a Homosfera é dividida em camadas, a saber:

- **Troposfera:** Se encontra a uma altura de até 12 km desde o nível do mar, com temperaturas variando entre 40° C até -60° C sendo possível observar fenômenos climáticos. Esta camada possui uma região limítrofe chamada de Tropopausa.
- **Estratosfera:** Ocupa uma faixa desde a região limítrofe da troposfera (Tropopausa) (12 km) até 50 km acima do nível do mar. As temperaturas variam de -5° C a -70° C. Nesta região localiza-se a camada de ozônio e é facilmente alcançada por balões de medições climáticas ou aviões supersônicos. Possui uma região limítrofe chamada Estratopausa.
- **Mesosfera:** Estende-se desde a Tropopausa até 80 km acima do nível do mar. Temperaturas variam entre -10° C a -100° C. a baixa temperatura deve-se a ausência de gases suficientes para absorver a energia solar, ocorrendo o fenômeno da aeroluminescência, sua região limítrofe é chamada de Mesopausa.

**Termosfera:** Camada atmosférica mais extensa compreende uma dimensão desde a região limítrofe da Mesosfera (Mesopausa) até 500 km acima do nível do mar. Pode atingir altas temperaturas, pois há presença de oxigênio atômico, absorvendo energia solar em grande quantidade. As temperaturas nesta camada podem atingir os 100° C.

**Heterosfera:** A partir de 100 km de altitude os gases nesta região se distribuem de acordo com suas próprias escalas de altura, e não há mais a mistura proporcional. Isso ocorre porque a distância que as partículas podem se mover sem colidir uma com as outras é grande em comparação com o tamanho dos movimentos turbulentos que fazem a mistura. Isso permite que os gases estratifiquem-se pelo peso molecular; os mais pesados, como o Oxigênio e Nitrogênio, estão presentes apenas próximos da parte



inferior da Heterosfera. A parte superior do Heterosfera é composta quase que totalmente por Hidrogênio, o elemento mais leve.

**Exosfera:** Região acima de aproximadamente 500 km de altura, na qual as frequências de colisões entre moléculas e elétrons são pouco freqüentes e as partículas neutras deslocam-se em órbitas balísticas no campo gravitacional. As partículas presentes nesta região são constantemente perdidas para o espaço. A exosfera pode referir-se a Heliosfera, pois há predominância de gás hélio (He) e à Protonosfera, em que o Hidrogênio (H) é o elemento mais abundante. [V.W.J. Kirchhoff, 1991].

### **9.3 Ionosfera**

A existência de uma camada condutora na atmosfera superior foi sugerida inicialmente pelas variações periódicas notadas nas medições do campo geomagnético. Os primeiros estudos diretos da Ionosfera foram realizados através de dados de reflexão de ondas de rádio. A origem da Ionosfera é a partir da ionização dos elementos neutros constituintes da atmosfera por radiações provenientes do Sol. Em larga escala a Ionosfera é considerada eletricamente neutra, pois o número de elétrons livres é diretamente proporcional ao número de íons positivos.

A Ionosfera é a parte ionizada da atmosfera, localizando-se entre aproximadamente 70 km e 1500 km de altitude. Ela é gerada pela interação das radiações ionizantes solares e cósmicas com os constituintes da atmosfera neutra e possui camadas condutoras de plasma. Uma vez formada os íons e elétrons da Ionosfera tendem a se recombinar e reagir entre si e com outras espécies para produzir outros íons ou neutralizar-se [Hargreaves, 1992].

#### **9.3.1 Principais fontes de ionização:**

As partículas carregadas na Ionosfera são produzidas pela radiação na faixa do Extremo Ultravioleta (EUV), pelos Raios-X solares e pelos raios cósmicos [Rishbeth e Garriot, 1969]. Para que haja ionização da atmosfera terrestre, as fontes de ionização, bem como os fótons, necessitam de energia acima de 12 eV para serem capazes de

ionizar seus componentes atmosféricos, causando o que denomina-se processo de fotoionização [V.W.J. Kirchhoff, 1991].

