



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.**

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

PROCESSO: CNPq N° 101085/2007-9

**Níkolás Kemmerich – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
Laboratório de Clima Espacial Previsão de Tempestades Magnéticas
LCEPTM/CRS/CIE/INPE – MCT
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/CIE/INPE – MCT
E-mail: nikolas@lacesm.ufsm.br**

**Dr. Alisson Dal Lago - Orientador
Divisão de Geofísica
DGE/CEA/INPE – MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPE - MCT
E-mail: dallago@dge.inpe.br**

Santa Maria, Junho de 2008



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

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.**

Processo: CNPq N° 101085/2007-9

Relatório elaborado por:

Níkolás Kemmerich - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
E-mail: nikolas@lacesm.ufsm.br

Dr. Alisson Dal Lago – Orientador
Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE – MCT
E-mail: dallago@dae.inpe.br

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

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.**

Processo: CNPq N° 101085/2007-9

Bolsista:

Níkolos Kemmerich

Curso de Física – Licenciatura Plena Diurno

Centro de Ciências Naturais e Exatas – CCNE/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Orientador:

Dr. Alisson Dal Lago

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

Co-orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

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

Colaboradores:

Dr. Kazuoki Munakata

Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University - Japan

Dr. John W. Bieber

Bartol Research Institute, University of Delaware - EUA

Dr. Takao Kuwabara

*Bartol Research Institute, University of Delaware (BARTOL/UDEL), Newark
(DE), USA*

Marlos Rockenbach da Silva

Doutorando do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

Mestrando Jairo Francisco Savian

IAG/USP

Carlos Roberto Braga

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica

Samuel Martins da Silva

Acadêmico do curso de Física – Bacharelado

Marcos Vinicius Silveira

Acadêmico do Curso de Física – Licenciatura Plena

Fabício Deives Kummer

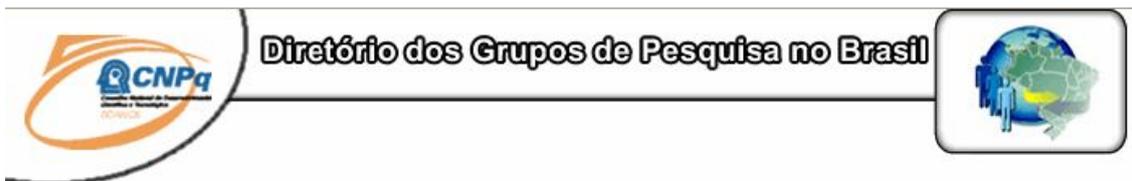
Acadêmico do curso de Física – Bacharelado

Local de Trabalho/Execução do projeto:

Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas – LCEPTM/CRS/CIE/INPE-MCT

Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT

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



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: 24/06/2008 10:25

Líder(es) do grupo: Nelson Jorge Schuch - nelson.schuch@pq.cnpq.br

Ademar Michels - 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@lacesm.ufsm.br

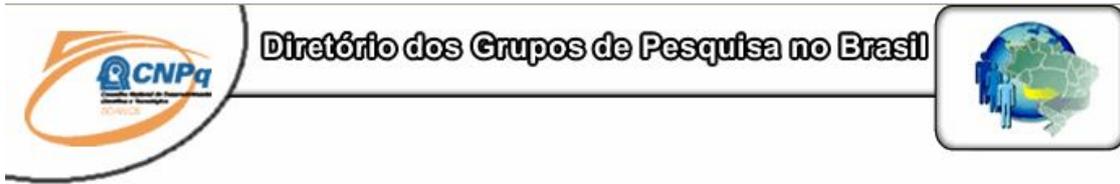
Home page: <http://>

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/ON, DPD/UNIVAP e SEFET/GO, no Brasil e internacionais do: Japão (Universidades: Shinshu, Nagoya, Kyushu, Takushoku e National Institute of Polar Research), EUA ((Bartol Research Institute/University of Delaware e NASA (Jet Propulsion Laboratory e Goddard Space Flight Center)), Alemanha (University of Greifswald e Max Planck Institute for Solar System Research), Austrália (Australian Government Antarctic Division e University of Tasmania), Armênia (Alikhanyan Physics Institute) e Kuwait (Kuwait University). Linhas de Pesquisas: MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO, AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA, NANOSATC-BR. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência, Raios Cósmicos, Muons, Pequenos Satélites Científicos. Objetivos: Pesquisar o acoplamento energético na Heliosfera, 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.

Recursos humanos	
Pesquisadores	Total: 33
Ademar Michels Alan Prestes Alicia Luisa Clúa de Gonzalez Alisson Dal Lago Antonio Claret Palerosi Barclay Robert Clemesha Clezio Marcos De Nardin Cristiano Max Wrasse Delano Gobbi Eurico Rodrigues de Paula Ezequiel Echer Fabiano Luis de Sousa Fábio Augusto Vargas dos Santos Fernando Luís Guarnieri Hisao Takahashi Ijar Milagre da Fonseca Jean Carlo Santos	Jean Pierre Raulin Joao Paulo Minussi Jose Humberto Andrade Sobral Mangalathayil Ali Abdu Marcelo Barcellos da Rosa Nalin Babulal Trivedi Natanael Rodrigues Gomes Nelson Jorge Schuch Odim Mendes Junior Osmar Pinto Junior Otavio Santos Cupertino Durão Petrônio Noronha de Souza Polinaya Muralikrishna Rajaram Purushottam Kane Severino Luiz Guimaraes Dutra Walter Demetrio Gonzalez Alarcon
Estudantes	Total: 31
Alan Carlos Klein Antonio Marcos Martins Silveira Bernardo Henz Carlos Roberto Braga Cassio Espindola Antunes César Augusto Daroit Cristiano Sarzi Machado Eduardo Ceretta Dalla Favera Fabrício Deives Kummer Fernando de Souza Savian Guilherme Grams Guilherme Simon da Rosa Igor Freitas Fagundes Jean Carlos Daroit Jose Fernando Thuorst Josemar de Siqueira	Juliano Moro Lilian Piecha Moor Lorenzo Marzari Félix Lucas Lopes Costa Marcos Vinicius Dias Silveira Mateus Sabadi Schuh Nikolas Kemmerich Rafael Lopes Costa Ricardo Cartier dos Santos Samuel Martins da Silva Silvano Lucas Prochnow Tardelli Ronan Coelho Stekel Tiago Domingos dos Santos Tiago Jaskulski Willian Rigon Silva
Técnicos	Total: 5
<p>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 Vinicius Ceregati Costa - Graduação - \Outra Função</p>	
Linhas de pesquisa	Total: 4
<ul style="list-style-type: none"> • AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA • MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO • MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL • NANOSATC-BR 	
Relações com o setor produtivo	Total: 0

Indicadores de recursos humanos do grupo	
Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)	33
Estudante(s)	31
Técnico(s)	5



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 Cósmicos; Tempestade Geomagnética;

Pesquisadores:

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

Estudantes:

[Carlos Roberto Braga](#)
[Fabrício Deives Kummer](#)
[Guilherme Grams](#)
[Jose Fernando Thuorst](#)
[Josemar de Siqueira](#)
[Marcos Vinicius Dias Silveira](#)
[Nikolas Kemmerich](#)
[Samuel Martins da Silva](#)
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)

Árvore do conhecimento:

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

Setores de aplicação:

Aeronáutica e espaço

Objetivo:

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



Estudante
Nikolas Kemmerich



[Link para Currículo Lattes](#)

[Dados gerais](#)

[Indicadores de produção C, T & A](#)

Dados gerais

Identificação do estudante

Nome: Nikolas Kemmerich

Nível de treinamento: Graduação

Currículo Lattes: 23/06/2008 18:06

E-mail: nikolas@lacesm.ufsm.br

Homepage:

Grupos de pesquisa que atua na instituição

[Clima Espacial, Magnetosferas: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br](#) - INPE

Linhas de pesquisa que atua

[MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)

[NANOSATC-BR](#)

Orientadores participantes de grupos de pesquisa na instituição

[Alisson Dal Lago](#)

Indicadores de produção C, T & A dos anos de 2005 a 2008

Tipo de produção	2005	2006	2007	2008
Produção bibliográfica	0	0	7	3
Produção técnica	0	0	0	0
Produção artística/cultural e demais trabalhos	0	0	0	0
Orientação concluída	0	0	0	0



**Linha de Pesquisa
NANOSATC-BR**

Linha de pesquisa

NANOSATC-BR

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

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

Pesquisadores:

[Ademar Michels](#)
[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)
[Alisson Dal Lago](#)
[Antonio Claret Palerosi](#)
[Clezio Marcos De Nardin](#)
[Ezequiel Echer](#)
[Fabiano Luis de Sousa](#)
[Fernando Luís Guarnieri](#)
[Ijar Milagre da Fonseca](#)
[Jean Pierre Raulin](#)
[Jose Humberto Andrade Sobral](#)
[Nalin Babulal Trivedi](#)
[Natanael Rodrigues Gomes](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Odin Mendes Junior](#)
[Otavio Santos Cupertino Durão](#)
[Petrônio Noronha de Souza](#)
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)

Estudantes:

[Alan Carlos Klein](#)
[Bernardo Henz](#)
[Carlos Roberto Braga](#)
[Cassio Espindola Antunes](#)
[Fernando de Souza Savian](#)
[Guilherme Grams](#)
[Guilherme Simon da Rosa](#)
[Igor Freitas Fagundes](#)
[Jean Carlos Daroit](#)
[Josemar de Siqueira](#)
[Lorenzo Marzari Félix](#)
[Lucas Lopes Costa](#)
[Marcos Vinicius Dias Silveira](#)
[Nikolas Kemmerich](#)
[Rafael Lopes Costa](#)
[Ricardo Cartier dos Santos](#)
[Samuel Martins da Silva](#)
[Silvano Lucas Prochnow](#)
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)
[Tiago Jaskulski](#)
[Willian Rigon Silva](#)

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

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 (IAG/USP), egresso da UFSM e do CRS/CIE/INPE – MCT que me recebeu e me oportunizou a oportunidade e os primeiros apoios junto ao Laboratório e ao desenvolvimento do meu Projeto de Pesquisa. Aos meus colegas de Laboratório de Clima Espacial Samuel Martins da Silva, Marcos Vinícius Silveira e Carlos Roberto Braga pelo companheirismo e apoio.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e a Coordenação e ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT pela aprovação do Projeto de Pesquisa.

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

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

RESUMO

O Clima Espacial estuda a relação Sol-Terra, previsão e origem de tempestades geomagnéticas bem como seus processos físicos no geoespaço e dos respectivos danos causados em sistemas tecnológicos. Tempestades geomagnéticas são causadas por ejeções coronais de massa (CME), geralmente nuvens magnéticas, que, ao interagirem com a Magnetosfera Terrestre, trocam energia, intensificando as correntes existentes na Magnetosfera Terrestre. Os danos causados pelas tempestades são perda de dados de satélite, interferência em radares e *black-out* de energia elétrica, além de causarem as auroras nas calotas polares. Muons são partículas originadas da colisão de raios cósmicos originados no espaço exterior com os constituintes da Atmosfera Terrestre. Ejeções coronais de massa blindam raios cósmicos e influenciam sua modulação no geoespaço. Assim, podem-se utilizar detectores de raios cósmicos terrestres para estudar as causas interplanetárias de tempestades geomagnéticas, através da análise da modulação destes raios cósmicos. O Projeto tem por objetivo o estudo do Telescópio Multidirecional de Raios Cósmicos de Alta Energia – muons na sua parte técnica de funcionamento, análise de dados de seu protótipo e do sistema expandido quando da ocorrência de tempestades geomagnéticas juntamente com dados do meio interplanetário coletados pelo satélite da NASA, ACE localizado em órbita no ponto Lagrangeano - L1. O protótipo foi instalado em 2001 no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE – MCT em São Martinho da Serra, RS, e expandido em dezembro de 2005. O protótipo foi constituído com 2 camadas de 4 detectores (2x2x2) com resolução temporal a cada hora. O novo sistema expandido é constituído de 56 detectores (2x4x7) permitindo uma resolução temporal a cada minuto, sendo 7 vezes mais preciso que o protótipo e melhor integrando a Rede Internacional de Detectores de Muons. O telescópio detector de raios cósmicos, muons, permite resposta à ocorrência de tempestades geomagnéticas na forma de decréscimo de 1% a 10% na contagem de muons (decrécimo de Forbush).

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTERAÇÃO SOL-TERRA	17
1.1 – COMENTÁRIOS INTRODUTÓRIOS	17
1.2 – O SOL	19
1.3 – ATIVIDADE SOLAR	21
1.3 – PROEMINÊNCIAS	24
1.4 – VENTO SOLAR	24
1.5 – CAMPO MAGNÉTICO INTERPLANETÁRIO (CMI)	27
1.6 – EJEÇÕES CORONAIS DE MASSA E EXPLOSÕES SOLARES “FLARES”	28
1.7 – NUVENS MAGNÉTICAS	31
1.8 – TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS E ÍNDICE DST	32
1.9 - ORIGEM INTERPLANETARIA DE TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS	35
CAPÍTULO 2 – RAIOS CÓSMICOS, MUONS E CONE DE PERDAS	37
2.1 – RAIOS CÓSMICOS	37
2.2 – MUONS	38
2.3 – CONE DE PERDAS	39
CAPÍTULO 3 – TELESCÓPIO MULTIDIRECIONAL DE RAIOS CÓSMICOS DE ALTA ENERGIA – MUONS. PROTÓTIPO E EXPANDIDO	41
3.1 – TELESCÓPIO PROTÓTIPO	42
3.2 – TELESCÓPIO EXPANDIDO	45
3.2.1 – FONTE DE ALIMENTAÇÃO, SISTEMA DE PROCESSAMENTO E ARMAZENAGEM DE DADOS.	47
3.3 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO TELESCÓPIO DE RAIOS CÓSMICOS	49
3.3.1 - CINTILADORES	49
3.3.2 – FOTOMULTIPLICADORAS (PMT)	50
3.4 – REDE DE DETECTORES INTERNACIONAL	54
CAPÍTULO 4 – ANÁLISE DE DADOS DO TELESCÓPIO PROTÓTIPO E DO TELESCÓPIO EXTENDIDO	57
4.1 – ANÁLISE DE DADOS PARA O TELESCÓPIO PROTÓTIPO	57
4.2 – ANÁLISE DE DADOS DO TELESCÓPIO EXTENDIDO	61
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES FINAIS	69
CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS	71
ANEXOS	74
ANEXO 1 – PROGRAMA PARA O TCM	75
ANEXO 2 - RESUMOS SUBMETIDOS A EVENTOS	80
ANEXO 3 -RELATÓRIO PARCIAL DO PROJETO DE PESQUISA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA	89
ANEXO 4	94

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Mapeamento de densidade de erros em dados (em escala logarítmica) abordo do experimento ICARE (Novembro 2000 – Setembro 2002).	18
Figura 1.0.2 – Clássica estrutura solar de seu interior.Fonte: Kivelson e Russell, 1995.20	
Figura 1.3 – Mancha Solar tirada pela Hinode's Solar Optical Telescope.	22
Figura 1.4 – Gráfico do número de manchas solares em função do tempo, ciclo de atividade	23
Figura 1.5 – Diagrama da borboleta do período de 1977- 2006 aproximadamente.	23
Figura 1.6 – Proeminência solar visível na região do extremo ultravioleta EIT	24
Figura 1.0.7 – Direção das caudas dos cometas.	25
Figura 1.8 – Pode-se notar a grande região escura que é caracterizada como Buraco coronal, vista por telescópios de raios-X do satélite Yohkoh.	26
Figura 1.9 –Ilustração do Campo Magnético Interplanetário.....	27
Figura 1.10 – Explosão solar (“flare”), o ponto mais brilhante da imagem obtida pelo instrumento EIT em 29 de outubro de 2003, a bordo do satélite SOHO, em 195 A.....	29
Figura 1.11 – Ejeção Coronal de Massa em 27 de fevereiro de 2000 fotografado por LASCO C2 e C3, satélite SOHO.....	29
Figura 1.12 – Geometria de uma nuvem magnética.....	32
Figura 1.13 – Fases do decréscimo do índice Dst.	34
Figura 1.14 – Devido à interação com o vento solar, a magnetosfera toma a forma da figura acima.	35
Figura 1.15 – Acoplamento entre Sol, Meio Interplanetário e magnetosfera Terrestre. .36	
Figura 2.1 – Figura esquemática dos raios cósmicos que colidem com partículas da atmosfera Terrestre (chuveiro de raios cósmicos).....	39
Figura 2.2 – Representação artística do cone de perdas.....	40
Figura 3.1 – Ilustração de alguns efeitos de perturbações geomagnéticas.	42
Figura 3.2 – Foto de protótipo telescópio detector de muons instalado no OES/CRS/CIE/INPE – MCT mostrando em azul os 8 detectores em duas camadas.	43
Figura 3.3 – Fotos do telescópio detector de muons expandido em dezembro de 2005. 46	
Figura 3.4 – Fontes de alimentação e sistema de processamento de sinais do telescópio detector de muons.....	48
Figura 3.5 – Computador utilizado para gravação dos dados.	49
Figura 3.6 – Quatro cintiladores lado a lado formando uma área de superfície de 1m2. Os cintiladores estão colocados em caixa de metal com espessura de 1,6 mm. Foto tirada em 22/11/2006.....	50
Figura 3.7 – Foto da fotomultiplicadora utilizada no detector de raios cósmicos – muons.	51
Figura 3.8 – Esquema artístico de uma fotomultiplicadora.....	52
Figura 4.1 – Aumento nos parâmetros indicam a chegada da frente de choque primeiro no satélite ACE, minutos depois o Índice Dst e muons.	58
Figura 4.2 – Gráficos das componentes N, S, E e W.	59
Figura 4.3 – Outras direções comparadas com o índice Dst.	60

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 – Alguns dados estatísticos do Sol. Fonte: Introduction to space physics, Margaret G. Kivelson, Christopher, T.Russell. Cambridge, 1995.	19
Tabela 1.2 – Reação de fusão nuclear no interior solar.....	21
Tabela 1.3 – Classificação das Tempestades Geomagnéticas.	34
Tabela 3.1 – Dados específicos do telescópio protótipo.	45
Tabela 3.2 – Dados específicos do telescópio expandido.	46
Tabela 3.3 – Principais características do Telescópio de Raios Cósmicos – muons.....	50
Tabela 3.4 – Dados específicos das fotomultiplicadoras.....	51
Tabela 4.1 – Alguns resultados para dados do Telescópio protótipo.	61

CAPÍTULO 1 – INTERAÇÃO SOL-TERRA

1.1 – COMENTÁRIOS INTRODUTÓRIOS

Tem como objetivo, este relatório, mostrar aspectos teóricos da interação Sol-Terra, também à metodologia adotada, já que se trabalha com instrumento detector de partículas raios cósmicos terrestre, e análise de dados do instrumento terrestre juntamente com dados do satélite ACE e índice geomagnético Dst.

Para se analisar dados e interpretá-los de maneira correta é preciso primeiramente fazer um estudo teórico dos processos físicos solares e suas influências no meio interplanetário. Os conteúdos teóricos, suas conseqüências e análises existentes são dos esforços de antigos e recentes pesquisadores que, ao longo dos anos tiveram e tem o interesse de estruturar e estudar as observações feitas do Sol e sua influencia não só na Terra, mas também em todo sistema solar.

Uma das conseqüências de tal estudo está na modulação de raios cósmicos vindos de fora do sistema solar no meio interplanetário. Estes raios cósmicos são acelerados por processos ainda não muito certos. Use-se esta modulação para estudar estruturas geoféticas, e poder de alguma forma prever estruturas solares que podem causar tempestades geomagnéticas, constituindo assim uma previsão.

Foi instalado em 2001 um protótipo do Telescópio Detector de Raios Cósmicos – muons no Observatório Espacial do Sul em São Martinho da Serra, Brasil no estado do Rio Grande do Sul, através de uma parceria entre Brasil, Japão e EUA, e apoio INPE-UFSM. O protótipo era formado por duas camadas de 4 detectores e resolução temporal de uma hora, integrando uma rede de detectores que estão distribuídos pelo planeta. Este aspecto será discutido em uma seção posterior. O protótipo foi expandido em dezembro de 2005 com a diferença de ser constituído de 56 detectores com resolução temporal de um minuto e melhor integrando a rede mundial de detectores muons de alta energia. O lugar escolhido para instalação do protótipo foi estratégico já que está localizado na Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS).

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 disrupções 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 multidirecionais. Estruturas solares são como escudos que podem ser usadas para reduzir a dose de radiação mas não são eficazes para radiações de alta energia. (Duzellier, 2005).

A Figura 1-1 apresenta uma cartografia de anomalias (perda de dados) observadas em memórias na órbita SAC-C (707 km x 98,2°).

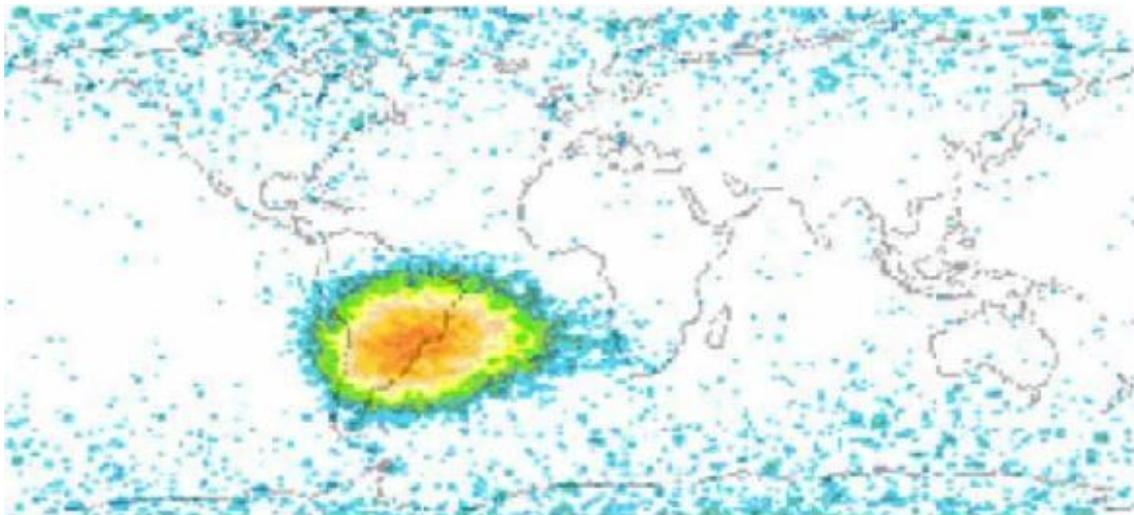


Figura 1.1 – Mapeamento de densidade de erros em dados (em escala logarítmica) abordo do experimento ICARE (Novembro 2000 – Setembro 2002).

Fonte: D. Falguère et al, 2000, extraído de Duzellier, 2005.

1.2 – O SOL

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 (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 influencia todo meio interplanetário, e conseqüentemente a Terra.

Para astrônomos o Sol é uma estrela ordinária com tipo espectral de G2V e com magnitude 4.8. Entretanto, sendo o Sol muito próximo à Terra, isto faz dele imediatamente muito importante para estudo da interação Sol-Terra. Abaixo são dados alguns dados estatísticos vitais do Sol:

Tabela 1.1 – Alguns dados estatísticos do Sol. Fonte: Introduction to space physics, Margaret G. Kivelson, Christopher, T.Russell. Cambridge, 1995.

Idade	$4,5 \times 10^9$ anos
Massa	$1,99 \times 10^{30}$ kg
Raio	696,000km
Densidade média	$1,4 \times 10^3$ kg.m ⁻³
Distância média da Terra (1 UA)	150×10^6 km (250 raios solares)
Aceleração gravitacional na superfície	274 m.s ⁻²
Radiação emitida (Luminosidade)	$3,86 \times 10^{26}$ W
Período de rotação equatorial	26 dias terrestres
Composição	Aproximadamente 90% de H (hidrogênio), 10% He (hélio), 0,1% outros elementos

A atmosfera solar é dividida em três partes. **Fotosfera**, com 500 km de espessura é de onde vem a maior parte da luz visível e vista a olho nu. É formada por gás opaco que nos impede de ver o interior solar, sua densidade é cerca de 10^{23} m⁻³ (partículas por

centímetro cúbico), é aqui que Manchas Solares podem ser observadas, a temperatura mínima é de 4.200K. **Cromosfera** estende-se cerca de 10.000 km acima da Fotosfera e possui uma temperatura que varia de 4300 a 106 K que aumenta do interior para exterior. Apresenta densidade de 10^{17} 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. **Coroa**, com densidade de aproximadamente 10^{15} m^{-3} próximo do Sol e estendendo-se até a órbita terrestre (onde a densidade é 10^{17} m^{-3}) e mais por milhões de quilômetros. 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.

