



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**AMPLIAÇÃO DO PROTÓTIPO DE TELESCÓPIO  
MULTIDIRECIONAL DE RAIOS CÓSMICOS DE ALTA ENERGIA  
– MUONS: PARTICIPAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO TÉCNICO  
E DE ENGENHARIA, E ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS.**

Processo N°: CNPq N° 105372/2005-6

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

Níkolás Kemmerich  
(UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq – INPE/MCT, Março - Julho 2007)  
E-mail: [nikolas@lacesm.ufsm.br](mailto:nikolas@lacesm.ufsm.br)

Carlos Roberto Braga (UFSM, Bolsista Agosto 2006 – Fevereiro 2007)  
E-mail: [carlos@lacesm.ufsm.br](mailto:carlos@lacesm.ufsm.br)

Dr. Alisson Dal Lago (Orientador – DGE/CEA/INPE – MCT)  
E-mail: [dallago@dge.inpe.br](mailto:dallago@dge.inpe.br)

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

Santa Maria, Junho de 2007

Dados de Identificação

Título do projeto:

**AMPLIAÇÃO DO PROTÓTIPO DE TELESCÓPIO MULTIDIRECIONAL DE  
RAIOS CÓSMICOS DE ALTA ENERGIA – MUONS: PARTICIPAÇÃO DO  
DESENVOLVIMENTO TÉCNICO E DE ENGENHARIA, E ANÁLISE  
PRELIMINAR DOS DADOS.**

Bolsista:

Níkolás Kemmerich

Acadêmico do Curso de Física Licenciatura Plena

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

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Bolsista substituído:

Carlos Roberto Braga

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica

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

Universidade Federal de Santa Maria

Orientador:

Dr. Alisson Dal Lago

Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE - MCT

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

Co-orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

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

### Local de execução do projeto:

Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE – MCT, São Martinho da Serra, RS.

Laboratório de Clima Espacial - CRS/CIE/INPE – MCT, Santa Maria, RS

Laboratório de Ciências espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM, Santa Maria, RS.

### Pesquisadores e Estudantes colaboradores:

Dr. Nelson Jorge Schuch – CRS/CIE/INPE – MCT

Doutorando Marlos Rockenbach da Silva – INPE/MCT

Mestrando Jairo Francisco Savian – IAG/USP

Acadêmico Carlos Roberto Braga – LACESM/CT/UFSM

Acadêmico Samuel Martins da Silva – LACESM/CT/UFSM

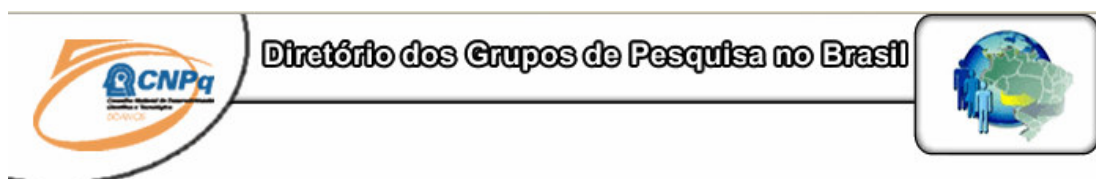
Acadêmico Marcos Vinicius Silveira – LACESM/CT/UFSM

### Pesquisadores da cooperação Brasil – Japão – EUA em Clima Espacial diretamente envolvidos no projeto:

Prof. Kazuoki Munakata - Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University - Japão

Prof. John W. Bieber - Bartol Research Institute, University of Delaware - EUA

Dr. Takao Kuwabara - Bartol Research Institute, University of Delaware – EUA



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



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

**Identificação**

**Dados básicos**

**Nome do grupo:** Clima Espacial, Magnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br  
**Status do grupo:** **certificado pela instituição**  
**Ano de formação:** 1996  
**Data da última atualização:** 18/06/2007 11:07  
**Lider(es) do grupo:** Nelson Jorge Schuch - [nelson.schuch@pq.cnpq.br](mailto:nelson.schuch@pq.cnpq.br)  
 Ademar Michels - [michels@ct.ufsm.br](mailto:michels@ct.ufsm.br)  
**Área predominante:** Ciências Exatas e da Terra; Geociências  
**Instituição:** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
**Órgão:** Coordenação de Gestão Científica - CIE **Unidade:** Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

**Endereço**

**Logradouro:** Caixa Postal 5021  
**Bairro:** Camobi **CEP:** 97110970  
**Cidade:** Santa Maria **UF:** RS  
**Telefone:** 33012026 **Fax:** 33012030  
**E-mail:** [njschuch@lagesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lagesm.ufsm.br) **Home page:** <http://>

**Repercussões dos trabalhos do grupo**

O Grupo de Pesquisa - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS: INTERAÇÃO TERRA-SOL do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE-MCT, em Santa Maria, e Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/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 (CEA, ETE, CPA), CRAAM-Universidade P. Mackenzie, IAG/USP, OV/ION, 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, os mecanismos de geração de energia no Sol, o 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. Pesquisas teóricas e observacionais utilizando-se de larga base de dados de sondas no Espaço Interplanetário e dentro de magnetosferas planetárias, bem como de modelos computacionais físicos e estatísticos. Vice-Líderes: Alisson Dal Lago, Nalin Babulau Trivedi, Marcelo Barcellos da Rosa, Ademar Michels.

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

Recursos humanos	
<b>Pesquisadores</b>	<b>Total: 26</b>
<a href="#">Ademar Michels</a> <a href="#">Alan Prestes</a> <a href="#">Alicia Luisa Clúa de Gonzalez</a> <a href="#">Alisson Dal Lago</a> <a href="#">Barclay Robert Clemesha</a> <a href="#">Clezio Marcos De Nardin</a> <a href="#">Cristiano Max Wrasse</a> <a href="#">Delano Gobbi</a> <a href="#">Eurico Rodrigues de Paula</a> <a href="#">Ezequiel Echer</a> <a href="#">Fábio Augusto Vargas dos Santos</a> <a href="#">Fernando Luís Guarnieri</a> <a href="#">Hisao Takahashi</a>	<a href="#">Jean Carlo Santos</a> <a href="#">Jean Pierre Raulin</a> <a href="#">Joao Paulo Minussi</a> <a href="#">Mangalathavil Ali Abdu</a> <a href="#">Marcelo Barcellos da Rosa</a> <a href="#">Nalin Babulal Trivedi</a> <a href="#">Natanael Rodrigues Gomes</a> <a href="#">Nelson Jorge Schuch</a> <a href="#">Osmar Pinto Junior</a> <a href="#">Otavio Santos Cupertino Durão</a> <a href="#">Polinava Muralkrishna</a> <a href="#">Severino Luiz Guimaraes Dutra</a> <a href="#">Walter Demetrio Gonzalez Alarcon</a>
<b>Estudantes</b>	<b>Total: 25</b>
<a href="#">Carlos Roberto Braga</a> <a href="#">Cassio Espindola Antunes</a> <a href="#">Cézar Augusto Daroit</a> <a href="#">Cleomar Pereira da Silva</a> <a href="#">Cristiano Sarzi Machado</a> <a href="#">Eduardo Ceretta Dalla Favera</a> <a href="#">Fagner Chaças Rother</a> <a href="#">Jean Carlos Daroit</a> <a href="#">Jose Fernando Thuorst</a> <a href="#">Josemar de Siqueira</a> <a href="#">Juliano Moro</a> <a href="#">Lilian Piecha Moor</a> <a href="#">Lucas Lopes Costa</a>	<a href="#">Marcelo dos Santos Zastawny</a> <a href="#">Marcos Vinicius Dias Silveira</a> <a href="#">Mateus Sabadi Schuh</a> <a href="#">Micael da Silva Bacellar</a> <a href="#">Nikolas Kemmerich</a> <a href="#">Pablo Fernando Carlesso</a> <a href="#">Rafael Lopes Costa</a> <a href="#">Rodrigo Gerlach Silva</a> <a href="#">Samuel Martins da Silva</a> <a href="#">Sandro Fettermann Bertaognoli</a> <a href="#">Silvano Lucas Prochnow</a> <a href="#">Tiago Jaskulski</a>
<b>Técnicos</b>	<b>Total: 4</b>
Anderson Pereira Colvero - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Eletrônica Eduardo Ceretta Dalla Favera - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação Koiti Ozaki - Especialização - Analista de Sistemas Roben Castagna Lunardi - Graduação - Técnico em Computação	
<b>Linhas de pesquisa</b>	
<b>Total: 4</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ <a href="#">AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA</a></li> <li>◆ <a href="#">MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO</a></li> <li>◆ <a href="#">MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL</a></li> <li>◆ <a href="#">NANOSATC-BR</a></li> </ul>	
<b>Relações com o setor produtivo</b>	
<b>Total: 0</b>	
<b>Indicadores de recursos humanos do grupo</b>	
	<b>Total</b>
<b>Integrantes do grupo</b>	
Pesquisador(es)	26
Estudante(s)	25
Técnico(s)	4

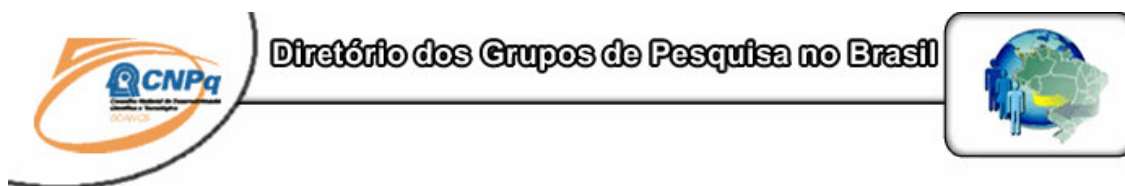


**Estudante**  
**Nikolas Kemmerich**



[Link para Currículo Lattes](#)

<a href="#">Dados gerais</a>	<a href="#">Indicadores de produção C, T &amp; A</a>			
<b>Dados gerais</b>				
<b>Identificação do estudante</b>				
<b>Nome:</b> Nikolas Kemmerich				
<b>Nível de treinamento:</b> Graduação				
<b>Currículo Lattes:</b> 09/02/2007 14:02				
<b>E-mail:</b> <a href="mailto:nikolas@lacesm.ufsm.br">nikolas@lacesm.ufsm.br</a>				
<b>Homepage:</b>				
<b>Grupos de pesquisa que atua na instituição</b>				
<a href="#">Clima Espacial, Maqnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br</a> - INPE				
<b>Linhas de pesquisa que atua</b>				
<a href="#">MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL</a>				
<a href="#">NANOSATC-BR</a>				
<b>Orientadores participantes de grupos de pesquisa na instituição</b>				
<a href="#">Alisson Dal Lago</a>				
<b>Indicadores de produção C, T &amp; A dos anos de 2001 a 2004</b>				
<b>Tipo de produção</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>
Produção bibliográfica	0	0	0	0
Produção técnica	0	0	0	0
Produção artística/cultural e demais trabalhos	0	0	0	0
Orientação concluída	0	0	0	0



## Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil

### Linha de Pesquisa

### MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL

#### Linha de pesquisa

#### MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL

**Nome do grupo:** [Clima Espacial, Magnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br](#)

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

#### Pesquisadores:

[Alan Prestes](#)  
[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)  
[Alisson Dal Lago](#)  
[Ezequiel Echer](#)  
[Fernando Luís Guarnieri](#)  
[Jean Pierre Raulin](#)  
[Nelson Jorge Schuch](#)  
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)  
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)

#### Estudantes:

[Carlos Roberto Braga](#)  
[Faqner Chagas Rother](#)  
[Jose Fernando Thuorst](#)  
[Josemar de Siqueira](#)  
[Marcos Vinicius Dias Silveira](#)  
[Nikolas Kemmerich](#)  
[Samuel Martins da Silva](#)  
[Sandro Fettermann Bertagnoli](#)

#### 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 Cósmitos-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**  
**NANOSATC-BR**

**Linha de pesquisa**

**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](#)  
[Clezio Marcos De Nardin](#)  
[Ezequiel Echer](#)  
[Fernando Luis Guarnieri](#)  
[Jean Pierre Raulin](#)  
[Nalin Babulal Trivedi](#)  
[Natanael Rodrigues Gomes](#)  
[Nelson Jorge Schuch](#)  
[Otavio Santos Cupertino Durão](#)  
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)  
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)

**Estudantes:**

[Carlos Roberto Braga](#)  
[Cassio Espindola Antunes](#)  
[Cleomar Pereira da Silva](#)  
[Jean Carlos Daroit](#)  
[Josemar de Siqueira](#)  
[Lucas Lopes Costa](#)  
[Marcelo dos Santos Zastawny](#)  
[Marcos Vinicius Dias Silveira](#)  
[Micael da Silva Bacellar](#)  
[Nikolas Kemmerich](#)  
[Rafael Lopes Costa](#)  
[Rodrigo Gerlach Silva](#)  
[Samuel Martins da Silva](#)  
[Sandro Fettermann Bertagnolli](#)  
[Silvano Lucas Prochnow](#)  
[Tiaqo Jaskulski](#)

**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 e aeroespacial, 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: Ademar Michels



“Existem apenas duas maneiras de ver a vida. Uma é pensar que não existem milagres e a outra é que tudo é um milagre.”

(Albert Einstein)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao apoio de meus pais Luceno Kemmerich e Tânia Elisete Malheiros dos Santos, pelo incentivo à educação e liberdade de pensamento em toda minha vida.

Ao meu orientador Doutor Alisson Dal Lago, pela sua atenção e disposição em auxiliar-me durante a realização de minhas atividades de iniciação científica. Em especial, ao Doutor Nelson Jorge Schuch, pelos seus ensinamentos, pelas inúmeras oportunidades oferecidas, por ser um cientista que deposita confiança em seus alunos incentivando a liberdade de pensamento em nossos trabalhos. Além de orientadores, grandes amigos.

Professor Kazuoki Munakata e sua equipe científica da Universidade de Shinshu, pela doação do Telescópio Multidirecional Cintilador de Muons do Observatório Espacial do Sul (OES/CRS/CIE/INPE – MCT)

Ao Mestrando Jairo Francisco Savian (USP), que me ofereceu a oportunidade deste trabalho. Meus colegas de Laboratório de Clima espacial Samuel Martins da Silva, Marcos Vinícius Silveira e Carlos Roberto Braga.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo suporte financeiro.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, pelo suporte técnico.

Agradeço ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE-MCT, ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e ao Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE, pela infra-estrutura disponibilizada para a realização deste trabalho.

## Preâmbulo

O projeto teve o bolsista Carlos Roberto Braga, aluno do Curso de Engenharia Elétrica pela UFSM, substituído no mês de fevereiro do ano de 2007 pelo acadêmico Nícolas Kemmerich, aluno do Curso de Física Licenciatura Plena pela UFSM. O novo aluno passou a realizar os trabalhos referentes ao projeto a partir do mês de março de 2007 concluindo a etapa 6 onde deveria elaborar trabalhos para serem apresentados no congresso do PIBIC do INPE e está realizando as etapas 1, 2 e 3 referentes aos Planos de Trabalho do Projeto. O relatório parcial de atividades do bolsista substituído está em anexo neste relatório.

## RESUMO

O estudo da interação Sol-Terra nos mostra estruturas solar-interplanetárias, tais como: ejeções de massa coronais (EMC), ejeções de massa coronais interplanetárias (EMCI), explosões solares, vento solar, entre outras. Esta interação pode ser monitorada por diversos índices geomagnéticos, tais como o índice Dst, cuja variação indica a ocorrência de distúrbios geomagnéticos (tempestades geomagnéticas). Valores da ordem de  $Dst < -30$  nT representam uma tempestade geomagnética, sendo que quanto mais negativo, mais intensa é a tempestade. No período de Maximo Solar ocorre o maior número de tempestades na Terra, causadas pelas EMC. Quando isto acontece parte dos raios cósmicos vindos nesta direção são blindados. As EMC possuem um campo magnético mais intenso que o campo magnético interplanetário (CMI), quando o campo da EMC é antiparalelo ao da Terra, ocorre a reconecção entre os campos, havendo transferência de energia do vento solar para a magnetosfera da Terra. Os danos causados pelos eventos são os de perda de dados de satélite, interferência em radares, *black-out* de energia elétrica, e suas manifestações mais famosas são as auroras nas calotas polares. Com objetivo de estudar estes fenômenos, foi instalado em março de 2001 um protótipo detector de raios cósmicos – muons de alta energia – no Observatório Espacial do Sul (OES/CRS/CIE/INPE - MCT). O protótipo foi construído em duas camadas de 4 detectores, totalizando 8 (2x2x2) detectores, com resolução temporal de uma hora. O objetivo deste trabalho é discutir a ampliação do protótipo para 56 detectores (2x4x7), que foi efetuada em 2005, com resolução temporal a cada minuto, para integrar a rede internacional de detectores de raios cósmicos de alta energia – muons. Para a identificação da chegada de estruturas interplanetárias geoeefetivas foram utilizados dados de plasma e de campo magnético interplanetário obtidos pelos satélites ACE da NASA. O telescópio detector de raios cósmicos mostra resposta à ocorrência de tempestades geomagnéticas na forma de decréscimos das contagens de muons.

