



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

**ESTUDO DE ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS UTILIZANDO  
OBSERVAÇÕES DE SATÉLITES E OBSERVAÇÕES DE  
RAIOS CÓSMICOS**

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

**PROCESSO: 101086/2007 – 5**

**Marcos Vinicius Dias Silveira – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT  
Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas  
LCEPTM/CRS/CIE/INPE – MCT  
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais  
CRS/CIE/INPE – MCT  
E-mail: [silveira@lacesm.ufsm.br](mailto:silveira@lacesm.ufsm.br)**

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

**Junho de 2008**



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

**PROJETO**

**ESTUDO DE ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS UTILIZANDO  
OBSERVAÇÕES DE SATÉLITES E OBSERVAÇÕES DE  
RAIOS CÓSMICOS**

**PROCESSO: 101086/2007 – 5**

Relatório elaborado por:

**Marcos Vinicius Dias Silveira - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT**  
**E-mail: [silveira@lacesm.ufsm.br](mailto:silveira@lacesm.ufsm.br)**

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

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

## **Dados de Identificação:**

### **Título do Projeto:**

**ESTUDO DE ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS UTILIZANDO  
OBSERVAÇÕES DE SATÉLITES E OBSERVAÇÕES DE RAIOS CÓSMICOS**

**Processo CNPq N°: 101086/2007 – 5**

### **Bolsista:**

**Marcos Vinicius Dias Silveira**

Acadêmico 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**

Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto – Japan.

**Dr. Takao Kuwabara**

Bartol Research Institute, University of Delaware, Newark, Delaware – EUA

**Jairo Francisco Savian**

Mestrando do Curso de Geofísica da Universidade de São Paulo, São Paulo –  
Brasil.

**Marlos Rockenbach da Silva**

Doutorando do Curso de Geofísica Espacial do Instituto Nacional de Pesquisas  
Espaciais, São José – Brasil.

**Carlos Roberto Braga**

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM.

**Nikolas Kemmerich**

Acadêmico do Curso de Física Licenciatura Plena Noturno da UFSM.

**Samuel Martins da Silva**

Acadêmico do Curso de Física Bacharelado da UFSM.



**Fabício Deives Kummer**

Acadêmico do Curso de Física Bacharelado da UFSM.

**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.



## Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



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

IdentificaçãoRecursos HumanosLinhas de PesquisaIndicadores 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:** 20/06/2008 14:27

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

Ademar Michels - [michels@ct.ufsm.br](mailto:michels@ct.ufsm.br)

**Área predominante:** Ciências Exatas e da Terra; Geociências

**Instituição:** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

**Órgão:** Coordenação de Gestão Científica - CIE

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

**Endereço**

**Logradouro:** Caixa Postal 5021

**Bairro:** Camobi

**CEP:** 97110970

**Cidade:** Santa Maria

**UF:** RS

**Telefone:** 33012026

**Fax:** 33012030

**E-mail:** [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto: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	
<b>Pesquisadores</b>	<b>Total: 32</b>
<a href="#">Ademar Michels</a>	<a href="#">Jean Carlo Santos</a>
<a href="#">Alan Prestes</a>	<a href="#">Jean Pierre Raulin</a>
<a href="#">Alicia Luisa Clúa de Gonzalez</a>	<a href="#">Joao Paulo Minussi</a>
<a href="#">Alisson Dal Lago</a>	<a href="#">Jose Humberto Andrade Sobral</a>
<a href="#">Antonio Claret Palerosi</a>	<a href="#">Mangalathayil Ali Abdu</a>
<a href="#">Barclay Robert Clemesha</a>	<a href="#">Marcelo Barcellos da Rosa</a>
<a href="#">Clezio Marcos De Nardin</a>	<a href="#">Nalin Babulau Trivedi</a>
<a href="#">Cristiano Max Wrasse</a>	<a href="#">Natanael Rodrigues Gomes</a>
<a href="#">Delano Gobbi</a>	<a href="#">Nelson Jorge Schuch</a>
<a href="#">Eurico Rodrigues de Paula</a>	<a href="#">Odim Mendes Junior</a>
<a href="#">Ezequiel Echer</a>	<a href="#">Osmar Pinto Junior</a>
<a href="#">Fabiano Luis de Sousa</a>	<a href="#">Otavio Santos Cupertino Durão</a>
<a href="#">Fábio Augusto Vargas dos Santos</a>	<a href="#">Petrônio Noronha de Souza</a>
<a href="#">Fernando Luís Guarnieri</a>	<a href="#">Polinaya Muralikrishna</a>
<a href="#">Hisao Takahashi</a>	<a href="#">Severino Luiz Guimaraes Dutra</a>
<a href="#">Ijar Milagre da Fonseca</a>	<a href="#">Walter Demetrio Gonzalez Alarcon</a>
<b>Estudantes</b>	<b>Total: 30</b>
<a href="#">Alan Carlos Klein</a>	<a href="#">Juliano Moro</a>
<a href="#">Antonio Marcos Martins Silveira</a>	<a href="#">Lilian Piecha Moor</a>
<a href="#">Bernardo Henz</a>	<a href="#">Lorenzo Marzari Félix</a>
<a href="#">Carlos Roberto Braga</a>	<a href="#">Lucas Lopes Costa</a>
<a href="#">Cassio Espindola Antunes</a>	<a href="#">Marcos Vinicius Dias Silveira</a>
<a href="#">César Augusto Daroit</a>	<a href="#">Mateus Sabadi Schuh</a>
<a href="#">Cristiano Sarzi Machado</a>	<a href="#">Nikolas Kemmerich</a>
<a href="#">Eduardo Ceretta Dalla Favera</a>	<a href="#">Rafael Lopes Costa</a>
<a href="#">Fabrício Deives Kummer</a>	<a href="#">Ricardo Cartier dos Santos</a>
<a href="#">Fernando de Souza Savian</a>	<a href="#">Samuel Martins da Silva</a>
<a href="#">Guilherme Simon da Rosa</a>	<a href="#">Silvano Lucas Prochnow</a>
<a href="#">Igor Freitas Fagundes</a>	<a href="#">Tardelli Ronan Coelho Stekel</a>
<a href="#">Jean Carlos Daroit</a>	<a href="#">Tiago Domingos dos Santos</a>
<a href="#">Jose Fernando Thuorst</a>	<a href="#">Tiago Jaskulski</a>
<a href="#">Josemar de Siqueira</a>	<a href="#">Willian Rigon Silva</a>
<b>Técnicos</b>	<b>Total: 5</b>
Anderson Pereira Colvero - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Eletrônica	
Eduardo Ceretta Dalla Favera - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação	
Koiti Ozaki - Especialização - Analista de Sistemas	
Roben Castagna Lunardi - Graduação - Técnico em Computação	
Vinicius Ceregati Costa - Graduação - \Outra Função	
<b>Linhas de pesquisa</b>	<b>Total: 4</b>



- [AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA](#)
- [MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO](#)
- [MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)
- [NANOSATC-BR](#)

---

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

---

**Indicadores de recursos humanos do grupo**

	<b>Integrantes do grupo</b>	<b>Total</b>
Pesquisador(es)		32
Estudante(s)		30
Técnico(s)		5



## Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



**Estudante**  
**Marcos Vinicius Dias Silveira**



[Link para Currículo Lattes](#)

[Dados gerais](#)[Indicadores de produção C, T & A](#)**Dados gerais****Identificação do estudante**

**Nome:** Marcos Vinicius Dias Silveira

**Nível de treinamento:** Graduação

**Currículo Lattes:** 13/03/2008 15:03

**E-mail:** [silveira@lacesm.ufsm.br](mailto:silveira@lacesm.ufsm.br)

**Homepage:** <http://http://www.inpe.br/crs>

**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





Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



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

**Linha de pesquisa****MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL****Nome do grupo:** [Clima Espacial](#), [Magnetosferas: Interações Terra - Sol](#), [NanoSatC-Br](#)**Palavras-chave:** Campo Magnético Interplanetário; Muons; Raios 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](#)  
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)  
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)

**Estudantes:**

[Carlos Roberto Braga](#)  
[Fabrício Deives Kummer](#)  
[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.

**Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil****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](#)  
[Nalín Babulal Trivedi](#)  
[Natanael Rodrigues Gomes](#)  
[Nelson Jorge Schuch](#)  
[Odim 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 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 a Deus por ter me concedido o dom da vida, a minha avó Tereza Silveira, minha tia Rosa Silva Castro e ao meu irmão Paulo pela ajuda financeira, carinho e apoio nos momentos difíceis da vida. Agradeço a minha namorada Eveline pela compreensão, apoio e confiança que tem em mim neste tempo em que convivemos.

Ao meu orientador Dr. Alisson Dal Lago, pela sua atenção e disposição em auxiliar-me durante a realização de minhas atividades de iniciação científica. Em especial ao Dr. Nelson Jorge Schuch, pelos seus ensinamentos e pelas oportunidades oferecidas.

Aos grandes amigos do CRS/CIE/INPE – MCT que sempre estiveram dispostos a auxiliar e aos inúmeros amigos e colegas da UFSM.

Ao Coordenador do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, pela aprovação do Projeto de Pesquisa, em especial, e com carinho agradeço a secretária do Programa Egidia I. Rosa, sempre atenta para informar e colaborar com apoio e atenção.

## Resumo

O Projeto tem como objetivos estudar estruturas interplanetárias provenientes do Sol e analisar os efeitos das estruturas nos raios cósmicos observados pelo Telescópio Cintilador de Muons - TCM. As estruturas estudadas são ejeções coronais de massa – CMEs, regiões de interação co-rotante – CIRs e ondas de choque, que quando atingem a magnetosfera terrestre podem causar tempestades geomagnéticas, gerando diversos danos em sistemas de telecomunicação e elétricos de potência. Para o monitoramento da atividade solar a NASA e a ESA possuem respectivamente os satélites *Advanced Composition Explorer* – ACE e o *Solar and Heliospheric Observatory* – SOHO entre outros, que se encontram localizados no ponto Lagrangeano L1, ponto de equilíbrio gravitacional entre o Sol e a Terra. A metodologia usada no Projeto consiste em analisar dados de parâmetros de plasma e de campo magnético obtidos através do ACE, calculando a pressão cinética e pressão magnética das estruturas a fim de se obter o parâmetro beta que é a razão entre as pressões. As estruturas possuem um campo magnético próprio que bloqueia a passagem de partículas eletricamente carregadas, como é o caso dos raios cósmicos. Os muons, que são oriundos do decaimento dos raios cósmicos, atingem a Terra de forma isotrópica e quando há uma tempestade geomagnética ocorre um decréscimo na contagem dessas partículas, denominado decréscimo de *Forbush*. A contagem dos muons é realizada por uma rede internacional de telescópios cintiladores de muons localizados na superfície terrestre sendo que um, o TCM, está localizado no Brasil, no Observatório Espacial do Sul (OES/CRS/CIE/INPE – MCT), em São Martinho da Serra, RS. Os dados das contagens direcionais do TCM são analisados nos períodos em que foram registrados eventos solares buscando-se identificar a relação entre as estruturas interplanetárias e os decréscimos dos raios cósmicos.

## Índice

CAPÍTULO 1 .....	18
Introdução e Objetivos .....	18
1.1 Introdução.....	18
1.2 Objetivos.....	18
CAPÍTULO 2 .....	20
Estruturas Magnéticas do Meio Interplanetário .....	20
2.1 O Sol.....	20
2.1.1 Interior Solar.....	21
2.1.2 Atmosfera Solar.....	21
2.2 Vento Solar.....	26
2.3 Campo Magnético Interplanetário.....	26
2.4 Ciclo Solar de 11 Anos.....	29
2.3 Estruturas Magnéticas no Meio Interplanetário .....	31
2.3.1 Região de Interação Co-Rotante.....	31
2.3.2 Explosões Solares.....	33
2.3.3 Ondas de Choque.....	34
2.3.4 Ejeção Coronal de Massa .....	35
2.3.5 Nuvens Magnéticas .....	38
2.4 Raios Cósmicos .....	40
2.5 Tempestades Geomagnéticas.....	43
CAPÍTULO 3 .....	47
Metodologia.....	47
3.1 O Satélite ACE .....	47
3.2 O Satélite SOHO .....	50
3.3 Telescópio cintilador de muons.....	54
CAPÍTULO 4 .....	60
Análise de Dados e Interpretações dos Resultados .....	60
4.1 O Evento de Outubro de 1999.....	61
4.2 O Evento de Novembro de 2004 .....	63



4.3 O Evento de Abril de 2006.....	66
4.4 O Evento de Dezembro de 2006.....	69
CAPÍTULO 5 .....	72
Conclusões.....	72
Referências Bibliográficas.....	74
ANEXOS .....	76
Anexo A.....	77
Projeto de Iniciação Científica .....	77
Anexo B.....	82
Relatório Parcial de Atividades PIBIC/ INPE – CNPq/MCT – Fevereiro de 2008 ....	82
Anexo C.....	85
Títulos e Resumos de Trabalhos Apresentados e ou Submetidos .....	85
Anexo D.....	114
Certificados de Participação em Eventos .....	114

## Índice de Figuras

FIGURA 1: Diagrama da estrutura do interior e da atmosfera solar.....	21
FIGURA 2: Imagem da fotosfera e dos grânulos solares. a) Imagem da fotosfera solar, os pontos mais escuros são manchas solares.....	22
FIGURA 3: Região ativa 9169 registrada em 23 de setembro de 2000. ....	23
FIGURA 4: Fotografia da cromosfera solar. ....	24
FIGURA 5: Fotografia mostrando as espículas na cromosfera do Sol. ....	24
FIGURA 6: Fotografia mostrando as proeminências solares.....	25
FIGURA 7: Imagem da coroa solar obtida pelo LASCO C2, em 6 de novembro de 1997, o círculo branco no centro da imagem representa o Sol. Na imagem é possível ver uma CME.....	25
FIGURA 8: Campo inicial poloidal evoluindo para um campo toroidal devido à rotação diferencial solar. ....	27
FIGURA 9: Polaridade das manchas solares nos diferentes hemisférios em um dado ciclo solar.....	27
FIGURA 10: Apresentação esquemática do campo magnético interplanetário. ....	28
FIGURA 11: Esquema da heliosfera e suas principais características.....	29
FIGURA 12: Gráfico do número de manchas solares em função dos anos caracterizando o ciclo solar de 11 anos. ....	30
FIGURA 13: Gráficos mostrando o número de manchas solares a partir de 1749. ....	31
FIGURA 14: Representação esquemática de uma CIR.....	32
FIGURA 15: Visão da estrutura de setor interplanetária e da lâmina de corrente .....	33
FIGURA 16: Imagem de uma explosão solar. ....	34
FIGURA 17: Sequência de imagens mostrando a ocorrência de uma CME observada pelo coronógrafo LASCO C3 a bordo do satélite SOHO em junho de 1999.....	36
FIGURA 18: Geometria de uma nuvem magnética. ....	39



FIGURA 19: Intensidade dos raios cósmicos em função da energia. ....	40
FIGURA 20: Diagrama esquemático de um chuveiro de raios cósmicos.. ....	42
FIGURA 21: Ilustração do bloqueio de raios cósmicos por uma CME. ....	43
FIGURA 22: Transformador destruído, devido a uma tempestade geomagnética em Quebec no Canadá. ....	44
FIGURA 23: Aurora formada após uma tempestade geomagnética. ....	44
FIGURA 24: Ilustração da interação entre uma nuvem magnética, oriunda de uma ICME, com a magnetosfera terrestre. ....	45
FIGURA 25: Fenômenos que afetam o Clima Espacial, energias envolvidas, tempo de duração de eus efeitos e principais tipos de danos em sistemas tecnológicos. ....	46
FIGURA 26: Ilustração representativa da órbita do satélite ACE, o ponto Lagrangeano L1, a distância do L1 em relação à Terra e ao Sol. ....	48
FIGURA 27: Ilustração da disposição dos instrumentos abordo do ACE. ....	49
FIGURA 29: Esquema da órbita do Satélite SOHO. ....	51
FIGURA 30: O Sol dividido em quatro quadrantes, onde cada quadrante corresponde a um comprimento de onda distinto. ....	53
FIGURA 31: Imagem do telescópio EIT. ....	53
FIGURA 32: Foto do prédio principal OES, onde está instalado o TCM, em São Martinho da Serra. ....	54
FIGURA 33: Diagrama mostrando a área de cobertura da rede de TCMs, mostrando as visões assintóticas de cada telescópio.. ....	55
FIGURA 34: Gráficos contendo dados do meio interplanetário e dados da intensidade de muons em relação aos ângulos de <i>pitch</i> . ....	56
FIGURA 35: Foto do protótipo do TCM instalado no OES em 2001. ....	57
FIGURA 36: Foto do TCM instalado no OES em dezembro de 2005. ....	57
FIGURA 37: Esquema do método de contagem do TCM. ....	58
FIGURA 38: Painel de gráficos de dados do meio interplanetário de outubro de 1999. ....	62



FIGURA 39: Painel mostrando gráficos dos demais parâmetros interplanetários analisados para outubro de 1999. ....63

FIGURA 40: Painel de gráficos do meio interplanetário de novembro de 2004. ....64

FIGURA 41: Painel mostrando gráficos dos demais parâmetros interplanetários analisados para novembro de 2004.....65

FIGURA 42: Painel de gráficos do meio interplanetário de abril de 2006. ....66

FIGURA 43: Painel mostrando gráficos dos demais parâmetros interplanetários analisados para abril de 2006. ....67

FIGURA 44: Painel mostrando gráficos da contagem relativa de muons detectados pelo TCM em abril de 2006. ....68

FIGURA 45: Painel de gráficos do meio interplanetário de dezembro de 2006.....70

FIGURA 46: Painel mostrando gráficos dos demais parâmetros interplanetários analisados para dezembro de 2006. ....71

## CAPÍTULO 1

### Introdução e Objetivos

#### 1.1 Introdução

A atividade solar é a principal responsável pelos distúrbios geomagnéticos observados na superfície da Terra, interferindo de várias maneiras nos sistemas tecnológicos principalmente nos de telecomunicações e elétricos de potência. Os distúrbios são causados por diversas estruturas oriundas do Sol, cujas principais são ejeções coronais de massa (CMEs), nuvens magnéticas, explosões solares, ondas de choque e regiões de interação co-rotante CIRs. CMEs são ejeções de plasma solar no meio interplanetário que ao interagirem com a magnetosfera terrestre podem causar tempestades geomagnéticas.

No trabalho descrito neste relatório foram estudadas estruturas interplanetárias do tipo CMEs e nuvens magnéticas através de dados do meio interplanetário, fornecidos pelo satélite ACE, e a relação destas estruturas com a modulação de raios cósmicos de altas energias (muons) detectados pelo Telescópio Cintilador de Muons instalado no OES em São Martinho da Serra.

#### 1.2 Objetivos

Os objetivos específicos deste projeto envolvem a familiarização do aluno, através de seu aprendizado com a física e as observações das estruturas observadas no meio interplanetário.

A análise de eventos de diferentes estruturas interplanetárias através de dados obtidos pelo satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*) situado no ponto Lagrangeano L1, fora da magnetosfera terrestre, através de análises dos parâmetros de plasma das estruturas, tais como o cálculo do parâmetro beta que determina a relação entre a pressão cinética e a pressão magnética na estrutura.

Observação dos efeitos das estruturas nos raios cósmicos observados pelo telescópio multi-direcional detector de muons instalado no OES/CRS/INPE em São Martinho da Serra (RS).



Serão utilizadas observações dos instrumentos LASCO (*Large Angle and Spectroscopic Coronagraph*), a bordo do satélite SOHO (*Solar and Heliospheric Observatory*), e EIT (*Extreme Ultraviolet Imaging Telescope*) em operação desde 1996, os quais permitem a observação das CMEs solares e utilização das técnicas mais recentes de análise de dados de satélite, como por exemplo, o pacote SolarSoft da NASA, que é utilizado em ambiente IDL.

## CAPÍTULO 2

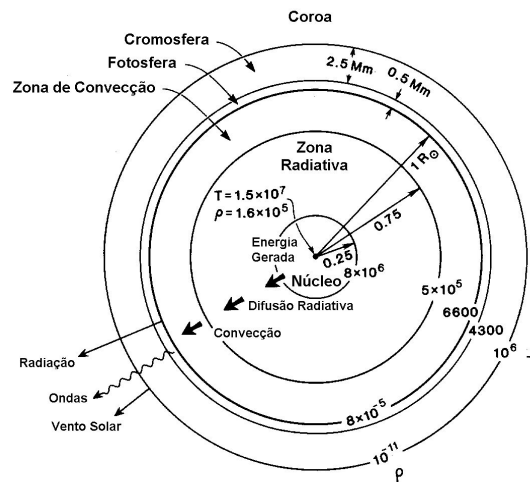
### Estruturas Magnéticas do Meio Interplanetário

Neste capítulo é realizada uma revisão teórica a respeito de conceitos da Geofísica Espacial, abordando temas relacionados ao Sol e à interação Sol – Terra.

#### 2.1 O Sol

O Sol é uma estrela ativa com aproximadamente 4,5 bilhões de anos localizada no braço de Orion a 33.000 anos-luz do centro da Via Láctea. Possui uma massa de  $1,9891 \times 10^{30} \text{ kg}$ , raio  $696.000 \text{ km}$  e luminosidade de  $3,827 \times 10^{26} \text{ W}$ , sua composição é de aproximadamente 90% hidrogênio, 10% hélio e 0,1% outros elementos. A energia térmica proveniente do Sol que sentimos é uma mínima parte da energia gerada em seu núcleo pelo processo de fusão dos núcleos de hidrogênio (prótons), formando núcleos de hélio (partículas alfa). O Sol encontra-se a uma distância média de 150 milhões de quilômetros da Terra, distância equivalente a cerca de 8 minutos-luz.

O Sol é uma bola massiva de gás comprimida pela sua própria atração gravitacional, sendo esses gases ionizados principalmente pela elevada temperatura do Sol. O Sol pode ser dividido em interior e atmosfera solar, sendo o interior solar constituído por núcleo, zonas radiativa e convectiva, e sendo a atmosfera subdividida em fotosfera, cromosfera e coroa. Um diagrama da estrutura solar é mostrado na Figura 1.



**FIGURA 1:** Diagrama da estrutura do interior e da atmosfera solar. FONTE: Adaptado de Kivelson e Russel (1995, p. 61).

### 2.1.1 Interior Solar

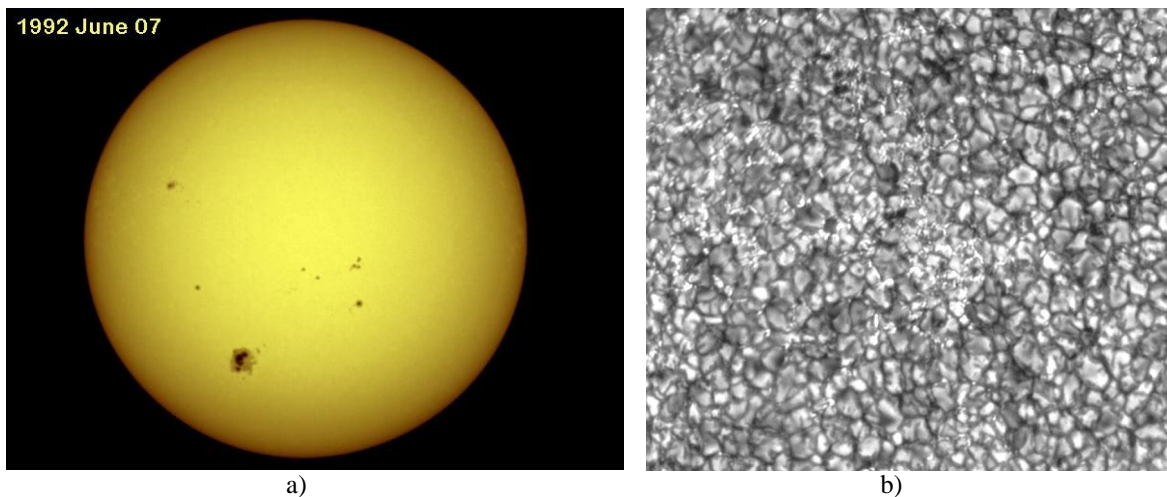
O interior solar é composto de um núcleo radiativo e um envelope convectivo que pode chegar à superfície. O núcleo se estende até 0,25 raios solares, possuindo uma temperatura da ordem de  $1,5 \times 10^7 K$  e uma densidade de aproximadamente  $1,6 \times 10^5 m^{-3}$  com isso, a compressão dos gases no núcleo atinge uma densidade 150 vezes a da água, é nessa região que ocorrem transformações de energia através de reações termonucleares. A zona radiativa é compreendida no intervalo entre 0,25 e 0,75 raios solares, nesta região a energia transformada no núcleo é dissipada pelo processo de difusão radiativa, a temperatura nessa região é da ordem de aproximadamente  $8 \times 10^6 K$ . A zona convectiva está compreendida no intervalo entre 0,75 e 1 raio solar, com uma temperatura variando aproximadamente entre  $5 \times 10^5 K$  e  $6600 K$ , na zona convectiva a energia é dissipada através do processo de convecção.

### 2.1.2 Atmosfera Solar

A atmosfera solar é subdividida em fotosfera, cromosfera e coroa solar.

A fotosfera é a camada mais inferior da atmosfera com espessura de  $500\text{ km}$ , o espectro luminoso na faixa do visível vem da fotosfera, a maior parte vem da sua região mais baixa, com  $150\text{ km}$  de espessura. A temperatura nessa região vai de  $6400\text{ K}$  na parte inferior até  $4400\text{ K}$  na fronteira com a cromosfera.

A aparência da superfície da fotosfera é de um líquido em ebulição, cheia de grânulos que duram de 15 a 20 minutos. Os grânulos têm diâmetros em torno  $500\text{ km}$  e demarcam topos das colunas convectivas que se forma na zona convectiva, a densidade média da fotosfera é aproximadamente de  $10^{23}\text{ m}^{-3}$ . A Figura 2 a) mostra imagens da fotosfera e a Figura 2 b) dos grânulos solares.



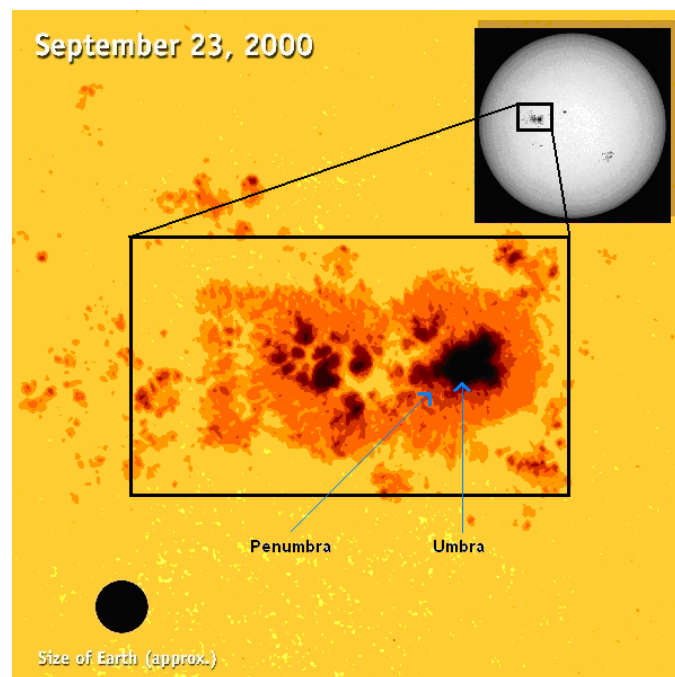
**FIGURA 2:** Imagem da fotosfera e dos grânulos solares. a) Imagem da fotosfera solar, os pontos mais escuros são manchas solares. FONTE: <http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/w920607.jpg>  
b) Grânulos solares. FONTE: Modificado de <http://solarscience.msfc.nasa.gov/feature1.shtml#Granules>

As granulações são chamadas de manchas solares. Galileo Galilei foi o primeiro a observar as manchas solares projetando a imagem do Sol em um pedaço de papel. Isto mostrou a Galileio, e a todos os astrônomos e filósofos da época, que a superfície do Sol era imperfeita. Ele também notou o movimento aparente das manchas através do disco solar mostrando que o Sol possuía rotação em torno do seu eixo.