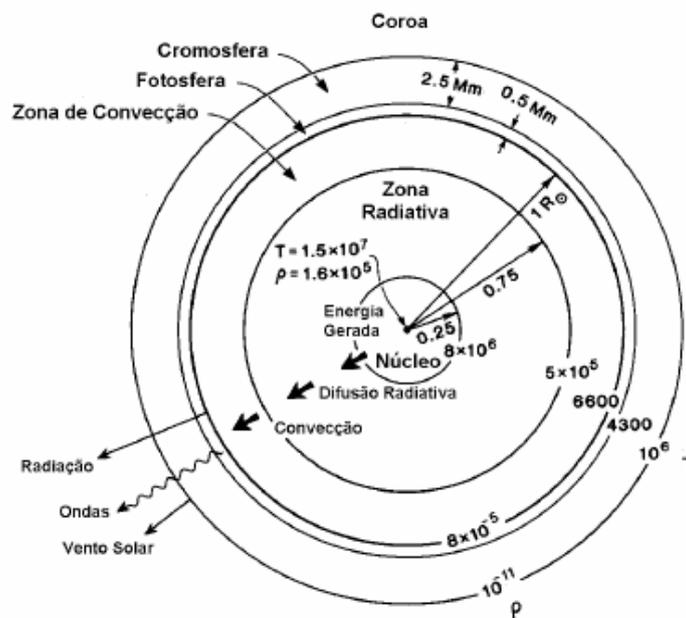


Figura 1.2 – Clássica estrutura solar de seu interior. Fonte: Kivelson e Russell, 1995.

Modelos teóricos sugerem que no interior solar há um reator de fusão nuclear operando a uma temperatura de $1,5 \times 10^7 \text{ K}$ e gerando energia através da fusão de 5 milhões de toneladas de hidrogênio por segundo para formar hélio.

Tabela 1.2 – Reação de fusão nuclear no interior solar.

$2(^1H + ^1H) \rightarrow 2(^2H + e^+ + e^- + \nu)$
$2(e^+ + e^-) \rightarrow 2\gamma$
$2(^2H + ^1H) \rightarrow 2(^3He + \gamma)$
$^3He + ^3He \rightarrow ^4He + 2^1H + \nu$
$4^1H \rightarrow ^4He + 5\gamma + 2\nu$

Um produto da fusão nuclear é o fluxo de neutrinos. A temperatura no interior solar decresce com o raio rapidamente. Divide-se o raio solar em quatro partes, observa-se que a parte mais externa desta divisão é convectivamente instável e turbulenta, chamado **zona convectiva**. A radiação emitida pelo núcleo propaga-se lentamente. O interior solar é muito opaco, como uma névoa espessa, e se a trajetória desta radiação fosse retilínea ela chegaria à superfície em 2 segundos, mas existe muita radiação que pode levar 10 milhões de anos para chegar à superfície. Esta região está entre o **núcleo** e a **zona convectiva** é a **zona radiativa**.

A fotosfera está no topo da zona convectiva e é fechado uniformemente com um leve borbulho granular. É na fotosfera que se enxergam as manchas solares que aparecem aos pares. É possível enxergar com um filtro H α a cromosfera, envolta das machas existem regiões que brilham mais que o normal chamado de regiões ativas. Ocasionalmente tais regiões brilham rapidamente dando origem a uma explosão solar (“Flare”). Também há estruturas escuras e finas chamadas de filamentos ou proeminência.

1.3 – ATIVIDADE SOLAR

A existência de manchas solares era conhecida a centenas de anos. Sua região central é escura chamada de umbra com temperatura de 4100 K e envolta pela penumbra, região um pouco mais clara que a umbra. A Figura 1-3 apresenta uma imagem da mancha.

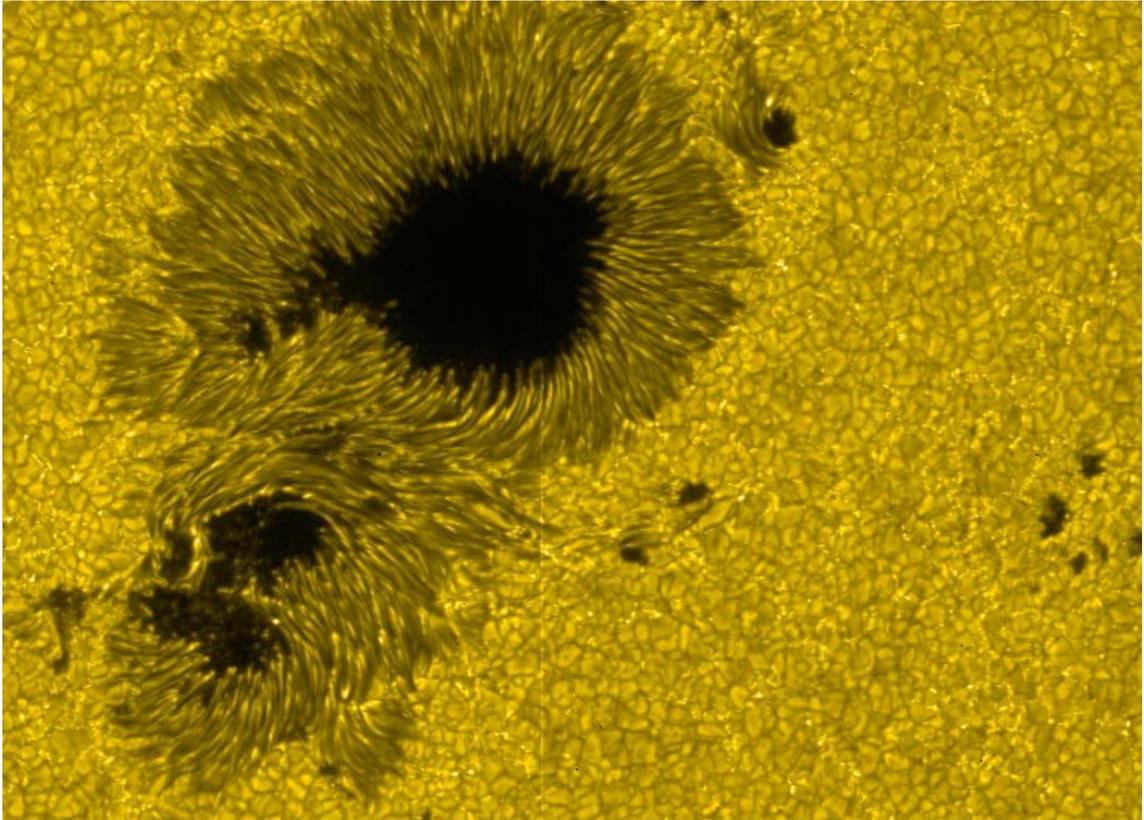


Figura 1.3 – Mancha Solar tirada pela Hinode's Solar Optical Telescope.

Fonte: http://www.nasa.gov/mission_pages/solar-b/solar_022.html

A atividade solar varia com um período de 11 anos e está relacionada com o número de manchas solares em sua superfície. Elas aparecem em médias latitudes e migram para o equador, baixas latitudes. Este processo leva em média 11 anos. Como foi dito anteriormente, as manchas aparecem aos pares. Alguns são bipolares, outros unipolares e outros mais complexos, mas sempre um ao norte com uma polaridade e outro ao sul com a polaridade inversa. Isto caracteriza os pares com polaridades regulares. No início de um novo ciclo as polaridades trocam.

A mancha apresenta temperatura mais baixa do que a fotosfera. Isto se deve ao fato de que o campo magnético inibe as correntes convectivas na superfície e assim permite a queda de temperatura. A Figura 1-4 apresenta um gráfico do ciclo solar de 11 anos, pode-se ver a regularidade das manchas solares com o ciclo solar.

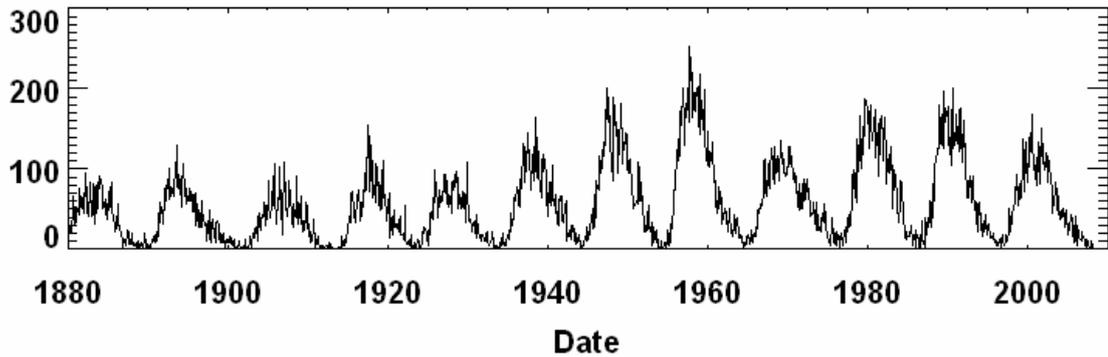


Figura 1.4 – Gráfico do número de manchas solares em função do tempo, ciclo de atividade solar de 1880 a 2000 aproximadamente.

Fonte: <http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/zurich.gif>

Também se pode ter o chamado diagrama da borboleta para o ciclo solar de 11 anos (Figura 1-5).

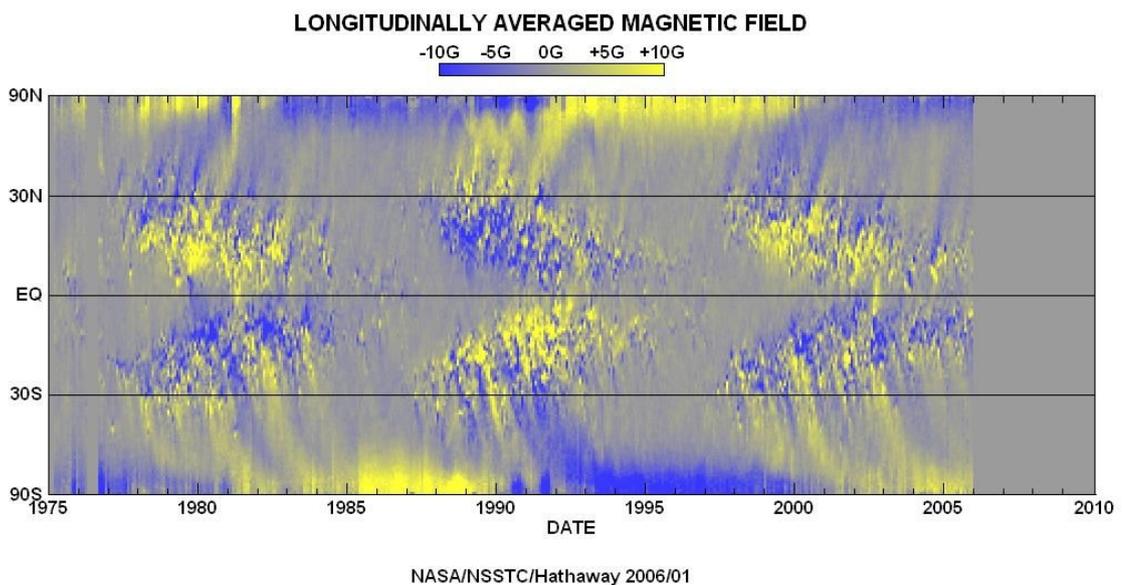


Figura 1.5 – Diagrama da borboleta do período de 1977- 2006 aproximadamente.

Fonte: http://www.nasa.gov/vision/universe/solarsystem/solar_cycle_graphics.html

As cores azuis e amarelas representam polaridades diferentes. Acima do gráfico há uma escala que dá a diferença da intensidade magnética, em Gauss. Nota-se claramente que as manchas aparecem aos pares e com polaridades diferentes. No tempo as manchas nascem em médias latitudes e seguem para o equador.

1.3 – PROEMINÊNCIAS

Proeminências aparecem como finos filamentos escuros no disco solar. É possível observar-las com filtro $H\alpha$. Na realidade elas são imensas cortinas verticais de plasma com vezes mais frias e densas do que o meio em que as rodeia, a coroa.

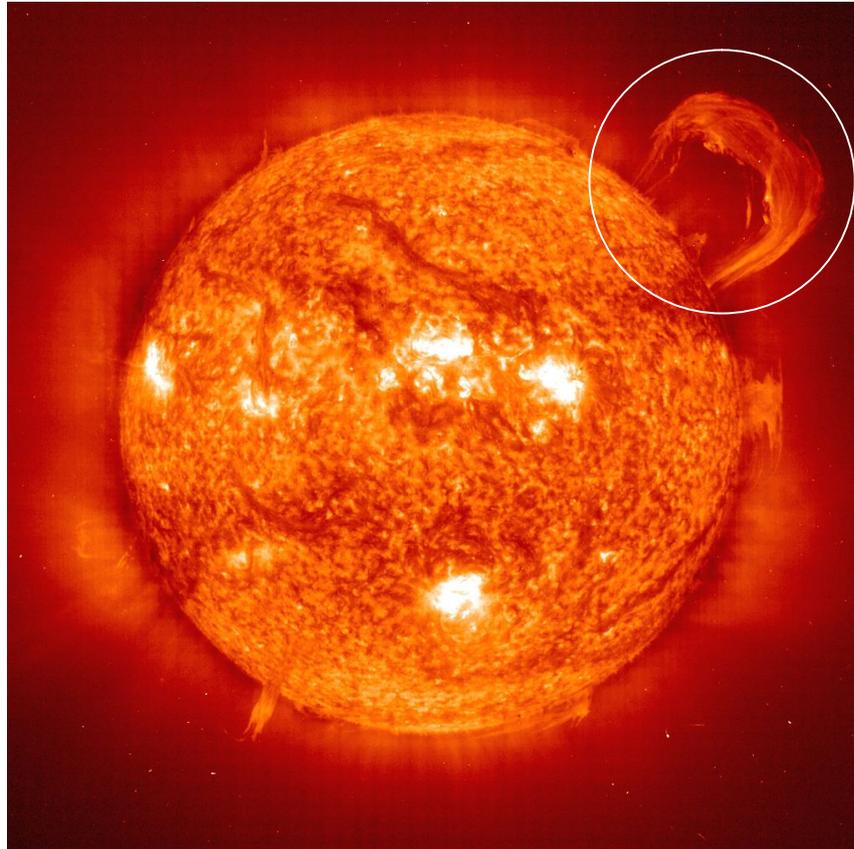


Figura 1.6 – Proeminência solar visível na região do extremo ultravioleta EIT (SOHO/EIT - -Extreme ultraviolet Imaging Telescope).

Fonte: <http://soho.nascom.nasa.gov/>.

Na Figura 1.6, as regiões brilhantes são regiões ativas e o círculo branco indica a proeminência vista em 14 de setembro de 1999. A temperatura dela é de aproximadamente 60000 K enquanto a coroa ao seu redor tem temperatura acima de 1 milhão K. As proeminências podem estar associadas às ejeções coronais de massa que, caso estejam na direção a Terra, podem causar significativa atividade geomagnética e aurora.

1.4 – VENTO SOLAR

Vento solar é uma emissão de radiação corpuscular contínua (Brandt, 1970), ou um 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, 1958). Constituídos por prótons e elétrons, o Vento Solar flui passando constantemente pela Terra com uma velocidade média de 400 a 500 km/s e com densidade média de prótons e elétrons de 5 partículas por centímetro cúbico (Brandt, 1970).

O fato observacional de que a cauda ionizada dos cometas tem uma direção aproximadamente radial ao Sol, independente da direção de seu movimento (Figura 1.7) 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 pelo fato de grandes explosões solares (“*flares*”) provocarem mudanças no campo geomagnético da Terra (Burlaga, 1995).

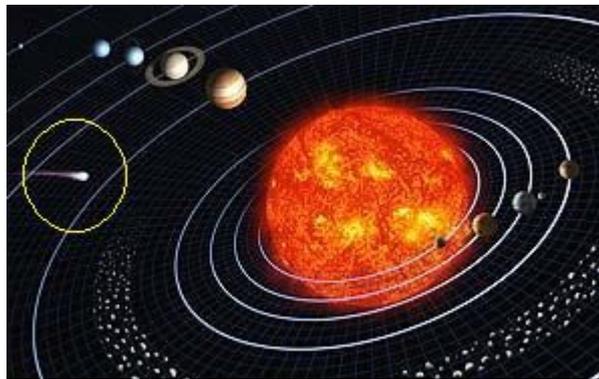


Figura 1.0.7 – Direção das caudas dos cometas.
(Fonte: <http://cienciahoje.uol.com.br/4304>)

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.

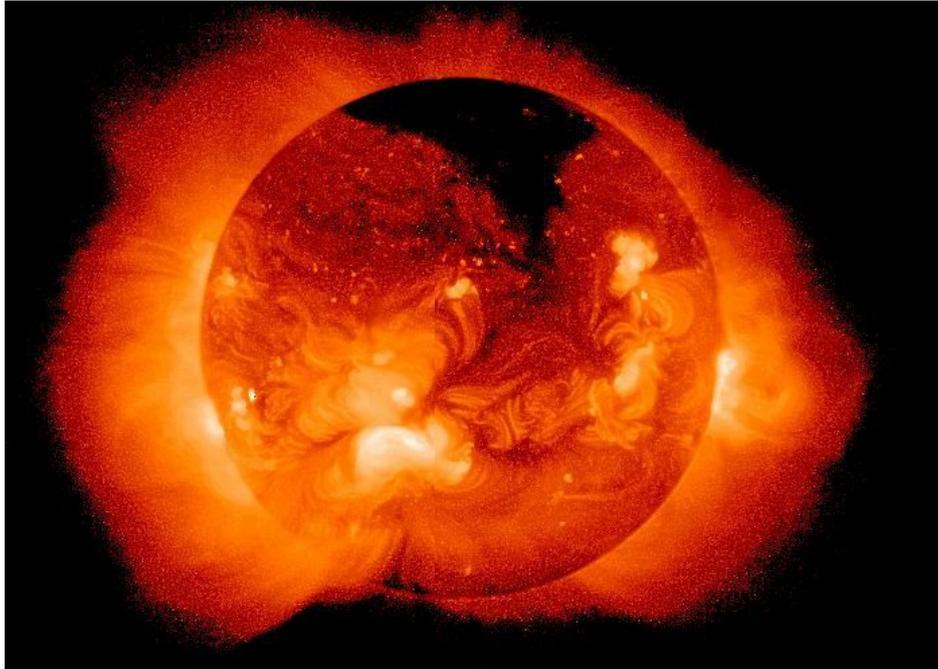


Figura 1.8 – Pode-se notar a grande região escura que é caracterizada como Buraco coronal, vista por telescópios de raios-X do satélite Yohkoh. (Fonte: <http://solarscience.msfc.nasa.gov/feature3.shtml>)

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 solar (CME). Em certos casos o campo que acompanha a ejeção se conecta com o campo magnético da Terra (Tempestade Magnética) causando o efeito das auroras, 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.

As sondas Soviéticas Lunik 2 e Lunik 3 em 1960 primeiramente fizeram a medida do Vento Solar, e em 1962 a sonda norte americana Mariner 2 confirmou as previsões de E.N. Parker. Observações indicam que o Vento Solar se estende além de 50 UA (unidades astronômicas). Foi sugerido em 1960 que o Vento Solar termina em uma grande onda de choque (Parker, 1961). Com muita incerteza foi estimado que a fronteira de grande onda de choque do Vento Solar encontra-se a 100 UA. Em 30 de agosto de 2007 a esperada candidata sonda Voyager 1 entra na região chamada “*Héliosheath*” e atualmente atravessa a chamada “*Termination Shock*”.

1.5 – CAMPO MAGNÉTICO 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 estreita 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 1.9 ilustra o Campo Magnético Interplanetário.

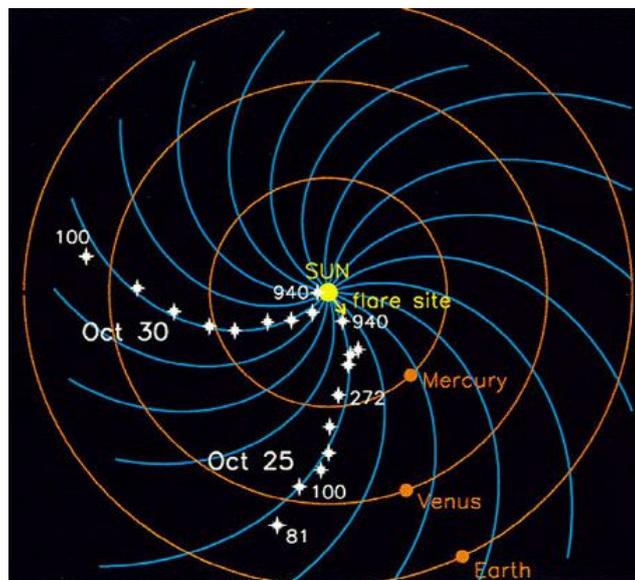


Figura 1.9 – Ilustração do Campo Magnético Interplanetário.
(Fonte: <http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/sun/imf.sp.html&edu=high>)

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

1.6 – EJEÇÕES CORONAIAS DE MASSA E EXPLOSÕES SOLARES “FLARES”.

As Explosões Solares (*Flares*) 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-recorrentes (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 Coronal de Massa (CME) foi observada, pela *Orbiting Solar Observatory*, OSO-7 (Howard et al., 1997). O termo “Ejeções Coronais de Massa” foi primeiramente usada por Gosling et al. (1975). Estudos mostraram que as CMEs muitas vezes estavam associadas a explosões solares e proeminências. A primeira idéia era de que as CMEs eram causadas pelas Explosões Solares (Dryer, 1982; Dryer e Wu, 1985). Uma CME 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. Existem diferenças entre os dois fenômenos. As Explosões Solares liberam energia em forma de aquecimento, sendo eventos locais de baixa escala, aquecendo o material a sua volta em poucos minutos. As CMEs liberam energia em forma de trabalho (Low, 1996) e, em comparação com Explosões Solares, são fenômenos de grande escala. São grandes bolhas de gás magnetizado que podem levar diversas horas para serem expelidas ao espaço.

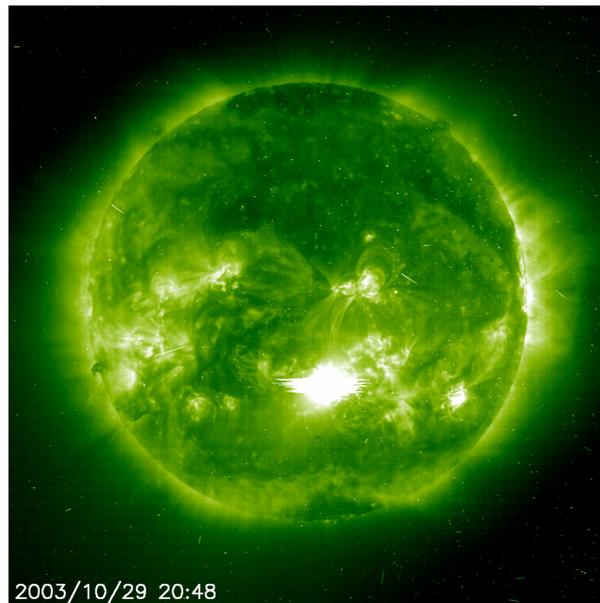


Figura 1.10 – Explosão solar (“flare”), o ponto mais brilhante da imagem obtida pelo instrumento EIT em 29 de outubro de 2003, a bordo do satélite SOHO, em 195 Å.

Assim, nem todas as CMEs estão associadas a explosões e, quando estão geralmente ocorrem antes delas (Gosling, 1993; Gosling 1997). Os intensos distúrbios geomagnéticos também passaram a ser associados às CMEs (Gosling, 1993) e não às explosões, colocando as CMEs em uma posição de destaque no estudo da física solar-terrestre. A discussão entre as relações entre CMEs e explosões culminou com a publicação do artigo *The solar flare myth* (o mito da explosão solar, Gosling, 1993).

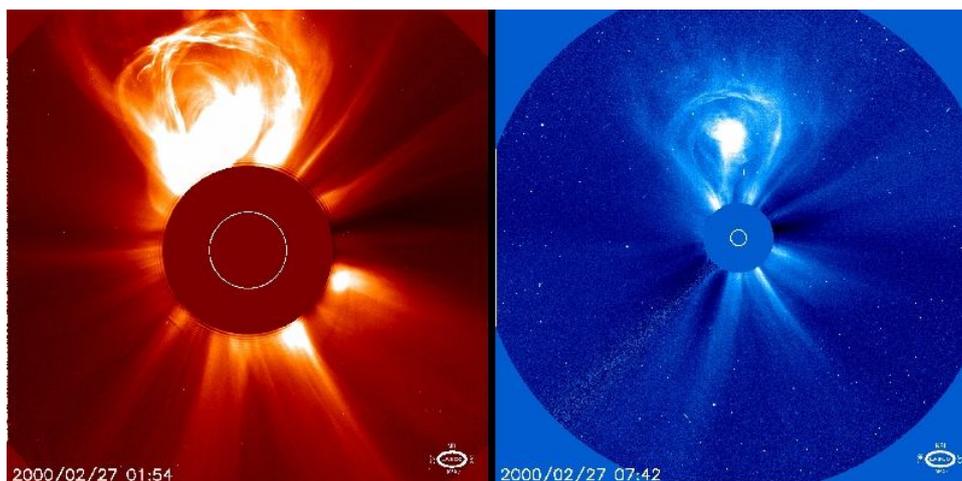


Figura 1.11 – Ejeção Coronal de Massa em 27 de fevereiro de 2000 fotografado por LASCO C2 e C3, satélite SOHO. (Fonte: <http://soho.nascom.nasa.gov/gallery/images/las02.html>)

CMEs estão diretamente relacionadas com o ciclo solar, elas têm frequência de 1 evento por semana no mínimo e de 2 a 3 eventos por dia nos períodos de máximo solar. A grande quantidade de material que carrega as linhas de campo magnético do Sol que é

ejetada para o meio interplanetário com uma CME é chamada de Ejeção Coronal de Massa Interplanetária (ICME). A interação da ICME com a magnetosfera terrestre causa distúrbios geomagnéticos devido à velocidade das partículas ejetadas do Sol ter várias centenas de km/s. As ICMEs geralmente estão acompanhadas de ondas de choque.

