

## Referência Completa

Tipo da Referência Conference Proceedings

Repositório sid.inpe.br/marciana/2004/11.19.15.22

Metadados sid.inpe.br/marciana/2004/11.19.15.22.32

Site mtc-m16.sid.inpe.br

Chave Secundária INPE-11562-PRE/6950

Chave de Citação Savian:2004:IdOrIn

Autor Savian, Jairo Francisco

Grupo DGE-INPE-MCT-BR

Afiliação UFSM/INPE, Bolsista PIBIC/CNPq

Título Identificação das Origens Interplanetárias das Tempestades Geomagnéticas Intensas Ocorridas no Período De 1999 À 2002 

Nome do Evento Seminário de Iniciação Científica do INPE (SICINPE).

Ano 2004

Título do Livro Anais

Data 03 e 04 de ago. 2004

Cidade da Editora São José dos Campos

Editora (Publisher) INPE

Localização do Evento São José dos Campos

Resumo Este trabalho, iniciado em agosto de 2003, tem como objetivo principal identificar os tipos de estruturas interplanetárias que causam as Tempestades Geomagnéticas durante o máximo do ciclo solar 23, ou seja, no período de 1999 à 2002. Durante este período houve observações de raios cósmicos pela rede de detectores de muons, da qual o Observatório Espacial do Sul passou a fazer parte desde 2001, as quais estão sendo usadas para a previsão da ocorrência dessas Tempestades Geomagnéticas com elevada eficiência, podendo fornecer até 8 horas de alerta - Munakata et al., 2000 -. O conhecimento dos fenômenos do Meio Interplanetário, como nuvens magnéticas e choques interplanetários, fornece informações importantes a respeito da dinâmica do Meio Interplanetário e do conseqüente desenvolvimento de Tempestades Geomagnéticas. Os satélites ACE, WIND e IMP-8, propiciam um monitoramento contínuo do Clima Espacial através de dados de plasma e Campo Magnético Interplanetário, permitindo uma identificação das diferentes estruturas presentes no Meio Interplanetário. No entanto, através destes dados o conhecimento da chegada das estruturas que originam uma Tempestade Geomagnética é possível com poucas horas de antecedência. Para a análise destes dados foi preciso um aprendizado do ambiente de programação MATLAB - Matrix Laboratory. Durante o período de vigência da bolsa, doze (12) trabalhos foram desenvolvidos e apresentados em congressos de nacionais de Iniciação Científica, como em congressos internacionais, relacionados ao estudo das Tempestades Geomagnéticas. Como resultado inicial verificou-se que os eventos de Tempestades Geomagnéticas, Dst<-100nT, são causados por estruturas interplanetárias diferenciadas como nos resultados analisados. O presente estudo envolveu um conjunto específico de tempestades intensas, que deve ser ampliado. O conhecimento das origens solares de eventos de Tempestades Geomagnéticas é necessário, completando dessa forma, observações interplanetárias.

Páginas 1-81

Organização Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Idioma pt

Tipo Secundário PRE CN

Formato Papel

Area CEA

Ultima Atualização dos Metadados 2015:04.29.14.26.23 sid.inpe.br/bibdigital080/2006/04.07.15.50 administrator

Estágio do Documento concluído

e-Mail (login) marciana

Grupo de Usuários administrator  
sergio  
administrator

Detentor da Cópia SID/SCD

Visibilidade shown

Transferível 1

Unidade Imediatamente Superior 8JMKD3MGPCW/3EU29DP

Conteúdo da Pasta source não têm arquivos



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

**INPE-11562-PRE/6950**

**IDENTIFICAÇÃO DAS ORIGENS INTERPLANETÁRIAS DAS  
TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS INTENSAS OCORRIDAS NO  
PERÍODO DE 1999 A 2002**

Jairo Francisco Savian

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica  
(PIBIC/CNPq/INPE)

INPE  
São José dos Campos  
2004



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



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA – UFSM/MEC  
LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA – LACESM/CT/UFSM  
PARCERIA: INPE/MCT – UFSM/MEC

### IDENTIFICAÇÃO DAS ORIGENS INTERPLANETÁRIAS DAS TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS INTENSAS ( DST < -100nT ) DE 22 DE OUTUBRO DE 1999 E 6 DE ABRIL DE 2000.

Jairo F. Savian<sup>(1,2)</sup>, Marlos R. da Silva<sup>(3)</sup>, Marcos R. Signorini<sup>(1,2)</sup>, Vânia F. Andrioli<sup>(1,2)</sup>, Sílvio Buchner<sup>(1,2)</sup>, Alisson Dal Lago<sup>(4,3)</sup>, Luiz Eduardo Vieira<sup>(4,3)</sup>, Ezequiel Echer<sup>(5)</sup>, K. Munakata<sup>(5)</sup>, Walter D. Gonzalez<sup>(5)</sup>, Nelson J. Schuch<sup>(1)</sup>

- (1) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - Santa Maria - RS, Brasil - Contato: savian@lacesm.ufsm.br ;
- (2) Universidade Federal de Santa Maria – Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - Santa Maria - RS, Brasil;
- (3) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Geofísica Espacial - São José dos Campos - SP, Brasil;
- (4) Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, SP, Brasil;
- (5) Physics Dept., Shinshu University, Nagano, JAPAN.

#### RESUMO

As características das emissões solares relacionam-se à sua atividade. O aspecto mais marcante da atividade solar é o ciclo de 11 anos, passando por um mínimo e um máximo, onde o número de manchas solares cresce ocorrendo um aumento dos fenômenos energéticos a elas associados, como os "flares" e as Ejeções Coronais de Massa (CME), que por sua vez estão relacionadas às Tempestades Geomagnéticas na Terra. As Tempestades Geomagnéticas caracterizam-se pelo decréscimo na componente H, horizontal, do Campo Magnético Terrestre. O decréscimo atribui-se a um aumento da população de partículas aprisionadas na Magnetosfera, intensificando a chamada "Corrente do Anel". Estas tempestades estão associadas às estruturas interplanetárias cuja componente do Campo Magnético Interplanetário, na direção z (B<sub>z</sub>), esteja para o Sul, ou seja, antiparalela à direção do Campo Magnético Terrestre. Assim, o Campo Magnético Interplanetário interconecta-se com o campo geomagnético ocorrendo um transporte efetivo de energia para dentro da Magnetosfera. A Tempestade Magnética caracteriza-se por três fases: fase inicial, identificada por um salto dos campos físicos do Meio Interplanetário; fase principal, caracterizada por um salto decréscimo do índice Dst e fase de recuperação, onde os campos físicos voltam aos seus valores iniciais. O objetivo deste trabalho é identificar a origem das Tempestades Geomagnéticas intensas (Dst < -100nT), dos dias 22 de outubro de 1999 e 6 de abril de 2000. Foram utilizados dados dos parâmetros interplanetários como: plasma (velocidade do Vento Solar, densidade e temperatura de prótons), Campo Magnético Interplanetário (componentes B<sub>x</sub>, B<sub>y</sub>, B<sub>z</sub>), provenientes dos satélites WIND e ACE e do índice Dst para a identificação das tempestades. O monitoramento destes parâmetros é de significativa importância para um melhor entendimento da variabilidade do Clima Espacial, propiciando informações a respeito das condições do Meio Interplanetário, atividade solar e o possível desenvolvimento de Tempestades Geomagnéticas, cujos efeitos podem ser sentidos no meio-ambiente terrestre.

#### INTRODUÇÃO

As Tempestades Geomagnéticas constituem um dos principais processos do Clima Espacial. Os estudos realizados têm sido de crucial importância devido aos seus efeitos observados na Terra, tais como: a aceleração de partículas carregadas, intensidade de correntes elétricas no espaço e na superfície terrestre, ocorrência de auroras nos pólos, prejuízos causados em telecomunicações, sistemas de navegação, órbita de satélites, oleodutos, exploração de recursos minerais, sistemas de fornecimento de energia, sistemas biológicos e danos das radiações colocando em risco a vida de astronautas durante missões no espaço



http://www.nasa.gov

#### DADOS

A previsão do Clima Espacial é feita através de instrumentos a bordo de satélites ou em Terra, exemplo disso são os satélites ACE, WIND e IMP-8. Estes satélites possuem a bordo instrumentos como: Espectrômetro de Raios Cósmicos, Espectrômetro Solar, Espectrômetro Ultra de Baixas Energias, Analisador de Partículas Energéticas Solares, Espectrômetro de Vento Solar, Monitor de Prótons, Elétrons e Partículas Alfa, Magnetômetro. A previsão das Tempestades Geomagnéticas feita pelo satélite ACE é de cerca de 1 a 2 horas de antecedência. A Rede Internacional de Detectores de Muons, constituída pelos detectores de Nagoya - Japão -, Hobart - Austrália - e o detector protótipo localizado em São Martinho da Serra - Brasil -, auxilia na previsão do Clima Espacial, podendo prever as Tempestades Geomagnéticas com uma Antecedência de 8 a 12 horas - Munakata et al. 2000 -. Os dados dos satélites estão disponíveis através do sistema CDA - Coordinate Data Analysis - do programa ISTP - International Solar-Terrestrial Physics -.

#### ANÁLISE DA TEMPESTADE GEOMAGNÉTICA DE 22 DE OUTUBRO DE 1999

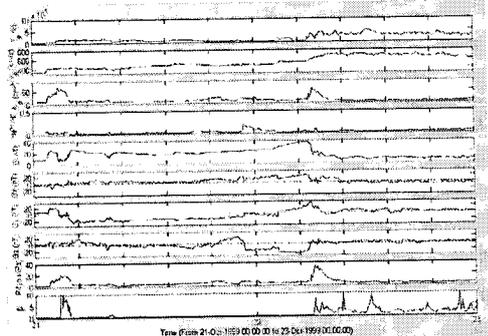
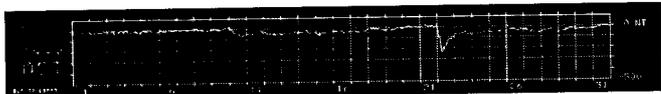


FIGURA 1



http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/

#### ANÁLISE DA TEMPESTADE GEOMAGNÉTICA DE 6 DE ABRIL DE 2000

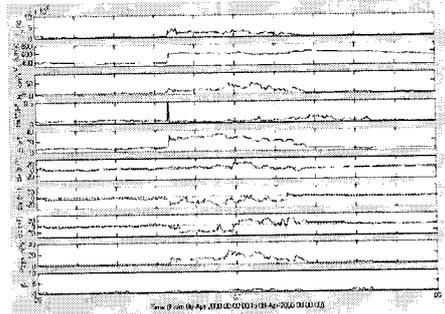
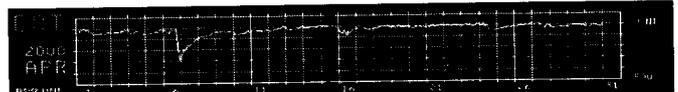


FIGURA 2



http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/

#### RESULTADOS E CONCLUSÕES

A Figura 1 mostra os parâmetros do Meio Interplanetário observados pelo satélite ACE em 22 de abril de 1999. Esta tempestade foi causada por uma ejeção, como é caracterizado pelo aumento da componente B(nT). O aumento súbito da temperatura de prótons, densidade numérica e velocidade do Vento Solar e campo magnético caracteriza uma onda de choque logo a frente dessa ejeção. No início do dia 22, observou-se um feixe rápido seguindo a ejeção. É possível que a interação entre este feixe rápido e a ejeção tenha causado a tempestade. A Figura 2 mostra as variações temporais de uma estrutura do Meio Interplanetário observada pelo satélite ACE em 6 de abril de 2000. Uma onda de choque se caracteriza pelo aumento súbito do Campo Magnético Interplanetário, aumento na temperatura de prótons, aumento na velocidade do Vento Solar. Esta onda de choque não estava acompanhada de uma ejeção (nuvem magnética), indicando que possivelmente a Terra não estava em rota de colisão com a ejeção, apenas com o choque por ela produzido. Esta onda de choque comprimiu e intensificou o campo magnético existente no Vento Solar, o qual por estar apontado na direção Z negativa, causou a tempestade, conforme vimos pelo índice Dst. Portanto, neste trabalho foi feita a análise e a identificação das estruturas causadoras das Tempestades Geomagnéticas intensas dos dias 22 de outubro de 1999 e 6 de abril de 2000.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao pessoal de operação das missão ACE, bem como o pessoal de operação da Universidade de Kyoto, por fornecerem os dados interplanetários e de superfície utilizados neste trabalho. Dados de campo magnético interplanetário e de plasma do satélite ACE são cortesia de N. Ness (Bartol Research Institute) e D. J. McComas (SWRI), através do sistema do ISTP-CDAWeb, e dados do índice Dst são cortesia de WDC-Kyoto. Os autores gostariam igualmente de agradecer ao Programa PIBIC do CNPq e ao programa PET da CAPES pelas bolsas de iniciação científica, e à FAPESP pelos programas de pós-doutoramento, processos 02/14150-0 e 02/12723-2.

#### REFERÊNCIAS

Gonzalez, W.D.; Tsurutani, B. T.: *Criteria of interplanetary causing intense magnetic storms(Dst<-100nT)*. Planet Space Sci, v.35, n.9, p.1101-1109, Jul.1987.

Gonzalez, W. D.; Tsurutani, B. T.; Clua de Gonzalez, A. L. *Interplanetary origin of geomagnetic storms*. Space Sci. Rev. v.88, p.529-562, 1999.

Gonzalez, W. D.; Joselyn, J. A.; Kamide, Y.; Kroehl, H. W.; Rostoker, G.; Tsurutani, B. T.; e Vasyliunas, V. M. *What is a magnetic storm?*. J. Geophys. Res., v.99, n.A4, p.5771-5792, Apr. 1994.

Dal Lago A. *Estudo de nuvens magnéticas geoefetivas no meio interplanetário*. São José dos Campos, 112 p. (INPE-7263-TDI/705. Tese (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**IDENTIFICAÇÃO DAS ORIGENS INTERPLANETÁRIAS DAS  
TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS INTENSAS OCORRIDAS NO  
PERÍODO DE 1999 A 2002**

**PROCESSO N<sup>o</sup> 107615/2003-7**

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

Jairo Francisco Savian (RSU/INPE-MCT, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: savian@lacesm.ufsm.br

Dr. Walter Demetrio Gonzalez-Alarcon (CEA/DGE/INPE, Orientador)  
E-mail: gonzalez@dge.inpe.br

Santa Maria, Maio de 2004



## **Dados de Identificação:**

### **Bolsista:**

Jairo Francisco Savian  
Acadêmico do curso de Física Licenciatura Plena  
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

### **Orientador:**

Dr. Walter Demetrio Gonzalez-Alarcon  
Divisão de Geofísica Espacial  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

## **Título do Projeto:**

**Identificação das origens interplanetárias das Tempestades Geomagnéticas intensas ocorridas no período de 1999 a 2002**

## **Local de execução do projeto**

- Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, São Martinho da Serra, RS
- Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM, Santa Maria, RS
- Laboratório de Raios Cósmicos e Previsão de Tempestades Magnéticas CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS

## **Pesquisadores e Estudantes Colaboradores:**

- Dr. Nelson Jorge Schuch – CRSPE/INPE-MCT
- Dr. Alisson Dal Lago – DGE/INPE-MCT
- Dr. Ezequiel Echer – DGE/INPE-MCT
- Dr. Luiz Eduardo Vieira(DGE/INPE-MCT)
- Mestrando Marlos Rockenbach da Silva – INPE
- Acadêmico Marcos Roberto Signori – UFSM
- Acadêmica Vânia Fátima Andrioli – UFSM

***Relatório Final de Atividades 2004***



Participantes da Cooperação Brasil-Japão em Ciências Espaciais Básicas diretamente envolvidos no Projeto:

- Dr. Kazuoki Munakata – Physics Department, Matsumoto University
- Dr. Kazuo Makita - National Institute of Polar Research



## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1</b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>6</b>  |
| 1.1 Justificativa.....  | 6         |
| 1.2 Cooperação Científica Internacional Brasil-Japão.....   | 7         |
| 1.3 O Projeto “Identificação das Origens Interplanetárias das Tempestades<br>Geomagnéticas Intensas Ocorridas no Período de 1999 a 2002”..... | 7         |
| <b>CAPÍTULO 2</b> .....   | <b>8</b>  |
| <b>ATIVIDADE SOLAR, SUA INFLUÊNCIA NO MEIO INTERPLANETÁRIO<br/>  SEUS EFEITOS GEOMAGNÉTICOS</b> .....   | <b>8</b>  |
| 2.1 O Sol.....  | 8         |
| 2.1.1 O Interior Solar.....   | 9         |
| 2.1.2 A Atmosfera Solar.....  | 9         |
| 2.1.2.1 Fotosfera Solar.....  | 10        |
| 2.1.2.2 A Cromosfera.....   | 11        |
| 2.1.2.3 A Coroa Solar.....  | 12        |
| 2.1.3 O Sento Solar.....  | 13        |
| 2.1.4 O Campo Magnético Interplanetário.....  | 13        |
| 2.2 Atividade Solar.....  | 14        |
| 2.2.1 Ciclo de Atividade Solar.....   | 15        |
| 2.2.2 Explosões Solares - “Flares” -.....   | 15        |
| 2.2.3 Ejeções Coronais de Massa - EMC -.....  | 16        |
| 2.3 Relação entre Ejeções Coronais de Massa e Estruturas do Meio<br>Interplanetário.....  | 17        |
| 2.3.2 Relação entre Ejeções Coronais de Massa Rápidas e ondas de choque no Vento<br>Solar.....  | 17        |
| 2.3.3 Nuvens Magnéticas.....  | 19        |
| 2.4 Efeitos Geomagnéticos Causados pela Atividade Solar.....  | 22        |
| 2.4.1 Tempestades Geomagnéticas.....  | 22        |
| 2.4.2 Origem Interplanetária das Tempestades Geomagnéticas.....   | 25        |
| 2.4.2.1 Tempestades causadas por Nuvens Magnéticas.....   | 26        |
| 2.4.2.2 Tempestades causadas por Choques.....   | 27        |
| <b>CAPÍTULO 3</b> .....   | <b>29</b> |
| <b>METODOLOGIA UTILIZADA PARA ANÁLISE DOS DADOS</b> .....   | <b>29</b> |
| 3.1 Rede Internacional de Detectores de Muons.....  | 29        |
| 3.1.1 Instrumentação.....   | 31        |
| 3.1.2 Anisotropias Precursoras de Tempestades Geomagnéticas.....  | 33        |
| 3.2 Descrição dos dados de plasma e Campo Magnético Interplanetário para os<br>eventos de Tempestades Geomagnéticas.....                      | 35        |
| 3.2.1 Parâmetros medidos por instrumentos a bordo de satélites.....   | 36        |
| 3.2.2 Ferramentas para a visualização de dados de satélites.....  | 37        |
| <b>CAPÍTULO 4</b> .....   | <b>38</b> |



---

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ANÁLISE DE RESULTADOS.....</b>   | <b>38</b> |
| 4.1 Análise dos parâmetros interplanetários dos eventos de Tempestades Geomagnéticas..... | 38        |
| 4.1.1 Evento do dia 22 de Outubro de 1999.....  | 38        |
| 4.1.2 Evento do dia 6 de Abril de 2000.....   | 42        |
| 4.1.3 Evento do dia 11 de abril de 2001.....  | 45        |
| <b>CAPÍTULO 5.....</b>  | <b>48</b> |
| <b>CONCLUSÕES FINAIS.....</b>   | <b>48</b> |
| <b>AGRADECIMENTOS.....</b>  | <b>59</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>  | <b>51</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>  | <b>54</b> |
| <b>ANEXO 1 GRÁFICOS.....</b>  | <b>54</b> |
| <b>ANEXO 2 TÍTULOS E RESUMOS DE TRABALHOS APRESENTADOS E OU SUBMETIDOS.....</b>           | <b>64</b> |
| <b>ANEXO 3 PROJETO.....</b>   | <b>79</b> |
| <b>ANEXO 4 CERTIFICADOS DE TRABALHOS APRESENTADOS.....</b>                                | <b>81</b> |



## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 – JUSTIFICATIVA

O estudo do Clima Espacial está ligado na íntima relação entre o Sol, o Espaço Interplanetário, a Magnetosfera Terrestre e a Superfície Terrestre. O estudo das Tempestades Geomagnéticas tornou-se essencial devido a seus efeitos observados na Terra, tais como: intensificação de correntes elétricas no espaço e na Superfície Terrestre, ocorrência de auroras nos pólos, aceleração de partículas carregadas, e diversos prejuízos em satélites causando danos no Sistema de Posicionamento Global - GPS - em telecomunicações e até mesmo aos astronautas que se encontram em naves espaciais devido à alta radiação emitida.

As Tempestades Geomagnéticas tem origem em diferentes estruturas solares como por exemplo às chamadas Ejeções Coronais de Massa - EMC - ou explosões solares - *flares* -. Estes eventos liberam para o Meio Interplanetário grandes quantidades de matéria - Plasma - a altas velocidades. As estruturas interplanetárias estão relacionadas à Tempestades Geomagnéticas, isto ocorre quando a componente do Campo Magnético Interplanetário está antiparalela a direção do Campo Geomagnético. Por isso, o Campo Magnético Interplanetário - CMI - interconecta-se com a Magnetosfera Terrestre, ocorrendo um transporte efetivo de energia. Como consequência, uma grande quantidade de partículas energéticas do Vento Solar entra na Magnetosfera pelas linhas de campo, abertas pela reconexão, causando grandes distúrbios na alta Atmosfera.

O conhecimento dos fenômenos do meio interplanetário, como nuvens magnéticas e choques interplanetários, fornece informações importantes a respeito da dinâmica do meio interplanetário e do conseqüente desenvolvimento de Tempestades Geomagnéticas. Os satélites localizados no ponto Lagrangeano L1, tais como, ACE, WIND e IMP-8, propiciam um monitoramento contínuo do Clima Espacial através de dados de Plasma e Campo Magnético Interplanetário - CMI -, permitindo uma identificação das diferentes estruturas presentes no meio interplanetário. No entanto, através destes dados o conhecimento da chegada das estruturas que originam uma Tempestade Geomagnética é possível apenas com poucas horas de antecedência.

O objetivo principal deste Projeto no Programa PIBIC/INPE-CNPq/MCT, é identificar os tipos de estruturas interplanetárias que causam as Tempestades Geomagnéticas durante o máximo do ciclo solar 23, ou seja, durante o período de 1999 a 2002. Durante este período houve observações de raios cósmicos pela **Rede Internacional de Detectores de Muons, da qual o Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE-MCT, em - São Martinho da Serra - RS passou a fazer parte desde 2001, as quais estão sendo usadas para a previsão da ocorrência destas Tempestades Geomagnéticas com elevada eficiência, podendo fornecer até 8 horas de alerta - Munakata et al, 2000 -.**

A identificação das estruturas interplanetárias que causam tempestades intensas neste período será muito importante para a uma comparação futura com as observações de Raios

*Relatório Final de Atividades 2004*



Cósmicos - Muons -, permitindo verificar se há algum tipo preferencial de estrutura que pode ser detectada pela Rede Internacional de Detectores de Muons. O Laboratório de Raios Cósmicos e Previsão de Tempestades Magnéticas - LRCPTM - está implementando o monitoramento contínuo do Clima Espacial, a partir de um detector de muons protótipo instalado no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE-MCT -. O telescópio está em operação desde março de 2002, tendo como objetivo preencher a falha existente na atual rede de detecção de Raios Cósmicos. A rede completa possibilitará uma previsão mais precisa da chegada de Tempestades Geomagnéticas, objetivando num futuro próximo poder amenizar os prejuízos causados na terra através de alertas com horas de antecedência ao início das tempestades.

## 1.2 COOPERAÇÃO CIENTÍFICA INTERNACIONAL BRASIL-JAPÃO

A Cooperação Científica Internacional Brasil-Japão em Ciências Espaciais Básicas e Ciências Atmosféricas tem como objetivo pesquisar os fenômenos físicos que ocorrem na grande região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS -, com coordenação técnico-científica do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT e participação científica da Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas do INPE, no Brasil, e com a colaboração das seguintes instituições: Takushoku University - Physics Division, Faculty of Engineering -, Kyushu university - Dept. of Earth and Planetary Sciences -, Nagoya University - Solar Terrestrial Environment Laboratory -, Rikkyo University - Dept. of physics -, Kokugaku-in University, Communication Research Laboratory, National Institute of Radiological Sciences - Space and Particle Radiation Science Research Group -, Shinshu University, no Japão.

## 1.3 – O PROJETO “IDENTIFICAÇÃO DAS ORIGENS INTERPLANETÁRIAS DAS TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS INTENSAS OCORRIDAS NO PERÍODO DE 1999 A 2002”.

Este Trabalho fará parte de um projeto maior de estudo do Clima Espacial utilizando vários tipos de observações. Os objetivos principais são: (1) familiarização com as estruturas observadas no meio interplanetário próximo a Terra, tais como ondas de choque, ejeções solares, nuvens magnéticas; (2) familiarização com conseqüências geomagnéticas relacionadas a estas estruturas, tais como as Tempestades Geomagnéticas - Gonzalez e Tsurutani, 1987; Gonzalez et al., 1994; Gonzalez et al., 1999 -; (3) Manipulação de dados oriundos de observações de satélites localizados no meio interplanetário, principalmente o ACE - *Advanced Composition Explorer* -, que fornece dados de velocidade, densidade e temperatura do Vento Solar, e Campo Magnético do Vento Solar; (4) identificação de estruturas a partir destes dados, tais como ondas de choque, ejeções interplanetárias e nuvens magnéticas, para o período em torno do máximo do ciclo solar de 23 - 1999 a 2002 -. Os dados interplanetários estão disponíveis através do sistema CDA - *Coordinate Data Analysis* - do programa ISTP - *International Solar-Terrestrial physics* – ao qual o INPE/MCT tem acesso.



## CAPÍTULO 2

### ATIVIDADE SOLAR, SUA INFLUÊNCIA NO MEIO INTERPLANETÁRIO E SEUS EFEITOS GEOMAGNÉTICOS

A região que se estende do Sol até o meio interestelar é chamado de meio interplanetário. Nesta região ocorrem vários fenômenos físicos, sendo um grande número proveniente da atividade solar, conseqüências diretas de processos físicos internos que nele ocorrem. Tais processos, que envolvem instabilidades de Plasma e campos magnéticos, fenômenos ainda pouco conhecidos e estão diretamente relacionados às causas de emissões solares transientes, cuja ocorrência varia com um dos mais importantes ciclos solares, o Ciclo de Atividade Solar de 11 anos. As estruturas interplanetárias estão intimamente relacionadas a fenômenos Geomagnéticos, como as Tempestades Geomagnéticas.