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	17
1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
1.2 CLIMA ESPACIAL .....	17
1.3 – DANOS EM SISTEMAS TECNOLÓGICOS RELACIONADOS A VARIABILIDADE SOLAR E PREVISÃO DE CLIMA ESPACIAL .....	18
1.3.1- DANOS EM SISTEMAS TECNOLÓGICOS RELACIONADOS A VARIABILIDADE SOLAR .....	18
1.3.2 – PREVISÃO DE CLIMA ESPACIAL .....	19
Como forma de tentar reduzir os danos em sistemas tecnológicos, foram desenvolvidos diversos métodos para previsão de Clima Espacial. Uma delas é usar Detectores de raios cósmicos de alta energia (muons) instalados na superfície terrestre. ....	19
1.3.3 - EFEITOS DA RADIAÇÃO EM DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS NO ESPAÇO .....	19
CAPÍTULO 2 – DESENVOLVIMENTO TEÓRICO .....	21
2.1 O SOL, SUAS ESTRUTURAS, SUA INFLUENCIA NO MEIO INTERPLANETARIO E SEUS EFEITOS GEOMAGNETICAS.....	21
2.2-O SOL .....	21
2.3 - O VENTO SOLAR .....	23
2.4 – CAMPO MAGNETICO INTERPLANETÁRIO (CMI).....	25
2.5 – CICLO SOLAR DE 11 ANOS, EXPLOSÕES SOLARES E EJEÇÕES DE CORONAI DE MASSA.....	26
2.5.1-CICLO SOLAR DE 11 ANOS.....	26
2.5.2 EXPLOSÕES SOLARES “FLARES” E EJEÇÕES CORONAI DE MASSA. 27	27
2.6 – RELAÇÕES ENTRE EJEÇÕES CORONAI DE MASSA E ESTRUTURA INTERPLANETÁRIA .....	29
2.6.1 – ASSINATURA DAS EJEÇÕES DE MASSA CORONAL NO VENTO SOLAR .....	29
2.6.2 - RELAÇÃO ENTRE EMC RÁPIDAS E ONDAS DE CHOQUE NO VENTO SOLAR .....	30
2.6.3 – NUVENS MAGNÉTICAS.....	30
2.7 – ÍNDICE DST .....	31
2.8 – TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS .....	32
2.9 – ORIGEM INTERPLANETARIA DE TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS ....	33
2.10 – RAIOS CÓSMICOS.....	35
2.11– MUONS.....	35
CAPITULO 3 – DETECTOR DE RAIOS CÓSMICOS DE ALTA ENERGIA – MUONS .....	38
3.1– EXPANSÃO DO TELESCÓPIO DETECTOR DE MUONS E SUAS DIFERENÇAS .....	38
3.1.1- DETECÇÃO DE RAIOS CÓSMICOS (MUONS) ATRAVÉS DE CINTILADORES E FOTOMULTIPLICADORAS .....	38
3.1.2- FOTOMULTIPLICADORAS.....	39
3.2– O TELESCÓPIO PROTÓTIPO .....	40

3.3 – TELESCÓPIO EXPANDIDO .....	42
3.4 – REDE DE DETECTORES INTERNACIONAL .....	45
3.5 – PRECURSORES DE TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS .....	47
3.6 – ANISOTROPIA PRECURSORA DO CONE DE PERDAS .....	48
CAPÍTULO 4 – ANÁLISE DE DADOS E METODOLOGIA .....	49
4.1 – METODOLOGIA.....	49
4.2 – TEMPESTADES OCORRIDAS EM DEZEMBRE DE 2006 E MARÇO DE 2007 .....	49
4.3 – ANÁLISE DE DADOS NO PERÍODO DE 2004, DO DIA 305 AO DIA 312.....	51
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES FINAIS .....	53
Capítulo 6 – Referências bibliográficas.....	54
Anexo 1 .....	56
Programas usados para analisar os dados descritos no relatório .....	56
Anexo 2 .....	60
Relatório parcial das atividades 2007 do bolsista substituído .....	60
Anexo 3 .....	62
CONTEÚDO DOS ARQUIVOS DE DADOS DO TCM.....	62

## Índice de ilustração

Figura 1.1 – Fenômenos que afetam o Clima Espacial, energias envolvidas, tempo de duração de seus efeitos e principais tipos de danos em sistemas tecnológicos. Fonte: Schwenn (comunicação pessoal). Extraído de Dal Lago, 2003.....	18
Figura 1.2 - Mapeamento de densidade de erros em dados (em escala logarítmica) a bordo do experimento ICARE (Novembro 2000 – Setembro 2002). Fonte: D. Falguère et al, 2000, extraído de Duzzelier, 2005 .....	20
Figura 2.1 Coroa Solar observada pelo coronógrafo LASCO, a bordo do satélite SOHO (Fonte: <a href="http://sohowww.nascom.nasa.gov">sohowww.nascom.nasa.gov</a> ).....	22
Figura 2.2 - Estrutura solar (fonte: <a href="http://sohowww.nascom.nasa.gov">sohowww.nascom.nasa.gov</a> ) .....	23
Figura 2.3 Direção das caudas dos cometas (Fonte: <a href="http://cienciahoje.uol.com.br/4304">http://cienciahoje.uol.com.br/4304</a> ).....	24
Figura 2.4-Buracos coronais estão em regiões escuras da coroa, vista por telescópios de raios-X	
(Fonte: <a href="http://solarscience.msfc.nasa.gov/feature3.shtml">http://solarscience.msfc.nasa.gov/feature3.shtml</a> )	
25	
Figura 2.5 Ilustração do Campo Magnético Interplanetário (Fonte: <a href="http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/sun/imf.sp.html&amp;edu=high">http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/sun/imf.sp.html&amp;edu=high</a> ).....	26
Figura 2.6 - Gráfico do número de manchas solares em função do tempo, ciclo de atividade solar de 1880 a 2000 aproximadamente. (Fonte: <a href="http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/zurich.gif">http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/zurich.gif</a> ).....	27
Figura 2.7- Explosão solar (“flare”), o ponto mais brilhante da imagem obtida pelo instrumento EIT, a bordo do satélite SOHO, em 195 A.....	28
Figura 2.8- Ejeção de massa coronal em 27 de fevereiro de 2000 fotografado por LASCO C2 and C3.(Fonte: <a href="http://soho.nascom.nasa.gov/gallery/images/las02.html">http://soho.nascom.nasa.gov/gallery/images/las02.html</a> ).....	28
Figura 2.9 – Geometria de uma nuvem magnética. Fonte: adaptado de Burlaga et al.. - 1990 .....	31
Figura 2.10 – Variações temporais dos parâmetros físicos do meio interplanetário , observado pelo satélite ACE em 20 de novembro de 2003, variações do índice dst e contagens relativas do telescópio cintilador de muons do observatório espacial sul(OES/CRS/CIE/INPE – MCT) .....	33
2.10 – Acoplamento entre Sol, Meio Interplanetário e magnetosfera Terrestre.....	34
Figura 2.11 – Figura esquemática dos raios cósmicos que colidem com partículas da atmosfera Terrestre (chuveiro de raios cósmicos). FONTE: Modificado de Forbush (1993). .....	37
Figura 3.1- Quatro cintiladores lado a lado formando uma área de superfície de 1m <sup>2</sup> . Os cintiladores estão colocados em caixa de metal	

com espessura de 1,6 mm que forma a base de um dos 56 detectores de telescópio. Foto tirada em 22/11/2006. ....	39
Figura 3.2 - Esquema de fotomultiplicadora com 8 dinodos, fotocátodo, ânodo envolvidos por um tubo de vácuo. ....	40
Figura 3.3 - Foto de protótipo telescópio detector de muons instalado no OES/CRS/CIE/INPE – MCT mostrando em azul os 8 detectores em duas camadas. A estrutura metálica de sustentação tem cor amarela e pode se notar a camada de chumbo entre as duas camadas. Os sistemas eletrônicos não estão mostrados. ....	41
Figura 3.4- Fotos do telescópio detector de muons expandido em dezembro de 2005. ....	42
Figura 3.5 – Fontes de alimentação e sistema de processamento de sinais do telescópio detector de muons. ....	44
Figura 3.6 – Computador utilizado para gravação dos dados. ....	45
A rede internacional de detectores de muons apresentava uma falha existente sobre o Atlântico e a Europa, e também a posterior cobertura após a expansão da rede de Telescópios com a instalação de um detector de grande porte em São Martinho da Serra.(Figura 3.7, Figura3.8). ....	45
Figura 3.7 – Falha existente antes da instalação do detector protótipo de muons no OES/CRS/CIE/INPE-MCT. ....	46
Figura 3.8 – Rede Internacional de detectores de raios cósmicos atual, com as diferenças entre o protótipo e o expandido. ....	47
Figura 4.1 – Dados analisado do telescópio expandido ....	50
Figura 4.2 – Índice Dst, tempestade magnética intensa. ....	50
Figura 4.3 – Dados analisados no período de 16 a 31 de março de 2007 ....	50
Figura 4.4 – Índice Dst no mês de março de 2007. ....	51
Figura 4.5 – Evento de tempestade geomagnética ocorrido de 5 a 12 de novembro de 2004. ....	52
Figura 1 do anexo 1 – Gráfico plotado em IDL do período 15 a 31 de março de 2007 ....	57
Figura 2 do anexo 1 – Gráfico plotado em IDL do período 10 a 22 de dezembro de 2006. ....	57
Figura 3 do anexo 1 – Gráfico plotado em IDL do período 305 a 3015 de novembro de 2004 ....	59



## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

### 1.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

A variabilidade solar está fortemente relacionada aos distúrbios espaciais nas proximidades da Terra, afetando de várias maneiras os sistemas tecnológicos terrestres, tais como sistemas de telecomunicações. Entre os fenômenos solares mais importantes estão as Ejeções de Massa Coronais (EMC), que são as principais causas das Tempestades Geomagnéticas (Gosling et al., 1990, 1991). As EMCs ejetam enormes quantidades de matéria solar no meio interplanetário onde a Terra se encontra (Hundhausen, 1997 e referências daquele texto). Está bem estabelecido que Tempestades Geomagnéticas intensas, ou seja, cujo índice geomagnético Dst decresce a valores menores que  $-100$  nT, são causadas pela chegada das CMEs na Terra, as quais possuem campos magnéticos interplanetários direcionados para o Sul Terrestre e alta velocidade de plasma (Gonzalez and Tsurutani, 1987; Tsurutani et al., 1988; Tsurutani et al., 1992; Gonzalez et al., 1999). Detectores de raios cósmicos de alta energia localizados na superfície terrestre, ou seja, detectores de partículas oriundas da interação destes raios cósmicos com a atmosfera da Terra, neste caso os muons, observam a ocorrência de blindagem dos mesmos quando da aproximação do plasma das CMEs na Terra, podendo ser utilizados para detecção da chegada das mesmas na Terra com até 8 horas de antecedência (Munakata et al., 2000). Desde 2001, está em operação um protótipo de telescópio detector de raios cósmicos de alta energia no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE - MCT, em São Martinho da Serra, RS. Este protótipo foi instalado através de uma colaboração entre Brasil e Japão, e será ampliado através de uma colaboração tri-lateral entre Brasil, Japão e Estados Unidos, para um detector maior. Tanto o protótipo em operação quanto o novo detector são parte da Rede Internacional de Detectores de Raios Cósmicos de Alta Energia, que além do telescópio de São Martinho da Serra, conta com mais dois telescópios, um em Nagoya (Japão) e outro em Hobart (Austrália).

### 1.2 CLIMA ESPACIAL

Clima Espacial é o conjunto de condições que mudam constantemente no meio interplanetário, magnetosfera da terra, ionosfera, e alta atmosfera como resposta a atividade solar. O vento solar, a radiação eletromagnética e o campo magnético interplanetário são exemplos dessas condições. (adaptado de Russell, 2004). Este autor afirma ainda que o Sol é o principal forçante do Clima Espacial.

A Figura 1.1 ilustra os três principais fenômenos que afetam o Clima Espacial, indicando as energias envolvidas, os tempos de propagação destes fenômenos desde o Sol até a Terra, a duração de seus efeitos e os tipos de danos em sistemas tecnológicos (ver detalhes no próximo item).

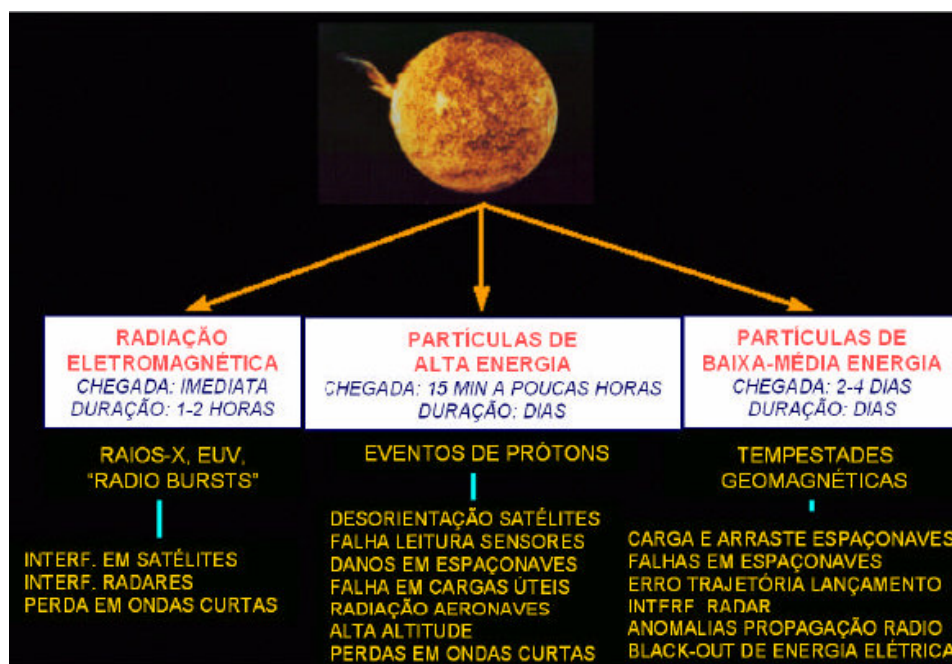


Figura 1.1 – Fenômenos que afetam o Clima Espacial, energias envolvidas, tempo de duração de seus efeitos e principais tipos de danos em sistemas tecnológicos. Fonte: Schwenn (comunicação pessoal). Extraído de Dal Lago, 2003

## 1.3 – DANOS EM SISTEMAS TECNOLÓGICOS RELACIONADOS A VARIABILIDADE SOLAR E PREVISÃO DE CLIMA ESPACIAL

### 1.3.1- DANOS EM SISTEMAS TECNOLÓGICOS RELACIONADOS A VARIABILIDADE SOLAR

A variabilidade solar está intimamente relacionada a distúrbios no geoespaço, afetando telecomunicações, causando danos em sistemas tecnológicos tanto espaciais, quanto terrestres, que envolvem grandes quantidades de recursos financeiros. Por outro lado, o cenário das relações Sol-Terra é fascinante do ponto de vista científico, e tem atraído a atenção da comunidade científica há vários séculos (extraído de Dal Lago, 2003).

### 1.3.2 – PREVISÃO DE CLIMA ESPACIAL

Como forma de tentar reduzir os danos em sistemas tecnológicos, foram desenvolvidos diversos métodos para previsão de Clima Espacial. Uma delas é usar Detectores de raios cósmicos de alta energia (muons) instalados na superfície terrestre.

Munakata *et al* (2000) observaram pela primeira vez de forma sistemática precursores de tempestades geomagnéticas usando rede de detectores (localizados na superfície terrestre) de raios cósmicos de alta energia (muons), mostrando que esta rede de detectores pode ser poderosa ferramenta para previsão de Clima Espacial

Devido a grande massa de detectores necessária para detectar raios cósmicos de alta-energia, instrumentos localizados em superfície terrestre continuam sendo o estado da arte para estudar estas partículas, visto que a massa de experimentos no espaço deve ser a menor possível. Detectores de superfície trazem a vantagem de ter fácil manutenção.

Existem algumas vantagens na utilização de muons para estudos baseados em instrumentos de superfície terrestre quando comparados com outras partículas resultantes da chegada dos raios cósmicos na atmosfera terrestre: a) grande poder de penetração e b) manutenção da direção e do sentido de chegada do raio cósmico primário que os originou, enquanto que as outras partículas, em geral, sofrem desvios.

### 1.3.3 - EFEITOS DA RADIAÇÃO EM DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS NO ESPAÇO

Componentes eletrônicos modernos são extremamente sensíveis a radiação do meio espacial. A presença de alta energia e/ou partículas ionizadas (prótons, íons pesados e elétrons) induzem diversos efeitos. Estes efeitos variam de redução de performance a interrupções funcionais que podem afetar os sistemas em operação. Satélites terão tempo de vida mais curto ou maior número de falhas (Duzellier, 2005).

A radiação espacial constitui-se de um sistema não-homogêneo e dinâmico altamente influenciado pela atividade solar. É caracterizada por várias faixas de energia e fluxos onidirecionais. Estruturas como escudos podem ser usadas para reduzir a dose de radiação mas não são eficazes para radiações de alta energia. (Duzellier, 2005).

A Figura 1.2 apresenta uma cartografia de anomalias (perda de dados) observadas em memórias na órbita SAC-C (707 km x 98,2°).

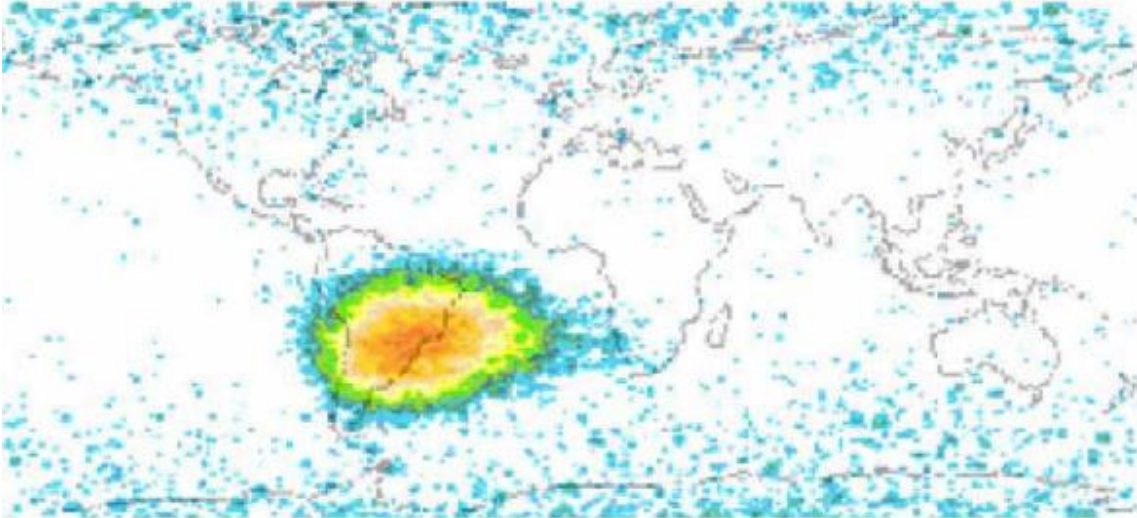


Figura 1.2 - Mapeamento de densidade de erros em dados (em escala logarítmica) a bordo do experimento ICARE (Novembro 2000 – Setembro 2002). Fonte: D. Falguère et al, 2000, extraído de Duzzelier, 2005

## CAPÍTULO 2 – DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

### 2.1 O SOL, SUAS ESTRUTURAS, SUA INFLUENCIA NO MEIO INTERPLANETARIO E SEUS EFEITOS GEOMAGNETICAS.

O Sol é o grande astro do nosso sistema solar, a história nos conta que os antigos tinham a idéia de que o Sol era um deus, em outras culturas porém era digno de perfeição pela sua esfericidade, brilho e por proporcionar o dia e a manutenção da vida na Terra. Mas as observações de Galileu Galilei (1564-1642) mostraram que o Sol não era perfeito visto de sua luneta, pois apresentava manchas negras. Ao longo de observações mostrou também que o Sol não era único, mas sim uma estrela ordinária dentro de uma galáxia que apresenta milhões de estrelas. Ao longo do tempo, foi constatada uma periodicidade nas manchas negras que havia no Sol, e hoje se sabe que essas manchas seguem um ciclo de 11 anos, durante os quais passa por períodos de máximos e mínimos.