As Ejeções Coronais de Massa podem alterar 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.

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

1. Temperatura cinética de íons ou elétrons baixa para uma dada velocidade do Vento Solar. Esta característica baseia-se na expansão da estrutura;
2. 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;
3. Abundancia de Helio não usual.
4. Abundancia de outras espécies iônicas;
5. Feixes bidirecionais de elétrons supra termais 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;
6. Suave e intenso Campo Magnético interfere nos valores de parâmetro β de Plasma, que quando combinado com baixas temperaturas levam o parâmetro β a baixos valores. Este parâmetro é geralmente menor que 0,1;
7. 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;
8. Decréscimo do fluxo de Raios Cósmiticos;

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”.

1.7 – NUVENS MAGNÉTICAS

Segundo Klein e Burlaga (1982), uma Nuvem Magnética é definida como 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° , 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 $|B|$, B_x , B_y , B_z – 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 CMEs. A relação entre uma CMEs, 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 CMEs foi identificada como possível origem desta Nuvem Magnética por Gopalswamy et al. (1998).

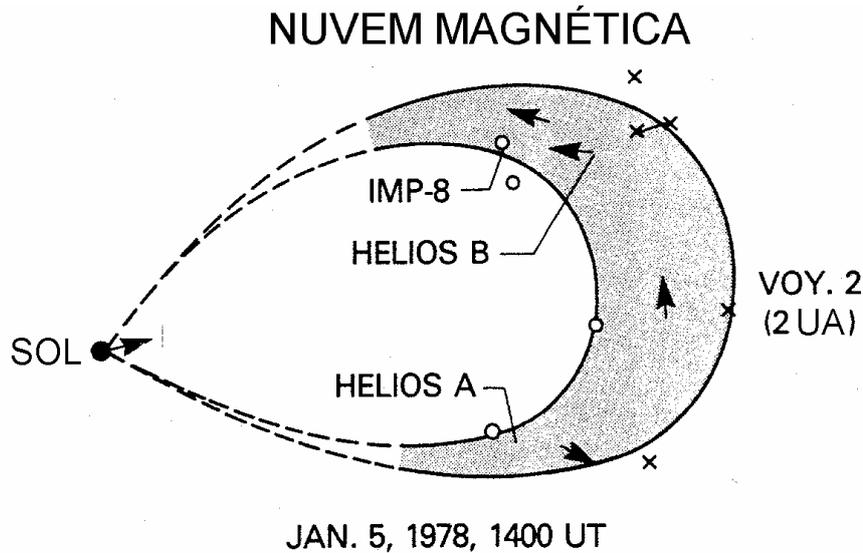


Figura 1.12 – Geometria de uma nuvem magnética.

Fonte: Adaptado de Burlaga et al. – 1990

Uma Nuvem Magnética observada por vários satélites possibilitou o estabelecimento de sua geometria, ilustrada no diagrama da Figura 1.12, 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.

1.8 – TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS E INDICE DST

Tempestades Geomagnéticas são eventos de grande perturbação no campo magnético Terrestre, onde a Terra fica vulnerável à precipitação de partículas energéticas do 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 à 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 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 a perturbação da componente horizontal do campo geomagnético H, é dada pela intensidade da corrente de anel magnetosférica. “Corrente de anel magnetosférica” é um sistema de correntes que circula a Terra no plano equatorial, que são geradas 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 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 como o Índice Dst é uma média da medida direta das perturbações causadas na magnetosfera, tomando-se a superposição dos dados de todas as estações, a diferença entre os maiores e menores valores corresponde ao índice Dst, 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 1.3 abaixo mostra a classificação das Tempestades Geomagnéticas de acordo com a intensidade. As intensidades seguem de acordo com critérios de Gonzalez et. al., 1994.

Tabela 1.3 – Classificação das Tempestades Geomagnéticas.

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

Uma tempestade Geomagnética caracteriza-se por três fases, a Figura 1.13 é apresentada antes da descrição das fases:

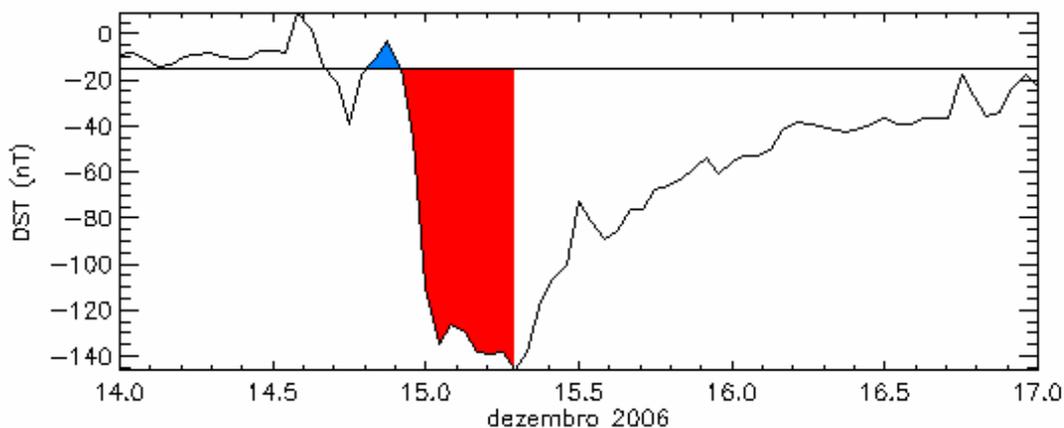


Figura 1.13 – Fases do decréscimo do índice Dst.

1. Um início súbito (**em azul**) - *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 (**em vermelho**) – *main phase* – é caracterizada por uma redução da intensidade do campo na Superfície Terrestre, essa redução está associada à intensificação da Corrente de Anel e consequentemente um alto decréscimo no índice Dst;

3. Uma fase de recuperação (**após vermelho**) – *recovery phase* – caracteriza-se pela diminuição e eliminação gradual da pressão, passando a predominar os processos de perda da Corrente de Anel.

1.9 - ORIGEM INTERPLANETARIA DE TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS

A Magnetosfera Terrestre é uma cavidade preenchida com um Plasma quente e rarefeito interagindo com um fluxo rápido de Plasma do Vento Solar. Devido ao campo Magnético da Terra intenso, o Vento Solar não pode penetrar diretamente na Magnetosfera e é desviada a sua volta. A Figura 1.14 é uma representação artística da magnetosfera terrestre interagindo com o vento solar.

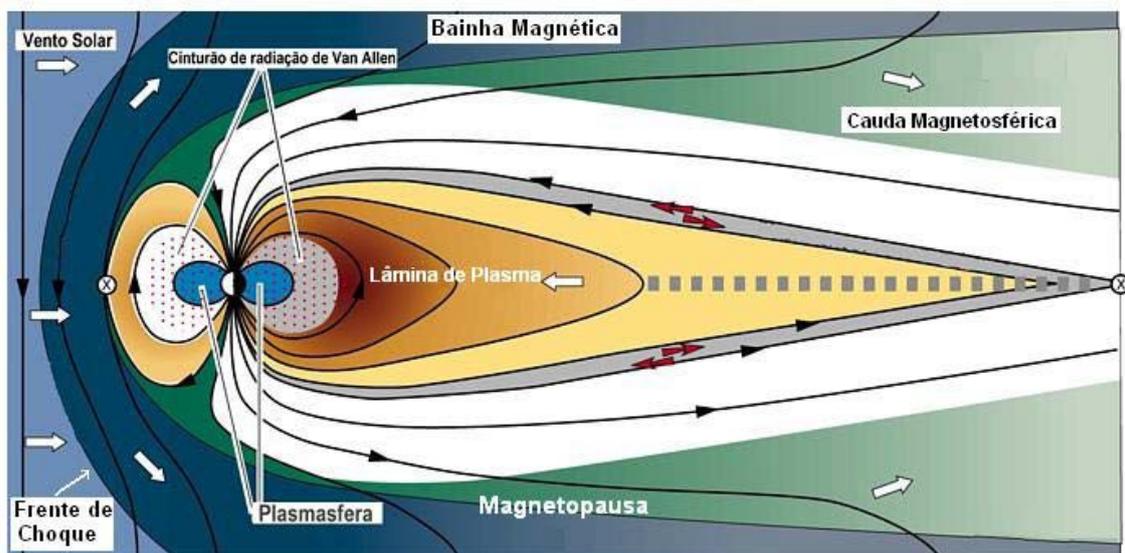


Figura 1.14 – Devido à interação com o vento solar, a magnetosfera toma a forma da figura acima. Fonte: Tese de mestrado – Aline de Lucas - ESTUDO DA DINÂMICA DA CORRENTE DE ANEL DURANTE A FASE PRINCIPAL DE SUPERTEMPESTADES MAGNÉTICAS.

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 1.15). 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, $Dst < -100 \text{ nT}$, é o de haver um campo elétrico interplanetário, $\vec{E} = \vec{V} \times \vec{B}_s$, na direção do anoitecer, maior que 5 mV/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.

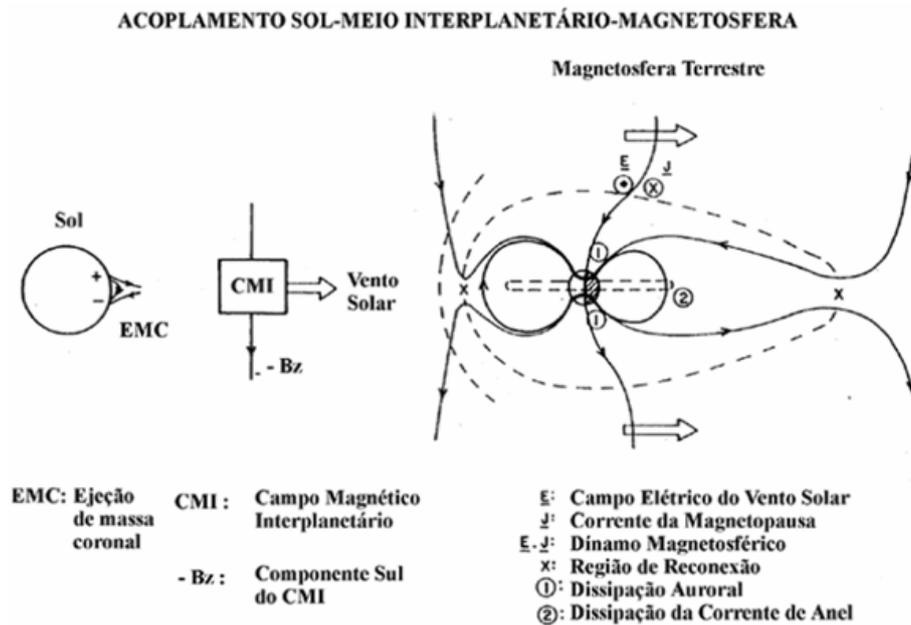


Figura 1.15 – Acoplamento entre Sol, Meio Interplanetário e magnetosfera Terrestre.
 Fonte: Adaptada de Gonzalez et al. (1994).

O processo de acoplamento proposto por Dungey (1961) 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 da “*plasmashet*”. Um bom entendimento das estruturas interplanetárias que causam Tempestades Geomagnéticas durante o máximo solar e próximo aos mínimos do ciclo deve conduzir a uma melhor definição de procedimentos de previsão as quais tem sido considerado como uma ferramenta fundamental para as pesquisas do Clima Espacial.

CAPÍTULO 2 – RAIOS CÓSMICOS, MUOS E CONE DE PERDAS

2.1 – RAIOS CÓSMICOS

Os raios cósmicos foram descobertos em 1912 por Vitor Hess. 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} 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.

2.2 – 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 seqüência de decaimentos são chamados neutrinos atmosféricos. Observando-se seqüência 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, em emulsões fotográficas, são muito curtos, mais 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.

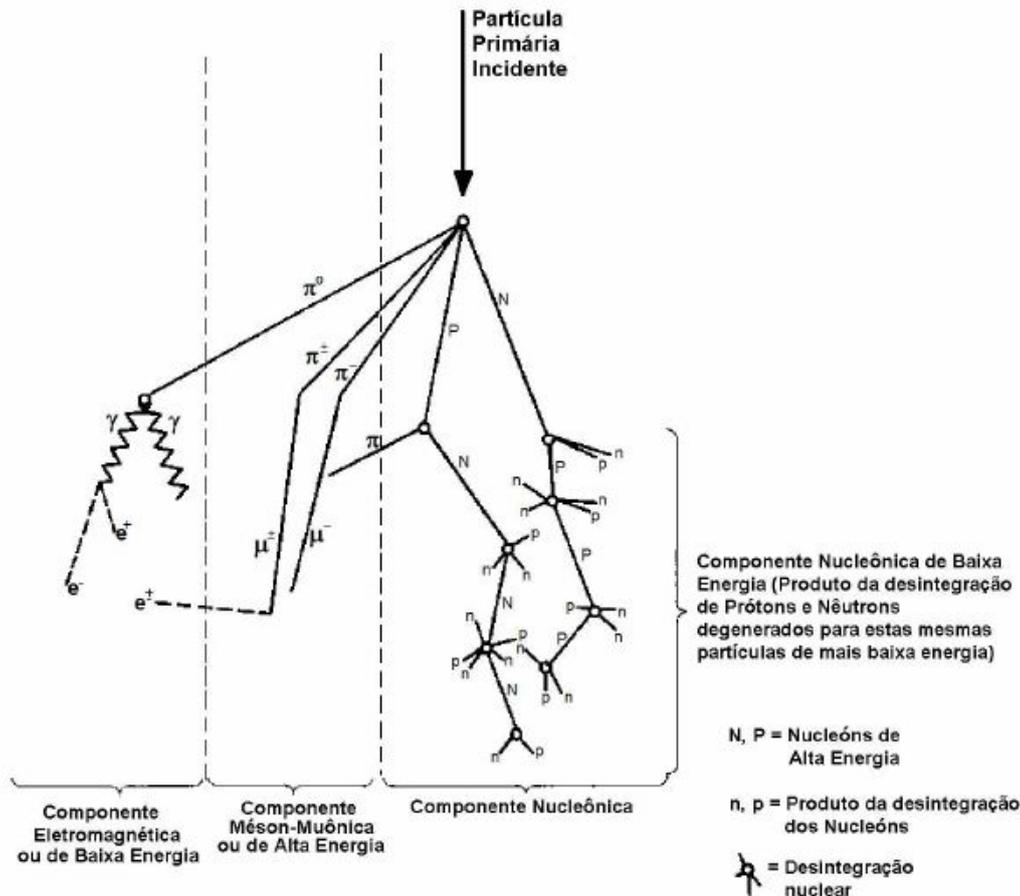


Figura 2.1 – Figura esquemática dos raios cósmicos que colidem com partículas da atmosfera Terrestre (chuveiro de raios cósmicos).
 FONTE: Modificado de Forbush (1993).

2.3 – CONE DE PERDAS

Antes de entender como o detector de raios cósmicos de alta energia – muons funciona, é preciso compreender fisicamente qual a relação entre raios cósmicos, estruturas CMEs e a Terra.

Anteriormente foi dito que muons são formados a partir da interação dos raios cósmicos com constituintes da atmosfera terrestre e que muons chegam à superfície da Terra. Além disso, os muons produzidos pelo decaimento conservam aproximadamente a direção do raio cósmico incidente, diferentemente do neutrino.

É bem estabelecido que uma CME acompanhada de um forte choque faz com que raios cósmicos vindo da direção da CME sejam retidos atrás do choque e um detector de raios cósmicos terrestre observa a diminuição na intensidade de raios cósmicos (K. Munakata, 2005) na ocorrência de tempestades magnéticas chamada de “decréscimo de Forbush”. Um aumento na anisotropia, ou seja, diferentes em direções diferentes, pode ser observado em alguns eventos antes do choque chegar a Terra, porque os raios cósmicos viajam muito mais rápido do que o choque e carrega a

informação sobre a rarefação do fluxo de raios cósmicos distantes, caracterizando o “cone de perdas” (K. Munakata et al., 2005). A ilustração artística do cone de perdas está na Figura 2.2 abaixo.

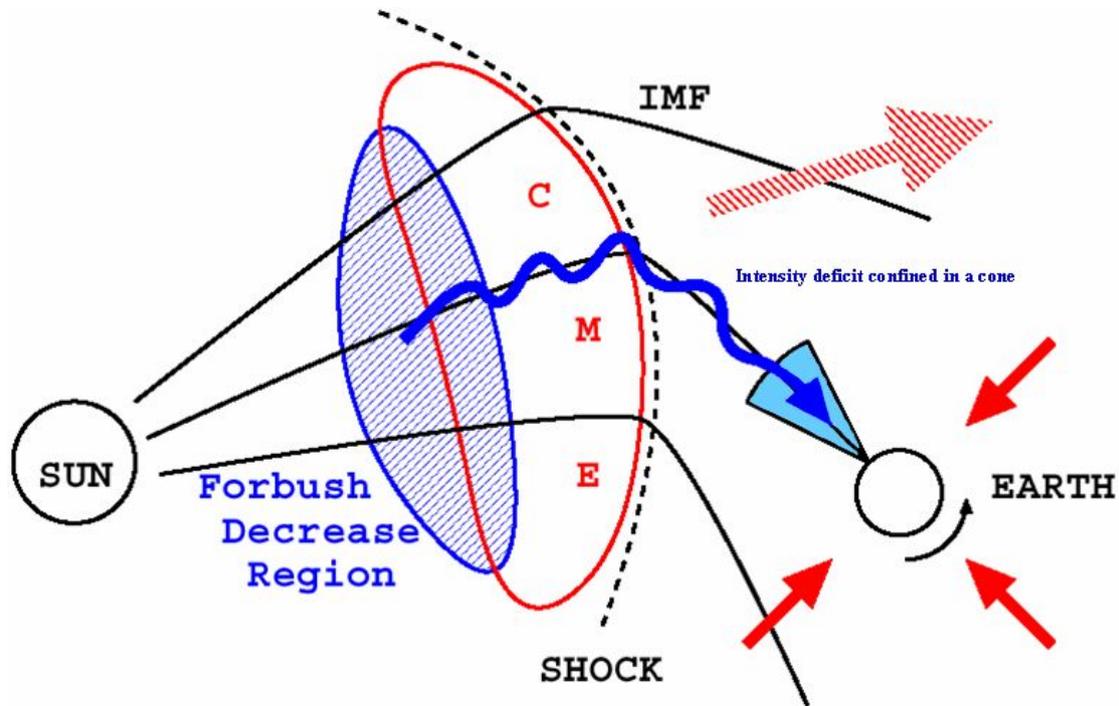


Figura 2.2 – Representação artística do cone de perdas.
Fonte: Rufolo.

Em análises de dados posteriores será possível ver que existe resposta na ocorrência de tempestades geomagnéticas na forma de diminuição no fluxo de raios cósmicos. O que é diferente de ver algo antes da ocorrência de tempestades, no intuito de prever a tempestade. Outro tópico importante é que é preciso mais de um detector Terrestre para medir o fluxo de raios cósmicos na Terra, por isso é importante uma rede mundial detectores que será em seções posteriores comentada.

CAPÍTULO 3 – TELESCÓPIO MULTIDIRECIONAL DE RAIOS CÓSMICOS DE ALTA ENERGIA – MUONS. PROTÓTIPO E EXPANDIDO.

As estruturas geofetivas 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 do Vento Solar, temperatura, número de partículas / cm³, intensidade e as componentes do CMI. Quando há uma tempestade o satélite com seus dados a prevê algo entre 40 minutos à 1 hora, dependendo da velocidade da estrutura interplanetária que irá causar a tempestade.

Existe também o satélite SOHO da NASA, o qual observa o Sol com diversos instrumentos ópticos. A fim de melhorar este tempo de previsão, são utilizados detectores terrestres. Mas de que modo pode-se 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 CMEs blindam os raios cósmicos vindo nesta direção, foram desenvolvidas técnicas para detectar partículas de alta energia, uma delas é usar plásticos cintiladores para sua detecção.

A importância de se estudar previsões de tempestades geomagnéticas consiste em manter a Astronáutica segura oferecendo mais segurança aos astronautas em órbita terrestre. Também é essencial para manter os sistemas de memória e informáticos dos muitos satélites e evitar danos em redes de energia elétrica na Terra. Em 1989 no Canadá houve um grande *black-out* de energia elétrica devido a uma intensa tempestade geomagnética. O aumento na intensidade de corrente de anel induz correntes elétricas em transformadores próximos ao mar sobrecarregando os sistemas elétricos. 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 (Dal Lago, 2003). A Figura 3.1 ilustra alguns efeitos das tempestades geomagnéticas.

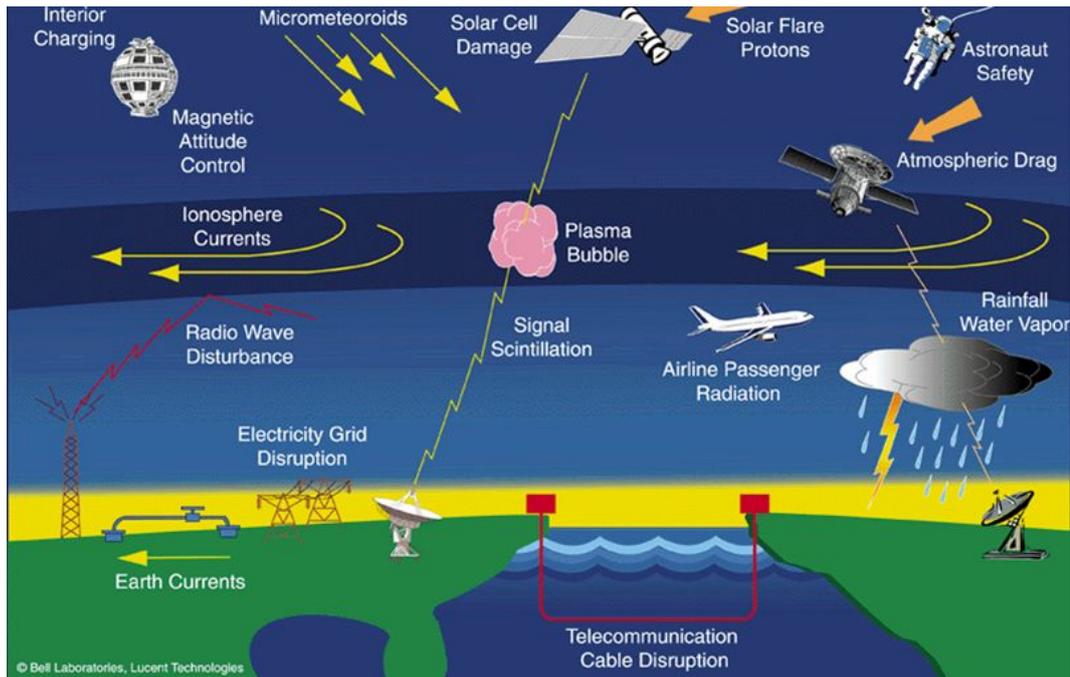


Figura 3.1 – Ilustração de alguns efeitos de perturbações geomagnéticas.
 Fonte: <http://spaceweathercenter.org/>

Atualmente pesquisa-se um método de previsão de tempestades através de imagens (STEREO). Utilizando o satélite SOHO da NASA é possível ter imagens bidimensionais das estruturas interplanetárias, limitando muito a visualização das estruturas no meio interplanetário. Lançado dia 25 de outubro de 2006, a missão STEREO (*Solar TERrestrial RELations Observatory*) tem como objetivo, com dois satélites ao redor do Sol em direções contrárias ter uma visão em três dimensões das estruturas interplanetária e vê-las evoluindo no meio interplanetário. Então ficam para o futuro novos métodos de previsão de tempestades utilizando os satélites da missão STEREO.

3.1 – 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 3.2. 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^2 e espessura de 5 cm. Os detectores estão dispostos na forma de quadrado de lado 2m^2 em cada camada. Cada detector é identificado por um 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.

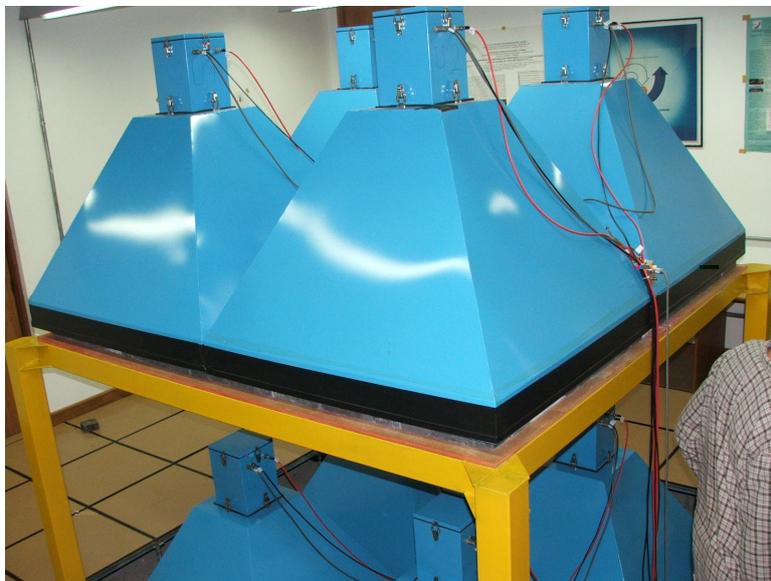


Figura 3.2 – Foto de protótipo telescópio detector de muons instalado no OES/CRS/CIE/INPE – MCT mostrando em azul os 8 detectores em duas camadas.