A Figura 9.1 mostra as principais radiações que afetam a Ionosfera:

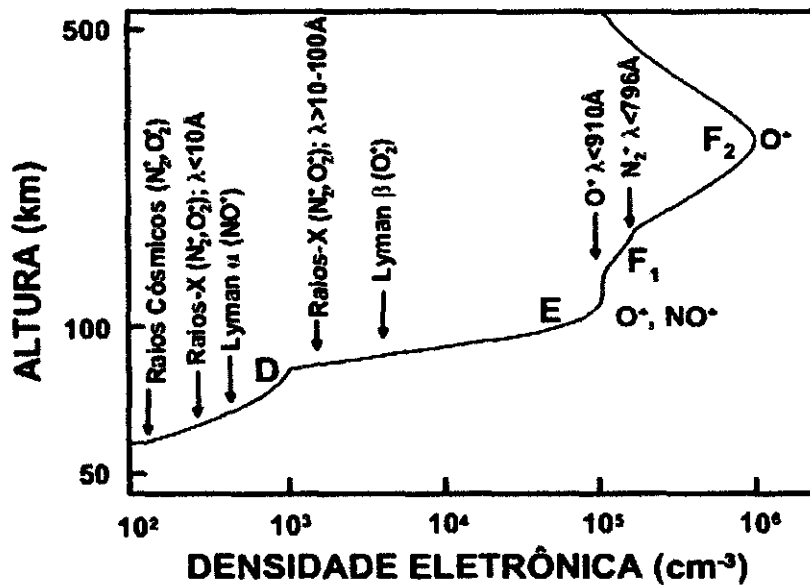


Figura 9.1 – Principais fontes de ionização da baixa ionosfera terrestre.

Fonte: Modificada de Banks e Kockarts (1973a).

Por outro lado, nas regiões polares ou na AMAS a ionização pode ser produzida pela precipitação de partículas energéticas, processo que é denominado de ionização por impacto.

### 9.3.2 Principais constituintes:

Os íons comumente produzidos são  $O^+$ ,  $N_2^+$  e  $O_2^+$ , na região do pico. Na região ionosférica mais baixa, região D, um íon importante é  $NO^+$ , produzido através da ionização do Óxido Nítrico, NO pela radiação Lyman- $\alpha$  em 1216 Å, outros compostos ionizados em torno de 80 km são Nitrogênio e Oxigênio pelos Raios-X, produzindo os íons  $N_2^+$  e  $O_2^+$  respectivamente. As reações químicas mais importantes incluem os componentes O,  $O_3$ , NO,  $NO_2$ ,  $CO_2$  e  $H_2O$ . Em proporções bem pequenas tem-se também a presença dos metais alcalinos Na, K e Li. Todos são minoritários, em



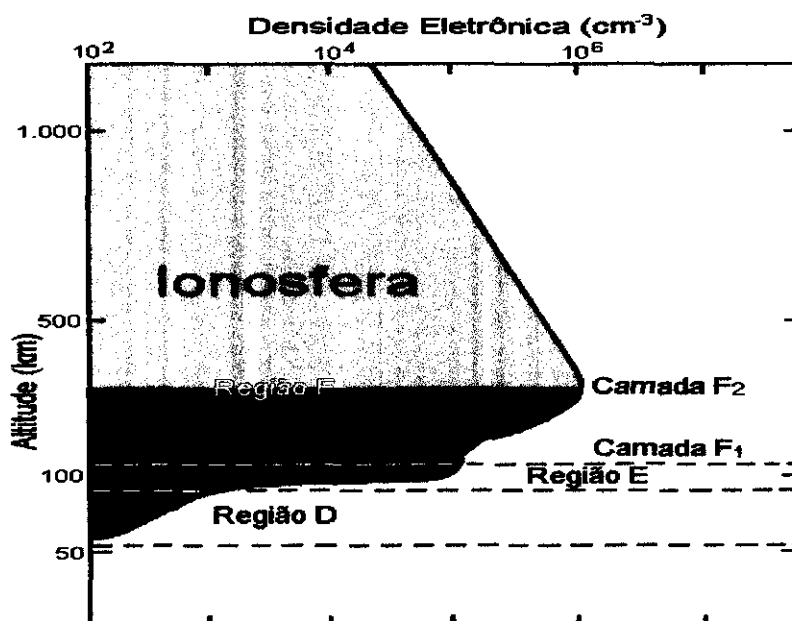
comparação com os gases  $O_2$  e  $N_2$ . A distribuição vertical dos componentes minoritários é influenciada por vários fenômenos, o que torna a região D menos regular do que a Ionosfera superior. [V.W.J. Kirchhoff, 1991].

### **9.3.3 Densidade eletrônica:**

A densidade ionosférica é produzida praticamente por radiação Solar, sendo que à medida que a radiação penetra na atmosfera, a produção de elétrons aumenta até um nível onde a densidade eletrônica é máxima, causando um pico no perfil vertical da densidade eletrônica. Na região do pico a maior densidade é a de  $O^+$ . Na baixa Ionosfera um íon importante é o  $NO^+$ , produzido pela radiação Lyman- $\alpha$ .

A Ionosfera Terrestre apresenta três máximos de densidade eletrônica formando três regiões distintas e bem definidas. Tal divisão deve-se, principalmente, aos constituintes da atmosfera neutra, os processos de ionização dominantes nas diferentes alturas, os processos de difusão, bem como às condições ambientais envolvidas no processo de recombinação. [Brum, 2005].