As manchas solares se formam aos pares e são constituídas de duas partes a umbra, região central e escura, com temperatura em torno de  $3800\text{ K}$  e a penumbra, região mais clara que o centro da mancha e mais escura que a vizinhança. A Figura 3

mostra em detalhes uma região ativa registrada em setembro de 2000 pelo satélite SOHO, onde foi observado um grupo de manchas solares.

A região mostrada na Figura 3 é a região ativa 9169, e foi um dos maiores grupos de manchas solares observados no ciclo solar 23. Em 23 de setembro de 2000, a área de superfície coberta pelas manchas era de aproximadamente 12 vezes a área da superfície da Terra, representada na mesma proporção pelo círculo preto na parte inferior da imagem.



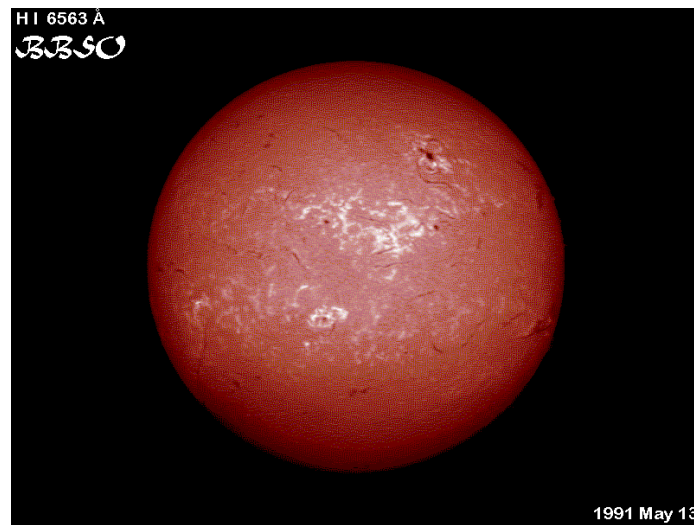
**FIGURA 3:** Região ativa 9169 registrada em 23 de setembro de 2000.

A imagem mostra as regiões umbra e penumbra das manchas solares.

FONTE: Modificado de <http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/images/sunspot00.html>

A cromosfera, situada acima da fotosfera, com espessura de aproximadamente  $2,5 \times 10^6 \text{ m}$ , temperatura no intervalo entre 430 e  $10^6 \text{ K}$ , apresenta densidade na ordem de  $10^{-11} \text{ m}^{-3}$ . Esta camada pode ser vista observando-se o Sol com um espectrógrafo ou um filtro do tipo h-alfa. Com o auxílio destes é possível observar estruturas presentes na cromosfera solar como proeminências, filamentos, fáculas, plages e espículas. A Figura 4 mostra uma fotografia da cromosfera solar.

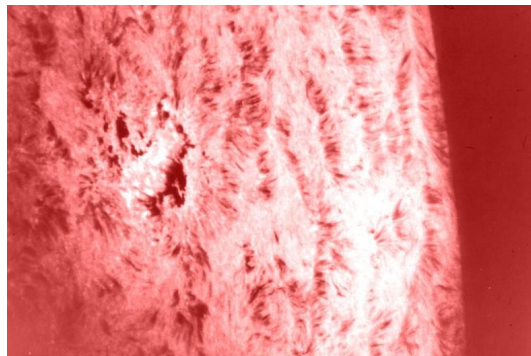




**FIGURA 4:** Fotografia da cromosfera solar.

FONTE: [http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/HI6563\\_fulldisk.jpg](http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/HI6563_fulldisk.jpg)

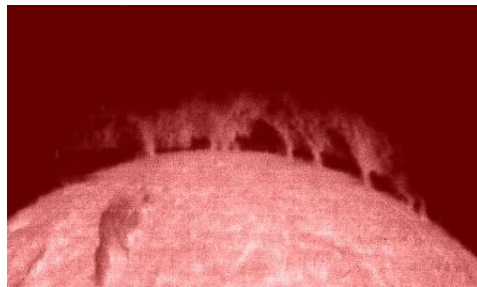
A Figura 5 mostra as espículas observadas na cromosfera solar, que são jatos de gás expelidos com temperaturas menores que a cromosfera.



**FIGURA 5:** Fotografia mostrando as espículas na cromosfera do Sol.

FONTE: [http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/spicules\\_color.jpg](http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/spicules_color.jpg)

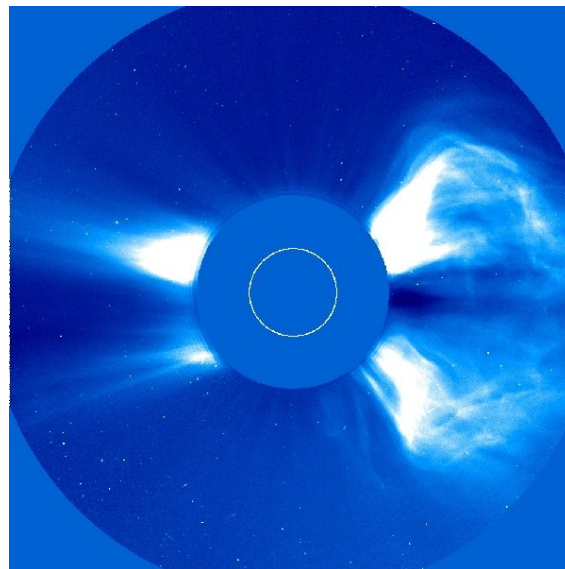
A Figura 6 mostra as proeminências observadas a partir da cromosfera solar, que são nuvens densas de material que são suspensas acima da superfície do Sol por *loops* de campo magnético.



**FIGURA 6:** Fotografia mostrando as proeminências solares.

FONTE: <http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/prominence.jpg>

A coroa solar é a última camada do Sol, situada acima da cromosfera e sem limite superior, possui uma temperatura da ordem de  $10^6 K$ , sendo essa camada mais importante da atmosfera solar, por causa da evaporação constante de seu material constituindo o vento solar. A coroa pode ser visualizada em eventos de eclipses, onde o disco solar é encoberto pela Lua ou através de instrumentos do tipo coronógrafos, como o LASCO (*Large Angle and Spectroscopic Coronagraph*) que é uma câmera abordo do satélite SOHO (*Solar and Heliospheric Observatory*) que coloca um anteparo na frente da câmera e obtém a imagem apenas da coroa solar. A Figura 7 mostra uma imagem obtida do LASCO C2 da coroa solar. É na coroa que se podem observar as estruturas como ejeções coronais de massa (CMEs) e explosões solares (do inglês *flare*).



**FIGURA 7:** Imagem da coroa solar obtida pelo LASCO C2, em 6 de novembro de 1997, o círculo branco no centro da imagem representa o Sol. Na imagem é possível ver uma CME.

FONTE: [http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/SolarCorona/large/las018\\_prev.jpg](http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/SolarCorona/large/las018_prev.jpg)

## 2.2 Vento Solar

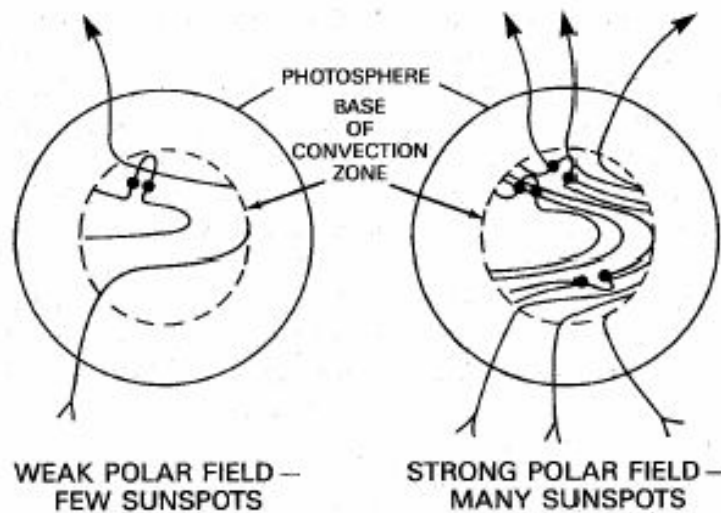
A existência do vento solar foi proposta na década 1950 com base nas evidências que pequenas variações no campo magnético terrestre haviam sido produzidas por fenômenos observados no Sol. Sua existência também foi usada para explicar a direção radial ao Sol das caudas dos cometas independente da sua direção de propagação. O vento solar é um plasma, ou seja, gás composto por íons e elétrons emitidos radialmente pelo Sol como resultado da diferença entre as pressões dos gases da coroa solar e do espaço interestelar nas proximidades do Sol. O vento solar passa pela Terra com uma velocidade média de  $450 \text{ km/s}$  e tem densidade média de prótons e elétrons de  $7 \text{ cm}^{-3}$ . Seu fluxo propaga-se até uma região, cuja localização não é bem definida denominada heliopausa onde a sua pressão e a do vento interestelar se equilibram.

O vento solar não é expelido de maneira homogênea, pois ele depende da configuração do campo magnético solar. O plasma da coroa pode estar aprisionado em um campo magnético intenso em forma de laços e uma grande emissão de raios – X é associada com a formação destes laços na coroa solar. O plasma que escapa destes laços forma um fluxo coronal que se expande para o espaço. Nos lugares da coroa onde o campo magnético solar não forma laços, mas se estende em direção aproximadamente radial, forma-se o vento solar rápido. A formação de um rápido fluxo de plasma resulta com isso em baixas densidades de plasma e radiação eletromagnética, adquirindo essas regiões uma coloração mais escura que a vizinhança. Essas regiões são denominadas de buracos coronais (Schunk e Nagy, 2000).

## 2.3 Campo Magnético Interplanetário

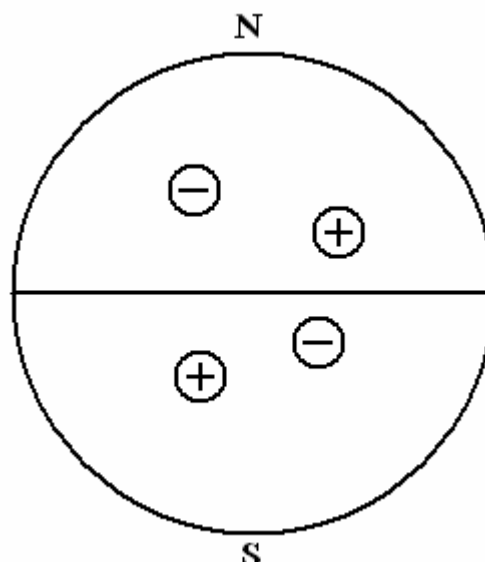
Acredita-se que o campo magnético solar é gerado por um mecanismo de dínamo. O campo do dínamo é constantemente transformado de um dipolo poloidal para um campo toroidal devido ao fato do Sol apresentar rotação diferencial, ou seja, a região do equador tem velocidade angular maior que a região dos pólos. Este fato provoca intensificação do campo magnético pelo acúmulo de linhas de campo, fazendo com que o fluxo magnético comece a emergir para fora da fotosfera, originando os pares de

manchas solares fotosféricas, que na Figura 8 são representadas pelos “pontos” conectados pelos pequenos arcos de campo magnético que se elevam (baseado em Hoyt e Schatten, 1997).



**FIGURA 8:** Campo inicial poloidal evoluindo para um campo toroidal devido à rotação diferencial solar. FONTE: Hoyt e Schatten (1997, p.112).

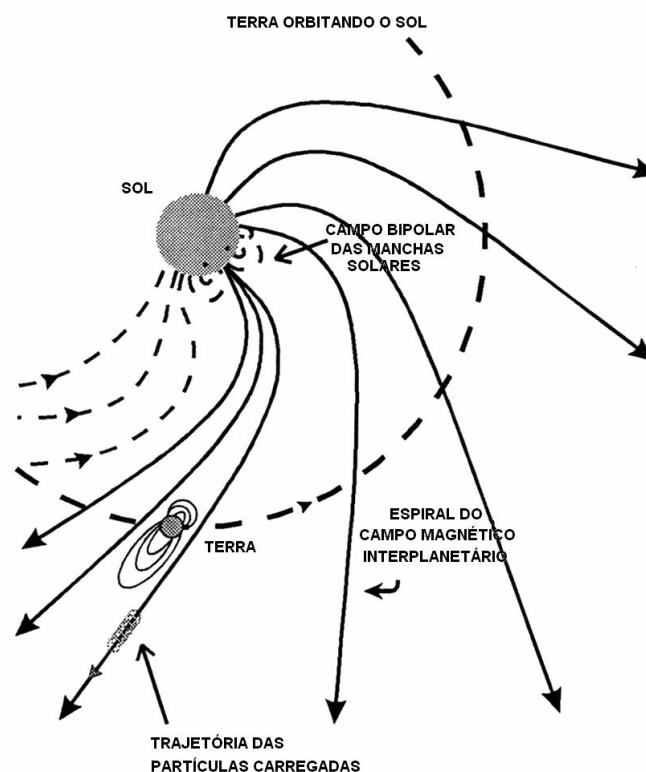
As polaridades dos pares de manchas solares serão no caso da Figura 9, [+ -] (“saindo”, “entrando”) no hemisfério sul e [- +] no hemisfério norte, como pode ser visto na Figura 9.



**FIGURA 9:** Polaridade das manchas solares nos diferentes hemisférios em um dado ciclo solar. FONTE: Dal Lago, 2004, pg. 29.

A intensidade do campo magnético solar é da ordem de  $10^{-4}$  T na superfície da fotosfera. Devido ao fato do vento solar por ser microscopicamente carregado além de possuir um campo magnético próprio ele é influenciado pelo campo magnético do Sol. Assim existe uma relação entre o plasma e o campo magnético e diz-se que o campo magnético solar está “congelado” no plasma. O transporte do campo magnético para grandes distâncias constitui o campo magnético interplanetário (*interplanetary magnetic field*, IMF), com intensidade de aproximadamente 5 nT nas circunvizinhanças da Terra. Devido à rotação do Sol, o IMF tem, em larga escala, o aspecto de uma espiral, conforme o exemplo da Figura 10, sendo quase radial próximo ao Sol e praticamente perpendicular à direção radial além de 5 – 10 AU.

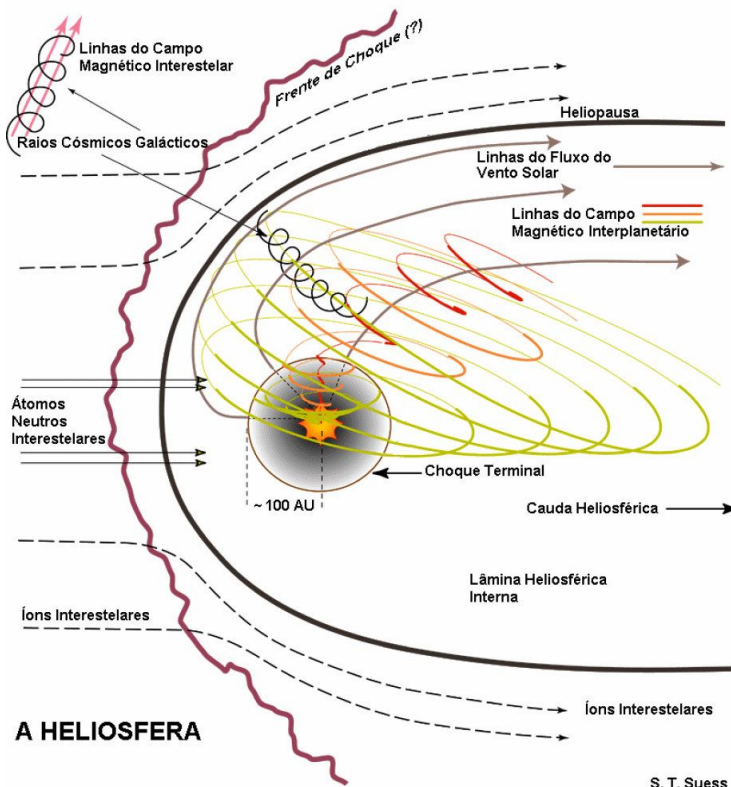
Na circunvizinhança da Terra, em 1 AU, o IMF tem inclinação de aproximadamente  $45^\circ$  em relação à reta que liga a Terra ao Sol.



**FIGURA 10:** Apresentação esquemática do campo magnético interplanetário.

FONTE: [http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/March03/Vallee2/Vallee3\\_2.html](http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/March03/Vallee2/Vallee3_2.html).

A região dominada pelos processos do IMF é conhecida como heliosfera. A Figura 11 mostra um esquema da heliosfera e suas principais características.



**FIGURA 11:** Esquema da heliosfera e suas principais características.

FONTE: Modificado de <http://canopy.lsmal.com/schryver/Public/homepage/coolstarimages4.html>.

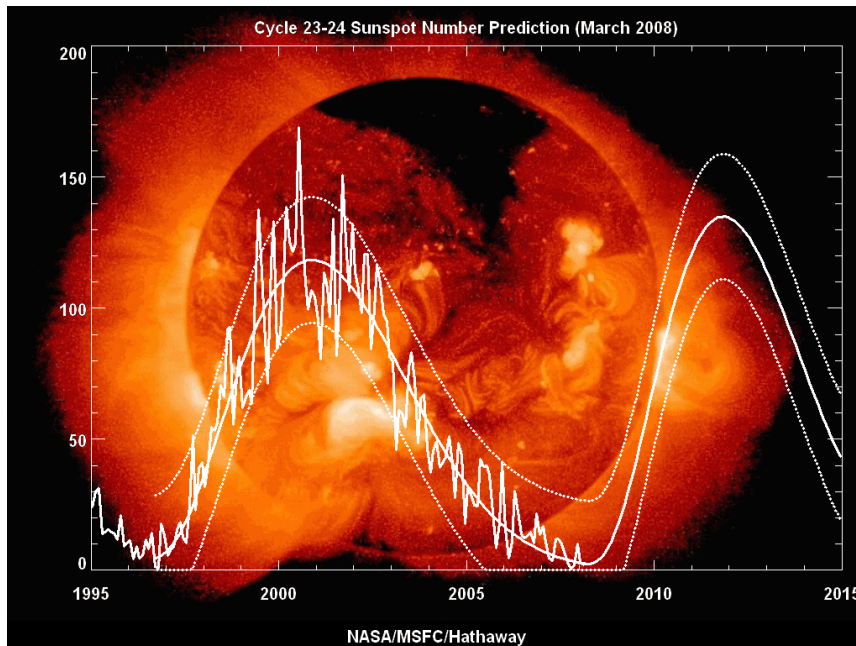
## 2.4 Ciclo Solar de 11 Anos

Desde sua descoberta no século XV por Galileo Galilei, as manchas solares são observadas por muitos cientistas. De tempos em tempos o número de manchas solares observado varia de valores muito grandes a seu completo desaparecimento da superfície do Sol. Este período é denominado ciclo solar e tem duração aproximada de 11 anos.

O ciclo é composto basicamente por quatro etapas o mínimo, fase ascendente, máximo e fase descendente.

Durante a fase ascendente e o máximo solar ocorre o aumento de fenômenos energéticos nas regiões ativas associadas às manchas solares. Estes fenômenos são as explosões solares (*flares*) e as ejeções coronais de massa (CMEs), que podem causar

tempestades geomagnéticas. A Figura 12 mostra um gráfico do número de manchas solares em função dos anos caracterizando o ciclo solar 23.



**FIGURA 12:** Gráfico do número de manchas solares em função dos anos caracterizando o ciclo solar de 11 anos.

FONTE: [http://science.nasa.gov/headlines/y2008/images/oldcycle/ssn\\_predict\\_1.gif](http://science.nasa.gov/headlines/y2008/images/oldcycle/ssn_predict_1.gif).

Durante a fase descendente e o mínimo solar as principais causas das tempestades geomagnéticas são as regiões de interação co-rotante. A fase descendente é a última fase do ciclo solar e a cada novo ciclo a polaridade do campo magnético do Sol se inverte.

Um novo ciclo começa quando a primeira mancha solar é observada. Atualmente estamos no início do ciclo solar 24.

As manchas solares originam-se em altas latitudes e migram para latitudes mais baixas até atingirem o equador solar na fase do máximo solar. Além do ciclo de 11 anos o sol possui outro ciclo de 22 anos. A Figura 13 mostra o número de manchas solares a partir do ano de 1749.

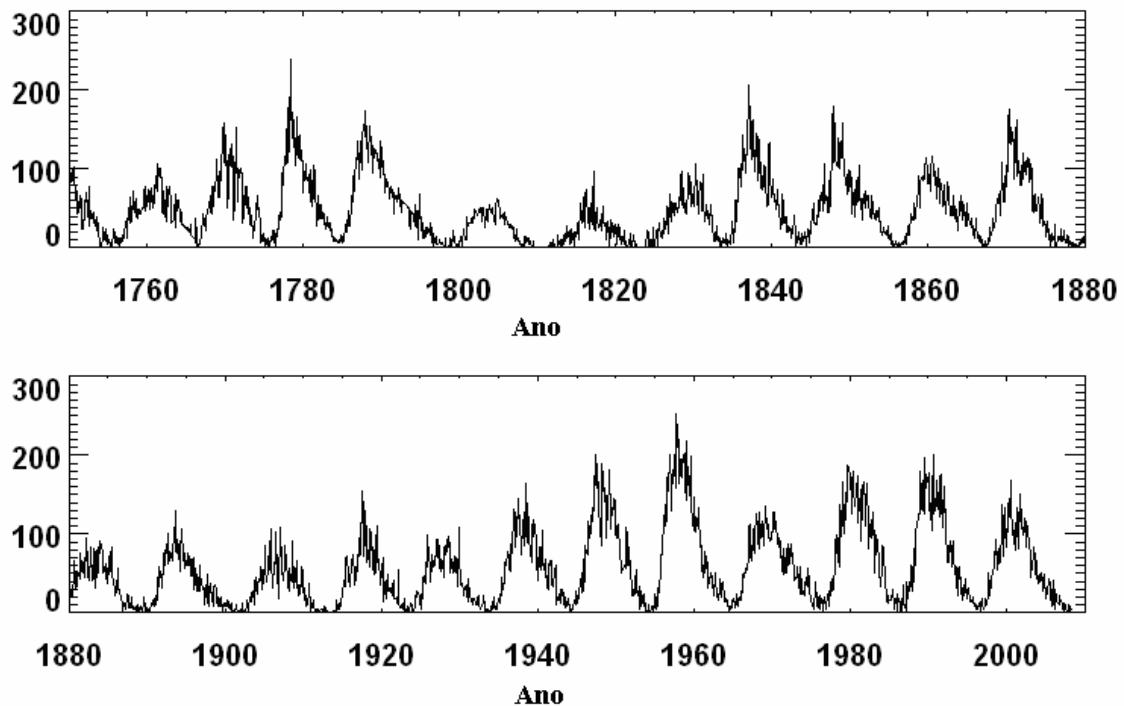


FIGURA 13: Gráficos mostrando o número de manchas solares a partir de 1749.

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

## 2.3 Estruturas Magnéticas no Meio Interplanetário

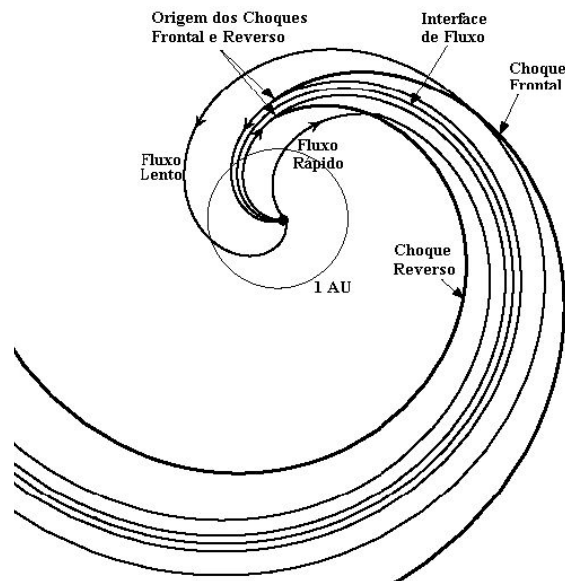
### 2.3.1 Região de Interação Co-Rotante

As regiões de interação co-rotante (do inglês *corotating interaction region*, CIR) se originam da interação de feixes de plasma rápidos e lentos. Os feixes de plasma rápidos se originam dos buracos coronais nas regiões polares do Sol, pois nestas regiões as linhas do campo magnético solar são abertas permitindo o fluxo de partículas. Os feixes de plasma lentos se originam perto do equador solar, onde as linhas do campo magnético solar são fechadas, oferecendo resistência ao movimento das partículas, assim diminuindo a velocidade das partículas.

Uma CIR é formada quando um feixe lento desloca-se à frente de um feixe rápido. Com o aumento da distância heliocêntrica radial o vento solar rápido choca-se com o feixe lento e forma uma região de compressão. O feixe rápido arrasta o feixe



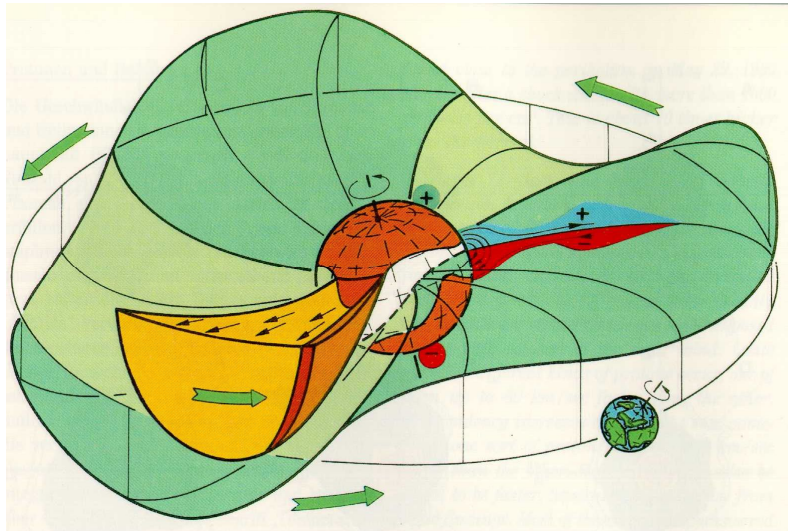
lento e com isso, cria uma região de rarefação na parte traseira da estrutura, a Figura 14 mostra o campo magnético interplanetário em forma de uma espiral.



**FIGURA 14:** Representação esquemática de uma CIR.  
FONTE: Modificado de (Crooker e Gosling, 1999).

Quando a pressão do vento solar na região de compressão atinge um valor determinado, à aproximadamente 2 AU, surge um choque frontal no vento lento e um choque reverso no vento rápido.

Há uma relação entre estruturas de setores e o campo magnético interplanetário (Wilcox e Ness, 1965). As estruturas são associadas com a lâmina de corrente heliosférica (LHC), que é envolta pelo vento solar lento. Em três dimensões a LHC parece oscilar criando uma figura parecida com uma “saia de bailarina” (Alfvén, 1977), como mostra a Figura 15.