Com avanço na tecnologia, ficou claro que ocorrem processos no sol, envolvendo estruturas que comprometem todo meio interplanetário, e conseqüentemente a Terra.

#### 2.2-O SOL

O interior solar é dividido em grandes regiões, são elas: Núcleo, Zona Radioativa e Zona Convectiva. **O núcleo** estende-se até 0,25 raios solares, de onde a energia do Sol é proveniente por reações de fusão nuclear, com temperatura T em torno de  $1,5 \times 10^7$  K. **Zona Radioativa** estende-se de 0,25 ate 0,75 raios solares, nesta camada é onde a energia gerada no núcleo é dissipada pelo processo de difusão radioativa e temperatura T em torno de  $8 \times 10^6$  K. **Zona Convectiva**, 0,75 ate 1 raio solar, com temperatura T de  $5 \times 10^5$  a 6600 K onde a energia é dissipada por correntes de convecção.

Alem de sua estrutura interna, o Sol é constituído por uma atmosfera dividida em: Fotosfera, Cromosfera e Coroa. **Fotosfera**, com 500 km de espessura é de onde vem a maior parte da luz visível e vista a olho nu. Sendo uma camada atmosférica, é formada por gás opaco que nos impede de ver o interior solar, sua densidade é cerca de  $10^{13}$  a  $10^{15}$  partículas por centímetro cúbico, é aqui que Manchas Solares podem ser observadas.

**Cromosfera** estende-se cerca de 10.000 km acima da Fotosfera e possui uma temperatura que varia de 4300 a  $10^6$  K que aumenta do interior para exterior. Apresenta densidade de  $10^{-11} \text{ m}^{-3}$  e pode ser observado com um filtro solar conhecido como H-alfa. Num eclipse solar esta camada revela uma coloração alaranjada e essa camada brilhante e colorida é de onde partem raios luminosos revelando a presença de Cálcio, Helio e Hidrogênio como constituintes.

A **Coroa** (Figura 2.1) estende-se por milhões de quilômetros e pode ser vista em um eclipse solar. Devido a sua alta temperatura emite grande quantidade de raios-x sendo constituída por gás ionizado chamado de plasma. A propósito, todo Sol está num estado

físico chamado plasma e por não ser sólido tem uma rotação diferencial com velocidade alta em baixas latitudes e velocidade mais baixa em altas latitudes. Com a



Figura 2.1 Coroa Solar observada pelo coronógrafo LASCO, a bordo do satélite SOHO  
(Fonte: [sohowww.nascom.nasa.gov](http://sohowww.nascom.nasa.gov))

evaporação constante do material constituinte da coroa forma-se o vento solar que arrasta o campo magnético do Sol a grandes distâncias, o Vento Solar está constantemente atingindo a Terra e o todo que no meio interplanetário se encontra.

Predominantemente constituído por hidrogênio e hélio, o Sol apresenta pequena quantidade de elementos mais pesados como argônio, carbono, ferro, níquel e oxigênio. A Figura 2.2 esquematiza a estrutura Solar e as características podem ser vista na Tabela 2.1

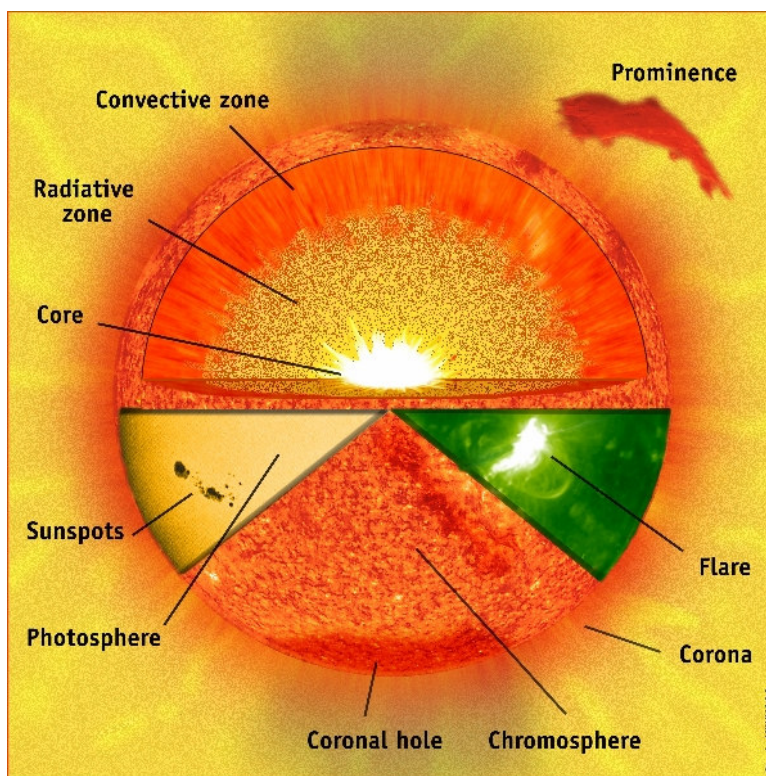


Figura2. 2 - Estrutura Solar (fonte: sohowww.nascom.nasa.gov)

Tabela 1- Características do Físicas do Sol

Massa	$1,989 \times 10^{30}$ kG
Raio equatorial	695.000 km
Raio médio	109,2 Raios Terrestres
Densidade média	$1,41 \text{ g/cm}^3$
Densidade central	$162 \text{ g/cm}^3$
Período de rotação equatorial	609 horas( ~ 25 dias)
Velocidade de escape	618,02 milhões de km
Distancia média a terra	149,6 milhões de km
Luminosidade	$3,83 \times 10^{33}$ ergs/s
Temperatura média na superfície	$5.500^\circ\text{C}$

### 2.3 - O VENTO SOLAR

Vento solar é o gás ionizado que se origina da diferença de pressão dos constituintes da Coroa Solar que continuamente acelera o fluxo de partículas para fora do Sol

(E.N.Parker). Constituídos por prótons e elétrons que fluem passando constantemente a Terra com uma velocidade média de 400 a 500 km/s, com densidade média de prótons e elétrons de 5 partículas por centímetro cúbico.

O fato observacional de que a cauda ionizada dos cometas tem uma direção aproximadamente radial ao Sol independente da direção de seu movimento(Figura 2.3 ) fez Ludwig Birmann propor em seus trabalhos publicados entre 1951 e 1957 a existência do vento Solar. Além disso, o vento Solar foi sugerido por outros cientistas que notaram depois de grandes explosões Solares( “*flares*” ) mudança no campo geomagnético da Terra (Burlaga, 1995).

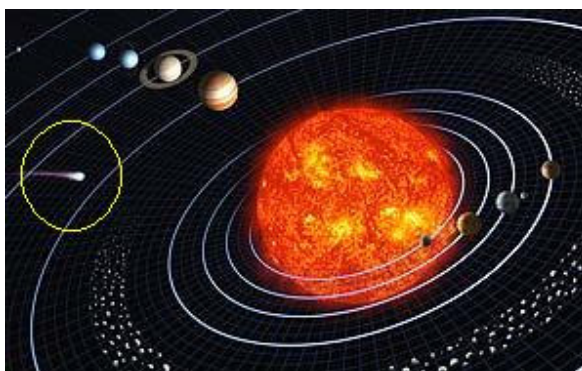


Figura 2.3 Direção das caudas dos cometas (Fonte: <http://cienciahoje.uol.com.br/4304>)

O vento solar não é emitido uniformemente devido ao campo magnético do Sol estar altamente estruturado em algumas regiões e em outras não. O gás fica aprisionado nas regiões de campo magnético forte que emite grande quantidade de raios x , associada à formação de laços, formando um fluxo coronal que se expande para o espaço. Dependendo da intensidade de campo estas linhas podem se desprender caracterizando o Vento Solar lento. Onde não há formação de laços indica um campo magnético não aprisionado, há um **Buraco Coronal** por onde o gás foge junto ao campo magnético que constitui o Vento Solar Rápido.



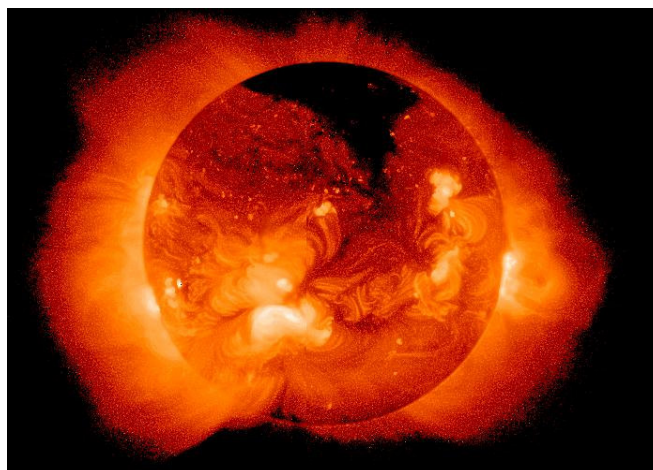


Figura 2.4-Buracos coronais estão em regiões escuras da coroa, vista por telescópios de raios-X (Fonte: <http://solarscience.msfc.nasa.gov/feature3.shtml>)

No início os cientistas acharam que as explosões solares, os “*flares*”, eram responsáveis pela mudança intensa na magnetosfera terrestre, mas após o início da década de 1970 as observações mostraram que além de explosões ocorria ejeção de grande quantidade de massa coronal (EMC) e que o Campo Magnético Interplanetário arrasta esta estrutura a grandes distancias. Em certos casos o campo que acompanha a ejeção se conecta com o campo magnético da Terra (Tempestade Magnética) causando o efeito da aurora boreal, perdas de dados nos satélites, *black-out*, e grandes conseqüências que comprometem a manutenção da tecnologia.

Com o objetivo de evitar desastres, foram propostos vários métodos de poder prever estas estruturas que causam Tempestades Magnéticas, sendo então o objetivo do Clima espacial, identificar estruturas e maneiras de prever tais tempestades.

## **2.4 – CAMPO MAGNETICO INTERPLANETÁRIO (CMI)**

O Sol possui um campo magnético, cuja intensidade é  $10^{-4}$ T na superfície da Fotosfera. Este campo é aproximadamente dipolar (Pneuman e Kopp, 1970), porém devido ao fato do Vento Solar ser altamente condutor, ele é transportado para grandes distancias, junto ao vento (congelado), constituindo o chamado campo magnético interplanetário, nas vizinhanças da Terra sua intensidade é 5 n T.

O eixo do dipolo magnético é próximo ao eixo de rotação do Sol, e pode-se imaginar um plano de simetria cortando o seu equador. As linhas de Campo Magnético Interplanetário são aproximadamente radiais próximo ao Sol (de 1,5 a 2,5 raios solares), entrando no Sol acima do plano de simetria e saindo abaixo, dependendo da fase do ciclo solar de 22 anos. No meio interplanetário a transição entre o campo de entrada e saída constitui uma estrita região onde se forma uma lamina de corrente, chamada de Lamina de Corrente Heliosférica (LCH, Schultz 1973). Esta lamina divide um hemisfério com

polaridade negativa do outro com polaridade positiva. A Figura 2.5 ilustra o Campo Magnético Interplanetário.

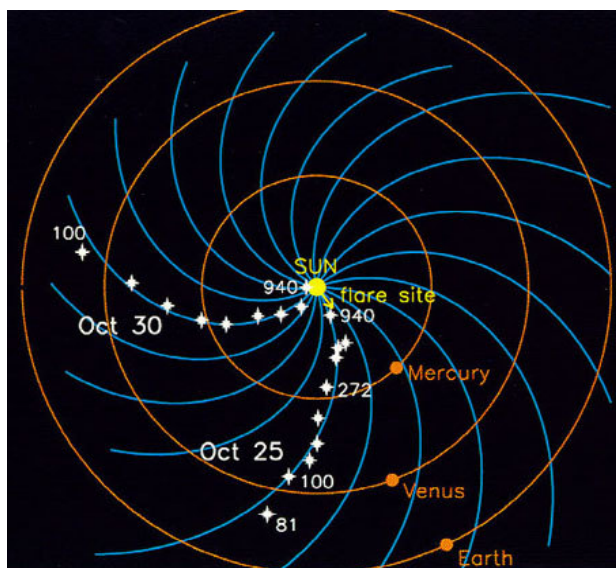


Figura 2.5 Ilustração do Campo Magnético Interplanetário (Fonte: <http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/sun/imf.sp.html&edu=high>)

Devido a rotação do Sol, o campo magnético interplanetário tem, em larga escala, o aspecto de uma espiral de Arquimedes, sendo quase radial próximo ao Sol e praticamente perpendicular à direção radial além de 5-10 UA. Na circunvinhança da Terra, 1 UA, o CMI tem inclinação de aproximadamente 45°.

## ***2.5 – CICLO SOLAR DE 11 ANOS, EXPLOSÕES SOLARES E EJEÇÕES DE CORONAIS DE MASSA***

### **2.5.1-CICLO SOLAR DE 11 ANOS**

A atividade solar varia com um período de 11 anos, então as estruturas do meio interplanetário e Campo Magnético Interplanetário variam segundo o mesmo período. O Sol leva 11 anos para retornar a sua polaridade em que iniciou, e esta relacionada com o número de manchas Solares em sua superfície. Elas iniciam em médias latitudes dando início a fase ascendente até o máximo Solar quando elas desaparecem em seu equador caracterizado pela fase descendente até o mínimo solar.

As manchas solares aparecem em períodos de máximo solar, pólos magnéticos norte e sul com linhas de fluxo magnético que se projetam pela cromosfera até a Coroa Solar como se fossem ímãs gigantes. Devido à ação destes campos, originam-se regiões ativas

que se observam os fenômenos conhecidos como explosões solares (Flares), estas explosões ocorrem com maior frequência nos períodos de máxima atividade solar.

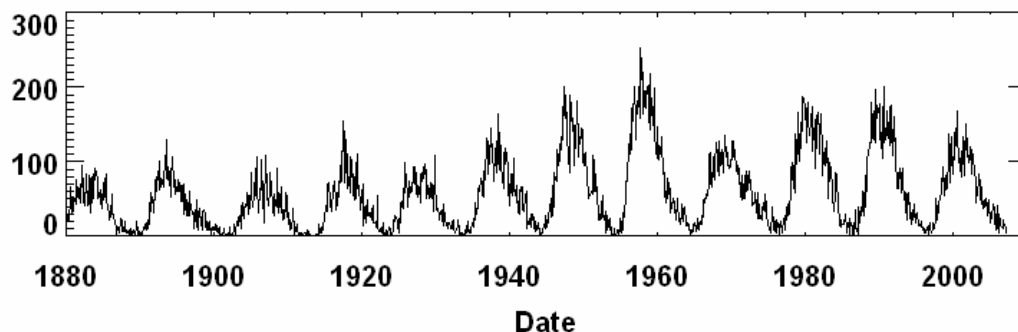


Figura 2.6 - Gráfico do número de manchas solares em função do tempo, ciclo de atividade solar de 1880 a 2000 aproximadamente. (Fonte: <http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/zurich.gif>)

## 2.5.2 EXPLOSÕES SOLARES “FLARES” E EJEÇÕES CORONAIIS DE MASSA

As Explosões Solares são fenômenos caracterizados pela emissão de grande quantidade de energia ( $10^{26}$  a  $10^{32}$  ergs) em intervalos de tempo relativamente curtos, variando de alguns segundos até poucas horas, para os fenômenos mais intensos.

Carrington, em 1859, observou um intenso e breve aumento de luminosidade nas vizinhanças de uma mancha solar denominando-o de “explosão solar” (*flare*). Aproximadamente um dia após este evento houve uma intensa tempestade magnética, levando Carrington a concluir que as explosões solares são as causadoras dos distúrbios geomagnéticos não-decorrentes (Gosling, 1993). A partir daí este fenômeno ganhou destaque no estudo da física solar.

Mas foi só em 14 de dezembro de 1971 que a primeira Ejeção de Massa coronal EMC foi observada, pela *Orbiting Solar Observatory*, OSO-7 (Howard et al., 1997). O termo “Ejeções de massa coronais” foi primeiramente usada por Gosling et al. (1975). Estudos mostraram que as EMCs muitas vezes estavam associadas a explosões solares e proeminências, à primeira idéia era de que as EMCs eram causadas pelas Explosões Solares (Dryer, 1982; Dryer e Wu, 1985). Uma EMC também libera uma energia de  $10^{31-32}$  ergs (Illing e Hundhausen, 1986) sendo juntamente com as explosões os dois fenômenos mais energéticos da coroa solar. Existe a diferença dos dois fenômenos, as explosões liberam energia em forma de aquecimento, são eventos locais de baixa escala, aquecendo o material a sua volta em poucos minutos. As EMC liberam energia em forma de trabalho (Low, 1996), em comparação com explosões solares são fenômenos de grande

escala, são grandes bolhas de gás magnetizado que podem levar diversas horas para serem expelidas no espaço.

Assim nem todas as EMCs estavam associadas a explosões e que quando estavam geralmente ocorriam antes da explosão(Gosling, 1993; Gosling 1997). Os intensos distúrbios geomagnéticos também associados às EMCs ( Gosling, 1993) e não às explosões, colocando as EMCs em uma posição de destaque na estudo da física solar-terrestre. A discussão entre as relações entre EMCs e explosões culminou com a publicação do artigo *The solar flare myth* ( o mito do “Flare” solar).