Conforme a Figura 9.2, a Ionosfera é dividida em três regiões: D, E e F, esta última subdivide-se em camadas  $F_1$  e  $F_2$ .



**Figura 9.2** – Gráfico ilustrando a distribuição das regiões atmosféricas segundo altitude e densidade eletrônica. Região D: Em torno de 60 km a 80 km, Região E: 105 km a 160 km, Região F dividida em Camada F<sub>1</sub>: 160 km a 180 km, Camada F<sub>2</sub>: Máximo de densidade eletrônica 300 cm<sup>-3</sup>.

Fonte: Denardini (1999, p. 26).

## DIVISÕES DA ATMOSFERA

### Região D

A parte inferior da Ionosfera, em torno de 60 km a 80 km, é conhecida como a região D, devido à densidade atmosférica ser maior nesta região do que nas outras, a importância de colisões entre íons, elétrons, e partículas neutras é considerável.

Os elétrons livres presentes nessa região podem combinar-se com as moléculas neutras formando íons negativos. Este processo é conhecido como “*attachment*” (junção eletrônica) e ocorre principalmente à noite. As radiações ionizantes mais importantes são Raios-X, que ionizam o Oxigênio e Nitrogênio em torno de 80 km e a radiação solar *Lyman-α*, que ioniza o Óxido Nítrico, NO. A ionização adicional, causada pelos raios cósmicos, ocorre em alturas inferiores [V.W.J. Kirchhoff, 1991].



## **Região E**

A região E encontra-se situada entre 105 km a 160 km de altura e caracteriza-se por apresentar importante sistema de correntes elétricas, sendo a região de máxima condutividade elétrica. Nesta região ocorre o substituição de íons negativos por íons atômicos  $n^+$ , moleculares  $m^+$ , e elétrons  $n_e$ . As principais fontes de ionização da região E são as radiações na faixa do Extremo Ultravioleta (EUV) e os Raios-X moles. A região depende fortemente da radiação solar e de características como posição solar em relação ao zênite. Acima de 100 km existe uma camada ionizada densa, com espessura em torno de 20 km e com vários quilômetros de extensão chamada de camada E esporádica.

## **Região F - Subdividida em camada $F_1$ e camada $F_2$ .**

**Camada  $F_1$ :** A camada  $F_1$  está situada entre 140 e 200 km de altitude e é formada principalmente a partir da ionização solar com radiação na faixa do Extremo Ultravioleta (EUV).

**Camada  $F_2$ :** A camada  $F_2$  está situada entre 200 e 1000 km de altitude, possuindo máxima densidade eletrônica entre 250 e 400 km de altitude. Esta é a camada que possui a maior densidade eletrônica entre todas as regiões da Ionosfera, mesmo durante a noite quando cessa a incidência da radiação solar. A radiação ionizante responsável pela formação da camada é basicamente a mesma radiação responsável pela ionização da camada  $F_1$ . Como na camada  $F_2$  o plasma ionosférico se distribui com sua própria escala de altura, o plasma encontra-se em equilíbrio difusivo.



## **CAPÍTULO 10**

### **CAMPO GEOMAGNÉTICO**

#### **10.1 Campo Magnético Terrestre**

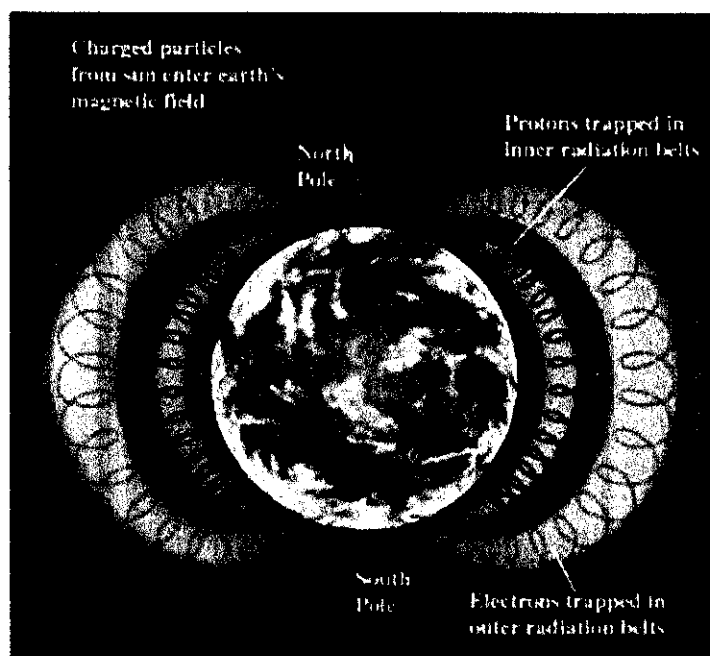
Na linha do Equador, o Campo Magnético possui intensidade média de  $3.2 \times 10^5$  T [Kirchhoff, 1991, pág. 66]. Como o Campo Magnético possui anomalias devido à distribuição não uniforme de materiais magnéticos no interior da Terra, observam-se grandes variações na intensidade do campo. As partículas energéticas vindas com o vento solar tem sua trajetória alterada e modulada em virtude da presença do campo magnético, que impede a incidência direta de tais partículas na atmosfera terrestre. Dessa forma, o campo geomagnético é responsável pelo controle e movimento das partículas que ionizam os constituintes da Ionosfera. Portanto, qualquer perturbação no campo geomagnético resultará em modificações nas condições de transporte do plasma ionosférico.