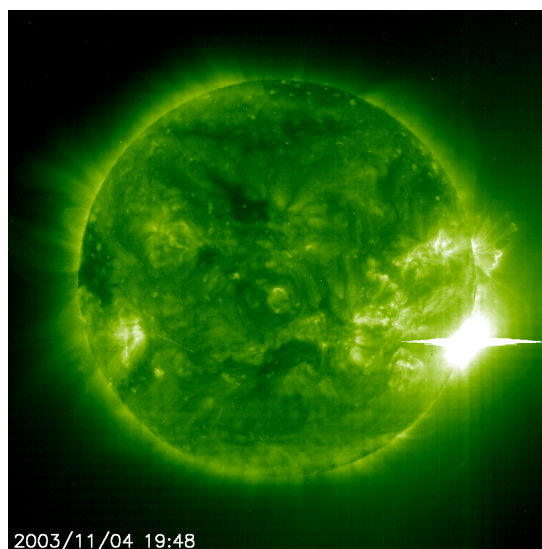
**FIGURA 15:** Visão da estrutura de setor interplanetária e da lâmina de corrente heliosférica. FONTE: Rainer Schwenn comunicação pessoal.

### 2.3.2 Explosões Solares

As explosões solares foram observadas pela primeira vez em 1859, pelo astrônomo inglês Carrington, enquanto contava o número de manchas solares. Repentinamente, segundo seu relato, "dois pontos de luz branca e extremamente brilhante surgiram", próximas a um conjunto de manchas. Ele procurou outra pessoa para observar o fenômeno, mas quando retornou ao observatório as explosões já tinham parado.

O que o Carrington observou em 1859 foi apenas uma fração do que acontece. O brilho das explosões é maior em um comprimento de onda que um observador na Terra não pode ver (nossa atmosfera impossibilita a análise de emissões de raios-X e gama).

Explosões solares são definidas como uma súbita, rápida e intensa variação na luminosidade observada na superfície solar, Figura 16. Uma explosão ocorre quando energia magnética que estava armazenada na superfície solar é subitamente liberada.



**FIGURA 16:** Imagem de uma explosão solar.

Fonte: [http://sohowww.nascom.nasa.gov/hotshots/2003\\_11\\_04/eit195.gif](http://sohowww.nascom.nasa.gov/hotshots/2003_11_04/eit195.gif).

A radiação é emitida em praticamente todo o espectro eletromagnético, além da energia magnética também são liberados elétrons, prótons e núcleos pesados que são aquecidos e acelerados na atmosfera solar. A energia liberada durante uma explosão é tipicamente da ordem de  $10^{27}$  ergs/s. Grandes explosões podem emitir até  $10^{32}$  ergs de energia.

### 2.3.3 Ondas de Choque

Tanto a teoria magnetohidrodinâmica (MHD) quanto à dinâmica de fluidos explicam a variação descontínua de campos físicos em um ponto sobre algumas superfícies (Richter et al., 1985). Tais discontinuidades são chamadas de ondas de choque e são formadas quando um objeto físico se desloca com uma velocidade acima das características do meio em que está se propagando, como por exemplo, um avião do tipo Concorde que possuía uma velocidade de cruzeiro de aproximadamente 2.346 km/h, uma velocidade superior à velocidade do som no ar que é aproximadamente 1.224 km/h.

Na teoria MHD existem três velocidades características: a velocidade do som, a velocidade de Alfvén e a velocidade magnetossônica. Para que seja formada uma onda de choque no meio interplanetário é necessário que uma estrutura viaje com uma

velocidade maior do que pelo menos uma das velocidades características do meio (Parks, 1991).

Estas velocidades podem produzir cinco tipos de choques MHD: choques rápidos, choques lentos e três tipos de choques intermediários. Apenas os choques rápidos e lentos estão presentes no vento solar, sendo identificados pela elevação da intensidade do campo magnético para o caso do choque rápido, ou pela redução da intensidade do campo magnético para o caso do choque lento.

Se a onda de choque se desloca do Sol para o meio interplanetário diz-se que o choque é frontal (do inglês *forward*) o caso contrário, quando a onda de choque se desloca do meio interplanetário para o Sol diz-se que o choque é reverso (do inglês *reverse*). Como o vento solar se desloca no sentido saindo do Sol com velocidade supersônica, ambos os choques se movem com o mesmo sentido, para fora do Sol (Burlaga, 1995).

A onda de choque realiza um processo de transferência de energia cinética, devido ao fluxo à frente do choque, em energia térmica atrás do choque sendo essa uma das motivações para o seu estudo.

### 2.3.4 Ejeção Coronal de Massa

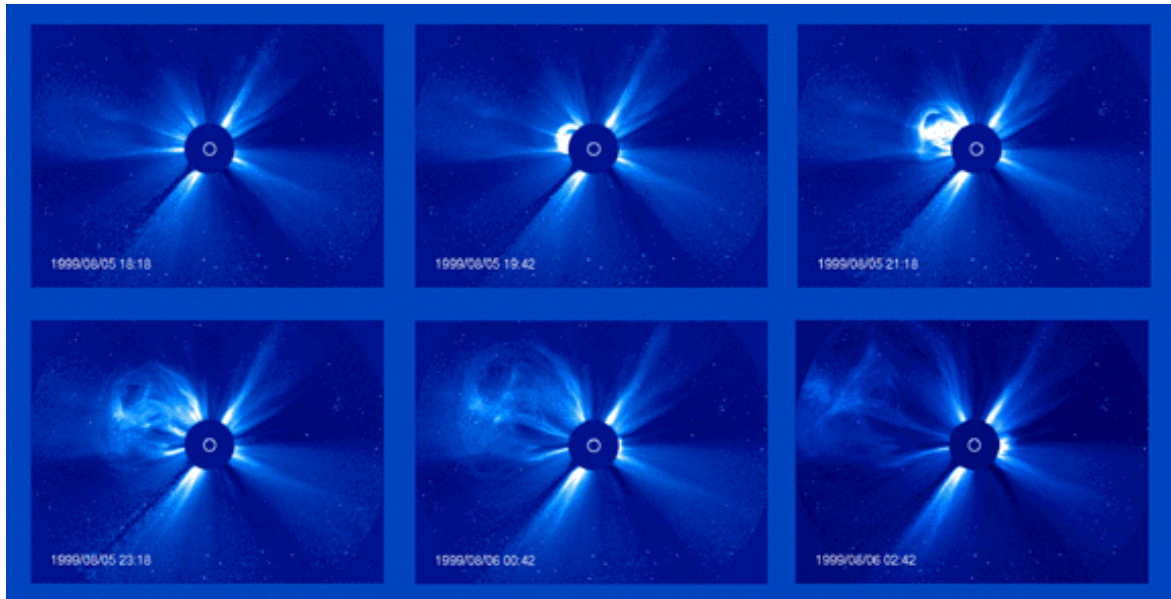
Uma ejeção coronal de massa (do inglês *coronal mass ejection* - CME) é um desprendimento de plasma solar, observado a partir da coroa, que se propaga através do espaço interplanetário e produz distúrbios geomagnéticos quando interage com o campo magnético terrestre. Estas estruturas viajam com uma velocidade de várias centenas de *km/s*, arrastando consigo o plasma do vento solar e o campo magnético interplanetário. Devido a sua velocidade estas estruturas são quase sempre acompanhadas por uma onda de choque.

A estrutura das CMEs é tipicamente caracterizada por um *loop* externo, cavidade interna com densidade menor e proeminência eruptiva interna (Hundhausen, 1998).

A origem das CMEs pode estar relacionada com estruturas chamadas de *helmet streamers* que é um feixe em forma de arcada ao longo e sobre uma linha de inversão de

polaridade fotosférica (Sturrock e Smith, 1968), uma vez que os *helmet streamers* normalmente apresentam proeminências.

A seqüência de imagens do coronógrafo, na Figura 17 mostra a estrutura da densidade da coroa solar e suas variações temporais, bem como suas expulsões transientes de plasma, que são a essência das CMEs (Hundhausen, 1997).



**FIGURA 17:** Seqüência de imagens mostrando a ocorrência de uma CME observada pelo coronógrafo LASCO C3 a bordo do satélite SOHO em junho de 1999.

FONTE: [http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/images/large/cmeprogchart\\_prev.jpg](http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/images/large/cmeprogchart_prev.jpg)

O coronógrafo mede a radiação fotosférica espalhada por elétrons no plasma coronal ionizado, mostrando a estrutura da densidade da Coroa. Tipicamente as CMEs têm uma frequência relacionada com o ciclo solar, podendo ser observado cerca de um evento por semana, no mínimo do ciclo enquanto podem ocorrer 2 a 3 eventos por dia nos períodos do máximo da atividade solar.

As CMEs foram divididas em dois tipos principais (Sheeley et al., 1999): CMEs graduais, aparentemente formadas pela elevação de proeminências e suas cavidades, vindas da baixa coroa, apresentando aceleração gradual até valores da ordem de 400-600 km/s<sup>2</sup> e CMEs impulsivas, associadas a explosões e ondas EIT (*Extreme Ultraviolet Image Telescope*), que são ondas observadas em comprimento de onda ultravioleta, não apresentando aceleração e com velocidades iniciais maiores eu 750 km/s. Portanto a

relação entre explosões e CMEs não está esclarecida, não sendo possível afirmar que um é causa/efeito do outro ou que são eventos independentes.

Quando observadas no meio interplanetário, as CMEs são denominadas “ejeções coronais interplanetárias de massa” (do inglês *interplanetary coronal mass ejections*, ICMEs). As observações de ICMEs no meio interplanetário são feitas por sondas e satélites orbitando a Terra fora da magnetosfera terrestre, o ponto Lagrangeano interno L1 do sistema Sol – Terra, localizado a aproximadamente 240 raios terrestres da Terra. Estes instrumentos capturam imagens do Sol e medem intensidade e direção do campo magnético e parâmetros de plasma tais como, temperatura, densidade e velocidade de íons e elétrons do vento solar. Dentre os diversos satélites usados para este fim podemos citar o ACE (*Advanced Composition Explorer*), SOHO (*Solar and Heliospheric Observatory*) e o STEREO (*Solar Terrestrial Relations Observatory*).

As nuvens de plasma resultantes de ICMEs observadas no meio interplanetário não apresentam uma única característica. Segundo Neugebauer e Goldstein (1997), tais características das ICMEs são:

- 01 - Baixa temperatura de íons para uma dada velocidade do vento solar, razão para tal característica é a expansão da estrutura;
- 02 - 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;
- 03 - Abundância de Hélio não usual;
- 04 - Abundância de outras espécies iônicas;
- 05 - Feixes bidirecionais de elétrons supratérmicos e íons energéticos. Caracteriza uma configuração de campo magnético interplanetário é possível que seja o campo magnético interno de uma ejeção, fechado e com extremidades presas no Sol;
- 06 - Suave e intenso campo magnético interfere nos valores de parâmetro  $\beta$  de plasma, que quando combinado com baixas temperaturas levam o parâmetro  $\beta$  a baixos valores. Este parâmetro é geralmente menor que 0,1;

- 07 - 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;
- 08 - Decréscimo do fluxo de raios cósmicos.

No ano de 1982, Howard e colaboradores relataram à observação de uma CME que apresentava uma estrutura anular que cobria quase todo o entorno do ocultador do coronógrafo usado na missão P78-1. Os autores chegaram a conclusão que a essa CME se deslocava em direção a Terra devido à observação de uma tempestade geomagnética subsequente, e devido à forma anular da estrutura denominaram-na ejeção coronal de massa “halo”.

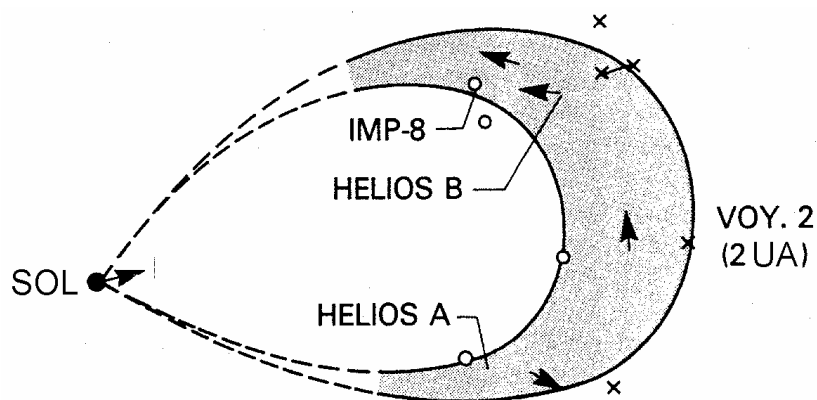
### 2.3.5 Nuvens Magnéticas

As nuvens magnéticas (do inglês *magnetic clouds*) são um subconjunto de CMEs observadas no meio interplanetário (ICME), representando aproximadamente 1/3 das ICMEs observadas em 1UA (Gosling, 1990). Elas apresentam estruturas bem definidas e estão relacionadas às principais causas de tempestades geomagnéticas não recorrentes devido às suas características de campo magnético.

Burlaga et al. (1981) definiram nuvem magnética como uma estrutura com extensão radial com aproximadamente 0,25 UA (em 1 UA), levando aproximadamente 24 h para atravessar o satélite observador, com um campo magnético mais intenso que o do vento solar normal, normalmente  $B > 10$  nT, suave rotação da direção do campo magnético em um grande ângulo, próximo a  $180^\circ$ , baixa temperatura e baixo valor do parâmetro beta,  $\beta \sim 0,1$ .

Uma nuvem magnética observada por vários satélites possibilitou o estabelecimento de sua geometria, mostrada na Figura 18, adaptada de Burlaga et al. (1990). Na figura estão indicados os satélites que observaram o evento ocorrido em 5 de Janeiro de 1978: IMP-8, Hélios A e Voyager 2. Na Figura 18, os “x” representam a fronteira dianteira da nuvem magnética vista por cada um dos satélites, e os círculos

representam 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.



JAN. 5, 1978, 1400 UT

**FIGURA 18:** Geometria de uma nuvem magnética.  
 FONTE: Adaptado de Burlaga et al. (1990, p.376).

A razão principal das nuvens magnéticas estarem entre as principais causas de tempestades magnéticas é o fato de frequentemente apresentarem campo magnético  $B_z$  negativo e intenso,  $B > 10$  nT por intervalos de tempos superiores à 3h, cumprindo os critérios de Gonzáles e Tsurutani (1987) para a ocorrência de tempestades intensas.

Devido ao aumento de densidade e velocidade, a pressão exercida na magnetosfera terrestre causa uma repentina compressão na magnetosfera e um salto positivo na componente horizontal H. Este salto é representado por um aumento do índice Dst e é observado na chegada do choque. Nesta fase ocorre o impulso repentino (*sudden impulse*, SI). Desde que SI é seguido pela fase principal da tempestade, é chamado de começo repentino de tempestade (*sudden impulse commencement*) o início da tempestade ocorre quase coincidentemente com o giro do CMI para a direção sul nos limites da nuvem magnética (Gonzalez et al., 1989). O desenvolvimento da fase principal da tempestade é rápido.



## 2.4 Raios C3smicos

Os raios c3smicos s3o part3culas carregadas com um espectro de energia que varia desde alguns MeV at3 acima de  $10^{21}$  eV, a Figura 19 mostra um gr3fico da distribui33o da energia dos raios c3smicos. Existem dois fatos relativos ao espectro de energia que s3o importantes para a discuss3o sobre a origem dos raios c3smicos gal3cticos. Um 3 a isotropia dos raios c3smicos medida para energias  $\leq 10^{15}$  eV e o outro 3 sua const3ncia sobre um longo per3odo de tempo, aproximadamente  $10^9$  anos.

Com isto, a fonte dos raios c3smicos deve produzir part3culas com energia pr3xima a  $10^{21}$  eV e com um espectro de pot3ncias dado por  $I(E) \propto E^{-2.7}$  (Mursula e Usoskin, 2003). Al3m disso, a energia total produzida deve ser da ordem de  $10^{49}$  ergs/ano em nossa gal3xia, os raios c3smicos devem ser isotr3picos e constantes durante  $10^9$  anos. Tamb3m, o espectro prim3rio deve incluir elementos pesados em torno de aproximadamente  $Z = 100$ .

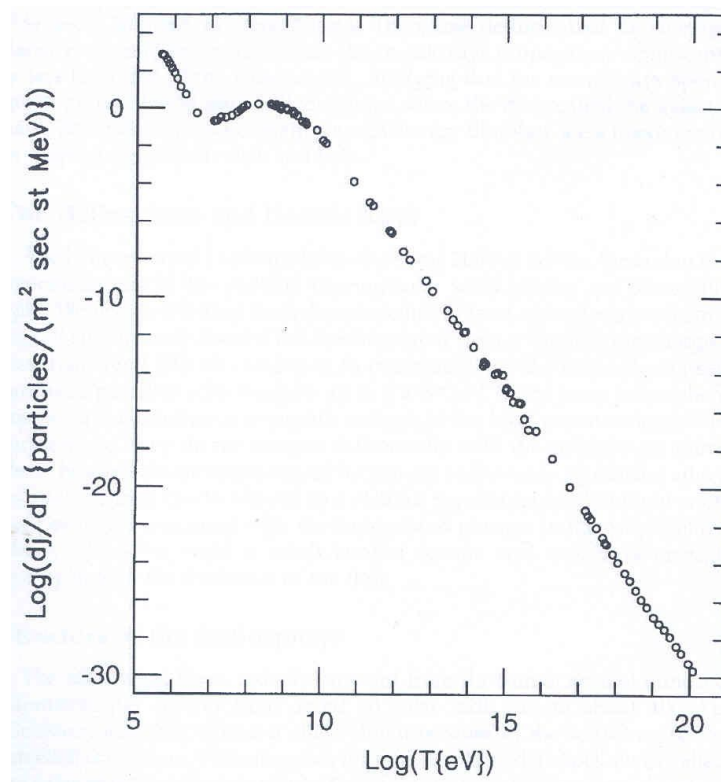


FIGURA 19: Intensidade dos raios c3smicos em fun33o da energia. FONTE: Jokipii (1998).

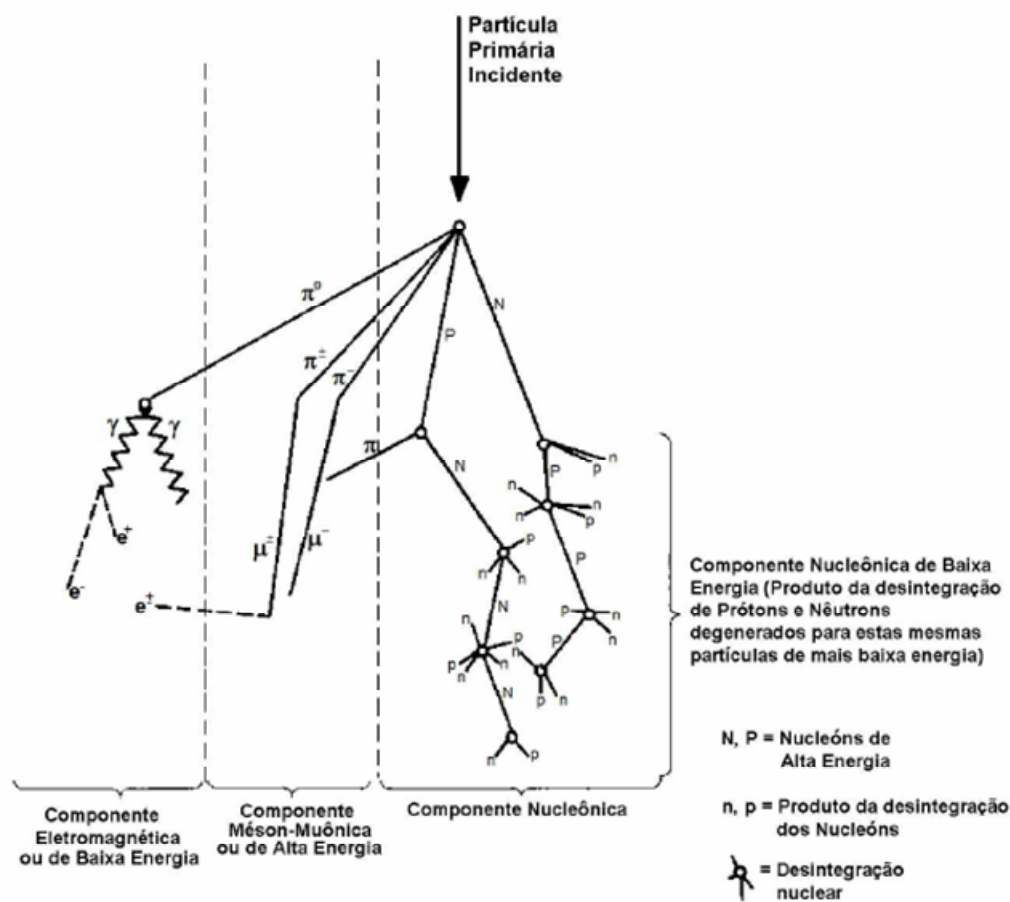
Os raios cósmicos podem ser divididos em duas categorias raios cósmicos primários e raios cósmicos secundários.

Os raios cósmicos primários são partículas que sofrem a modulação heliosférica, podendo ser originadas em três locais diferentes no centro da galáxia, raios cósmicos galácticos (do inglês *galactic cosmic rays*, GCR), no Sol, raios cósmicos solares (do inglês *solar cosmic rays*, SCR) e na heliosfera através da interação de partículas neutras do gás interestelar com o vento solar, raios cósmicos anômalos (do inglês *anomalous cosmic rays*, ACR).

Os raios cósmicos secundários são produtos da interação dos raios cósmicos primários com a atmosfera terrestre, sofrem as modulações principalmente do campo magnético e da atmosfera terrestre.

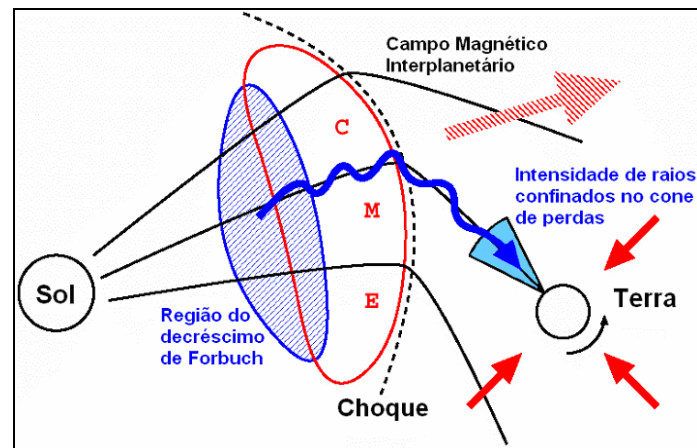
Alguns dos rastros das colisões dos raios cósmicos primários são reconhecidos como sendo píons, outros representando nucleons e um deles sendo o remanescente do núcleo original. A Figura 20 mostra, esquematicamente, algumas das partículas secundárias de um “chuveiro” de raios cósmicos, gerado a partir da interação das partículas primárias de raios cósmicos com os constituintes atmosféricos.

Um dos produtos dos raios cósmicos são os muons, componente méson-muônica, os muons são partículas subatômicas que possuem a mesma carga do elétron, porém tem massa 207 vezes maior. Eles possuem grande poder de penetração e mantêm a direção e o sentido do raio cósmico primário que os originou. A figura mostra três tipos de componentes a componente méson-muônica, componente eletromagnética e componente nucleônica.



**FIGURA 20:** Diagrama esquemático de um chuveiro de raios cósmicos. FONTE: Modificado de Forbush (1993).

A relação entre a incidência na Terra dos raios cósmicos e as estruturas interplanetárias é de grande importância para o estudo do Clima Espacial, pois quando uma estrutura como uma nuvem magnética se aproxima, ela age como um escudo fazendo com que a taxa de raios cósmicos que incidem na Terra, vindos daquela direção diminua, Figura 21. Através disso é possível perceber quando uma nuvem magnética se aproxima da Terra e prever a ocorrência de uma tempestade geomagnética.



**FIGURA 21:** Ilustração do bloqueio de raios cósmicos por uma CME.  
 FONTE: Adaptado de Nagashima et al. (1992) e Ruffolo et al. (1999).

Quando há uma tempestade geomagnética acontece um novo decréscimo na taxa de raios cósmicos que atingem a Terra, mas desta vez de maneira global e este decréscimo é denominado decréscimo de *Forbush*.

## 2.5 Tempestades Geomagnéticas

As tempestades geomagnéticas são eventos que ocasionam grande perturbação no campo magnético terrestre, ficando a Terra vulnerável a entrada de partículas energéticas do vento solar. A característica principal de uma tempestade é o decréscimo acentuado da componente H (horizontal) do campo geomagnético e a posterior fase de recuperação.

Todas as estruturas citadas acima podem causar ou ter influência na ocorrência de tempestades, sendo as CMEs e as nuvens magnéticas as principais causas das tempestades mais intensas (Gosling et al., 1990, 1991).

As tempestades geomagnéticas podem causar danos em sistemas elétricos de potencia como transformadores, como mostra a Figura 22 um transformador que foi totalmente destruído após uma tempestade geomagnética ocorrida em 13 de março de 1989.



**FIGURA 22:** Transformador destruído, devido a uma tempestade geomagnética em Quebec no Canadá.

FONTE: [http://solarweek.org/wed\\_spaceweather.html](http://solarweek.org/wed_spaceweather.html).

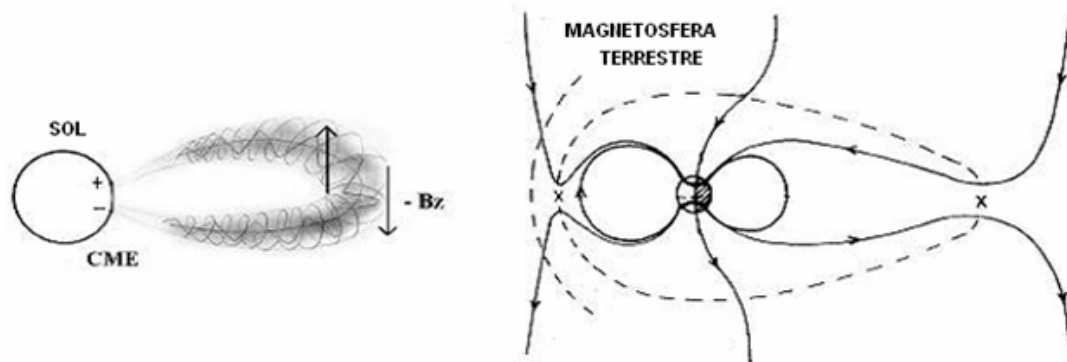
Além dos danos as tempestades também provocam fenômenos fascinantes, como a formação das auroras nos pólos, Figura 23.



**FIGURA 23:** Aurora formada após uma tempestade geomagnética.

FONTE: [http://sohowww.nascom.nasa.gov/spaceweather/lenticular/AUR\\_coron\\_curtis.jpg](http://sohowww.nascom.nasa.gov/spaceweather/lenticular/AUR_coron_curtis.jpg)

As nuvens magnéticas causam as tempestades geomagnéticas quando ao interagir com a magnetosfera a componente Z do campo magnético da estrutura é antiparalela a magnetosfera. Quando isto ocorre diz-se que há o fenômeno de reconexão dos campos. A Figura 24 mostra a interação entre uma CME tipo nuvem com a magnetosfera, onde são mostradas as direções da componente do campo da nuvem e da magnetosfera.