Existe 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 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. 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 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.

Tabela 3.1 – Dados específicos do telescópio protótipo.

Telescópio direcional	Combinação de detectores	Contagem horária (fator 10^4)	Erro de Poisson (%)	P_m (GV)
Vertical (V)	U1-L1 U2-L2 U3-L3 U4-L4	39	0,16	53
30° Norte (N)	U1-L3 U2-L4	11	0,30	58
30° Sul (S)	U4-L2 U3-L1	11	0,30	57
30° Leste (L)	U2-L1 U4-L3	11	0,30	59
30° Oeste (O)	U1-L2 U3-L4	11	0,30	56
39° Nordeste (NE)	U2-U3	4,7	0,46	64
39° Noroeste (NO)	U1-U4	5,4	0,43	61
39° Sudeste (SE)	U4-L1	5,3	0,43	63
39° Sudoeste (SO)	U3-L2	5,5	0,43	60

A Tabela 3.1, com exceção feita para o vertical, as componentes estão acompanhados de um valor de ângulo (em graus). Esse ângulo é a inclinação do dado componente em relação à direção vertical. Percebe-se que quanto menor é a contagem de muons para um dado telescópio, maior é o seu ângulo de inclinação. Isso é explicado pela rigidez dielétrica da atmosfera (dado em GV), quanto mais inclinado o raio cósmico chega à atmosfera maior é a energia mínima que o mesmo necessita para atravessar a atmosfera e alcançar a superfície terrestre.

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.

3.2 – TELESCÓPIO EXPANDIDO

O telescópio expandido (Figura 3.3) 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 m² 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 do 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 3.3 – Fotos do telescópio detector de muons expandido em dezembro de 2005.

Algumas informações do telescópio expandido são dados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Dados específicos do telescópio expandido.

Telescópio direcional	Número de sub-telescópios	Contagem horária (fator 10^6)	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:

- tomando a separação entre a camada inferior e superior de 1,73m;
- 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 3.2. 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 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 as direções de incidência conforme dado na tabela 3.2, 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’.

3.2.1 – FONTE DE ALIMENTAÇÃO, SISTEMA DE PROCESSAMENTO E ARMAZENAGEM DE DADOS.

O 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. A Figura 3.4 apresenta o sistema de processamento de sinais provenientes das Fotomultiplicadoras (PMTs) e as fontes de alimentação de todo o detector.

Na porção superior dos racks da Figura 3.4 estão as fontes de alta e baixa tensão. A fonte de alta tensão (que alimenta as PMTs) é do tipo DC (corrente contínua) controlado e monitorado por computador de tensão máxima de 1500 V. A fonte de baixa tensão alimenta os 56 amplificadores de corrente (placas eletrônicas). Na parte inferior do rack no retângulo vermelho estão os potenciômetros para ajuste individual

das tensões aplicadas às PMTs. À direita potenciômetros auxiliares, caso algum potenciômetro no retângulo vermelho venha a falhar. Um pequeno aumento de tensão aumenta a contagem das PMTs (Fotomultiplicadoras) 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.



Figura 3.4 – Fontes de alimentação e sistema de processamento de sinais do telescópio detector de muons.

O computador utilizado para gravação e monitoramento do sistema, tanto local como remotamente está na Figura 3.5.

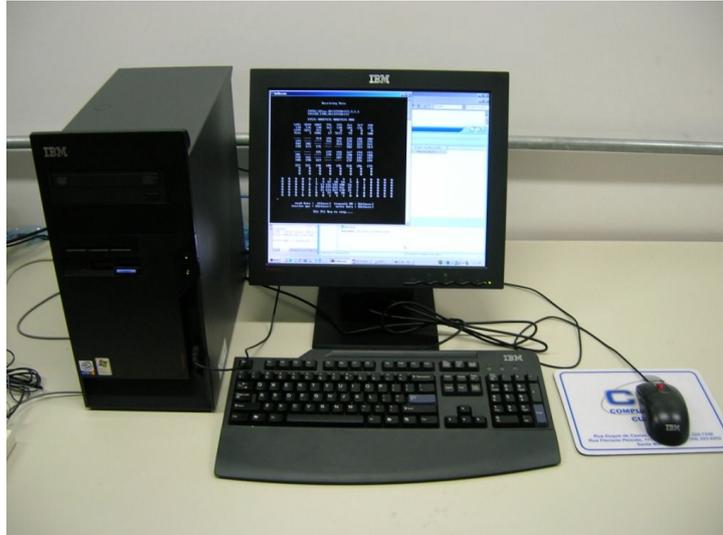


Figura 3.5 – Computador utilizado para gravação dos dados.

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 com o horário disponível no sistema de posicionamento global GPS e 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.

3.3 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO TELESCÓPIO DE RAIOS CÓSMICOS

Antes foi visto os princípios físicos para análise de raios cósmicos com muons, que foi o cone de perdas e o decréscimo de Forbush. Agora começa o estudo técnico de como se “vê” o fluxo de raios cósmicos ao redor da Terra. Para fazer isso se deve lavar em conta a energia do raio cósmico e sua direção de incidência. Para se estudar ciência é preciso ter conhecimento em instrumentação, ou seja, a física experimental.

3.3.1 - CINTILADORES

Os plásticos cintiladores utilizados no Telescópio de Raios Cósmicos do OES/CRS/CIE/INPE – MCT são produzidos pela companhia japonesa C. I. Industrial Company Co. Todos cintiladores tem dimensões 25x25x10cm, sendo que para um detector de área 1m² são necessários 4 cintiladores dispostos lado a lado. Suas principais características são dadas na Tabela 3.3. Os cintiladores do Telescópio de Raios Cósmicos – muons estão na Figura 3.6.

Tabela 3.3 – Principais características do Telescópio de Raios Cósmitos – muons.
 Fonte: Munakata, K.

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

PLÁSTICO
CINTILADOR

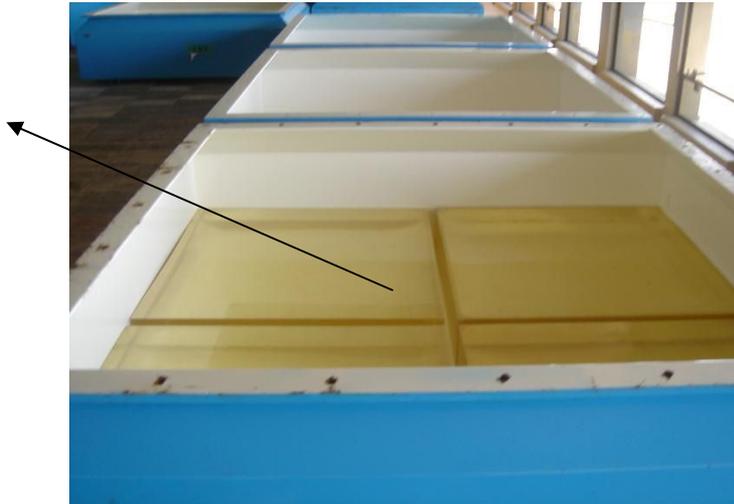


Figura 3.6 – Quatro cintiladores lado a lado formando uma área de superfície de 1m². Os cintiladores estão colocados em caixa de metal com espessura de 1,6 mm. Foto tirada em 22/11/2006.

3.3.2 – FOTOMULTIPLICADORAS (PMT)

Para que seja possível detectar muons é preciso algum instrumento que transforme energia de radiação em sinal elétrico para fazer a mediada da contagem. Baseado no efeito fotoelétrico utiliza-se as chamadas fotomultiplicadoras, sigla PMT (do inglês, photomultiplier tube). O efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons de um material ao qual incide uma radiação, a luz por exemplo.

No Telescópio de Raios Cósmitos - muons (tanto no protótipo como no expandido) é utilizada fotomultiplicadora fabricada pela *Hamamatsu Photonics* modelo nº. R877. Trata-se de um modelo projetado para contagem por cintilação do tipo *head-on*. Maiores detalhes dessa fotomultiplicadora são dados na Tabela 3.4 e a Figura 3.7 mostra a fotomultiplicadora instalada no telescópio expandido.

Tabela 3.4 – Dados específicos das fotomultiplicadoras.

Parâmetro	Descrição/Valor	Unidade
Resposta Espectral	300 a 650	Nm
Comprimento de onda com máxima resposta	420	Nm
Número de multiplicadores de elétrons	10	-
Máxima tensão fornecida entre cátodo e ânodo	1500	Vdc
Sensibilidade de radiação do cátodo a 25°C, 420 nm	80	MA/W
Tempo de trânsito dos elétrons a 25°C	90	ns
Ganho típico a 25°C	5E5	-



Figura 3.7 – Foto da fotomultiplicadora utilizada no detector de raios cósmicos – muons.

Dentre os diversos dispositivos fotossensíveis disponíveis no mercado, as fotomultiplicadoras, são dispositivos versáteis com resposta extremamente rápida e altíssima sensibilidade. As fotomultiplicadoras, ou células fotoelétricas, são tubos de vidro de vácuo. Dentro deste tubo existe um foto-cátodo (negativo) recoberto por material que absorve a luz e emite elétrons, que são acelerados em direção a um ânodo (positivo). Estes elétrons se chocam com dinodos que estão progressivamente a potenciais mais altos, e em cada um destes um elétron desloca 3 a 4 novos elétrons, que são acelerados até o próximo dinodo. Desta maneira, após 10 estágios, os elétrons foram multiplicados por um fator de $4^{10}=10^6$. Assim, a luz incidente produz uma corrente que pode ser medida eletronicamente. O fator de amplificação é extremamente sensível às mudanças na tensão (cerca de 1kV), que precisa ser altamente estabilizada. Por isso é controlada por potenciômetro, visto na seção anterior. Ao aumentar a tensão na

fotomultiplicadora, conseqüentemente a contagem de partículas aumenta consideravelmente. Portanto a partir de tensões bem ajustadas é possível “ver” a modulação de raios cósmicos. A Figura 3.8 ilustra a fotomultiplicadora.

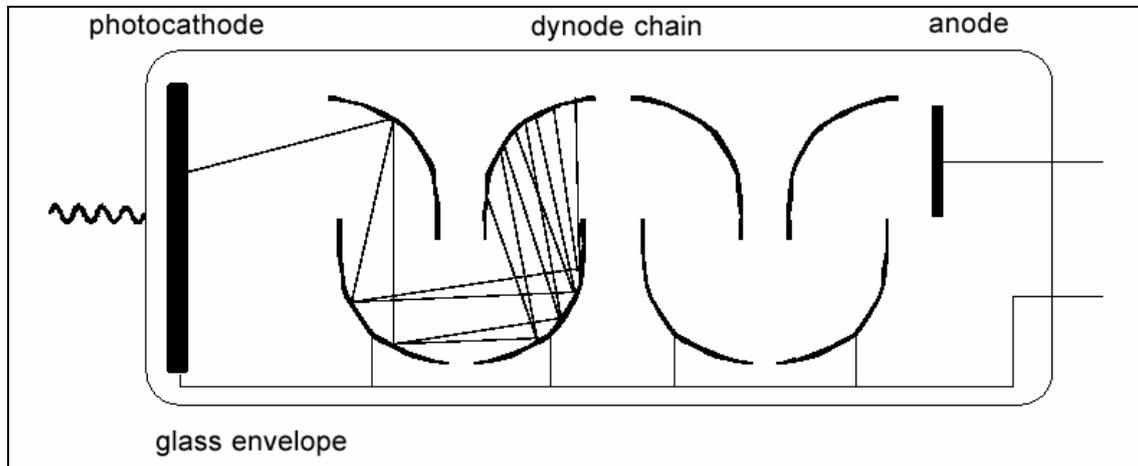


Figura 3.8 – Esquema artístico de uma fotomultiplicadora.

Fonte: <http://holly.orc.soton.ac.uk/~wsb/phys1004/index.html>

Em razão da emissão-secundária de multiplicação, as PMTs possibilitam sensibilidades extremamente altas e ruído extremamente baixo, se comparado a outros dispositivos fotosensíveis 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.

O fotocátodo é uma superfície fotoemissiva que consiste usualmente de metais alcalinos com baixa função trabalho. Dentre os diversos materiais utilizados, pode-se citar: liga prata-oxigênio-césio (Ag-O-Cs), liga gálio-arsênio (Ga-As), liga Antimônio-Césio (Sb-Cs). Para se realizar contagem por cintilação, como é o caso do telescópio cintilador de muons, costuma-se utilizar material bialcalino formado pelas ligas Antimônio-Rubídio-Césio (Sb-Rb-Cs) e Antimônio-Potássio-Césio (Sb-K-Cs). Sua resposta está na faixa visível e ultravioleta.

Fotoelétrons emitidos pelo fotocátodo são acelerados por um campo elétrico de forma a colidirem com o primeiro dinodo e produzirem emissão secundária de elétrons. Estes elétrons secundários alcançam o próximo dinodo e produzirem uma emissão secundária de elétrons. Repetindo esse processo sobre sucessivos estágios de dinodos obtém-se elevada amplificação de corrente. Dessa forma, uma pequena corrente

fotoelétrica do fotocátodo pode produzir uma alta corrente de saída no ânodo do tubo fotomultiplicador.

Ganho (Amplificação de corrente) é simplesmente a relação entre a corrente de saída do ânodo e a corrente fotoelétrica do fotocátodo. De um modo ideal, o ganho de uma fotomultiplicadora com n dinodos é uma taxa de emissão secundária δ por estágio é δ^n . A taxa de emissão secundária de elétrons é dada por $\delta = A \cdot E^\alpha$ onde A é uma constante, E é a tensão entre dois estágios consecutivos de multiplicadores de elétrons e α é um coeficiente determinado pelo material e pela geometria do dinodo. Em geral α está entre 0,7 e 0,8.

Quando uma tensão V é aplicada entre o cátodo e o ânodo de uma fotomultiplicadora possuindo n estágios de dinodo, o ganho μ é dado por:

$$\mu = \delta^n = (A \cdot E^n) = \left\{ A \cdot \left(\frac{V}{n+1} \right)^\alpha \right\}^n = \frac{A^n}{(n+1)^{\alpha n}} \cdot V^{\alpha n} K \cdot V^{\alpha n}$$

onde K é uma contante.

Visto que fotomultiplicadoras geralmente possuem entre 9 e 12 dinodos, a saída do ânodo é diretamente proporcional a nona até a décima potência da tensão de alimentação. Isso mostra que uma fotomultiplicadora é extremamente susceptível a flutuações na fonte de tensão. Dessa forma, a fonte de tensão deve ser extremamente estável e prover o mínimo de *ripple* e coeficiente de temperatura.

Uma pequena quantidade de corrente circula em uma fotomultiplicadora mesmo quando é operada em completo estado de escuro. Esta corrente de saída é chamada **corrente “de escuro” do ânodo** e se trata de fator crítico na determinação do limite inferior de determinação de luz.

A corrente “de escuro” originária de emissões termiônicas pode ser reduzida ao se reduzir a temperatura ambiente de um tubo fotomultiplicador. A sensibilidade de um tubo fotomultiplicador também varia com a temperatura, mas estas alterações são menores que os efeitos da temperatura na corrente “de escuro”, dessa forma, resfriar uma fotomultiplicadora irá aumentar significativamente sua razão sinal-ruído.

Em razão destes fatores a sala onde se encontra o detector de muons tem sua temperatura mantida aproximadamente constante em 20° através de aparelhos de ar condicionado.

3.4 – REDE DE DETECTORES INTERNACIONAL

Munakata e colaboradores analisaram os raios cósmicos precursores de tempestades geomagnéticas registrados por uma rede de detectores de muons de superfície terrestre em Nagoya (Japão), Hobart (Austrália) e Mawson-PC (Antártida) (Figura 3.9). O número total de telescópios direcionais em uso neste artigo (Munakata et al, 2000) é 30 para o período posterior à 1992, início da operação de Hobart, e 17 para o período anterior, todos de Nagoya. A rigidez média (P_m) dos raios cósmicos primários registrados varia de 56 a 119 GV e o erro estatístico de contagem horária é estimado estar entre 0.06% e 0.32%. Os símbolos (quadrados, triângulos e losangos) na Figura 3.10 mostram a direção de visão assintótica para uma partícula incidente para cada telescópio direcional com rigidez P_m como determinado por um código de trajetória da partícula (Lin et al., 1995). As linhas que atravessam os símbolos representam as extensões de direção de vista para rigidez de partículas entre P_1 e P_2 que concentram 80% da energia central de resposta de cada telescópio. Para diferentes telescópios, P_1 varia entre 16 e 38 GV, enquanto P_2 varia de 356 a 890 GV.

A rede internacional de detectores de muons apresentava uma falha sobre o Atlântico e a Europa, mostrado na Figura 3.10, que também mostra a posterior cobertura após a expansão da rede de Telescópios com a instalação de um detector protótipo em São Martinho da Serra (Figura 3.11 – Bolinhas abertas).

Munakata e co-autores sugerem que a rede de detectores de muons pode ser uma boa ferramenta para a previsão do clima espacial. Detectores a serem instalados para preencher a lacuna foram urgentemente requeridos para o melhor entendimento dos precursores e para previsão do Clima Espacial. Conforme afirma Munakata em seu artigo em 2000, um único detector multidirecional estrategicamente situado no sul do Brasil permitirá grande aumento a cobertura do céu pela rede de detectores de muons (Munakata et al., 2000).

Telescope Name	Hourly Count, 10 ⁴ cph	Count Error %	P_{res} , GV
Nagoya (35.1°N, 137.0°E)			
V	276	0.06	60
N	125	0.09	66
S	123	0.09	64
E	120	0.09	67
W	126	0.09	63
NE	58	0.13	73
NW	62	0.13	68
SE	58	0.13	71
SW	60	0.13	67
N2	61	0.13	87
S2	59	0.13	85
E2	58	0.13	91
W2	61	0.13	84
N3	17	0.24	112
S3	17	0.24	111
E3	17	0.24	119
W3	18	0.24	110
Hobart (42.9°S, 147.4°E)			
V	77	0.11	56
N	27	0.19	62
S	28	0.19	62
E	27	0.19	62
W	27	0.19	62
NE	11	0.30	67
NW	10	0.32	67
SE	11	0.30	67
SW	11	0.30	67
Mawson-PC (67.6°S, 62.9°E) ^b			
NL	27	0.19	72
NH	18	0.24	106
SL	27	0.19	72
SH	18	0.24	106

Figura 3.9 – Tabela com principais informações dos telescópios respectivamente Nagoya, Hobart e NAWSON-PC. Fonte: Munakata et al, 2000.

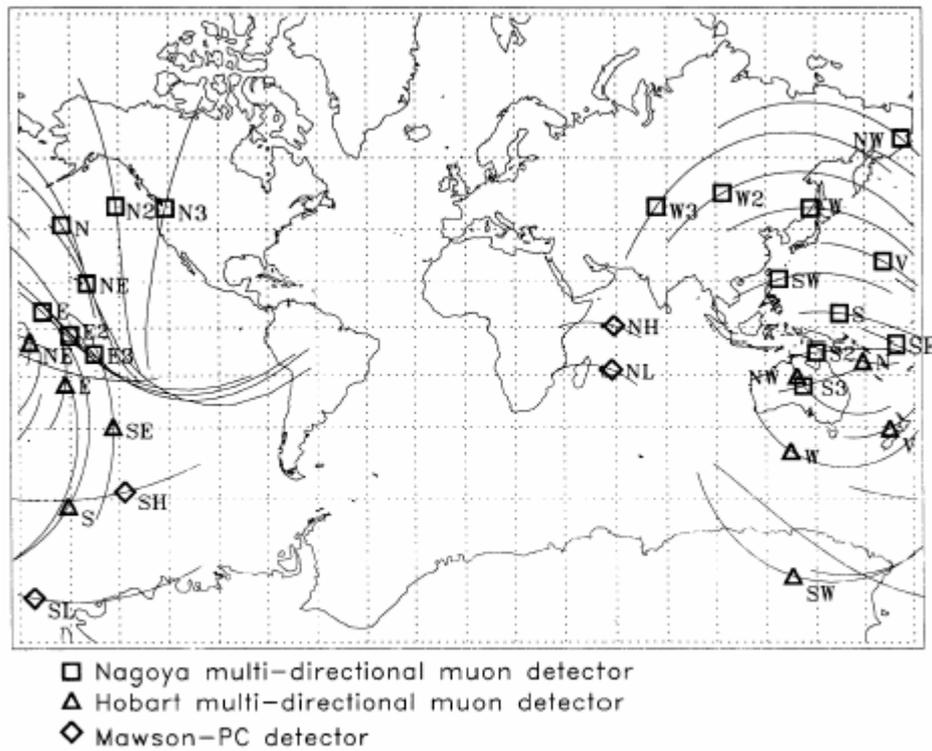


Figura 3.10 – Antiga falha existente na região do Atlântico e Europa. Fonte: Munakata et al, 2000.

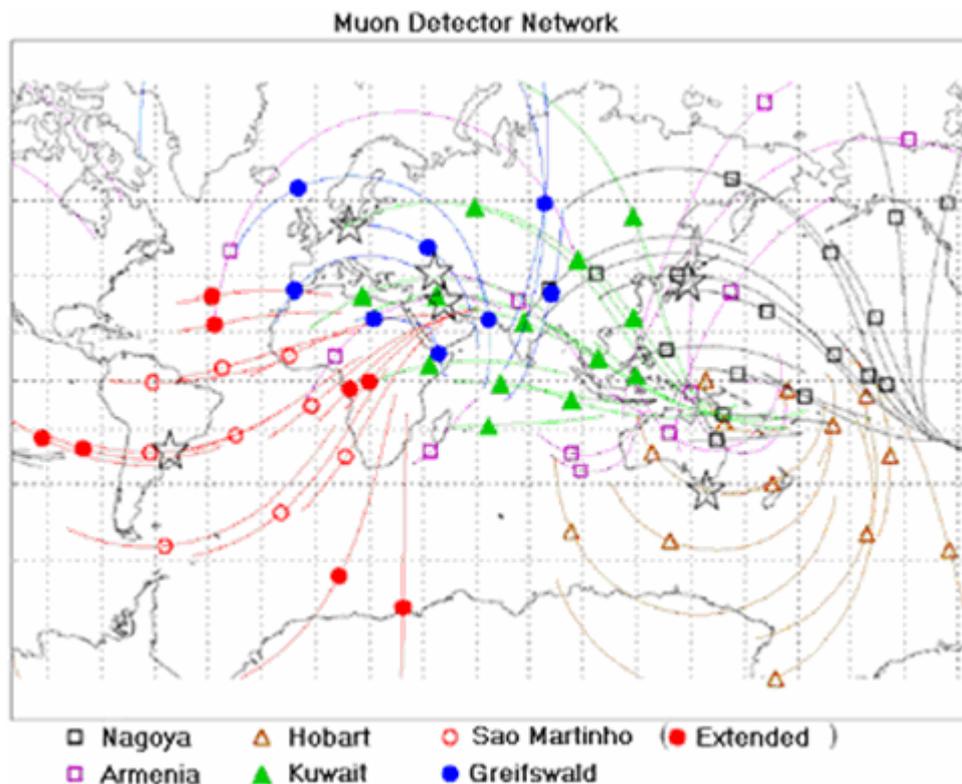


Figura 3.11 – Atual rede de telescópio e as diferenças direcionais entre o telescópio protótipo e expandido. Bolinha aberta representa as direções do protótipo e bolinhas fechadas representam as direções do expandido.

CAPÍTULO 4 – ANÁLISE DE DADOS DO TELESCÓPIO PROTÓTIPO E DO TELESCÓPIO EXTENDIDO

Os dados estudados foram organizados em gráficos de forma a permitir identificação de estruturas interplanetárias geofetivas na ocorrência de tempestade geomagnética em resposta com decréscimo na contagem de muons. Os gráficos e programas foram desenvolvidos com auxílio de programação em IDL (*Interactive Data Language*).

Foram usados dados do detector de muons protótipo e expandido. Também foram obtidos dados do satélite ACE localizado no ponto lagrangeano L1. Dados do Índice Dst foram retirado do site <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/>,com.

A variação de contagens de muons Δ é representada em forma de percentagem para cada telescópio: $\Delta(\%) = \left[\frac{X - Y}{Y} \right] \times 100$ 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.