#### **10.2 Cinturões de Radiação de Van Allen**

O Cinturão de Radiação de Van Allen é a região do espaço próximo a Terra, onde ocorrem o aprisionamento e a concentração de partículas energéticas nas linhas do campo magnético da Terra. Os cinturões de radiação foram descobertos por James Van Allen em 1958 e são constituídos de dois cinturões em forma de anéis com centro no equador magnético. O cinturão interno localiza-se entre 1000 e 5000 km de altitude e o cinturão externo está situado entre 15000 e 30000 km de altitude.

A Figura 10.1 mostra as partículas energéticas aprisionadas pelas linhas do campo geomagnético, bem como o movimento em espiral ao longo das linhas do campo. O cinturão externo contém partículas eletricamente carregadas de origem solar, principalmente íons de hélio trazidos pelo vento solar. Durante períodos de atividade solar mais intensa, grande parte das partículas eletricamente carregadas vindas com o

vento solar rompe a barreira criada pelos Cinturões de Radiação de Van Allen, que ao atingirem a alta atmosfera produzem fenômenos como as auroras polares.

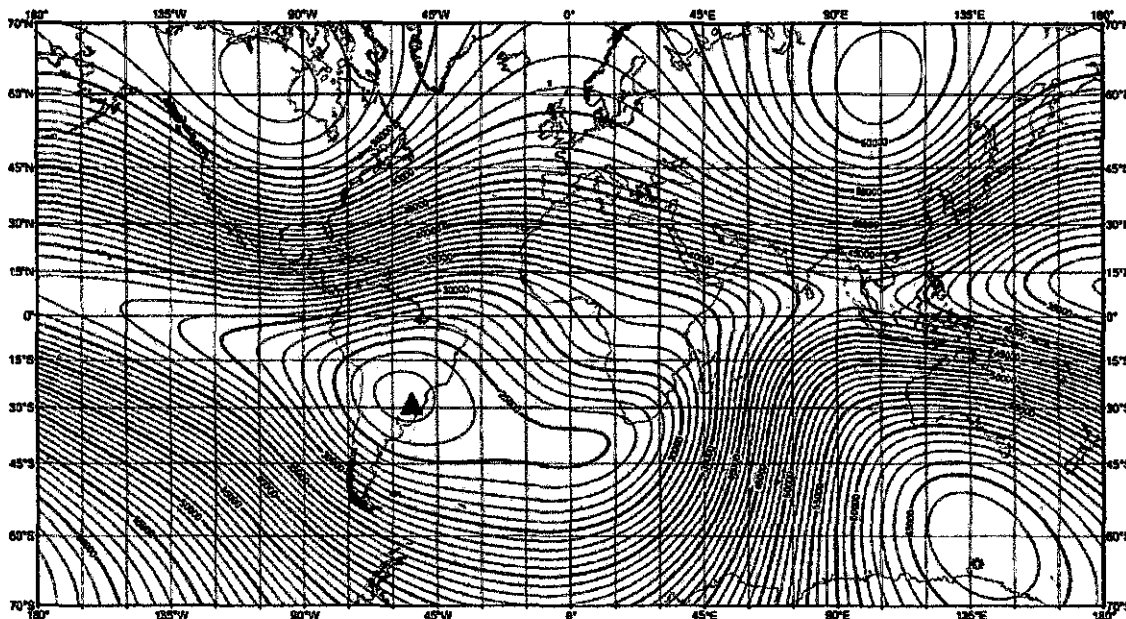


**Figura 10.1** – Representação dos Cinturões de Radiação de Van Allen.

**Fonte:** [http://fisica.ufpr.br/viana/fisicab/aulas2/a\\_21.htm](http://fisica.ufpr.br/viana/fisicab/aulas2/a_21.htm)

Na representação é possível visualizar o movimento das partículas energéticas nos cinturões, causadas pelas linhas de campo magnético.