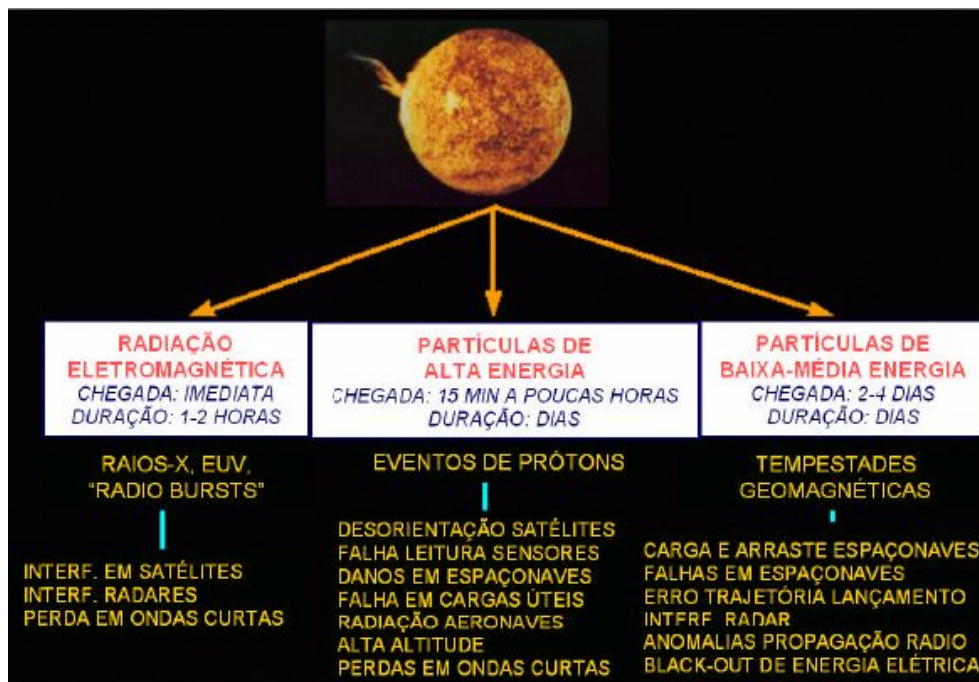
**FIGURA 24:** Ilustração da interação entre uma nuvem magnética, oriunda de uma ICME, com a magnetosfera terrestre. FONTE: Adaptado de Tsurutani e Gonzalez et al. (1997).

Com os vários danos causados na Terra por estas estruturas fica óbvia a necessidade de um estudo detalhado sobre a natureza física das estruturas interplanetárias bem como dos mecanismos que as geram no Sol. Neste sentido somam-se esforços dos principais centros de pesquisa do mundo resultando em grandes avanços científicos, como a possibilidade de previsão das tempestades geomagnéticas.

Existem diversos índices para a classificação das tempestades geomagnéticas, neste trabalho foi usado o índice Dst do *World Data Center for Geomagnetism* (Kyoto, Japão) disponível no site <http://swdcdb.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir>, que é uma medida quantitativa das tempestades geomagnéticas. Calculado a partir de dados de magnetômetros de superfície em observatórios próximos ao Equador.

De um modo geral a área científica responsável pelo estudo e sensoriamento remoto do geoespaço, através de observações *in situ*, é denominada como Clima Espacial.

Clima Espacial é o conjunto de variações das condições do meio interplanetário por influência da atividade solar. Alguns exemplos dessas condições são o vento solar, a radiação eletromagnética e o campo magnético interplanetário. A Figura 25 mostra os fenômenos que afetam o Clima Espacial mostrando os seus tempos de chegada na Terra e de duração, as energias envolvidas e seus principais efeitos.



**FIGURA 25:** Fenômenos que afetam o Clima Espacial, energias envolvidas, tempo de duração de seus efeitos e principais tipos de danos em sistemas tecnológicos. FONTE: Schwenn (comunicação pessoal), (apud Dal Lago, 2003).

## CAPÍTULO 3

### Metodologia

Neste Capítulo será descrita a metodologia adotada na realização do projeto. Inicialmente é feita uma pequena descrição do satélite ACE e dos instrumentos SWPAN e MAG. Após é feita uma explanação do satélite SOHO e dos instrumentos LASCO e EIT, na ultima parte do capitulo é explicado de forma sucinta, o telescópio cintilador de muons – TCM e do método de contagem por cintilação. Todos os dados usados na execução do projeto são tratados em linguagem IDL.

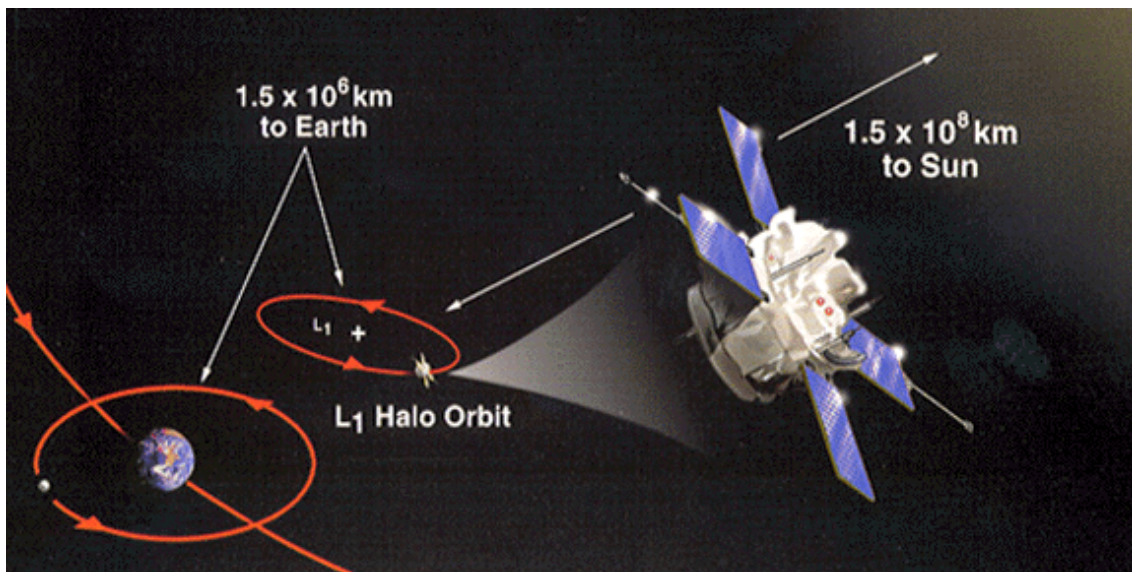
### 3.1 O Satélite ACE

O satélite ACE (do inglês *Advanced Composition Explorer*) é um projeto da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e foi lançado em 25 de agosto de 1997 do *Kennedy Space Center* na Florida.

O satélite tem 1,6 m de comprimento e 1 m de altura, não incluindo os quatro painéis solares e a antena do magnetômetro. No momento de lançamento sua massa era de 785 kg, sendo 189 kg de combustível inserção e correção da órbita. Seus painéis solares geram aproximadamente 500 W de potência.

O ACE encontra-se a aproximadamente 1,5 milhões de km da Terra, orbitando o ponto Lagrangeano interno L1, que é o ponto de equilíbrio gravitacional entre o Sol e a Terra. O ACE está em uma posição constante em relação à Terra e assim como ela gira em torno do Sol, a Figura 26 é uma ilustração do ACE e da sua órbita.





**FIGURA 26:** Ilustração representativa da órbita do satélite ACE, o ponto Lagrangeano L1, a distância do L1 em relação à Terra e ao Sol. FONTE: [http://www.srl.caltech.edu/ACE/ace\\_mission.html](http://www.srl.caltech.edu/ACE/ace_mission.html)

Os principais objetivos da missão do ACE são determinar a composição elementar e isotópica de diversas substâncias, incluindo a coroa solar, o meio interplanetário e galáctico. O estudo relacionado ao Sol é feito através da medição direta da composição do vento solar, CMEs e de partículas solares expelidas durante alguma atividade solar.

Para coletar os dados usados para estudo o ACE conta com 10 instrumentos, listados abaixo, que estão dispostos em sua maioria na parte superior do satélite, a Figura 27 mostra um esquema da disposição dos instrumentos no ACE.

- CRIS (*Cosmic Ray Isotope Spectrometer*)
- SIS (*Solar Isotope Spectrometer*)
- ULEIS (*Ultra Low Energy Isotope Spectrometer*)
- SEPICA (*Solar Energetic Particle Ionic Charge Analyzer*)
- SWIMS (*Solar Wind Ion Mass Spectrometer*)
- SWICS (*Solar Wind Ionic Composition Spectrometer*)
- EPAM (*Electron, Proton, and Alpha Monitor*)
- SWEPAM (*Solar Wind Electron, Proton, and Alpha Monitor*)
- MAG (*Magnetometer*)
- RTSW (*Real Time Solar Wind*)

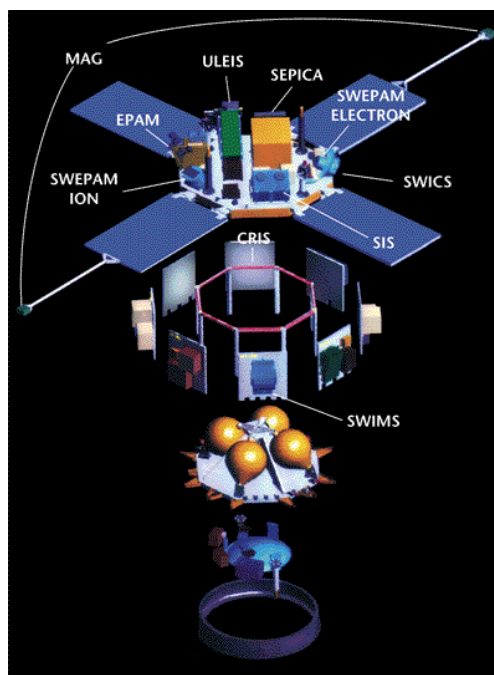


FIGURA 27: Ilustração da disposição dos instrumentos a bordo do ACE.

FONTE: [http://www.srl.caltech.edu/ACE/ace\\_mission.html](http://www.srl.caltech.edu/ACE/ace_mission.html)

Dentre os instrumentos a bordo do ACE neste projeto foram usados dados dos instrumentos SWEPAM e MAG.

O SWEPAM mede o fluxo de partículas, elétrons e íons, no vento solar como funções da posição e da energia, com isso ele fornece dados de parâmetros como velocidade, temperatura, densidade do vento solar, estes dados proporcionam o estudo das condições internas do plasma do vento solar. Os dados do SWEPAM estão disponíveis no site da missão ACE (<http://www.srl.caltech.edu/ACE>), onde ainda encontram-se dados do meio interplanetário em tempo real.

O MAG é basicamente um sistema composto por dois magnetômetros fluxgate gêmeos que estão instalados no final de dois painéis solares que estão opostos, ver Figura 27. O MAG fornece dados de campo magnético do meio interplanetário nos sistemas de coordenadas GSM e GSE. Os dados do MAG também estão disponíveis na página da missão ACE.

Através dos dados fornecidos pelo SWEPAM e pelo MAG é possível identificar e distinguir as diferentes estruturas interplanetárias, os dados são disponíveis em arquivos de texto dispostos em colunas como mostra a Figura 28.

Year	day	hr	min	sec	fp_year	Np	Tp	Vp	B_gsm_x	B_gsm_y	B_gsm_z	Bmag
2004	305	0	0	17.021	2004.83060163	6.626	1.6244e+05	449.64	-5.701	-4.068	3.581	8.015
2004	305	0	1	21.043	2004.83060366	6.822	1.4809e+05	447.46	-7.378	-2.982	0.287	8.352
2004	305	0	2	24.979	2004.83060568	7.245	1.5794e+05	438.56	-7.439	-2.900	1.038	8.225
2004	305	0	3	29.002	2004.83060770	7.392	1.5806e+05	445.45	-7.082	-3.174	2.223	8.180
2004	305	0	4	33.024	2004.83060973	6.601	1.7844e+05	446.64	-7.378	-3.087	0.206	8.058
2004	305	0	5	37.046	2004.83061175	6.862	1.6687e+05	438.85	-7.725	-2.224	0.740	8.103
2004	305	0	6	40.982	2004.83061377	7.001	1.7078e+05	442.36	-7.437	-3.020	0.928	8.090
2004	305	0	7	45.005	2004.83061580	6.785	1.8775e+05	441.54	-8.103	-2.587	0.202	8.529
2004	305	0	8	49.027	2004.83061782	6.646	2.1039e+05	444.75	-8.274	-1.817	0.179	8.540
2004	305	0	9	53.050	2004.83061985	6.523	1.8604e+05	440.03	-8.009	-2.439	1.116	8.470
2004	305	0	10	56.986	2004.83062187	6.888	1.7058e+05	436.83	-7.514	-3.361	0.294	8.259
2004	305	0	12	1.008	2004.83062389	6.747	1.4938e+05	439.21	-7.489	-3.524	0.764	8.316
2004	305	0	13	5.030	2004.83062592	6.560	1.7307e+05	443.93	-7.239	-3.774	1.080	8.249
2004	305	0	14	9.053	2004.83062794	6.528	1.5840e+05	445.21	-6.526	-3.929	1.959	7.872
2004	305	0	15	12.989	2004.83062996	6.295	1.8536e+05	448.08	-6.262	-3.868	2.092	7.664
2004	305	0	16	17.011	2004.83063199	6.249	1.6868e+05	444.22	-6.183	-3.702	2.123	7.524
2004	305	0	17	21.034	2004.83063401	6.197	1.7737e+05	445.24	-6.204	-3.390	2.342	7.465
2004	305	0	18	25.056	2004.83063604	6.320	1.8735e+05	443.45	-6.388	-3.194	2.095	7.463
2004	305	0	19	28.992	2004.83063806	6.111	1.8575e+05	448.40	-6.448	-3.025	1.700	7.378
2004	305	0	20	33.014	2004.83064008	6.305	1.9047e+05	440.38	-6.996	-2.379	0.619	7.434

**FIGURA 28:** Tabela de dados obtidos do Satélite ACE, dados baixados da internet pelo bolsista para confecção de gráficos. FONTE: [http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/level2/mag\\_l2desc.html](http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/level2/mag_l2desc.html)

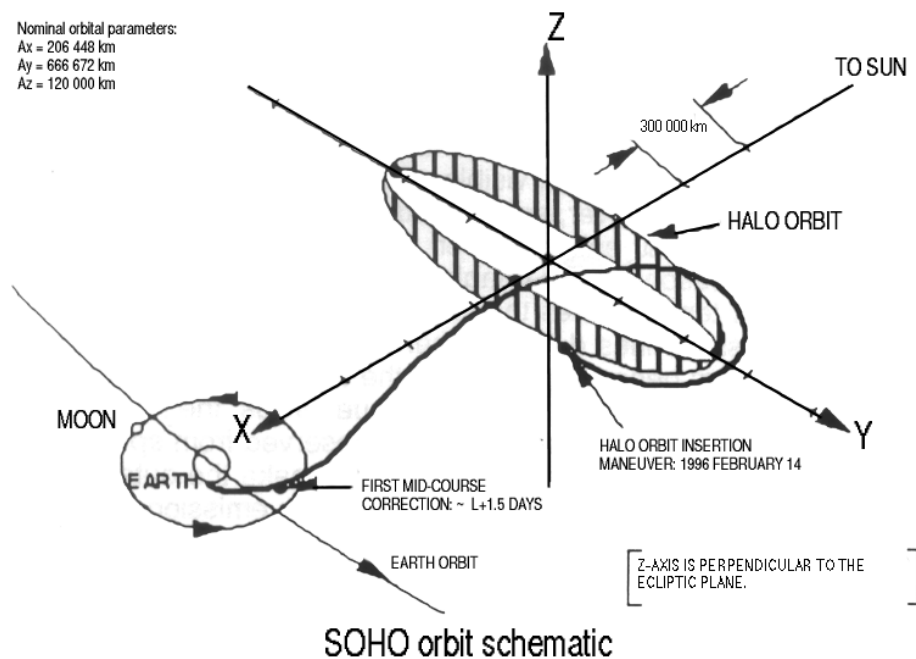
O quadro da Figura 28 contém colunas que indicam respectivamente o ano, dia, hora, minuto, segundo, ano fracionado, densidade, temperatura e velocidade dos prótons, os valores do módulo e das componentes nas direções x, y e z do campo magnético do vento solar. Estes dados são utilizados para a análise através da confecção de gráficos. Os gráficos são feitos através de rotinas no programa IDL (*Interactive Data Language*).

### 3.2 O Satélite SOHO

A cooperação entre a *European Space Agency* (ESA) e a NASA propiciou a realização da construção do satélite SOHO (*Solar and Heliospheric Observatory*). O SOHO foi lançado pela NASA em um foguete Atlas II-AS (AC-121) do *Canaveral Air Station* na Flórida, EUA, em 2 de dezembro de 1995.

O SOHO tem aproximadamente 4,3 metros de altura, 2,7 metros de largura e 3,7 metros de comprimento (9,5 m incluindo-se os painéis solares), massa de 1850 kg no momento do lançamento.

Estando em operação desde 1995, a mais de 10 anos o SOHO faz um excelente trabalho ininterrupto de monitoramento do Sol. SOHO assim como o satélite ACE está localizado no ponto Lagrangeano L1. A Figura 29 mostra um esquema da órbita do SOHO.



**FIGURA 29:** Esquema da órbita do Satélite SOHO.

FONTE: [http://sohowww.nascom.nasa.gov/about/images/halo\\_orbit.gif](http://sohowww.nascom.nasa.gov/about/images/halo_orbit.gif)

O SOHO desenvolvido para tentar responder as seguintes questões:

- Qual é a estrutura e dinâmica do interior solar?
- Por que a coroa existe e como ela é aquecida até a temperatura extremamente elevada de cerca de 1000000 °C?
- Como o vento solar produzido é acelerado?

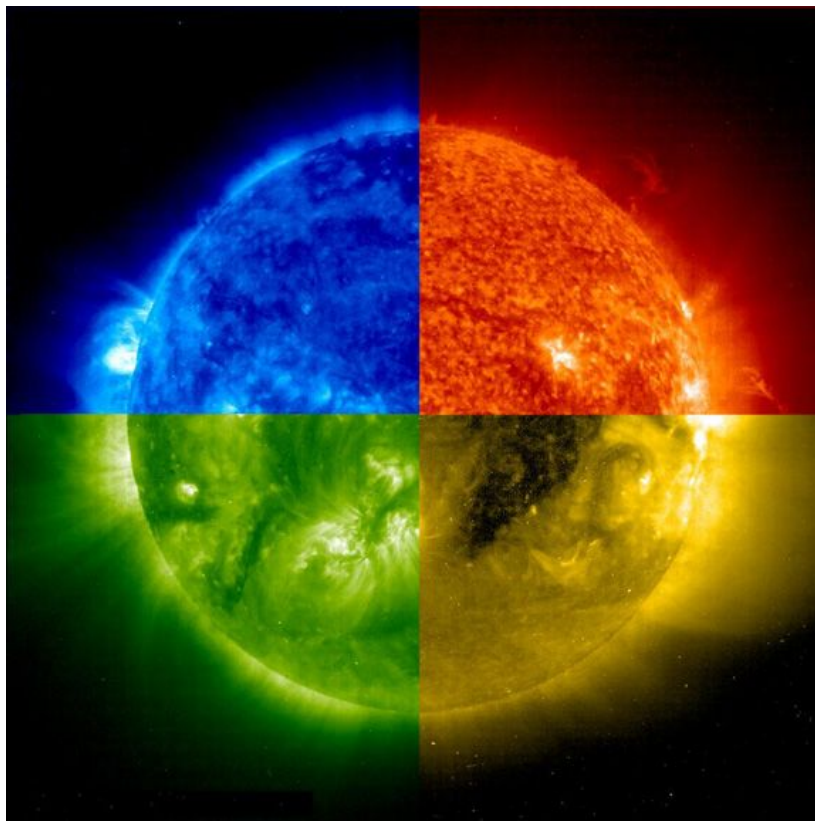
O SOHO tem a bordo 12 instrumentos complementares, projetados e desenvolvidos por 12 consórcios internacionais, envolvendo 29 instituições de 15 países. Nove consórcios são liderados por cientistas europeus, os três restantes por cientistas norte-americanos. Mais de 1500 cientistas de países em todo o mundo

utilizam instrumentos SOHO ou que tenham dados SOHO em seus programas de investigação (FONTE: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/home.html>).

- CDS (*Coronal Diagnostic Spectrometer*)
- CELIAS (*Charge, Element, and Isotope Analysis System*)
- COSTEP (*Comprehensive Suprathermal and Energetic Particle Analyzer*)
- EIT (*Extreme Ultraviolet Imaging Telescope*)
- ERNE (*Energetic and Relativistic Nuclei and Electron Experiment*)
- GOLF (*Global Oscillations at Low Frequencies*)
- LASCO (*Large Angle and Spectrometric Coronagraph*)
- MDI (*Michelson Doppler Imager*)
- SUMER (*Solar Ultraviolet Measurements of Emitted Radiation*)
- SWAN (*Solar Wind Anisotropies*)
- UVCS (*Ultraviolet Coronagraph Spectrometer*)
- VIRGO (*Variability of Solar Irradiance and Gravity Oscillations*)

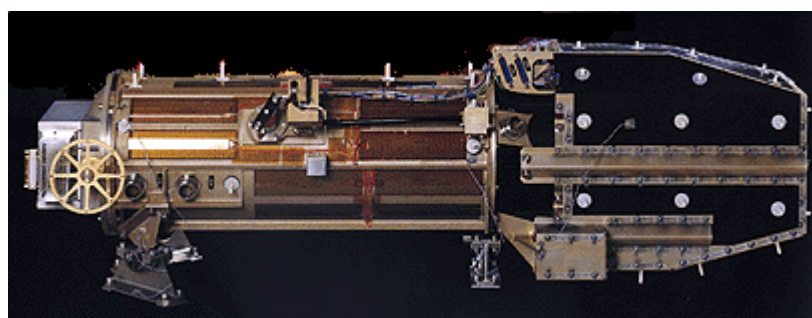
Dentre os instrumentos do SOHO serão utilizados no projeto dados do EIT e do LASCO.

O EIT consiste de um telescópio de Ritchey–Chretien, diversos filtros em um detector CCD. O EIT é capaz de captar radiação eletromagnética em quatro comprimentos de onda distintos que são: 171 Å (Fe IX e Fe X); 195 Å (Fe XII); 284 Å (Fe XV); 304 Å (He II). A seguir na Figura 30 são exemplificados os quatro tipos de imagens obtidas pelo EIT.



**FIGURA 30:** O Sol dividido em quatro quadrantes, onde cada quadrante corresponde a um comprimento de onda distinto. FONTE: <http://sohowww.nascom.nasa.gov>.

O principal objetivo científico do EIT é fornecer imagens para o estudo da dinâmica e evolução das estruturas da coroa solar. A Figura 31 mostra uma imagem do telescópio EIT.



**FIGURA 31:** Imagem do telescópio EIT.  
FONTE: <http://umbra.nascom.nasa.gov/eit>

O LASCO consiste em um conjunto de três coronógrafos que fornecem imagens da coroa solar de 1,1 a 32 raios solares. Os três coronógrafos que compõem o LASCO são: C1 com uma cobertura de 1.1 a 3 raios solares, o C2 que abrange uma cobertura que pega partes do C1 e C3 e se estende de 2 a 6 raios solares e o C3 que fornece imagens da coroa exterior, estendendo-se de 3.7 a 32 raios solares. A utilização do LASCO está na tarefa de descobrir o mecanismo de aquecimento da coroa solar, a origem e o mecanismo de aceleração do vento solar, estudar a causa das CME e o seu papel na evolução temporal do campo magnético em grande escala e na investigação do que é a distribuição e as propriedades da nuvem de poeira zodiacal.

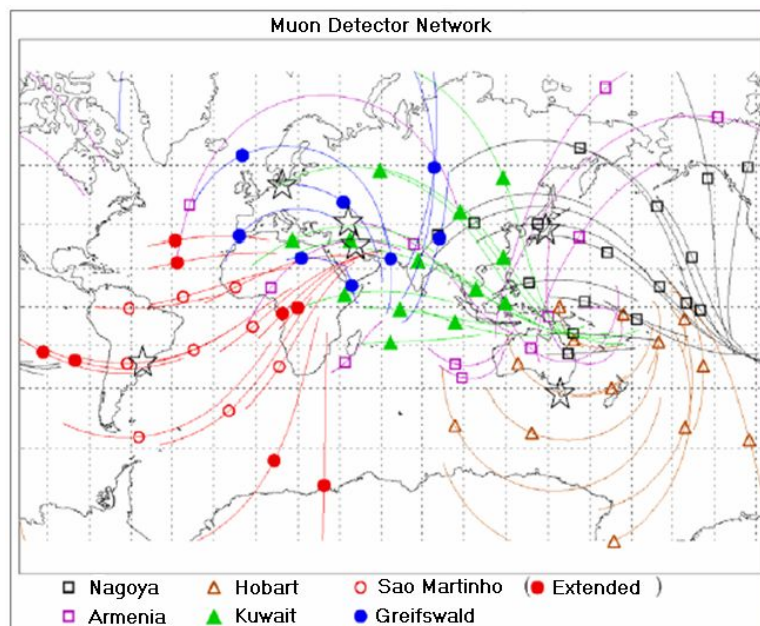
### 3.3 Telescópio Cintilador de Muons

Um Telescópio Cintilador de Muons (TCM) ou Telescópio Detector de Muons (TDM) está em atividade 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 – UFSM, através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria (LACESM/CT – UFSM) desde março de 2001.



**FIGURA 32:** Foto do prédio principal OES, onde está instalado o TCM, em São Martinho da Serra.

O TCM ou TDM faz parte da rede internacional de telescópios, ou Rede Global de TDMs, (*Global Muon Detector Network (GMDN)*), constituída por seis telescópios, um em cada cidade: Nagoya (Japão), Hobart (Austrália), Kuwait (Kuwait), São Martinho da Serra (Brasil), Greifswald (Alemanha) e Yerevan (Armênia), a Figura 33 mostra a área de cobertura da rede, com as visões assintóticas de cada telescópio.