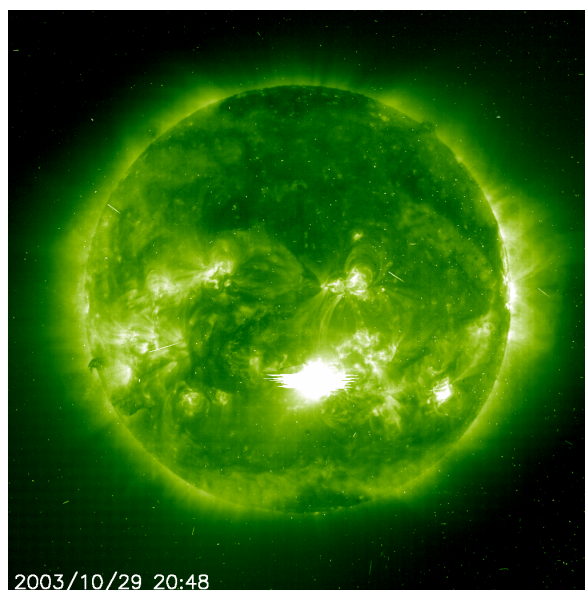


Figura 2.7- Explosão solar (“flare”), o ponto mais brilhante da imagem obtida pelo instrumento EIT, a bordo do satélite SOHO, em 195 Å.

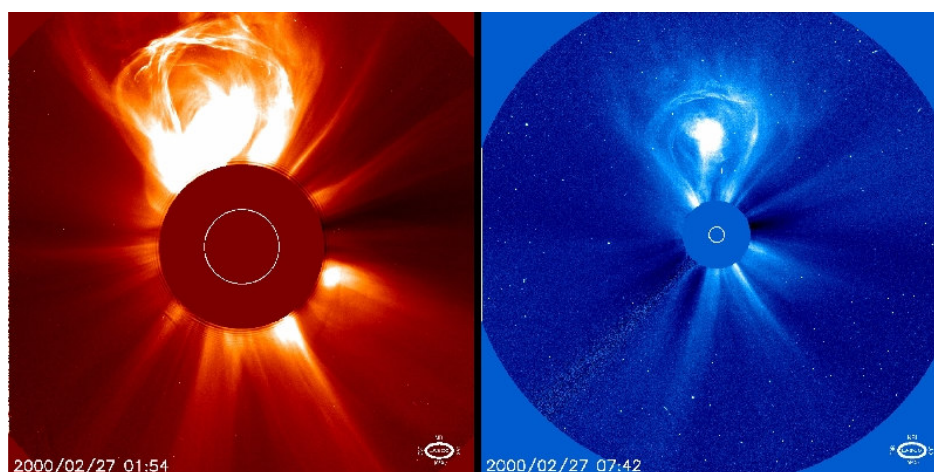


Figura 2.8- Ejeção de massa coronal em 27 de fevereiro de 2000 fotografada por LASCO C2 and C3. (Fonte: <http://soho.nascom.nasa.gov/gallery/images/las02.html>)

EMCs estão diretamente relacionadas com o ciclo solar, elas têm frequência de cerca de 1 evento por semana no mínimo e enquanto podem ocorrer 2 a 3 eventos por dia nos períodos de máximo solar. A grande quantidade de material que permeia as linhas de campo magnético do Sol é ejetada para o meio interplanetário daí classificadas como Ejeções de Massa Coronal interplanetária (EMCI), a interação da ejeção com a magnetosfera ocorre distúrbios geomagnéticos devido a velocidade das partículas ejetadas do Sol terem várias centenas de km/s as EMCI estão acompanhadas de ondas de choque.

As Ejeções de Massa Coronal podem quebrar o fluxo do Vento Solar e produzir alterações que atingem a Terra e as vezes com resultados nocivos e perigosos às atividades humanas. Estes eventos afetam diretamente o Clima Espacial.

## ***2.6 – RELAÇÕES ENTRE EJEÇÕES CORONAIAS DE MASSA E ESTRUTURA INTERPLANETÁRIA***

### **2.6.1 – ASSINATURA DAS EJEÇÕES DE MASSA CORONAL NO VENTO SOLAR**

A identificação no Vento Solar do Meio Interplanetário do material ejetado em um EMC, é ainda um desafio a ser vencido. Não há uma característica única exibida por todas as nuvens de Plasma resultantes de EMC Solares. Segundo Neugebauer e Goldstein (1997), variam características e podem aparecer juntas ou isoladas, são elas:

- a- Temperatura cinética de íons ou elétrons baixa para uma dada velocidade do Vento Solar. Esta característica baseia-se na expansão da estrutura;
- b- Anisotropia não usual da distribuição de prótons com temperatura paralela superior a temperatura perpendicular ao Campo Magnético Interplanetário, causado pela conservação do momento magnético dos íons à medida que o Plasma se expande;
- c- Abundância de Hélio não usual.
- d- Abundância de outras espécies iônicas;
- e- Feixes bidirecionais de elétrons supratérmicos e íons energéticos. Caracteriza uma configuração de Campo Magnético Interplanetário, é possível que seja o campo magnético interno de uma injeção, fechado e com extremidades presas no Sol;
- f- suave e intenso Campo Magnético, interfere nos valores de parâmetro  $\beta$  de Plasma, que quando combinado com baixas temperaturas levam o parâmetro  $\beta$  a baixos valores. Este parâmetro é geralmente menor que 0,1;
- g- Presença de rotação do Campo Magnético, algumas destas configurações são chamadas de Nuvens Magnéticas quando possuem: aumento de seu campo magnético por um fator maior que 2; suave rotação por um amplo intervalo de ângulo; e baixa temperatura iônica;
- h- Decréscimo do fluxo de Raios Cósmicos;

Cerca de 1/3 das estruturas identificadas no meio Interplanetário são Nuvens Magnéticas – Gosling, 1990. Estruturas que apresentam as características necessárias para uma tempestade geomagnética são estruturas “geofetivas”.

### **2.6.2 - RELAÇÃO ENTRE EMC RÁPIDAS E ONDAS DE CHOQUE NO VENTO SOLAR**

As EMCs rápidas geralmente estão associadas a ondas de choque no Vento Solar. Acredita-se que toda a onda de choque transiente no Vento solar em 1 UA seja causada por EMC Gosling, (1999). Os Feixes de Alta Velocidade originados em Buracos Coronais podem ser os formadores das ondas transientes (Hewish e Bravo, 1986).

### **2.6.3 – NUVENS MAGNÉTICAS**

Segundo Klein e Burlaga – 1982, uma Nuvem Magnética é definida sendo uma estrutura com extensão radial de aproximadamente 0,25 UA - em 1 UA -, Campo Magnético mais intenso do que o Vento Solar normal, tipicamente  $B > 10nT$ . Suave rotação da direção do campo magnético em um grande ângulo, próximo a  $180^\circ$ , baixa temperatura e baixo valor do parâmetro beta,  $B \sim 0,1$ . As Nuvens magnéticas são ideais para estudos das interações Sol-Terra, devido a sua simplicidade e extensos intervalos de campo magnético na direção sul e norte ou vice-versa (Burlaga et al., 1997).

Medidas dos parâmetros de Plasma – velocidade do Vento Solar, temperatura e densidade de prótons- e Campo Magnético – componentes B, Bx, By, Bz – possibilitam identificação de Nuvens Magnéticas. Tais medidas são feitas diariamente por vários satélites presentes no Meio Interplanetário.

As Nuvens Magnéticas são originadas nas Ejeções Coronais de Massa Solares - EMCS- A relação entre uma EMCS, observada pelo satélite SOHO em 6 de janeiro de 1997, e a chegada de uma Nuvem Magnética na Terra, quatro dias depois, observada pelo satélite WIND, foi descrita por Fox et al. (1998). A região da cavidade interna da EMCS foi identificada como possível origem desta Nuvem Magnética por Gopalswamy et al. (1998).

Uma Nuvem Magnética observada por vários satélites possibilitou o estabelecimento de sua geometria, ilustrada no diagrama da Figura 2.9, adaptado de Burlaga et al. (1990). Nela estão indicados os satélites que observaram o evento ocorrido em 5 de Janeiro de 1978: IMP-8, Hélios A e Voyager 2. Os “x” representam a fronteira dianteira da Nuvem Magnética vista por cada um dos satélites, e os círculos, a fronteira traseira. As setas indicam a direção do campo magnético observado por cada um dos satélites. Esta situação é bastante rara, pois normalmente não é possível observar Nuvens Magnéticas com mais de um satélite simultaneamente.

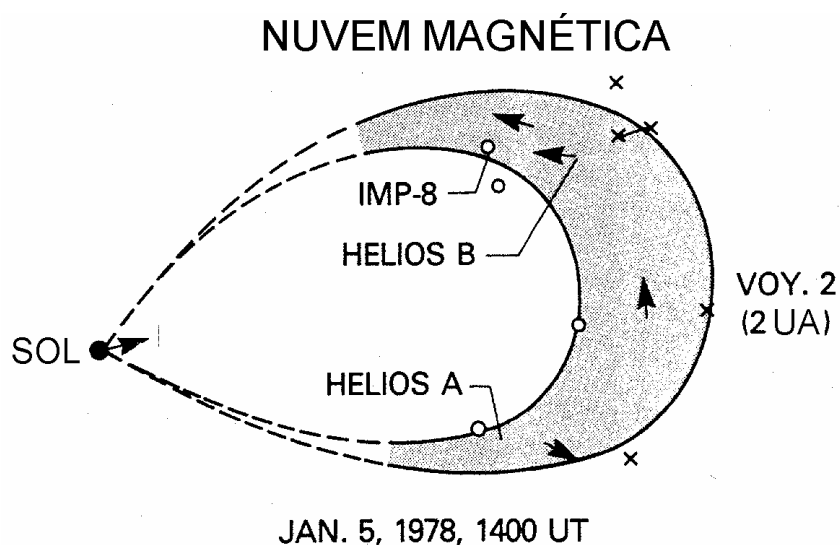


Figura 2.9 – Geometria de uma nuvem magnética. Fonte: adaptado de Burlaga et al.. - 1990

## 2.7 – ÍNDICE DST

O índice Dst é uma medida quantitativa da ocorrência de tempestades geomagnéticas. É calculado a partir de dados de magnetômetros de superfície em observatórios próximos ao Equador.

Em latitudes baixas as perturbações da componente horizontal do campo geomagnético, H, são dominadas pela intensidade da corrente de anel magnetosférica, que é um sistema de correntes que circula a Terra no plano equatorial e é gerada pela deriva longitudinal de partículas energéticas (de 10 a 200 keV) carregadas, aprisionadas no campo magnético terrestre a uma distância entre 2 e 7 raios terrestres. Durante uma Tempestade Magnética, o fluxo de partículas da corrente de anel é dramaticamente aumentado. Este aumento tem sido atribuído a dois diferentes processos:

(1) a injeção de plasma para dentro da magnetosfera interna durante a fase de expansão de uma subtempestade magnetosférica; e

(2) aumento do transporte convectivo de partículas vindas da lâmina de plasma do lado noturno para dentro da magnetosfera interna, como um resultado de uma intensificação do campo elétrico de convecção amanhecer-entardecer da Terra durante longos períodos de intenso Campo Magnético Interplanetário na direção Sul (reconexão magnética).

O Índice Dst uma média, de hora em hora, da medida direta das perturbações causadas na magnetosfera. Tomando a superposição dos dados de todas as estações, a diferença entre os maiores e menores valores corresponde ao índice DS, que mede a assimetria da corrente de anel. As variações negativas muito grandes indicam um aumento

da intensidade da corrente de anel, pois a corrente gera um campo magnético oposto ao campo geomagnético, diminuindo seu valor original. Essas perturbações duram em torno de uma hora, e caracterizam a fase principal de uma Tempestade Geomagnética. A faixa de observação do índice Dst é de 100 nT até -600 nT. Condições não perturbadas são representadas por um índice Dst de 0, mas isto não é o que realmente ocorre, pois a corrente de anel não desaparece, ela existe sempre, mas com uma intensidade muito menor que durante uma Tempestade Magnética. Neste trabalho foi utilizado índice Dst oriundo do *World Data Center for Geomagnetism* (Kyoto, Japão) disponível no site <http://swdcdb.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/>.

A Tabela 2 abaixo mostra a classificação das Tempestades Geomagnéticas de acordo com a intensidade.

INTENSIDADE DA TEMPESTADE	DEFINIÇÃO
Atividade normal	Dst > -30 nT
Fracas	-50nT < Dst ≤ -30nT
Moderadas	-100nT ≤ Dst ≤ -50nT
Intensas	Dst < -100nT

## 2.8 – TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS

Tempestades Geomagnéticas são eventos de grande perturbação no campo magnético Terrestre, onde a Terra fica vulnerável a precipitação de partículas energéticas de o Vento Solar e a raios cósmicos, tendo recebido esta denominação desde a metade do século XIX (Gonzalez et. al, 1994). A característica principal de uma Tempestade Geomagnética é o decréscimo acentuado da componente horizontal, H, do Campo Magnético e a posterior fase de recuperação (Kamide et., 1998). O decréscimo atribui-se a um aumento da população de partículas aprisionadas na magnetosfera. Derivas devido ao gradiente do campo magnético e a sua curvatura produzem a chamada “Corrente de Anel”.

A Corrente de Anel é gerada pelo movimento de partículas eletricamente carregadas, íons de Leste para oeste e os elétrons de oeste para leste, em torno da Terra devido a distribuição de partículas injetadas e aprisionadas na magnetosfera interna. A perturbação do Campo Magnético gerado por essa corrente reflete a condição do campo magnético interplanetário (CMI) que controla o suprimento de energia para o interior da magnetosfera (Akasofu e Chapman, 1972; Burton et al., 1975; Lyons e Willians, 1984; Nishida, 1978).

Para medir a intensidade da Corrente de Anel é utilizado o chamado índice Dst. O índice Dst é baseado nas medidas horárias as componente horizontal, H, do Campo Geomagnético obtido em observatórios de latitudes médias e baixa, em outras palavras o índice Dst mede o quanto da intensidade do campo geomagnético decaiu.

Uma tempestade Geomagnética caracteriza-se por três fases:

1. Um início súbito - *Sudden commencement* – e/ou fase inicial, está associada ao aumento da pressão dinâmica – incidência de partículas – do Vento Solar, que comprime a magnetosfera, indicando um aumento brusco no campo magnético;



2. Uma fase principal – *main phase* – é caracterizada por uma redução da intensidade do campo na Superfície Terrestre, essa redução está associada a intensificação da Corrente de Anel e conseqüentemente um alto decréscimo no índice Dst;
3. Uma fase de recuperação – *recovery phase* – caracteriza-se pela diminuição e eliminação gradual da pressão, passando a predominar os processos de perda da Corrente de Anel.

A Figura 2.10 mostra as fases do índice Dst junto com o decréscimo de contagem de muons captado pelo telescópio multidirecional de raios cósmicos.

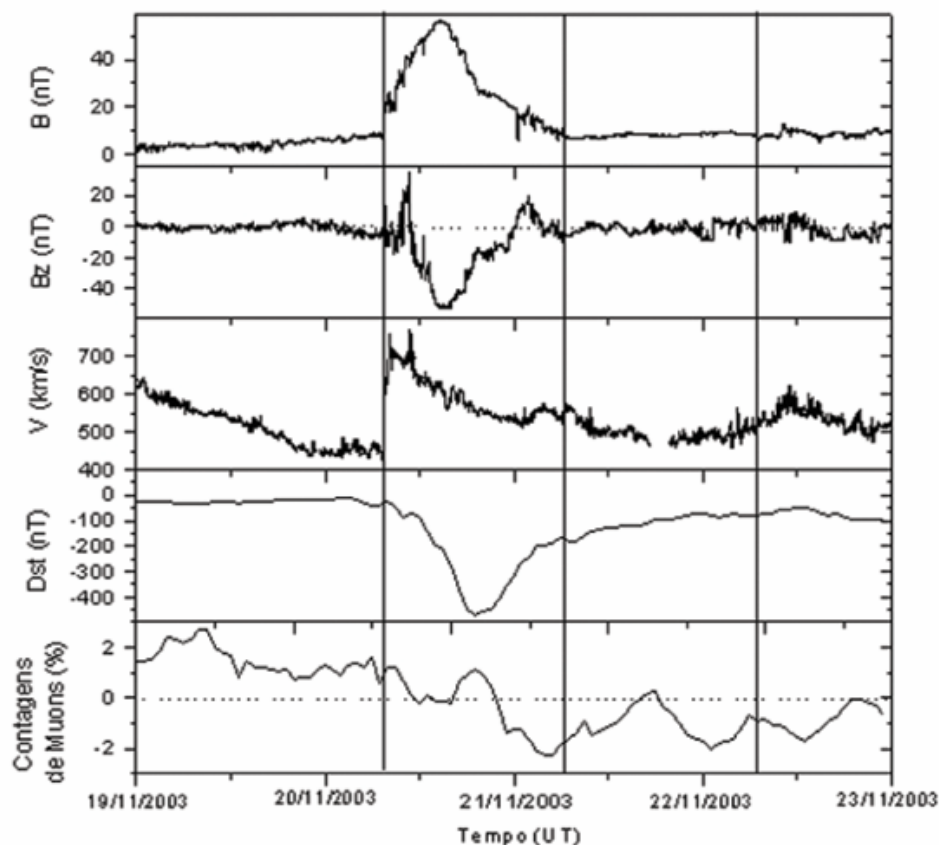


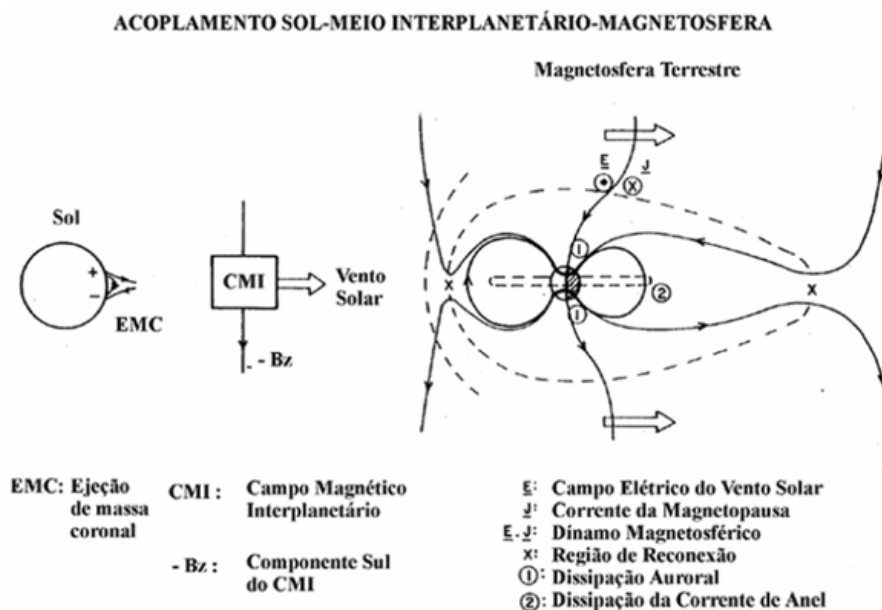
Figura 2.10 – Variações temporais dos parâmetros físicos do meio interplanetário, observado pelo satélite ACE em 20 de novembro de 2003, variações do índice dst e contagens relativas do telescópio cintilador de muons do observatório espacial sul(OES/CRS/CIE/INPE – MCT)

## 2.9 – ORIGEM INTERPLANETARIA DE TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS

A Magnetosfera Terrestre é uma cavidade preenchida com um Plasma quente e rarefeita interagindo com um fluxo rápido de Plasma de o Vento Solar. Devido ao campo Magnético da Terra intenso, o Vento Solar não pode penetrar diretamente na Magnetosfera e é desviada a sua volta.