### 10.3 Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS



**Figura 10.2:** Distribuição da intensidade do campo magnético total, representada por isolinhas, para o globo terrestre utilizando o Modelo Magnético Mundial WMM2010-2015. O triângulo verde identifica a região do Observatório Espacial do Sul, no sul do Brasil.

**Fonte:** Adaptada de Maus et al. (2010).

A AMAS situa-se na região do Atlântico Sul e sobre o Cone Sul da América do Sul, e estende-se longitudinalmente até o Oeste da costa da América do Sul. Apresenta atualmente a área de menor intensidade do campo magnético total ao longo da superfície terrestre, de aproximadamente 22,650 nT com taxa de decréscimo na razão de aproximadamente 26 nT/ano. As unidades para a intensidade do campo magnético total estão em nano Tesla (nT).

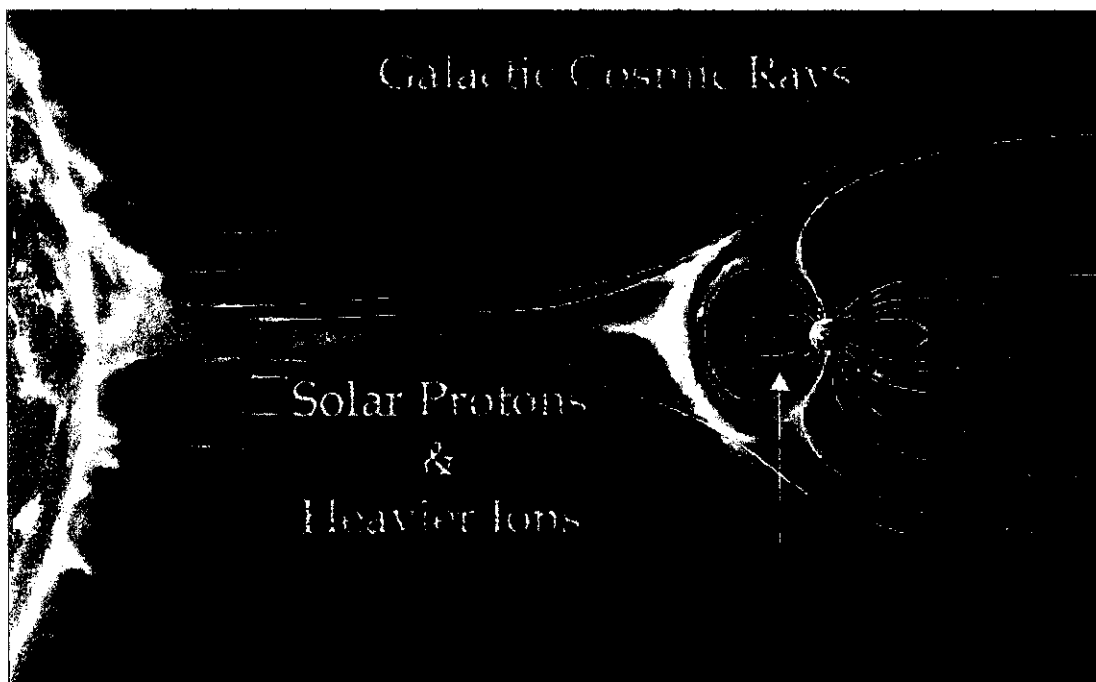
Uma das consequências da baixa intensidade do campo magnético é uma maior precipitação das partículas energéticas presas no Cinturão de Radiação Van Allen. A precipitação de tais partículas é reforçada em períodos de tempestades magnéticas e sub-tempestades. A influência do campo magnético, no sentido da baixa intensidade do campo sobre a região da AMAS, reforça a importância do estudo da região.

## 10.4 Tempestades Magnéticas e Sub-Tempestades Magnéticas

O Sol está continuamente emitindo radiação e partículas carregadas, tais como elétrons, prótons e sub-partículas. A emissão dessas partículas recebe o nome de vento solar.

As emissões provenientes do Sol, que podem ser chamadas de ejeção coronal de massa, ao atingir o campo magnético, faz com que este se confine e se distorça, formando uma longa cauda que se estende por vários raios terrestres na direção anti-solar. Esta cavidade recebe o nome de magnetosfera, como ilustrado na Figura 10.3, em azul.

Como o Sol é instável, frequentemente ocorrem explosões solares, que são erupções de plasma solar para o meio interplanetário. Quando essas erupções solares são violentas, podem resultar em tempestades e sub-tempestades magnéticas na Terra, que influem diretamente no clima espacial.



**Figura 10.3** – Ilustração artística do choque de partículas energéticas com o campo magnético. Em azul, representação da magnetosfera.