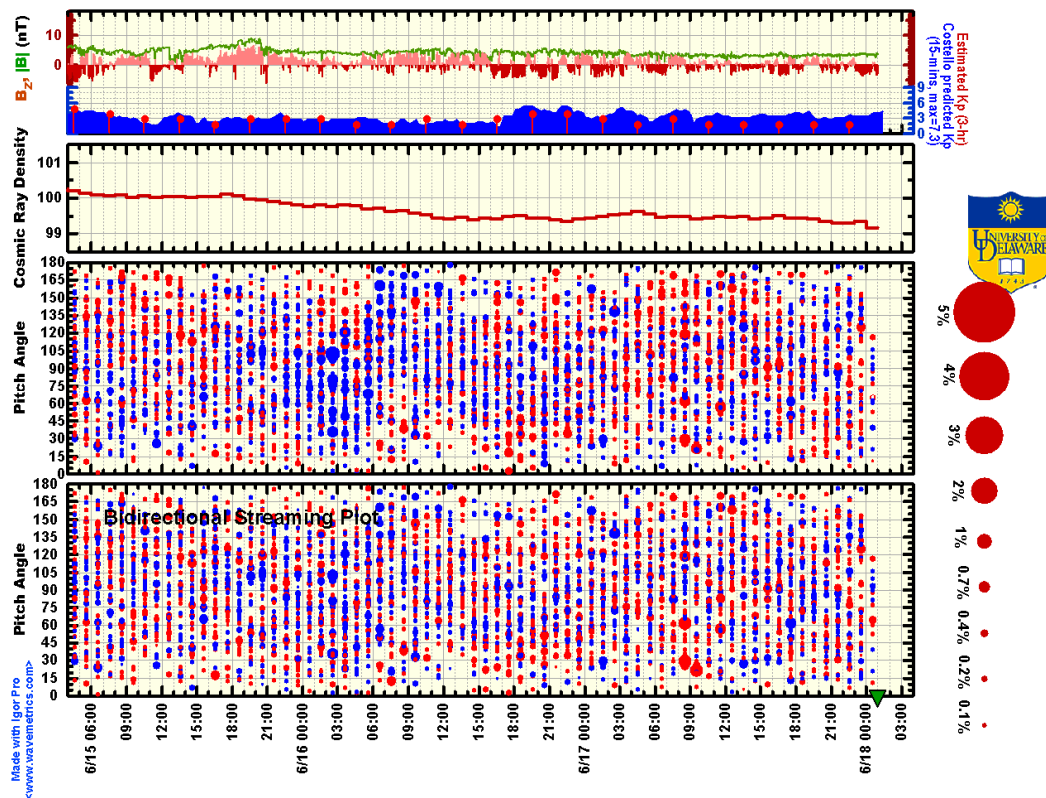


**FIGURA 33:** Diagrama mostrando a área de cobertura da rede de TCMs, mostrando as visões assintóticas de cada telescópio. FONTE: Munakata et al. (2004).

Os raios cósmicos de alta energia (muões) estão sujeitos a modulações conseqüentes de distúrbios interplanetários (Lockwood, 1971; Cane, 1993). Em adição a esta redução de intensidade, chamada decréscimo de *Forbush*, fenômenos precursoros ao choque também foram relatados (Dorman, 1963; Dorman et al. 1967, 1972).

Decréscimos precursoros devem resultar de um efeito “cone de perdas”, no qual o detector está observando partículas que passam na região de depleção de raios cósmicos atrás do choque. O efeito cone de perdas é geralmente restrito a partículas movendo-se de modo a afastar-se do choque e com ângulos de *pitch* pequenos. Através destas análises é possível obter informações para prever uma tempestade geomagnética, a Figura 34 mostra gráficos de dados do meio interplanetário e da intensidade de partículas com relação aos ângulos de *pitch*.

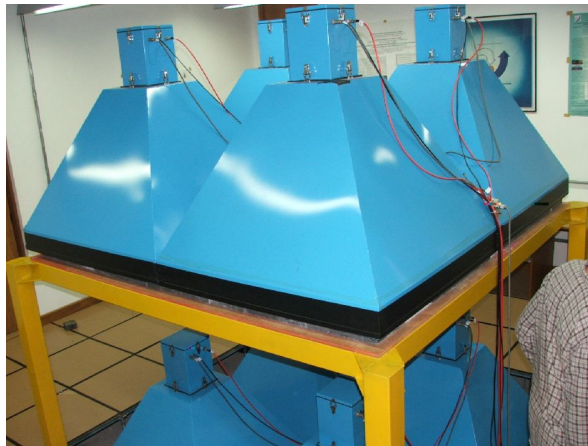




**FIGURA 34:** Gráficos contendo dados do meio interplanetário e dados da intensidade de muons em relação aos ângulos de *pitch*. FONTE: [http://www.bartol.udel.edu/~takao/test\\_frac.html](http://www.bartol.udel.edu/~takao/test_frac.html)

O gráfico da Figura 34 mostra, de cima para baixo, gráficos de dados do meio interplanetário, densidade de raios cósmicos detectados pela Rede Internacional de TCMs e os dois últimos a intensidade de muons em relação aos ângulos de *pitch*. Um precursor é indicado no gráfico pelo círculo correspondente ao decréscimo de 2% ou maiores para valores de ângulo de *pitch* próximos de zero. Os gráficos das contagens dos muons juntamente com contagens de nêutrons podem ser encontrados na página da *University of Delaware* (<http://neutronm.bartol.udel.edu/spaceweather>).

O TCM foi instalado através de uma colaboração internacional tri-lateral entre Brasil, Japão e Estados Unidos, e tem como Principal Investigador (PI) internacional o Professor Dr. Kazuoki Munakata do *Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University* – Japão. Durante a primeira parte do projeto em março de 2001 foi instalado um protótipo do TCM no OES com duas camadas de 4 detectores em cada uma, 2x4x4, (Figura 35) e em dezembro de 2005 o TCM foi ampliado para duas camadas, com 28 detectores em cada, 2x4x7, mostrado na Figura 36.



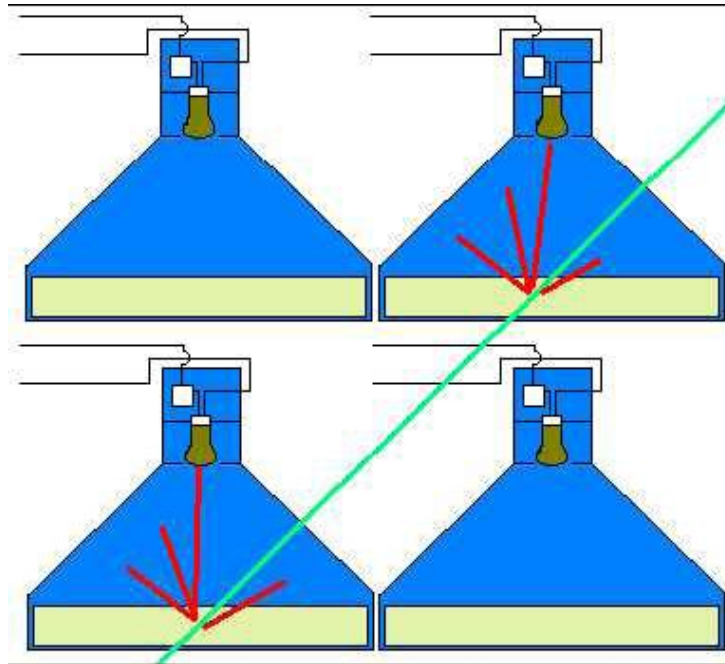
**FIGURA 35:** Foto do protótipo do TCM instalado no OES em 2001.



**FIGURA 36:** Foto do TCM instalado no OES em dezembro de 2005.

A detecção e contagem dos muons são realizadas pelo método de contagem por cintilação. Quando um muon atinge o plástico cintilante, localizado dentro de cada telescópio, alguns fótons são emitidos e detectados por uma fotomultiplicadora que está acoplada em cada telescópio e um muon é detectado através do registro de uma corrente elétrica. Quando é registrada a passagem de uma partícula em telescópio na camada e na de baixo ao mesmo tempo (tendo em vista que o muons se desloca com velocidades muito altas) o computador conta como um muons, a Figura 37 mostra um esquema do TCM. Os muons que são detectados no TCM devem ter energia  $\geq 50\text{GeV}$ , para isso foi

colocada uma camada de chumbo em baixo de cada camada do TCM para filtrar partículas com energia inferior.



**FIGURA 37:** Esquema do método de contagem do TCM. FONTE: DA SILVA, 2005 pg. 68.

Os telescópios direcionais são identificados por uma letra seguida de um número sendo U para a camada superior e L para a camada inferior. O TCM instalado no OES possui 13 direções de detecção que são dadas pela combinação dos detectores da camada superior e inferior, a Tabela 1 mostra as direções e o número de sub-telescópios do TCM.

**Tabela 1:** Informações do TCM.

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 (EE)	24	1,19	0,10
30° Oeste (W)	24	1,20	0,10
39° Nordeste (NE)	18	0,51	0,14
39° Noroeste (NW)	18	0,53	0,14
39° Sudeste (SE)	18	0,53	0,14
39° Sudoeste (SW)	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

Neste projeto foram usados dados do telescópio instalado no OES, apenas para o estudo da modulação dos muons por estruturas interplanetárias.

## CAPÍTULO 4

### Análise de Dados e Interpretações dos Resultados

Neste Capítulo serão descritos as análises e os resultados obtidos pelo aluno para eventos interplanetários ocorridos. Foram realizadas análises gráficas com dados do satélite ACE e do Telescópio Cintilador de Muons, todos os gráficos foram feitos em linguagem de programação IDL. As as imagens obtidas pelo satélite SOHO estão sendo analisadas pelo aluno e não contemplarão este capítulo.

Os dias são contados com o calendário dia do ano (do inglês *day of year*) que não separa o ano em meses e vai de 1 a 365, exceto em anos bissextos que vai 1 a 366, como foi o caso do ano de 2004.

Foram utilizados dados do satélite ACE de parâmetros de plasma, como temperatura, densidade e velocidade dos prótons, e parâmetros de campo magnético, como módulo, componentes x, y e z do campo magnético interplanetário.

Os dados foram tratados em ambiente de programação IDL, e foram calculadas as pressões cinética e magnética e o parâmetro que as relaciona, o parâmetro beta.

A pressão cinética ou pressão termal é definida por  $P_k = NkT$ , onde N é a densidade numérica de prótons no vento solar dada em  $\text{cm}^{-3}$ , k é a constante de Boltzmann  $k = 1,381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$  e T é a temperatura dos prótons dada em K.

A pressão magnética é definida por  $P_b = \frac{B^2}{2\mu_0}$ , onde B é o módulo do campo magnético do vento solar e  $\mu_0$  é a constante de permeabilidade magnética no vácuo  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$ .

O parâmetro beta definido como a razão entre as pressões cinéticas e magnéticas, mostrando qual das pressões é predominante no vento solar. Para o vento solar normal o beta varia entre valores em torno de 1, pois ele não é emitido com um fluxo constante. Dentro de uma nuvem magnética, o beta fica com valor entre 0 e 0,1

mostrando que a pressão magnética dentro da nuvem é maior que a pressão cinética do plasma.

Após a análise dos dados do meio interplanetário foram analisadas as variações percentuais na contagem de muons em diversas direções, com os dados do TCM, que é realizada através da seguinte equação.

$$\Delta\% = \left[ \frac{\text{Contagem}(\text{Partic./h}) - \text{média}}{\text{média}} \right] \times 100$$

Onde a “contagem” significa a contagem de determinada amostra (em geral a contagem horária de muons em determinada direção) e “média” significa a média da contagem horária. Para calcular-se a média toma-se um período de tempo muito maior que o período de análise (geralmente o período de um mês ou um ano).

#### 4.1 O Evento de Outubro de 1999

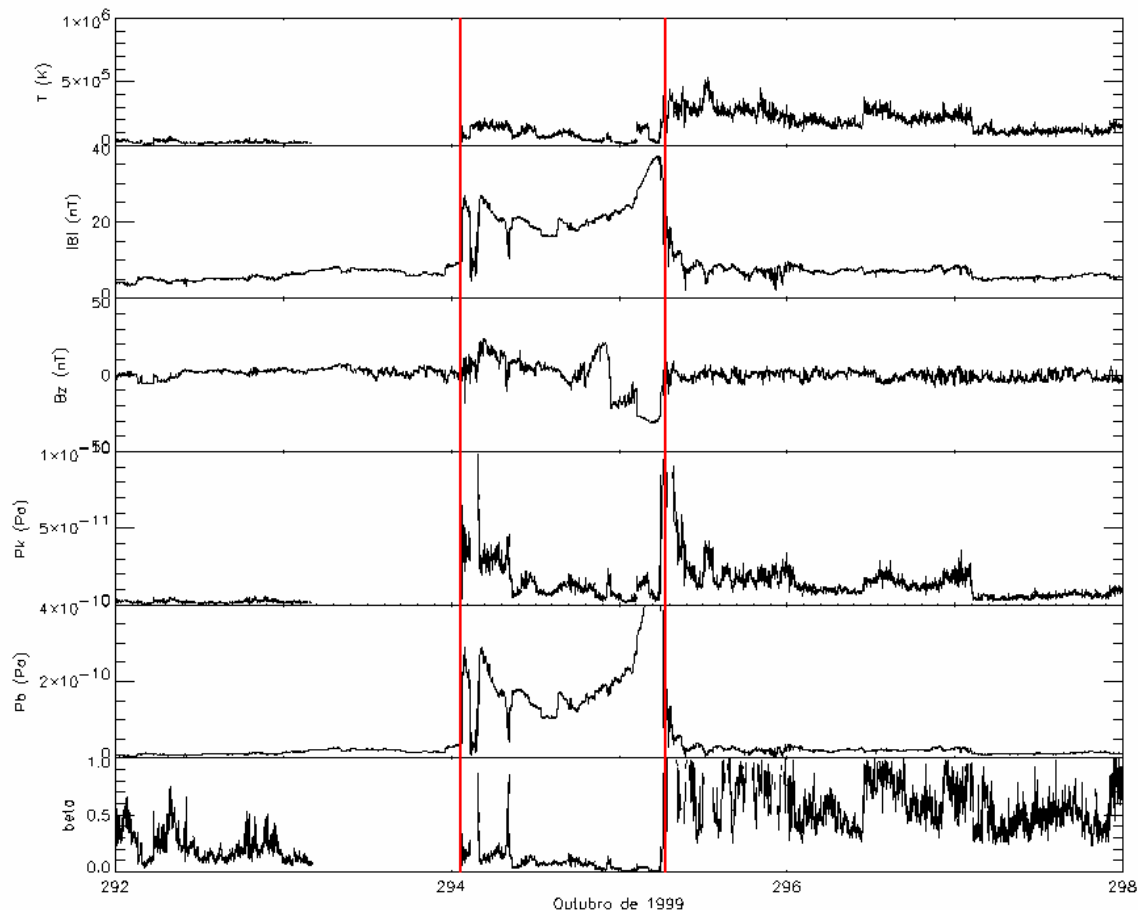
Foi analisado um período entre os dias 292 e 298 do ano de 1999, que correspondem respectivamente aos dias 19 e 25 de outubro de 1999. A Figura 38 mostra um painel com gráficos do satélite ACE com dados de plasma e de campo magnético.

O primeiro gráfico do topo do painel mostra a temperatura do vento solar, o segundo mostra o módulo do campo magnético, o terceiro mostra a coordenada Z do campo magnético e os três últimos mostram a pressão cinética, pressão magnética e o parâmetro beta respectivamente.

As evidências mais claras da passagem de uma estrutura interplanetária estão a partir do segundo gráfico, onde é possível verificar um aumento considerável do valor do módulo do campo magnético tem valores de aproximadamente de 5 nT para valores entre 30 e 40 nT.

Não é possível verificar claramente se houver uma rotação na coordenada Z do campo magnético.

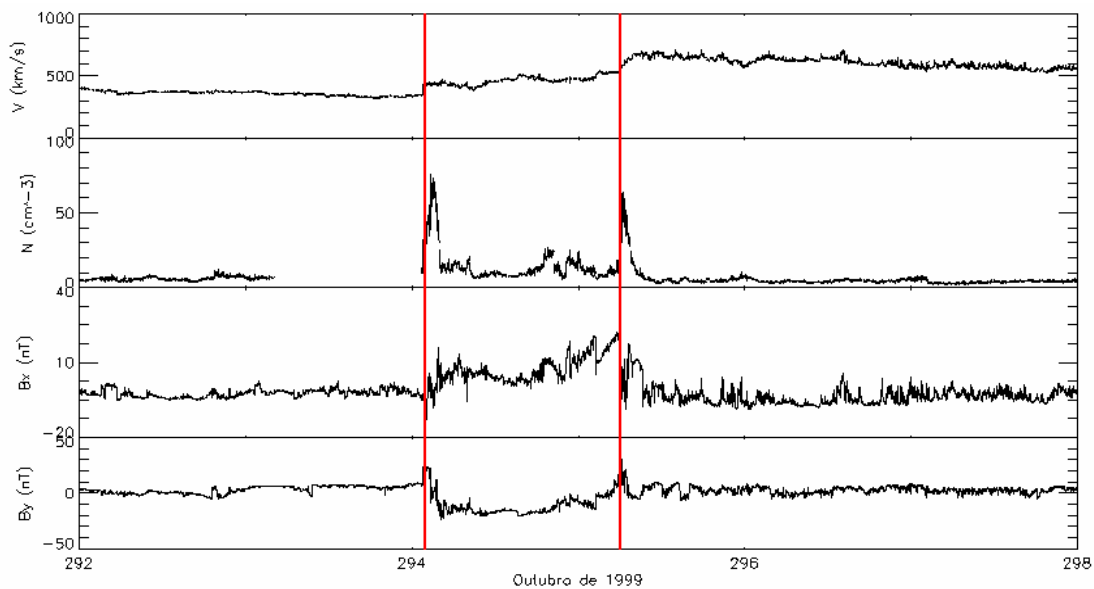
O valor da pressão cinética dentro da estrutura ficou com valores baixos enquanto que a pressão magnética aumentou muito nessa região. Embora o valor do parâmetro beta permanecer entre 0 e 0,1, não é possível determinar se trata-se de uma nuvem magnética ou não.



**FIGURA 38:** Paineis de gráficos de dados do meio interplanetário de outubro de 1999.

A estrutura é uma ICME e passou pelo ACE no dia 294 (21 de outubro) de 1999 (verificado em Dal Lago et al. 2006), onde as linhas vermelhas demarcam o início e o final da passagem da ICME pelo ACE pelo satélite. A Figura 39 mostra outro painel de dados do meio interplanetário do mesmo período, os gráficos são da velocidade e densidade do vento solar e coordenadas x e y do campo magnético.

Pode-se notar que a velocidade passou de aproximadamente 500 km/s para aproximadamente 750 km/s, os valores das coordenadas do campo magnético tiveram uma grande variação. No gráfico também está demarcado com uma linha vermelha a passagem da estrutura pelo ACE.



**FIGURA 39:** Painel mostrando gráficos dos demais parâmetros interplanetários analisados para outubro de 1999.

A ICME ao atingir a magnetosfera terrestre provocou uma tempestade geomagnética super-intensa, atingindo o valor de  $Dst = -237$  nT no dia 22 às 7h UT (FONTE: [http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst\\_final/f/dstfinal199910.html](http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_final/f/dstfinal199910.html)).

## 4.2 O Evento de Novembro de 2004

Foi analisado o período de 310 a 318 de 2004 que corresponde 05 a 13 de novembro do mesmo ano. A Figura 40 mostra os gráficos realizados de cima para baixo da temperatura, módulo do campo magnético, direção Z do campo magnético (no sistema de coordenadas GSM), pressão cinética, pressão magnética e o parâmetro beta.

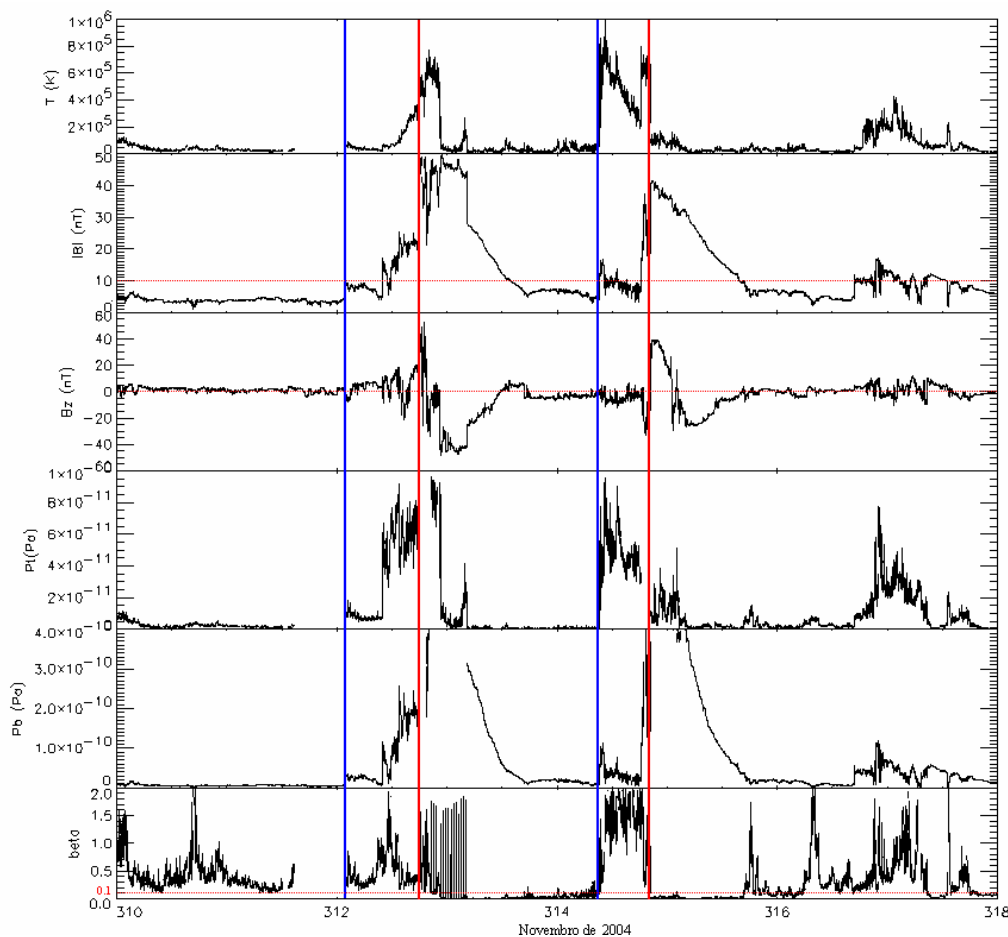
Neste período foram observados dois eventos interplanetários, a linha azul marca as ondas de choque que precedem as estruturas, as linhas vermelhas demarcam o início das estruturas e as linhas pontilhadas são para mostrar as análises segundo os critérios de Burlaga para as nuvens magnéticas.

A análise dos critérios mostra que os eventos ocorridos foram duas nuvens magnéticas (verificado por Savian et al. 2007) a primeira teve início no dia 312 e a segunda no dia 314, respectivamente 7 e 9 de novembro de 2004.



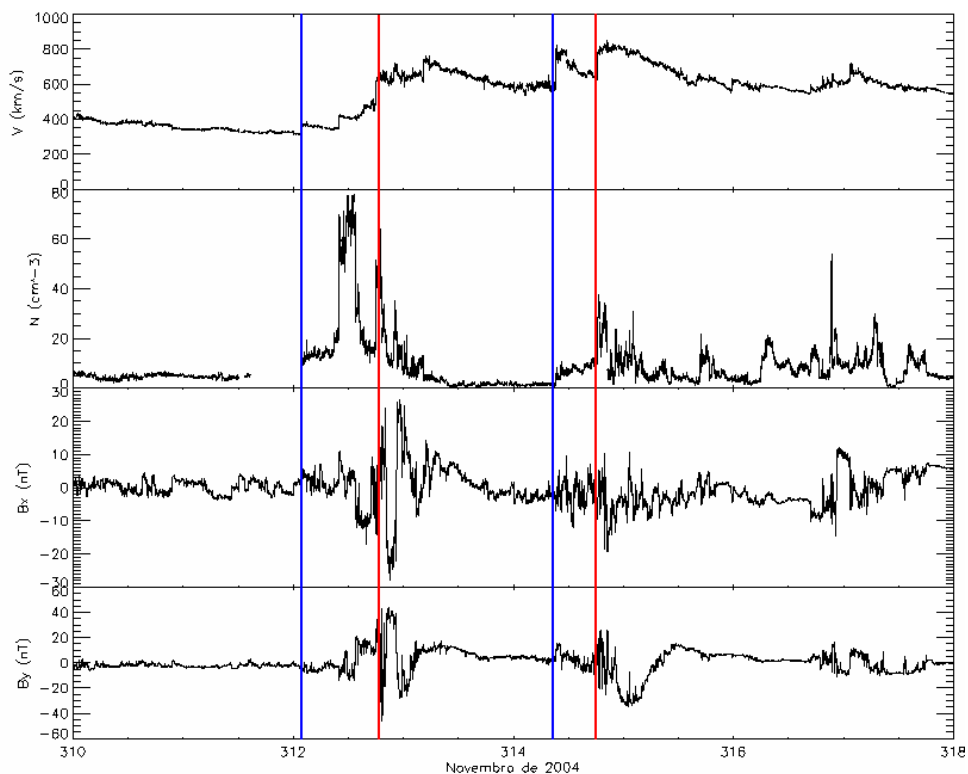
Para a primeira nuvem o módulo do campo magnético atingiu aproximadamente 50 nT, a coordenada Z do campo magnético passou de aproximadamente +40 nT à -40 nT, mostrando a rotação do campo nessa direção e o parâmetro beta ficou entre 0 e 0,1.

A análise das pressões mostra que na parte frontal de nuvem houve uma compressão de plasma, provavelmente gerada pela onda de choque fazendo com que a pressão cinética obtivesse valores altos, logo após, dentro da nuvem a pressão cinética diminui abruptamente e a pressão magnética é predominante mostrando que a estrutura possui um campo magnético muito intenso.



**FIGURA 40:** Painel de gráficos do meio interplanetário de novembro de 2004.

Outros dados do meio interplanetário do mesmo período são mostrados no painel da Figura 41, onde os gráficos são da velocidade e densidade do vento solar e coordenadas x e y do campo magnético.



**FIGURA 41:** Painel mostrando gráficos dos demais parâmetros interplanetários analisados para novembro de 2004.

No primeiro gráfico é possível notar um aumento gradativo da velocidade do vento solar que atinge valores próximos 800 km/s dentro da segunda nuvem. O segundo gráfico mostra um aumento da densidade de partículas caracterizando a região de choque para a primeira nuvem e sendo menor para a segunda nuvem.

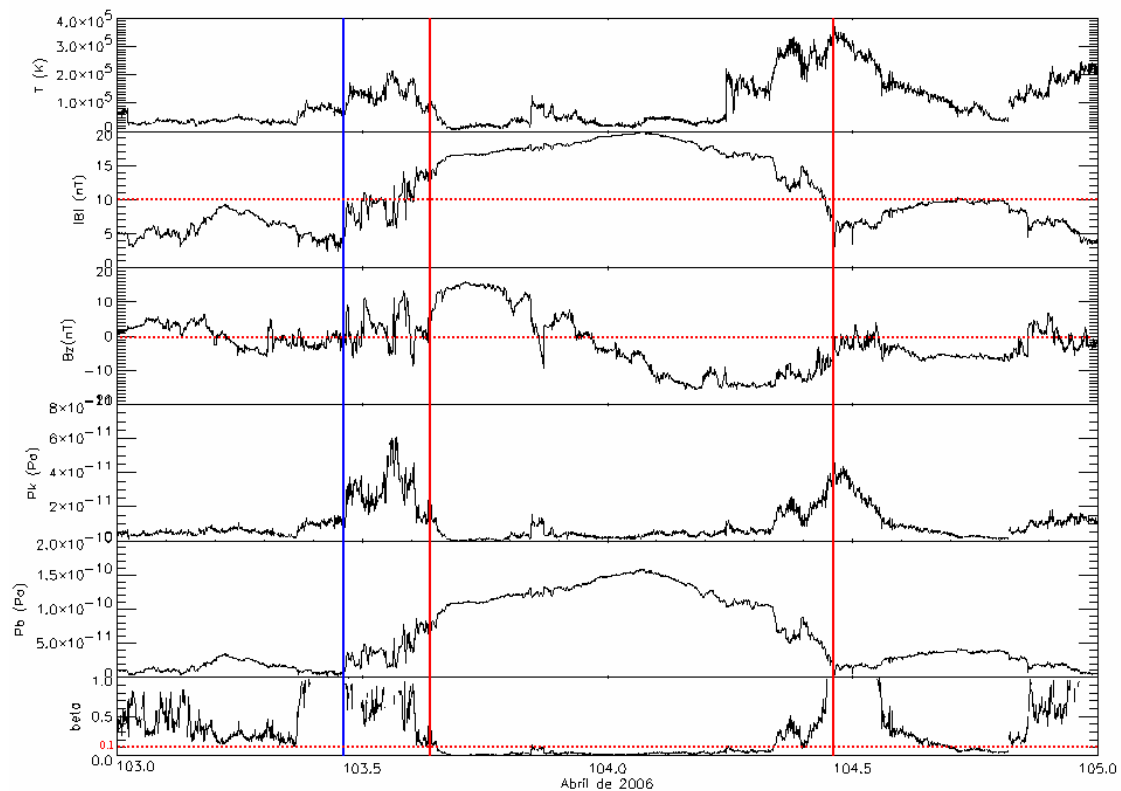
As coordenadas x e y do campo magnético apresentaram uma grande variação nos seus valores principalmente nas regiões internas das duas nuvens.