#### 2.1 O Sol

Desde os primórdios da civilização o homem aprendeu a admirar o Sol como o responsável pela existência e manutenção da vida na Terra e por isso, na maioria das culturas antigas o Sol era adorado como um Deus. Há milhares de anos o homem já identificava as principais características do Sol, como as Manchas Solares Escuras e a rotação do disco solar. A tabela 1.1 mostra algumas das características do Sol.

*Tabela 2.1 – Características do Sol*

|                                 |                              |
|---------------------------------|------------------------------|
| Massa                           | $1,989 \times 10^{30}$ kg    |
| Raio Equatorial                 | 695.000 km                   |
| Raio Médio                      | 109, 2 Raios Terrestres      |
| Densidade Média                 | 1,41 g/cm <sup>3</sup>       |
| Densidade Central               | 162 g/cm <sup>3</sup>        |
| Período de Rotação Equatorial   | 609 horas (~ 25 dias)        |
| Velocidade de Escape            | 618,02 km/s                  |
| Distância Média à Terra         | 149,6 milhões de km          |
| Luminosidade                    | $3,83 \times 10^{33}$ ergs/s |
| Temperatura Média na Superfície | 5.500°C                      |

O Sol pode ser dividido em interior solar e atmosfera solar. O interior é constituído de Núcleo, Zona Radiativa e Zona Convectiva. A parte externa é composta por: Fotosfera, Cromosfera e Coroa. A Figura 2.1 ilustra a distribuição das camadas.

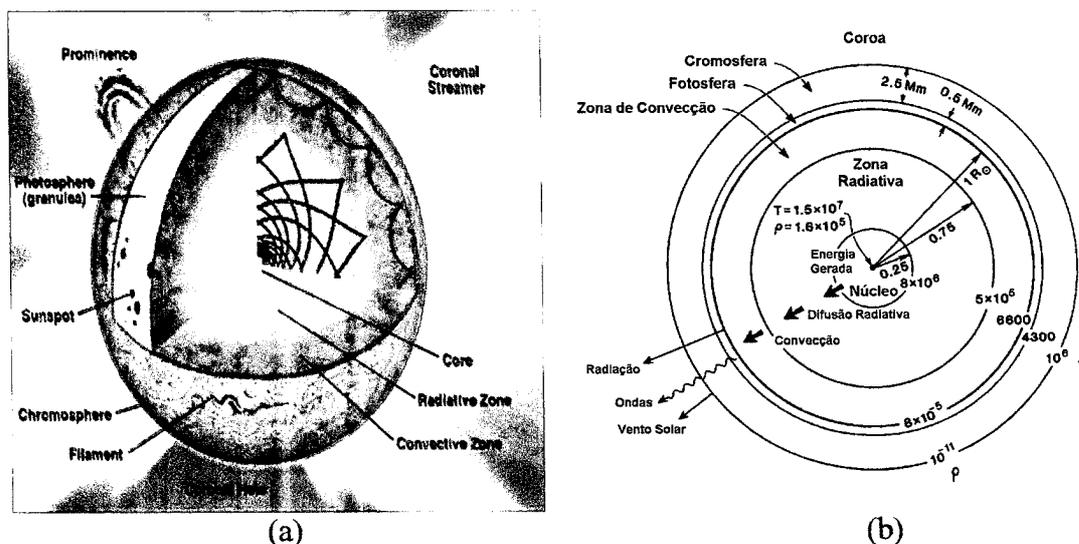


Figura 2.1 – Estrutura do interior solar e atmosfera. (a) FONTE: <http://www.nascom.gov>, (b) Adaptado de Kivelson e Russel (1995).

### 2.1.1 O Interior Solar

O interior solar possui um núcleo radiativo e um envelope convectivo que pode chegar até a superfície. O Sol emite uma potência de  $3,9 \times 10^{26}$  W. Essa energia se origina de reações nucleares que ocorrem no seu centro e demora  $10^7$  anos para ser transportada pela Zona Radiativa e em seguida pela Zona Convectiva até atingir a superfície, onde a temperatura é de aproximadamente 5.800 K. O interior é formado pelas seguintes regiões: **Núcleo**, se estende até 0,25 raios solares, onde a energia é gerada através de reação de fusão nuclear, apresentando uma temperatura,  $T$ , da ordem de  $1,5 \times 10^7$  K e densidade  $\rho \sim 1,6 \times 10^5$  m<sup>-3</sup>; **Zona Radiativa**, se estendendo no intervalo de 0,25 a 0,75 raios solares, onde a energia gerada no núcleo é dissipada através do processo de difusão radiativa, tendo uma temperatura da ordem de  $8 \times 10^6$  K e **Zona de Convecção**, estendendo-se no intervalo de 0,75 a 1 raio solar, com temperatura no intervalo de  $5 \times 10^5$  a 6600 K e onde a energia é dissipada sob a forma de convecção.

### 2.1.2 A Atmosfera Solar

A Atmosfera Solar é a camada mais externa, composta basicamente por 3 camadas: Fotosfera – visível a olho nu, Cromosfera acima da primeira, e Coroa Solar, a camada mais tênue.

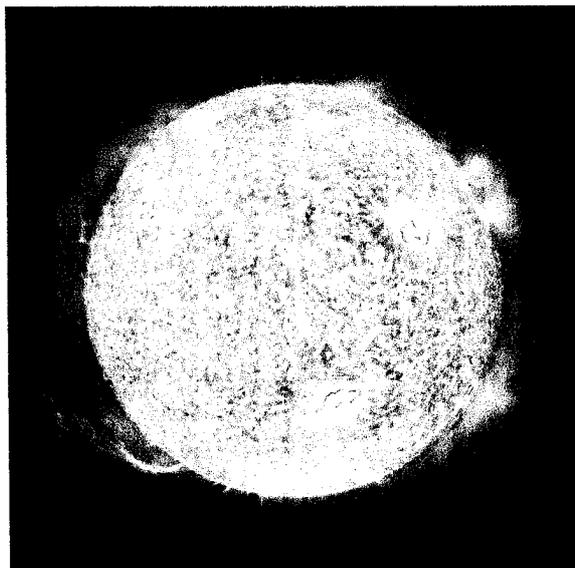
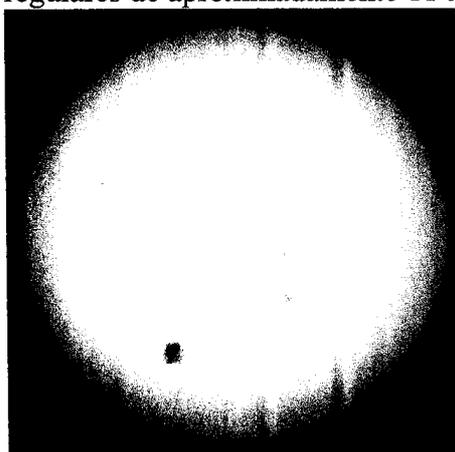


Figura 2.2 - Imagem real da Fotosfera solar, FONTE: <http://soho.www.nascom.nasa.gov/>

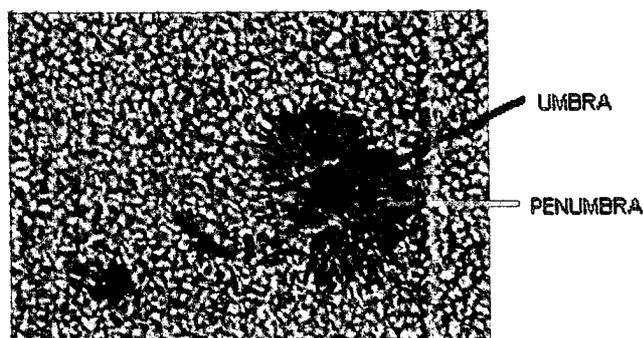
### 2.1.2.1 – Fotosfera Solar

Trata-se da camada visível do Sol. Possui uma espessura de cerca de 500 Km, é da onde vem a maior parte da luz visível. Entretanto, o gás desta camada não é totalmente transparente, e devido a sua opacidade o interior solar não pode ser visto, a densidade é de cerca de  $10^{13}$  a  $10^{15}$  partículas por centímetro cúbico.

A observação da Fotosfera revela duas estruturas marcantes, as Manchas Solares e as Granulações. Quando muito intensas, as Manchas Solares podem ser vistas a olho nu como notáveis formações escuras, elas surgem e desaparecem por completo em períodos regulares de aproximadamente 11 anos.



(a)



(b)

Figura 2.3 – (a) Disco solar com Manchas Solares, (b) Imagem de uma Mancha Solar, podem ser identificados a Umbra e a Penumbra, FONTE: [www.spaceweather.com](http://www.spaceweather.com)

Essas manchas eram conhecidas e observadas pelos chineses milhares de anos antes de Cristo e ficaram conhecidas como Manchas Solares. Entretanto, só em 1610 Galileo sistematizou o estudo das Manchas Solares utilizando o Telescópio. As Manchas Solares tendem a se formar em grupos e são constituídas de duas partes - Figura 2.3 b -: a Umbra, parte central mais escura, com temperatura em torno de 3.800 K, e a Penumbra, região um pouco mais clara em torno da Umbra.

A presença de Manchas Solares nos informa a respeito da existência de campos magnéticos intensos na atmosfera solar. Uma vez que o campo magnético inibe o processo convectivo, o transporte de energia nas manchas é bem menor, e conseqüentemente as manchas são mais frias emitindo bem menos radiação que o restante da superfície solar. Os campos magnéticos associados às Manchas Solares estão relacionados a energias eletromagnéticas constituindo regiões de estabilidades. Quando instabilidades são originadas, esta energia é liberada na forma de Ejeções Coronais de Massa, Flares e Proeminências.

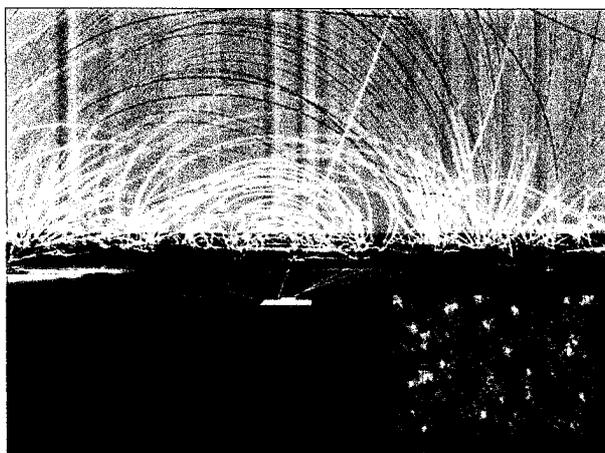


Figura 2.4 – Campo Magnético na Atmosfera Solar relacionada às Manchas Solares, Fonte: <http://science.nasa.gov>

#### 2.1.2.2 – A Cromosfera

A Cromosfera estende-se cerca de 10.000 km acima da Fotosfera, esta camada possui uma temperatura que varia no intervalo de 4300 a  $10^6$  k que aumenta do interior para o exterior, ao contrario da Fotosfera. Apresenta densidade na ordem de  $10^{-11} \text{ m}^{-3}$ , cai de 1-2 ordens de grandeza relativamente a Fotosfera. Pode ser vista observando-se o Sol com um filtro solar conhecido como H-alfa, Assim podemos distinguir as várias estruturas cromosféricas, como por exemplo, as proeminências. apresenta uma coloração alaranjada que só pode ser observada quando ocorre um obscurecimento do disco solar, como, por exemplo, durante eclipses totais do Sol. Nessas ocasiões, a Cromosfera torna-se um arco brilhante e colorido, dos quais partem raios de grande luminosidade e que indicam a presença de Cálcio, Helio e Hidrogênio em sua composição, esta camada e na realidade uma faixa de transição entre a Cromosfera fria e a Coroa quente.

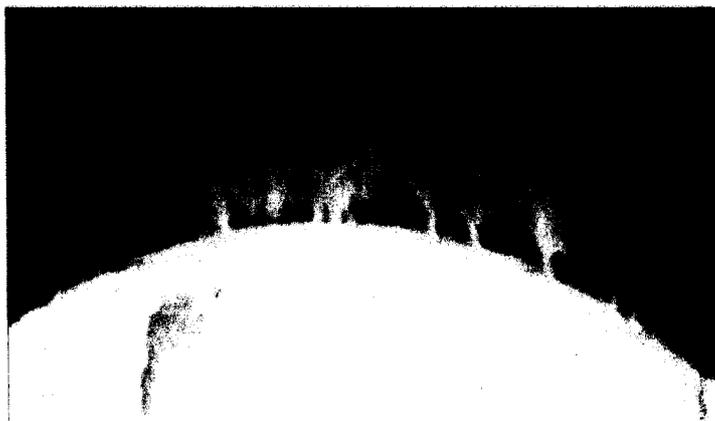


Figura 2.5 – Cromosfera Solar. Proeminência Eruptiva observada em H-alfa, Fonte: <http://science.nasa.gov/ssl/PAD/solar/images/prominence.jpg>

### 2.1.2.3 – A Coroa Solar

A Coroa Solar é a parte mais externa da Atmosfera Solar e estende-se por milhões de quilômetros a partir do Sol. A Coroa Solar é melhor observada durante os eclipses totais do Sol, caracteriza-se por variações de forma e largura que costumam acompanhar o Ciclo das Manchas Solares. Sua densidade é de 2-3 ordens de grandeza mais baixa do que aquela da Cromosfera, e sua temperatura é de 1-2 milhões de graus. Como a temperatura é extremamente alta, a Coroa emite grande quantidade de raios-X. Além disso, a esta temperatura o gás encontra-se na forma de plasma – gás ionizado – produzindo assim os elétrons e íons que podem formar o chamado Vento Solar. Este vento se propaga por todo o Sistema Solar e eventualmente atinge a Terra.

Nesta camada são observadas as chamadas regiões ativas, local onde temperatura e densidade são elevadas além de possuírem campos magnéticos intensos distribuídos em formato de arcos com as pontas – pólos magnéticos – situadas na Fotosfera.

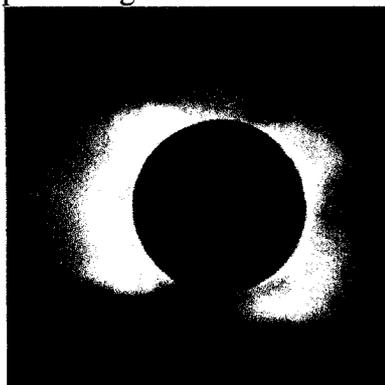


Figura 2.6 – Exemplo de eclipse solar total, ocorrida em 1977, mostrando a Coroa Solar. Fonte: <http://www.if.ufrj.br/teaching/astron/sol.html>

A Coroa é a região de maior importância para os fenômenos físicos do meio interplanetário. Através da evaporação constante de seu material constitui o Vento Solar, que arrasta o Campo Magnético do Sol através do meio interplanetário. Ejeções transientes

lançam a altas velocidades, grandes quantidades de material constituintes da Coroa. Ejeções Coronais de Massa estão fortemente relacionadas a fenômenos geomagnéticos, tais como Tempestades Geomagnéticas, e a variabilidade do Clima Espacial.

### 2.1.3 – O Vento Solar

Sua existência foi primeiramente sugerida por Ludwig Biermann, entre 1951 e 1957, baseado no estudo da direção de caudas ionizadas de cometas, que o levaram a postular uma emissão de radiação corpuscular contínua - Brandt, 1970 -. A existência do Vento Solar também foi sugerida por outros cientistas que notaram mudanças no Campo Geomagnético, um dia ou mais após a ocorrência de grandes “Flares” solares – Burlaga, 1995 -.

O Vento Solar trata-se de um fluxo de elétrons e íons positivos que são expulsos da Coroa Solar em alta velocidade - cerca de 600 km/s – e uma densidade média de  $5 \text{ cm}^{-3}$  - Brandt, 1970 - e propagam-se pelo meio interplanetário. Estas partículas se originam dos chamados Buracos Coronais e escapam do Sol para o espaço através das linhas abertas do campo magnético. Eventualmente, este vento atinge e interage com a Terra causando tanto o fenômeno conhecido como Aurora, quanto perturbações no Campo Magnético, quando interagindo com a Magnetosfera Terrestre. O Vento Solar quando interage com a Magnetosfera Terrestre causa sua deformação na direção da linha Sol-Terra.

E. N. Parker em 1958 formulou um modelo dinâmico com um fluxo de partículas saindo da base da Coroa. Este modelo propôs que o gradiente de pressão dos constituintes da Coroa Solar continuamente acelera o fluxo de partículas para fora do Sol. O Vento Solar foi primeiramente medido pelas sondas Soviéticas Lunik 2 e Lunik 3 em 1960, e pela sonda Norte Americana Mariner 2 em 1962, confirmando as previsões de E. N. Parker. Desde então numerosas sondas e espaçonaves fizeram experimentos e identificaram como segundo mais abundante componente, o íon  $^4\text{He}^{++}$  - 5% -. Íons como  $^3\text{He}^{++}$ ,  $^4\text{He}^+$ ,  $\text{O}^{6+}$ , e  $\text{C}^{3+}$  também existem no Vento Solar, porem em menores quantidades - Parks, 1991 -.

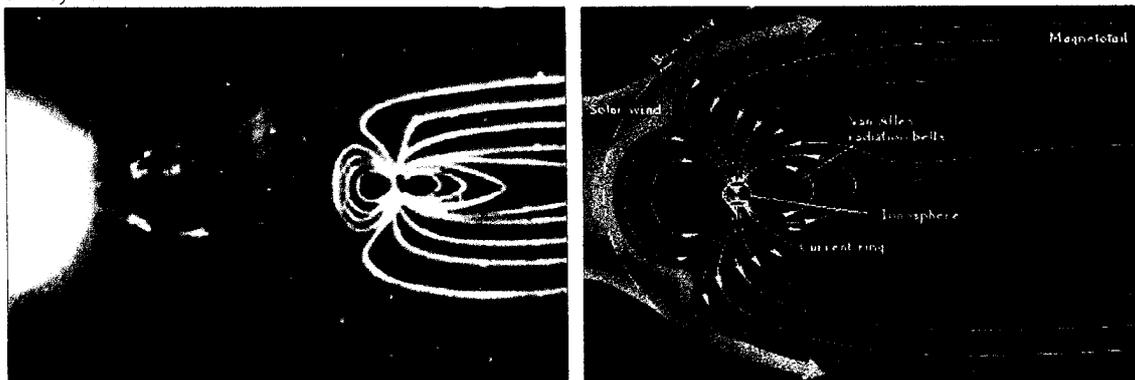


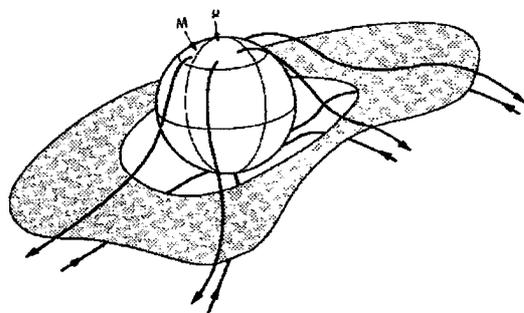
Figura 2.7 – As figuras mostram como o Vento Solar pressiona e define a forma da Magnetosfera Terrestre. Fonte: <http://soho.nascom.nasa.gov>

### 2.1.4 – O Campo Magnético Interplanetário

O Sol possui um campo magnético, cuja intensidade é  $10^{-4}$  T na superfície da Fotosfera. Este campo é aproximadamente dipolar - Pneuman e Kopp, 1970 -, porem *Relatório Final de Atividades 2004*

devido ao fato do Vento Solar ser altamente condutor, ele é transportado para grandes distâncias, constituindo o chamado Campo Magnético Interplanetário - CMI -, com intensidade de aproximadamente 5 nT nas circunvizinhanças da Terra.

O eixo do dipolo magnético é próximo ao eixo de rotação do Sol, e pode-se imaginar um plano de simetria cortando o seu equador. As linhas de Campo Magnético Interplanetário são aproximadamente radiais próximas ao Sol - de 1,5 a 2,5 raios solares -, entrando no Sol acima do plano de simetria e saindo abaixo deste plano, dependendo da fase do ciclo solar de 22 anos. No Meio Interplanetário, a transição entre as linhas de campo entrando e saindo do Sol constitui uma estreita região, não necessariamente planar, onde se forma uma lamina de corrente, chamada Lamina de Corrente Heliosférica, LCH - Schultz, 1973 -. Essa lamina separa um hemisfério com polaridade negativa de outro com polaridade positiva.



(a)



(b)

Figura 2.8 – (a) Lamina de Corrente Heliosférica – LCH, próxima ao Sol. (b) Aspecto do Campo Magnético Interplanetário. Fonte: <http://lepmfi.gsfc.nasa.gov/mfi/hcs/hcs>

Devido a rotação solar, o Campo Magnético Interplanetário tem, em larga escala, o aspecto de uma espiral de Arquimedes, sendo quase radial próximo ao Sol e praticamente perpendicular a direção radial além de 5-10 UA. Na circunvizinhança da Terra, 1 UA, o CMI tem inclinação de aproximadamente 45°.

## 2.2 – Atividade Solar

O Sol possui regiões situadas no interior de configurações de campo magnético em forma de ferradura ou arco, com linhas de fluxo magnético que se projetam pela Cromosfera até a Coroa Solar, cujas extremidades – polos magnéticos norte e sul – estão presas na Fotosfera associada às manchas solares, como se fosse um ímã gigante. Devido a ação destes campos, e nas regiões ativas que se observam os fenômenos conhecidos como explosões solares - “flare”. Estas explosões ocorrem com maior frequência nos períodos de máxima atividade do ciclo solar.

### 2.2.1 – Ciclo de Atividade Solar

O Ciclo de Atividade Solar varia com um período de 11 anos e conseqüentemente, as estruturas do Meio Interplanetário e o Campo Magnético Interplanetário também variam com este mesmo período. O Ciclo Solar de 11 anos, é caracterizado por um aumento no numero de Manchas Solares atingindo um máximo, decrescendo logo em seguida.

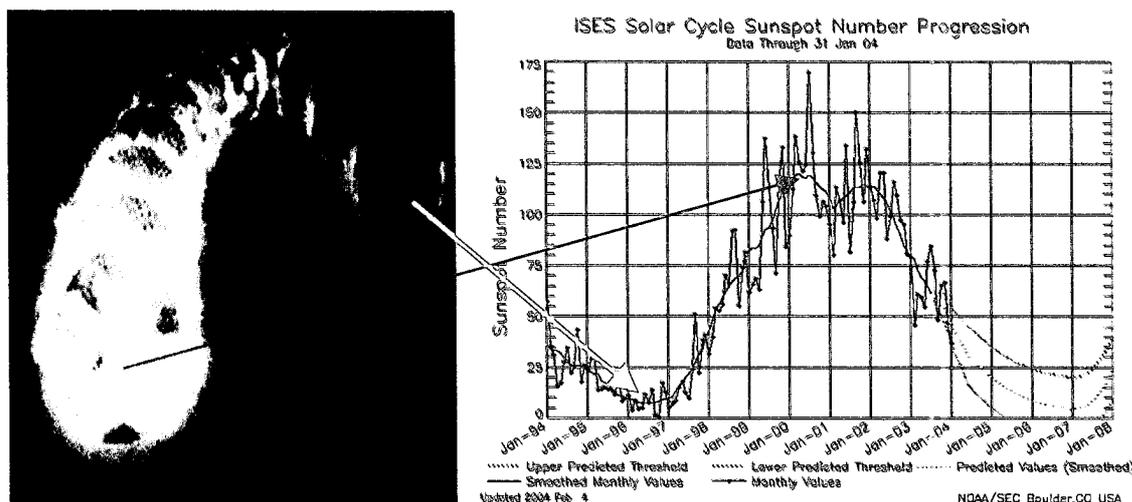


Figura 2.9 – Gráfico da Atividade Solar dado em anos, mostra o Ciclo Solar de 11 anos, em particular o Ciclo Solar 23. Fonte: <http://www.sec.noaa.gov/SolarCycle/> e <http://helios.gsfc.nasa.gov/ace/gallery.html>.

Durante o Ciclo Solar são identificadas fases distintas, a fase de mínimo solar, fase ascendente, fase de máximo solar e fase descendente. Durante o máximo do ciclo ocorre o aumento de fenômenos energéticos nas regiões ativas associadas as manchas. Estes fenômenos são chamados de explosões solares ou “Flares”, podendo estar associadas a Ejeções Coronais de Massa e a Tempestades Geomagnéticas.

Outros efeitos importantes da atividade solar são os prejuízos causados em telecomunicações, sistemas de navegação, órbita de satélites, exploração de recursos minerais, sistemas de fornecimento de energia, oleodutos, sistemas biológicos e os danos das radiações ionizantes de origem solar que podem atingir missões espaciais tripuladas colocando em risco a vida dos astronautas pela exposição a grande quantidade de radiação.

### 2.2.2 – Explosões Solares - “Flares” -

Estes fenômenos caracterizam-se pela emissão de grande quantidade de energia -  $10^{26}$  a  $10^{32}$  ergs -, em intervalos de tempo relativamente curtos, variando de alguns segundos até poucas horas, para os fenômenos mais intensos.

A energia cinética térmica liberada é proveniente da energia magnética armazenada na atmosfera solar, no interior de locais conhecidos como regiões ativas. Toda essa energia, que não chega a 10% de toda energia emitida pelo Sol durante um segundo,

provoca o aquecimento e aceleração dos elétrons, prótons e íons mais pesados presentes nos locais de liberação de energia e em sua vizinhança próxima.

### 2.2.3 – Ejeções Coronais de Massa - EMC -

Ejeções Coronais de Massa - EMC - Solares vem sendo objeto de estudos desde a sua descoberta, através de observações feitas por coronógrafos na década de 70. São designadas como grandes quantidades de matéria -  $10^{15}$  a  $10^{16}$  g – entremeadas nas linhas de campo magnético. São expulsas do Sol durante um período de várias horas, formando uma enorme erupção que se expande para um espaço a velocidades de varias centenas e poucos milhares de km/h.

Seqüências de imagens de coronógrafos revelam a estrutura de densidade da Coroa Solar e suas variações temporais, bem como suas expulsões transientes de Plasma, que são a essência das Ejeções Coronais de Massa – Hundhausen, 1997 -, ver figura 2.10.