4.1 – ANÁLISE DE DADOS PARA O TELESCÓPIO PROTÓTIPO

Para fins de comparação de dados com relação à ampliação do protótipo, a tempestade geomagnética ocorrida entre os dias 11 a 13 em abril de 2001 de acordo com critérios de Gonzalez et al. (1994) para o índice Dst a tempestade é intensa. O Dst chega a -340 nT. Pode-se notar que a estrutura é identificada pelo satélite ACE, no qual repentinamente ocorrem grandes saltos perturbados nos parâmetros como temperatura, velocidade do vento solar, número de partículas e intensidade do campo magnético. Minutos depois a estrutura chega a Terra causando tempestade geomagnética intensa. Acompanhado com o decréscimo de Dst, a componente vertical do telescópio registra um decréscimo de aproximadamente 2%. Por mais que detectores de nêutrons consigam ver maiores decréscimos, o objetivo do telescópio de muons é registrar a modulação de raios cósmicos de alta energia ~50GeV que são oriundos de fora do sistema solar. Também sabendo a direção dos muons, é possível fazer uma estimativa da configuração da estrutura. A anisotropia da intensidade de raios cósmicos, ou seja, a perturbação do meio interplanetário indica uma assimetria do fluxo de raios cósmicos, pode fornecer

algum método para fazer previsão de tempestades, como o cone de perdas. Mas este é um método mais complicado que necessita de dados de todos os telescópios da rede mundial dispostos na superfície da Terra. A Figura 4.1 mostra dados do satélite ACE correlacionados com parâmetros do meio interplanetário com o índice Dst e a componente vertical do Telescópio protótipo.

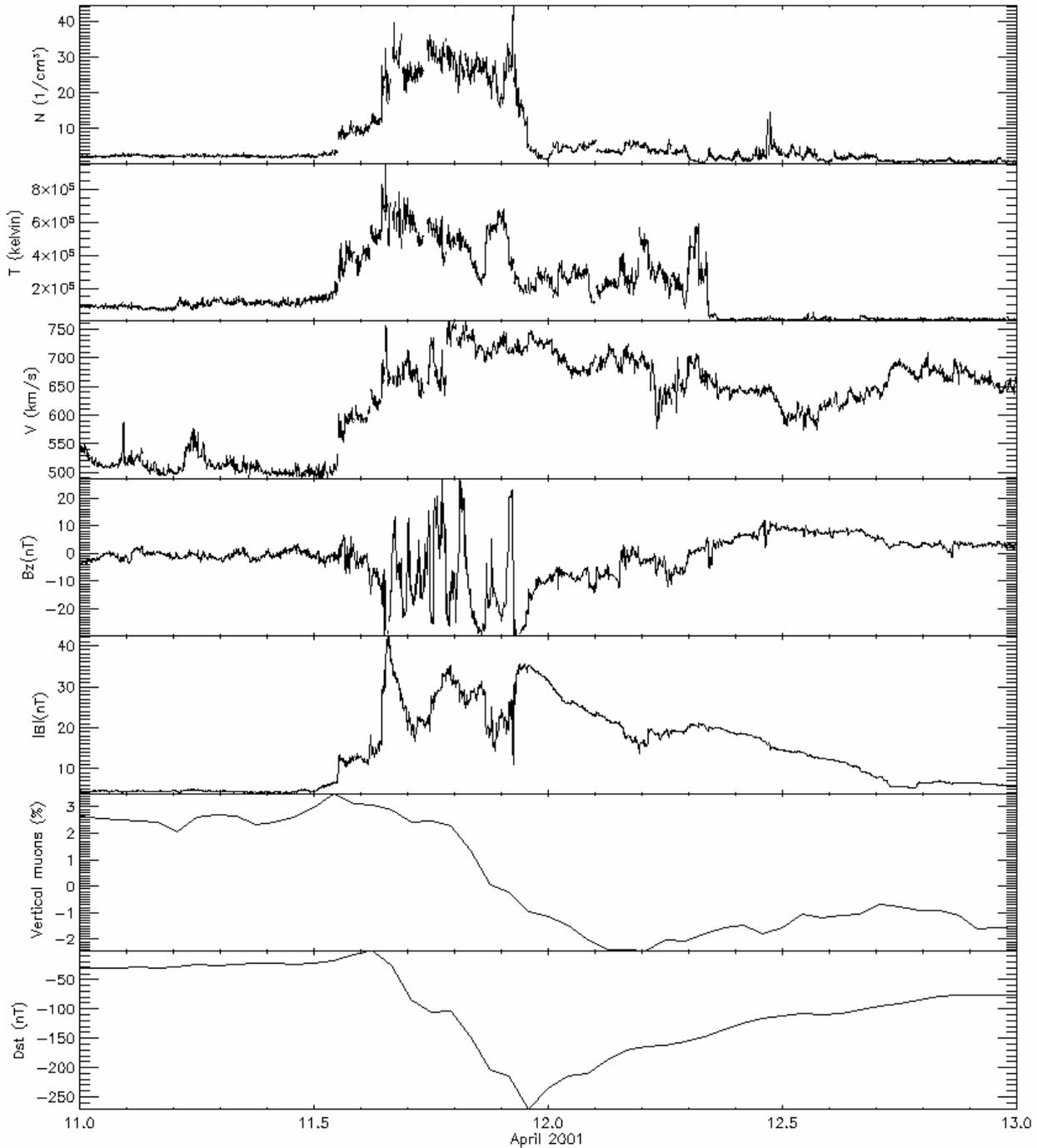


Figura 4.1 – Aumento nos parâmetros indicam a chegada da frente de choque primeiro no satélite ACE, minutos depois o Índice Dst e muons.

O protótipo tinha nove direções ou canais. A Figura 4.2 apresenta os gráficos das direções: vertical, norte, sul leste e oeste. A componente vertical aparece novamente para comparação.

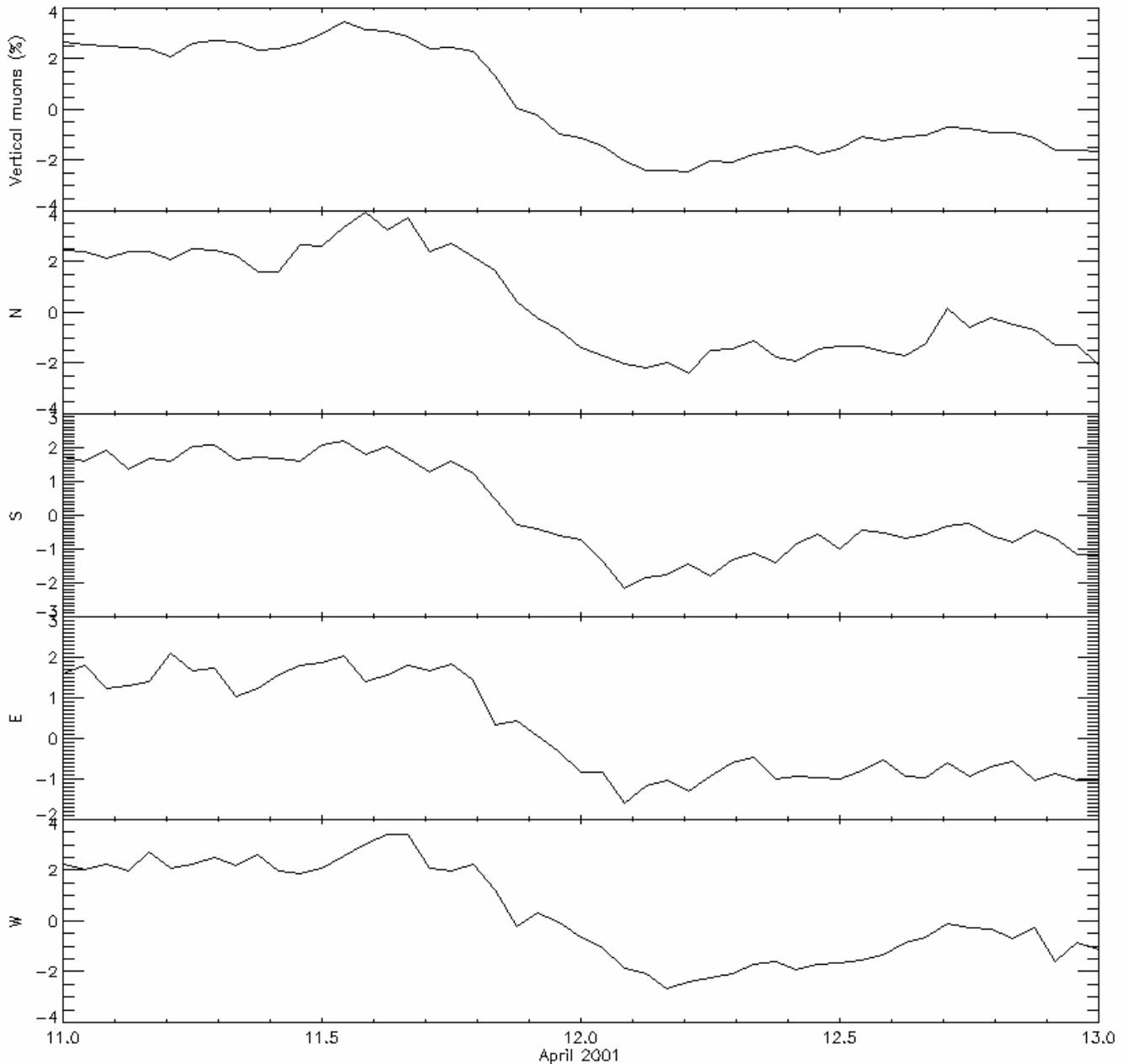


Figura 4.2 – Gráficos das componentes N, S, E e W.

As outras direções são nordeste, noroeste, sudeste e sudoeste. Pode-se ver claramente o decréscimo de muons (Decréscimo de Forbush). A Tabela 4.1 apresenta os erros na contagem horária de muons. Estes valores correspondem aos dados do dia 11 de abril de 2001, às 4h da manhã antes da tempestade que caracteriza um fluxo de muons isotrópico. A resolução temporal é de uma hora permitindo um erro na contagem de 0.16%. Pequeno comparado com o decréscimo de 2 % em tempestades

geomagnéticas. A última coluna representa a rigidez na intensidade de muons em São Martinho da Serra, que é a energia mínima para que o raio cósmico deva ter para ser considerada muon na direção indicada.

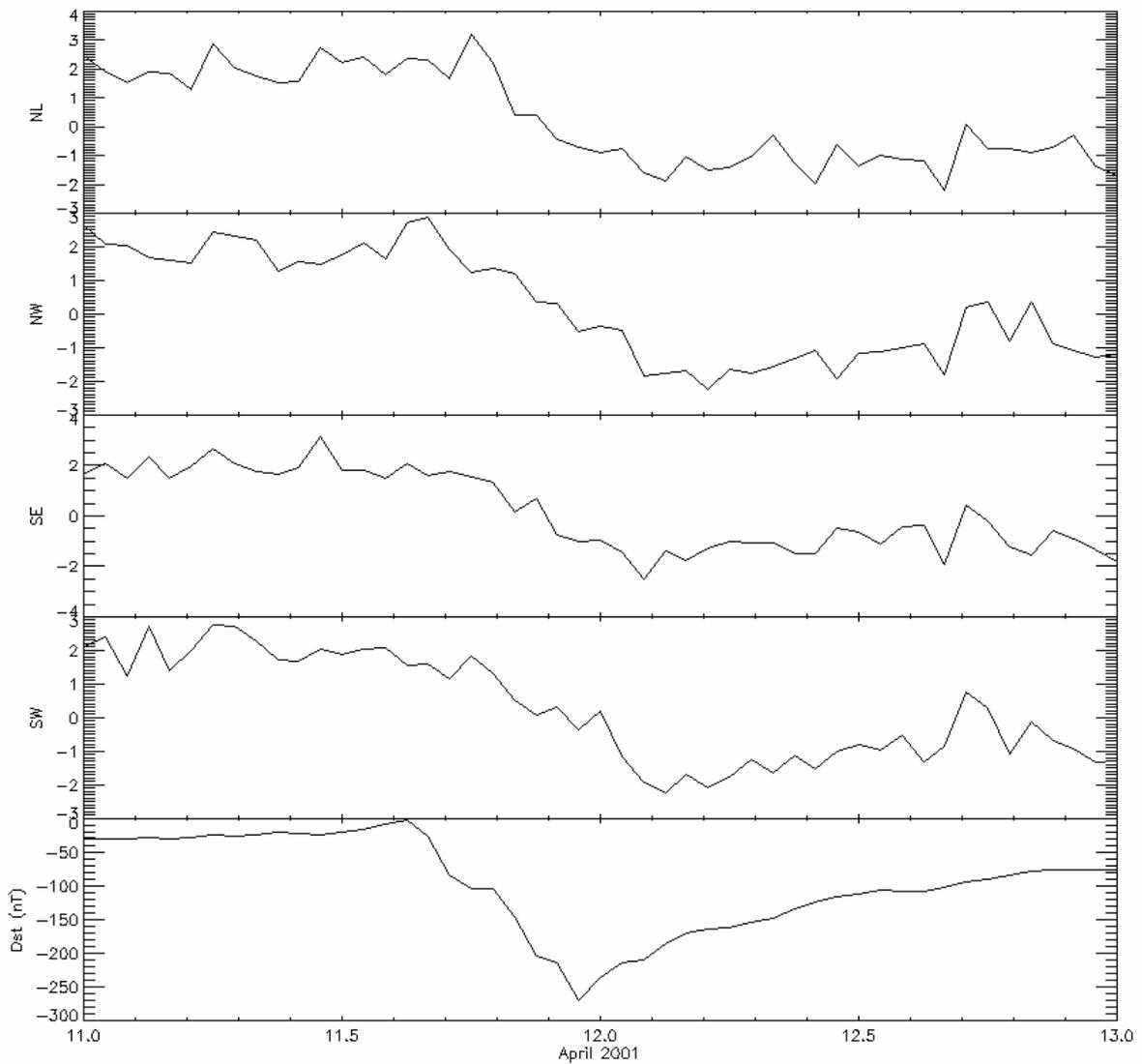


Figura 4.3 – Outras direções comparadas com o índice Dst.

Tabela 4.1 – Alguns resultados para dados do Telescópio protótipo.

Directional Telescope	Number of Telescope	Hourly Counting (factor 10^4)	Count Error(%)	P_m (GV)
Vertical (V)	U1-L1 U2-L2 U3-L3 U4-L4	39.4	0.16	53
30° North (N)	U1-L3 U2-L4	11.3	0.30	58
30° South (S)	U4-L2 U3-L1	11.4	0.30	57
30° East (E)	U2-L1 U4-L3	11.0	0.30	59
30° West (W)	U1-L2 U3-L4	11.5	0.30	56
39° Northeast (NE)	U2-U3	4.7	0.46	64
39° Northwest (NW)	U1-U4	5.4	0.43	61
39° Southeast (SE)	U4-L1	5.3	0.43	63
39° SouthWest (SW)	U3-L2	5.5	0.43	60

4.2 – ANÁLISE DE DADOS DO TELESCÓPIO EXTENDIDO

Nesta seção em contraste com a anterior se usa dados do Telescópio Expandido de resolução temporal de um minuto. A expansão preencheu a falha existente na Figura 3.11. Abaixo a Figura 4.4 compara alguns parâmetros do meio interplanetário com dados de índice Dst e a componente vertical do telescópio. A tempestade ocorreu em dezembro de 2006, entre os dias 14 e 16.

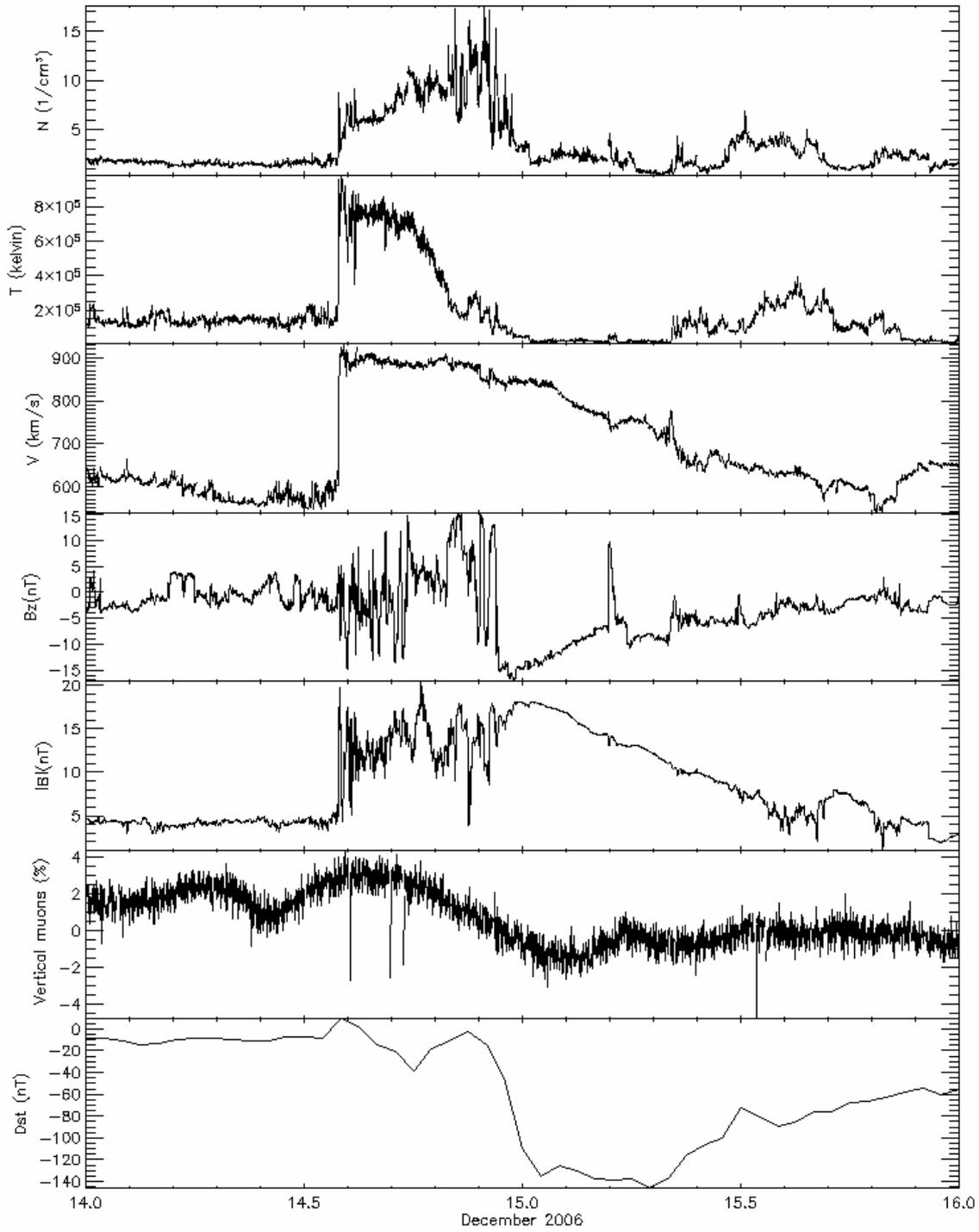


Figura 4.4 – Tempestade intensa ocorrida em dezembro de 2006.

Nota-se que a anisotropia da intensidade de muons é identificada mais facilmente. Antes do choque visto pelo satélite ACE da NASA, é possível ver o precursor de tempestades geomagnéticas. O decréscimo de Forbush decai aproximadamente junto com Dst. A diferença dos gráficos para outras direções é mostrada nas Figuras 4.5 e 4.6.

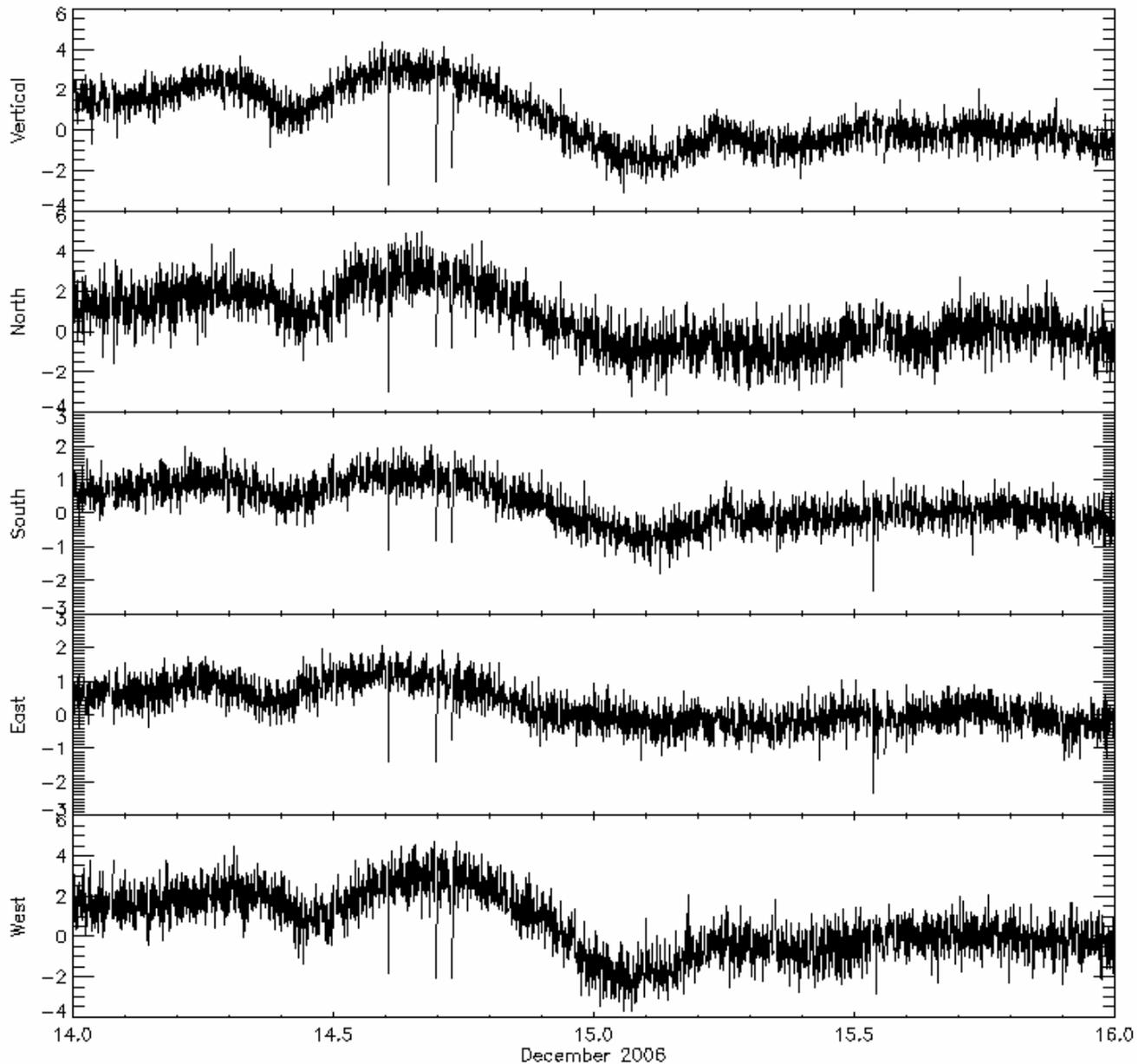


Figura 4.5– Gráficos das componentes N, S, E e W comparadas com a vertical.

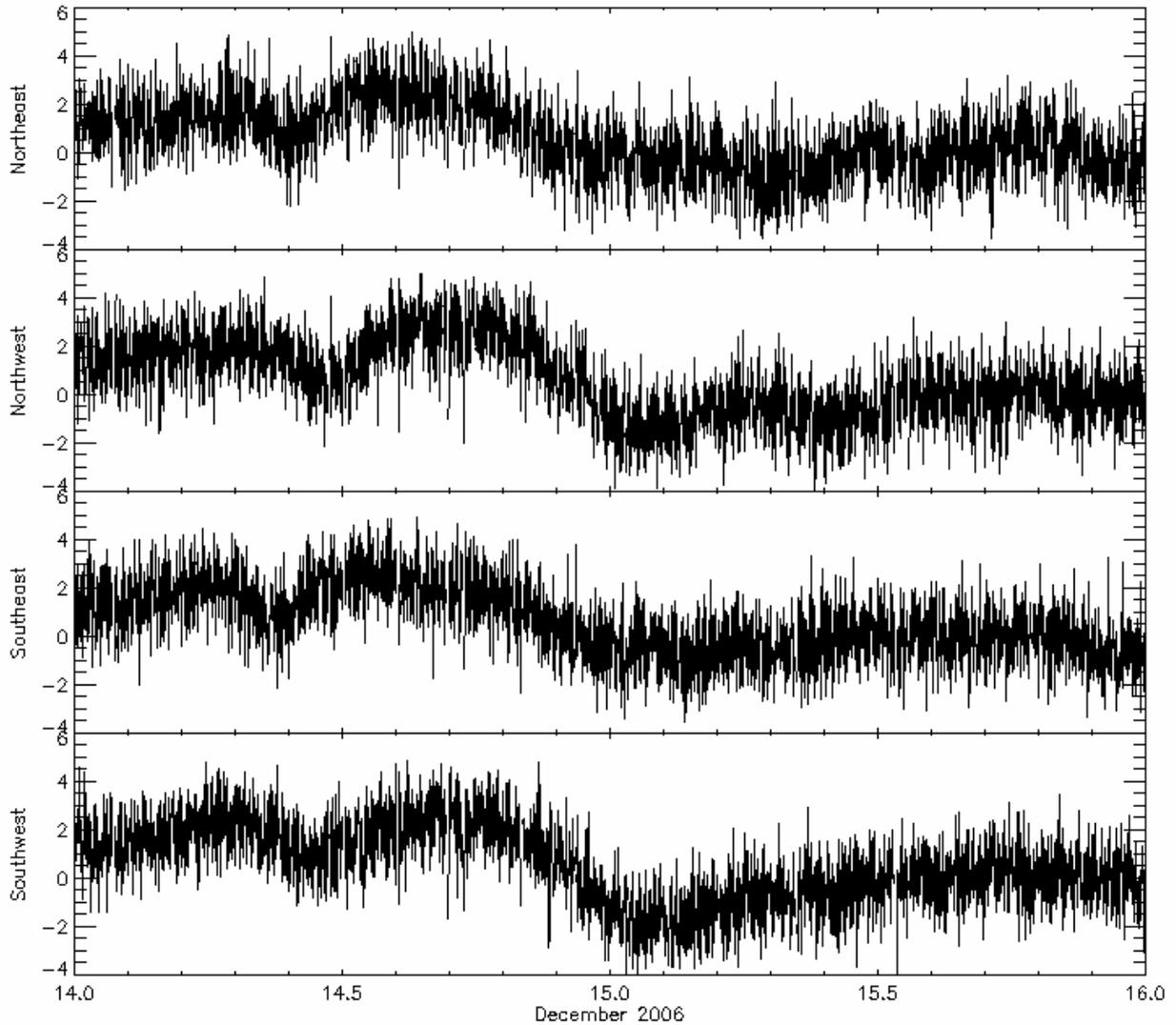


Figura 4.6 – Mesmas direções comparadas com o protótipo.