Ao atingir a magnetosfera terrestre as nuvens magnéticas causaram duas tempestades geomagnéticas super-intensas com  $Dst = -373$  nT para a primeira nuvem no dia 313 (8 de novembro) às 7h UT, e para a segunda nuvem foi observado o pico do índice  $Dst = -289$  nT no dia 315 (10 de novembro) entre 10h e 11h UT (FONTE: [http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst\\_provisional/200411/index.html](http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_provisional/200411/index.html)).

### 4.3 O Evento de Abril de 2006

Foi analisado o período de 103 a 105 de 2006 que corresponde 13 a 15 de abril do mesmo ano. A Figura 42 mostra um painel com os gráficos realizados, de cima para baixo da temperatura, módulo do campo magnético, direção Z do campo magnético (no sistema de coordenadas GSM), pressão cinética, pressão magnética e o parâmetro beta.

Neste período foi observado um evento interplanetário, a linha azul marca a onda de choque que precede a estrutura, as linhas vermelhas demarcam o início e o final da estrutura e as linhas pontilhadas são para mostrar as análises segundo os critérios de Burlaga para as nuvens magnéticas.



**FIGURA 42:** Painel de gráficos do meio interplanetário de abril de 2006.

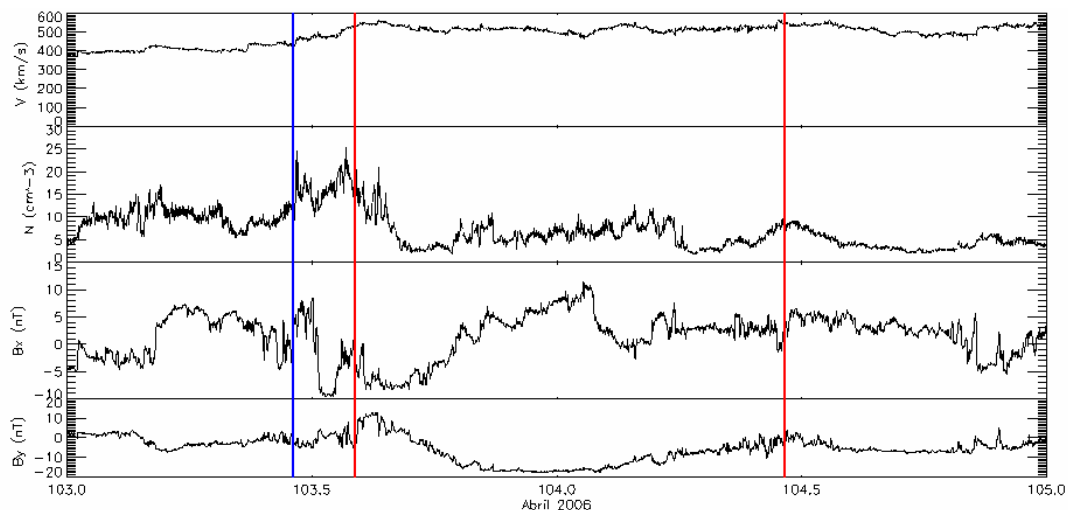
A análise dos critérios mostra que o evento ocorrido trata-se de uma nuvem magnética com início no dia 103 de 2006, que corresponde ao dia 13 de abril.

O segundo gráfico mostra o módulo do campo magnético que atingiu aproximadamente 20 nT, o terceiro gráfico mostra que a coordenada Z do campo

magnético passou de aproximadamente +15 nT à -15 nT, mostrando a rotação do campo nessa direção e o parâmetro beta ficou entre 0 e 0,1.

A análise das pressões mostra que na parte frontal da nuvem houve uma compressão de plasma, provavelmente gerada pela onda de choque fazendo com que a pressão cinética obtivesse valores altos, logo após, dentro da nuvem a pressão cinética diminui abruptamente e a pressão magnética é predominante mostrando que a estrutura possui um campo magnético muito intenso.

Outros dados do meio interplanetário do mesmo período são mostrados no painel da Figura 43, onde os gráficos são da velocidade e densidade do vento solar e coordenadas x e y do campo magnético.



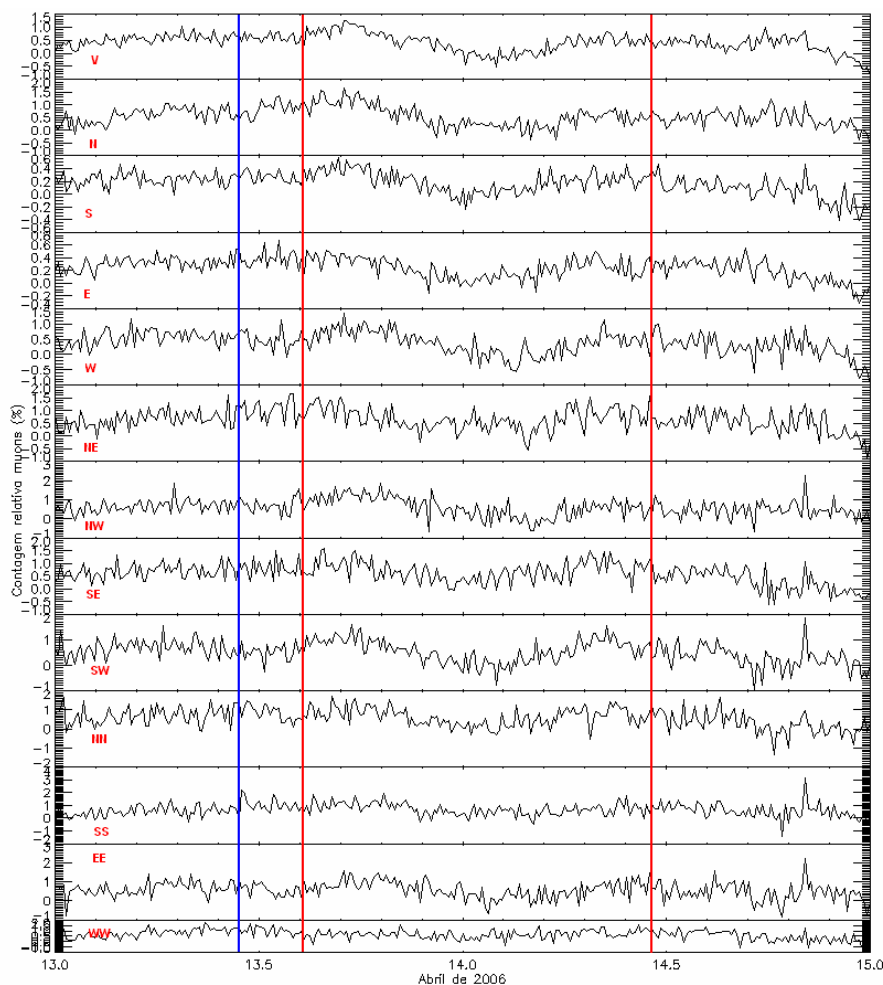
**FIGURA 43:** Painel mostrando gráficos dos demais parâmetros interplanetários analisados para abril de 2006.

O primeiro gráfico mostra a que a velocidade do vento solar passa de aproximadamente 400 km/s para aproximadamente 600 km/s, no segundo gráfico é possível ver que a densidade aumenta na região do choque reafirmando que houve uma compressão do plasma pela onda de choque da estrutura. Os gráficos das coordenadas x e y mostram as variações do campo magnético nessas direções, onde a maior delas foi da coordenada y.

A nuvem magnética causou uma tempestade geomagnética intensa com o pico do índice Dst = -111 nT, no dia 104, 14 de abril, (FONTE: [http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst\\_provisional/200604/index.html](http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_provisional/200604/index.html)).

Para este período foi analisado o decréscimo relativo da incidência de muons detectados com o TCM, a Figura 44 mostra um painel com as contagens para todas as direções do TCM, as direções analisadas foram vertical (V), 30° norte (N), 30° sul (S), 30° leste (E), 30° oeste (W), 39° nordeste (NE), 39° noroeste (NW), 39° sudeste (SE), 39° sudoeste (SW), 49° norte (NN), 49° sul (SS), 49° leste (EE) e 49° oeste (WW).

A tempestade não ocasionou um grande decréscimo na contagem dos muons, os maiores decréscimos foram nas direções vertical (~0.8%), 30° norte (~1.2%) e 30° oeste (0.7%).



**FIGURA 44:** Painel mostrando gráficos da contagem relativa de muons detectados pelo TCM em abril de 2006.

#### 4.4 O Evento de Dezembro de 2006

Foi analisado o período de 348 a 350 de 2006 que corresponde 13 a 15 de dezembro do mesmo ano. A Figura 45 mostra um painel com os gráficos realizados, de cima para baixo da temperatura, módulo do campo magnético, direção Z do campo magnético (no sistema de coordenadas GSM), pressão cinética, pressão magnética e o parâmetro beta.

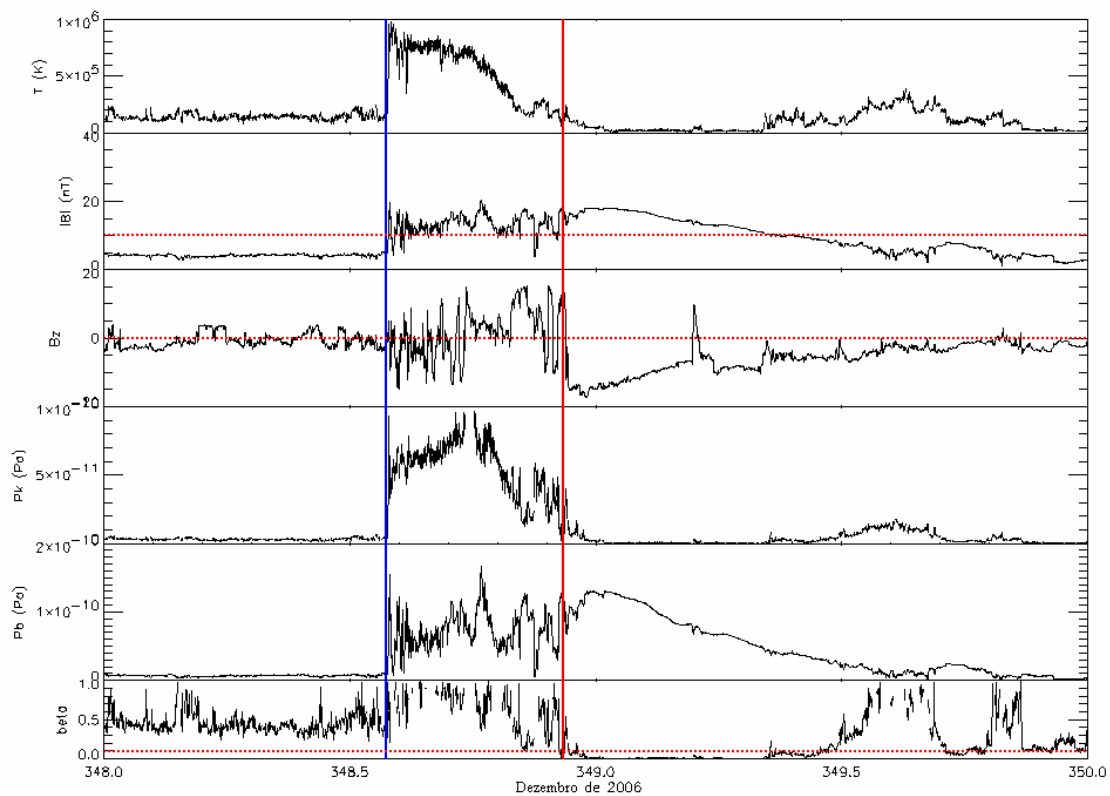
Neste período foi observado um evento interplanetário, a linha azul marca a onda de choque que precede a estrutura, as linhas vermelhas demarcam o início e o final da estrutura e as linhas pontilhadas mostram as análises segundo os critérios de Burlaga para as nuvens magnéticas.

O primeiro gráfico do topo do painel mostra a temperatura do vento solar, o segundo mostra o módulo do campo magnético, o terceiro mostra a coordenada Z do campo magnético e os três últimos mostram a pressão cinética, pressão magnética e o parâmetro beta respectivamente.

No segundo gráfico é possível verificar um aumento do valor do módulo do campo magnético tem valores de aproximadamente de 5 nT para aproximadamente 20 nT.

Não é possível verificar claramente se houve uma rotação na coordenada Z do campo magnético.

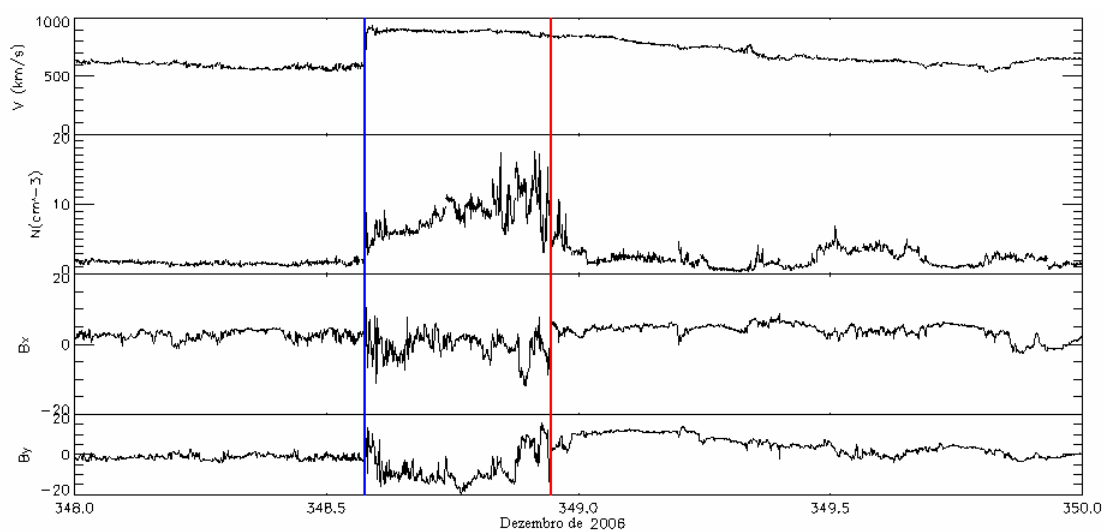
Houve um consideravelmente no valor da pressão cinética no início da estrutura, caracterizando o choque que precede a estrutura, no interior da estrutura a pressão cinética ficou com valores baixos enquanto que a pressão magnética aumento nessa região. Embora o valor do parâmetro beta permanecer entre 0 e 0,1, não é possível determinar se trata – se de uma nuvem magnética ou não.



**FIGURA 45:** Painel de gráficos do meio interplanetário de dezembro de 2006.

A estrutura é uma ICME e passou pelo ACE no dia 348 (21 de dezembro) de 2006 as linhas vermelhas demarcam o início da ICME ao passar pelo satélite ACE. A Figura 46 mostra outro painel de dados do meio interplanetário do mesmo período, os gráficos são da velocidade e densidade do vento solar e coordenadas x e y do campo magnético.

O gráfico da velocidade mostra que o vento solar passou de aproximadamente 600 km/s para aproximadamente 900 km/s. Observou-se um aumento na densidade do plasma na parte frontal da estrutura novamente caracterizado a onde de choque a frente da estrutura. Os valores das coordenadas do campo magnético sofreram grandes variações, no gráfico também está demarcada com uma linha vermelha a passagem da estrutura pelo ACE.



**FIGURA 46:** Painel mostrando gráficos dos demais parâmetros interplanetários analisados para dezembro de 2006.

A ICME provocou uma tempestade geomagnética intensa com o pico do Dst = -146 nT no dia 349, 15 de dezembro, de 2006 (FONTE: [http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst\\_provisional/200612/index.html](http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_provisional/200612/index.html))



## CAPÍTULO 5

### Conclusões

Com o grande desenvolvimento dos sistemas tecnológicos e eletromagnéticos tornou-se necessário o monitoramento das atividades solares. Um dos resultados destas atividades são as CMEs que quando entram em contato com a magnetosfera terrestre provocam as tempestades geomagnéticas.

Com isso, crescem os esforços internacionais para o estudo das variabilidades solares e inúmeras as maneiras de realizar este estudo. Como, por exemplo, através dos satélites ACE e SOHO e ainda pela Rede Internacional de Detectores de Muons, no qual, um dos TCMs que a compõem está instalado no OES em São Martinho da Serra, Brasil.

Os métodos usados para as análises do meio interplanetário são muito parecidos, embora, pelo fato do TCM estar localizado na superfície da Terra é mais viável a realização de reparos, propiciando que o aluno, juntamente com os demais integrantes do Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas - LCEPTM/CRS/CIE/INPE – MCT, possa ter acesso ao TCM, fato que é de extrema relevância. O TCM tem as vantagens de propiciar os meios para que seja efetuada uma previsão mais longa da possibilidade de ocorrência de uma tempestade geomagnética, demonstrando que a manutenção é mais simples e econômica do que os sistemas de telescópios nos satélites ACE ou SOHO.

A análise do evento ocorrido em outubro de 1999 entre os dias 19 e 25, mostra a passagem de uma estrutura interplanetária de origem solar que possui as características de uma ICME. Foram utilizados os critérios de Burlaga para determinar se a ICME era uma nuvem magnética. Dentre os parâmetros analisados não ocorreu uma rotação na coordenada Z do campo magnético, embora o parâmetro beta tenha ficado com valores entre 0 e 0.1. A ICME causou uma tempestade geomagnética super-intensa com pico do Dst = -237 nT.

As análises do evento ocorrido em novembro de 2004 entre os dias 05 e 13, mostraram a passagem de duas nuvens magnéticas pelo ACE, conforme os critérios de

Burlaga. A primeira nuvem magnética causou uma tempestade geomagnética com pico do Dst = - 373 nT no dia 08 de novembro e a segunda nuvem causou uma tempestade com pico do Dst = - 289 nT registrado no dia 10 de novembro.

A análise da pressão cinética mostra que houve uma compressão de plasma, caracterizando que as nuvens magnéticas foram precedidas por ondas de choque, a análise da pressão magnética mostra que dentro das estruturas, o campo magnético é bastante intenso o que faz com que o parâmetro beta ficasse com valores baixos.

As análises do evento ocorrido em abril de 2006 que corresponde aos dias 13 e 15 mostraram a passagem de uma nuvem magnética pelo ACE, caracterizada pelos critérios de Burlaga. A nuvem causou uma tempestade geomagnética com o pico do Dst = - 111 nT, no dia 14 de abril. A análise da pressão cinética possibilitou a caracterização da onda de choque que precedeu a estrutura e a análise da pressão magnética mostrou que a o campo magnético dentro da nuvem é intenso fazendo com que o parâmetro beta ficasse com valores baixos.

As análises das contagens de muons detectados pelo TCM mostraram um pequeno decréscimo na contagem no momento da tempestade.

As análises do evento ocorrido em dezembro de 2006 entre os dias 13 e 15, mostraram a passagem de uma estrutura interplanetária de origem solar pelo ACE, para análise foram verificados os critérios de Burlaga, mas a estrutura não apresentou claramente uma rotação em nenhuma das coordenadas do campo magnético. A estrutura provavelmente é uma ICME que causou uma tempestade geomagnética com pico do Dst = - 146 nT no dia 15 de dezembro.

As análises da pressão cinética juntamente com da temperatura mostraram que na região que precede a estrutura houve uma compressão de plasma caracterizando uma onda de choque.

O presente projeto permitiu ao acadêmico contato direto com a linha de pesquisa de Clima Espacial, bem como um contato estreito com o método científico. O estudo do Clima Espacial tem-se mostrado importante para prevenção de danos causados por tempestades magnéticas em sistemas de comunicação de dados e de transmissão de energia elétrica.

## Referências Bibliográficas

Dal Lago, A., et al. (2006), The 17–22 October (1999) solar-interplanetary-geomagnetic event: Very intense geomagnetic storm associated with a pressure balance between interplanetary coronal mass ejection and a high-speed stream, **J. Geophys. Res.**, 111, A07S14, doi:10.1029/2005JA011394.

Dal Lago, A.; Schwenn, R.; Stenborg, G.; Gonzalez, W. D. Coronal mass ejection speeds measured in the solar corona using LASCO C2 and C3 images. **Advances in Space Research**, Inglaterra, v. 32, n. 12, p. 2619-2624, 2003.

Dal Lago, A.; Vieira, Luis Eduardo Antunes; Echer, Ezequiel; Gonzalez, Walter D.; Gonzalez, Alicia L Clua de; Guarnieri, Fernando Luis; Balmaceda, Laura Antonia; Santos, Jean Carlo; Silva, Marlos Rockenbach da; Lucas, Aline de ; Schuch, Nelson Jorge . Great geomagnetic storms in the rise and maximum of solar cycle 23. **Brazilian Journal of Physics**, Brasil, v. 34, n. 4B, p. 1542-1546, 2004.

Gonzalez, W.D., B.T. Tsurutani, e A.L.C. De Gonzalez, Interplanetary origin of geomagnetic storms, **Space Science Reviews**, 88 (3-4), 529-562, 1999.

Gosling, J. T., S. J. Bame, D. J. McComas, and J. L. Phillips, Coronal mass ejections and large geomagnetic storms, **Geophys. Res. Lett.**, 17, 901-904, 1990.

Gosling, J. T., D. J. McComas, J. L. Phillips, and S. J. Bame, Geomagnetic activity associated with earth passage of interplanetary shock disturbances and coronal mass ejections, **J. Geophys. Res.**, 96, 7831-7838, 1991.

Hundhausen, A. J. An introduction. In: Crooker, N.; Joselyn J. A.; Feynman, J. ed. **Coronal mass ejections**, Washington, DC: AGU, 1997. v. 99, p.1-7.



Munakata, K., J. W. Bieber, S.-I. Yasue, C. Kato, M. Koyama, S. Akahane, K. Fujimoto, Z. Fujii, J. E. Humble, & M. L. Duldig, Precursors of geomagnetic storms observed by the muon detector network, **J. Geophys. Res.**, 105, 27,457, 2000.



## **ANEXOS**



**Anexo A**  
**Projeto de Iniciação Científica**

Título do Projeto: **ESTUDO DE ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS UTILIZANDO OBSERVAÇÕES DE SATÉLITES E OBSERVAÇÕES DE RAIOS CÓSMICOS**

**Objetivos Específicos:** Os objetivos específicos são os seguintes: (1) familiarização do aluno, através de seu aprendizado, com a física e as observações das estruturas observadas no meio interplanetário, o que será obtido através de leitura de bibliografia especializada; (2) análise de eventos de diferentes estruturas interplanetárias através de dados obtidos pelo Satélite Advanced Composition Explorer – ACE, que situa-se no ponto Lagrangeano L1, fora da Magnetosfera Terrestre; (3) relacionado ao item anterior, aprendizado de utilização de software de análise de dados de séries temporais, o que é muito importante para o futuro do aluno em carreira acadêmica; (4) análise de parâmetros de plasma das estruturas interplanetárias, tais como o cálculo do parâmetro beta, que determina a relação entre a pressão cinética e a pressão magnética na estrutura, sendo muito interessante do ponto de vista da física do meio interplanetário; (5) análise dos efeitos das estruturas nos raios cósmicos observados pelo protótipo de telescópio multi-direcional detector de muons instalado no OES/CRS/INPE em São Martinho da Serra, RS; (6) utilizar observações dos instrumentos LASCO (Large Angle and Spectroscopic Coronagraph), a bordo do satélite SOHO (Solar and Heliospheric Observatory), e EIT (Extreme Ultraviolet Imaging Telescope) em operação desde 1996, os quais permitem a observação das CMEs solares. O aluno deverá utilizar as técnicas mais recentes de análise de dados de satélite, como por exemplo o pacote SolarSoft da NASA, que é utilizado em ambiente IDL.

**Metodologia:**

Para realizar este trabalho, propõe-se a seguinte metodologia:

- 1) Selecionar um número de cerca de 10 casos de diferentes estruturas interplanetárias. Esta fase será feita em conjunto com o orientador;
- 2) Utilizar dados de plasma e campo magnético obtido pelo satélite *Advanced Composition Explorer – ACE*, referentes ao período dos casos escolhidos e graficá-los de forma a identificar estruturas interplanetárias, tais como nuvens magnéticas, feixes rápidos, e ondas de choque;
- 3) Calcular a pressões cinética ( $NkT$ ) e magnética ( $B^2/4\pi$ ), e a seguir o parâmetro beta de plasma, a fim de identificar as peculiaridades das diferentes estruturas interplanetárias;
- 4) Utilizar observações de plasma e campo magnético feitas pelo satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*), nas proximidades da Terra, as quais permitem a identificação da estrutura interplanetária das ejeções de massa coronal, bem como de fenômenos relacionados (ondas de choque, por exemplo). Estes dados serão utilizados para correlacionar estruturas observadas nas proximidades da Terra com as observadas no Sol. Um exemplo de uma CME observada no meio interplanetário pode ser visto na Figura 1. O Projeto pretende proporcionar o aprendizado por parte do aluno, acerca das

relações Sol-Terra sob um ângulo mais abrangente, envolvendo as origens solares dos fenômenos causadores de Tempestades Geomagnéticas Intensa

**14-17/07/2000**

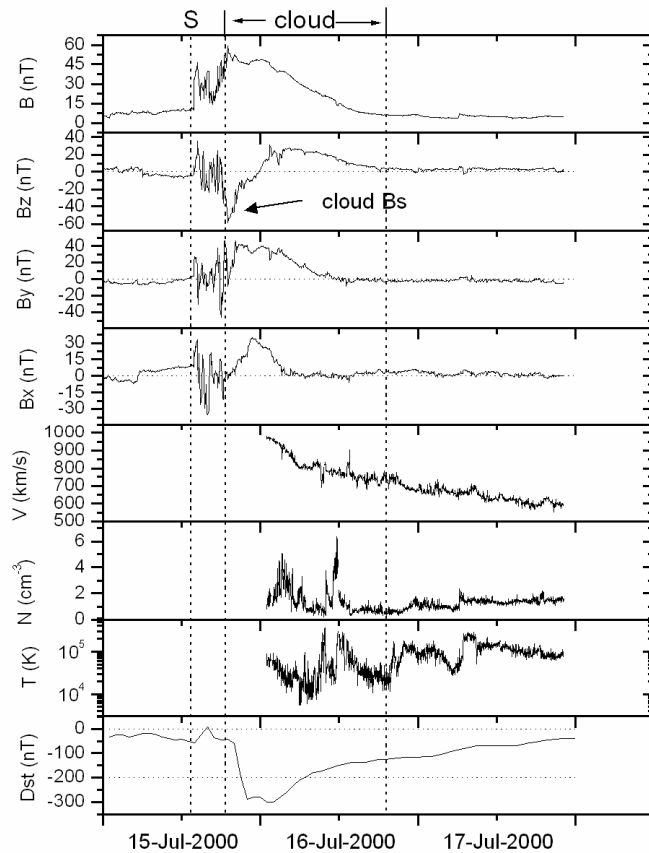
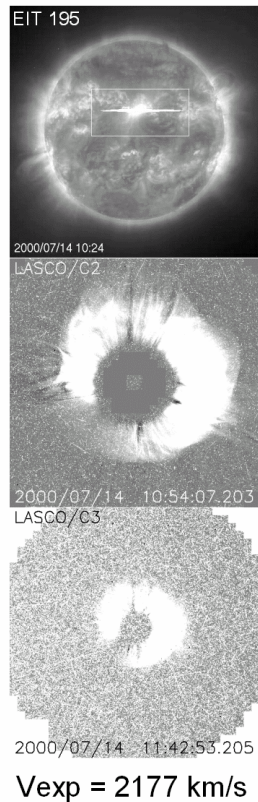


Figura 1 – À direita estão mostradas observações do satélite SOHO de uma CME solar, e à direita observações da chegada da estrutura nas proximidades da Terra observada pelo satélite ACE. Observa-se uma estrutura com campo magnético bastante intenso que causou uma tempestade geomagnética muito intensa, mostrada pelo índice Dst no último painel.