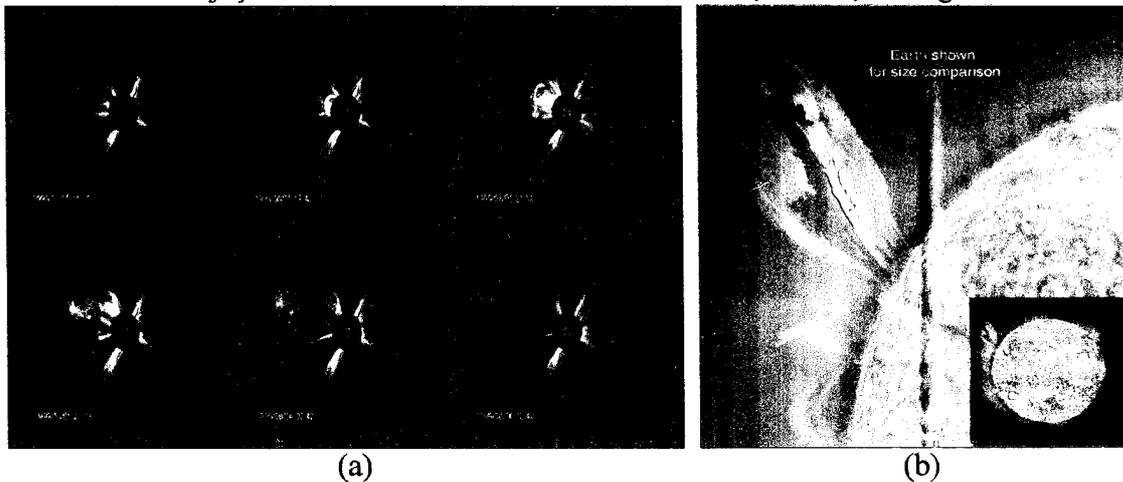


Figura 2.10 – (a) Seqüência de imagens mostrando a ocorrência de uma EMC. (b) Ilustração das dimensões de uma EMC em comparação com o tamanho da Terra. Fonte: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/>

Um exemplo de expulsão transiente de Plasma, ilustrada na seqüência de imagens da Figura 2.10, Mostra uma Ejeção Coronal de Massa observada no período de 5 a 6 de agosto de 1999 pelo coronógrafo LASCO C3. O coronógrafo mede a radiação fotosférica espalhada por elétrons no Plasma coronal ionizado, mostrando a estrutura da densidade da Coroa. A possível causa destes fenômenos é ainda desconhecida, porém, é possível que as origens Solares das EMC estejam associadas aos Buracos Coronais, segundo Hewish e Bravo - 1986. Os Buracos Coronais são regiões escuras, apresentando configurações de campo magnético aberta, de onde se originam Feixes de Altas Velocidades. Mais da metade destes fenômenos estão associadas a proeminências eruptivas - Gosling, 1997, o restante acompanha os “flares”.

As Ejeções Coronais de Massa tem uma freqüência relacionada com o Ciclo Solar, podendo ser observados cerca de 1 evento por semana, no mínimo do ciclo, enquanto podem ocorrer 2 a 3 eventos por dia nos períodos do máximo da atividade solar. As EMC apresentam estruturas que pode ser caracterizada em três regiões distintas: Loop externo;



cavidade interna com densidade menor; proeminência eruptiva interna - Hundhausen, 1988.

As Ejeções Coronais de Massa podem quebrar o fluxo do Vento Solar e produzir alterações que atingem a Terra e às vezes com resultados nocivos e perigosos às atividades humanas. Estes eventos afetam diretamente o Clima Espacial. As imagens do coronógrafo LASCO “Large Angle and Spectroscopic Coronagraph”, a bordo do satélite SOHO “Solar and Heliospheric Observatory” nos possibilita o monitoramento das condições dinâmicas da Coroa Solar, bem como, o desenvolvimento de estudos sobre a forma e amplitude de tais ejeções.

## **2.3 – Relação entre Ejeções Coronais de Massa e Estruturas do Meio Interplanetário.**

### **2.3.1 – Assinatura das Ejeções Coronais de Massa no Vento Solar**

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

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

Cerca de 1/3 das estruturas identificadas no Meio Interplanetário são Nuvens Magnéticas - Gosling, 1990.

### **2.3.2 – Relação entre Ejeções Coronais de Massa Rápidas e ondas de choque no Vento Solar**

As EMC rápidas geralmente estão associadas a ondas de choque no Vento Solar. Acredita-se que todas as ondas de choque transientes no Vento Solar em 1 UA sejam causadas por EMC - Gosling, 1999 -. Os Feixes de Alta Velocidade originados em Buracos Coronais podem ser os formadores das ondas de choque transientes - Hewish e Bravo, 1986 -.

A seguir temos na Figura 2.11 um diagrama ilustrativo mostrando um esquema idealizado de uma onda de choque causada por uma EMC rápida. A Figura representa um plasmóide magneticamente desconectado do Sol. No entanto esta pode não ser a verdadeira configuração de uma EMC no Meio Interplanetário. A onda de choque é indicada pela linha curva e se propaga logo à frente da EMC. Entre o choque e a ejeção há uma região onde o plasma e o campo magnético do Vento Solar são comprimidos similarmente à Lâmina Magnetosférica da Terra.

Além do Plasma e do campo magnético, a parte interna frontal do plasmóide também é comprimida, como resultado da interação. Esta compressão tem importante papel no aumento da magnitude do campo magnético dentro das EMCs.

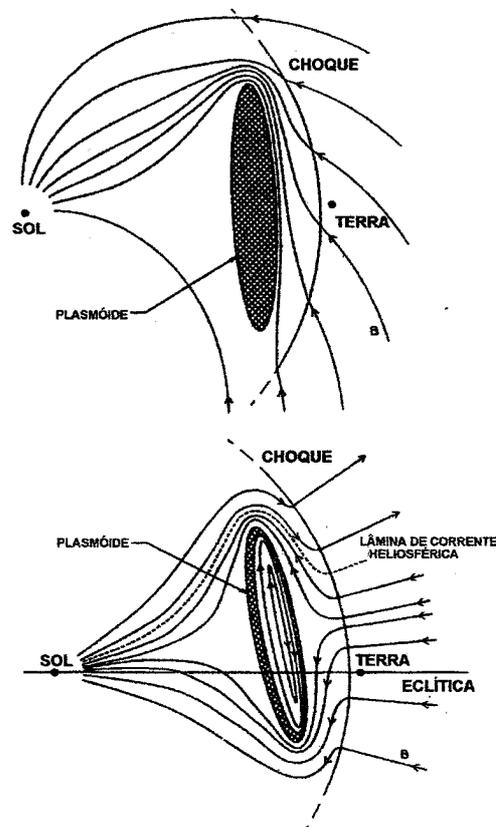


Figura 2.11 – Esquema idealizado de uma onda de choque causada por uma EMC rápida. Fonte: Gosling, - 1997, p.10 -.



### 2.3.3 – Nuvens Magnéticas

Segundo Klein e Burlaga - 1982, uma Nuvem Magnética é definida como sendo uma estrutura com extensão radial de aproximadamente 0,25 UA - em 1UA -, campo magnético mais intenso que o do Vento Solar normal, tipicamente  $B > 10$  nT, Suave rotação da direção do campo magnético em um grande ângulo, próximo a  $180^\circ$ , baixa temperatura e baixo valor do parâmetro beta,  $\beta \sim 0,1$ . As Nuvens Magnéticas são ideais para estudos das interações Sol-Terra devido a sua simplicidade e extensos intervalos de campo magnético na direção sul e norte ou vice-versa – Burlaga et al., 1990.

Medidas dos parâmetros de Plasma - velocidade do Vento Solar, temperatura e densidade de prótons – e campo magnético - componentes B, Bx, By, Bz – possibilitam a identificação de Nuvens Magnéticas. Tais Medidas são feitas diariamente por vários satélites presentes no Meio Interplanetário. Alguns destes satélites situam-se em: 1 UA – satélite IMP-8, no ponto Lagrangeano L1 –; satélite ISEE-3, no período de 1978-1979; satélite WIND e o satélite ACE.

As Nuvens Magnéticas são originadas nas Ejeções Coronais de Massa Solares – EMCS -. Na Figura 2.12 veremos as características de uma Nuvem Magnética observada em 18-20 de outubro de 1995 pelo satélite WIND – Burlaga et al. 1996; Lepping et al., 1997; Farrugia et al., 1998 -. Na Figura 2.12 vimos a intensidade do campo magnético a 1 UA, componente “z” do campo magnético, temperatura, densidade, velocidade e parâmetro beta. A linha “s” mostra uma onda de choque, caracterizada pelo aumento súbito da velocidade e do campo magnético. As duas linhas verticais sólidas delimitam a Nuvem Magnética. Observa-se uma rotação da componente “z” do campo magnético de valores negativos para valores positivos - sul para norte -. O parâmetro beta dentro da nuvem apresenta valores menores ou iguais a 0,1, indicando que a pressão magnética dentro da nuvem é maior que a pressão de Plasma.

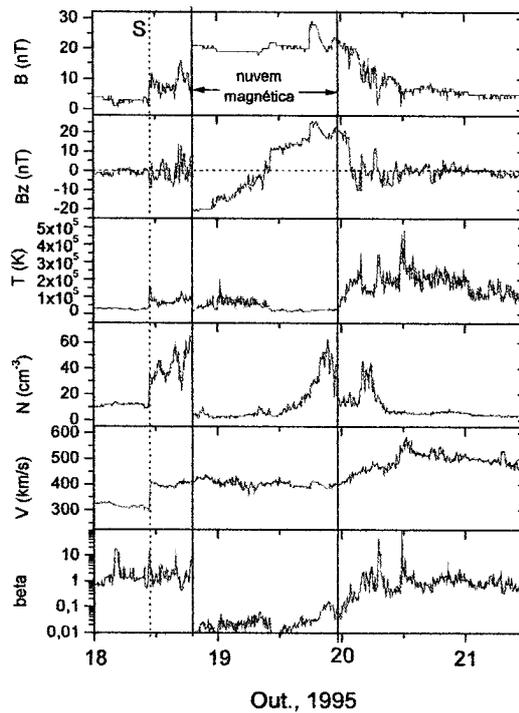


Figura 2.12 – Nuvem Magnética observada em 18-20 de outubro de 1995 pelo satélite WIND. Fonte: adaptado de Burlaga et al. - 1996, p.280 –

Após o choque o campo magnético intensifica-se de aproximadamente 5 nT para aprox. 10 nT ocorrendo uma flutuação no campo magnético observado no 2º painel – “Bz”, esta região é conhecida como bainha - *sheath* -. Após várias observações feitas por satélites possibilitou-se o estabelecimento de sua geometria.

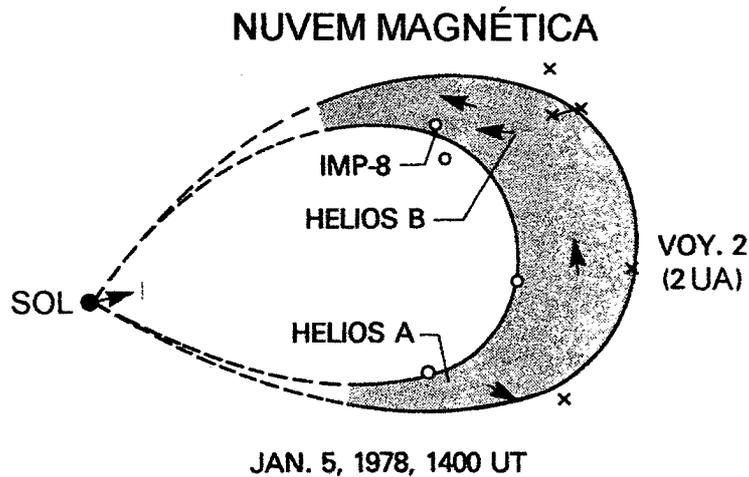


Figura 2.13 – Geometria de uma Nuvem Magnética. Fonte: adaptado de Burlaga et al. - 1990, p.376 –

A Figura 2.13 está a localização dos satélites que observam o evento ocorrido em 5 de janeiro de 1978: IMP-8, Helios-1 - “A” -, Helios 2 - “B” - e Voyager-2, os “x” representam a fronteira dianteira da Nuvem Magnética vista por cada um dos satélites, e os círculos, a fronteira traseira. As setas indicam a direção do campo magnético observado por cada um dos satélites. Normalmente não é possível observar estruturas com mais de um satélite simultaneamente, portanto este evento é bastante raro. Diante disso - Burlaga et al., 1990 – concluíram que esta Nuvem Magnética tinha a forma de um tubo, que poderia ou não estar conectado ao Sol.

A Figura 2.14 mostra em escala mais global, uma Nuvem Magnética representada por um tubo de fluxo.

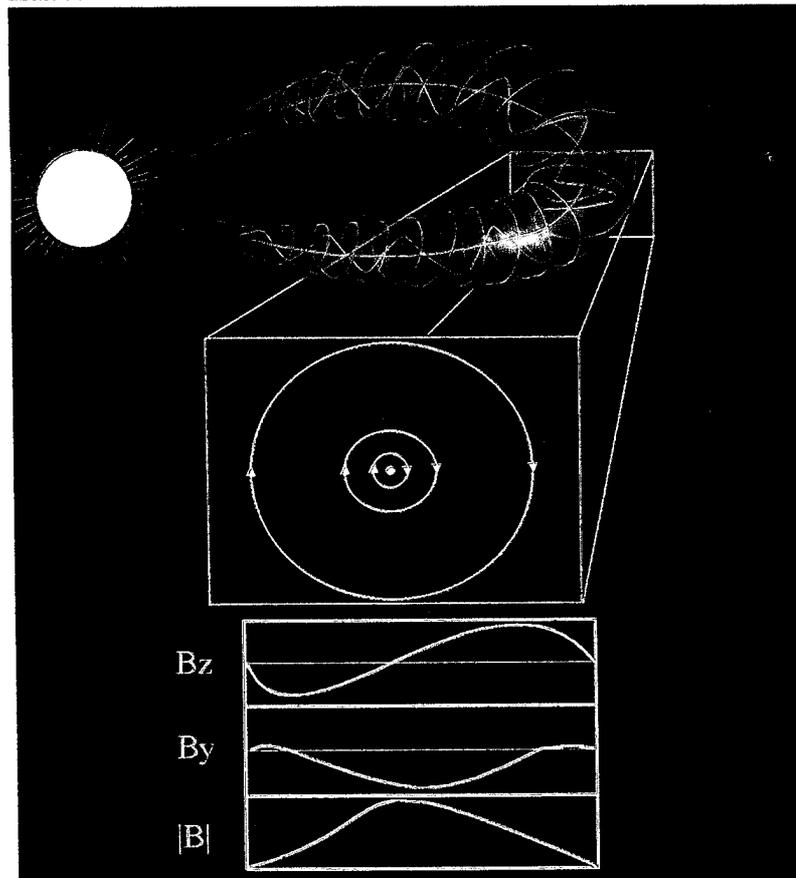
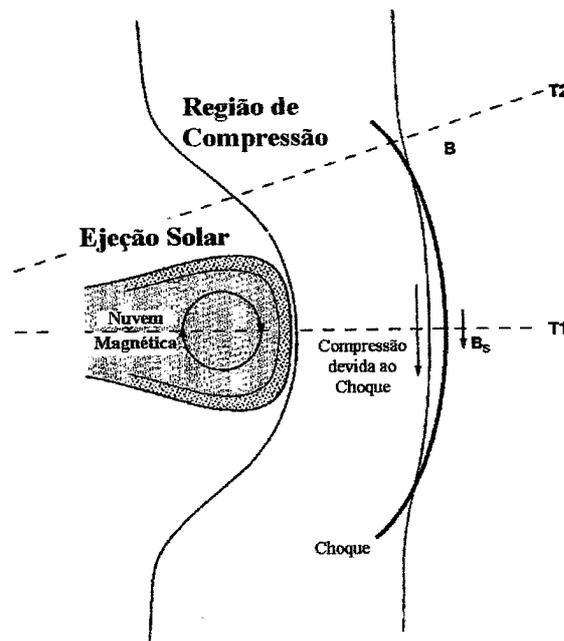


Figura 2.14 – Ilustração da configuração do campo magnético de uma Nuvem Magnética. Fonte: Dal Lago, - 1999, p.48 -.

Dependendo da trajetória do satélite ao interceptar uma Nuvem Magnética, a rotação vista será maior, interceptando a parte central, ou menor, nas bordas da estrutura - Tsurutani e Gonzalez, 1997 -, como mostra a Figura 2.15.



**T1:** Passando no centro da estrutura da Nuvem Magnética/Choque

**T2:** Passando fora do centro da estrutura da Nuvem Magnética/Choque

Figura 2.15 – Desenho Mostrando a estrutura de uma Nuvem Magnética, região de compressão e onda de choque. T1 e T2 são duas trajetórias de satélites possíveis interceptando a ejeção de maneira diferente. Fonte: Adaptado de Tsurutani e Gonzalez - 1997, p.79 –

## 2.4 - Efeitos Geomagnéticos Causados Pela Atividade Solar

Um dos mais importantes Ciclos Solares é o Ciclo Solar de 11 anos. Entrando em intensa atividade solar, período denominado Máximo Solar, apresentando regiões de instabilidade que podem liberar a altas velocidades, grandes quantidades de matéria e energia através de Explosões e/ou Ejeções Solares. A Atividade Solar é responsável por diversas perturbações no Campo Geomagnético, que podem ser recorrentes ou transientes. As recorrentes normalmente estão relacionadas à rotação do Sol e tem períodos de aproximadamente 27 dias. As transientes estão fortemente relacionadas às Ejeções Coronais de Massa - EMC -. Dentre estas perturbações podemos destacar as Tempestades Geomagnéticas.

### 2.4.1 – Tempestades Geomagnéticas

Tempestades Geomagnéticas são eventos de grandes perturbações no Campo Magnético Terrestre, onde a terra fica vulnerável a precipitação de partículas energéticas do Vento Solar e a raios cósmicos, receberam esta denominação desde a metade do século XIX - Gonzalez et al, 1994 -. A característica principal de uma Tempestade Geomagnética é o decréscimo acentuado da componente horizontal, H, do Campo Geomagnético e a

*Relatório Final de Atividades 2004*

posterior fase de recuperação - Kamide et al., 1998 -, o decréscimo atribui-se a um aumento da população de partículas aprisionadas na magnetosfera. Derivas devidas ao gradiente do campo magnético e a sua curvatura produzem a chamada “Corrente de Anel”. A Corrente de Anel é gerada pelo movimento de partículas eletricamente carregadas, os íons de leste para oeste e os elétrons de oeste para leste, em torno da Terra devido a distribuição de partículas injetadas e aprisionadas na magnetosfera interna. A perturbação do Campo Geomagnético gerada por essa corrente reflete a condição do Campo Magnético Interplanetário - CMI – que controla o suprimento de energia para o interior da magnetosfera – Akasofu e Chapman, 1972; Burton et al., 1975; Lyons e Willians, 1984; Nishida, 1978 -.

Para medir a intensidade da Corrente de Anel é utilizado o chamado índice Dst. O índice Dst é baseado nas medidas horárias da componente horizontal, H, do Campo Magnético obtido em observatórios de latitudes média e baixa. As variações do índice Dst de uma grande Tempestade Geomagnética medida no período de 03 a 11 de novembro de 2001 estão ilustradas na Figura 2.16

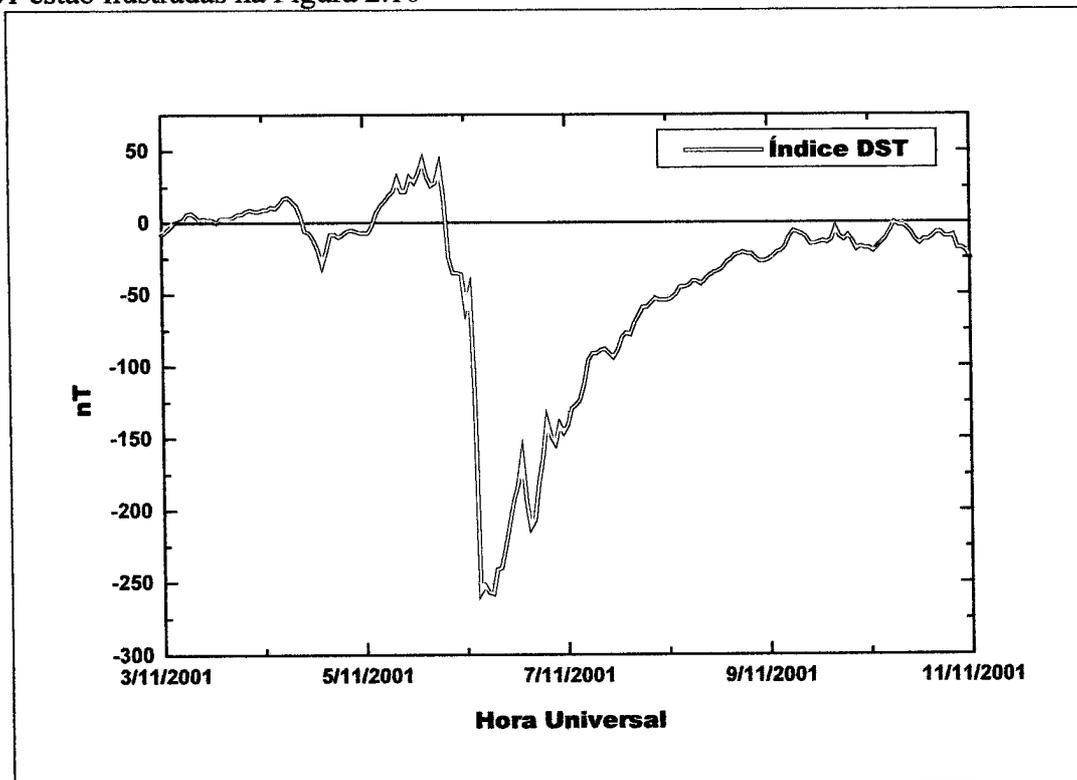


Figura 2.16 - Valores horários do índice Dst para a Tempestade Magnética de 03-11 de novembro de 2002. Fonte: <http://swdcd.db.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/>

Uma Tempestade Geomagnética caracteriza-se por três fases: (1) Um início súbito - sudden commencement – e/ou fase inicial, está associada ao aumento da pressão dinâmica - incidência de partículas – do Vento Solar, que comprime a magnetosfera, indicando um aumento brusco no campo magnético; (2) Uma fase principal - main phase – é caracterizada por uma redução da intensidade do campo na Superfície Terrestre, essa redução está associada à intensificação da Corrente de Anel e conseqüentemente um alto decréscimo no índice Dst e (3) Uma fase de recuperação – “recovery phase” – caracteriza

**Relatório Final de Atividades 2004**

se pela diminuição e eliminação gradual da pressão, passando a predominar os processos de perda da Corrente de Anel e com a magnitude do índice Dst. A figura 2.17 mostra as fases de uma Tempestade Geomagnética.

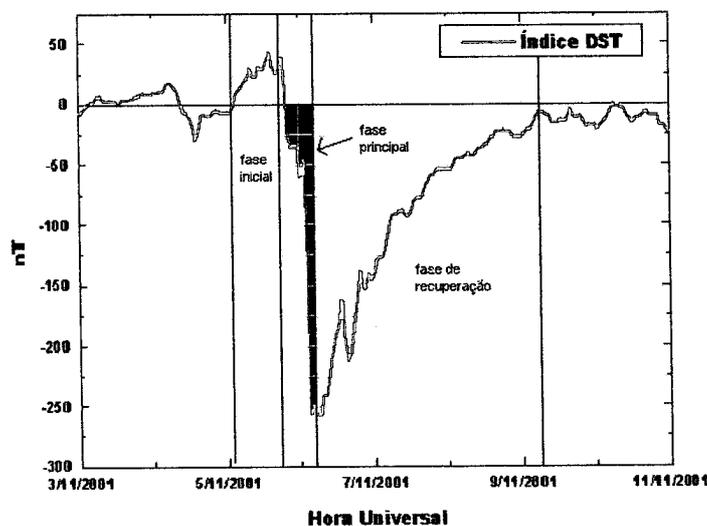


Figura 2.17 – As três fases de uma Tempestade Magnética. Fonte: modificado de <http://swdcdb.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/>

Podemos classificar uma Tempestade Geomagnética de acordo com a sua intensidade. A Tabela 2.2 mostra esta classificação.

Tabela 2.2 – classificação das Tempestades Geomagnéticas

| Intensidade da Tempestade | Definição                                      |
|---------------------------|--|
| Intensas                  | $Dst < -100 \text{ nT}$                        |
| Moderadas                 | $-100 \text{ nT} \leq Dst \leq -50 \text{ nT}$ |
| Fracas                    | $-50 \text{ nT} \leq Dst \leq -30 \text{ nT}$  |
| Atividade Normal          | $Dst \geq -30 \text{ nT}$                      |

Para o monitoramento das Tempestades Geomagnéticas são utilizados outros índices. O índice KP ou índice global é obtido através de um valor médio do nível de distúrbio em duas componentes horizontais do Campo Geomagnético. Estes distúrbios são medidos por 13 estações em médias latitudes. Estas perturbações magnéticas podem ser determinadas através das componentes H e D calculando-se o logaritmo da maior variação nestas componentes em um intervalo de 3 horas. Estas variações são distúrbios irregulares do Campo Geomagnético causado pela precipitação de partículas solares. As escalas variam de 0 - magneticamente quieto - a 9 - nível máximo de distúrbio -. Abaixo a Figura 2.18 ilustra uma Tempestade Geomagnética.

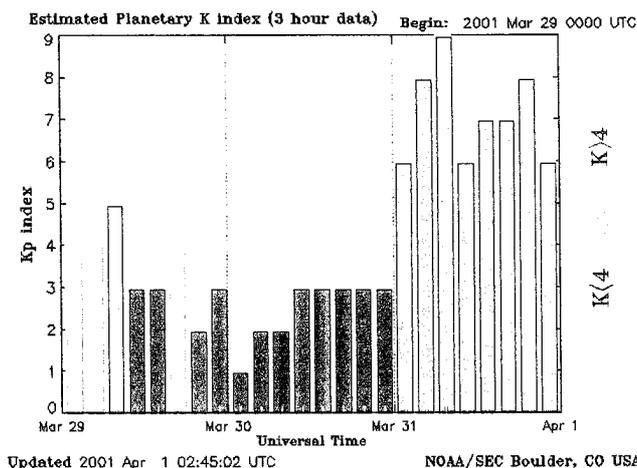


Figura 2.18 – Escala para o índice Kp, mostrando a tempestade Geomagnética de 31 de março de 2001. Fonte: [www.sec.noaa.gov](http://www.sec.noaa.gov)

#### 2.4.2 – Origem Interplanetária das Tempestades Geomagnéticas

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

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

O mecanismo físico para o transporte de energia do Vento Solar é bem conhecido. Este mecanismo é a reconexão magnética entre a componente do CMI apontando na direção sul e componentes antiparalelas da Magnetopausa - Dungey, 1961 -. Interconexão entre campos interplanetários e campos magnetosféricos no lado diurno conduz para uma intensa reconexão de campos no lado noturno, com a concomitante injeção de Plasma, proveniente da região do “*plasmashet*”, no lado noturno. Um bom entendimento das estruturas interplanetárias que causam Tempestades Geomagnéticas durante o máximo solar e próximo as mínimas condições do ciclo devem conduzir uma melhor definição de procedimentos de previsão, as quais têm sido considerados como uma ferramenta fundamental para as pesquisas do Clima Espacial.