A Figura 4.7 apresenta as novas direções norte 2, sul 2, leste2 e oeste2. Elas fornecem a modulação de raios cósmicos de maior energia. Nota-se que o decréscimo nestas componentes não é tão acentuado quanto nas Figuras 4.5 e 4.6.

Para finalizar as principais diferenças entre o detector protótipo e expandido, dados de contagem horária de uma hora foram feitos em linguagem de programação, revelando erros de contagens menores em percentagem. Isto pode ser visto na Tabela 4.2. Todos os erros na contagem das direções foram feitos para o mesmo período do dia 13 de dezembro de 2006.

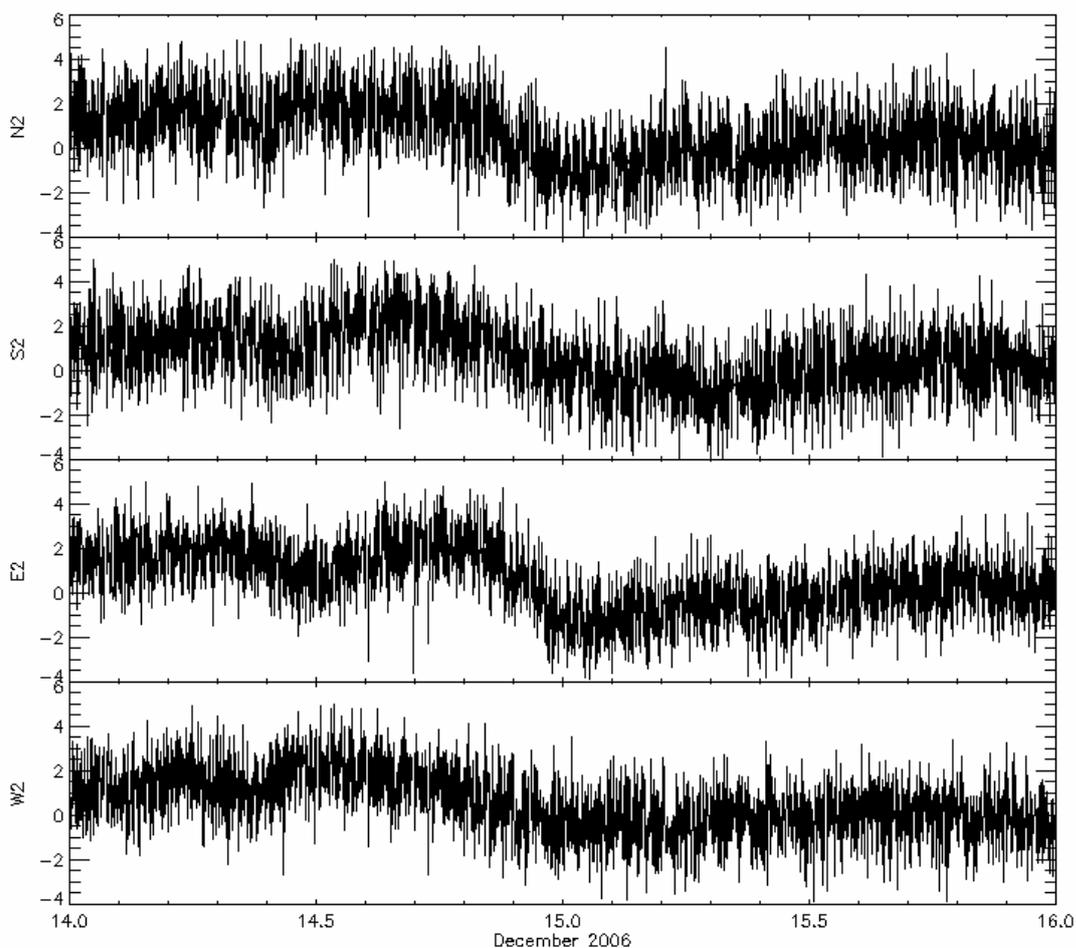


Figura 4.7– Novas direções norte2, sul2, leste2 e oeste2.

Tabela 4.2 – Alguns resultados para dados do Telescópio Expandido.

Directional Telescope	Number of Telescope	Hourly Counting (factor 10^6)	Count Error(%)
Vertical (V)	28	2.30	0.06
30° North (N)	21	0.95	0.10
30° South (S)	21	0.98	0.10
30° East (E)	24	1.05	0.10
30° West (W)	24	1.16	0.09
39° Northeast (NE)	18	0.47	0.14
39° Northwest (NW)	18	0.51	0.14
39° Southeast (SE)	18	0.49	0.14
39° SouthWest (SW)	18	0.52	0.14
49° North (N2)	14	0.33	0.17
49° South (S2)	14	0.32	0.18
49° East (E2)	20	0.47	0.14
49° West (W2)	20	0.43	0.15

Gráficos para tempestade geomagnética de novembro de 2004.

Telescópio protótipo.

Também foram analisados dados de duas tempestades ocorridas em, novembro de 2004. Como mostra a Figura 4.8, a primeira tempestade é intensa, o índice Dst cai para -373nT. A queda na intensidade de muons fica na faixa de ~1.6%.

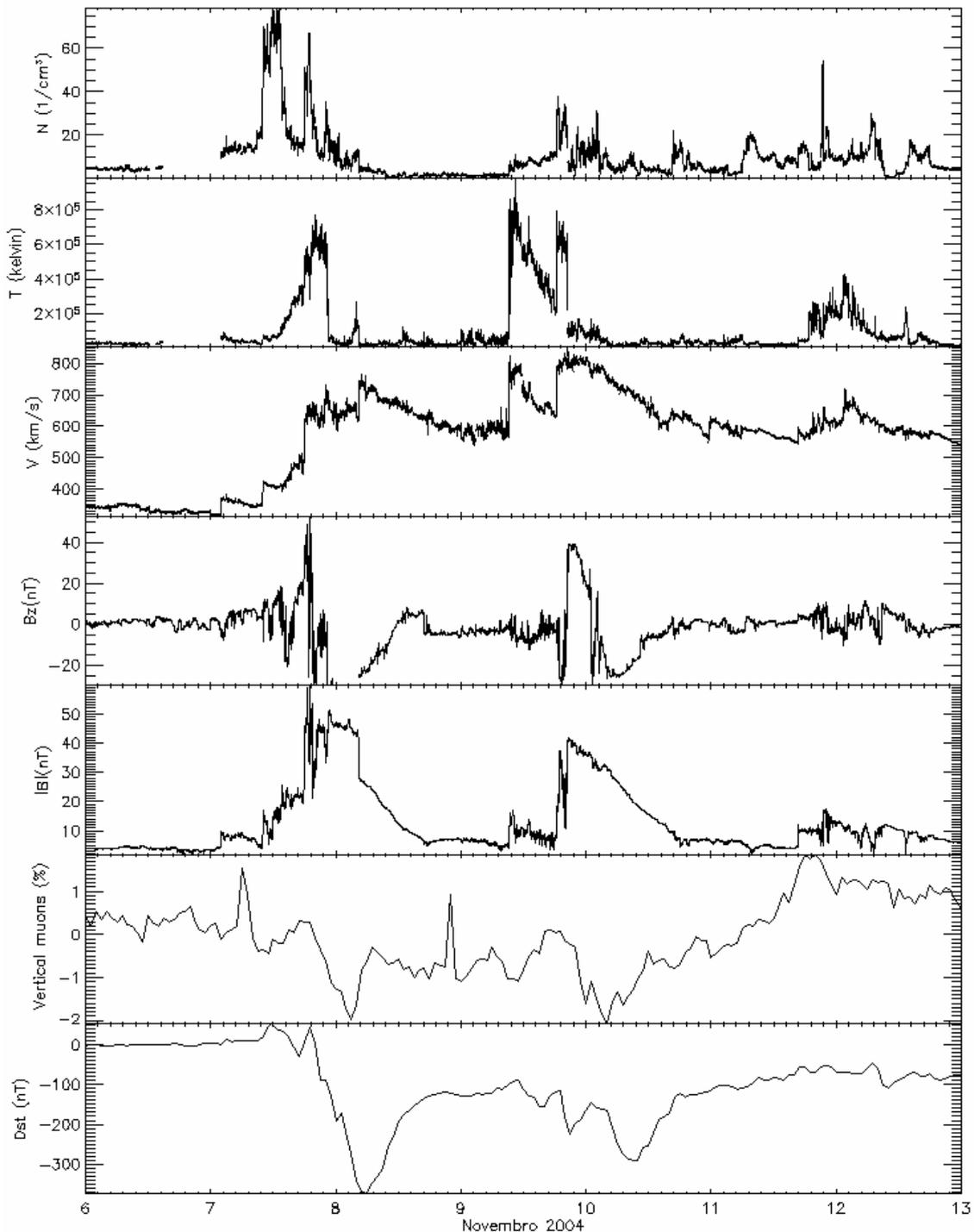


Figura 4.8– Índice Dst, muons telescópio protótipo e dados do Satélite ACE correlacionados.

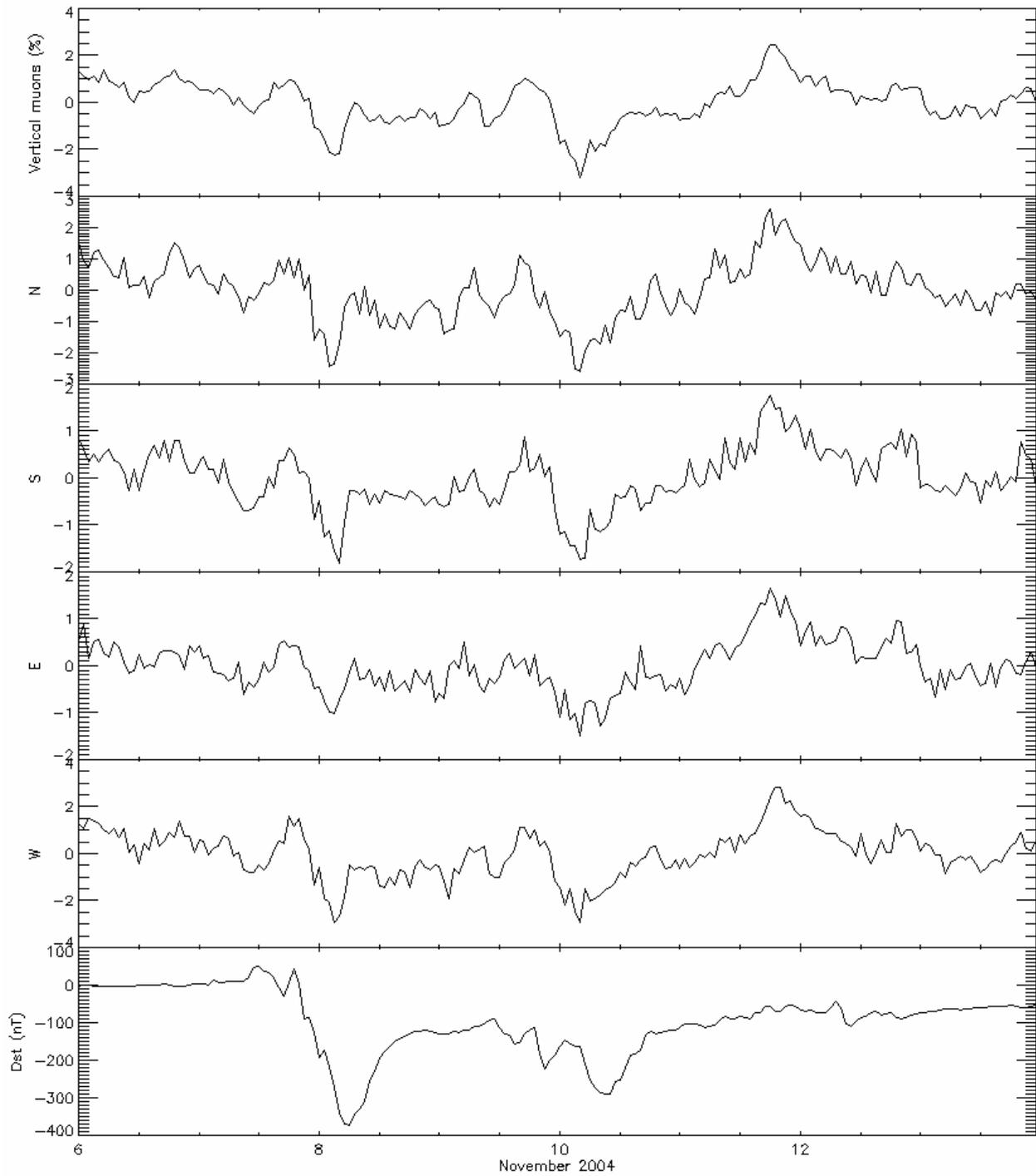


Figura 4.9 – Direções do Telescópio protótipo comparadas com o índice Dst.

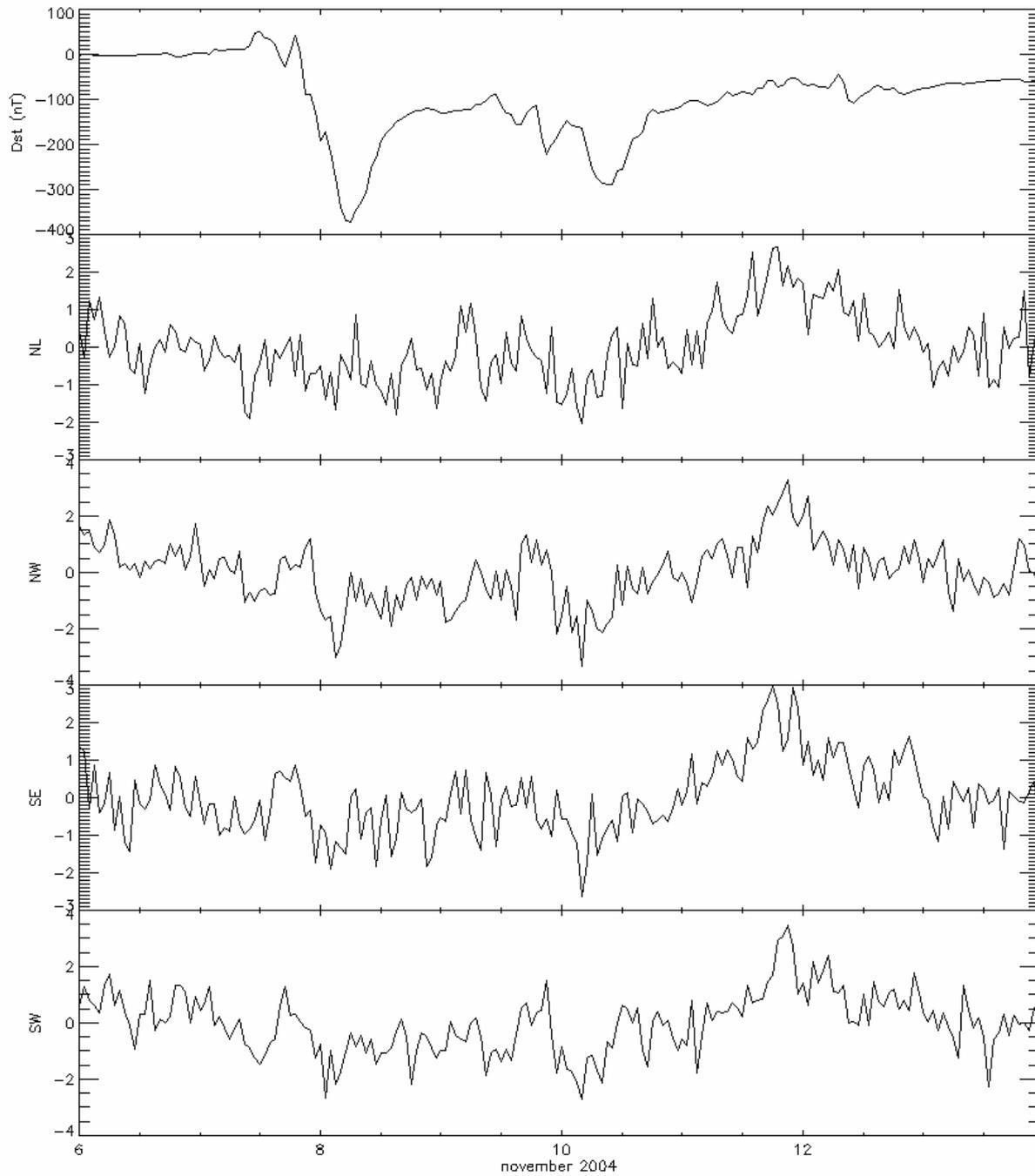


Figura 4.10 – Índice Dst comparado com as componentes NL, SE, SE, SW.

CAPITULO 5 – CONCLUSÕES FINAIS

Estruturas solares atingem a Terra constantemente ocasionando conseqüências para a 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 formando o Campo Magnético Interplanetário (IMF). Assim como IMF, estruturas como Nuvens magnéticas são arrastadas como conseqüência de grandes explosões (*Flares*) e Ejeções de grande quantidade de Massas Solar para o meio interplanetário. Estas estruturas são influenciadas pelo ciclo solar de 11 anos. Quando “*Flare*” ou Ejeções Coronais de Massa (CME) atingem a Terra, danos tecnológicos e fenômenos naturais como auroras nos pólos acontecem. Nuvens Magnéticas, que tem campo magnético mais intenso que o campo magnético normal encontrado no meio interplanetário, ao atingirem a Terra causa processos como a reconexão (Figura 1.15), fazendo partículas solares entrarem na atmosfera Terrestre causando assim danos como de perda de dados de satélite, interferência em radares, *black-out* de energia elétrica.

Assim foi instalado no Observatório Espacial do Sul, 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 de uma hora. Logo sofreu expansão em 2005 melhor integrando então a rede mundial de detectores de muons, formado por 56 detectores e resolução temporal de um minuto, reduzindo assim o erro na contagem horária de 0.16% para 0.06% e permitindo a observação de raios cósmicos de maior energia.

Ao analisar os dados de novembro de 2004, dezembro de 2006 e abril de 2001, o Telescópio mostrou respostas a Tempestades Geomagnéticas. Assim, quando há um decréscimo na contagem da percentagem da componente vertical de muon de aproximadamente 1% há indício de que alguma nuvem magnética ou outra estrutura geofetiva esteja blindando os raios cósmicos vindo na direção do Sol. Pode-se, através deste tipo de observação, prever Tempestades Geomagnéticas intensas. Como mostrado nas Tabelas do Capítulo 4, o erro na contagem horária diminuiu não só na vertical como também em todas as outras direções.

Detectores de partículas de alta energia terrestres são ferramentas úteis para estudo de modulação de raios cósmicos, previsão de tempestades geomagnéticas

intensas e talvez indicadoras de que tempestades geomagnéticas ocorram. Como mostra todos os dados analisados, o índice Dst cai quase que juntamente com a intensidade na contagem de muons. Existem outras questões relativas aos acréscimos e decréscimos anormais nas contagens de muons que a primeira vista não são causados por tempestades geomagnéticas. Uma possibilidade é o fato de estruturas solares passarem próxima a Terra, mas não a atingindo. Esses acréscimos e decréscimos que não ocorrem devido a tempestades não são causados por erros na operação do Detector Expandido, visto que isto já foi verificado.

Este projeto consiste em uma 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

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>. 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., Kunakata, 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., Valyiliunas, 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 geoféticas 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 geoféticas 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).

ANEXOS

ANEXO 1 – PROGRAMA PARA O TCM

Programa usado para calcular erros nas contagens horárias. Para a análise de dezembro de 2006, criou-se um arquivo com dados de resolução temporal um minuto para um dia. Para o protótipo criou-se um arquivo com apenas a contagem horária visto que a resolução temporal do Telescópio protótipo é de uma hora.

```
result1=read_ascii('D:\Documents and Settings\Nikolas\inpe-
pibic\cospar2008\Programa de dezembro de 2006\erro na contagem em dez de
2006.txt');mes
```

```
ERRO=result1.(0)
Tempom=(ERRO(2,*)/1.0)+(ERRO(3,*)/24)+(ERRO(4,*)/(60.0*24.0))
Vm=ERRO(10,*)
Nm=ERRO(11,*)
Sm=ERRO(12,*)
Em=ERRO(13,*)
Wm=ERRO(14,*)
NLm=ERRO(15,*)
NWm=ERRO(16,*)
SEm=ERRO(17,*)
SWm=ERRO(18,*)
N2m=ERRO(19,*)
S2m=ERRO(20,*)
E2m=ERRO(21,*)
W2m=ERRO(22,*)
Vmedio = MEAN(Vm)
PRINT, 'Média de V: ', Vmedio[0]
Nmedio = MEAN(Nm)
PRINT, 'Média de N: ', Nmedio[0]
Smedio = MEAN(Sm)
PRINT, 'Média de S: ', Smedio[0]
Emedio = MEAN(Em)
PRINT, 'Média de E: ', Emedio[0]
Wmedio = MEAN(Wm)
PRINT, 'Média de W: ', Wmedio[0]
NLmedio = MEAN(NLm)
PRINT, 'Média de NL: ', NLmedio[0]
NWmedio = MEAN(NWm)
PRINT, 'Média de NW: ', NWmedio[0]
SEmedio = MEAN(SEm)
PRINT, 'Média de SE: ', SEmedio[0]
SWmedio = MEAN(SWm)
PRINT, 'Média de SW: ', SWmedio[0]
N2medio = MEAN(N2m)
PRINT, 'Média de N2: ', N2medio[0]
S2medio = MEAN(S2m)
PRINT, 'Média de S2: ', S2medio[0]
E2medio = MEAN(E2m)
```

```
PRINT, 'Média de E2: ', E2medio[0]
W2medio = MEAN(W2m)
PRINT, 'Média de W2: ', W2medio[0]
;Erro de poisson, período de uma hora.
Vhorario=Vmedio*60
raiz=sqrt(Vhorario)
resposta=((1/raiz)*100)
print, 'Erro de poisson V',resposta
Nhorario=Nmedio*60
raiz1=sqrt(Nhorario)
resposta1=((1/raiz1)*100)
print, 'Erro de poisson N',resposta1
Shorario=Smedio*60
raiz2=sqrt(Shorario)
resposta2=((1/raiz2)*100)
print, 'Erro de poisson S', resposta2
Ehorario=Emedio*60
raiz3=sqrt(Ehorario)
resposta3=((1/raiz3)*100)
print, 'Erro de poisson E', resposta3
Whorario=Wmedio*60
raiz4=sqrt(Whorario)
resposta4=((1/raiz4)*100)
print, 'Erro de poisson W', resposta4
NLhorario=NLmedio*60
raiz5=sqrt(NLhorario)
resposta5=((1/raiz5)*100)
print, 'Erro de poisson NL', resposta5
NWhorario=NWmedio*60
raiz6=sqrt(NWhorario)
resposta6=((1/raiz6)*100)
print, 'Erro de poisson NW', resposta6
SEhorario=SEmedio*60
raiz7=sqrt(SEhorario)
resposta7=((1/raiz7)*100)
print, 'Erro de poisson SE',resposta7
SWhorario=SWmedio*60
raiz8=sqrt(SWhorario)
resposta8=((1/raiz8)*100)
print, 'Erro de poisson SW', resposta8
N2horario=N2medio*60
raiz9=sqrt(N2horario)
resposta9=((1/raiz9)*100)
print, 'Erro de poisson N2', resposta9
S2horario=S2medio*60
raiz10=sqrt(S2horario)
resposta10=((1/raiz10)*100)
print, 'Erro de poisson S2', resposta10
E2horario=E2medio*60
raiz11=sqrt(E2horario)
```

```

resposta1=((1/raiz11)*100)
print, 'Erro de poisson E2', resposta1
W2horario=W2medio*60
raiz12=sqrt(W2horario)
resposta12=((1/raiz12)*100)
print, 'Erro de poisson W2', resposta12
Print, 'contagem horária V',Vhorario
Print, 'contagem horária N',Nhorario
Print, 'contagem horária S',Shorario
Print, 'contagem horaria E', Ehorario
Print, 'contagem horaria W', Whorario
Print, 'contagem horaria NL', NLhorario
Print, 'contagem horaria NW', NWhorario
Print, 'contagem horaria SE', SEhorario
Print, 'contagem horaria SW', SWhorario
Print, 'contagem horaria N2', N2horario
Print,'contagem horaria S2', S2horario
Print,'contagem horaria E2', E2horario
Print,'contagem horaria W2', W2horario

stop