FONTE: Dal Lago et al. (2004).

**Plano de trabalho do bolsista:** O plano de trabalho envolve basicamente duas etapas gerais, uma de estudo da literatura especializada através da leitura de teses e artigos produzidos pela Linha de Pesquisa em Magnetosfera e Heliosfera – MAGHEL, da Divisão de Geofísica Espacial do INPE, e outra de aprendizado das técnicas de análise de dados e a familiarização com as estruturas observadas. Especificamente, serão realizadas as seguintes etapas:

1) O bolsista deverá realizar uma revisão bibliográfica acerca da fenomenologia relativa estruturas interplanetárias, e acerca da fenomenologia relativa às ejeções de massa coronal, CMEs utilizando bibliografia especializada. A linha de Pesquisa em Magnetosfera e Heliosfera da Divisão de Geofísica Espacial (DGE-CEA) produziu diversos trabalhos, tanto de teses e dissertações, quanto de artigos em revistas, que serão utilizados pelo aluno;



2) O bolsista deverá estudar as metodologias de análise de dados do satélite ACE, trabalho que consiste em aprendizado de análise de séries temporais. Essa metodologia envolve aprendizado da utilização de softwares tais como Origin, MatLab e IDL;

3) O aluno deverá calcular as pressões cinética e magnética a partir dos dados interplanetários do item anterior, e analisar as diferenças existentes;

4) O bolsista deverá analisar os dados de raios cósmicos para estes mesmos eventos, já utilizando seus conhecimentos de análise de séries temporais, e avalia a resposta dos raios cósmicos em relação às estruturas anteriormente estudadas;

5) O bolsista deverá estudar as metodologias de análise das imagens dos instrumentos LASCO e EIT, que estão a bordo do satélite SOHO. Essa metodologia envolve aprendizado da utilização do pacote SolarSoft que é executado em ambiente IDL

6) O bolsista deverá elaborar trabalhos para serem apresentados no congresso do PIBIC do INPE e de outros que julgar interessante;

7) O bolsista deverá produzir um relatório ao final do ano, com uma revisão bibliográfica redigida em forma cientificamente apropriada (com referências indicadas no texto) e uma análise dos eventos e resultados obtidos de seu trabalho.

#### **Etapas Concluídas:**

- Etapa 1) foi concluída parcialmente. Como houve substituição do bolsista, houve a necessidade de nova revisão bibliográfica para o novo aluno, a qual está sendo feita, tendo obtido resultados muito bons.

- Etapa 2) foi concluída parcialmente. O novo estudante já fez algumas rotinas de programação em linguagem IDL, e já as aplicou para análise de séries temporais de parâmetros do meio interplanetário, tendo inclusive já conseguido calcular quantidades físicas como pressão magnética e pressão térmica no meio interplanetário.

- Etapa 3) parcialmente concluída. O aluno iniciou o cálculo das pressões.

- Etapa 6) concluída. O aluno preparou e submeteu resumo para o CISINPE 2007.

#### **Etapas a Concluir:**

- Etapa 1) deve ser concluída. É necessário mais estudo de artigos e livros sobre o tema, atividade que deverá ser desenvolvida continuamente.

- Etapa 2) deve ser concluída. É necessário aprimoramento das técnicas de programação em IDL e de análise de dados.

- Etapa 3) deve ser concluída. Assim que a etapa 2) estiver avançada, serão selecionados eventos para aplicação das técnicas de análise.

- Etapa 4) deve ser realizada. O aluno ainda deve realizar estudo com dados do Telescópio de Raios Cósmicos instalado no OES/CRS/INPE.

- Etapa 5) a concluir.

- Etapa 6) deve ser realizada novamente. O aluno deverá fazer novos trabalhos para novos eventos de iniciação científica.

- Etapa 7) a concluir.

**Cronograma de atividades:**

- 1) Nos primeiros 2 meses pretende-se realizar a revisão bibliográfica sobre ejeções de massa coronal, CMEs;
- 2) Nos 2 meses subseqüentes, realizar a análise de alguns eventos utilizando dados dos instrumentos LASCO e EIT, para aprender a utilizar os pacotes do SolarSoft.
- 3) A partir do 6 mês, selecionar eventos intensos no meio interplanetário, com análise de dados do ACE, com os quais o aluno já possui experiência. Logo a seguir, mapear suas origens solares e realizar medidas de velocidade das CMEs, bem como realizar a análise das características morfológicas das CME.
- 4) Avaliar as modulações sofridas pelos raios cósmicos de alta energia observados no OES, em São Martinho da Serra, para os eventos Solar-interplanetários analisados pelo aluno nos itens anteriores. Isto poderá ser realizado conjuntamente com a análise dos dados interplanetários no item 3.
- 5) Nos 4 últimos meses o bolsista deverá preparar trabalhos para o SICINPE 2006 e outros congressos que julgar interessantes, e redigir o relatório final contendo revisão bibliográfica e os resultados do trabalho realizado durante o ano.

**Resultados esperados:** (1) Aprendizado por parte do aluno de conceitos físicos relacionados às relações Sol-Terra, em especial em relação às estruturas observadas no meio interplanetário, sua física e suas técnicas de observação e análise; (2) Aprimorar seus conhecimentos acerca da Física do meio interplanetário e de raios cósmicos; (3) aprendizado por parte do aluno da análise de dados do meio interplanetário utilizando pacotes de software utilizados pela comunidade científica internacional; (4) confecção de gráficos com os parâmetros interplanetários, geomagnéticos e de raios cósmicos, relacionados a distúrbios geomagnéticos; (4) Elaboração e apresentação de trabalho(s) em eventos de iniciação científica; (5) Elaboração de relatório final das atividades.



## **Anexo B**

### **Relatório Parcial de Atividades PIBIC/ INPE – CNPq/MCT**

**Fevereiro de 2008**

## **Título: ESTUDO DE ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS UTILIZANDO OBSERVAÇÕES DE SATÉLITES E OBSERVAÇÕES DE RAIOS CÓSMICOS**

### **1. Identificação do aluno e dos orientadores**

**Bolsista:** Marcos Vinicius Dias Silveira

**Orientador:** Dr. Alisson Dal Lago

**Co-orientador:** Dr. Nelson Jorge Schuch

**Protocolo:** 101086/2007-5

**2. Colocação do problema estudado:** o Projeto tem como objetivos analisar parâmetros de plasma, tais como o cálculo do parâmetro beta, que determina a relação entre a pressão cinética e a pressão magnética de diferentes estruturas interplanetárias através de dados obtidos pelo Satélite *Advanced Composition Explorer – ACE*. Analisar os efeitos das estruturas nos raios cósmicos observados pelo telescópio multi-direcional detector de muons instalado no OES/CRS/CIE/INPE em São Martinho da Serra, RS e utilizar observações dos instrumentos *LASCO (Large Angle and Spectroscopic Coronagraph)* e *EIT (Extreme Ultraviolet Imaging Telescope)* a bordo do satélite *SOHO (Solar and Heliospheric Observatory)*, que permitem a observações das CMEs solares.

**3. Metodologia utilizada:** o aluno utilizou dados do satélite ACE para estudar as estruturas interplanetárias através da análise dos parâmetros de plasma e de campo magnético, como pressão temperatura e densidade de prótons, pressões cinética e magnética, parâmetro beta, módulo e coordenadas do campo magnético. As análises foram feitas utilizando rotinas em ambiente IDL, também feitas pelo aluno.

**Resultados obtidos:** no período coberto por este relatório o aluno fez leituras de referências bibliográficas especializadas, adaptação com a linguagem IDL e análise de dois eventos escolhidos juntamente com o orientador. As análises foram realizadas através de parâmetros de plasma e medidas de campo magnético realizadas pelo satélite ACE, foi realizado o cálculo das pressões cinética e magnética e o parâmetro beta das estruturas, assim como o gráfico das componentes x, y e z no sistema GSM e do módulo do campo magnético. Tais análises permitiram ao aluno identificar no primeiro evento analisado, correspondente ao período entre 31 de outubro e 15 de novembro de 2004, que as estruturas correspondiam a duas nuvens magnéticas devidas a ejeções de massa coronais e no segundo evento, correspondente ao período entre 12 e 17 de abril de 2006, a passagem de uma nuvem magnética pelo telescópio observador. Ainda para o período do segundo evento o aluno fez gráficos da contagem percentual de muons, com dados do telescópio multi-direcional detector de muons, o aluno realizou análises preliminares nos gráficos para o estudo dos efeitos das estruturas interplanetárias nos raios cósmicos.

**4. Resultados futuros:** na próxima etapa do Projeto, o aluno irá concluir as análises dos efeitos das estruturas interplanetárias nos raios cósmicos, através de dados do telescópio multi-direcional detector de muons. Também irá realizar observações de imagens das ejeções de massa coronais solares obtidas através dos instrumentos LASCO e EIT, além de continuar as análises com dados do satélite ACE para outros eventos a serem



selecionados. Na etapa final o aluno realizará a preparação de trabalhos e apresentações em eventos e congressos, incluindo o congresso do PIBIC do INPE (SICINPE) e irá redigir o Relatório Final das atividades de Iniciação Científica do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, junto ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRS/CIE/INPE – MCT.



## **Anexo C**

### **Títulos e Resumos de Trabalhos Apresentados e ou Submetidos**

Durante o período de vigência da Bolsa, o Bolsista participou de três eventos onde o aluno apresentou trabalhos como autor e co-autor. São eles:

1. **SILVEIRA, Marcos Vinicius Dias** ; DAL LAGO, Alisson ; SCHUCH, Nelson Jorge ; BRAGA, Carlos Roberto ; DA SILVA, Samuel Martins ; KEMMERICH, Níkolos ; THUORST, José Fernando ; STEKEL, Tardelli Ronan Coelho . 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, 2008, São Paulo, SP. INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL, 2008.
2. DA SILVA, Samuel Martins ; BRAGA, Carlos Roberto ; KEMMERICH, Níkolos ; **SILVEIRA, Marcos Vinicius Dias** ; THUORST, José Fernando ; STEKEL, Tardelli Ronan Coelho ; 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, 2008, São Paulo, SP. INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL - IHY, 2008.
3. KEMMERICH, Níkolos ; DAL LAGO, Alisson ; SCHUCH, Nelson Jorge ; BRAGA, Carlos Roberto ; DA SILVA, Samuel Martins ; **SILVEIRA, Marcos Vinicius Dias** ; THUORST, José Fernando ; STEKEL, Tardelli Ronan Coelho . 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, 2008, São Paulo, SP. INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL - IHY, 2008.
4. STEKEL, Tardelli Ronan Coelho ; ECHER, Ezequiel ; SCHUCH, Nelson Jorge; MOOR, Lilian Piecha ; DA SILVA, Samuel Martins ; BRAGA, Carlos Roberto ; **SILVEIRA, Marcos Vinicius Dias** ; KEMMERICH, Níkolos . **Estudo dos Efeitos das Explosões Solares na Ionosfera Terrestre no Período de Outubro a Novembro de 2003.** - IHY (submetido). In: INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL - IHY, 2008, São Paulo, SP. INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL - IHY, 2008.
5. **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 . 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.
6. 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.
7. 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.
  8. **SILVEIRA, Marcos Vinicius Dias** ; DAL LAGO, Alisson ; BRAGA, Carlos Roberto ; SCHUCH, Nelson Jorge ; KEMMERICH, Nícolas ; 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.
  9. 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.
  10. DA SILVA, Samuel Martins ; ECHER, Ezequiel ; SCHUCH, Nelson Jorge ; BRAGA, Carlos Roberto ; KEMMERICH, Nícolas ; **SILVEIRA, Marcos Vinicius Dias** . Estudo Comparativo das Frentes de Choque Planetárias SICINPE 2007. In: XXII Jornada Acadêmica Integrada - UFSM, 2007, Santa Maria, RS. Anais da XXII Jornada Acadêmica Integrada - UFSM, 2007.
  11. 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.



37th COSPAR Scientific Assembly 2008

Panels (P)

Space Weather: Preparing for The Next Solar Maximum (PSW1)

**SPACE WEATHER FORECASTING - A MULTI DIRECTIONAL TELESCOPE FOR DETECTION OF HIGH ENERGY COSMIC RAYS - MUONS - SOUTHERN SPACE OBSERVATORY - BRAZIL**

Dr. Nelson Jorge Schuch, njschuch@lacesm.ufsm.br  
Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria - RS, Brazil

Alisson Dal Lago, dallago@dge.inpe.br  
National Institute for Space Research (Brazil), Sao Jose dos Campos - SP, Brazil

Ezequiel Echer, eecher@dge.inpe.br  
National Institute for Space Research-INPE-Brazil, Sao Jose Campos, Brazil

Kazuoki Munakata, kmuna00@gipac.shinshu-u.ac.jp  
Shinshu University, Matsumoto, Japan

John W. Bieber, jwbieber@bartol.udel.edu  
Bartol Research Institute, Univ Delaware, Newark, Delaware, United States

Marlos Da Silva, marlosrs@gmail.com  
National Institute for Space Research-INPE-Brazil, São José dos Campos, SP, Brazil

Marcus L. Duldig, Marc.Duldig@aad.gov.au  
Australian Antarctic Division, Hobart, Tasmania, Australia

Paul Evenson, evenson@udel.edu  
University of Delaware, Newark, New Jersey, United States

Zenjirou Fujii, fujii@stelab.nagoya-u.ac.jp  
Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, Nagoya, Japan

Walter Demétrio Gonzalez Alarcon, gonzalez@dge.inpe.br  
National Institute for Space Research-INPE-Brazil, São José dos Campos, Brazil

Chihiro Kato, ckato@shinshu-u.ac.jp  
Shinshu University, Matsomoto, Japan

Nikolas Kemmerich, nikolas@lacesm.ufsm.br  
Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Fabricio Deives Kummer, deives@lacesm.ufsm.br  
Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Takao Kuwabara, takao@bartol.udel.edu  
University of Delaware, Newark, Delaware, United States

Ismail Sabbah, sabbah@kuc01.kuniv.edu.kw  
Kuwait University, Kuwait, Kuwait

Marcos Vinicius Dias Silveira, silveira@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Tardelli Ronan Coelho Stekel, tardelli@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Carlos Roberto Braga, carlos@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center CRS/CIE/INPE - MCT and Space Science Laboratory of Santa Maria LACESM/CT - UFSM, Santa Maria, Brazil

Ashot Chilingarian, chili@aragats.am

Yerevan Physics Institute, Yerevan 36, Armenia

Rainer Hippler, hippler@physik.uni-greifswald.de

University of Greifswald, Greifswald, Germany

John E. Humble, John.Humble@utas.edu.au

University of Tasmania, Hobart, Tasmania, Australia

A multi-directional telescope for detection of high-energy galactic cosmic rays (GCRs) - muons was installed in 2001, through an international cooperation between Brazil, Japan and USA, and operated since then at the Southern Space Observatory - SSO/CRS/INPE - MCT, (29S, 53W), Sao Martinho da Serra, RS, in the south of Brazil. The telescope capability and sensitivity were upgraded in 2005. The observations conducted by this telescope are used for forecasting the arrival of the geomagnetic storm and their interplanetary coronal mass ejection (ICME) drivers in the near-earth geospace. The telescope measures high-energy GCRs by detecting secondary muons produced from the hadronic interactions of primary GCRs (mostly protons) with atmospheric nuclei. Since muons have a relatively long life-time (about 2.2 microseconds for muons at rest) and can reach the detector at ground level preserving the incident direction of primary particles, the telescope can measure the GCRs intensity in various directions with a multidirectional detector at a single location, such as in Brazil. ICMEs accompanied by a strong shock often forms a GCR depleted region behind the shock - this abrupt decrease of the GCR density (i.e. the isotropic intensity), is known as a Forbush decrease, which is a region of suppressed cosmic ray density located downstream of an ICME shock. The ICME arrival also causes a systematic variation in the GCR streaming (i.e. the directional anisotropy of intensity). The magnitude of the streaming is small (about 1 % or less), but its variation is relevant. Some particles from this suppressed density region traveling with about the speed of light leak into the upstream region, much faster than the approaching shock, creating the possibility of being observed, at earth's surface, by a network of ground based multi-directional telescopes, as a precursory loss-cone anisotropy ahead of the upstream region. Loss-cones are typically visible 4-10 hours ahead of shock arrival for shocks associated with major geomagnetic storms. The Brazilian muon telescope, at SSO, is part of a global network on an international collaboration, consisting of 10 institutions from 7 countries. ICMEs traveling in interplanetary space and reaching the Earth - cause reduction in cosmic ray counts at the earths surface by one to ten percent, and can be detected sometimes as much as ten hours before their arrival at Earth - with the global network of muon detectors developed at Shinshu University, Japan, thus permitting accurate and reliable Space Weather forecasting.

37th COSPAR Scientific Assembly 2008

Panels (P)

Space Weather: Preparing for The Next Solar Maximum (PSW1)

**SOME RESULTS OF GEOMAGNETIC STORM EVENTS OBSERVED AT THE BRAZILIAN SOUTHERN SPACE OBSERVATORY**

Mr. Nikolas Kemmerich, nikolas@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Alisson Dal Lago, dallago@dge.inpe.br

National Institute for Space Research (Brazil), Sao Jose dos Campos - SP, Brazil

Nelson Jorge Schuch, njschuch@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria - RS, Brazil

Carlos Roberto Braga, carlos@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center CRS/CIE/INPE - MCT and Space Science Laboratory of Santa Maria LACESM/CT - UFSM, Santa Maria, Brazil

Fabricio Deives Kummer, deives@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Marcos Vinicius Dias Silveira, silveira@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Kazuoki Munakata, kmuna00@gipac.shinshu-u.ac.jp

Shinshu University, Matsumoto, Japan

Marlos Da Silva, marlosrs@gmail.com

National Institute for Space Research-INPE-Brazil, São José dos Campos, SP, Brazil

Samuel Martins da Silva, samuel@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

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 high-energy cosmic rays  $> 50$  GeV, muons, was installed in the Brazilian 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.

37th COSPAR Scientific Assembly 2008

Panels (P)

Space Weather: Preparing for The Next Solar Maximum (PSW1)

**STUDY OF INTERPLANETARY STRUCTURE PLASMA PARAMETERS AND GROUND COSMIC RAY MODULATION**

Mr. Nikolas Kemmerich, nikolas@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Fabricio Deives Kummer, deives@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Marcos Vinicius Dias Silveira, silveira@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Nelson Jorge Schuch, njschuch@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria - RS, Brazil

Alisson Dal Lago, dallago@dge.inpe.br

National Institute for Space Research (Brazil), Sao Jose dos Campos - SP, Brazil

Kazuoki Munakata, kmuna00@gipac.shinshu-u.ac.jp

Shinshu University, Matsumoto, Japan

Takao Kuwabara, takao@bartol.udel.edu

University of Delaware, Newark, Delaware, United States

Ezequiel Echer, eecher@dge.inpe.br

National Institute for Space Research-INPE-Brazil, Sao Jose Campos, Brazil

Samuel Martins da Silva, samuel@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Marlos Da Silva, marlosrs@gmail.com

National Institute for Space Research-INPE-Brazil, São José dos Campos, SP, Brazil

Carlos Roberto Braga, carlos@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center CRS/CIE/INPE - MCT and Space Science Laboratory of Santa Maria LACESM/CT - UFSM, Santa Maria, Brazil

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 ( $\beta$ ) 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 ( $\phi_k$ ) and inclination ( $\theta_k$ ) 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.

37th COSPAR Scientific Assembly 2008

Space Plasmas in the Solar System, including Planetary Magnetospheres (D)  
Comparative Magnetospheres (D33)

### A STUDY OF THE LOW-FREQUENCY MAGNETIC FIELD FLUCTUATIONS IN THE MERCURY'S MAGNETOSHEATH

Mr. Samuel Martins da Silva, samuel@lacesm.ufsm.br  
Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria,  
Brazil  
Ezequiel Echer, echer@dge.inpe.br  
National Institute for Space Research-INPE-Brazil, Sao Jose Campos, Brazil  
Nelson Jorge Schuch, njschuch@lacesm.ufsm.br  
Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria -  
RS, Brazil  
Carlos Roberto Braga, carlos@lacesm.ufsm.br  
Southern Regional Space Research Center CRS/CIE/INPE - MCT and Space Science Labora-  
tory of Santa Maria LACESM/CT - UFSM, Santa Maria, Brazil  
Fabricio Deives Kummer, deives@lacesm.ufsm.br  
Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria,  
Brazil  
Nikolas Kemmerich, nikolas@lacesm.ufsm.br  
Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria,  
Brazil  
Fernando Guarnieri, guarnieri@univap.br  
Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, Brazil  
Marcos Vinicius Dias Silveira, silveira@lacesm.ufsm.br  
Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria,  
Brazil

The low-frequency magnetic field fluctuations in the Mercury's magnetosheath are studied in this work. In order to conduct this study, high-resolution (25 sample.s) Mariner-10 magnetic field vector data are used. Fourier (FFT) and wavelet (Morlet) transforms are employed to identify the main periodicities present in the magnetosheath intervals. The inbound and outbound crossings during both M-1 and M-3 encounters are analyzed. The quasi-periodicities found in the analysis are evaluated in relation to the proton and heavy ions (e.g Na+) gyroresonance frequencies. Further, with the wavelet analysis we can study the non-stationarity of the magnetosheath fluctuations and interpret them in terms of amplitude, frequency and proximity to the bow shock or magnetopause. The differences for the magnetosheath intervals with quasi-perpendicular and quasi-parallel bow shock crossings are also investigated.

37th COSPAR Scientific Assembly 2008

Panels (P)

Space Weather: Preparing for The Next Solar Maximum (PSW1)

**TECHNICAL ASPECTS AND ANALYSIS OF THE COSMIC RAY MODULATION EFFECTS DURING GEOMAGNETIC STORMS**

Mr Carlos Roberto Braga, carlos@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center CRS/CIE/INPE - MCT and Space Science Laboratory of Santa Maria LACESM/CT - UFSM, Santa Maria, Brazil

Nelson Jorge Schuch, njschuch@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria - RS, Brazil

Samuel Martins da Silva, samuel@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Nikolas Kemmerich, nikolas@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Marcos Vinicius Dias Silveira, silveira@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Fabricio Deives Kummer, deives@lacesm.ufsm.br

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Alisson Dal Lago, dallago@dge.inpe.br

National Institute for Space Research (Brazil), Sao Jose dos Campos - SP, Brazil

Marlos Da Silva, marlosrs@gmail.com

National Institute for Space Research-INPE-Brazil, São José dos Campos, SP, Brazil

Kazuoki Munakata, kmuna00@gipac.shinshu-u.ac.jp

Shinshu University, Matsumoto, Japan

Takao Kuwabara, takao@bartol.udel.edu

University of Delaware, Newark, Delaware, United States

Chihiro Kato, ckato@shinshu-u.ac.jp

Shinshu University, Matsomoto, Japan

John W. Bieber, jwbieber@bartol.udel.edu

Bartol Research Institute, Univ Delaware, Newark, Delaware, United States

Jairo Francisco Savian, J. F., savian@iag.usp.br

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

Disturbances in the interplanetary space near the Earth are closely related to solar variability



and its variety of eruptive phenomena, such as CMEs and CIRs. Many authors have shown that they are the interplanetary origin of geomagnetic storms. Such geomagnetic phenomena can cause damage to technological systems, both in space and on the ground. Structures ejected from the Sun can modulate high-energy cosmic rays that reach the Earth's Atmosphere. Ground based high-energy cosmic ray (muons) detectors can detect solar-related anisotropy effects. With suitable analysis, they can be used to observe signatures around 8 hours prior the disturbance arrival in the Earth's magnetosphere. A multidirectional high-energy  $> 50$  GeV muon telescope was installed and is operational at the Southern Space Observatory - OES/CRS/CIE/INPE – MCT or SSO, as part of an international network which aims to study and forecast geomagnetic storms. Cosmic rays are also observed in a different energy range by Spaceship Earth, a neutron monitor network. The objective of this work is to present technical aspects of the SSO's muons telescope observations and to analyze the data related to geomagnetic storms. Comparison with the Spaceship Earth neutron monitor data is also presented. To identify and study interplanetary geoeffective structures we use plasma and magnetic field data from ACE spacecraft. Geomagnetic storms were identified using the Dst index. We show some cosmic ray (muons and neutrons) decreases associated with geomagnetic storms and its interplanetary origin.

37th COSPAR Scientific Assembly 2008

Space Plasmas in the Solar System, including Planetary Magnetospheres (D)  
Comparative Magnetospheres (D33)

#### A STUDY OF JUPITER'S MAGNETOPAUSE POSITION AND ORIENTATION

Mr. Fabricio Deives Kummer, [deives@lacesm.ufsm.br](mailto:deives@lacesm.ufsm.br)

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Ezequiel Echer, [eecher@dge.inpe.br](mailto:eecher@dge.inpe.br)

National Institute for Space Research-INPE-Brazil, Sao Jose Campos, Brazil

Nelson Jorge Schuch, [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria - RS, Brazil

Orimar Antonio Battistel, [orimar@ccne.ufsm.br](mailto:orimar@ccne.ufsm.br)

Universidade federal de Santa Maria-UFSM, Santa Maria, Brazil

Samuel Martins da Silva, [samuel@lacesm.ufsm.br](mailto:samuel@lacesm.ufsm.br)

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Nikolas Kemmerich, [nikolas@lacesm.ufsm.br](mailto:nikolas@lacesm.ufsm.br)

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Carlos Roberto Braga, [carlos@lacesm.ufsm.br](mailto:carlos@lacesm.ufsm.br)

Southern Regional Space Research Center CRS/CIE/INPE - MCT and Space Science Laboratory of Santa Maria LACESM/CT - UFSM, Santa Maria, Brazil

Marcos Vinicius Dias Silveira, [silveira@lacesm.ufsm.br](mailto:silveira@lacesm.ufsm.br)

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Tardelli Ronan Coelho Stekel, [tardelli@lacesm.ufsm.br](mailto:tardelli@lacesm.ufsm.br)

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

The solar wind is a supersonic magnetized fluid which continuously flow outwards from the solar atmosphere. When the solar wind flows through the solar system and encounters an obstacle such as a planetary magnetic field, a magnetosphere is formed. The boundary between the solar wind and a planetary plasma environments is the magnetopause. At this boundary, mass, momentum and energy exchange between the solar wind and the planetary environment occur. Jupiter has the largest and more complex magnetosphere of the solar system. The position and shape of Jupiter's magnetopause is determined by a balance between the solar wind dynamic pressure and the internal, magnetic plus plasma pressure of Jupiter magnetosphere. The objective of this work is to study the orientation and position of the Jupiter magnetopause, using magnetic field observations and the minimum variance analysis. To conduct this study,



we use magnetopause crossing data from the Voyager-1, Voyager-2 and Ulysses spacecraft. Finally, the position of the magnetopause is investigated in relation to the ambient solar wind conditions.