## ACOPLAMENTO SOL-MEIO INTERPLANETÁRIO-MAGNETOSFERA

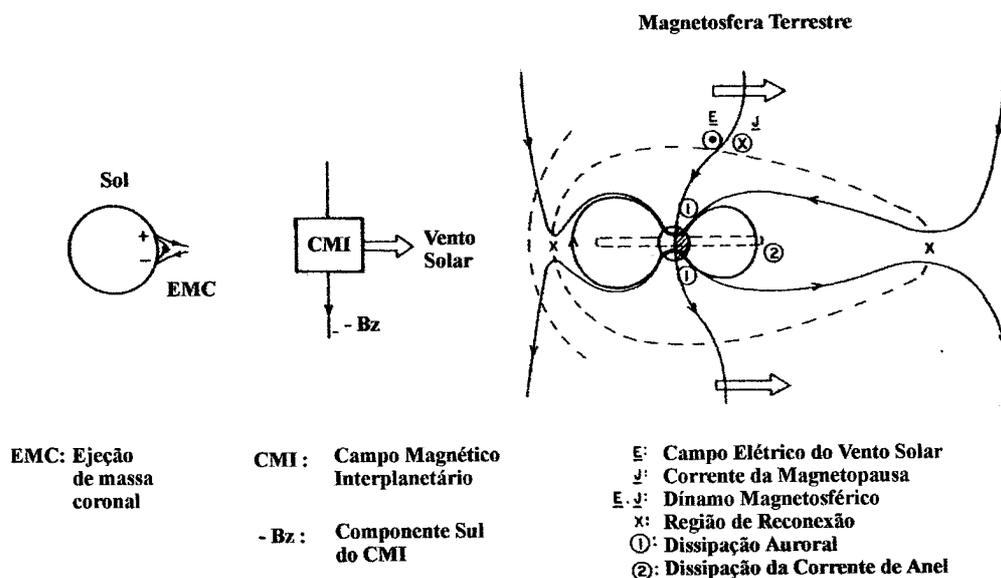


Figura 2.19 - Acoplamento entre Sol, Meio Interplanetário e Magnetosfera Terrestre. Fonte: Adaptado de Tsurutani e Gonzalez - 1997, p. 82 -

### 2.4.2.1 – Tempestades causadas por Nuvens Magnéticas

Grande parte das Tempestades Geomagnéticas intensas -  $Dst \leq -100nT$  - não recorrentes são causadas por nuvens magnéticas - Gonzalez et al., 1999 -. A razão principal pela qual Nuvens Magnéticas estão entre as principais causas de Tempestades Magnéticas é o fato de freqüentemente apresentarem campo magnético Bz negativo e intenso -  $|B| > 10nT$  - por intervalos de tempo superiores a 3 horas, cumprindo os critérios de Gonzalez e Tsurutani - 1987 - para a ocorrência de tempestades intensas.

Devido ao aumento de densidade e velocidade, a pressão exercida na Magnetosfera Terrestre,  $\rho v^2$ , 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 -. Desde que SI é seguido pela fase principal da tempestade, é chamado de começo repentino da tempestade - Sudden Storm 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.

A Figura 2.20 Apresenta uma comparação entre uma observação de uma nuvem magnética em 18-20 de outubro de 1995 e uma ilustração da estrutura solar-interplanetária envolvida. A seta superior está representando uma onda de choque que é causada por uma Nuvem Magnética oriunda de uma CME, a configuração do campo magnético observado na Terra é de um tubo de fluxo. A seta seguinte mostra a região de compressão, formada logo após o choque, indicada pela flutuação do campo magnético. A terceira seta indica a Nuvem Magnética, representada por um Campo Magnético mais intenso que as demais regiões e a quarta seta representa a rotação da componente Bz de sul para norte. A

Tempestade Geomagnética está representada pela quinta seta, mostrando a queda no índice Dst devida a intensificação da corrente de anel ilustrada ao lado.

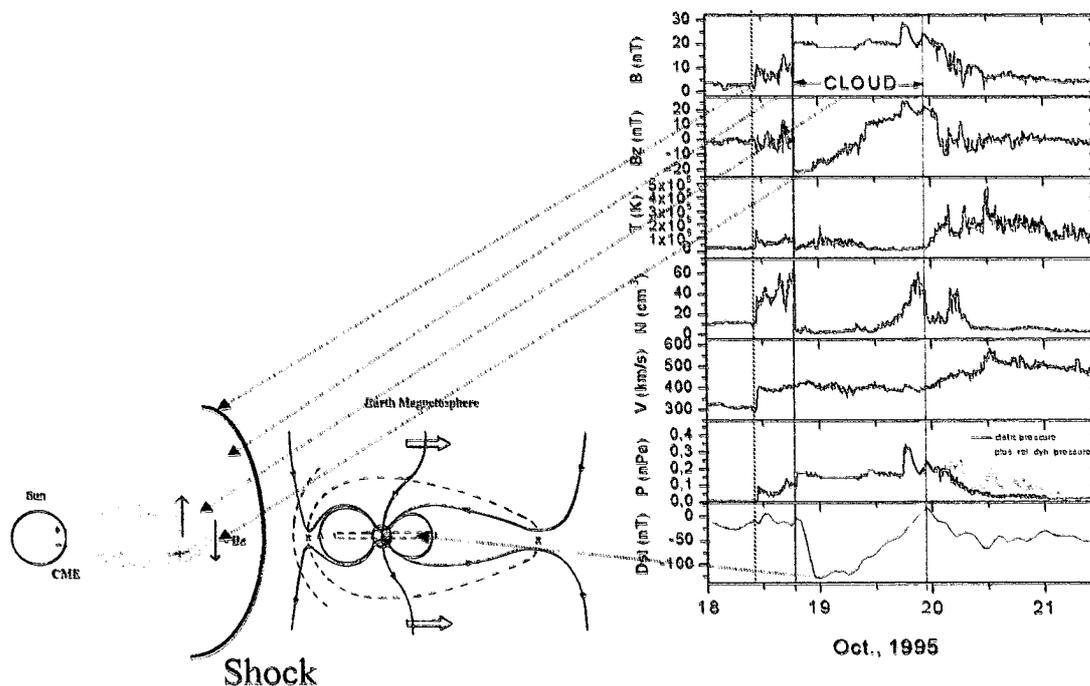


Figura 2.20 - Composição entre a observação de uma nuvem magnética observada em 18-20 de outubro de 1995 nas proximidades da Terra e uma ilustração do cenário solar-interplanetário relacionado.

#### 2.4.2.2 – Tempestades causadas por Choques

Existem vários mecanismos que conduzem para componentes de campo na direção sul da bainha - Tsurutani et al., 1988a; Zwan and Wolf, 1976 -. Dois destes mecanismos conduzem para a intensificação de campos magnéticos, independentes da orientação. Estes são compressão por choque e empilhamento. No mecanismo primário, o choque comprime tanto o campo magnético quanto o plasma. Segundo - Tsurutani et al., 1992 – no mecanismo posterior o encurvamento do campo magnético ao redor da ejeção solar, conduz para uma compressão do Plasma.

A Figura 18.21 está relacionada a uma onda de choque. Apresenta um exemplo de uma estrutura interplanetária observada pelo satélite ACE em 06 de abril de 2000. São mostrados, de cima para baixo: campo magnético total  $|B|$  e suas componentes  $B_x$ ,  $B_y$  e  $B_z$  em coordenadas GSM; densidade de íons; velocidade e temperatura de íons. Está indicada a presença de uma onda de choque em “1”. Seguindo esta onda de choque está a

bainha em “2”, porém não há sinal evidente de uma ejeção logo atrás, não havendo campo magnético intenso após a região “2”. No entanto se pode observar uma região de baixa temperatura após a região “2”, que se estende desde aproximadamente 0900UT do dia 7 até aproximadamente 09:00 UT do dia 8.

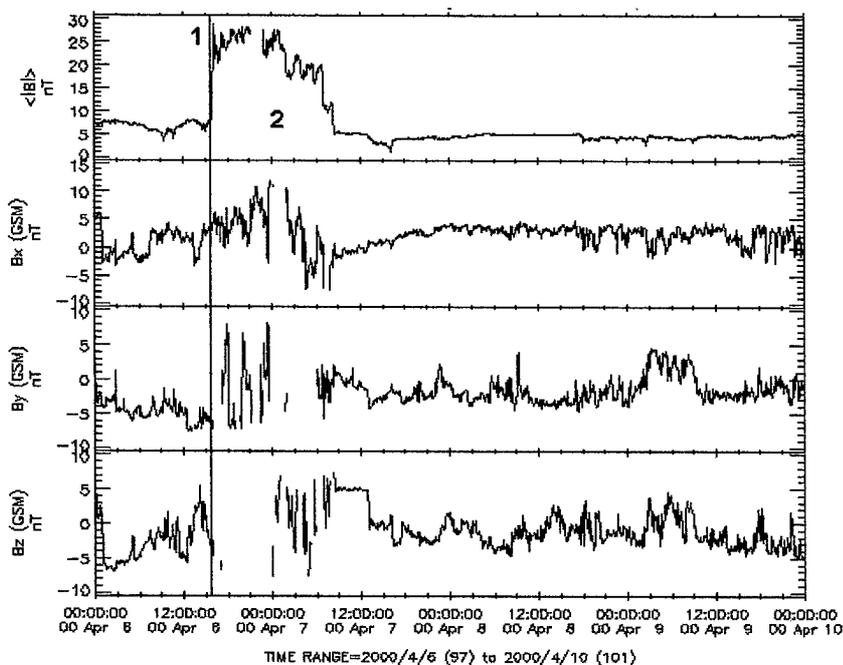


Figura 2.21 – Campo magnético e parâmetros de plasma observados pelo satélite ACE no ponto Lagrangeano L1 no período de 6 a 10 de abril de 2000.



## CAPÍTULO 3

### METODOLOGIA UTILIZADA PARA ANÁLISE DOS DADOS

O presente Capítulo têm como objetivo apresentar a Metodologia utilizada para a análise dos eventos do Meio Interplanetário e o estudo das estruturas interplanetárias responsáveis pelas Tempestades Geomagnéticas Intensas ocorridas no período de 1999 a 2002. Estes eventos foram analisados através de observações do índice Dst disponíveis no sítio da Universidade de Kyoto - Japão -, que mede a intensidade da corrente de anel magnetosférica - Mendes Jr. 1992 -, para identificar as tempestades mais intensas.

Em seguida foram utilizados dados de observações do Meio Interplanetário, preferencialmente do satélite ACE, disponíveis no sistema CDA - *Coordinate data análise* - do programa ISTP - *International Solar-Terrestrial physics* -. Para isso utilizou-se o software MATLAB - Matrix Laboratory -, disponível no CRSPE/INPE-MCT. Para analisar as anisotropias precursoras das Tempestades Geomagnéticas foram utilizados raios cósmicos observados através da Rede Internacional de Detectores de Muons, estudadas por Munakata et al. - 2000 -. Os resultados mostram que através das observações das anisotropias de Muons é possível verificar com até 6 a 9 horas antes a chegada de tempestades. A Rede Internacional de Detectores de Muons é uma das mais importantes ferramentas na previsão do Clima Espacial considerando que os satélites permitem o alerta da chegada das estruturas interplanetárias com poucas horas de antecedência.

#### 3.1 – Rede Internacional de Detectores de Muons

Devido a grande cobertura que pode ser usado em detectores de solo, monitores de nêutrons - Simpson et al. 1953 - e detectores de Muons - Fujimoto et al. 1976;1984 – ainda são ideais para medir raios cósmicos  $> 1\text{GeV}$ . Estes instrumentos são excelentes para a detecção de minúsculas variações temporais do fluxo de raios cósmicos e para medir as pequenas anisotropias direcionais típicas dos raios cósmicos. Seus intervalos de energia

*Relatório Final de Atividades 2004*

são altamente complementares aos limites superiores as energias dos detectores de fluxos de raios cósmicos espaciais.

A instrumentação e os métodos utilizando raios cósmicos para aplicações em Clima Espacial avançaram dramaticamente nos anos recentes. *Spaceship Earth* é uma rede global de detectores de nêutrons otimizada para medir a distribuição angular dos raios cósmicos solares e proporciona uma boa cobertura do céu em altas energias, que são importantes para o decréscimo de **Forbush** - menor intensidade de raios cósmicos -. Este Sistema está agora sendo implementado com os detectores de muons.

A Rede Internacional de Detectores de Muons é composta pelos detectores de Nagoya - Japão - e Hobart - Australia -. Em março de 2001, um detector protótipo de muons foi instalado na Região Sul do Brasil, no Observatório Espacial do Sul, OES/CRSPE/INPE, no Rincão dos Negrinhos em São Martinho da Serra, RS - 29°26'24"S, 53°48'38"W – através de uma operação multilateral entre Brasil, Japão e Estados Unidos. O protótipo 8 detectores distribuídos em duas camadas de 4 detectores foi instalado para testar a melhoria da habilidade na observação de raios cósmicos, preenchendo parcialmente a falha de detecção existente no Hemisfério Oeste, e por consequencia faz-se necessário a implementação de detectores de maior porte para cobrir totalmente esta falha.

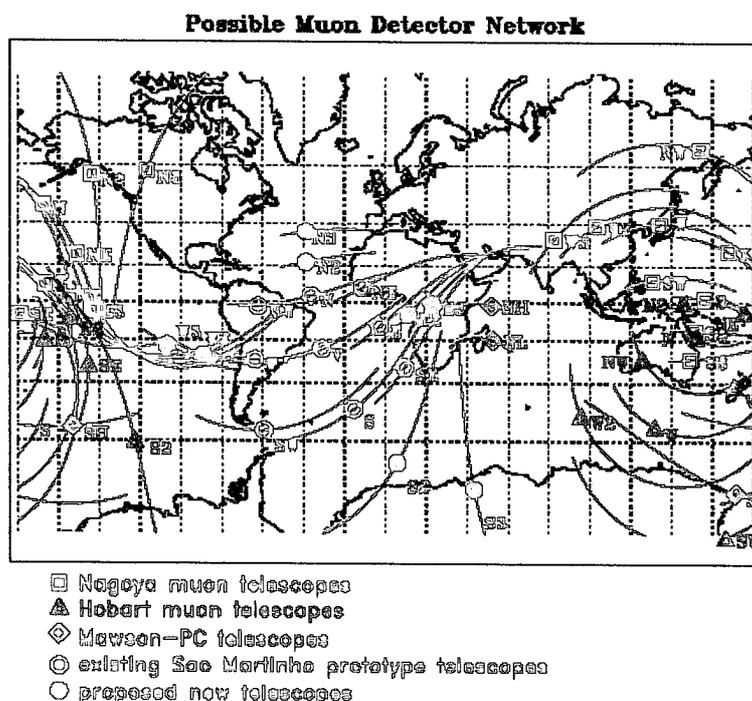




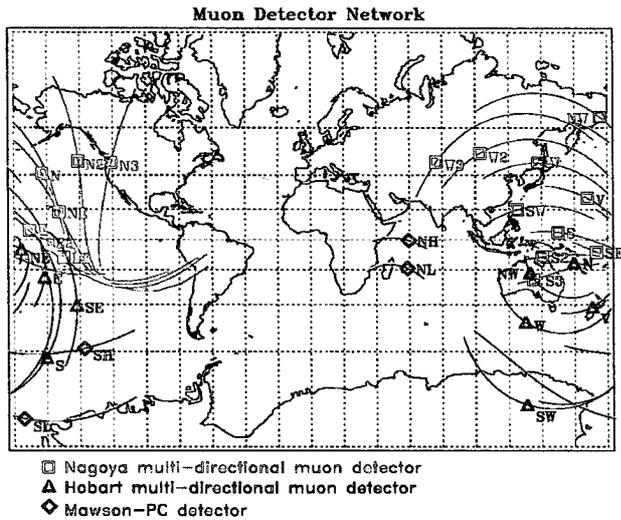
Figura 3.1 - . Proposta da expansão da rede de detectores de muons. Utilizando telescópios inclinados, um detector de muons pode observar direções múltiplas no espaço em uma única posição. Nesta proposta, da Figura 3.1 um protótipo de detector de muons 2X2 em duas camadas localizado em São Martinho da Serra, Brasil, seria expandido para um detector 4X9 em duas camadas. São Martinho da Serra foi escolhida porque está aproximadamente antípoda ao grande detector de Nagaya, Japão.

### 3.1.1 – Instrumentação

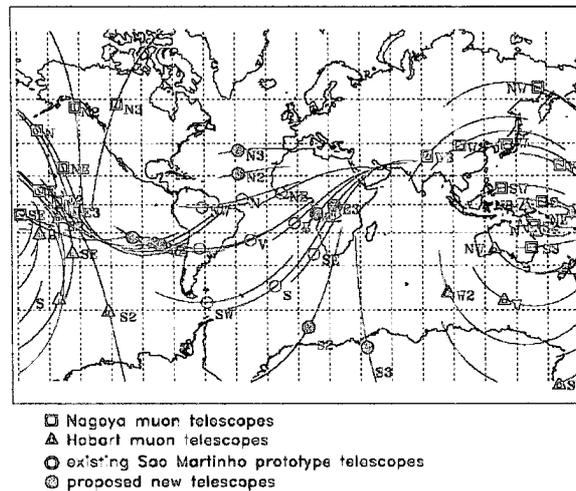
Os munitores de nêutrons apresentam máxima resposta para raios cósmicos primários com energias de aproximadamente 10 GeV, enquanto **detectores de Múons respondem a energias de aproximadamente 50 GeV**. Isto é importante porque significa que anisotropias sinéticas correspondem a estruturas de larga escala no Vento Solar perturbado.

Com maiores energias os muons viajam na Atmosfera guardando as informações da direção incidente de raios cósmicos primários. É possível de se realizar uma medida direcional da intensidade de raios cósmicos, instalando-se telescópios multidirecionais em uma única estação. Entretanto, a atual rede de detecção apresenta uma falha de estações no Hemisfério Oeste. A Figura 3.2 (a) apresenta esta falha. Os símbolos – quadrados, triângulos e diamantes – mostram a direção de visão assintótica de partículas de raios cósmicos incidentes em cada telescópio direcional, - Munakata et al., 2000 -, da rede antes da instalação do detector protótipo no Brasil. As linhas finas através dos símbolos compriendem 80% da resposta de energia de cada canal direcional – Bieber et al., 2001 – como na Figura 3.2.

Esta demonstra a necessidade de um novo detector de muons para preencher a faha existente sobre o Atlantico e a Europa, e também a posterior cobertura após a expansão da rede de telescópios com a instalação de um detector de grande porte em São Martinho da Serra, Figura 3.1 (b). Esta sendo planejada a expansão da matriz de 2x2 – Figura 3.3 -, 1 m<sup>2</sup>, de detectores para uma matriz de 6x6. Esta expansão aumentará o número de canais direcionais da intensidade de raios cósmicos para 17 – em relação a 9 no presente momento -, assim como a razão de contagem em cada canal.



(a)



(b)

Figura 3.2 – (a) Falha existente antes da instalação do detector protótipo de muons no OES/CRSPE/INPE-MCT. (b) Proposta da expansão da rede de detectores de múons. Fonte: Munakata et al., 2000.

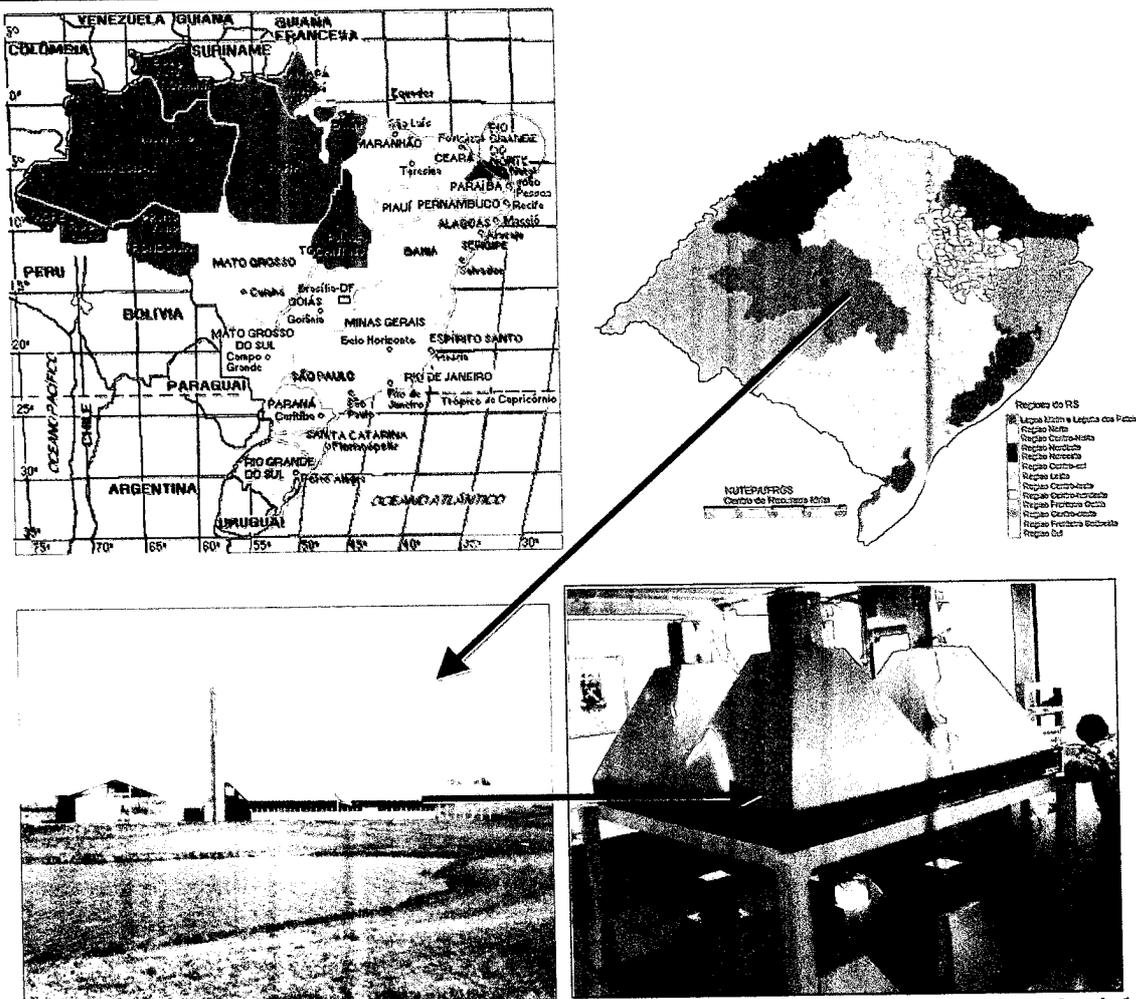


Figura 3.3 – Localização Geográfica no Brasil, Rio Grande do Sul, em São Martinho de Serra, do detector de muons, Telescópio Multidirecional de Muons estabelecido no Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – OES/CRSPE/INPE-MCT.

### 3.1.2 – Anisotropias Precursoras de Tempestades Geomagnéticas

Enquanto a relação entre Ejeções Coronais de Massa (EMC) e decréscimos Forbush de raios cósmicos está bem estabelecida, Cane 1993; Cane et al. 1994; 1996, é menos reconhecido que decréscimos de raios cósmicos são frequentemente acompanhados por fortes crescimentos da sua anisotropia, Lockwood 1971; Duggal & Pomerantz 1976; Nagashima & Fujimoto 1993, alguns dos quais se estendem a regiões à frente das ondas de choque que está se aproximando. Tais anisotropias precursoras fornecem um mecanismo chave através do qual informação acerca da presença de um distúrbio pode ser transportada para localidades remotas. Devido ao fato de raios cósmicos serem rápidos e possuírem grande livre caminho médio no vento solar, esta informação é transportada rapidamente sendo útil para a previsão do Clima Espacial.



Anisotropias precursoras têm sido geralmente interpretadas como sendo efeitos cinéticos relacionados à interação dos raios cósmicos ambientes com uma onda de choque se aproximando, Nagashima et al. 1994; Morishita et al. 1997; Bieber & Evenson 1998; Ruffolo et al. 1999; Belov et al. 2001. Decréscimos precursores podem ser resultados de um efeitos de “cone de perdas”, no qual a estação esta magneticamente conectada à região de decréscimo de raios cósmicos a frente da onda de choque. Aumentos precursores podem ser resultados de partículas que receberam uma pequena injeção de energia por reflexão na onda de choque que está se aproximando (Dorman et al. 1995).

Um exemplo de um precursor de cone de perdas observado antes de um distúrbio geomagnético intenso está mostrado na Figura 3.3, Munakata et al. 2000. Aproximadamente 8 horas antes do início súbito da tempestade, um cone de perdas está claramente presente nas observações feitas pelos detectores de muons. Isto pode ser visto no painel central onde os telescópios de muons observando na direção do Sol, ao longo do Campo Magnético  $0^\circ$  ângulo de *pitch*, detectam uma forte supressão da intensidade dos raios cósmicos, círculos sólidos, relativa a média omnidirecional. A explicação é que raios cósmicos vindos desta direção escaparam da região de depressão de raios cósmicos a frente da onda de choque, região de decréscimo de Forbush, e eles exibem a característica de mais baixa intensidade de sua origem. Isto parece intuitivamente razoável baseado na conservação da densidade do espaço de fase, mas é também confirmado em simulações teóricas que incluem efeitos do espalhamento do ângulo de *pitch* e focagem adiabática, Ruffolo et al. 1999.

No distúrbio Geomagnético de 9 de setembro de 1992 – Figura 3.3 -, são mostrados, em função do tempo, a partir do “Começo Súbito da Tempestade “*Storm Sudden Commencement*” – SSC”: o índice  $K_p$ , a taxa de contagens relativas do monitor de nêutrons de McMurdo de hora em hora, a distribuição do ângulo de *pitch* medida pela rede de detectores de muons, magnitude do campo magnético de hora em hora, e velocidade do Vento Solar de hora em hora., Munakata et. al. 2000.