**Fonte:** [http://radhome.gsfc.nasa.gov/radhome/papers/Core\\_Tech.pdf](http://radhome.gsfc.nasa.gov/radhome/papers/Core_Tech.pdf)

## **10.5 Ruído Cósmico**

Entende-se por ruído cósmico o conjunto de ondas de rádio emitidas pelos corpos celestes, de maneira contínua, com um espectro de frequência que corresponde ao espectro de emissão de um corpo negro. Estas ondas de rádio ao chegarem à ionosfera são absorvidas (numa proporção que é função da densidade de elétrons livres) em determinadas altitudes onde a frequência de colisões entre elétrons e moléculas neutras esteja na mesma ordem de magnitude da frequência da onda do ruído cósmico. No contexto, a análise da intensidade de ruído cósmico (de uma dada frequência) na superfície da Terra permite estimar a densidade eletrônica na altura da absorção. A frequência mais utilizada pela comunidade científica para o registro do ruído cósmico é 30 MHz. A frequência escolhida pode ser justificada pelo fato de na faixa entre 20 e 200 MHz a intensidade do ruído cósmico apresenta-se maior quando comparada à contribuição do ruído atmosférico. Para as frequências maiores que 200 MHz, os fatores limitantes consistem do ruído produzido por instrumentos eletro-eletrônicos (como por exemplo, os ruídos produzidos de osciladores de cristal, por motores elétricos) e pelo ruído do corpo negro equivalente da Terra. A faixa de frequência escolhida deve ser maior que as frequências críticas das camadas ionosféricas superiores (região F da ionosfera). Nas faixas entre 20 e 200 MHz, os registros do ruído cósmico tornam-se mais claros, uma vez que a intensidade de seu campo elétrico tem drástica redução com o aumento da frequência. Desta forma, quanto mais próxima do valor mínimo de 20 MHz estiver a frequência utilizada para o registro, maior será a amplitude do sinal registrado, permitindo assim uma melhor visualização de eventos e variações de absorção ionosférica. [Brum, 2005].

## CAPÍTULO 11

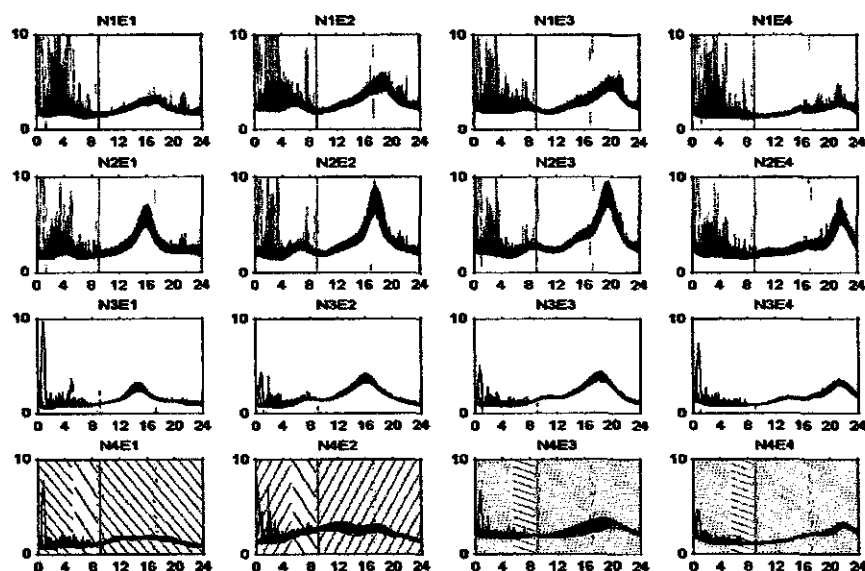
### 11.1 Riômetros

O riômetro (do inglês *Riometer: Radio Ionosphere Opacity Meter*, ou seja, medida da opacidade relativa da Ionosfera) consiste de um receptor que registra a intensidade do ruído cósmico incidente sobre a superfície terrestre, geralmente através de uma antena direcional. Para frequências de 20 a 50 MHz, o sinal do ruído cósmico que chega a superfície terrestre é dependente das condições ionosféricas, sendo absorvido pelos íons e elétrons livres presente neste meio. A análise de dados de riômetro referente à absorção ionosférica do ruído cósmico (do inglês *Cosmic Noise Absorption – CNA*) é feita comparando um período geomagneticamente calmo, que é tomado como padrão, com aqueles períodos em que há maior absorção de sinal do ruído cósmico, o que indica que houve uma ionização extra nas Regiões D e E, possivelmente causada pela precipitação de partículas energéticas. Os riômetros são utilizados em pesquisas ionosféricas principalmente para investigar as Regiões D e E da Ionosfera, para isto foram instalados, no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, um Riômetro Imageador e Riômetros Convencionais.