37th COSPAR Scientific Assembly 2008

Panels (P)

Space Weather: Preparing for The Next Solar Maximum (PSW1)

**A STATISTICAL STUDY OF THE GOES SOLAR X-RAY FLUX DURING M AND X CLASS FLARES IN THE EXTREME EVENTS OF OCTOBER AND NOVEMBER 2003**

Mr. Tardelli Ronan Coelho Stekel, [tardelli@lacesm.ufsm.br](mailto:tardelli@lacesm.ufsm.br)

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Ezequiel Echer, [eecher@dge.inpe.br](mailto:eecher@dge.inpe.br)

National Institute for Space Research-INPE-Brazil, Sao Jose Campos, Brazil

Nelson Jorge Schuch, [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria - RS, Brazil

Carlos Roberto Braga, [carlos@lacesm.ufsm.br](mailto:carlos@lacesm.ufsm.br)

Southern Regional Space Research Center CRS/CIE/INPE - MCT and Space Science Laboratory of Santa Maria LACESM/CT - UFSM, Santa Maria, Brazil

Samuel Martins da Silva, [samuel@lacesm.ufsm.br](mailto:samuel@lacesm.ufsm.br)

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Nikolas Kemmerich, [nikolas@lacesm.ufsm.br](mailto:nikolas@lacesm.ufsm.br)

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Marcos Vinicius Dias Silveira, [silveira@lacesm.ufsm.br](mailto:silveira@lacesm.ufsm.br)

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

Fabricio Deives Kummer, [deives@lacesm.ufsm.br](mailto:deives@lacesm.ufsm.br)

Southern Regional Space Research Center - CRS/CIE/INPE - MCT - Brazil, Santa Maria, Brazil

During the declining phase of the solar cycle 23, the solar activity intensified to high levels, especially from mid-October through early November 2003, where there were some of the most intense solar flares measured in 1.0 to 8.0Å X-rays range, already registered. The Nov 4 event is the largest in the NOAA/GOES records, classified as an X28 flare, and the Oct 28 flare was the fourth most intense X17. The objective of this study is to analyze the phenomena of Solar X-ray flares during the period from October to November 2003 in order to use the Soft X-ray Sensors (XRS), onboard the Geostationary Operational Environment Satellites (GOES), operated by NOAA, since 1974. The XRS is a whole-disc X-ray photometer that measures in real-time the solar X-ray flux in the spectral range of 0.5 to 4.0Å (short Sun channel) and 1 to 8Å (long sun channel). This X-ray data can be obtained through the database of NOAA/SEC.

To investigate the XRS data in the period of the Halloween events, were determined 35 flares of the classes M ( $1 \times 10^{-5}$ ) and X ( $1 \times 10^{-4}$ ) in the 0.5-8.0Å wavelength from GOES10 and GOES12. This study consisted of determining the beginning and end of the flare, so then we can determine the intensity, integrated energy and the time duration of these solar flares. To compare this study with the actual effects, we also analyze images of the sun in the Extreme Ultra Violet (EUV) obtained from the Extreme ultraviolet Imaging Telescope (EIT), onboard the Solar and Heliospheric Observatory (SOHO). Some of the effects on earth upper atmosphere/ionosphere of these flares are also discussed.

**INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL - IHY****Análise de Estruturas Interplanetárias Utilizando dados do Satélite ACE e da Rede Internacional de Telescópios Cintiladores de Muons**

**M.V. Silveira<sup>(1,2)</sup>, A. Dal Lago<sup>(3)</sup>, N.J. Schuch<sup>(1)</sup>, C.R. Braga<sup>(1,2)</sup>,  
S.M. Da Silva<sup>(1,2)</sup>, N. Kemmerich<sup>(1,2)</sup>, J.F. Thuorst<sup>(1,2)</sup>, T.R.C. Stekel<sup>(1,2)</sup>**

<sup>(1)</sup>*Laboratório de Clima Espacial, Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais  
CRS/CIE/INPE – MCT, Santa Maria, RS, Brasil*

<sup>(2)</sup>*Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT – UFSM,  
Parceria INPE-UFSM, Santa Maria, RS, Brasil*

<sup>(3)</sup>*Divisão de Geofísica Espacial, Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas  
DGE/CEA/INPE - MCT, São José dos Campos, SP, Brasil*

Com o grande desenvolvimento da tecnologia, o estudo da variabilidade solar é cada vez mais necessário, pois esta é a responsável por inúmeros danos aos sistemas de comunicação por satélites e transmissão de energia elétrica além de naves e estações espaciais. Seguindo essa linha, este trabalho tem como objetivo analisar estruturas interplanetárias através de dados de parâmetros de plasma, fornecidos pelo ACE (Advanced Composition Explorer) e pela Rede Internacional de Telescópios Cintiladores de Muons. As estruturas analisadas são as CMEs (Ejeções de Massa Coronais), que são estruturas de plasma liberadas pelo Sol, observadas na Coroa Solar, as quais muitas vezes atingem a Terra. As CMEs possuem um campo magnético e ao interagirem com a Magnetosfera podem ocasionar fortes flutuações do Campo Magnético Terrestre, denominadas Tempestades Geomagnéticas. Sua principal característica é um decréscimo na componente H, horizontal, do Campo Magnético Terrestre durante cerca de algumas dezenas de horas. Nesses eventos ocorre grande transferência de energia do vento solar para o Campo Magnético Terrestre, havendo precipitação de partículas energéticas do vento solar nas regiões aurorais, intensificando as correntes da Magnetosfera. O satélite ACE está localizado no ponto lagrangeano L1, coletando dados in-situ e a rede internacional de Telescópios Cintiladores de Muons encontra-se na superfície terrestre e faz a contagem de raios cósmicos (muons) de alta energia (>50 GeV). Todos os dados são analisados através de rotinas realizadas em linguagem IDL. Os resultados esperados são previsões de Tempestades Geomagnéticas. Em especial, estruturas de balanço de pressão cinética e magnética serão estudadas.

**INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL – IHY****O Uso do Telescópio Cintilador de Muons do Observatório Espacial do Sul e Dados do Satélite ACE para Estudo e Previsão do Clima Espacial**

**N. Kemmerich<sup>(1,2)</sup>, A. Dal Lago<sup>(3)</sup>, N.J. Schuch<sup>(1)</sup>, C.R. Braga<sup>(1,2)</sup>,  
S.M. da Silva<sup>(1,2)</sup>, M. Silveira<sup>(1,2)</sup>, J.F. Thuorst<sup>(1,2)</sup>, T.R. Stekel<sup>(1,2)</sup>**

<sup>(1)</sup>*Laboratório de Clima Espacial do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais  
CRS/CIE/INPE – MCT, Santa Maria, RS, Brasil;*

<sup>(2)</sup>*Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT – UFSM,  
Parceria INPE - UFSM, Santa Maria, RS, Brasil;*

<sup>(3)</sup>*Divisão de Geofísica Espacial, Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas  
DGE/CEA/INPE - MCT, São José dos Campos, SP, Brasil.*

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 geofetivas 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.

**INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL - IHY****Estudo das Propriedades da Frente de Choque de Mercúrio com Observações da Mariner 10**

**S.M. da Silva<sup>(1,2)</sup>, C.R. Braga<sup>(1,2)</sup>, N. Kemmerich<sup>(1,2)</sup>, M.V. Silveira<sup>(1,2)</sup>,  
J.F. Thuorst<sup>(1,2)</sup>, T.R.C. Stekel<sup>(1,2)</sup>, E. Echer<sup>(3)</sup>, N.J. Schuch<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup>*Laboratório de Clima Espacial, Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais  
CRS/CIE/INPE – MCT, Santa Maria, RS, Brasil*

<sup>(2)</sup>*Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT-UFSM,  
Parceria INPE-UFSM, Santa Maria, RS, Brasil*

<sup>(3)</sup>*Divisão de Geofísica Espacial, Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas  
DGE/CEA/INPE - MCT, São José dos Campos, SP, Brasil*

O estudo de frentes de choque planetárias nos proporciona uma visão importante a cerca do comportamento dos choques não colisionais no espaço interplanetário, sobre uma variedade de condições do vento solar e de diferentes tipos de obstáculos planetários. A frente de choque é formada devido à interação eletromagnética do vento solar supermagnetosônico com os obstáculos magnetizados (campo magnético intrínseco ou magnetosfera induzida) dos planetas. A natureza desta interação varia consideravelmente dependendo de uma variedade de fatores (módulo e direção do campo magnético, valor do parâmetro beta de plasma, número de Mach do vento solar, tipo de magnetosfera planetária, populações de plasma das magnetosferas, etc.). O objetivo deste trabalho é determinar o vetor normal ( $\hat{n}$ ) à frente de choque e o ângulo ( $\theta$ ) entre o campo magnético interplanetário (CMI) upstream e o vetor normal utilizando o Teorema da Coplanaridade Magnética. Neste trabalho, analisamos as propriedades da frente de choque de Mercúrio através dos dados do vetor campo magnético obtidos pelo magnetômetro fluxgate a bordo da sonda espacial Mariner-10 em 29/03/1974 (*Mercúrio I*) e 16/03/1975 (*Mercúrio III*). Usando um procedimento estatístico, obtemos os vetores normais à frente choque, o ângulo ( $\theta$ ) e o desvio padrão relativo ao vetor normal e ao ângulo. Exemplos de cruzamentos de frente de choque para Mercúrio são apresentados.



**INTERNATIONAL HELIOPHYSICAL YEAR SCHOOL - IHY****Estudo dos Efeitos das Explosões Solares na Ionosfera Terrestre no Período de Outubro a Novembro de 2003**

**T.R.C. Steckel(1a), E. Echer(2), N.J. Schuch(3), L.P. Moor(1b), S.M. da Silva(1b), C.R. Braga(1a,c), M.V. Silveira(1b), N. Kemmerich (1b)**

*(1) Acadêmicos do Curso de Engenharia Elétrica(1a) e de Física(1b) da UFSM, Bolsistas PIBIC/INPE – CNPq/MCT(a,b) e Estagiário INPE/MCT(c), Parceria:*

*CRS/CIE/INPE/MCT – LACESM/CT/UFSM, Santa Maria, RS, Brasil*

*(2) Divisão de Geofísica Espacial - DGE /CEA/INPE – MCT, São José dos Campos, SP, Brasil*

*(3) Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT, Santa Maria, RS, Brasil*

A atividade solar apresenta um comportamento cíclico representado pelo ciclo de 11 anos, tendo um máximo solar e um mínimo solar. Durante o período de máximo solar ocorre um número maior de explosões solares, tendo um aumento nas “Ejeções de Massa Coronal – EMC”. No entanto, eventos extremos podem ocorrer em qualquer parte do ciclo solar. Durante os eventos do Halloween de 2003, a intensidade das explosões solares superou uma marca histórica e propiciou grandes efeitos na Ionosfera Terrestre, como o aumento da ionização e das bolhas de plasma em seu meio. Em 4 de novembro de 2003, ocorreu uma notável explosão solar que foi classificada como X-45, intensidade igual a  $45 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$ . Este evento solar foi muito mais intenso do que outras explosões solares registradas, trazendo grandes problemas para sistemas tecnológicos, principalmente para o sistema de navegação GPS. As explosões solares podem ser classificadas de várias formas, uma das quais envolve o fluxo de raios-X medido geralmente por instrumentos a bordo dos satélites da série GOES. Estes dados estão disponível via internet através do banco de dados do NOAA/SEC. O Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais e seu Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra – RS possuem em suas instalações uma serie de instrumentos dedicados ao estudo das Interações Sol – Terra, e em especial, para o monitoramento da Ionosfera. Dentre os quais podemos citar o Sistema Monitor de Cintilação Ionosférica - SCINTMON, que consiste basicamente de duas antenas que monitoram a portadora L1 transmitida pelos satélites GPS, instaladas no Prédio Sede do Centro, em Santa Maria. Este trabalho, realizado no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE - MCT, tem como principal objetivo analisar os dados de índices de raios-X para os meses de outubro e novembro de 2003, bem como apresentar seus respectivos efeitos na Ionosfera Terrestre na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS.

**Luiz Muniz Barreto -VI Latin American School of Geomagnetism – ELAG**

**Estudo de Estruturas Interplanetárias Utilizando Dados do Satélite  
ACE**

**Marcos Vinicius Dias Silveira [1]; Alisson Dal Lago [2];  
Nelson Jorge Schuch [1]; Carlos Roberto Braga [1];  
Nikolas Kemmerich [1]; Samuel Martins da Silva [1];  
Fabrício Deives Kummer [1].**

*[1] Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT em parceria com o Laboratório de Ciência Espacial de Santa Maria, - LACESM/CT – UFSM, CEP 97110 – 900, Santa Maria, RS, Brasil;*

*[2] Divisão de Geofísica Espacial, Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – DGE/CEA/INPE – MCT, São José dos Campos, SP, Brasil.*

A variabilidade solar é responsável por fenômenos no espaço e na superfície terrestre como, por exemplo, as auroras nos pólos do nosso planeta e tempestades geomagnéticas que podem causar muitos danos nos sistemas de telecomunicação, naves e estações espaciais. Por estes motivos são realizados inúmeros esforços internacionais proporcionando um intenso monitoramento das atividades solares. Um dos instrumentos utilizado para no monitoramento é o satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*), construído pela NASA e lançado no ano de 1997 o ACE está localizado a aproximadamente 1,5 milhão de quilômetros de distância da superfície da Terra, no ponto Lagrangeano L1, coletando dados *in situ* de estruturas interplanetárias originárias do Sol. Dentre os aparelhos a bordo do ACE está o SWEPAN (*Solar Wind Electron Proton Alpha Monitor*), que obtém medidas de parâmetros de plasma das estruturas interplanetárias. O projeto consiste em utilizar dados do SWEPAN para realizar análises das estruturas interplanetárias conhecidas como nuvens magnéticas, que são um subconjunto das ejeções de massa coronal observadas no meio interplanetário ICMEs. Os dados do ACE são públicos e estão disponíveis na internet, com estes dados são realizados gráficos em rotinas em IDL para a análise de parâmetros, em especial o cálculo das pressões cinética e magnética e o parâmetro beta, que relaciona as pressões através da razão entre elas.

**Luiz Muniz Barreto -VI Latin American School of Geomagnetism – ELAG**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA FRENTE DE CHOQUE DE MERCÚRIO  
COM DADOS DE MAGNETÔMETRO FLUXGATE E SENSOR DE  
PLASMA/ELÉTRONS**

Samuel Martins da Silva [1], Ezequiel Echer [2], Nelson Jorge Schuch [1],  
Carlos Roberto Braga [1], Níkolás Kemmerich [1],  
Marcos Vinícius Dias Silveira [1], Fabrício Deives Kummer [1],  
Tardelli Ronan Coelho Stekel [1]

[1] Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT em parceria com o Laboratório de Ciência Espacial de Santa Maria, - LACESM/CT – UFSM, Santa Maria, RS, Brasil;

[2] Divisão de Geofísica Espacial, Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – DGE/CEA/INPE – MCT, São José dos Campos, SP, Brasil.

As frentes de choque planetárias são formadas devido à interação eletromagnética do vento solar supermagnetosônico com os obstáculos magnetizados (campo magnético intrínseco ou magnetosfera induzida) dos planetas. O estudo de frentes de choque planetárias nos proporciona uma visão importante acerca do comportamento dos choques não colisionais no espaço interplanetário. A natureza da interação varia consideravelmente dependendo de uma série de fatores (módulo e direção do campo magnético interplanetário, valor do parâmetro beta de plasma, número de Mach do vento solar, tipo de magnetosfera planetária, populações de plasma das magnetosferas, intensidade do campo magnético intrínseco do planeta etc.).

Os objetivos deste estudo são determinar o vetor normal ( $\vec{n}_s$ ) à frente de choque e o ângulo ( $\theta_{Bn}$ ) formado entre o campo magnético interplanetário (CMI) upstream e o vetor normal. Foram analisadas as propriedades da frente de choque de Mercúrio nos cruzamentos da *Mariner* – 10 em 29/03/1974 (Mercúrio I) e 16/03/1975 (Mercúrio III) por meio de dados de magnetômetro *fluxgate* e sensor de plasma de elétrons. Usando um procedimento estatístico e o Teorema da Coplanaridade Magnética, obteve-se o vetor normal à frente de choque e o ângulo ( $\theta_{Bn}$ ). Neste trabalho se apresenta os resultados dos cálculos dos ângulos ( $\theta_{Bn}$ ) e do salto dos parâmetros – campo magnético total, pressão magnética, densidade de elétrons, temperatura de elétrons e pressão cinética de elétrons – através da frente de choque de Mercúrio.

**Luiz Muniz Barreto -VI Latin American School of Geomagnetism – ELAG**

**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.

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 (decrécimo 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.

**XXII JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA – UFSM****ESTUDO DE ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS UTILIZANDO  
OBSERVAÇÕES DE SATÉLITES E OBSERVAÇÕES DE RAIOS CÓSMICOS –  
SICINPE 2007**

**Marcos Vinicius Dias Silveira<sup>1</sup>; Alisson Dal Lago - (DGE/CEA/INPE -  
MCT)<sup>2</sup>; Carlos Roberto Braga<sup>3</sup>; Nelson Jorge Schuch - (CRS/CI/INPE –  
MCT)<sup>3</sup>; Nikolas Kemmerich<sup>3</sup>; Samuel Martins Da Silva<sup>3</sup>**

**Objetivos**

Os objetivos do Projeto são analisar parâmetros de plasma das estruturas interplanetária através da utilização de dados fornecidos pelos satélites ACE e SOHO e os efeitos das estruturas nos raios cósmicos observados pelo Telescópio Cintilador de Muons.

**Metodologia**

Os satélites ACE e SOHO localizam-se no ponto Lagrangeano L1, definido como o ponto de equilíbrio gravitacional no caminho Sol-Terra. Do ACE foram coletados dados de eventos selecionados para a confecção de gráficos e análise de parâmetros, em especial a pressão cinética das estruturas e futuramente o cálculo da pressão magnética, que são analisados através de rotinas realizadas em linguagem IDL. Abordo do satélite SOHO opera o coronógrafo LASCO que captura imagens das ejeções de massa coronal (CMEs). O Telescópio Cintilador de Muons (TCM) encontra-se no Observatório Espacial do Sul (OES/CRS/CIE/INPE – MCT) e é utilizado para a previsão de tempestades geomagnéticas através do método de contagem de raios cósmicos (muons) de alta energia (>50 GeV) que incidem na superfície terrestre. O SOHO e o TCM serão utilizados em etapas futuras do Projeto.

**Resultados**

O Projeto está em fase de revisão teórica da Literatura Científica recomendada e em adaptação com programação em ambiente IDL, linguagem utilizada para analisar dados e produzir gráficos. O evento selecionado para análise foi referente ao período entre os dias 304 a 320 de 2004, onde foram realizados gráficos dos valores das componentes x, y, z e do módulo do campo magnético do evento da nuvem magnética, assim como do valor da pressão cinética da estrutura.

**Conclusão**

É muito grande a influência das estruturas interplanetárias na superfície terrestre, podendo causar fenômenos como as auroras nos pólos ou danos em sistemas de comunicação. Com isto, é de extrema importância o monitoramento da variabilidade solar. A partir da análise dos gráficos confeccionados será possível fazer um estudo das estruturas interplanetárias e verificar a relação entre a pressão cinética e a magnética da nuvem magnética, parâmetro beta –  $\beta$ .

<sup>1</sup> Autor

<sup>2</sup> Orientador

<sup>3</sup> Co-Autor

**XXII JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA – UFSM****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.**

**Nikolas Kemmerich<sup>1</sup> ; Alisson Dal Lago (DGE/CEA/INPE - MCT)<sup>2</sup> ; Carlos Roberto Braga<sup>3</sup> ; Marcos Vinicius Dias Silveira<sup>3</sup> ; Nelson Jorge Schuch (CRS/CI/INPE – MCT)<sup>3</sup> ; Samuel Martins Da Silva<sup>3</sup>**

**Objetivos**

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

**Metodologia**

Foram utilizados dados de intensidade de campo magnético interplanetário, velocidade do vento solar, densidade de partículas, temperatura, dentre outros parâmetros fornecidos pelo satélite ACE da NASA, que orbita o ponto lagrangeano L1, região privilegiada para coleta de dados. Foram analisados dados do Telescópio Multidirecional de Raios Cósmicos de alta energia – Muons (detector terrestre). Com isto foi possível o estudo de ocorrência de tempestades geomagnéticas. O telescópio protótipo foi instalado em março de 2001 no Observatório Espacial Sul (OES/CRS/CIE/INPE - MCT) composto por oito detectores com resolução temporal de 1 hora. Em 2005, o telescópio sofreu expansão para 56 detectores com resolução temporal a cada 1 minuto.

**Resultados**

Ao analisar os dados do satélite ACE para o período de 5 a 12 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). Estas 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. Índices geomagnéticos, tais como, o índice Dst, indicam a ocorrência de tempestades geomagnéticas. Valores de Dst < -20 nT representam uma tempestade geomagnética, e quanto mais negativo mais intensa é a tempestade. Observou-se um decréscimo do índice Dst 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 Cintilador de Muons do OES/CRS/INPE.

**Conclusão**

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). 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 do que o protótipo, integrando a Rede Mundial de Detectores de Muons.

- <sup>1</sup> Autor
- <sup>2</sup> Orientador
- <sup>3</sup> Co-Autor



**XXII JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA – UFSM****ESTUDO COMPARATIVO DAS FRENTES DE CHOQUE PLANETÁRIAS –  
SICINPE 2007**

**Samuel Martins Da Silva<sup>1</sup> ; Dr. Ezequiel Echer (DGE/CEA/INPE - MCT)<sup>2</sup> ; Carlos Roberto Braga<sup>3</sup> ; Dr. Nelson Jorge Schuch (CRS/CI/INPE – MCT)<sup>3</sup> ; Marcos Vinicius Dias Silveira<sup>3</sup> ; Nikolas Kemmerich<sup>3</sup>**

**Objetivos**

O objetivo deste trabalho é o estudo comparativo entre as frentes de choque planetárias no Sistema Solar.

**Metodologia**

Utilizamos dados do vetor campo magnético fornecidos pelas sondas Mariner- 10 (Mercúrio) e ISEE 1 e 2 (Terra) para determinar o vetor normal ao choque e, o ângulo entre a normal ao choque com o campo magnético ambiente (campo magnético upstream). Para determinar esses parâmetros, utilizamos o Teorema da Coplanaridade Magnética, o qual consiste: o campo magnético anteriormente ao choque (vetor campo magnético upstream), o campo magnético posteriormente ao choque (vetor campo magnético downstream) e a normal ao choque, todos necessariamente no mesmo plano. O ângulo entre o campo magnético anteriormente ao choque e a normal ao choque é um dos mais importantes parâmetros na determinação dos processos físicos que ocorrem no evento. Uma peculiaridade do Teorema da Coplanaridade Magnética é exigir somente as medidas de campo magnético antes e depois do choque.

**Resultados**

Neste trabalho, analisamos os cruzamentos das frentes de choque da Terra e de Mercúrio observados pelas sondas ISEE 1 e 2 e Mariner - 10, respectivamente. Utilizando os valores médios dos vetores campo magnético upstream e downstream e o Teorema da Coplanaridade Magnética, determinamos o vetor normal e o ângulo entre a normal e o vetor campo magnético ambiente.

**Conclusão**

É importante enfatizar que os parâmetros locais dos choques determinados foram obtidos através da análise dos dados de apenas uma sonda. O comportamento flutuante do campo magnético interplanetário, em particular sua direção, restringe a duração das regiões upstream e downstream para poucos minutos. Em condições ideais (dados de plasma e campo magnético), as técnicas reiterativa envolvendo parâmetros magnéticos e de plasma são as melhores opções para inferir as características locais do choque.

<sup>1</sup> Autor

<sup>2</sup> Orientador

<sup>3</sup> Co-Autor

**XXII JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA – UFSM****INSTRUMENTAÇÃO PARA ESTUDO DO CLIMA ESPACIAL: TELESCÓPIO  
CINTILADOR DETECTOR DE RAIOS CÔSMICOS – MUONS**

**Carlos Roberto Braga<sup>1</sup> ; Nelson Jorge Schuch - (CRS/CI/INPE – MCT)<sup>2</sup> ; Alisson Dal Lago – (DGE/CEA/INPE - MCT)<sup>3</sup> ; Marcos Vinicius Dias Silveira<sup>3</sup> ; Nikolas Kemmerich<sup>3</sup> ; Samuel Martins Da Silva<sup>3</sup>**

**Objetivos**

O objetivo do trabalho é descrever tecnicamente e mostrar aspectos científicos da utilização de telescópios cintiladores detectores de raios cósmicos de alta energia - muons (TCM) para estudo do Clima Espacial.

**Metodologia**

Foram utilizados dados do TCM da Parceria INPE-UFSM instalado no Observatório Espacial do Sul (OES/CRS/CIE/INPE – MCT). Os dados observados pelo TCM consistem em contagens das taxas de muons que atingem a superfície da Terra com energia ~ 50 GeV. Os muons são detectados através de plásticos cintiladores acoplados a fotomultiplicadoras. Os sinais passam por estágios de amplificação, discriminação de ruídos, contagem, coincidência (para detecção da direção de chegada) e por fim são gravados.

**Resultados**

São observados pequenos decréscimos da contagem do TCM durante a ocorrência de tempestades geomagnéticas intensas. Os decréscimos da contagem devidos a eventos geomagnéticos podem ser classificados como decréscimos de Forbush. Em momentos isolados, não frequentes, da operação do equipamento, foram encontrados incrementos repentinos na sua contagem não associados a eventos geomagnéticos interplanetários, provavelmente originados por ruído eletromagnético.

**Conclusão**

O TCM mostrou-se suscetível ocasionalmente a algumas interferências eletromagnéticas em seus circuitos de amplificação do sinal, sugerindo possíveis aprimoramentos futuros, que estão sendo providenciados.

<sup>1</sup> Autor

<sup>2</sup> Orientador

<sup>3</sup> Co-Autor



**Anexo D**  
**Certificados de Participação em Eventos**



**Universidade Presbiteriana Mackenzie**

Decanato de Extensão  
Escola de Engenharia



## Certificate

We certify that

**MARCOS V. DIAS SILVEIRA**

has attended the IHY Latin American School, held at the Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, SP, Brazil, from 14 to 20 February 2008

and presented an oral contribution entitled

**"Análise de estruturas interplanetárias utilizando dados do satélite ACE e da rede internacional de telescópios cintiladores de Muons"**

São Paulo, February 20, 2008

  
Dr. Marcel Mendes  
Diretor da Escola de Engenharia

  
Dra. Regina C.F.M. Giora  
Decano de Extensão

  
Dr. Jean-Pierre Raulin  
Scientific Organizing Committee