```

end

```

-----
pro erro01
result1=read_ascii('D:\Documents and Settings\Nikolas\inpe-
pic\cospar2008\programa maio de 2001\erro muons 11-04-01 4h.txt');mes
ERRO01=result1.(0)
ano=erro01(0,*)
mes=erro01(1,*)
dia=erro01(2,*)
hora=erro01(3,*)
minuto=erro01(4,*)
V=erro01(16,*)
N=erro01(17,*)
S=erro01(18,*)
E=erro01(19,*)
W=erro01(20,*)
NL=erro01(21,*)
NW=erro01(22,*)
SE=erro01(23,*)
SW=erro01(24,*)
;Erro de poisson, período de uma hora.
CV=v*100
raiz=sqrt(CV)
resposta=((1/raiz)*100)
print, 'Erro de poisson V',resposta
CN=N*40
raiz1=sqrt(CN)
resposta1=((1/raiz1)*100)

```

```
print, 'Erro de poisson N',resposta1
CS=S*40
raiz2=sqrt(CS)
resposta2=((1/raiz2)*100)
print, 'Erro de poisson S', resposta2
CS=S*40
CE=E*40
raiz3=sqrt(CE)
resposta3=((1/raiz3)*100)
print, 'Erro de poisson E', resposta3
CW=W*40
raiz4=sqrt(CW)
resposta4=((1/raiz4)*100)
print, 'Erro de poisson W', resposta4
CNL=NL*10
raiz5=sqrt(CNL)
resposta5=((1/raiz5)*100)
print, 'Erro de poisson NL', resposta5
CNW=NW*10
raiz6=sqrt(CNW)
resposta6=((1/raiz6)*100)
print, 'Erro de poisson NW', resposta6
CSE=SE*10
raiz7=sqrt(CSE)
resposta7=((1/raiz7)*100)
print, 'Erro de poisson SE',resposta7
CSW=SW*10
raiz8=sqrt(CSW)
resposta8=((1/raiz8)*100)
print, 'Erro de poisson SW', resposta8
Print, 'contagem horária V',CV
Print, 'contagem horária N',CN
Print, 'contagem horária S',CS
Print, 'contagem horaria E', CE
Print, 'contagem horaria W', CW
Print, 'contagem horaria NL', CNL
Print, 'contagem horaria NW', CNW
Print, 'contagem horaria SE', CSE
Print, 'contagem horaria SW', CSW

stop

end
```

ANEXO 2 - RESUMOS SUBMETIDOS A EVENTOS

SICINPE 2007

**AMPLIAÇÃO DO PROTÓTIPO DE TELESCÓPIO MULTI DIRECIONAL DE
RAIOS CÓSMICOS DE ALTA ENERGIA – MUONS: PARTICIPAÇÃO NO
DESENVOLVIMENTO TÉCNICO E DE ENGENHARIA, E ANÁLISE
PRELIMINAR DOS DADOS – SICINPE 2007**

Nikolas Kemmerich¹, Dr. Alisson Dal Lago², Dr. Nelson Jorge Schuch³

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 $Dst < -20$ nT já representam uma tempestade geomagnética, sendo que quanto mais negativo, mais intensa é a tempestade. Próximo ao período de Maximo solar ocorre o maior numero 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) e quando este é antiparalelo ao da Terra, ocorre a reconeção entre os campos, havendo transferência de energia do vento solar para a magnetosfera da Terra. Os danos causados por estes 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. 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/CRSPE/INPE - MCT). O protótipo era composto por 8 detectores (2x2x2) com resolução temporal de uma hora. O objetivo deste trabalho é discutir a ampliação do protótipo para 56 detectores (2x4x7), realizada em 2005, com resolução temporal de 1 minuto, para integrar a rede mundial de detectores de raios cósmicos de alta energia - muons. Para a identificação da chegada de estruturas interplanetárias geofetivas foram utilizados dados de plasma e de campo magnético interplanetário obtidos pelos satélites ACE da NASA. O telescópio detector de raios cósmicos mostrou resposta à ocorrência de tempestades geomagnéticas em forma de decréscimo de contagens de muons.

ELAG – 2007

¹ Apresentador/Aluno de Graduação em Física Licenciatura Plena, UFSM. **E-mail:** nikolas@lacesm.ufsm.br

² Pesquisador da Divisão de Geofísica Espacial (DGE/CEA/INPE – MCT, Orientador). **E-mail:** dallago@dge.inpe.br

³ Pesquisador Titular AIII (CRS/INPE - MCT, Co-orientador) **E-mail:** njschuch@lacesm.ufsm.br

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.

KEMMERICH, N. [1,2]; BRAGA, C. R. [1,2]; DA SILVA, S. M. [1,2]; SILVEIRA, M.V. [1,2]; Kummer, F.D. [1,2]; STEKEL, T. R. C. [1,2]; DAL LAGO, A. [3]; SCHUCH, N. J. [1].

- [1] Laboratório de Clima Espacial do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT;
[2] Laboratório de Ciência Espacial de Santa Maria, - LACESM/CT – UFSM parceria INPE-UFSM;
[3] Divisão de Geofísica Espacial, Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas.

Resumo

O clima espacial está ligado à relação entre o Sol, o espaço interplanetário, a magnetosfera, alta e baixa atmosfera, e a superfície terrestre, além de estudar as origens e a previsão de tempestades geomagnéticas. Tempestades magnéticas são originadas por estruturas ejetadas do Sol chamadas de Ejeções de Massa Coronais (EMC), que têm sua ocorrência modulada pelo ciclo solar de 11 anos. A estrutura típica dessas EMCs observada no meio interplanetário é a de uma nuvem magnética, sendo estas últimas uma das principais causas das tempestades. A motivação desse estudo é conseguir avanços no entendimento do Sol e sua influência no meio interplanetário, uma vez que na Terra há várias consequências decorrentes desses fenômenos e de sua variabilidade. Tempestades são responsáveis pelo aparecimento das auroras nos pólos devido à perturbação da magnetosfera terrestre e também são responsáveis por danos em materiais tecnológicos, perda de dados de satélite, black-out de energia elétrica e interferência em radares. Dados fornecidos pelo satélite ACE da NASA localizado no ponto lagrangeano L1 permitem identificar a chegada desses distúrbios à Terra através do aumento com relação à média da velocidade do vento solar, intensidade do Campo Magnético Interplanetário, densidade e temperatura. Na ocorrência das tempestades geomagnéticas parte dos raios cósmicos é blindada pela EMC quando esta está no meio interplanetário próximo a Terra, também chamada de EMCI, causando um decréscimo na taxa de contagem de muons (decréscimo de Forbush). O muon é originado da colisão de raios cósmicos de alta energia (~50GeV) com partículas da atmosfera, e conservam aproximadamente a direção do raio incidente. Com o objetivo de prevenir os danos tecnológicos foi instalado em 2001 o protótipo detector de raios cósmicos muons de alta energia no Observatório Espacial do Sul (OES/CRS/CIE/INPE – MCT), constituído de 2 camadas de 4 detectores (2x2x2) com resolução temporal a cada hora. O detector foi expandido em 2005 com a diferença de ser constituído de 56 detectores (2x4x7) e com resolução temporal a cada minuto sendo 7 vezes mais preciso que o protótipo e melhor integrando a Rede Mundial de Detectores de muons. O telescópio detector de raios cósmicos mostra resposta à ocorrência de tempestades geomagnéticas na forma de decréscimo de 1% a 10% na contagem de muons.

IHY – 2008

O USO DO TELESCÓPIO CINTILADOR DE MUONS DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL E DADOS DO SATÉLITE ACE PARA ESTUDO E PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL

KEMMERICH, N. [1,2]; DAL LAGO, A. [3]; SCHUCH, N. J. [1];
BRAGA, C. R. [1,2]; DA SILVA, S. M. [1,2]; SILVEIRA, M. [1,2];
THUORST, J. F. [1,2]; STEKEL, T. R. C. [1,2].

[1] Laboratório de Clima Espacial do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/CIE/INPE – MCT, Caixa Postal 5021 - Santa Maria, RS, Brasil;

[2] Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT – UFSM,
Parceria INPE - UFSM, Av. Roraima, 100 - Santa Maria, RS, Brasil;

[3] Divisão de Geofísica Espacial, Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas
DGE/CEA/INPE - MCT, CEP 12.201-970, C. P. 515, São José dos Campos, SP, Brasil.

RESUMO

O estudo do clima espacial está ligado à relação entre o Sol, o espaço interplanetário, a magnetosfera e a superfície terrestre. Dentre as principais estruturas ejetadas do Sol que chegam a Terra, as nuvens magnéticas são as principais causas de tempestades geomagnéticas. Estas nuvens se originam de ejeções de massa coronais solares e podem ser identificadas porque seus campos são mais intensos do que o campo magnético interplanetário (este é arrastado pelo vento solar). Sabe-se que a distribuição de raios cósmicos observados na Terra é praticamente uniforme em todas as direções. Ejeções de massa coronais interplanetárias blindam raios cósmicos vindos da direção do Sol, permitindo sua detecção várias horas antes de sua chegada na Terra, possibilitando prever a ocorrência de tempestades geomagnéticas. Os danos causados pelas tempestades são perda de dados de satélite, interferência em radares e black-out de energia elétrica, além de causarem as auroras nas calotas polares devido à perturbação na magnetosfera terrestre. Muons são partículas que se originam da colisão dos raios cósmicos com partículas da atmosfera terrestre. Com o objetivo de prevenir os danos tecnológicos foi instalado em 2001 o protótipo detector de raios cósmicos Muons de alta energia no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE – MCT, constituído de 2 camadas de 4 detectores (2x2x2) com resolução temporal a cada hora. O detector foi expandido em 2005 com a diferença de ser constituído de 56 detectores (2x4x7) e com resolução temporal a cada minuto sendo 7 vezes mais preciso que o protótipo e integrando a Rede Internacional de Detectores de Muons. Para a identificação da chegada das estruturas interplanetárias geoeletivas foram utilizados dados de plasma e de campo magnético interplanetário obtido pelo satélite ACE da NASA. O telescópio detector de raios cósmicos Muons mostra resposta à ocorrência de tempestades geomagnéticas na forma de decréscimo de 1% a 10% na contagem de muons.

COSPAR 2008

Study of interplanetary structure plasma parameters and ground cosmic ray modulation

**NIKOLAS KEMMERICH¹, Fabricio Deives Kummer¹,
Marcos Vinicius Dias Silveira¹, Nelson Jorge Schuch¹, Alisson Dal Lago²,
Kazuoki Munakata³, Takao Kuwabara⁴, Ezequiel Echer²,
Samuel Martins da Silva¹, Carlos Roberto Braga¹,
Marlos Rockenbach da Silva², Jairo Francisco Savian⁵.**

1. Southern Regional Space Research Center – CRS/CIE/INPE, Santa Maria, RS, Brazil

2. National Institute for Space Research – DGE/CEA/INPE, São José dos Campos, SP, Brazil

3. Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, Nagano, Japan

4. Bartol Research Institute and Department of Physics and Astronomy, University of Delaware, Newark, DE, USA

5. Geophysics Department, Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Science, University of São Paulo (IAG/USP), São Paulo, SP, Brazil

ABSTRACT

Interplanetary coronal mass ejections (ICMEs) are gigantic clouds of ionized gas launched from the Sun. These structures populate the interplanetary medium, frequently hit the planets. Depending on their characteristic and orientation, they may transfer their energy which is necessary to cause the geomagnetic storms, to the Earth's magnetosphere. ICMEs can be studied according to the variability of interplanetary magnetic field (IMF) and plasma parameters, such as, field intensity, direction, proton density (N_p), proton speed (V_p), radial component of proton temperature (T_p), and plasma beta (β) which is defined as the ratio between thermal pressure and magnetic pressure. By using the minimum variance analysis (MVA) method, it is possible to identify the plane of maximum variance of the magnetic field data sets, and the eigenvector normal corresponding to the axis of the magnetic clouds. This allows to obtain the azimuthal (ϕ_k) and inclination (θ_k) axis orientation in relation to the ecliptic plane. The objective of this work is to study these ICME characteristics and their relation with modulation of ground level cosmic rays. To do this, IMF and plasma data from the *Advanced Composition Explorer* (ACE) spacecraft, and >50 GeV cosmic ray data from the multidirectional muon telescope installed in the Southern Space Observatory (OES/CRS/CIE/INPE - MCT) in São Martinho da Serra, Brazil, will be used. Geomagnetic response to the interplanetary structures will be studied using the Dst index.

COSPAR 2008

Some results of geomagnetic storm events observed at the Brazilian Southern Space Observatory

**Nikolas Kemmerich¹, Alisson Dal Lago², Nelson Jorge Schuch¹,
Kazuoki Munakata³, Carlos Roberto Braga¹, Fabrício Deives Kummer¹,
Marcos Vinicius Dias Silveira¹, Samuel Martins da Silva¹,
Marlos Rockenbach da Silva², Jairo Francisco Savian⁴.**

1. Southern Regional Center, National Institute for Space Research (CRS/CIE/INPE – MCT) and Space Science Laboratory of Santa Maria, Federal University of Santa Maria (LACESM/CT/UFSM), Santa Maria, RS, Brazil;
2. Space Geophysics Division, National Institute for Space Research (DGE/CEA/INPE –MCT), São José dos Campos, SP, Brazil;
3. Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, Japan;
4. Geophysics Department, Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Science, University of São Paulo (IAG/USP), São Paulo, SP, Brazil;

Abstract

Space weather can be defined as the study of solar and interplanetary sources of geomagnetic storms. Coronal mass ejections (CMEs) are large plasma eruptions released from the Sun and they are one of the main solar-interplanetary structures causing the geomagnetic disturbances on Earth. Such events, also named “geomagnetic storms” are caused when there are changes in the plasma and magnetic field in the space that surrounds the Earth’s magnetosphere. CME passages are known to be an important origin of such changes. The damage caused by geomagnetic storms are several, including loss of data from satellite, signal scintillation, interference on radar, telecommunications cable disruption, electricity grid disturbance and black-out electrical power. They are also responsible for the appearance of auroras. It is known that quantity of cosmic rays observed in each direction on Earth’s surface is approximately unchanged on the time when there are no transient solar-interplanetary events. During disturbed periods, CME may shield cosmic rays, allowing terrestrial detectors to identify some signatures on the same period. Sometimes, these signatures can be identified prior to the occurrence of the disturbance using a cosmic ray network around the Earth. With this purpose, a prototype detector of cosmic rays, high-energy muons was installed in the Southern Space Observatory SSO/CRS/CIE/INPE – MCT in 2001. It was composed of 2 layers of 4 detectors (2x2x2) with temporal resolution of one hour. The detector was upgraded in 2005 to 56 detectors (2x4x7) and temporal resolution of one minute. The expansion enabled a decrease of error from 0.16% to 0.06% in the counting of muons. The purpose of this paper is to discuss the expansion and to present results of the study of some geomagnetic storm events combining geomagnetic Dst index data, muon count rate data and data from the ACE satellite.

SICINPE 2008

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.

Níkolos Kemmerich⁴ (CRS/CIE/INPE – MCT, Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT)
Dr. Alisson Dal Lago² (Orientador - DGE/CEA/INPE-MCT)
Dr. Nelson Jorge Schuch³ (Co-orientador - CRS/CIE/NPE-MCT)

Resumo

O Clima Espacial estuda a relação Sol-Terra, previsão e origem de tempestades geomagnéticas bem como seus processos físicos no geoespaço e dos respectivos danos causados em sistemas tecnológicos.. Tempestades geomagnéticas são causadas por ejeções coronais de massa (CME), geralmente nuvens magnéticas, que, ao interagirem com a Magnetosfera Terrestre, trocam energia, intensificando as correntes existentes na Magnetosfera Terrestre. Os danos causados pelas tempestades são perda de dados de satélite, interferência em radares e *black-out* de energia elétrica, além de causarem as auroras nas calotas polares. Muons são partículas originadas da colisão de raios cósmicos originados no espaço exterior com os componentes da Atmosfera Terrestre. Ejeções coronais de massa blindam raios cósmicos e influenciam na sua modulação no geoespaço. Assim podem-se utilizar detectores de raios cósmicos terrestres para estudar as causas interplanetárias de tempestades geomagnéticas, através da análise da modulação destes raios cósmicos. O Projeto tem por objetivo o estudo do Telescópio Multidirecional de Raios Cósmicos de Alta Energia – muons na sua parte técnica de funcionamento, análise de dados de seu protótipo e do sistema expandido quando da ocorrência de tempestades geomagnéticas juntamente com dados do meio interplanetário coletados pelo satélite da NASA, ACE localizado em órbita, no ponto Lagrangeano - L1. O protótipo foi instalado em 2001 no Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE – MCT em São Martinho da Serra, RS, e expandido em dezembro de 2005. O protótipo foi constituído com 2 camadas de 4 detectores (2x2x2) com resolução temporal a cada hora. O novo sistema expandido é constituído de 56 detectores (2x4x7) permitindo uma resolução temporal a cada minuto, sendo 7 vezes mais preciso que o protótipo e melhor integrando a Rede Internacional de Detectores de Muons. O telescópio detector de raios cósmicos, Muons, permite resposta à ocorrência de tempestades geomagnéticas na forma de decréscimo de 1% a 10% na contagem de muons (decréscimo de Forbush).

¹ Aluno do Curso de Física Licenciatura Plena da UFSM. **E-mail:** nikolas@lacesm.ufsm.br

² Pesquisador da Divisão de Geofísica Espacial - DGE/CEA/INPE – MCT. **E-mail:** dallago@dge.inpe.br

³ Pesquisador do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE – MCT.
E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

Pôsteres apresentados nos eventos:
XXII Jornada acadêmica integrada



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE/MCT
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRS/CIE/INPE - MCT
OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – OES/CRS/CIE/INPE - MCT



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA – UFSM
CENTRO DE TECNOLOGIA – CT/UFSM
LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA – LACESM/CT/UFSM

AMPLIAÇÃO DO PROTÓTIPO DE TELESCÓPIO MULTIDIRECIONAL DE RAIOS CÔSMICOS DE ALTA ENERGIA – MUONS: PARTICIPAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO TECNICO E DE ENGENHARIA, E ANÁLISE PRELIMINAR DE DADOS.

Nikolas Kemmerich[1]; Nelson J. Schuch [1]; Samuel M. Da Silva [1]; Carlos R. Braga [1]; Marcos V. D. Silveira[1]; Alison Dal Lago [2].

[1] Laboratório de Ciência Espacial do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – LACE/CRS/CIE/INPE – MCT em parceria com o Laboratório de Ciência Espacial de Santa Maria, Convênio: INPE – UFSM, Av. Roraima, 1000, Santa Maria, RS, Brasil

[2] Divisão de Geofísica Espacial, Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/CRS/CIE/INPE – MCT, Caixa Postal 51.5, São José dos Campos, SP, Brasil.

E-mail: nikolas@lacosm.ufsm.br

INTRODUÇÃO

O clima espacial está ligado à relação entre o Sol, o espaço interplanetário, a magnetosfera, alta e baixa atmosfera, e a superfície terrestre, além de estudar as origens e a previsão de tempestades geomagnéticas [3]. Tempestades geomagnéticas são originadas por estruturas ejetadas do Sol chamadas de Ejeções de Massa Coronais (EMC), que têm sua ocorrência modulada pelo ciclo solar de 11 anos. Tempestades geomagnéticas são responsáveis pelo aparecimento das auroras nos pólos e são responsáveis por danos em sistemas tecnológicos, perda de dados de satélite principalmente na região de anomalia magnética do Atlântico sul, black-out de energia elétrica e interferência nas telecomunicações e em radares. Índices geomagnéticos tais, como o índice Dst, indicam a ocorrência de tempestades geomagnéticas. Valores de Dst < -20 nT correspondem a tempestades geomagnéticas, e quanto mais negativo mais intensa é a tempestade. Com o objetivo de estudar a previsão e, portanto, possibilitar a tomada de decisão para prevenir possíveis danos tecnológicos, foi instalado em 2001 o protótipo detector de raios cósmicos muons de alta energia no Observatório Espacial do Sul (OES/CRS/CIE/INPE – MCT), em São Martinho da Serra, RS, (Lat: 29.4°S, Log: -506.2°L), constituído de 2 camadas de 4 detectores (2x2x2) com resolução temporal de uma hora. O detector foi expandido em 2005, passando a ser constituído de 56 detectores (2x4x7) e com resolução temporal de um minuto, sendo 7 vezes mais preciso que o protótipo, otimizando o desempenho da Rede Mundial de Detectores de muons. O telescópio detector de raios cósmicos mostra resposta à ocorrência de tempestades geomagnéticas na forma de decréscimo de 1% a 10% na contagem de muons [1].

OBJETIVO

Estudar as origens e a previsão de tempestades geomagnéticas, e discutir a ampliação do Telescópio Multidirecional de Raios Cósmicos de alta energia – Muons.

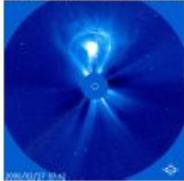


Figura 1: Ejeção de massa coronal em 27 de fevereiro de 2000 fotografada por LASCO C2 and C3. (Fonte: NASA Satellite SOHO)



Figura 2: O telescópio expandido que está em operação desde janeiro de 2005 no Observatório Espacial do Sul (OES/CRS/CIE/INPE – MCT) em São Martinho da Serra – RS.

METODOLOGIA NO ESTUDO DE TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS

•ACE (Advanced Composition Explorer): Lançado em 1997 o satélite ACE da NASA localiza-se em órbita no ponto lagrangeano L1, região privilegiada para coleta de dados. Foram utilizados dados de intensidade de campo magnético interplanetário, velocidade do vento solar, densidade de partículas, temperatura, dentre outros parâmetros.

•DETECTOR DE RAIOS CÔSMICOS DE ALTA ENERGIA – MUONS: Muons são partículas secundárias originadas devido a colisão dos raios cósmicos com partículas da atmosfera terrestre. Estruturas solares como nuvens magnéticas hindam a passagem de raios cósmicos vindos da direção do Sol [2], podendo perceber este decréscimo com o telescópio multidirecional de raios cósmicos que detectam partículas de muons nas quais tem energia superior a ~ 50GeV [1]. A rede mundial de raios cósmicos de alta energia é mostrada na Figura 3. A expansão do detector possibilitou uma maior cobertura da rede mundial de raios cósmicos devido a uma maior multidirecionalidade e consequentemente maior contagem de muons para o mesmo período de tempo. O protótipo tinha uma resolução temporal de uma hora enquanto o telescópio expandido tem resolução temporal de um minuto.

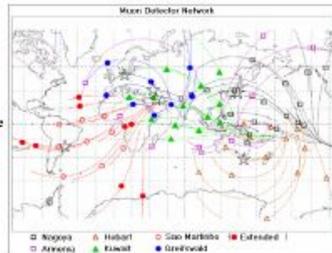


Figura 3: Rede mundial de detectores de raios cósmicos de alta energia – muons (utilizada).

RESULTADOS

Ao analisar os dados do satélite ACE para o período de 25 de outubro a 14 de novembro de 2004 observou-se um aumento na intensidade do campo magnético interplanetário (CMI) em virtude da chegada na Terra de uma ejeção de massa coronal (EMC). As ejeções possuem um campo magnético mais intenso que o CMI e quando este é antiparalelo ao da Terra ocorre a reconexão entre os campos causando uma tempestade geomagnética [5]. Observou-se um decréscimo do índice Dst e aumento de parâmetros como temperatura, campo magnético interplanetário, densidade de partículas e velocidade do vento solar com a chegada do evento na Terra. Os danos causados por estes eventos são os de perda de dados de satélite, interferência em radares, black-out de energia elétrica e se manifestam na forma de auroras nos pólos. Observou-se um decréscimo nas contagens de raios cósmicos observados pelo telescópio ciliador de muons do OES/CRS/CIE/INPE.

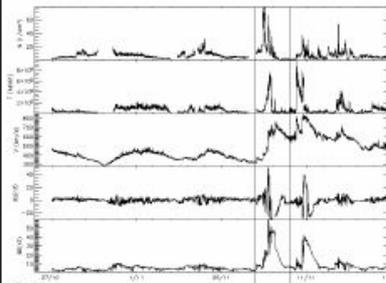


Figura 4: Gráfico com dados do satélite ACE, apresenta aumento nos parâmetros indicados das tempestades geomagnéticas em novembro de 2004.

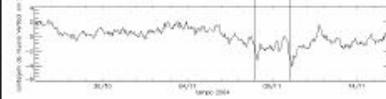


Figura 5: Gráfico com dados do telescópio multidirecional (protótipo), em resposta as tempestades geomagnéticas observa-se decréscimo na taxa de contagem de muons no mesmo período de novembro de 2004 que na Figura 4.

CONCLUSÕES

Na ocorrência das tempestades geomagnéticas parte dos raios cósmicos é blindada pela EMC apresentando um decréscimo na taxa de contagem de muons decréscimo de Forbush[1] e pode ser eficiente na previsão 12 horas antes de uma tempestade geomagnética. O Telescópio Multidirecional de Raios Cósmicos de alta energia – muons mostrou resposta à ocorrência de tempestades geomagnéticas em forma de decréscimo de 2% a 4% na contagem de muons no período analisado, sendo o telescópio expandido 7 vezes mais preciso que o protótipo, integrando a Rede Mundial de Detectores de muons.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT pela aprovação do Projeto de Pesquisa de Iniciação Científica. A National Science Foundation (NSF USA) pela submissão como a Discovery University e FAPESP/UFSPM, para a expansão do Telescópio Multidirecional Detector de Muons do Observatório Espacial do Sul, ao Prof. Dr. K. Murakata e a Universidade de Shizuoka pela doação do equipamento a UFSM.