No gráfico central da Figura 3.3, cada círculo representa uma medida horária de um único telescópio de muons, plotado para um tempo apropriado, abscissa, e ângulo de *pitch*, ordenada, para a direção de visão do telescópio. O ângulo de *pitch* é definido em relação à direção do campo magnético,  $0^\circ$  corresponde a um telescópio vendo na direção do Sol ao longo do campo. Os círculos sólidos e abertos representam, respectivamente, um excesso ou deficiência na intensidade relativa dos raios cósmicos para a média unidirecional, e o diâmetro de cada círculo é proporcional à magnitude de deficiência ou excesso, 1% escala mostrada no lado direito do gráfico.

Os círculos sólidos próximos ao ângulo de *pitch* de  $0^\circ$  durante 8 horas antes do SSC, indicam uma deficiência dos raios cósmicos que estão chegando através da direção do campo solar – Uma assinatura clássica de um cone de perda.

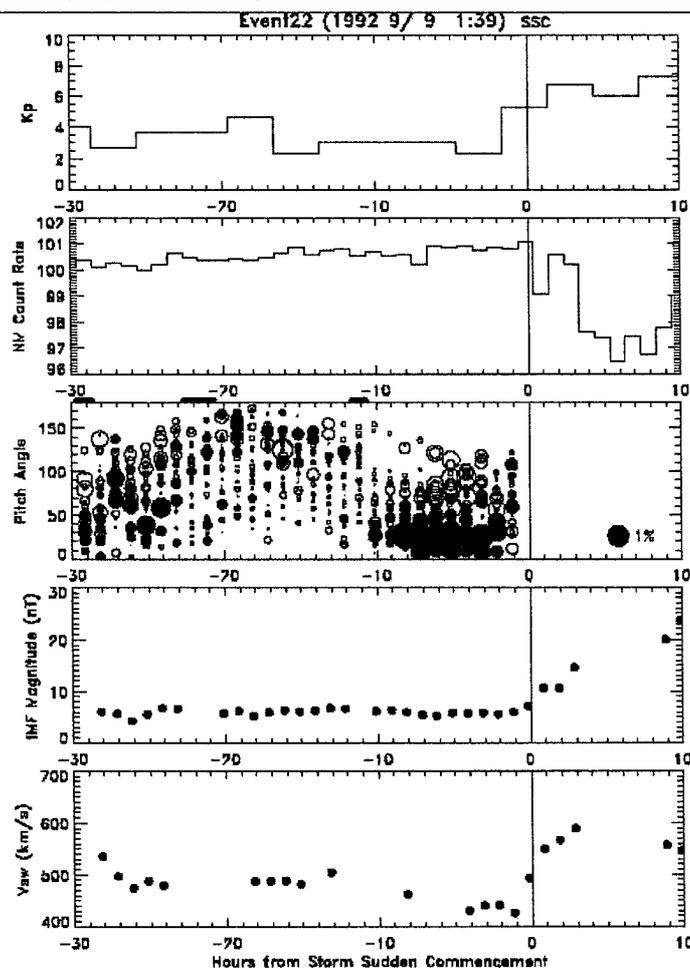


Figura 3.3 – Distúrbio Geomagnético observado pela Rede Internacional de Detectores de muons em 9 de Setembro de 1992.

### 3.2 – Descrição dos dados de Plasma e Campo Magnético Interplanetário para os Eventos de Tempestades Geomagnéticas

A seleção dos eventos de Tempestades Geomagnéticas foi realizada a fim de propiciar um estudo completo das estruturas interplanetárias dos eventos de Tempestades Geomagnéticas intensas no período de 1999 a 2002, identificadas e não identificadas pela Rede Internacional de Detectores de Múons, verificando a existência de diferenças significativas nas características das estruturas em relação a sua identificação ou não pela rede.

Os dados de plasma – velocidade do Vento Solar, temperatura e densidade de prótons, etc – e Campo Magnético Interplanetário – componentes – foram obtidos via Internet – Sistema CDA – a partir dos instrumentos a bordo dos satélites IMP-8, ACE e WIND. Através desse Sistema é possível obter arquivos de dados com os parâmetros

escolhidos de acordo com o interesse de cada usuário. A Figura 3.4 ilustra os programas referentes aos satélites citados

Dados do índice Dst, provenientes da estação de Kioto, também foram utilizados nesta análise a fim de verificar o desenvolvimento e a amplitude das tempestades em estudo. Estes dados podem ser diretamente obtidos através do endereço na Internet <http://swdcd.db.fugi.kioto-u.ac.jp/dstdir/>.

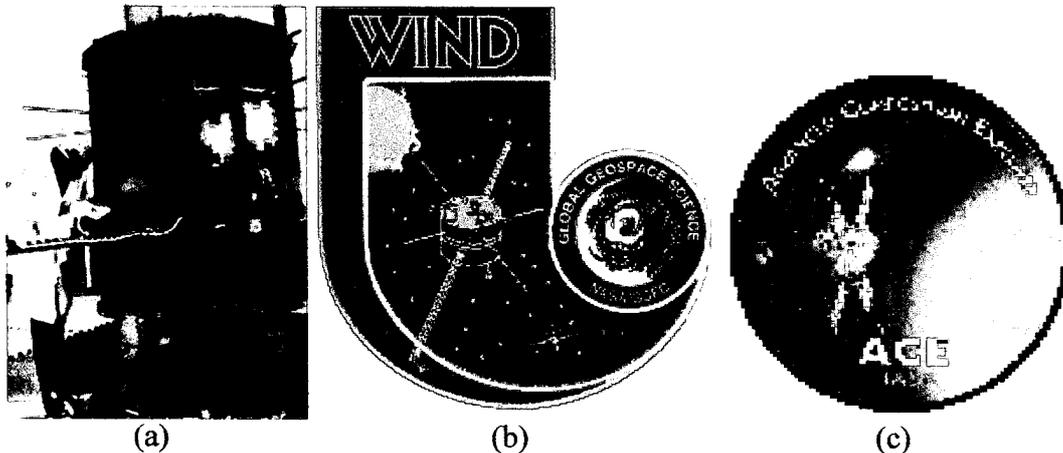


Figura 3.4 – Satélites cujos dados foram utilizados nesta análise. (a) Satélite IMP-8, (b) Satélite Wind e (c) Satélite ACE, FONTES: <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/space/imp-8.html>, <http://www-istp.gsfc.nasa.gov/istp/wind/>, <http://www.srl.caltech.edu/ace/>.

### 3.2.1 – Parâmetros medidos pelos instrumentos a bordo dos satélites

O satélite ACE orbita o ponto Lagrangeano L1, o qual é definido como um ponto de equilíbrio gravitacional no caminho Sol-Terra e está localizado a aproximadamente 1,5 milhões de quilômetros da Terra e aproximadamente 148,5 milhões de quilômetros do Sol. Com um semi-eixo de aproximadamente 200,000 km, a órbita elíptica coloca o ACE a uma visão primária do Sol e regiões galácticas. Alguns dos instrumentos a bordo do satélite são: Espectrômetro de Raios Cômicos, Espectrômetro Solar, Espectrômetro Ultra de Baixas Energias, Analisador de Partículas Energéticas Solares – Íons carregados, espectrômetro de Vento Solar – Massa e composição iônica -, Monitor de Prótons, Elétrons e partículas Alfa, Magnetômetro.

O satélite WIND foi lançado em novembro de 1994 e foi o primeiro de duas Astronaves da NASA, na iniciativa Geoespaço e Ciência Global no projeto ISTP. O satélite WIND varia sua posição manobrando do ponto L1 para a órbita da Terra, em uma trajetória variável e complexa, mudando constantemente. Os objetivos científicos da missão WIND são: Prover estudos completos sobre plasma, partículas energéticas e campo magnético; investigação de processos básicos de plasma que ocorrem nas proximidades próximas da Terra/Vento Solar. Os principais instrumentos a bordo do WIND são: Analisador de Plasma; Investigador de Campos Magnéticos; Experimento de Vento Solar; Espectrômetro de Raios Gama; Instrumento de Rádio e Ondas de Plasma, Aceleração de

partículas energéticas, Composição e transporte; Estudo da Composição Iônica do Vento Solar.

O satélite IMP-8 foi lançado pela NASA em 26 de Outubro de 1973, com o objetivo de realizar medidas contínuas de parâmetros de: campos magnéticos, plasmas, partículas energéticas carregadas – raios cósmicos – na região da *Magnetotail* e *Magnetosheat* nas proximidades Terra/Vento Solar. O último dos 10 satélites IMP – *Interplanetary Monitoring Plataform* -, lançado a 11 anos, continua em operação até os dias de hoje em sua órbita a aproximadamente 35 raios terrestre. Este satélite é um importante adjunto do Programa Internacional – *Solar Terrestrial Physics Program* -, produzindo uma base de dados de extrema importância para o melhor entendimento dos processos físicos solares. Os principais instrumentos a bordo do satélite IMP-8 são: Magnetômetro, investigador de Vento Solar, Analisador de Plasma Magnetosférico e Analisador de Ondas Elétricas/Magnéticas. A Figura 3.5 mostra o ponto Lagrangeano L1 onde estão localizados os satélites.

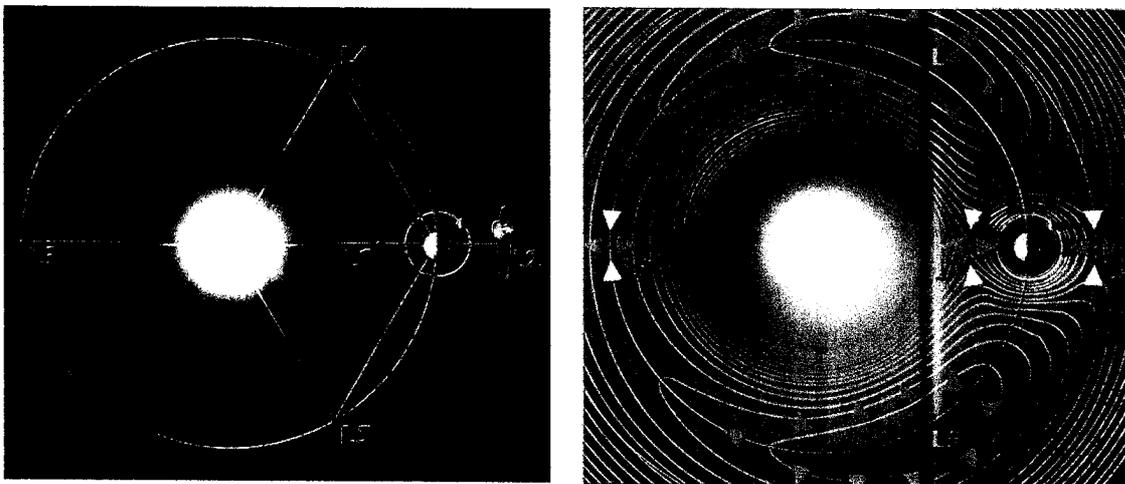


Figura 3.5 – Ilustração do ponto Lagrangeano L1. Fonte: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/>

### 3.2.2 – Ferramenta para visualização dos dados dos satélites

Para a visualização e posterior análise dos parâmetros interplanetários provenientes dos satélites foi necessária uma familiarização com a linguagem de programação em MATLAB – “MATrix LABoratory” -. Este pacote foi escolhido por apresentar recursos gráficos e matemáticos superiores a de outros softwares conhecidos.

Foi desenvolvido um programa que providência a leitura de arquivos de dados e posteriormente gera um arquivo reduzido. A partir destes arquivos reduzidos é possível a plotagem e manipulação dos dados utilizando rotinas disponíveis no MATLAB.

Os programas fontes estão apresentados no Anexo 1. Este programa além de ter facilitado o desenvolvimento desta análise, e propiciado um importante contato com uma linguagem de programação, poderá ser utilizado futuramente na realização de outros estudos, bem como por diferentes usuários ou outros dados cujos arquivos sejam semelhantes ao arquivo de dados dos satélites.



## CAPÍTULO 4

### ANÁLISES E RESULTADOS

Este Capítulo abordará uma análise dos parâmetros interplanetários dos eventos de Tempestades Geomagnéticas Intensas ( $Dst < -100nT$ ) no período de 1999 a 2002. Foram analisadas 3 Tempestades Geomagnéticas em especial. Uma discussão das principais características de cada evento específico será apresentada com o objetivo de avaliar as diferenças entre as estruturas interplanetárias de cada tempestade analisadas.

A Tempestade Geomagnética do dia 22 de Outubro de 1999, foi causada por uma ejeção, como é característico pelo aumento da componente  $B(nT)$  e o pico do índice  $Dst$  em  $-237 nT$ , esta tempestade será descrita com detalhes a seguir para que tenhamos um entendimento melhor do seu mecanismo. O evento do dia 6 de Abril de 2000, foi causado por uma onda de choque que se caracteriza pelo aumento súbito do Campo Magnético Interplanetário, aumento na temperatura de prótons, aumento na velocidade do Vento Solar. Esta onda de choque não estava acompanhada de uma ejeção, indicado que possivelmente a Terra não estava em uma rota de colisão com a ejeção, apenas com o choque por ela produzido, seu pico do índice  $Dst$  é de  $-288 nT$ . O evento do dia 11 de Abril de 2001 foi causado por uma nuvem magnética caracterizada por aumento abrupto da velocidade, campo magnético e temperatura, o pico do  $Dst$  para esta tempestade foi de  $-236 nT$ .

No período de 1999 a 2002 ocorreram outras Tempestades Geomagnéticas Intensas ( $Dst < -100nT$ ) que foram analisadas e confeccionados gráficos mostrando parâmetros de plasma, campo magnético e índice  $Dst$ . Estes gráficos estão apresentados no Anexo 4 deste relatório.

#### **4.1 – Análise dos Parâmetros Interplanetários dos Eventos de Tempestades Geomagnéticas**

Para cada evento estão representados os gráficos com as respectivas análises do comportamento dos dados.

##### **4.1.1 – Evento do dia 22 de Outubro de 1999**

Este evento foi causado por uma onda de choque seguida por uma estrutura de ejeção que não apresenta as características de nuvem magnética, esta estrutura apresenta campo magnético bastante intenso, da ordem de  $20 nT$ , exceto na parte traseira, onde este apresenta valores bem mais intensos, atingindo  $\sim 36 nT$ . O provável responsável pela compressão do campo interno da ejeção foi um balanço de pressões na interfase entre a ejeção e a estrutura. Esta pressão foi exercida por um feixe rápido logo atrás da estrutura e causou a elevação de seu campo magnético, justamente quando este se encontrava direcionado para o sul.



A Figura 4.1 apresenta, de cima para baixo, a intensidade do campo magnético interplanetário observado em L1, juntamente com suas 3 componentes,  $B_z$ ,  $B_y$  e  $B_x$ , a velocidade, a densidade numérica e a temperatura dos prótons no mesmo ponto L1, e o índice de atividade da corrente de anel magnetosférica Dst, para o período de 20 à 23 de Outubro de 1999, o pico negativo do índice Dst chegou a  $-237$  nT. Este gráfico foi cortesia de N. Ness, Bartol Research Institute, D. J. McComas, SWRI e CDAWeb, e WDC-Kyoto.

A Figura 4.2 apresenta, de cima para baixo, os parâmetros retirados do satélite ACE, no dia 22 de Outubro de 1999, os quais foram analisados pelo aluno no programa desenvolvido em linguagem de programação MATLAB. A Figura 4.2, mostra as principais características causadas por uma ejeção, como é caracterizado pelo aumento da componente  $B$ (nT), aumento súbito da temperatura de prótons, densidade numérica e velocidade do Vento Solar.

A Figura 4.3 mostra o instrumento LASCO C2 que observou uma CME halo parcial, que cobria aproximadamente 210 graus ao redor do Sol, a partir das 00:06 UT do dia 18 de outubro. Uma velocidade de expansão de  $\sim 546$  km/s. Esta CME teve um tempo de viagem até a Terra de  $\sim 73$  h.

Após observarmos e analisarmos os parâmetros mostrados graficamente, concluímos que a principal causa interplanetária desta tempestade foi compressão traseira do campo magnético de uma ejeção exercida por um feixe rápido. É importante salientar que este evento ainda não foi totalmente explicado, sendo ainda motivo de estudo.

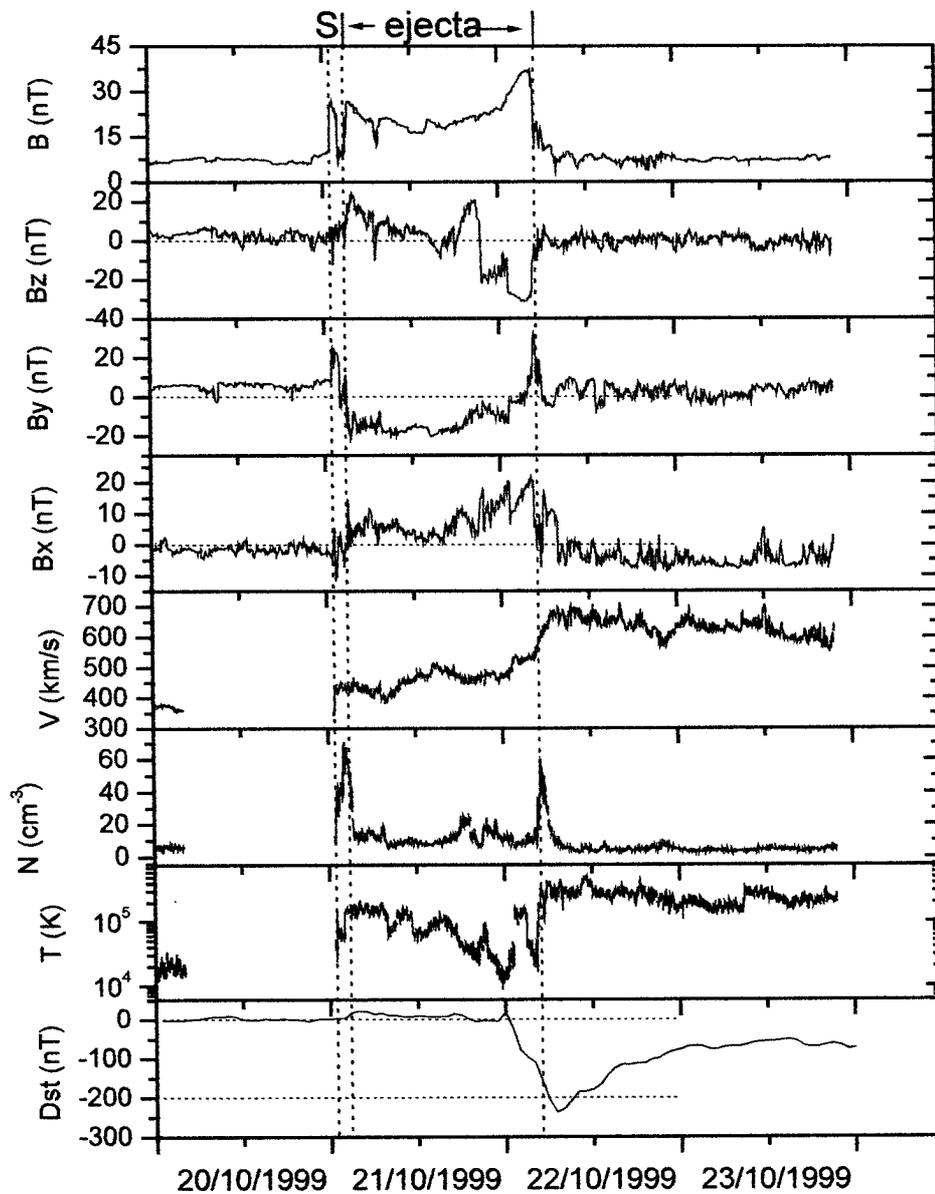


Figura 4.1 – Parâmetros, de cima para baixo: Campo Magnético Total e suas 3 componentes, Velocidade, Densidade e Temperatura de Prótons, e índice Dst. Fonte: tese de Doutorado em Geofísica Espacial; Estudo de estruturas MHD geofetivas no meio interplanetário e suas origens solares, Ano de obtenção: 2003; Alisson Dal Lago. Cortesia de N. Ness, Bartol Research Institute, D. J. McComas, SWRI e CDAWeb, e WDC-Kyoto.

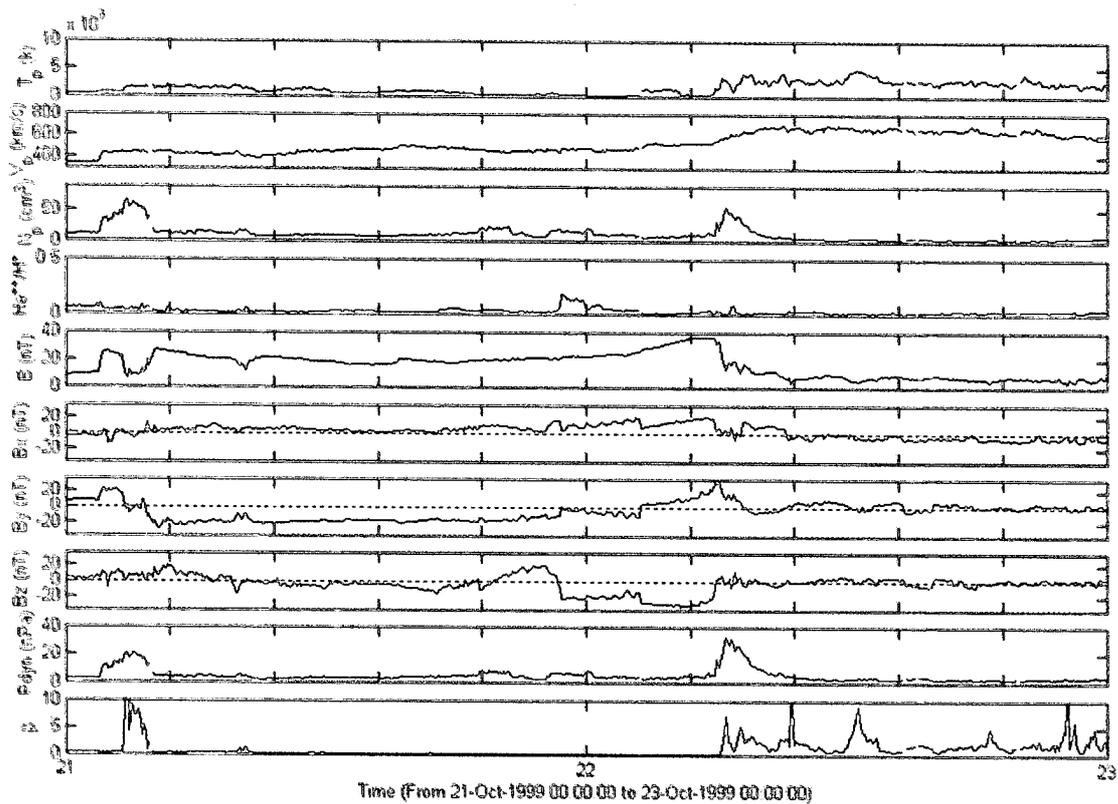


Figura 4.2 – Parâmetros, de cima para baixo: temperatura, velocidade e densidade de prótons, concentração de  $\text{He}^{++}/\text{H}^+$ , campo magnético total e suas 4 componentes, pressão dinâmica e  $\beta$  de plasma.

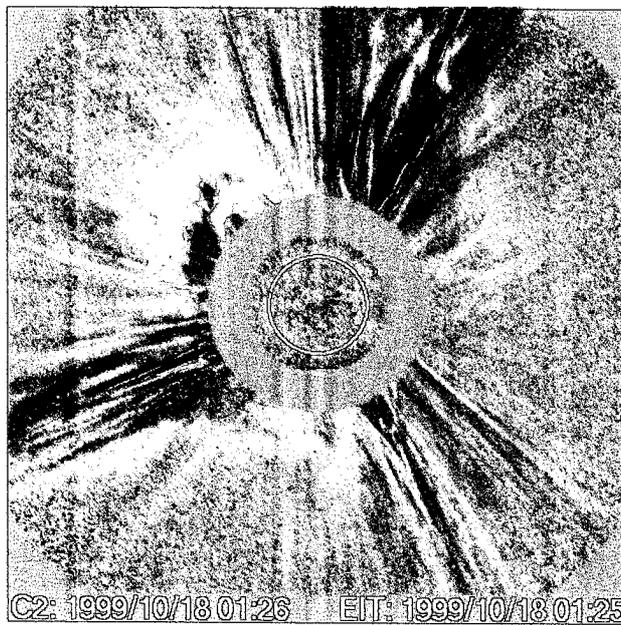


Figura 4.3 – CME observada pelo instrumento LASCO C2, FONTE: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/>



#### 4.1.2 – Evento do dia 6 de Abril de 2000

O evento do dia 6 de Abril foi causado por uma onda de choque “S”, observada pelo satélite ACE às 16:02 UT. Uma onda de choque se caracteriza pelo aumento súbito do Campo Magnético Interplanetário, aumento da temperatura de prótons e aumento na velocidade do Vento Solar. Esta onda de choque não estava acompanhada de uma ejeção – nuvem magnética –, indicando que possivelmente a Terra não estava em rota de colisão com a ejeção, apenas com o choque por ela produzido.

Uma enorme compressão do campo magnético ocorre devido a esta onda de choque, passando de valores  $\sim 7$  nT antes do choque, para valores superiores a 25 nT após o choque, compressão esta permanecendo por um período de aproximadamente 18 h. Logo após o choque, o campo está fortemente direcionado para o sul, permanecendo assim por um tempo aproximado de 10 h. Neste mesmo período, a velocidade de prótons era pouco inferior a 600 km/s. Esta combinação de fatores fez com que o pico negativo do índice Dst atingisse o valor  $-321$  nT.

A Figura 4.4 apresenta, de cima para baixo, a intensidade do campo magnético interplanetário observado em L1, juntamente com suas 3 componentes, Bz, By e Bx, a velocidade, a densidade numérica e a temperatura dos prótons no mesmo ponto L1, e o índice de atividade da corrente de anel magnetosférica Dst, para o período de 5 à 10 de Abril de 2000, o pico negativo do índice Dst chegou a  $-321$  nT. Este gráfico foi cortesia de N. Ness, Bartol Research Institute, D. J. McComas, SWRI e CDAWeb, e WDC-Kyoto.