Acredita-se que o mecanismo responsável pela transferência de energia do Vento Solar para a Magnetosfera seja a reconexão entre o campo magnético interplanetário e o Campo Magnético Terrestre (Tsurutani e Gonzalez, 1997) (Figura 2.10). Para que aconteça este fenômeno é necessária que a componente do CMI esteja na direção antiparalela a do Campo Magnético Terrestre. O critério necessário para que ocorra uma Tempestade Geomagnética intensa,  $Dst < -100$  nT, é o de haver um campo elétrico interplanetário,  $\vec{E} = \vec{V} \times \vec{B}_s$ , na direção do anoitecer, maior que 5mV/m, por um período maior que 3 horas. Este critério foi empiricamente definido por Gonzalez e Tsurutani (1987) com dados de plasma e campos obtidos do satélite ISEE-3, e implica um Campo magnético  $B_s$  maior que 12,5 nT para uma velocidade do Vento Solar de aproximadamente 400km/s.

O processo de acoplamento já proposto por Dungey (1961), e supõe uma interconexão entre Campos Interplanetários e Campos Magnetosféricos no lado diurno seguida de uma intensa reconexão de campos no lado noturno, com a concomitante injeção de Plasma, proveniente da região do “*plasmashet*”. Um bom entendimento das estruturas interplanetárias que causam Tempestades Geomagnéticas durante o máximo solar e próximo as mínimas condições do ciclo devem conduzir a uma melhor definição de procedimentos de previsão as quais tem sido considerado como uma ferramenta fundamental para as pesquisas do Clima Espacial.



## 2.10 – Acoplamento entre Sol, Meio Interplanetário e magnetosfera Terrestre

## 2.10 – RAIOS CÓSMICOS

Os raios cósmicos foram descobertos em 1895 por Wilhelm Konrad Roentgen. Ao contrário do que o nome pode sugerir, não são raios, mas sim partículas. São originados do espaço, produzidos por diferentes fontes, tais como o Sol, supernovas, estrelas de nêutrons, buracos negros e radio galáxias. Em geral consistem em átomos ionizados.

Muitos raios cósmicos viajam a velocidades próximas a da luz. Os mais energéticos já observados possuem energia de aproximadamente 150 Joules, equivalente a energia cinética de uma bola de *baseball*. A densidade numérica de raios cósmicos integradas sobre a energia é da ordem de  $10^{-10} \text{ cm}^{-3}$  nas vizinhanças da Terra. A densidade total de energia para raios cósmicos é  $\sim 1 \text{ eV cm}^{-3}$  (Mursula, 2003).

A atmosfera terrestre e o campo geomagnético protegem nos contra exposição excessiva a estas partículas. Assim que raios cósmicos entram na atmosfera, estes colidem com partículas como nitrogênio ou oxigênio, gerando uma série de partículas secundárias, como por exemplo os muons.

O estudo dos raios cósmicos constitui oportunidade singular em áreas como física nuclear e de partículas, já que possuem faixas de energia inatingíveis até o presente em laboratório. Outras contribuições do seu estudo estão na astrofísica (teoria de novas, supernovas e teoria magnetohidrodinâmica) e, mais recentemente, na área de clima espacial, para previsão de tempestades geomagnéticas.

Costuma-se separar os raios cósmicos em três categorias: a) raios cósmicos galácticos (GCR, da sigla em inglês *galactic cosmic rays*), b) raios cósmicos solares (SCR, da sigla em inglês, *solar cosmic rays*) e c) raios cósmicos anômalos (ACR, da sigla em inglês *anomalous cosmic rays*).

Quando partículas de raios cósmicos atingem o topo da atmosfera, estes passam por reações nucleares que fazem com que um conjunto de partículas secundárias seja formado. Como estas partículas primárias possuem energias relativísticas, a maioria das partículas secundárias propaga-se aproximadamente na mesma direção em que a partícula primária se deslocava antes da colisão.

Os muons são um subconjunto do produto dos raios cósmicos primários. Os muons são partículas subatômicas que possuem a mesma carga do elétron, porém tem massa 207 vezes maior. Têm grande poder de penetração e mantêm a direção e o sentido do raio cósmico primário que os originou.

## 2.11– MUONS

A interação de raios cósmicos que atingem o alto da atmosfera terrestre produz grandes quantidades de partículas elementares conhecidas como pions ou mésons-pi. Esses pions são partículas instáveis que se desintegram em frações de segundos após terem sido produzidas, criando partículas secundárias chamadas muons e seus neutrinos, conhecidos

como neutrinos de muon. Os muons, por sua vez, também são partículas instáveis que se desintegram formando um terceiro conjunto de partículas elementares: os elétrons, os neutrinos do elétron e mais um neutrino do muon. Os neutrinos produzidos nessa sequência de decaimentos são chamados neutrinos atmosféricos. Observando-se sequência de decaimento descrita acima se espera que para cada dois neutrinos do muon, somente um neutrino do elétron seja observado. Quando raios cósmicos de alta energia chegam na alta Atmosfera Terrestre, criam partículas elementares instáveis, cujo rastros, são emulsões fotográficas, são muito curtos, curvilíneos que o rastro de um próton e menos que o de um elétron. Em outras palavras, estas partículas teriam uma massa intermediária entre a massa do próton e do elétron. Logo se detectaram outros rastros semelhantes, e as partículas descobertas receberam o nome de "mésons".

Do decaimento radioativo destes mésons, origina-se outra partícula, que também possui uma massa intermediária, e se move a velocidades da ordem dos 99% da velocidade da luz. Esta partícula recebeu o nome de "muon", apresentando suas variedades: positiva e negativa. O muon negativo possui 206,77 vezes a massa do elétron, é idêntico a esta partícula em todos os aspectos, exceto pela massa.

As partículas eletricamente carregadas, como é o caso dos muons, perdem frações de sua energia devido à interação com as partículas constituintes da matéria, principalmente elétrons. Como os muons possuem energia muito alta (pois viajam com uma velocidade  $v = 0.99c$ ) eles interagem muito pouco com a matéria, apenas por ionização. Por causa disto eles podem alcançar grandes distâncias e conseqüentemente atingem a superfície da Terra.

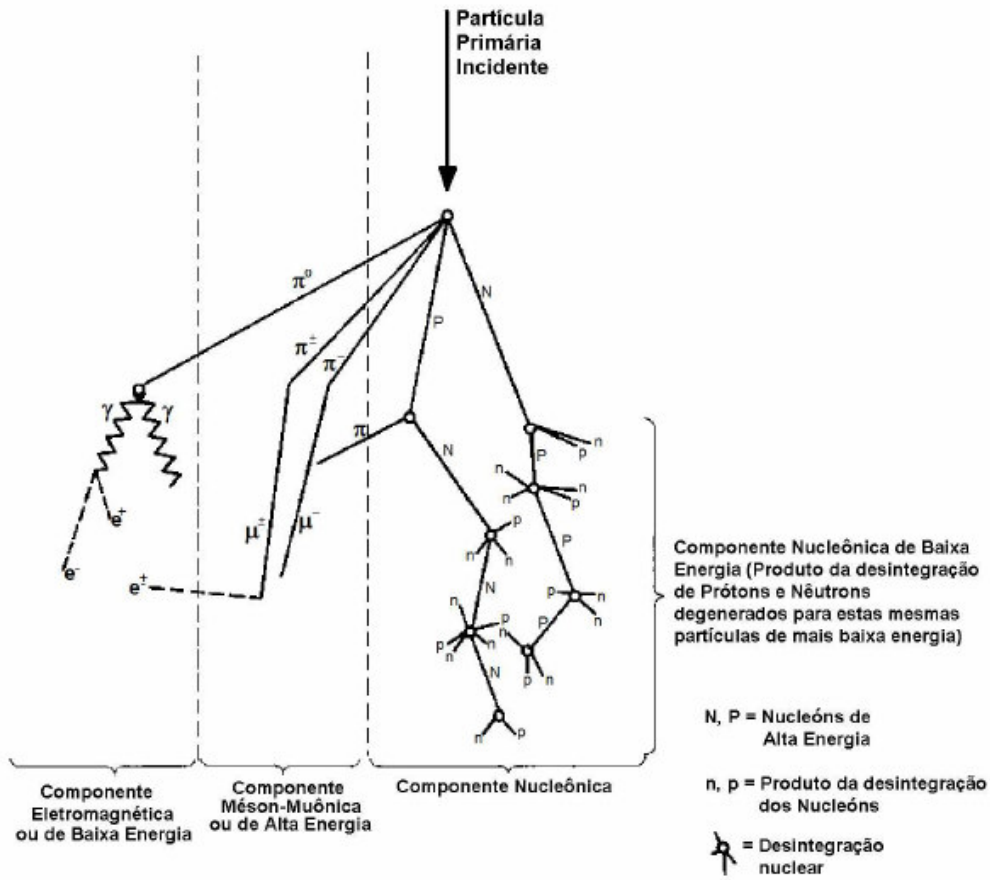


Figura 2.11 – Figura esquemática dos raios cósmicos que colidem com partículas da atmosfera Terrestre (chuveiro de raios cósmicos). FONTE: Modificado de Forbush (1993).

## CAPITULO 3 – DETECTOR DE RAIOS CÓSMICOS DE ALTA ENERGIA – MUONS

### 3.1– EXPANSÃO DO TELESCÓPIO DETECTOR DE MUONS E SUAS DIFERENÇAS

Como vimos no capítulo anterior, o Sol ejeta grandes quantidades de material ionizado (Plasma) que é arrastado com o Campo Magnético Interplanetário (CMI) pelo Vento Solar, assim as estruturas geoféticas devem ser previstas com antecedência devido as suas conseqüências na Terra. Para isso dispomos do satélite, não o único, ACE localizado no ponto lagrangeano L1 que coleta dados do Vento Solar, como: velocidade de partículas, temperatura, número de partículas / cm<sup>3</sup>, intensidade de campo e Índice Dst. Quando há uma tempestade o satélite com seus dados a prevê, algo entre 40 minutos a 1 hora, depende da velocidade da estrutura interplanetária que irá causar a tempestade. A fim de melhorar este tempo de previsão, foi motivado o estudo de detectores terrestres. Mas de que modo podemos fazer isso? Como foram discutidos nos capítulos anteriores raios cósmicos com um fluxo aproximadamente constante em todas as direções se chocam com partículas atmosféricas originando outras partículas, uma delas chamada muon que conserva aproximadamente a direção do raio cósmico incidente. Visto que as EMCs blindam os raios cósmicos vindo nesta direção foram desenvolvidas técnicas de detectar partículas de alta energia, uma delas é usar plásticos cintiladores para sua detecção.

#### 3.1.1- DETECÇÃO DE RAIOS CÓSMICOS (MUONS) ATRAVÉS DE CINTILADORES E FOTOMULTIPLICADORAS

Os plásticos cintiladores utilizados são produzidos pela companhia japonesa *C. I. Industrial Company Co.* Todos cintiladores tem dimensões 25x25x10cm, sendo que para um detector de área 1m<sup>2</sup> são necessários 4 cintiladores dispostos lado a lado. Suas principais características são dadas na Tabela 3. A Figura 3.1 mostra uma foto dos cintiladores do telescópio detector de muons.

Tabela 3- Principais características dos cintiladores utilizados no telescópio detector de muons protótipo e no estendido. Fonte: Munakata, K (comunicação pessoal)

Característica	Valor
Comprimento de onda de máxima cintilação	420 nm
Tempo de decaimento da luz emitida	3.0-3.2 ns
Eficiência de cintilação	50-60%
Comprimento de atenuação da luz	90-110cm
Índice de Refração	1.50-1.58
Densidade	1.04

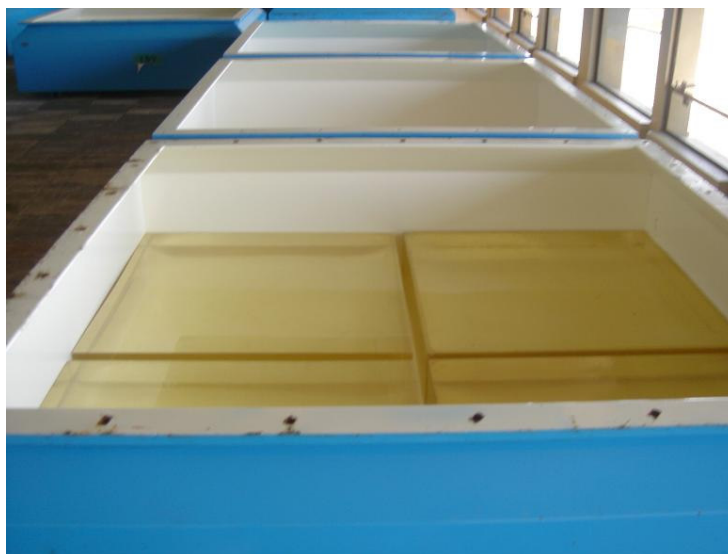


Figura 3.1- Quatro cintiladores lado a lado formando uma área de superfície de  $1\text{m}^2$ . Os cintiladores estão colocados em caixa de metal com espessura de 1,6 mm que forma a base de um dos 56 detectores de telescópio. Foto tirada em 22/11/2006.

### 3.1.2- FOTOMULTIPLICADORAS

Fotomultiplicadoras, conhecidas pela sigla PMT (do inglês, *photomultiplier tube*), são detectores ópticos (transdutores) que transformam energia na forma luminosa (fótons) em energia elétrica (corrente elétrica). Seu funcionamento é baseado no efeito fotoelétrico.

Dentre os diversos dispositivos fotossensíveis disponíveis no mercado, as fotomultiplicadoras, são dispositivos versáteis com resposta extremamente rápida e altíssima sensibilidade. Uma fotomultiplicadora típica consiste de um emissor de elétrons (fotocátodo), de multiplicadores de elétrons (chamados de dinodos) e de um coletor de elétrons (ânodo), todos dispostos em um tubo de vácuo (Figura 3.2).

Quando luz é incidida no fotocátodo, este emite fotoelétrons no vácuo. Estes fotoelétrons são direcionados para os dinodos onde são multiplicados por um processo secundário de emissão. Os elétrons multiplicados são então coletados pelo ânodo como um sinal de saída.

Em razão da emissão-secundária de multiplicação, as PMTs possibilitam sensibilidades extremamente altas e ruído extremamente baixo, se comparado a outros dispositivos fotossensíveis usados atualmente para detectar energia radiante na faixa de ultravioleta, visível e próxima ao infravermelho. As fotomultiplicadoras permitem resposta rápida no tempo e vasta disponibilidade de áreas fotossensíveis

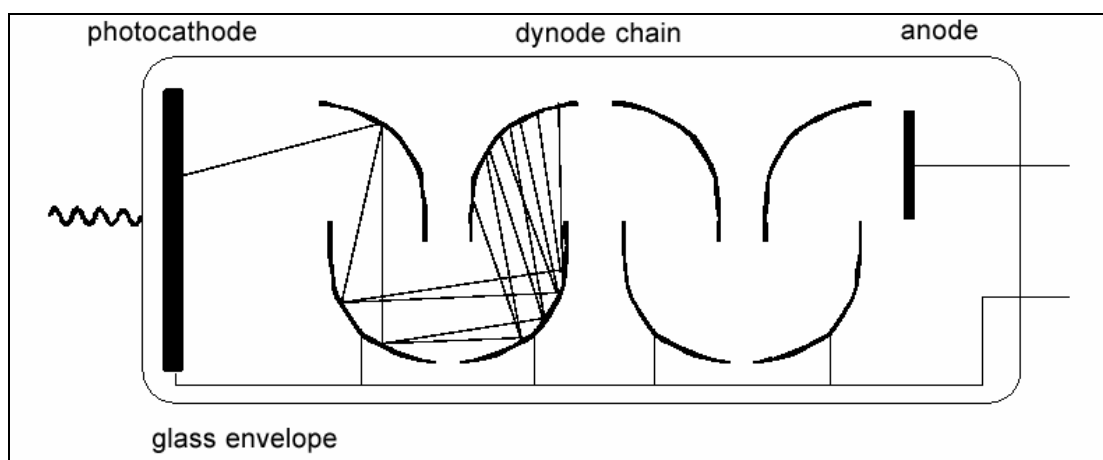


Figura 3.2 - Esquema de fotomultiplicadora com 8 dinodos, fotocátodo, ânodo envolvidos por um tubo de vácuo.

### 3.2- O TELESCÓPIO PROTÓTIPO

Em março de 2001 foi instalado um protótipo telescópio detector de muons no Observatório Espacial do Sul (OES/CRS/CIE/INPE – MCT), em São Martinho da Serra, RS, Brasil (Latitude 29°, 26', 24''S, Longitude 53°, 48', 38''O, altitude 492m acima do nível do mar) no âmbito da parceria INPE/MCT – LACESM/CT/UFSM

Este telescópio é formado por duas camadas de 4 detectores cada, como mostrado na Figura 3.3. Estas camadas são sustentadas por uma estrutura de ferro e intermediadas por uma camada de chumbo de alta pureza de 5cm de espessura, usada para absorver os componentes de mais baixa energia dos Raios Cósmicos. Cada um dos 8 detectores são compostos por uma caixa metálica onde no topo localiza-se uma fotomultiplicadora com a área de detecção voltada para baixo, juntamente com os circuitos relacionados. Na porção inferior da caixa metálica está localizado um plástico cintilante que é excitado quando ocorre passagem de raios cósmicos de alta energia. Este plástico tem área de 1m<sup>2</sup> e espessura de 5 cm. Os detectores estão dispostos na forma de quadrado de lado 2m<sup>2</sup> em cada camada. Cada detector é identificado por uma letra seguida de um número (por exemplo U1, U2, ..., L1, L2,...), sendo que U refere-se a camada superior (do inglês, *upper*), e L refere-se a camada inferior (do inglês, *lower*).