REFERÊNCIAS

[1] Masakata, K., Sieber, J. W., Vanzo, S., Kato, C., Koyama, H., Akahane, S., Fijimoto, K., Fujii, Z., Hamba, J. E., Odagiri, H., L. Procurement of geomagnetic storms observed by muon detectors. J. Geophys. Res. 103, A12, 27427-27460 (2002).
[2] Da Silva, M. R. Variação em Latitudes das Raios Cósmicos em Resposta a Diferentes Estruturas Magnéticas do Meio Interplanetário. Observação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo (2005).
[3] Russell, C. What is the space weather? Disponível em: <http://www.windows.ucar.edu/tour/tours/spac_weather/tn_intro/what_is_the_weather/high>. Acesso em: 22 de dezembro de 2005.
[4] Da Silva, M. R., Coimbra, D. B., Hostenio, S., Trivedi, H. B., Murakata, K., Kawabata, T., Schuch, M. J. Cosmic Ray muon observation at Southern Space Observatory – 850 (28°S, 52°W). Astrophysics and Space Science 290, 369-387 (2004).
[5] Gonzalez and Tsurutani, 1987; Tsurutani et al., 1989; Tsurutani et al., 1992; Gonzalez et al., 1999.

ELAG 2007



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE/MCT
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRS/CIE/INPE - MCT
OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – OES/CRS/CIE/INPE - MCT



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA – UFSM
CENTRO DE TECNOLOGIA – CT/UFSM
LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA – LACESM/CT/UFSM

**AMPLIAÇÃO DO PROTÓTIPO DO
TELESCÓPIO MULTIDIRECIONAL DE RAIOS CÓSMICOS DE ALTA ENERGIA – MUONS**

Nikolas Kemmerich¹; Alison Dal Lago²; Nelson Jorge Schuch¹; Carlos Roberto Braga¹; Samuel Martins da Silva¹;
Marcos Vinicius Dias Silveira¹; Fabrício Deives Kunmer¹; Tardelli Ronan Coelho Stelkel¹.

[1] Laboratório de Física Espacial do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – LCE/CRS/CIE/INPE – MCT em parceria com o Laboratório de Física Espacial de Santa Maria, Conselho INPE – UFSM, Av. Roraima, 1000, Santa Maria, RS, Brasil
[2] Divisão de Geofísica Espacial, Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - DGE/CEM/INPE – MCT, Caixa Postal 515, São José dos Campos, SP, Brasil

E-mail: nikolas@lacosm.ufsm.br

INTRODUÇÃO

O clima espacial está ligado à relação entre o Sol, o espaço interplanetário, a magnetosfera, alta e baixa atmosfera e a superfície terrestre, além de estudar as origens e a previsão de tempestades geomagnéticas [3]. Tempestades magnéticas são originadas por estruturas ejetadas do Sol chamadas de Ejeções de Massa Coronais (EMC) (Figura 1), que têm sua ocorrência modulada pelo ciclo solar de 11 anos. Tempestades magnéticas são responsáveis pelo apatcimentamento das auroras nos pólos e são responsáveis por danos em sistemas tecnológicos, perda de dados de satélite principalmente na região de anomalia magnética do atlântico sul, *black-out* de energia elétrica e interferência nas telecomunicações e em radares. Índices geomagnéticos tais, como o índice Dst, indicam a ocorrência de tempestades geomagnéticas. Valores de Dst < -20 nT correspondem a tempestades geomagnéticas. Com o objetivo de estudar a previsão e, portanto, possibilitar a tomada de decisão para prevenir possíveis danos tecnológicos, foi instalado em 2001 o protótipo detector de raios cósmicos muons de alta energia no Observatório Espacial do Sul (OES/CRS/CIE/INPE – MCT) em São Martinho da Serra, RS, (Lat.: 29,4°S, Log.: 506,2°W), constituído de 2 camadas de 4 detectores (2x2x2) com resolução temporal de uma hora. O detector foi expandido em 2005, passando a ser constituído de 56 detectores (2x4x7) e com resolução temporal de um minuto (Figura 2), sendo 7 vezes mais preciso que o protótipo, otimizando o desempenho da Rede Mundial de Detectores de muons (Figura 3). O telescópio detector de raios cósmicos mostra resposta à ocorrência de tempestades geomagnéticas na forma de decréscimo de 1% a 10% na contagem de muons [1].

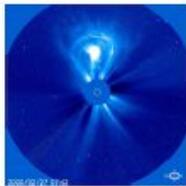


Figura 1: Ejeção de massa coronal em 27 de Janeiro de 2006 observada por LASCO C2 and C3. (Fonte: NASA Satellite SOHO)



Figura 2: O telescópio expandido está em operação desde Janeiro de 2005 no Observatório Espacial do Sul (OES/CRS/CIE/INPE – MCT) em São Martinho da Serra - RS.

METODOLOGIA NO ESTUDO DE TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS

+DETECTOR DE RAIOS CÓSMICOS DE ALTA ENERGIA – MUONS: Muons são partículas secundárias originadas devido a colisão dos raios cósmicos com partículas da atmosfera terrestre. Estruturas solares como ejeções magnéticas blindam a passagem de raios cósmicos vindos da direção do Sol (Figura 4) [2]. Pode-se perceber este decréscimo com o telescópio multidirecional de raios cósmicos que detecta partículas de muons, as quais em energia ~ 50GeV [1]. A expansão do detector possibilitou uma maior cobertura da rede mundial de raios cósmicos devido a uma maior multidirecionalidade e conseqüentemente maior contagem de muons para o mesmo período de tempo. O protótipo tinha uma resolução temporal de uma hora enquanto o telescópio expandido tem resolução temporal de um minuto.

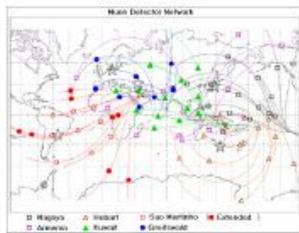


Figura 3: Rede mundial de detectores de raios cósmicos de alta energia – muons (atualizado).

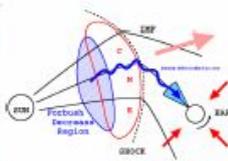


Figura 4: Representação esquemática do cone de partículas na direção Sol - CME - Terra.

+ACE (Advanced Composition Explorer): Lançado em 1997 o satélite ACE da NASA localiza-se em órbita no ponto lagrangeano L1, região privilegiada para coleta de dados. Foram utilizados dados de intensidade de campo magnético interplanetário, velocidade do vento solar, densidade de partículas, temperatura, dentre outros parâmetros.

RESULTADOS

Ao analisar os dados do satélite ACE para o período de 25 de outubro a 14 de novembro de 2004 observou-se um aumento na intensidade do campo magnético interplanetário (CMI) em virtude da chegada na Terra de uma ejeção de massa coronal (EMC). As ejeções possuem um campo magnético mais intenso que o CMI e quando este é antiparalelo ao da Terra ocorre a reconexão entre os campos causando uma tempestade geomagnética [5]. Observou-se um decréscimo do índice Dst e aumento de parâmetros como temperatura, campo magnético interplanetário, densidade de partículas e velocidade do vento solar com a chegada do evento na Terra. Os dados causados por estes eventos são os de perda de dados de satélite, interferência em radares, *black-out* de energia elétrica e se manifestam na forma de auroras nos pólos. Observou-se um decréscimo nas contagens de raios cósmicos observados pelo telescópio multidirecional de muons do Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS.

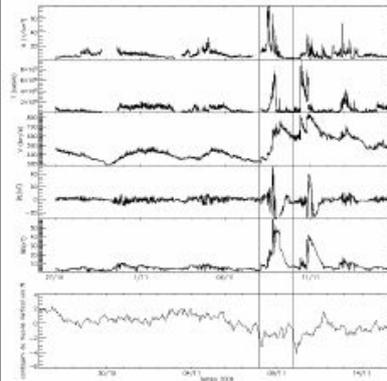


Figura 5: Gráfico com dados do satélite ACE, que mostra aumento nos parâmetros indicando duas tempestades geomagnéticas em novembro de 2004 e gráfico com dados do telescópio multidirecional (protótipo), em resposta as variações geomagnéticas observou-se decréscimo na taxa de contagem de muons no mesmo período de novembro de 2004 no Observatório Espacial do Sul.

CONCLUSÕES

Na ocorrência das tempestades geomagnéticas, parte dos raios cósmicos é blindada pela EMC representando um decréscimo na taxa de contagem de muons (decréscimo de Forbush) [1]. O telescópio multidirecional de raios cósmicos de alta energia – muons mostrou resposta à ocorrência de tempestades geomagnéticas em forma de decréscimo de 2% a 4% na contagem de muons no período analisado, sendo o telescópio expandido 7 vezes mais preciso que o protótipo, integrando a Rede Mundial de Detectores de Muons.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT pela aprovação dos Projetos de Pesquisa de Iniciação Científica. A National Science Foundation (NSF-USA) pelo subsídio para a *Debralee University* e FATEC/UFSM, para o apoio do Telescópio Multidirecional Detector de Muons do Observatório Espacial do Sul, ao Prof. Dr. K. Masuda e a Universidade de Shizuoka pela doação do equipamento a UFSM para ser instalado no Observatório Espacial do Sul.

REFERÊNCIAS

[1] Hasegawa, K., Bieber, J. W., Yanas, S., Kato, C., Koyama, M., Akahara, S., Fujimoto, K., Fuji, T., Humble, J. E., Duldig, M. L. Precipitation of geomagnetic storms observed by muon detectors. *J. Geophys. Res.*, 105, A12, 27437-27460 (2000).
[2] Da Silva, H. 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).
[3] Russell, C. What is space weather? Disponível em: http://www.wildfire.uscar.edu/our/indiv/space_weather/inv_intro/what_is_an.html&id=44936. Acesso em 22 de dezembro de 2005.
[4] Da Silva, H. R., Coimbra, D. B., Hostenin, S., Trivedi, N. B., Humalata, K., Kowaban, T., Schuch, N. J. Cosmic Ray muon observation at Southern Space Observatory – SSO (29°S, 53°W). *Astrophysics and Space Science*, 260, 269-287 (2004).
[5] Gonzalez and Tsurutani, 1987; Tsurutani et al., 1989; Tsurutani et al., 1992; Gonzalez et al., 1999.



VI Latin American School of Geomagnetism – ELAG
25 - 30 Novembro de 2007
Vassouras - Rio de Janeiro - Brasil



**ANEXO 3 -RELATÓRIO PARCIAL DO PROJETO DE
PESQUISA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA.**

RELATÓRIO PARCIAL DE ATIVIDADES PIBIC/CNPq-INPE – FEVEREIRO DE 2008

1. 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.

2. Identificação do aluno e orientadores

Bolsista: Níkolos Kemmerich

Orientador: Alisson Dal Lago

Co-orientador: Nelson Jorge Schuch

Protocolo: 101085/2007-9

3. Colocação do problema estudado: O Sol ejeta constantemente gás ionizado altamente condutor chamado plasma, que é um fluxo de partículas que saem da base da coroa e fluem para o meio interestelar. Este fluxo chamado Vento Solar interage com a magnetosfera terrestre causando algumas conseqüências para a vida do homem e para a natureza. Ejeções de Massa Coronais são grandes desprendimentos de plasma solar com parâmetros característicos, e ao atingirem a Terra causam danos em sistemas tecnológicos. Notou-se que a variabilidade solar e suas estruturas influenciam no fluxo de raios cósmicos transientes no meio interplanetário. CMEs blindam raios cósmicos, e detectores de raios cósmicos de alta energia acusam o decréscimo deste fluxo de partículas vindas da direção do Sol (decréscimo de Forbush). O telescópio multidirecional de raios cósmicos de alta energia – muons foi instalado em 2001 no Observatório Espacial do Sul (OES/CIE/INPE – MCT), no âmbito da parceria INPE-UFSM, cooperação Brasil-Japão-USA em Clima Espacial. O telescópio pode ser utilizado na previsão de tempestades geomagnéticas com 8 horas de antecedência (Munakata et al., 2001). Atualmente opera, desde dezembro de 2005, o telescópio ampliado e o objetivo deste projeto visa à participação técnica e científica, e análise preliminar de dados tanto do protótipo quanto do expandido. Além da análise de eventos de tempestades geomagnéticas utilizando dados de satélite do meio interplanetário, índices geomagnéticos e dados de raios cósmicos do Observatório Espacial do Sul – OES/CIE/INPE.

4. Metodologia: Desenvolveu-se rotinas em IDL para análise de dados do meio interplanetário obtida pelo satélite “Advanced Composition Explorer” – ACE, para identificar estruturas interplanetárias dos distúrbios geomagnéticos originadas de Ejeções de Massa Coronais. Utilizou-se o índice geomagnético Dst fornecido pela Universidade de Kyoto pelo site

” <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/index.html>”, para identificar a ocorrência de tempestades geomagnética. Dados do telescópio multidirecional de partículas de alta

energia – muons foram utilizados para avaliar a resposta aos eventos interplanetário-geomagnéticos em forma de decréscimo na contagem de muons.

5. Resultados obtidos até janeiro de 2008: O aluno realizou revisões bibliográficas a respeito de Ejeções de Massa Coronais, estrutura, dinâmica e geofetividade das nuvens magnéticas interplanetárias, outras estruturas que causam tempestades, princípio do funcionamento do telescópio multidirecional, uso de dados do protótipo para análise em IDL, acesso remoto, entre outros, utilizando teses de mestrado, doutorado e artigos. Confeção gráfica utilizando dados de parâmetros interplanetário do satélite ACE, telescópio protótipo e expandido. O aluno também submeteu resumos e participou de eventos científicos. Até a presente data, o bolsista publicou os seguintes trabalhos científicos como autor ou co-autor:

1- KEMMERICH, Nícolas; BRAGA, Carlos Roberto; DAL LAGO, Alisson; SCHUCH, Nelson Jorge. Ampliação do Protótipo de Telescópios Multidirecionais de Raios Cósmicos de Alta Energia - Muons: Participação no Desenvolvimento Técnico e de Engenharia, e Análise Preliminar dos Dados - SICINPE. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO INPE - SICINPE, 2007, Sao José dos Campos, SP. ANAIS DO SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO INPE - SICINPE, 2007.

2- KEMMERICH, Nícolas; DAL LAGO, Alisson; BRAGA, Carlos Roberto; SILVEIRA, Marcos Vinicius Dias; SCHUCH, Nelson Jorge; DA SILVA, Samuel Martins. 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 SICINPE 2007. In: XXII Jornada Acadêmica Integrada - UFSM, 2007, Santa Maria, RS. Anais da XXII Jornada Acadêmica Integrada - UFSM, 2007.

3- KEMMERICH, Nícolas; DAL LAGO, Alisson; SCHUCH, Nelson Jorge; BRAGA, Carlos Roberto; DA SILVA, Samuel Martins; SILVEIRA, Marcos Vinicius Dias; KUMMER, Fabrício Deives; STEKEL, T. R. C.. 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 - ELAG. In: Luiz Muniz Barreto -VI Latin American School of Geomagnetism -ELAG, 2007, Vassouras, RJ. Luiz Muniz Barreto –VI Latin American School of Geomagnetism - ELAG, 2007.

5- KEMMERICH, Nícolas; DAL LAGO, Alisson; SCHUCH, Nelson Jorge; BRAGA, Carlos Roberto; DA SILVA, Samuel Martins; SILVEIRA, Marcos Vinicius Dias; THUORST, J. F.; STEKEL, T. R. C.. O Uso do Telescópio Cintilador de Muons do Observatório Espacial do Sul e Dados do Satélite ACE Para Estudo e Previsão do Clima Espacial - IHY (submetido). In: INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL - IHY, 2007, Sao Paulo, SP. INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL - IHY, 2007.

6- BRAGA, Carlos Roberto; SCHUCH, Nelson Jorge; DA SILVA, Samuel Martins; KEMMERICH, Nícolas; SILVEIRA, Marcos Vinicius Dias; DAL LAGO, Alisson. Instrumentação para Estudo Do Clima Espacial: Telescópio Cintilador Detector de

Raios Cósmicos - Muons. In: XXII Jornada Acadêmica Integrada - UFSM, 2007, Santa Maria, RS. Anais da XXII Jornada Acadêmica Integrada - UFSM, 2007.

7- SILVEIRA, Marcos Vinicius Dias; DAL LAGO, Alisson; BRAGA, Carlos Roberto; SCHUCH, Nelson Jorge; KEMMERICH, Níkolos; DA SILVA, Samuel Martins. Estudo de estruturas interplanetárias utilizando observações de satélites e observações de raios cósmicos SICINPE 2007. In: XXII Jornada Acadêmica Integrada - UFSM, 2007, Santa Maria, RS. Anais da XXII Jornada Acadêmica Integrada - UFSM, 2007.

8- SILVEIRA, Marcos Vinicius Dias; DAL LAGO, Alisson; SCHUCH, Nelson Jorge; BRAGA, Carlos Roberto; KEMMERICH, Níkolos; DA SILVA, Samuel Martins; KUMMER, Fabrício Deives. Estudo de Estruturas Interplanetárias Utilizando Dados do Satélite ACE - ELAG. In: Luiz Muniz Barreto -VI Latin American School of Geomagnetism -ELAG, 2007, Vassouras, RJ. Luiz Muniz Barreto -VI Latin American School of Geomagnetism -ELAG, 2007.

9- SILVEIRA, Marcos Vinicius Dias; DAL LAGO, Alisson; SCHUCH, Nelson Jorge; BRAGA, Carlos Roberto; DA SILVA, Samuel Martins; KEMMERICH, Níkolos; THUORST, J. F.; STEKEL, T. R. C.. Análise de Estruturas Interplanetárias Utilizando Dados do Satélite ACE e da Rede Internacional de Telescópios Cintiladores de Muons IHY (submetido). In: INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL, 2007, Sao Paulo, SP. INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL, 2008.

10- DA SILVA, Samuel Martins; ECHER, Ezequiel; SCHUCH, Nelson Jorge; BRAGA, Carlos Roberto; KEMMERICH, Níkolos; SILVEIRA, Marcos Vinicius Dias. Estudo Comparativo das Frentes de Choque Planetárias SICINPE 2007. In: XX Jornada Acadêmica Integrada - UFSM, 2007, Santa Maria, RS. Anais da XX Jornada Academia Integrada - UFSM, 2007.

11- DA SILVA, Samuel Martins; ECHER, Ezequiel; SCHUCH, Nelson Jorge; BRAGA, Carlos Roberto; KEMMERICH, Níkolos; SILVEIRA, Marcos Vinicius Dias; KUMMER, Fabrício Deives; STEKEL, T. R. C.. Estudo das Propriedades da Frente de Choque de Mercúrio com Dados de Magnetômetro Fluxgate e Sensor de Plasma/Elétrons. In: Luiz Muniz Barreto -VI Latin American School of Geomagnetism -ELAG, 2007, Vassouras, RJ. Luiz Muniz Barreto -VI Latin American School of Geomagnetism-ELAG, 2007.

12- DA SILVA, Samuel Martins; BRAGA, Carlos Roberto; KEMMERICH, Níkolos; SILVEIRA, Marcos Vinicius Dias; THUORST, J. F.; STEKEL, T. R. C.; SCHUCH, Nelson Jorge. Estudo das Propriedades da Frente de Choque de Mercúrio com Observações da Mariner-10 - IHY - (Sumetido). In: INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL - IHY, 2007, Sao Paulo, SP. INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL - IHY, 2007.

O aluno participou dos seguintes eventos e atividades:

- JAI – 22ª Jornada Acadêmica Integrada que ocorreu na UFSM (Universidade Federal de Santa Maria) Santa Maria – RS, no período de 22 a 25 de outubro de 2007. O trabalho foi apresentando na forma de pôster e oral.

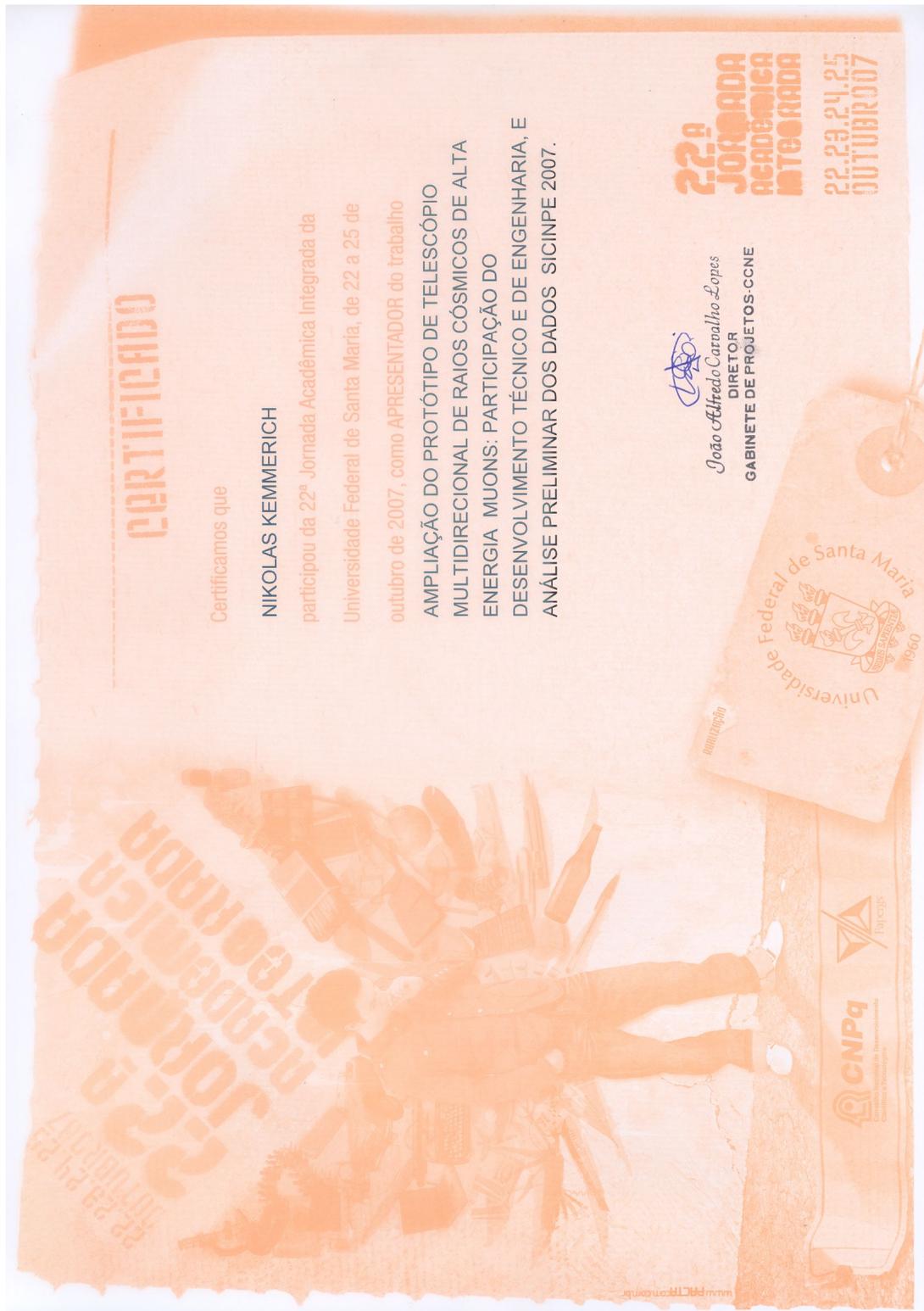
- ELAG - VI Latin American School of Geomagnetism (Escola Latino Americano de Geomagnetismo que ocorreu em Vassouras – RJ, no período de 25 a 30 de novembro de 2007. Apresentação na forma de pôster. O aluno teve oportunidade de conhecer o Observatório Nacional na cidade do Rio de Janeiro – RJ, Brasil, e interagir com diversos pesquisadores de diferentes países.

- De 06 a 16 de agosto de 2007 houve a visita do pesquisador Dr. Kazuoki Munakata, da qual o aluno participou acompanhando as atividades.

- O Aluno teve a oportunidade de interagir e acompanhar o Dr. Chihiro Takao em suas atividades no Observatório Espacial do Sul e Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRS/CIE/INPE – MCT do dia 12 a 22 de dezembro de 2007.

6. Resultados a serem obtidos até julho de 2008: O aluno dará continuidade ao estudo e análise de dados do telescópio e dados de satélite visando possíveis aperfeiçoamentos, também contínuo estudo científico e técnico do detector. Nos últimos três meses será elaborado relatório final de atividades PIBIC/INPE – CNPq e serão preparados trabalhos científicos baseados nos dados do Telescópio estendido e protótipo.

ANEXO 4 - CERTIFICADOS DE PARTICIPAÇÃO DE EVENTOS COMO AUTOR.



XXII Jornada Acadêmica Integrada – 2007



VI Latin American School of Geomagnetism – 2007



International Heliophysical Year – IHY 2008