A Figura 4.5 apresenta, de cima para baixo, os parâmetros retirados do satélite ACE no dia 6 de Abril de 2000, os quais foram analisados pelo aluno no programa desenvolvido em linguagem de programação MATLAB. A Figura 4.5 mostra as principais características causadas por uma onda de choque, como é caracterizado pelo aumento da componente B(nT) aumento súbito da temperatura de prótons, densidade numérica e velocidade do Vento Solar.

A Figura 4.6 mostra o instrumento LASCO C2, que observou uma CME halo completo a partir das 16:32 UT, tendo sido medida uma velocidade de expansão de 1927 km/s. Esta CME, embora relacionada a atividade bastante afastada do meridiano central, estava relacionada a onda que atingiu a Terra  $\sim 47$  h, depois de sua primeira observação no LASCO C2.

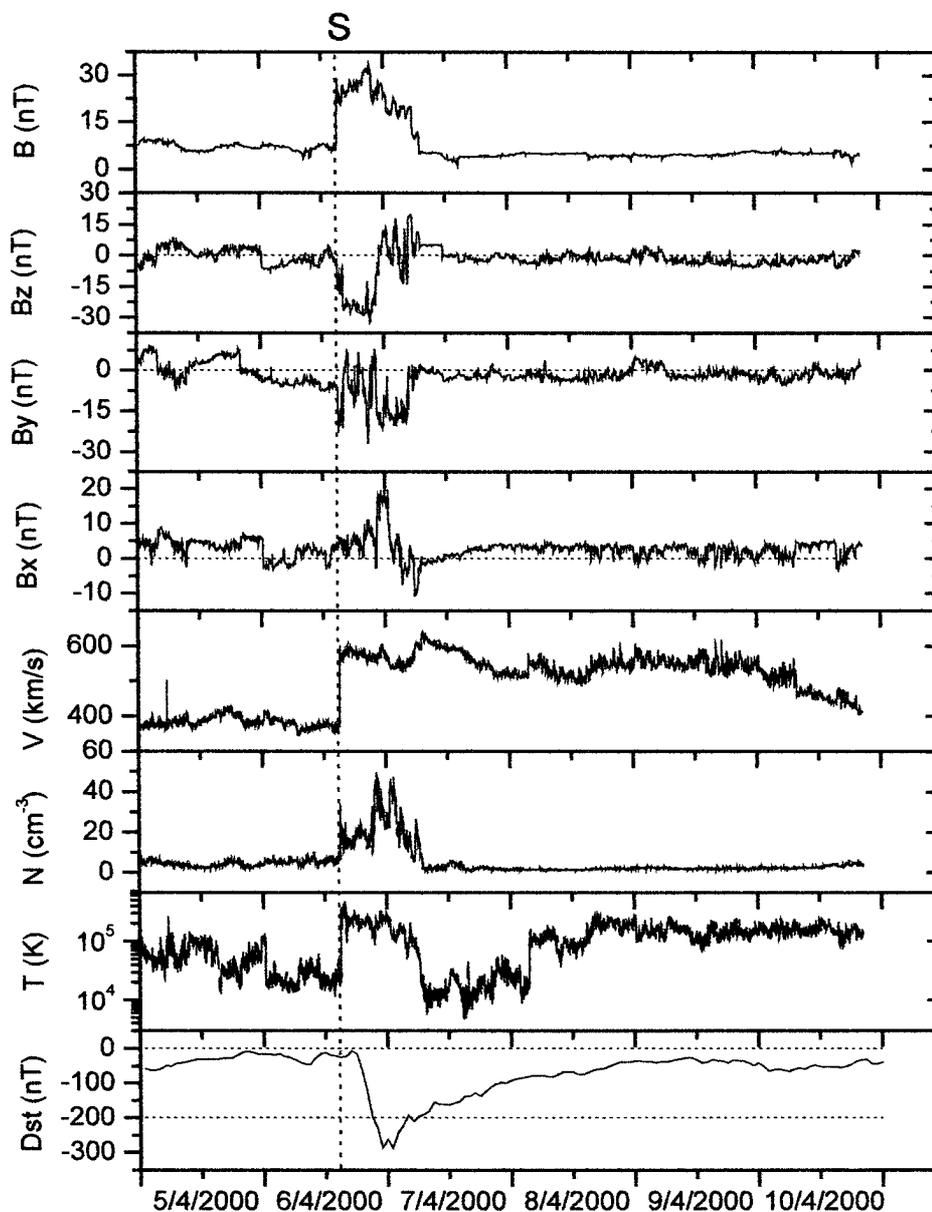


Figura 4.4 – Parâmetros, de cima para baixo: campo magnético total e suas 3 componentes, velocidade, densidade e temperatura de prótons, e índice Dst. Fonte: tese de Doutorado em Geofísica Espacial; Estudo de estruturas MHD geofetivas no meio interplanetário e suas origens solares, Ano de obtenção: 2003; Alisson Dal Lago, Cortesia de N. Ness, Bartol Research Institute, D. J. McComas, SWRI e CDAWeb, e WDC-Kyoto.

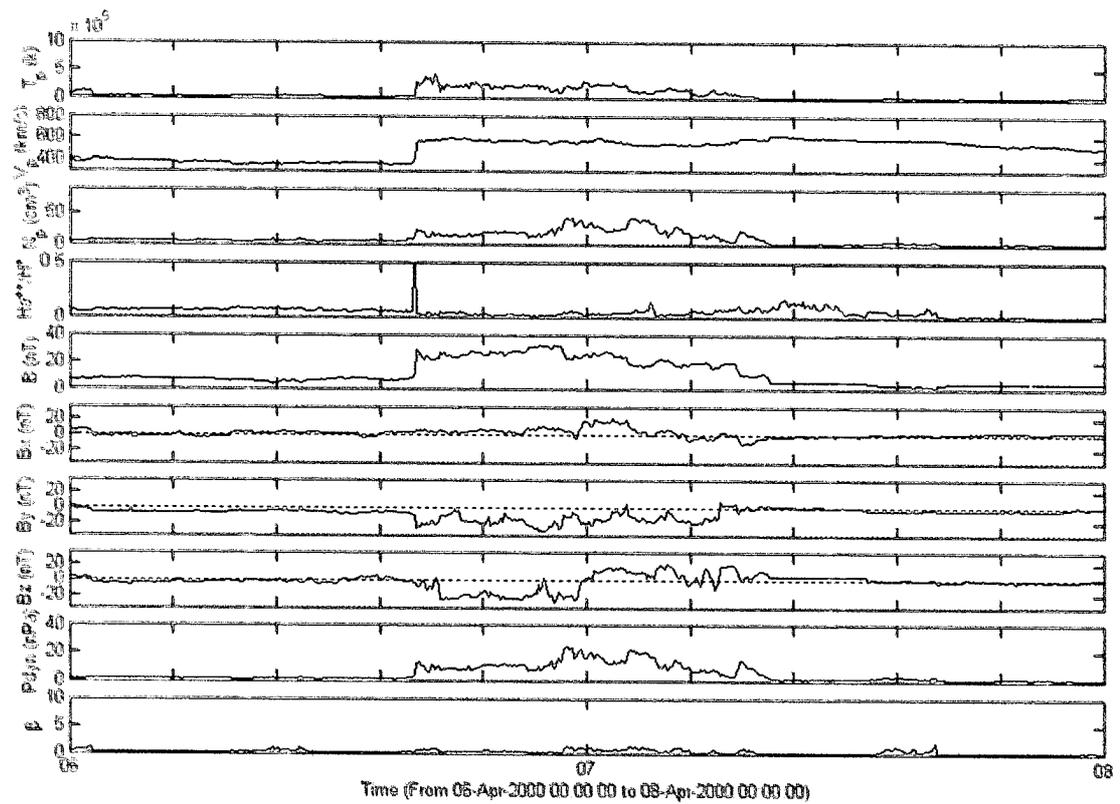


Figura 4.5 – Parâmetros, de cima para baixo: temperatura, velocidade e densidade de prótons, concentração de  $\text{He}^{++}/\text{H}^+$ , campo magnético total e suas 4 componentes, pressão dinâmica e  $\beta$  de plasma.

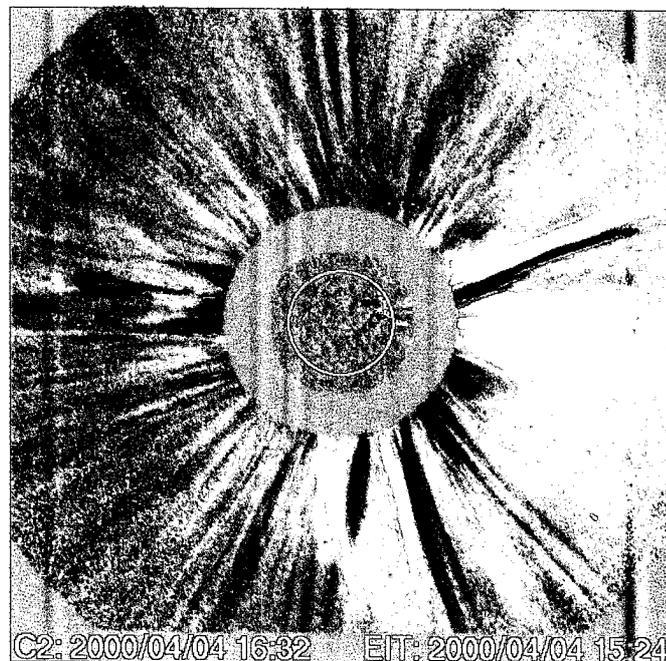




Figura 4.6 – CME observada pelo instrumento LASCO C2, FONTE: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/>

#### 4.1.3 - Evento do dia 11 de Abril de 2001

A Tempestade Geomagnética de 11 de Abril de 2001, foi causada por uma nuvem magnética. Esta nuvem apresentou rotação da componente Bz de sul para norte. Precedendo a nuvem havia 2 ondas de choque “S1” e “S2” - Figura 4.7 -. Após a segunda onda de choque “S2” observaram-se várias oscilações rápidas na componente Bz na bainha, as quais iniciaram a tempestade, intensificada pelo campo Bs interno da nuvem logo em seguida. O pico negativo do índice Dst foi de  $-251$  nT às 00:00 UT do dia 12 de abril. Portanto esta tempestade foi causada pela combinação do campo magnético comprimido da bainha e o campo magnético interno da nuvem.

A Figura 4.8 apresenta, de cima para baixo, os parâmetros retirados do satélite ACE no dia 11 de Abril de 2001, A Figura 4.8 mostra as principais características causadas por uma nuvem magnética, como é caracterizado pelo aumento da componente B(nT) aumento súbito da temperatura de prótons, densidade numérica e velocidade do Vento Solar.

Na Figura 4.9 uma CME halo completa foi observada pelo LASCO, no dia 9 de Abril, a partir das 15:54 UT com uma velocidade de expansão de  $1905$  km/s. Foi observado no dia 10 de Abril uma outra CME halo completa pelo LASCO a partir das 05:30 UT com uma velocidade de expansão de  $2679$  km/s. Partículas energéticas foram observadas atingindo as CCDs de EIT e LASCO, aproximadamente após as 08:30 UT. Esta CME teve um tempo de viagem até a Terra de aproximadamente 34 h. Por razões cronológicas não consideramos que haja associação inequívoca entre a CME do dia 9 onda de choque “S1” e do dia 10 onda de choque “S2” seguida da nuvem magnética.

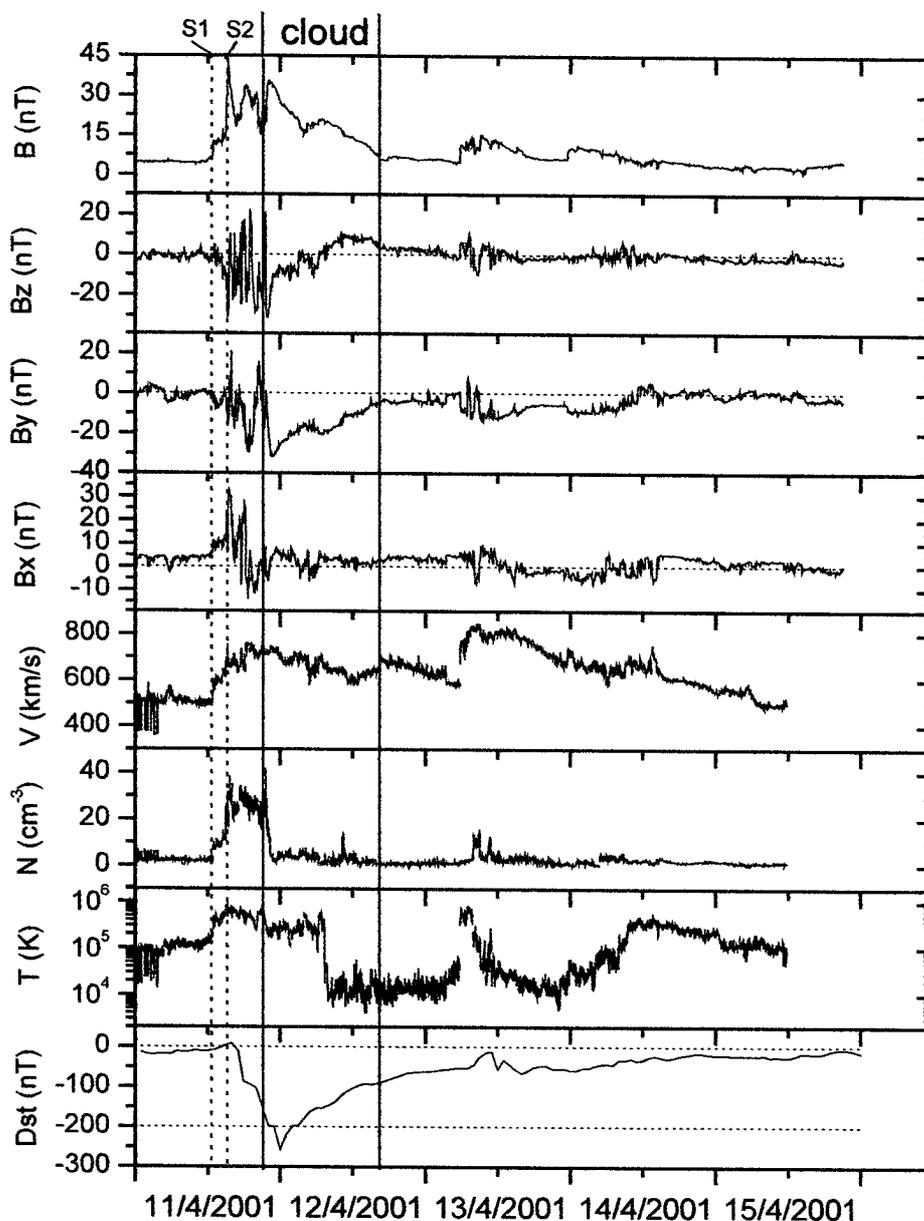


Figura 4.7– Parâmetros, de cima para baixo: campo magnético total e suas 3 componentes, velocidade, densidade e temperatura de prótons, e índice Dst. Fonte: tese de Doutorado em Geofísica Espacial; Estudo de estruturas MHD geofetivas no meio interplanetario e suas origens solares, Ano de obtenção: 2003; Alisson Dal Lago. Cortesia de N. Ness, Bartol Research Institute, D. J. McComas, SWRI e CDAWeb, e WDC-Kyoto.

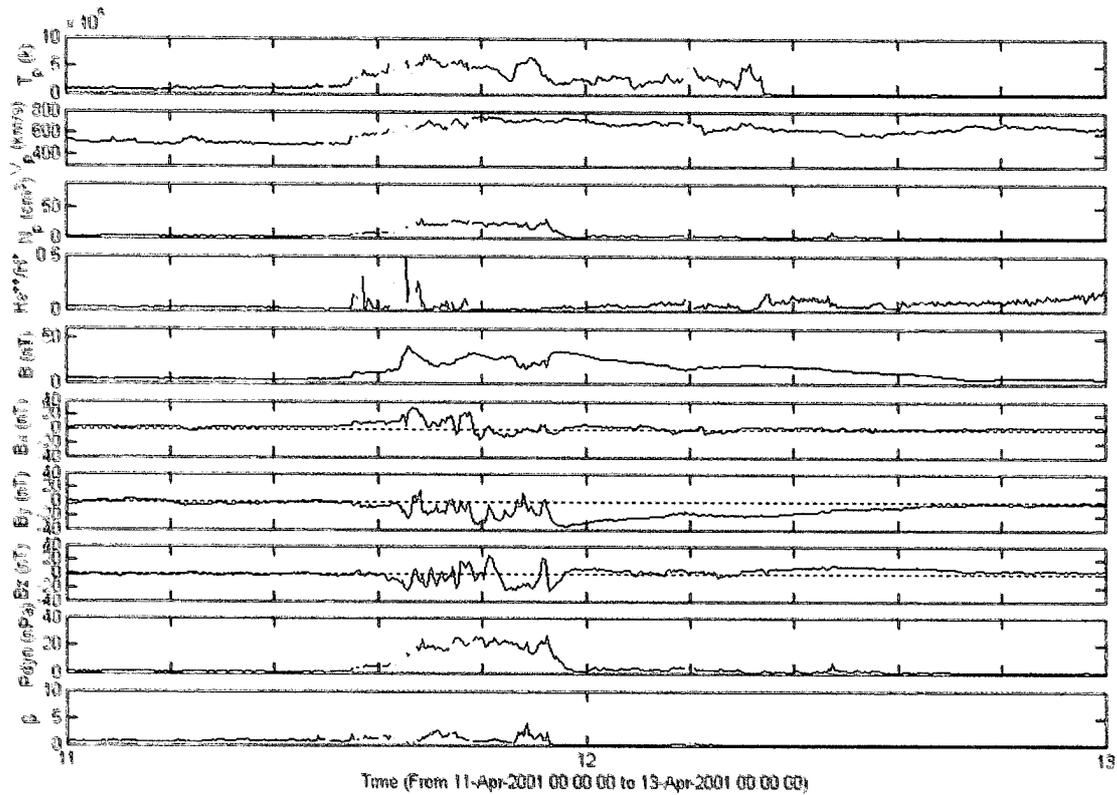


Figura 4.8 – Parâmetros, de cima para baixo: temperatura, velocidade e densidade de prótons, concentração de  $He^{++}/H^+$ , campo magnético total e suas 4 componentes, pressão dinâmica e  $\beta$  de plasma.

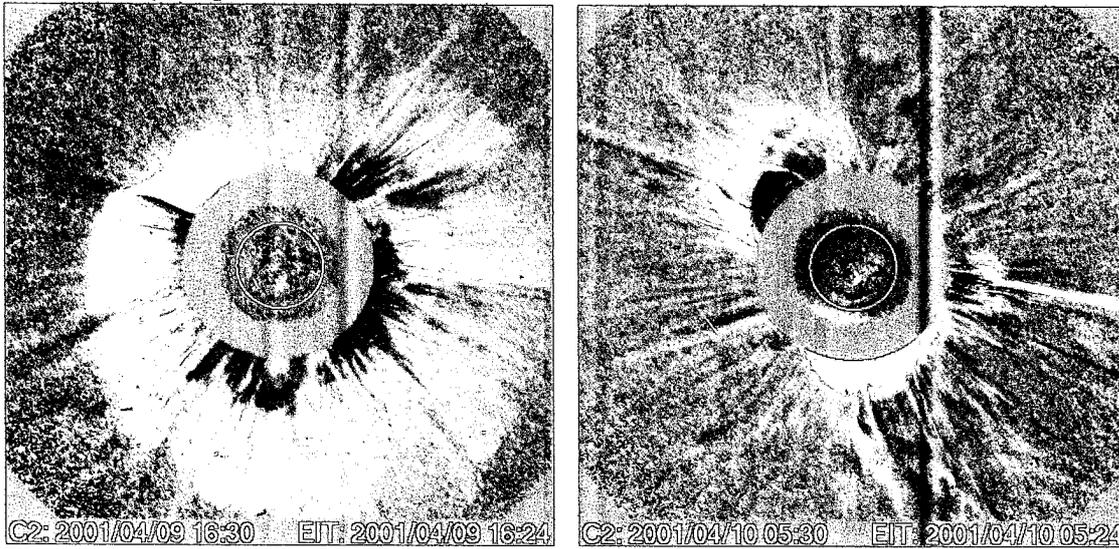


Figura 4.9 – CME observada pelo instrumento LASCO C2, FONTE: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/>



## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES FINAIS

As Estruturas Interplanetárias são elementos importantes em estudos relacionados à variabilidade do Clima Espacial, uma vez que o conhecimento de sua chegada e ação no meio interplanetário fornece informações significativas a respeito do desenvolvimento de Tempestades Geomagnéticas cujos efeitos, como discutidos em capítulos anteriores, ocorreram de maneiras diversas sobre o ambiente Terrestre. Portanto o monitoramento contínuo de seus parâmetros é necessário para um melhor entendimento e previsão do chamado Clima Espacial.

O desenvolvimento desse Projeto de Iniciação Científica, no Programa PIBIC/INPE-CNPq/MCT foi de relevante importância, pois possibilitou inúmeros estudos teóricos sobre Dinâmica Solar, Meio Interplanetário, Tempestades Geomagnéticas e métodos atualmente utilizados para a previsão do Clima Espacial. A Metodologia aplicada na redução e visualização dos parâmetros de Plasma e Campo Magnético Interplanetário forneceu o contato com a linguagem de programação. O tratamento de dados possibilitou maior compreensão sobre a Dinâmica do Meio Interplanetário e os fatores que acarretam a sua variabilidade, assim como a relação existente entre Sol-Meio-Interplanetário-Magnetosfera terrestre.

Durante o período de vigência da bolsa de Iniciação Científica, diversos trabalhos foram desenvolvidos e apresentados em congressos nacionais de iniciação científica, como também em congressos internacionais. Os resumos/paper e os respectivos eventos estão listados no Anexo 2. É importante salientar a participação do bolsista na **First Latin American Advanced School on Space Environment - ASSE 2004**), Escola Avançada de Geofísica Espacial realizada no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, em São José dos Campos, SP, Brasil; e no **7<sup>th</sup> Latin-American conference on Space Geophysics - COLAGE 2004**, realizado em Atibaia, SP, Brasil e o aceite de trabalho científico para ser apresentado no **35<sup>th</sup> COSPAR Scientific Assembly, Paris, France**, que se realizará de 18 – 25 July 2004.

Como um resultado inicial verificou-se que os eventos de Tempestades Geomagnéticas Intensas,  $Dst < -100nT$ , são causadas por estruturas interplanetárias diferenciadas como mostrado nos gráficos desenvolvidos no Relatório. O Presente estudo envolveu um conjunto específico de tempestades intensas, podendo ser sugerida como análise futura. O conhecimento das origens solares de tais eventos de Tempestades Geomagnéticas é necessário, completando dessa forma, as observações interplanetárias.



## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais, Valdomiro e Antoninha, por terem me apoiado desde criança nos meus estudos. Todas as minhas conquistas são conquistas de meus progenitores;

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo suporte financeiro e ao Coordenador do Programa PIBIC/INPE-CNPq/MCT por dar oportunidades para que jovens universitários possam entrar em contato com o mundo científico durante seus cursos de graduação; no Programa PIBIC/INPE-CNPq/MCT

Aos alunos que atuam na Parceria: INPE – UFSM através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT agradeço pelo apoio técnico e grande amizade e companheirismo em todos os momentos;

Agradeço ao meu Orientador, Dr. Walter Demétrio Gonzalez-Alarcon, pela oportunidade de trabalhar neste Projeto e disponibilizar meios para que eu aprendesse vários tópicos sobre Clima Espacial;

Presto meus agradecimentos, em especial aos Pesquisadores Dr. Alisson Dal Lago, Um dos meus Co-orientadores, pelo apoio técnico e dedicação na correção e sugestão de meus trabalhos científicos e por ser um grande amigo e companheiro e ao Dr. Luiz Eduardo Vieira pelo apoio no desenvolvimento dos programas para análise de dados, amizade e dedicação;

Ao Dr. Kazuoki Munakata por disponibilizar a utilização dos dados dos detectores multidirecionais de muons, instalados em Hobart e de Nagoya e por ter sido um verdadeiro Professor e Co-Orientador neste Projeto;

Ao pessoal técnico-científico da operação das missões ACE, WIND e IMP-8, bem como o pessoal de operação da Universidade de Kyoto, por fornecerem os dados interplanetários e de superfície utilizados neste Trabalho. Dados de Campo Magnético Interplanetário e de plasma do satélite ACE, são cortesia de N. Ness, do Bartol Research Institute e D. J. McComas, SWRI, através do sistema do ISTP-CDAWeb, e dados do índice Dst são cortesia de WDC-Kyoto;

Agradecemos ao Mestrando Marlos Rockenbach da Silva, pelo apoio técnico desde o início de minhas atividades de Iniciação Científica junto ao CRSPE/INPE-MCT, pela constante atenção, sugestões e orientação no desenvolvimento de diversos estudos e pelo grande companheirismo e amizade;

Um especial agradecimento ao Dr. Nelson J. Schuch por ter revisado este trabalho e ter me confiado a responsabilidade do Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades

*Relatório Final de Atividades 2004*



Geomagnéticas e de operar o Detector de Muons do Observatório Espacial do Sul e pela constante presença em vários momentos de minha vida, demonstrando real interesse em meu desenvolvimento não só profissional como pessoal, sempre me incentivando a fazer o melhor possível, estimulando-me a desenvolver minha liberdade, imaginação e sabedoria; procurar ações e interações não só no Brasil como no Exterior

Por fim agradeço a Deus por ter me dado Vida e ter criado a complexidade dos fenômenos Físicos que tanto me fascinam.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - Dal Lago, A. Estudo de nuvens magnéticas geoféticas no meio interplanetário. São José dos Campos. 122p. (INPE – 7263 – TDI/705). Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.
- 2 - Gonzalez, W. D.; e Tsurutani, B. T. Criteria of interplanetary parameters causing intense magnetic storms ( $Dst < -100$  nT). **Planet. Space Sci.**, v.35, n.9, p.1101-1109, jul. 1987.
- 3 - Gonzalez, W. D.; Joselyn, J. A.; Kamide, Y.; Kroehl, H. W.; Rostoker, G.; Tsurutani, B. T.; e Vasyliunas, V. M. What is a magnetic storm?. **J. Geophys. Res.**, v.99, n.A4, p.5771-5792, Apr. 1994.
- 4 - Gonzalez, W. D.; Tsurutani, B. T.; Clua de Gonzalez, A. L. Interplanetary origin of geomagnetic storms. **Space Sci. Rev.** v.88, p.529-562, 1999.
- 5 - Mendes Jr. A origem interplanetária e o desenvolvimento da fase principal das Tempestades Geomagnéticas Moderadas (1978-1979). São José dos Campos. 268p. (INPE – 5445 – TDI/491). Tese (Doutoramento em Ciência Espacial/Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1992.
- 6 - 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.
- 7 - Brant, J. C.; *Introduction to the solar wind*. San Francisco: W. H. Freeman, 1970. 216p.
- 8 - Burlaga, L. F.; *Interplanetary magnetohydrodynamics*. New York: Oxford University Press, 1995, 256p.