Cada detector é alimentado por dois condutores, sendo um para alta tensão (para a fotomultiplicadora) e outro de baixa tensão (para o circuito eletrônico de pré-amplificação). De cada detector parte um cabo coaxial para os circuitos de coincidência, que correlacionam os dados aos pares provenientes da incidência de muons nos detectores superiores e inferiores.

Somente são contados como muons aquelas partículas que passaram tanto por algum detector da camada superior como por algum detector camada inferior, de forma a



produzir pulsos elétricos nos dois circuitos correspondentes. Se uma partícula passar apenas uma das camadas, esta não será contada como sendo muon.

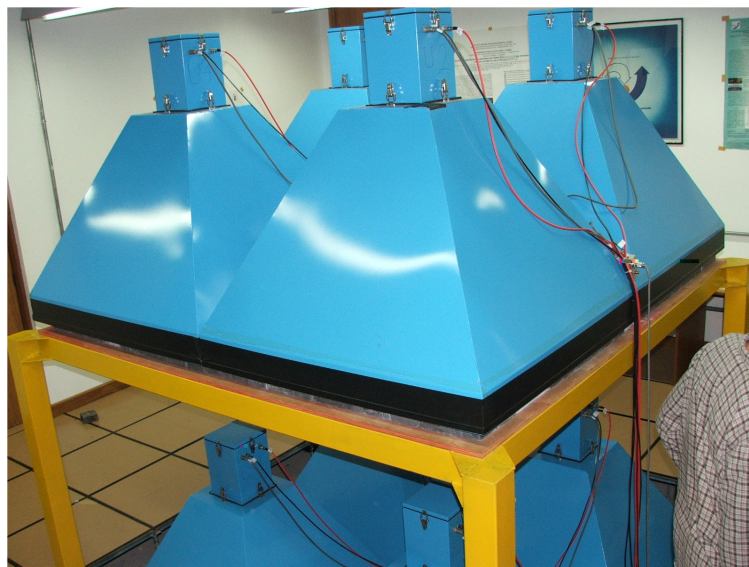


Figura 3.3 - Foto de protótipo telescópio detector de muons instalado no OES/CRS/CIE/INPE – MCT mostrando em azul os 8 detectores em duas camadas. A estrutura metálica de sustentação tem cor amarela e pode se notar a camada de chumbo entre as duas camadas. Os sistemas eletrônicos não estão mostrados.

Existem duas possibilidades para que isso ocorra:

- a) a partícula foi blindada pela camada de chumbo, sendo sua energia inferior a  $\sim 50\text{GeV}$ ;
- b) a trajetória da partícula não coincide com a posição dos dois detectores em razão do ângulo em relação à vertical ser superior a  $49,14^\circ$ .

A primeira possibilidade é desejada para o estudo e previsão do Clima Espacial, já que atua como um filtro para outras partículas de energia menor que  $\sim 50\text{GeV}$  que podem não ser muons ou, se forem muons, não são desejados para o estudo em questão. Observa-se que a energia limite de blindagem é função do grau de pureza da camada de chumbo disposta entre os detectores. Em razão disso todo o chumbo tem grau de pureza em definido e aproximadamente igual em toda a extensão da camada. A segunda possibilidade limita a área de cobertura do telescópio. Esta segunda possibilidade é indesejada, pois limita a cobertura de ângulos de *pitch*.

Juntamente com a fotomultiplicadora encontra-se um pré-amplificador, responsável por amplificar aproximadamente 300 vezes os pulsos provenientes da fotomultiplicadora.

O suprimento de alta tensão é realizado pelo HV *power supply* SPELLMAN SL15, que recebe energia do estabilizador em 110V e fornece 1KVA para um distribuidor de alta tensão. A função do distribuidor é fazer ajuste fina na tensão de cada fotomultiplicadora e compensar diferenças de ganho entre as 8 fotomultiplicadoras do telescópio, mesmo se tratando de fotomultiplicadoras de mesmo modelo e fabricante e sob mesmas condições de temperatura.

A partir da combinação dos 8 pulsos de 2 a 2, sendo um na camada superior e outro na inferior, formam-se 16 maneiras de coincidência diferentes. Destas coincidências, formam-se 9 telescópios direcionais.

Assim os dados são transferidos dos circuitos contadores para um computador pessoal e gravados em forma de texto a cada hora, acompanhados da informação da hora universal (UT), da pressão atmosférica local e da temperatura da sala.

### 3.3 – TELESCÓPIO EXPANDIDO

O telescópio expandido (Figura 3.4) possui um total de 56 detectores dispostos em duas camadas de 4x7 detectores separadas por uma distância de 1,73m, totalizando uma área de 28 m<sup>2</sup> de placas cintiladoras para cada camada. Da mesma forma que no protótipo, as duas camadas estão separadas por outra de chumbo com 5cm de espessura. As numerações dos detectores estão nas faixas 3 a 9, 12 a 16, 19 a 25 e 28 a 34 acompanhados da letra U, se estiverem na camada superior, ou L, se estiverem na camada inferior.



Figura 3.4- Fotos do telescópio detector de muons expandido em dezembro de 2005.

Algumas informações do telescópio expandido são dados na tabela 4.

Tabela 4- Principais informações do Telescópio Cintilador de Muons estendido

Telescópio direcional	Número de sub-telescópios	Contagem horária (fator 10 <sup>6</sup> )	Erro de Poisson (%)
Vertical (V)	28	2,56	0,06
30° Norte (N)	21	1,03	0,10
30° Sul (S)	21	1,06	0,10

30° Leste (L)	24	1,19	0,10
30° Oeste (O)	24	1,20	0,10
39° Nordeste (NE)	18	0,51	0,14
39° Noroeste (NO)	18	0,53	0,14
39° Sudeste (SE)	18	0,53	0,14
39° Sudoeste (SO)	18	0,54	0,14
49° Norte (NN)	14	0,36	0,17
49° Sul (SS)	14	0,35	0,17
49° Leste (EE)	20	0,49	0,14
49° Oeste (WW)	20	0,48	0,14

Na primeira coluna da tabela são dados os ângulos de inclinação dos telescópios direcionais em relação a direção vertical. Estes ângulos são calculados da seguinte forma: a) tomando a separação entre a camada inferior e superior de 1,73m e b) tomando-se a distância de 1m entre dois detectores adjacentes. Na terceira coluna são dadas as contagens para estes telescópios, com fator  $10^6$ . Tratam-se de médias de contagens horárias baseadas em dados de contagens de 10 minutos do telescópio durante o dia 08/04/2006. O erro de

Poisson é dado, em porcentagem, por  $\sigma = \frac{1}{\sqrt{s}} \cdot 100$ .

A contagem de um telescópio direcional não indica que todas as partículas possuem o ângulo de chegada dado na tabela. Por exemplo, para se ter um ângulo de exatamente 30° o muons deve percorrer uma trajetória que tenha projeção na horizontal de 1m. Dependendo da trajetória, a projeção (assim como o ângulo de chegada) pode ser menor ou maior. Na verdade os valores dados na tabela indicam o valor médio do ângulo de chegada dos muons naquele telescópio direcional, já que estes chegam de forma aproximadamente isotrópica.

Para determinar-se as direções de incidência conforme dado na tabela 4.2, foi usada lógica baseada em coincidência de pares de pulsos, um oriundo de detectores da camada superior e outro de detectores da camada inferior. Por exemplo, para o telescópio direcional 30° norte temos:

$$N = U12 \times L3 + U21 \times L12 + U30 \times L21 + U13 \times L4 + U22 \times L13 + \dots + U36 \times L27.$$

Onde '×' e '+' denotam as operações lógicas 'AND' e 'OR'. Os números dos detectores são mostrados na figura 4.3. Esse sistema está montado em circuitos lógicos, disponíveis em chips da família 74XX.

Existe outra forma de coincidência dos dados baseada em FPGA (*Field Programmable Gate Array*) e VHDL (*Verilog Hardware Description Language*). Com esse sistema determinam-se 119 telescópios direcionais. O modelo utilizado é o XC2S200 de fabricação da Xilinx que suporta 32 canais direcionais. Dessa forma basta utilizar-se 4 placas.

O sistema de processamento de sinais provenientes da PMTs (amplificação, discriminação, contagem e correlação) bem como as fontes de alimentação de todo o detector são mostradas na Figura 3.5.



Figura 3.5 – Fontes de alimentação e sistema de processamento de sinais do telescópio detector de muons.

Observando a Figura 3.5, na porção superior dos racks estão as fontes de alta e baixa tensão. A fonte de alta tensão (que alimenta as PMTs) é do tipo DC. É controlada e monitorada por computador, tendo seu valor máximo de 1500 V. A fonte de baixa tensão alimenta os 56 amplificadores. Na parte inferior do rack à esquerda estão os potenciômetros para ajuste individual das tensões aplicadas às PMTs. Um pequeno aumento de tensão fornecida representa aumento da contagem de uma dada PMTs sem que tenha ocorrido um aumento na quantidade da chegada de muons. Na porção inferior do rack a esquerda está todo o sistema de processamento de dados, inclusive as placas de FPGA.

Na Figura 3.6 está mostrado o computador utilizado para gravação e monitoramento do sistema, tanto local como remotamente.

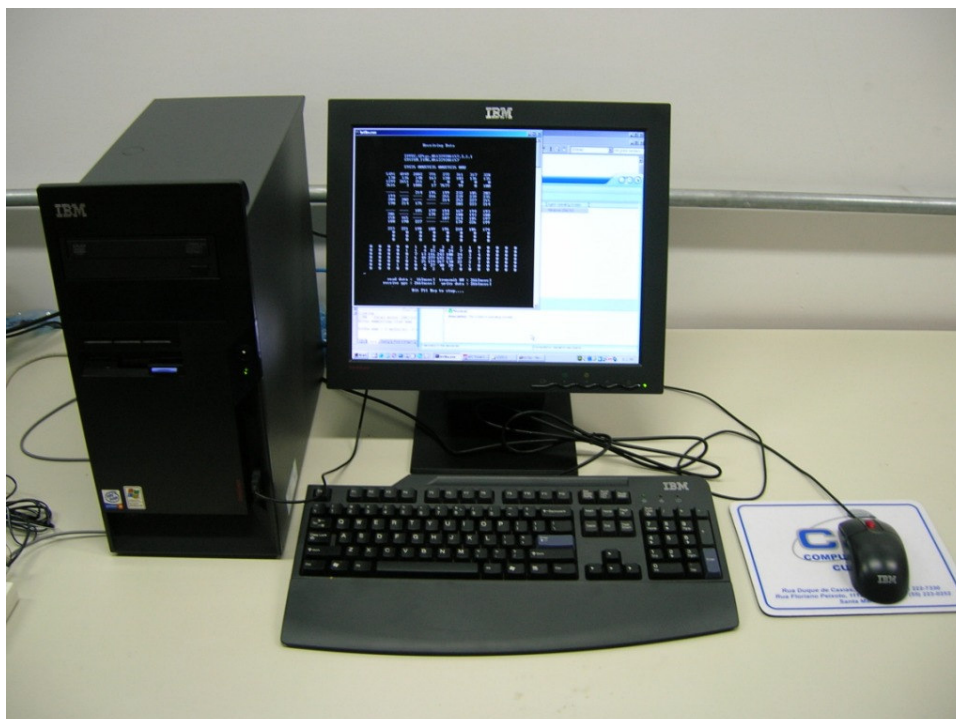


Figura 3.6 – Computador utilizado para gravação dos dados

O sistema de hora do telescópio detector de muons é baseado em relógio de computador pessoal. Como esse sistema não possui a precisão desejada, faz-se sincronização periódica e automática desse horário de duas formas:

- 1) com o horário disponível no sistema de posicionamento global GPS;
- 2) com o horário de diversos relógios atômicos disponíveis na internet. Uma vantagem desse sistema é permitir sincronização de horários entre todos detectores da rede internacional.

### 3.4 – REDE DE DETECTORES INTERNACIONAL

A rede internacional de detectores de muons apresentava uma falha existente sobre o Atlântico e a Europa, e também a posterior cobertura após a expansão da rede de Telescópios com a instalação de um detector de grande porte em São Martinho da Serra.(Figura 3.7, Figura3.8).

### Muon detector network

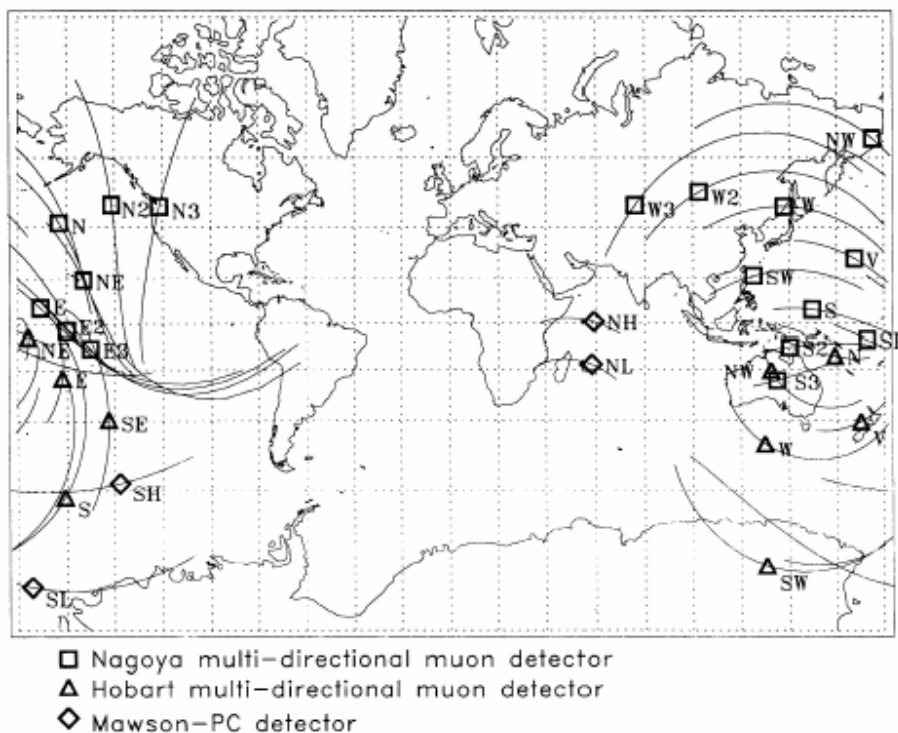


Figura 3.7 – Falha existente antes da instalação do detector protótipo de muons no OES/CRS/CIE/INPE-MCT.

Como os detectores são Terrestres existe uma necessidade de rede internacional de detectores. O telescópio funciona no dia medindo a percentagem de raios cósmicos que vem na direção do Sol. Quando por exemplo o observatório de Nagóia passa para o lado da noite, outro que passa para o dia entra em funcionamento. Assim a contagem é constante. Imediatamente quando existe uma estrutura geofetiva vindo em direção à Terra raios cosmicos são blindados, o decrescimo é associado a previsão uma tempestade. Na Figura 3.7 obserbamos a falha da rede internacional de raos cósmicos, enquanto que na Figura 3.8 mostra em bolinha aberta a cobertura do protótipo. A bolinha fechada mostra a cobertura de detecção do telescópio expandido.

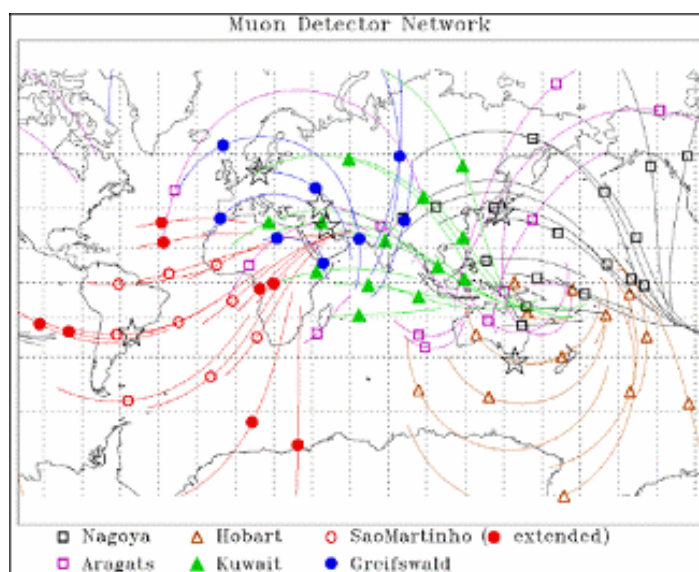


Figura 3.8 – Rede Internacional de detectores de raios cósmicos atual, com as diferenças entre o protótipo e o expandido.

### 3.5 – PRECURSORES DE TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS

Gosling e colaboradores (Gosling et al. 1990; Gosling, 1993) demonstraram que tempestades geomagnéticas intensas são primariamente causadas por distúrbios interplanetários associados com ejeções coronais de massa, EMCs. Raios cósmicos de alta energia registrados por detectores na superfície terrestre também estão sujeitos a efeitos de modulações conseqüentes de distúrbios interplanetários como choques e ejeções associadas com CME's. (Lockwood, 1971; Cane, 1993). As partículas de raios cósmicos de intensidades superiores a 1 GeV são normalmente suprimidas por ~1-10% em resultado do choque e dentro da ejeção seguida do choque. Em adição a esta redução de intensidade, chamada “decréscimo de Forbush”, fenômenos precursoros ao choque também tem sido reportados (Dorman, 1963; Dorman et al., 1967, 1972).