### 11.2 Riômetro Imageador

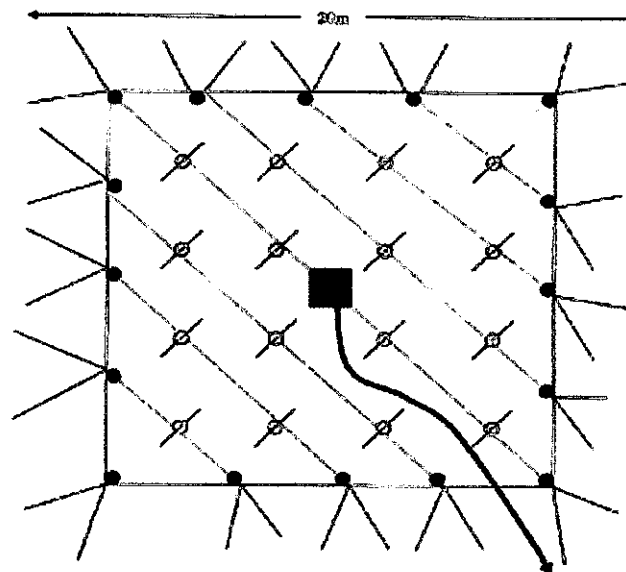
O riômetro imageador instalado no OES consiste de uma matriz 4x4 de antenas do tipo dipolo, espaçadas uma da outra por uma distância de meio comprimento de onda ( $1/2 \lambda$ ) ou (~3,93m) e com uma altura a partir do solo de um quarto de comprimento de onda (~1,96m). O Riômetro Imageador opera em 38,2 MHz e produz 16 feixes que varrem a Ionosfera local com um campo de visão de aproximadamente 330x330 km na direção Norte-Sul, quanto na direção Leste-Oeste a uma altitude de 100 km. A partir da construção de imagens, como por exemplo, a Figura 11.1, da CNA é possível analisar o movimento das estruturas de absorção, como com o riômetro imageador instalado no OES, Figuras 11.2 e 11.3. Quando o ruído cósmico se propaga através da atmosfera,

parte da energia da onda é dissipada na Ionosfera na forma de energia cinética transferida aos elétrons livres. Portanto, quanto maior for sua densidade eletrônica, maior será a absorção do sinal de ruído cósmico e menor será a intensidade do sinal captado pelo riômetro. Deste modo, é possível estimarmos a densidade eletrônica na baixa ionosfera de maneira indireta.



**Figura 11.1** – Gráfico gerado a partir de uma rotina do software *MatLab*, através de dados obtidos pelo sistema riômetro Imageador operacional no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE – MCT 29,4° S, 53,8° O 480 m de altitude, em São Martinho da Serra, RS, do dia 15/12/2006.

**Fonte:** Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre - CRS/CCR/INPE – MCT.



**Figura 11.2** – Disposição das antenas do riômetro imageador instalado no OES.

**Fonte:** Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre - CRS/CCR/INPE – MCT.



**Figura 11.3** – Fotografia das antenas do riômetro Imageador no Observatório Espacial do Sul, São Martinho da Serra, RS.

**Fonte:** Laboratório de Sondagem Ionosférica e Atmosfera Neutra Terrestre - CRS/CCR/INPE – MCT.



### 11.3 Curva do Dia Quietado – QDC (Quiet Day Curve)

A QDC é determinada através de dados da intensidade do ruído cósmico em função da hora sideral.

O cálculo da QDC é realizado por meio de métodos estatísticos utilizando os dados de riômetros adquiridos ao longo de dias geomagneticamente calmos. A QDC é tomada como padrão para comparação com os dados dos dias geomagneticamente perturbados, em que há atenuação do ruído cósmico que chega ao Riômetro.

A análise da CNA para um período magneticamente perturbado é realizada comparando a QDC com o dado coletado no dia geomagneticamente perturbado através

da Equação: 
$$A(dB) = 10 \log_{10} \left( \frac{A_{QDC}}{A_{DIA}} \right)$$

A obtenção da QDC pode ser realizada através da suavização de dados de Riômetro por sub-rotinas do software MatLab.

### 11.4 Rede SARINET – *SOUTH AMERICA RIOMETER NETWORK*

O Projeto SARINET (do inglês: *South America Riometer Network*) tem como objetivo a implantação completa de uma rede de Riômetros Imageadores e Riômetros Convencionais no Cone-Sul da América: no Brasil, em Concepción e Punta Arenas, no Chile, permitindo o estudo das interações Sol-Terra, a pesquisa da precipitação de partículas na AMAS em função da atividade geomagnética e de sua geometria.