9 - R. W. Schunk and A. F. Nagy; *Ionospheres- Physics, Plasma Physics, and Chemistry*, 2000.

10 - W. H. Campbell; *Introduction to Geomagnetic Fields*, 1997

11 - Hewish, A.; Bravo, S. *The sources of large-scale heliospheric disturbances*. Solar Phys., v.106, p.185-200, Apr. 1986.

12 - Hundhausen, A. J., *The origin and propagation of coronal mass ejections*. In: International Solar Wind Conference, 6., Boulder, 1988. Proceedings. Boulder: National Center for Atmospheric Research, 1988. p.181-214.

13 - Kamide, Y.; Baumjohann, W.; Daglis, I. A.; Gonzalez, W. D.; Grande, M.; Joselyn, J.A.; McPherron, R. L.; Phillips, J. L.; Reeves, E. G. D.; Rostoker, G.; Sharma, A. S.; Singer, H. J.; Tsurutani, B. T.; Vasyliunas, V. M.; *Current understanding of magnetic storms: storm-substorm relationships*. J. Geophys. Res., v.103, n.A8, p.17705-17728, Aug. 1998.

14 - Tsurutani, B. T.; Gonzalez, W. D.; *The interplanetary cause of magnetic storms: a review*. In: Tsurutani, B. T.; Gonzalez, W. D.; Kamide, Y.; Arballo, J. A. ed. Magnetic storms. Washington, DC: AGU, 1997. v.98, p.77-89..

15 - J. A. Simpson, W. Fonger, and S. B. Treiman, Phys. Rev., 90, 934, 1953.

16 - K. Fujimoto, S. Yasue, N. Yahagi, A. Inoue, K. Murakami, M. Kodama, I. Kondo and K. Nagashima, *Coupling coefficients of the cosmic ray variation for underground meson telescopes*, Proc. of Internat. Cosmic Ray Symposium on High Energy Cosmic Ray Modulation, University of Tokyo, pp 60-65, 1976.



17 - K. Fujimoto, A. Inoue, K. Murakami and K. Nagashima, *Coupling coefficients of the cosmic ray variation for meson telescopes*, Report of Cosmic-Ray Research Lab., No.9, Nagoya University, 1984.

18 - H. V. Cane, *Cosmic Ray Decreases and Magnetic Clouds*, J. Geophys. Res., 98, 3509-3512, 1993.

19 - H. V. Cane, I. G. Richardson, T. T. von Rosenvinger, and G. Wibberenz, *Cosmic ray decreases and shock structure: A multispacecraft study*, J. Geophys. Res., 99, 21,429-21,441, 1994.

20 - H. V. Cane, I. G. Richardson, and T. T. von Rosenvinger, *Cosmic ray decreases: 1964 - 1994*, J. Geophys. Res., 101, 21,561, 1996.

21 - J. A. Lockwood, *Forbush decreases in the cosmic radiation*, Space Sci. Rev., 12, 658, 1971.

22 - K. Nagashima, and K. Fujimoto, *Enhancement of north-south anisotropy of cosmic ray during Forbush Decrease, associated with the enhancement of the interplanetary magnetic field component perpendicular to the ecliptic plane*, Proc. 23<sup>rd</sup> Internat. Cosmic Cosmic Ray Conf. (Calgary), 3, 719-722, 1993.

23 - <http://www-istp.gsfc.nasa.gov/istp/outreach/>

24 - <http://sohowww.nascom.nasa.gov>

25 - <http://swdcdb.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/>

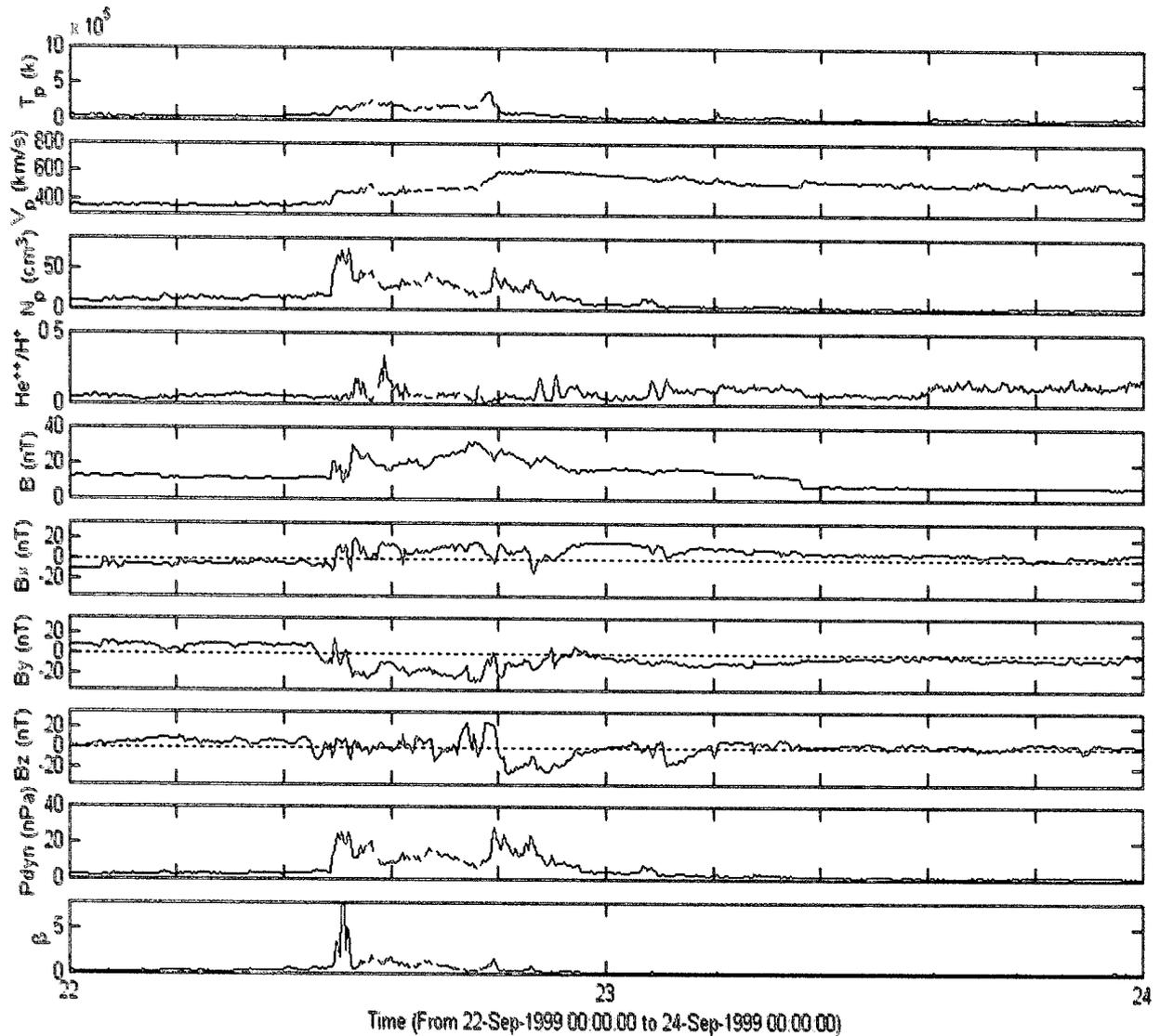
26 - <http://www.bartol.udel.edu/>

27 - <http://www.mipagina.cantv.net/aquilesr/muon.htm>

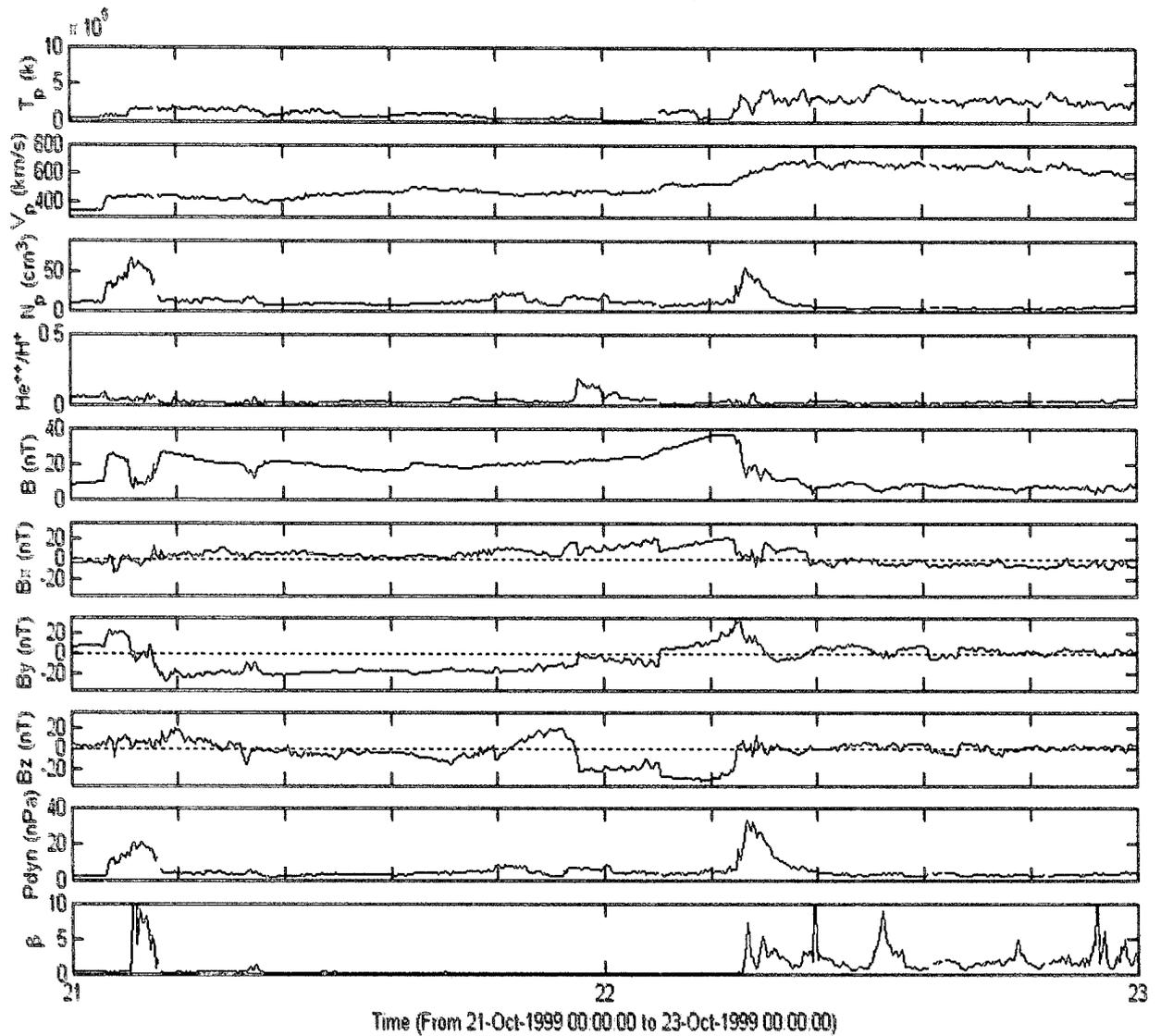
## ANEXOS

### ANEXO 1 – GRÁFICOS

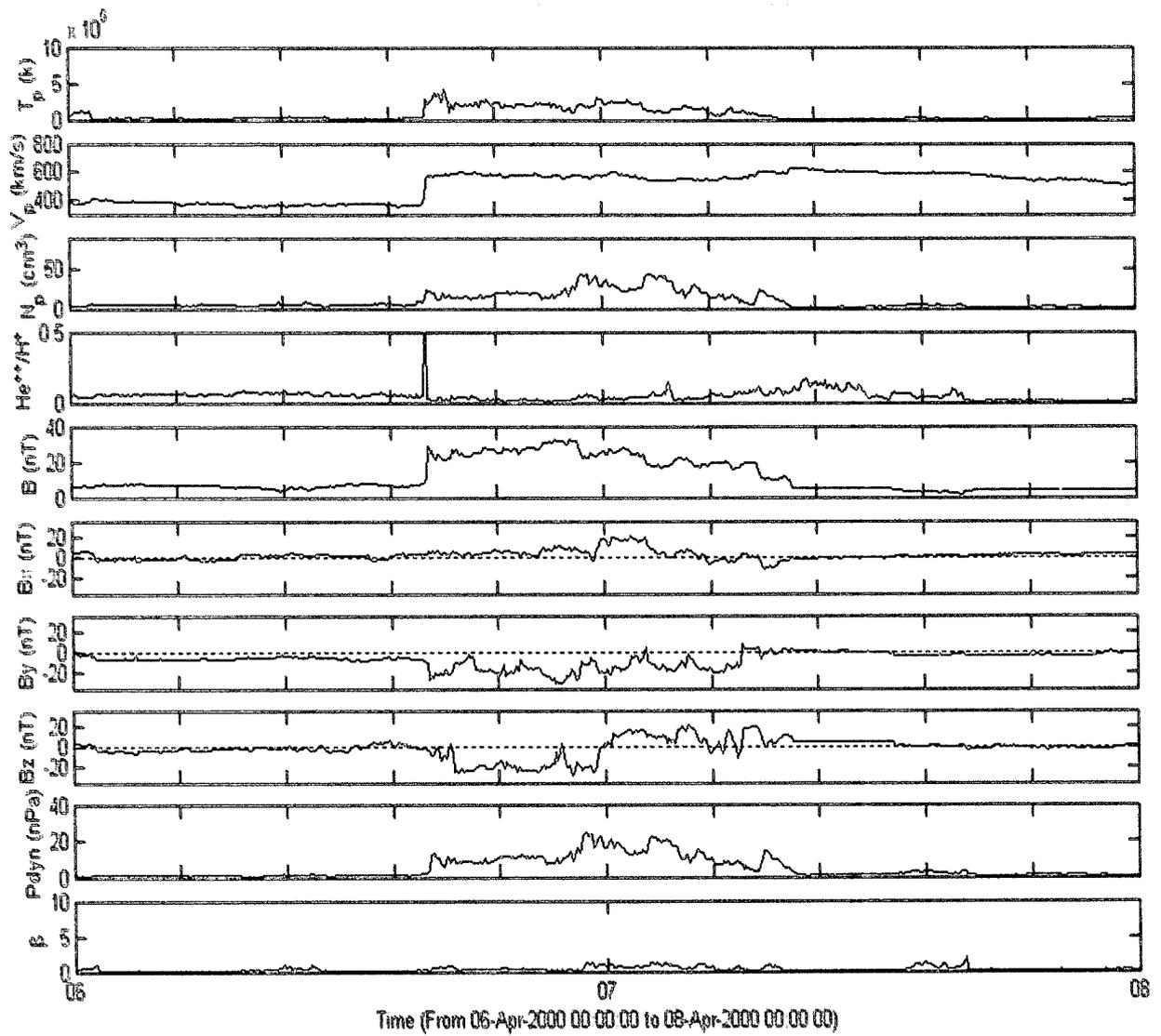
O anexo 1 contém os gráficos confeccionados pelo aluno no período da bolsa do Programa PIBIC/INPE-CNPq/MCT. Estes gráficos mostram as Tempestades Geomagnéticas Intensas no período de 1999 a 2002.



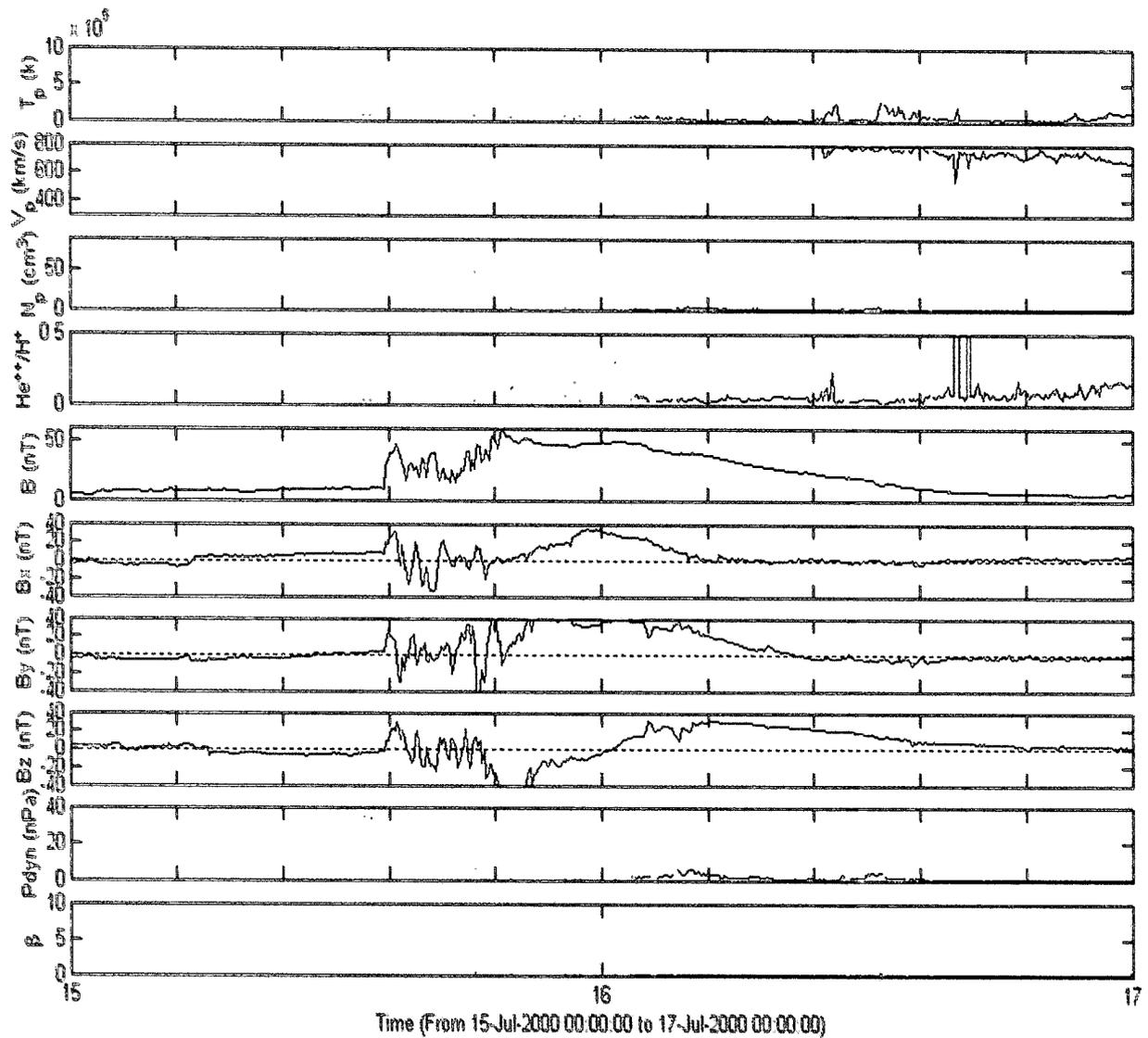
Tempestade Geomagnética de 22 de outubro de 1999, possui o pico do índice Dst em – 173nT.



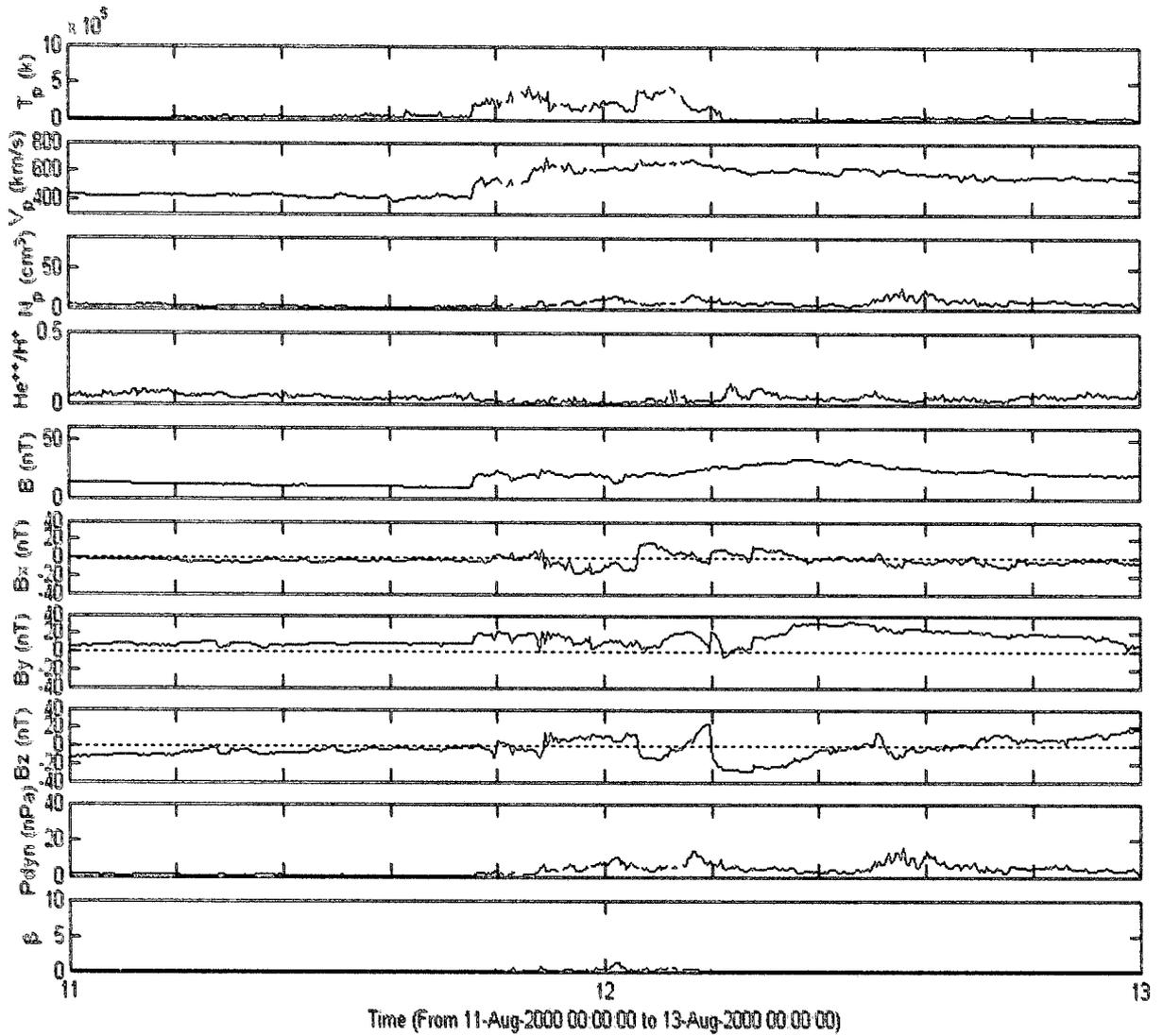
Tempestade Geomagnética do dia 21 de outubro de 1999, possui o pico do índice Dst em – 237nT.



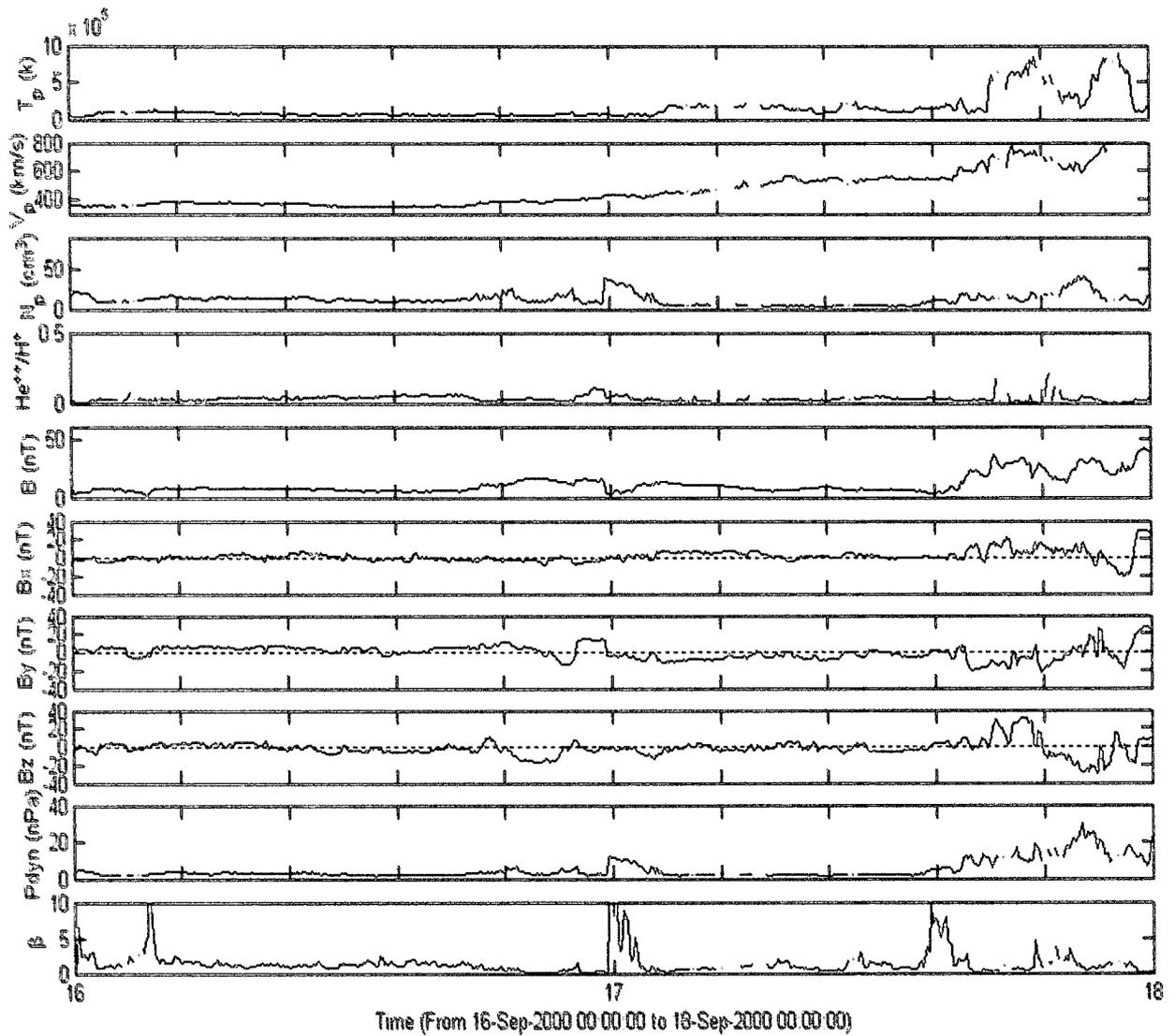
Tempestade Geomagnética do dia 6 de Abril de 2000, possui o pico do índice Dst em – 288nT.