Certos tipos de anisotropias precursoras têm sido interpretadas como efeitos cinéticos relacionados à interação dos raios cósmicos ambientes com o choque em aproximação. (Nagashima et al., 1992, 1994; Belov et al., 1995; Morishita et al., 1997; Bieber and Evenson, 1998; Ruffolo et al., 1999). Decréscimos precursoros devem resultar de um efeito “cone de perdas”, no qual o detector está observando partículas que passam na região de depleção de raios cósmicos atrás do choque. O efeito cone de perdas é geralmente restrito a partículas movendo-se de modo a afastar-se do choque e com ângulos de *pitch* pequenos. Alguns ângulos de *pitch* elevados correspondem a raios cósmicos ambientes que se aproximaram do choque na região anterior ao fluxo e foram refletidos deste. Detectores observando estes ângulos de *pitch* irão observar um acréscimo precursor (maior que um decréscimo) porque as partículas recebem um pequeno aumento de energia resultante da reflexão causado pelo choque. (Dorman et al., 1995; Bieber and Evenson, 1998). Em

consequência da sua alta velocidade e de seu livre caminho médio elevado no vento solar, a informação contida em anisotropias precursoras é carregada rapidamente para regiões remotas e poderá conter informações úteis para a previsão do clima espacial.

### **3.6 – ANISOTROPIA PRECURSORA DO CONE DE PERDAS**

Anisotropias precursoras têm sido geralmente interpretadas como sendo efeitos cinéticos relacionados à interação dos raios cósmicos ambientes com uma Onda de Choque se aproximando (Nagashima et al. 1994; Morishita et al. 1997; Bieber & Evenson 1998; Ruffolo et al. 1999; Belov et al. 2001). Decréscimos precursores podem ser resultados de um efeitos de “cone de perdas”, no qual a estação esta magneticamente conectada à região de decréscimo de raios cósmicos à frente da Onda de Choque. Aumentos precursores podem ser resultados de partículas que receberam uma pequena injeção de energia por reflexão na Onda de Choque que está se aproximando (Dorman et al. 1995). Aqui nós iremos nos ater ao cone de perdas precursor, por apresentar uma base teórica forte (Ruffolo et al. 1999) e também por ser o precursor mais confiável.

O potencial de contribuição dos detetores de neutrons para a previsão do Clima Espacial também é indicado por resultados estatísticos de Kudela et al. (1995; 1997), que encontrou correlações de 40% entre flutuações nos raios cósmicos registradas por monitores de neutrons e o valor do índice Dst medido ~10 horas mais tarde. A origem deste efeito poderia ser a anisotropia precursora, porque a anisotropia se manifesta através de um aumento da variabilidade nos dados de uma estação isolada.



## CAPÍTULO 4 – ANÁLISE DE DADOS E METODOLOGIA

### 4.1 – METODOLOGIA

Os dados estudados foram organizados em gráficos de forma permitir a identificação de estruturas interplanetárias geoefetivas, a ocorrência de tempestade geomagnética e a resposta de contagem de muons.

Estes gráficos foram desenvolvidos com auxílio de programação em IDL (*Interactive Data Language*).

Além de usado dados do detector de muons, que descreveremos as instruções de colete, também foram obtidos dados do satélite ACE localizado no ponto lagrangeano L1 como foi especificado na seção anterior. Para obter o Índice Dst foi usado retirado do site <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/>

### 4.2 – TEMPESTADES OCORRIDAS EM DEZEMBRO DE 2006 E MARÇO DE 2007

Vamos analisar os dados coletados pelo detector de muons expandido instalado em São Martinho, e se há realmente um decréscimo de raios cósmicos vindo na direção do Sol ao mesmo tempo em que vamos compara-lo ao índices Dst disponíveis no site <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/> . Também analisaremos os dados coletados no satélite ACE para o mesmo período.

Começamos com dos dados coletados do dia 10 ao dia 20 de dezembro de 2006. No Telescópio expandido foram utilizados contagens para direções determinadas com resolução temporal a cada 10 minuto. A variação de contagens de muons  $\Delta$  é representada em forma de porcentagem para cada telescópio:  $\Delta(\%) = [\frac{X - Y}{Y}] \times 100$  onde X é a contagem em análise e Y é a média de contagens para um período de tempo muito maior do que a duração da tempestade geomagnética.

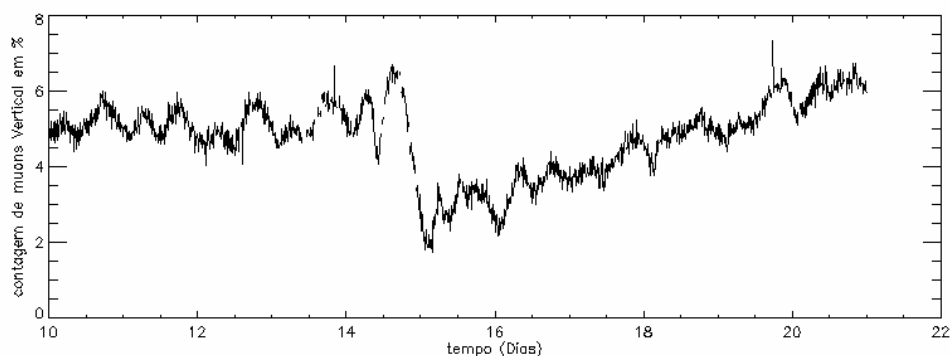


Figura 4.1 – Dados analisado do telescópio expandido.

Podemos notar o decréscimo de ~2% na contagem de muons vertical nos dias 14 a 16, em resposta temos o Índice Dst na mesma época:

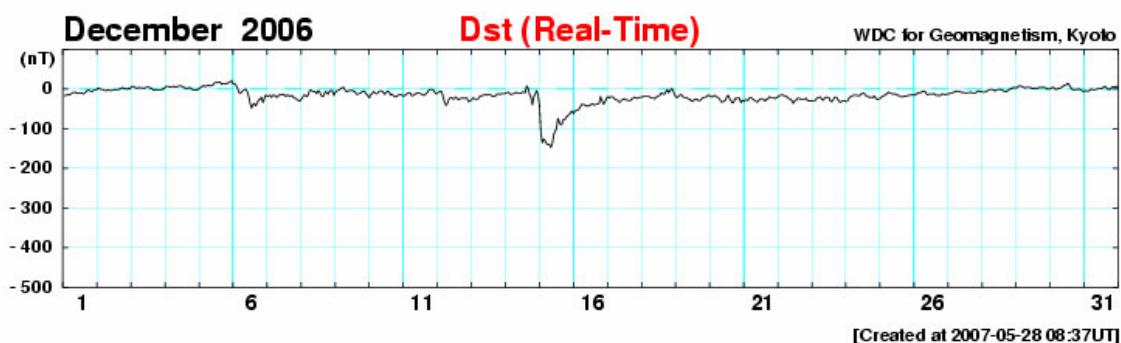


Figura 4.2 – Índice Dst, tempestade magnética intensa.

Assim houve uma correspondência nos dados caracterizando uma Tempestade geomagnética intensa.

Outra tempestade geomagnética ocorreu entre os dias 20 à 30 de março de 2007.

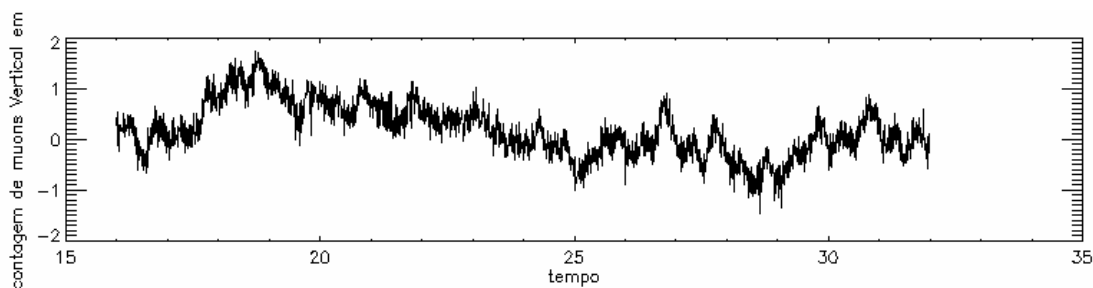


Figura 4.3 – Dados analisados no período de 16 a 31 de março de 2007

Comparamos este grafico com o Índice Dst:

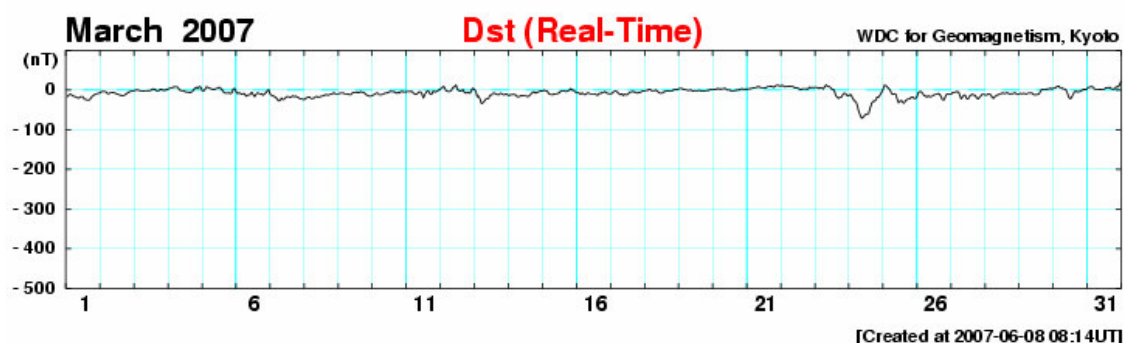


Figura 4.4 – Índice Dst no mês de março de 2007.

No período de 20 a 31 de março de 2007 o índice Dst sofreu um decréscimo com pico de aproximadamente -80 nT, caracterizando uma Tempestade Geomagnética moderada.

#### 4.3 – ANÁLISE DE DADOS NO PERÍODO DE 2004, DO DIA 305 AO DIA 312

Os dados foram no site <http://www.srl.caltech.edu/ACE/> e são do satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*). Nessa página entra-se em "online data" e depois em "level 2 (verified)". Então localiza-se "merged IMF and Solar wind 64-second averages". Lá foi baixados dados do período de 2004, do dia 305 ao dia 312 ( o ano tem 365 dias, então esse período está no mês de novembro).

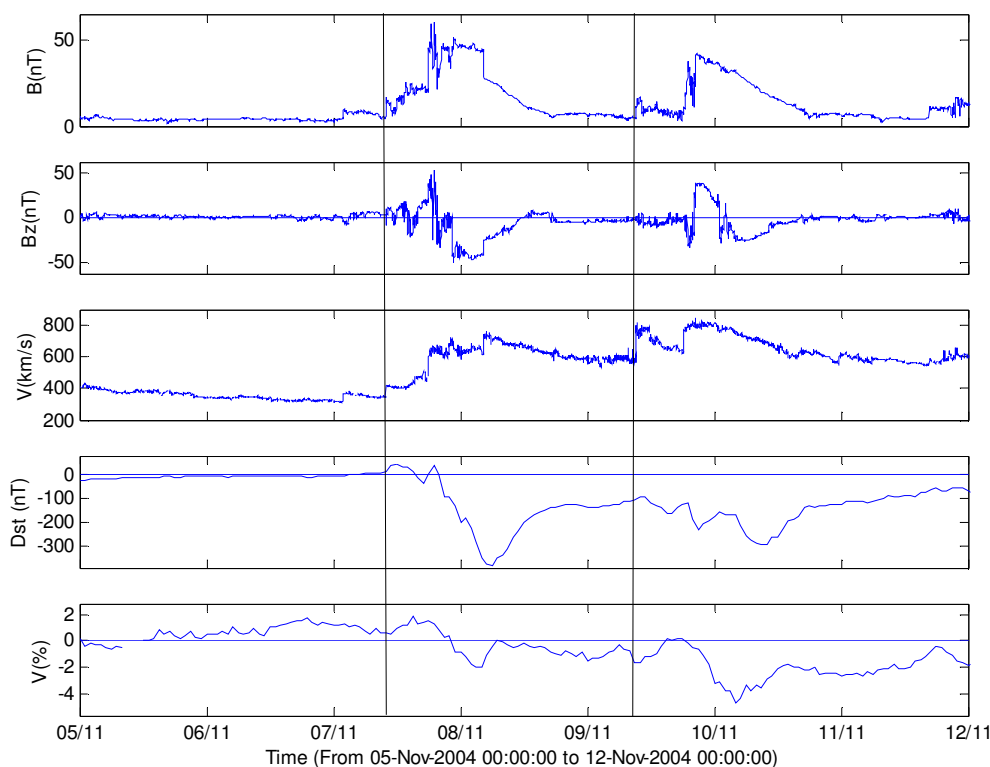


Figura 4.5 – Evento de tempestade geomagnética ocorrido de 5 a 12 de novembro de 2004.

No período entre 5 a 12 de novembro de 2004 houvera dois eventos de Tempestades Geomagnéticas cujos índices limites foram -273 nT e -289 nT respectivamente para o primeiro evento e para o segundo evento. Trata-se de duas tempestades geomagnéticas muito-intensas. Podemos notar um decréscimo na contagem de muons para a direção vertical de ~2% na primeira tempestade e de mais 4% na segunda. Podemos notar um aumento do valor do campo magnético interplanetário B atingindo um valor de ~ 50 nT. No primeiro evento é velocidade do vento solar ~ 700 km/s e no segundo ~ 800 km/s. O aspecto do parâmetro Bz (que é a componente “z” so campo magnético no sistema de coordenadas GSM) no primeiro evento indica possível presença de uma nuvem magnética.

## CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES FINAIS

Estruturas solares atingem a Terra constantemente ocasionando conseqüências na vida moderna do homem. No estudo das caudas ionizadas dos cometas foi proposto o Vento Solar e que este arrasta o campo magnético solar para grandes distâncias chamado Campo Magnético Interplanetário (CMI). Além do CMI estruturas como Nuvens magnéticas são arrastadas junto ao campo como conseqüência de grandes explosões (*Flares*) e Ejeções de grande quantidade de Massas Solar para o meio interplanetário influenciado pelo ciclo solar de 11 anos. Quando há um “*Flare*” ou Ejeções de Massa Coronal(EMC), ocorrem mudanças no CMI e no vento solar causando estruturas geoféticas, permitindo ao atingir a Terra, danos tecnológicos e fenômenos naturais como auroras nos pólos. Nuvens Magnéticas que tem campo magnético mais intenso que o campo magnético normal encontrado no meio interplanetário ao atingir a Terra há uma reconexão entre estes campos fazendo partículas solares entrem na atmosfera Terrestre causando assim danos como de perda de dados de satélite, interferência em radares, *black-out* de energia elétrica.

Assim foi instalado em São Martinho da Serra o Detector Protótipo de Raios Cósmicos de alta energia em 2001, o Telescópio protótipo era formado por duas camadas de 4 detectores com resolução temporal a de uma hora que logo sofreu expansão 2005 melhor integrando então a rede internacional de detectores de muons, formado por 56 detectores e resolução temporal a cada minuto reduzindo assim o erro de detecção.

Ao analisar os dados de novembro de 2004, dezembro de 2006 e março de 2007 o Telescópio mostrou resposta a Tempestades Geomagnéticas. Assim, quando há um decréscimo na contagem em percentagem da componente vertical de muon aproximadamente 2% indica que alguma possível nuvem magnética ou outra estrutura geofética está blindando os raios cósmicos vindo nesta direção podendo assim prever Tempestade Geomagnéticas intensas. Índices Dst medidos mostram que  $Dst < -100$  nT representam uma Tempestade Geomagnética intensa.

Neste relatório foi usados dados do satélite ACE localizado no ponto lagrangeano L1 e dados do Detector de Muons Localizado em São Martinho da Serra no Observatório Espacial do Sul (OES/CRS/CIE/INPE - MCT) Brasil, RS. Os dados sobre as contagens de muons podem ser acessado pelo programa PcAnywhere ou acessado pelo site [http://www.bartol.udel.edu/~takao/test\\_sao.html](http://www.bartol.udel.edu/~takao/test_sao.html).

Este projeto tem cooperação entre Japão, Brasil e Estados Unidos da América e permitiu ao acadêmico participar de projetos de pesquisa paralelamente com atividades acadêmicas proporcionando crescimento profissional, intelectual e pessoal.

## Capítulo 6 – Referências bibliográficas

Munakata, K.; Bieber, J.; Yasue, S.; Kato, C.; Koyama, M.; Akahane, S.; Fujimoto, K.; Fujii, Z.; Humble, J.; Duldig, M. Precursors of Geomagnetic Storms Observed by the Muon Detector Network. *Journal of Geophysical Research*, v. 105, A12, 27.457-27.468 (2000).

Mursula, K.; Usoskin, I. *Heliospheric Physics and Cosmic Ray*, Lecture Notes. American Geophysics Union, Washington, DC (2003).

Munakata, K.; Bieber, J.; Hattori, T.; Inoue, K.; Yasue, S.; Kato, C.; Koyama, M.; Fujii, Z.; Fujimoto, K.; Duldig, M.; Humble, J.; Trivedi, N.; Gonzalez, W.; Da Silva, M.; Tsurutani, B.; Schuch, N. A Prototype Muon Detector Network Covering a Full Range of Cosmic Ray Pitch Angles. *Proceedings of ICRC 2001* (2001).

Russell, R. What is space Weather, 2004. Disponível em: <[http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/space\\_weather/sw\\_intro/what\\_is\\_sw.html&edu=high](http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/space_weather/sw_intro/what_is_sw.html&edu=high)>. Acessado em 22 de dezembro de 2005.

Jokipii, J. R. Cosmic Rays. In: Sues, S. T., Tsurutani, B. T. (eds.) *From the Sun*. Washington DC, American Geophysical Union (2000).

Da Silva, M. R., Contreira, D. B., Monteiro, S., Trivedi, N. B., Munakata, K., Kuwabara, T., Schuch, N. J. Cosmic Ray muon observation at Southern Space Observatory - SSO (29°S, 53°W). *Astrophysics and Space Science* 290, 389-397 (2004).

Yasue, S., Munakata, K., Kato, C., Kuwabara, T., Akahane, S., Koyama, M., Fujii, Z., Everson, P., Bieber, J. W. Design of a Recording System for a Muon Telescope Using FPGA and VHDL. In: *28th International Cosmic Ray Conference*, 3461-3464 (2003).

Gonzalez, W. D., Joselyn, J. A., Kamide, Y., Kroehl, H. W., Rostoker, G., Tsurutani, B. T., Valylius, V. M. What is a magnetic storm?. *J. Geophys. Res.*, v. 99, A4, 5771-5792 (1994).

Tsurutani, B. T.; Gonzalez, W. D. Magnetic storms. In: Sues, S. T., Tsurutani, B. T. (eds.) *From the Sun*. Washington DC, American Geophysical Union, 2000.