Em virtude do campo magnético na região da AMAS ser o mínimo global, há um contínuo fluxo de partículas energéticas precipitando-se, contribuindo para a ionização da Ionosfera Terrestre e produzindo efeitos semelhantes aos que ocorrem nas regiões Polares Aurorais. Tal como, será possível determinar a estrutura espacial e dinâmica da AMAS e monitorar a escala espacial da variação de absorção e o movimento do plasma ionosférico ao longo da região da AMAS. O Brasil participa desta rede no âmbito da cooperação internacional entre Japão, Chile e Argentina, tendo como principal Investigador e Coordenador Internacional o Prof. Dr. Kazuo Makita, da *University of Takushoku*, Tokyo – Japão. O bolsista auxilia este projeto fazendo a coleta dos dados e



o envio dos mesmos para o servidor do projeto SARINET, assim como salvar uma cópia no servidor do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE - MCT.



## CAPÍTULO 12

### ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE A VIGÊNCIA DA BOLSA

A vigência da bolsa de Iniciação Científica – PIBIC/CNPq – INPE iniciou em Março de 2011. Inicialmente o bolsista realizou uma revisão bibliográfica, a partir de artigos em revistas técnicas especializadas, dissertações, teses e em livros como: Introdução à Geofísica Espacial, *The Solar-Terrestrial Environment*, sobre Ionosfera, Campo Magnético Terrestre, Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) e assuntos relacionados. Atualmente o Bolsista é um dos responsáveis pela pesquisa, análise, redução e coleta de dados do Riômetro Imageador, da manutenção periódica do equipamento instalado no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CCR/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS, e da disponibilização destes na internet, necessitando visitas periódicas e sistemáticas ao OES.

A partir da redução dos dados, o bolsista está desenvolvendo estudos iniciais da evolução temporal da absorção ionosférica na região da AMAS. Os estudos foram apresentados pelo bolsista em um evento científico. Durante o período de regência da bolsa o acadêmico participou de dois trabalhos científicos publicados, sendo eles:

**VIERA, L. C.** ; SCHUCH, N. J. ; MURALIKRISHNA, P. ; PAULO, C. M. .  
Estudos do Plasma Ionosférico na Região da Anomalia Geomagnética do Atlântico Sul AMAS. In: Simpósio de Iniciação Científica do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, 2011, Santa Maria, RS. 2011.

PAULO, C. M. ; SCHUCH, N. J. ; ALVES, D. I. ; **VIERA, L. C.** ; MORO, J. ; MORO, P. F. . Study of Ionospheric Cosmic Noise Absorption During a Complete Geomagnetic Storm on March, 2008. In: I Magnet Brazil - State of the Art and Future Challenges, 2011, Rio de Janeiro, Búzios. 2011.



## **CAPÍTULO 13**

### **CONCLUSÃO**

No período de **Março de 2011 até Julho 2011** as atividades foram realizadas pelo aluno **Lucas Camponogara Viera** do Curso de Física Bacharelado da UFSM. São apresentadas no Relatório a continuidade das atividades do aluno substituído que foram realizadas no Projeto: **ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL** (Processo número **104748/2010-9**) vigência de Agosto de 2010 a Julho de 2011. O aluno desenvolveu muitas habilidades, principalmente aquelas voltadas para a pesquisa, para trabalhos em grupo e individual. Muitos conhecimentos foram adquiridos na revisão bibliográfica que foram de grande valia, principalmente porque estas atividades não são ministradas nas disciplinas do Curso de Física Bacharelado do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM. De forma geral, o Projeto de Pesquisa permitiu um contato direto do aluno com as áreas das ciências e tecnologias relacionadas ao Projeto. Entrou em contato com vários profissionais, pesquisadores e acadêmicos de outras áreas e instituições, permitindo uma grande troca de experiências e de idéias, proporcionando um aprendizado de alto nível em cada situação, fator muito positivo no sentido amplo tanto pelas novas amizades construídas como pelo crescimento profissional e pessoal do aluno. Neste período o aluno amadureceu suas idéias, evoluiu e produziu para que futuramente possa com sua experiência contribuir para os avanços tecnológicos da Ciência.



## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

**HARGREAVES, J. K. THE SOLAR-TERRESTRIAL ENVIRONMENT. 1º Edition.**  
Great Britain: Cambridge University Press: Cambridge, 1995. ISBN 0-521-42737-1

**KIRCHHOFF, V. W. J. INTRODUÇÃO À GEOFÍSICA ESPACIAL. 1º Edição.** São Paulo: Nova Stella, Editora da Universidade de São Paulo: FAPESP, 1991. ISBN 85-7233-001-1

**RISHBETH E GARRIOT, INTERNATIONALE GEOPHYSICS SERIES ; V. 14**  
NEW YORK, Academic press, 1969.

**MORO, J.; SILVEIRA, A. M. M. ESTUDOS DO PLASMA IONOSFÉRICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL.** Santa Maria, 2008.