Kamide, Y.; Yokoyama, N.; Gonzalez, W. D.; Tsurutani, B. T.; Daglis, I. A.; Brekke, A.; Masuda, S. Two-step development of geomagnetic storms. *J. Geophys. Res.*, v. 103, A4, 6917-6921 (1998).

Brant, J. *Introduction to the solar wind*. San Francisco (1970).

Dal Lago, A. Estudo de nuvens magnéticas geoefetivas no meio interplanetário. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo (1999).

Dal Lago, A. Estudo das estruturas geofísicas no meio interplanetário e de suas causas solares. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos (2004).

Da Silva, M. R. Variação da Intensidade dos Raios Cósmicos em Resposta a Diferentes Estruturas Magnéticas do Meio Interplanetário. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo (2005).

Savian, J.F.; Silva, M.R., Dal Lago, A., Munakata, K., Gonzalez, W.D., Schuch, N.J., Analysis of super intense geomagnetic storms using cosmic rays and interplanetary observations. Submetido: Revista Brasileira de Geofísica (2005).

Pneuman, G. W.; Kopp, R. A. Coronal streamers III: energy transport in streamers and interstreamer regions. Solar Phys, v.13, n. 1, 176-193 (1970).

Forsyth, B. Solar Magnetic Field Reversal. Disponível em <<http://www.sp.ph.ic.ac.uk/~forsyth/reversal/>>. Acessado em 15 de maio de 2006.

Duzellier, S. Radiation effects on electronic devices in space. Aerospace science and technology, n.9, 93-99 (2005).

D. Falguère, et al. In-flight observations of the radiative environment and its effects on devices in the SAC-C polar orbit, IEEE Trans. Nucl. Sci. n. 6, 2782 (2002).

## Anexo 1

### Programas usados para analisar os dados descritos no relatório

Basicamente os dados coletados foram salvos em arquivos de texto onde foram abertos e interpretados pelo programa IDL (*Interactive Data Language*). Para fazer a rotina de raios cósmicos muons usamos:

```
pro muon

result=read_ascii('C:\Documents and Settings\Nikolas\inpe-pibic\março_2007.txt')

muon=result. (0)

fp_tempo=muon(5,*)

V=muon(10,*)

dia=muon(2,*)

hora=muon(3,*)

minuto=muon(4,*)

tempo=(dia+(hora/24))+((minuto/24)*1/60)

Vmedia=mean(V)

Vper=(V-Vmedia)/Vmedia*100

window, 1, xsize=800, ysize=200

plot, tempo, Vper, min_value=-2, max_value=10, xtitle='tempo', ytitle='contagem de
muons Vertical em %'

stop

end

Plotou-se o gráfico abaixo do mês de março de 2007:
```



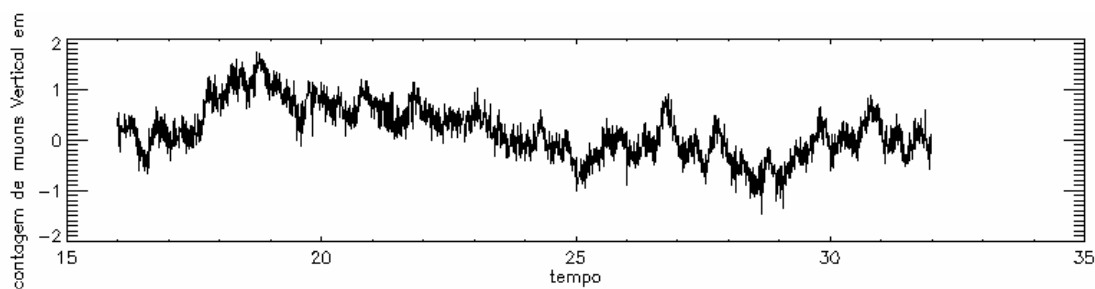


Figura 1 do anexo 1 – Gráfico plotado em IDL do período 15 a 31 de março de 2007

Use-se o mesmo programa para plotar o gráfico de março de dezembro de 2006:

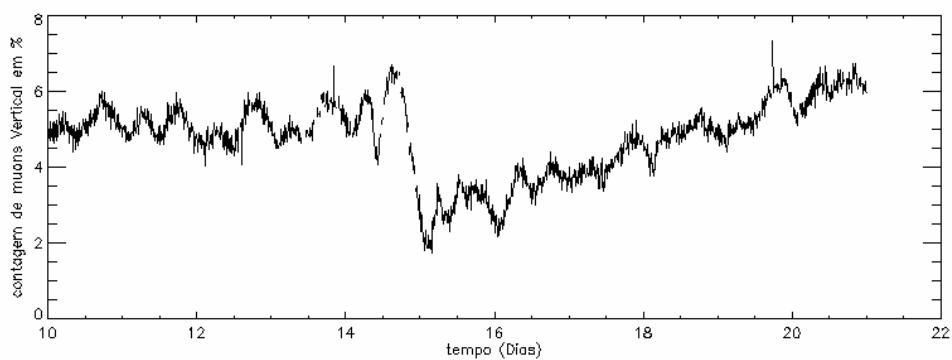


Figura 2 do anexo 1 – Gráfico plotado em IDL do período 10 a 22 de dezembro de 2006

Para análise de dados do satélite ACE usamos o programa:

```
result=read_ascii('C:\Documents and Settings\Nikolas\inpe-  
pibic\ACE_MAGSWE_Data.txt')
```

```
dados=result. (0)
```

```
fp_year=dados(5,*)
```

```
Np=dados(6,*)
```

```
Tp=dados(7,*)
```

```
Vp=dados(8,*)
```

```
B_gsm_x=dados(9,*)
```

```
B_gsm_y=dados(10,*)
```

```
B_gsm_z=dados(11,*)  
  
Bmag=dados(12,*)  
  
window, 1, xsize=600, ysize=700  
  
xrange=200  
  
!P.MULTI=[0,1,5]  
  
plot, fp_year, Np, min_value=0, xtitle='tempo (ano fracionado)', ytitle='numero de  
particulas(N/cm³)', charsize=2.0  
  
plot, fp_year, Tp, min_value=0, xtitle='tempo(ano fracionado)',  
ytitle='temperatura(kelvin)', charsize=2.0  
  
plot, fp_year, Vp, min_value=0, xtitle='tempo(ano fracionado)', ytitle='velocidade(km/s)',  
charsize=2.0  
  
plot, fp_year, B_gsm_x, xtitle='tempo(ano fracionado)', ytitle='Bx(nT)', charsize=2.0  
  
plot, fp_year, B_gsm_y, xtitle='tempo(ano fracionado)', ytitle='By(nT)', charsize=2.0  
  
plot, fp_year, B_gsm_z, xtitle='tempo(ano fracionado)', ytitle='Bz(nT)', charsize=2.0  
  
plot, fp_year, Bmag, xtitle='tempo(ano fracionado)', ytitle='campo(nT)', charsize=2.0  
  
stop  
  
end  
Para plotar os seguintes gráficos dos dia 305 a 315 de 2004(Dezembro):
```

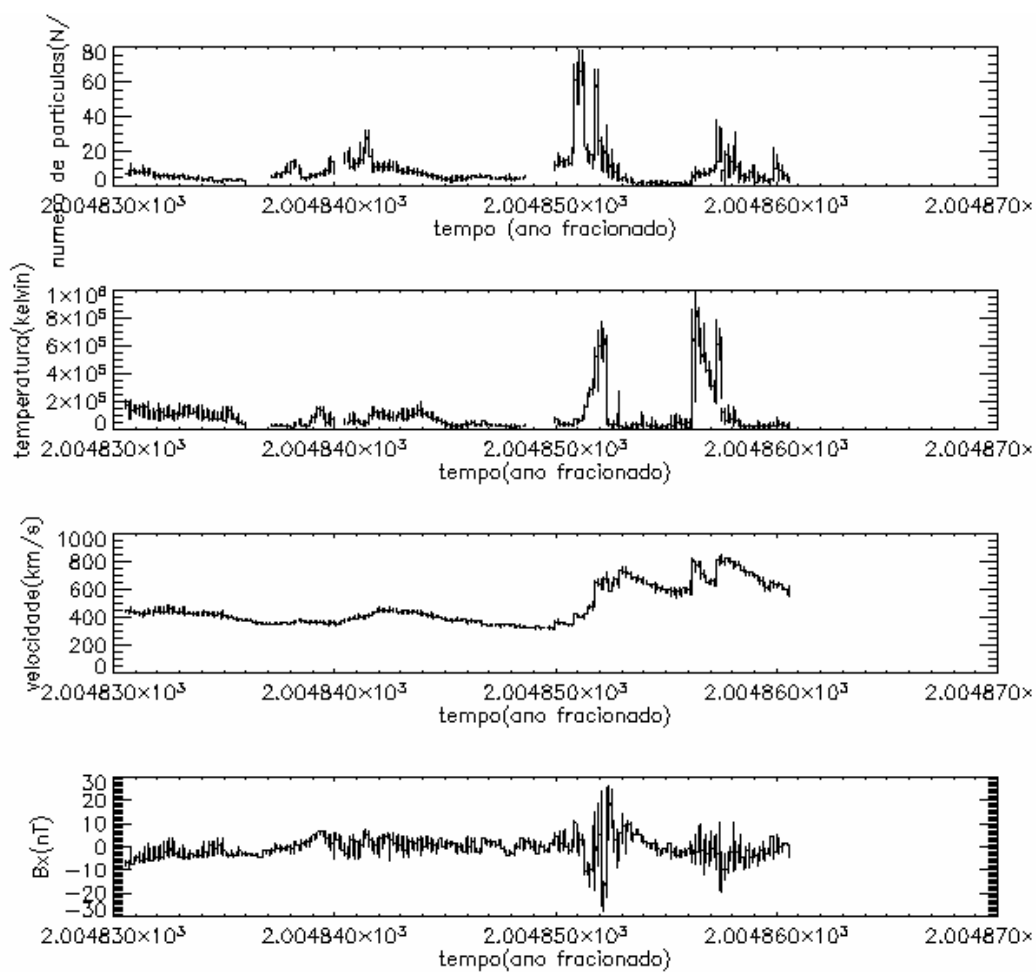


Figura 3 do anexo 1 – Gráfico plotado em IDL do período 305 a 3015 de novembro de 2004

## Anexo 2

### Relatório parcial das atividades 2007 do bolsista substituído

RELATORIO PARCIAL DE ATIVIDADES PIBIC/INPE-CNPq – FEVEREIRO DE 2007

**1. Título:** AMPLIAÇÃO DO PROTÓTIPO DE TELESCÓPIO MULTI-DIRECIONAL DE RAIOS CÓSMICOS DE ALTA ENERGIA – MUONS: PARTICIPAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO TÉCNICO E DE ENGENHARIA, E ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS.

#### 2. Identificação do aluno e orientador

**Bolsista:** Carlos Roberto Braga

**Protocolo:** 105372/2005-6

**Orientador:** Alisson Dal Lago Schuch

**Co-orientador:** Nelson Jorge

#### 3. Descrição do problema estudado e objetivo do projeto

Detectores de raios cósmicos de alta energia (muons) localizados na superfície terrestre, ou seja, detectores de partículas oriundas da interação destes raios cósmicos com a atmosfera da Terra, observam a ocorrência de blindagem dos mesmos quando da aproximação do plasma das Ejeções de Massa Coronais Interplanetárias - ICMEs na Terra, podendo ser utilizados para detecção de conseqüentes tempestades geomagnéticas com até 8 horas de antecedência (Munakata et al., 2000). Desde 2001, esteve em operação um protótipo Telescópio Cintilador de Muons (de forma abreviada, TCM) no Observatório Espacial do Sul (OES/CRSPE/INPE – MCT). Este protótipo foi instalado através de uma colaboração entre Brasil e Japão em Ciência Espacial e Atmosférica e em dezembro de 2005 teve sua área de detecção ampliada 600% através da colaboração multi-lateral Brasil-Japão-EUA em Clima Espacial. O objetivo específico deste projeto é a participação do desenvolvimento técnico e de engenharia da expansão do TCM e análise de dados do mesmo, comparando-os com os obtidos pelo protótipo.

#### 4. Metodologia

Os dados do TCM foram analisados juntamente com dados da corrente de anel magnetosférica para identificar os períodos de ocorrência de tempestades geomagnéticas. Para identificar as estruturas interplanetárias responsáveis pela ocorrência das tempestades geomagnéticas foram utilizados dados de campo magnético e de plasma do meio interplanetário em 1AU coletados pelo satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*). Os dados foram processados e plotados utilizando rotinas de programação de alto nível.

#### 5. Resultados obtidos até janeiro de 2007

O aluno realizou revisão bibliográfica nos seguintes assuntos: Clima Espacial, previsão de tempestades geomagnéticas, detectores de partículas de alta energia, circuitos elétricos amplificadores. Além disso, fez estudo específico do funcionamento do TCM, visando

avaliar a estabilidade temporal do sistema. Ao mesmo tempo confeccionou gráficos utilizando dados do telescópio de muons juntamente com parâmetros interplanetários e geomagnéticos. O bolsista participou de escola científica internacional fortemente relacionada a sua área de pesquisa (*Primer Encuentro de la Red de Investigadores Argentinos en Ciencia de la Heliosfera – RIARCHE* (25/09/2006 a 30/09/2006, Buenos Aires, Argentina), quando teve a oportunidade de assistir a diversas aulas do Prof. Dr. Mario Acuña, e do Prof. Dr. Daniel Berdichevsky (ambos do *Goddard Space Flight Center*, EUA) e do Dr. Cesar Bertucci (*Imperial College*, UK). O bolsista participou também do Primeiro Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia (SBGEA), entre os dias 23/10/2006 e 26/10/2006, no INPE em São José dos Campos. Está em preparação artigo científico a ser publicado em periódico nacional abordando os aspectos técnicos do telescópio expandido e comparando-os com os do protótipo.

### Anexo 3

#### CONTEÚDO NOS ARQUIVOS DE DADOS DO TCM

Os arquivos possuem os dados dispostos numa matriz sendo as colunas separadas por espaços. Os arquivos estão no formato “txt” podendo ser facilmente acessados por softwares como Matlab, IDL, Origin etc. A descrição completa de cada campo é fornecida abaixo:

Tabela 5- Mostra a descrição de cada campo da matriz.

Posição	Formato	Descrição
1-19	1i; 5i3	<i>End of the time(year, month, day, hour, minute, second)</i>
20-23	1i4	<i>Number of I-pps</i>
24-53	3i10	<i>Upper Single, Lower Single, Wide Total</i>
54-183	13i10	<i>Direcional data(V, N, S, E,W, NE,EW, SE,SW,N2,S2,E2,W2)</i>
184-203	2i10	<i>Digiquartz Pressure Sensor(Pressure, temperatura)</i>
204-213	1i10	<i>Bartol high-Voltage Unit</i>
214-233	2i10	<i>1-Mhz clock (during the period, gated time period)</i>
234-263	3i10	<i>Busy Event Reject, Error Event</i>
264-273	1i10	<i>Total countof the time 7x17 direcional data</i>
278-609	36i7	<i>Single data(Upper 1-6)</i>
610-777	36i7	<i>Single data(Lower1-36)</i>
778-1610	119i7	<i>7x17 direcional data(1-119)</i>

As seis colunas armazenam o instante em que as informações foram gravadas ,para cada linha , isto é, o tempo final de integração das contagens. A hora está em UT (Hora internacional). A hora internacional é igual a hora local de Santa Maria acrescida de 3 horas ( ou 2 horas em períodos de horários de verão).

A coluna seguinte registra o tempo (em segundos ), que o TCM integrou as contagens registradas. Normalmente o tempo é de 600s, para resolução temporal de 10 minutos e de 60s para resolução temporal de 1 minuto. Entretanto este tempo pode ser menor ou maior. Basicamente as causas destas alterações no tempo são:

- a) Ajuste periódico do relógio do computador do TCM com sincronização por GPS ou internet;
- b) Interrupção na contagem por falha no computador. Por exemplo, se o relógio do computador estiver 30 segundos adiantado e for e for ajustado durante a coleta de dados, o tempo de integração para resolução de 10 minutos será  $600+30=630$ s, visto que o relógio deve ter sido atrasado em 30 segundos. Se o relógio do computador estiver atrasado, o tempo de integração será menor que 600segundos.

As 16 colunas seguintes são contagens de muons: *Upper Single, Lower Single, Wide Total Directional data* é contagem para os telescópios direcionais baseados no sistema de correlação de dados. Além das contagens de muons, Há informações a respeito do funcionamento do TCM registradas, como pressão, temperatura, tensão elétrica fornecida e status de eventos de correlação.

## **RESOLUÇÃO TEMPORAL**

Os dados coletados são registrados em dois conjuntos de arquivos :

- Arquivos iniciando pela letra “m” que possuem dados com resolução temporal de 1 minuto, isto é, cada linha possui a integração dos dados para o período de 1 minuto. Para cada período de 600 minutos tem-se um arquivo, sendo dessa forma 24 arquivo por dia;

-Arquivos com nome iniciando por “t” que possuem dados com resolução temporal de 10 minutos. Há um arquivo para cada dia para coleta ininterrupta de dados, o arquivo terá 6 linhas para cada hora, totalizando  $6 \times 24 = 144$  linhas para o dia inteiro.

É importante observar que o conteúdo das colunas, é idêntico nos dois conjuntos de arquivo.

## **ACESSO REMOTO AOS DADOS**

Costuma-se utilizar o software PcAnywhere para controlar o computador do TCM. Para tanto basta abrir o software e clicar no ícone do computador “São1”.

## **ACESSO LOCAL AOS DADOS**

Os dados do TCM são armazenados no diretório D:/database/ tanto no computador “São1” (junto ao TCM, no OES), como no computador “Clima espacial” no (Laboratório de Clima Espacial do CRS).

## **ACESSO PELA INTERNET**

Gráficos de teste em tempo real estão disponíveis no site [http://www.bartol.udel.edu/~takao/test\\_sao.html](http://www.bartol.udel.edu/~takao/test_sao.html). Eventualmente o gráfico apresenta gaps que não estão relacionados a gaps na coleta de dados, possivelmente são resultantes de falhas de comunicação entre o OES e Bartol, onde o site é hospedado.

O site é a forma mais prática de realizar verificações freqüentes do status da coleta de dados.