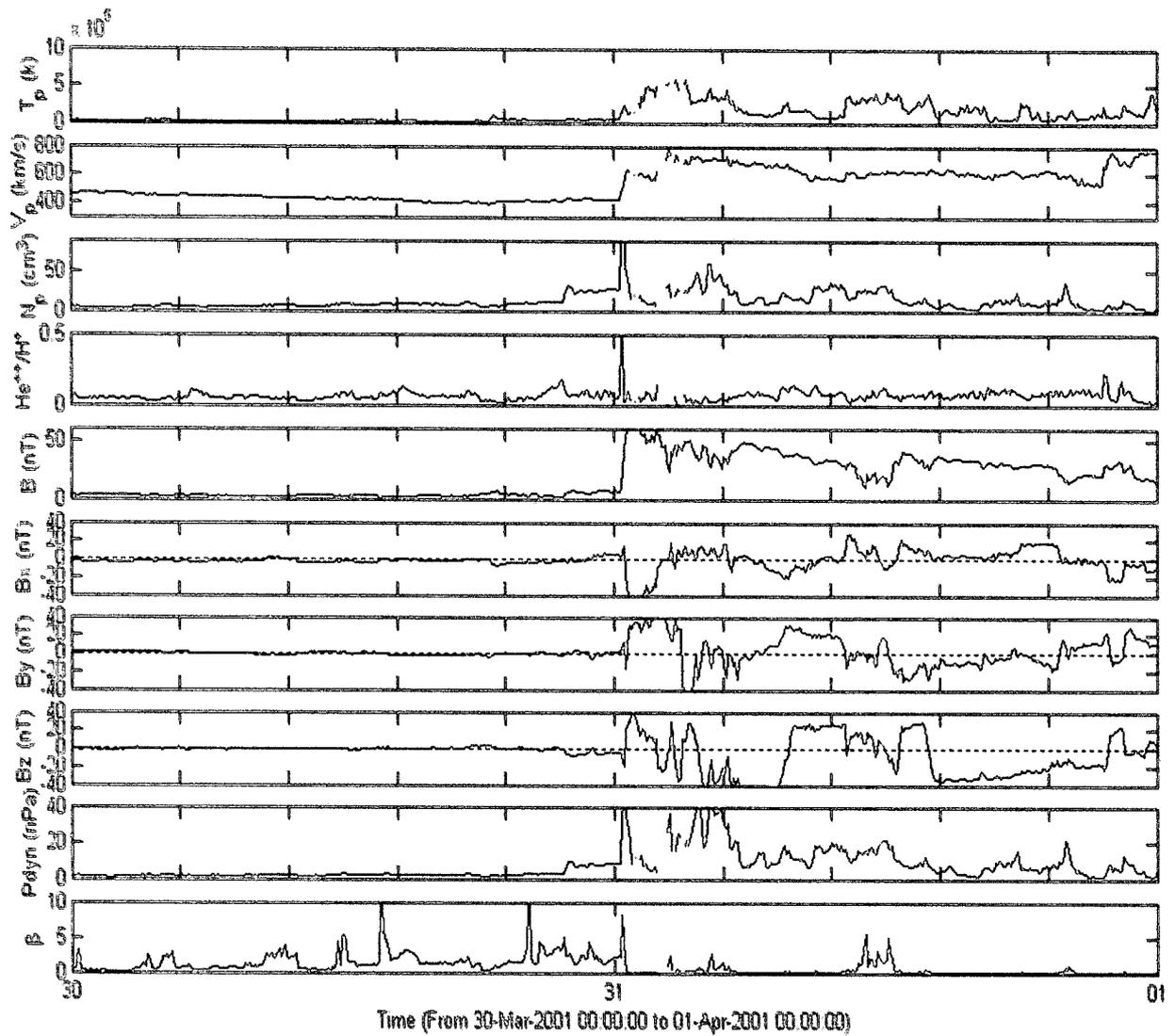
Tempestade Geomagnética do dia 16 de Julho de 2000, possui o pico do índice Dst em – 301nT.



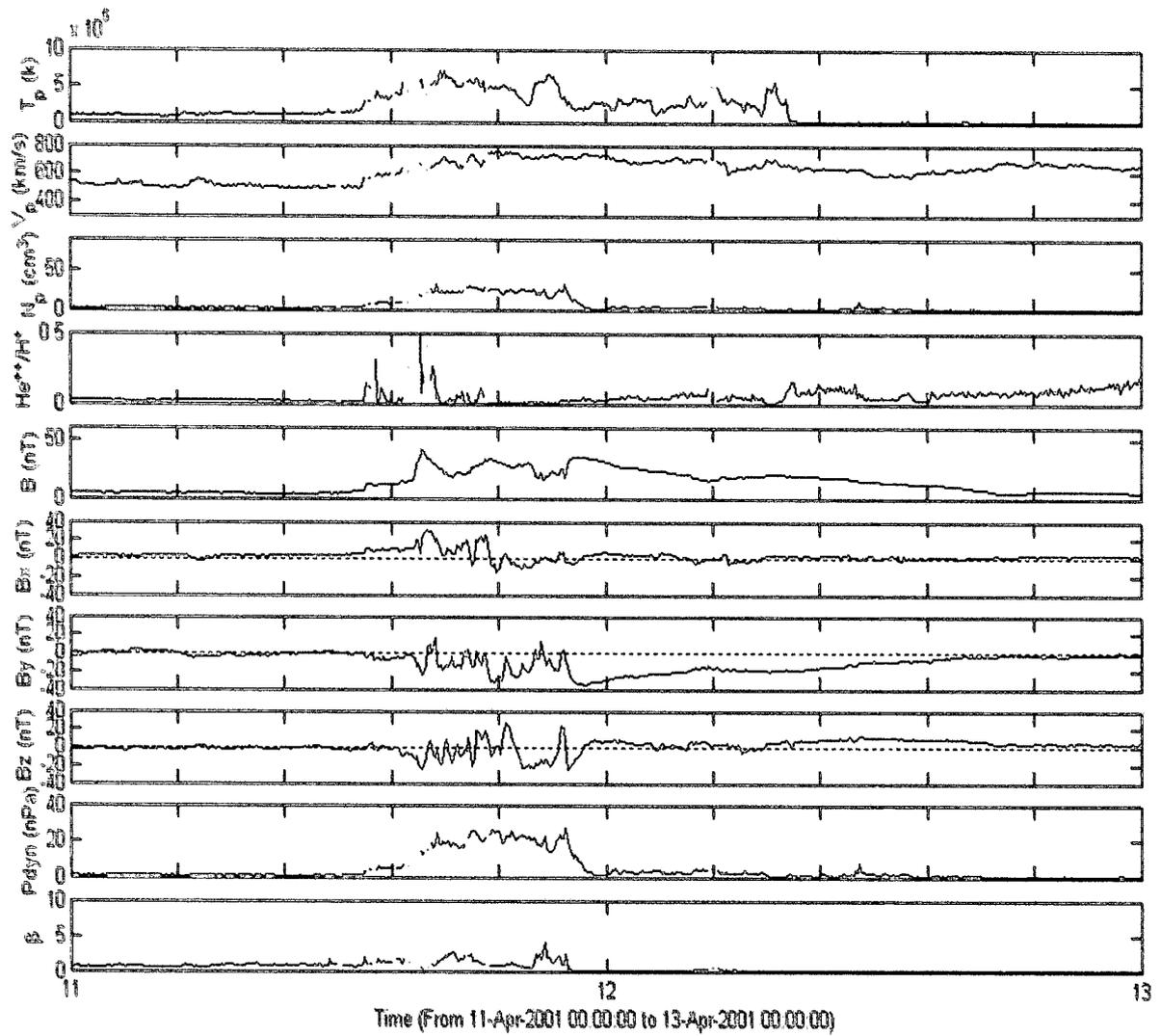
Tempestade Geomagnética do dia 12 de Agosto de 2000, possui o pico do índice Dst em – 235nT.



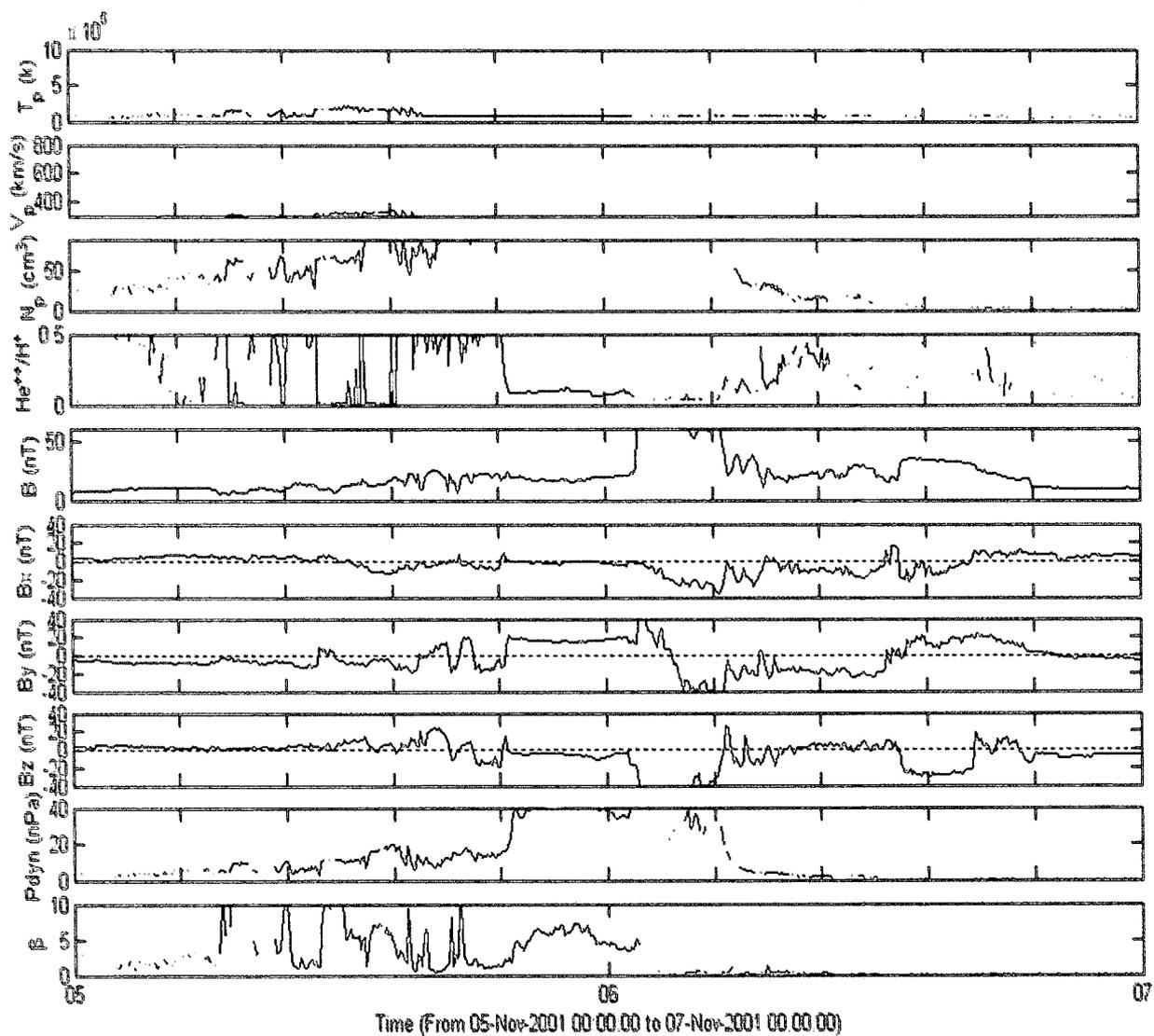
Tempestade Geomagnética do dia 17 de Setembro de 2000, possui o pico do índice Dst em  $-201\text{nT}$ .



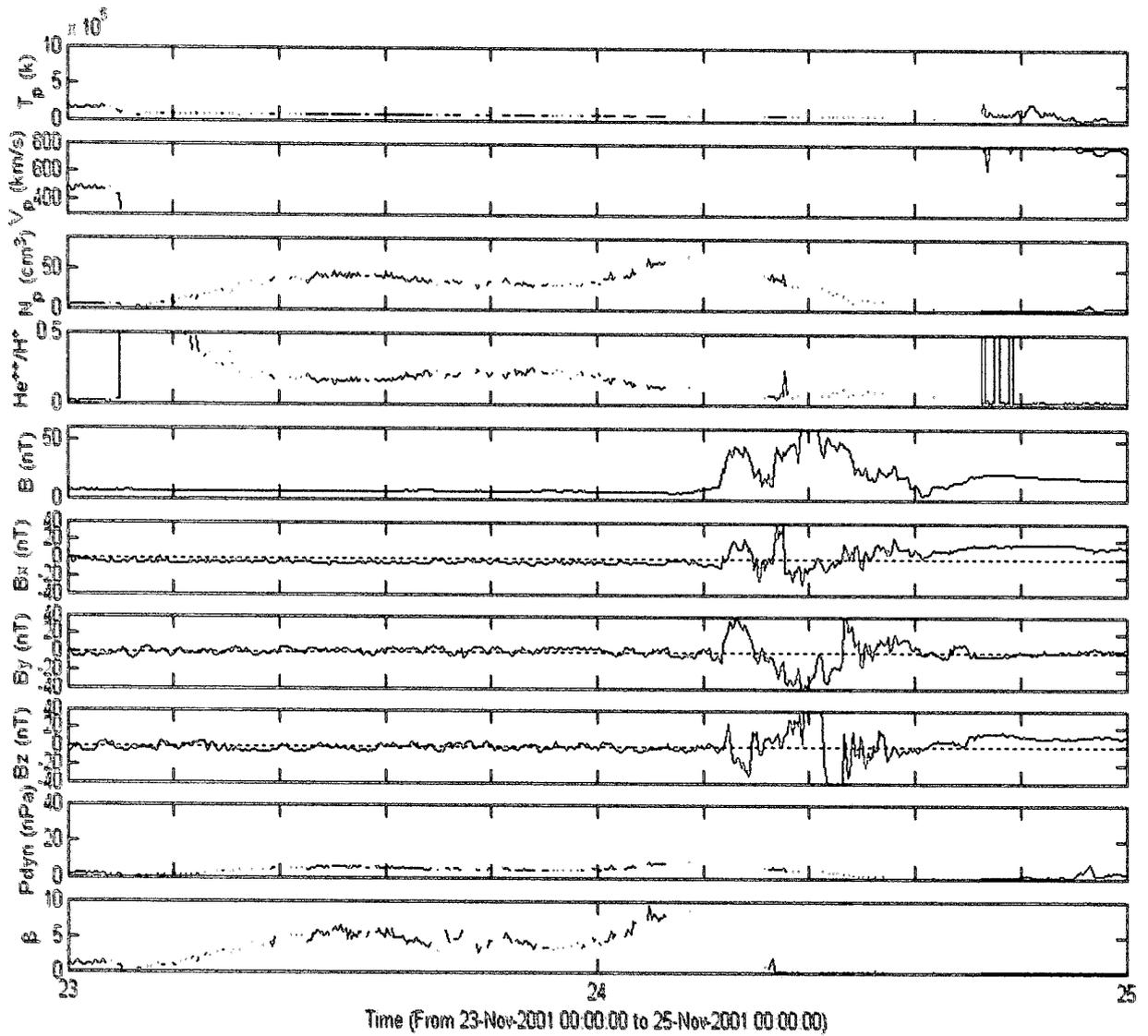
Tempestade Geomagnética do dia 31 de Março de 2001, possui o pico do índice Dst em – 387nT.



Tempestade Geomagnética do dia 11 de Abril de 2001, possui o pico do índice Dst em – 236nT.



Tempestade Geomagnética do dia 6 de Novembro de 2001, possui o pico do índice Dst em  $-292nT$ .



Tempestade Geomagnética do dia 24 de Novembro de 2001, possui o pico do índice Dst em  $-221\text{nT}$ .



## **ANEXO 2 – TÍTULOS E RESUMOS DE TRABALHOS APRESENTADOS E OU SUBMETIDOS**

O Anexo 2 contém os resumos/textos e posters dos trabalhos desenvolvidos e apresentados, de autoria do bolsista, em congressos nacionais de iniciação científica e em eventos internacionais. Trabalhos apresentados durante o período de vigência da bolsa PIBIC/INPE-CNPq/MCT. Os trabalhos foram desenvolvidos no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE/INPE – MCT.

A seguir, são listadas informações a respeito dos congressos nos quais nossos trabalhos foram apresentados:

**EVENTO:** XVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia e IV Feira de Protótipos 2003 - CRICTE 2003 -, realizado de 9 a 11 de outubro de 2003, na Universidade do Vale do Itajaí - UNIVALI – Itajaí, Santa Catarina, Brasil.

**IDENTIFICAÇÃO DAS ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS RESPONSÁVEIS PELA ORIGEM DAS TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS DE 31 DE MARÇO DE 2001 E DE 11 DE ABRIL DE 2001;**

Jairo F. Savian, Marlos R. da Silva, Marcos R. Signori, Alisson Dal Lago, Walter D. Gonzalez, Nelson J. Schuch.

**VANTAGENS DA AMPLIAÇÃO DO TELESCÓPIO MULTIDIRECIONAL DE MUONS DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL OES/CRSPE/INPE-MCT.**

Marcos R. Signori, Marlos R. da Silva, Delx C. Lunardi, Jairo F. Savian, K. Munakata, T. Kuwabara, Nelson J. Schuch.

**EVENTO:** XVIII Jornada Acadêmica Integrada - XVIII JAI -, realizada de 14 a 16 de outubro de 2003, na Universidade Federal de Santa Maria - UFSM – Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

**PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL COM A UTILIZAÇÃO DA REDE INTERNACIONAL DE DETECTORES DE MUONS NO PERÍODO DE MARÇO DE 2001 A NOVEMBRO DE 2002.**

Jairo F. Savian, Nelson J. Schuch, Marlos R. da Silva, Marcos R. Signori, Alisson Dal Lago, Walter D. Gonzalez;

**IMPLEMENTAÇÃO DA REDE INTERNACIONAL DE DETECÇÃO DE MUONS COM APLICAÇÃO AO CLIMA ESPACIAL.**

Marcos R. Signori, Marlos R. da Silva, Jairo F. Savian, Nelson J. Schuch;

**EVENTO:** XV Salão de Iniciação Científica e XII Feira de Iniciação Científica - XV SIC -, realizado de 24 a 28 de novembro de 2003, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS – Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

***Relatório Final de Atividades 2004***



**ANÁLISE DE PARÂMETROS INTERPLANETÁRIOS RESPONSÁVEIS PELA ORIGEM DAS TEMPESTADES GEOMÁGNÉTICAS DE 31 DE MARÇO DE 2001 E DE 11 DE ABRIL DE 2001.**

Jairo F. Savian, Marlos R. da Silva, Marcos R. Signori, Vânia F. Andrioli, Alisson Dal Lago, Luis Eduardo A. Vieira, Ezequiel Echer, Walter D. Gonzalez, Nelson J. Schuch.

**REDE INTERNACIONAL DE DETECÇÃO DE MUONS APLICADA NA PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL.**

Vânia F. Andrioli, Marcos R. Signori, Jairo F. Savian, Marlos R. da Silva, Alisson Dal Lago, Luis Eduardo A. Vieira, Ezequiel Echer, Walter D. Gonzalez, Nelson J. Schuch.

**INSTALAÇÃO DO DETECTOR UNI-DIRECIONAL DE PARTÍCULAS DE RAIOS CÓSMICOS ASSOCIADAS A DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL OES/CRSPE/INPE-MCT.**

Marcos R. Signori, Jairo F. Savian, Marlos R. da Silva, Vânia F. Andrioli, Tatsuo Torri, Kazuo Makita, Nelson J. Schuch.

**EVENTO:** XII Congresso de Iniciação Científica e V Encontro de Pós-graduação - XII CIC e V ENPOS – realizado de 3 a 5 de dezembro de 2003, na Universidade Federal Pelotas - UFPEL – Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

**IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DO CLIMA ESPACIAL**

Jairo F. Savian, Marlos R. da Silva, Marcos R. Signori, Vania F. Anadrioli, Sheron O. Monteiro, Alisson Dal Lago, Luis Eduardo A. Vieira, Ezequiel Echer, K. Munakata, Walter D. Gonzalez, Nelson J. Schuch.

**EVENTO:** 7<sup>th</sup> Latin-American Conference on Space Geophysics - VII COLAGE – realizado de 29 a 2 de 2004, no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/MCT – Atibáia, São Paulo, Brasil.

**IDENTIFICAÇÃO DE ANISOTROPIAS PRECURSORAS DAS TEMPESTADES GEOMÁGNÉTICAS INTENSAS ( Dst < -100nT ) DE 22 DE OUTUBRO DE 1999 E 6 DE ABRIL DE 2000.**

Jairo F. Savian, Marlos R. da Silva, Marcos R. Signori, Vania F. Anadrioli, Silvio Buchner, Alisson Dal Lago, Luis Eduardo A. Vieira, Ezequiel Echer, K. Munakata, Walter D. Gonzalez, Nelson J. Schuch.

**VARIAÇÕES NAS AMPLITUDES DAS PULSAÇÕES IMPULSIVAS COM O AUMENTO DO CAMPO MAGNÉTICO TOTAL F.**

Silvio Buchner, Everton Frigo, Virnei S. Moreira, Jairo F. Savian , Vania F. Andrioli, Nalin B. Trivedi, Nelson Jorge Schuch.



**DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A INTENSIDADE DO CAMPO ELÉTRICO ATMOSFÉRICO E OBSERVAÇÃO DE PARTÍCULAS DE RAIOS CÓSMICOS – MUONS, DETECTADOS EM TEMPESTADES TROPOSFÉRICAS INTENSAS**

Marcos R. Signori, Jairo F. Savian, Marlos R. da Silva, Vânia Andrioli, T. Torii, K. Makita, Nelson J. Schuch.

**EVENTO:** 35<sup>th</sup> COSPAR Scientific Assenbly - COSPAR 2004 – realizado de 18 a 25 de julho de 2004, Paris, France.

**ANALISYS OF INTERPLANETARY STRUCTURES ASSOCIATED WITH COSMIC RAY PRECURSORY ANISOTROPIES AND INTENSE GEOMAGNETIC STORMS.**

Jairo F. Savian, Marlos R. da Silva, Marcos R. Signori, Vania F. Andrioli, Alisson Dal Lago, Luis Eduardo A. Vieira, K. Munakata, Walter D. Gonzalez, Nelson J. Schuch;



IDENTIFICAÇÃO DAS ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS RESPONSÁVEIS  
PELA ORIGEM DAS TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS DE  
31 DE MARÇO DE 2001 E DE 11 DE ABRIL DE 2001

**Jairo F. Savian, Marlos R. da Silva, Marcos R. Signori, Alisson Dal Lago, Walter D. Gonzalez, Nelson J. Schuch**

Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LACESM/CT/UFSM – OES/CRSPE/INPE

Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 – Santa Maria –RS – Brasil  
[savian@lacesm.ufsm.br](mailto:savian@lacesm.ufsm.br), [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

O Sol é uma estrela extremamente ativa, possuindo um ciclo de atividade de 11 anos, entrando em intensa atividade, período denominado Máximo Solar, apresentando regiões de instabilidades que podem liberar a altas velocidades, grandes quantidades de matéria na forma de Ejeções de Massa Coronal (EMC). Estas manifestações de intensa atividade atingem a Magnetosfera Terrestre, causando às chamadas Tempestades Geomagnéticas. As Tempestades Geomagnéticas estão associadas às estruturas interplanetárias cuja componente do Campo Magnético Interplanetário, na direção  $z$  ( $B_z$ ), esteja na direção Sul, ou seja, antiparalela à direção do Campo Geomagnético. Assim, o Campo Magnético Interplanetário (CMI) interconecta-se com a Magnetosfera Terrestre, ocorrendo um transporte efetivo de energia para a mesma. Como consequência, uma grande quantidade de partículas energéticas do Vento Solar entra na Magnetosfera através das linhas de campo abertas pela reconexão, causando grandes distúrbios, influenciando, por exemplo, as telecomunicações. O Campo Magnético Terrestre (Magnetosfera) é a proteção dos seres humanos contra a entrada de partículas altamente energéticas (prótons e elétrons) e da ação direta do Vento Solar. O objetivo deste trabalho é analisar e identificar as estruturas interplanetárias responsáveis pela origem das Tempestades Geomagnéticas observadas nos dias 31 de março de 2001 e 11 de abril de 2001. Para a realização deste trabalho foram utilizados dados dos parâmetros interplanetários como: plasma (velocidade do Vento Solar, densidade e temperatura de prótons) e Campo Magnético Interplanetário (componentes  $B$ ,  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$ ), provenientes dos satélites WIND e ACE. Dados do índice Dst foram usados para a identificação da Tempestade Geomagnética. Quando  $Dst < -100$  nT, estas tempestades são classificadas como intensas. O monitoramento contínuo destes parâmetros é de significativa importância para um melhor entendimento sobre a variabilidade do Clima Espacial, propiciando informações a respeito das condições do Meio Interplanetário, atividade solar e o possível desenvolvimento de Tempestades Geomagnéticas, cujos efeitos podem ser sentidos no meio-ambiente terrestre.



## VANTAGENS DA AMPLIAÇÃO DO TELESCÓPIO MULTIDIRECIONAL DE MUONS DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL OES/CRSPE/INPE-MCT

**Marcos R. Signori, Marlos R. da Silva, Delx C. Lunardi, Jairo F. Savian, K. Munakata, T. Kuwabara, Nelson J. Schuch.**

Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LACESM/CT/UFSM – OES/CRSPE/INPE  
Av. Roraima - Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 - Santa Maria – RS -  
Brasil.

[marcos@lacesm.ufsm.br](mailto:marcos@lacesm.ufsm.br), [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

Os mais modernos e eficazes meios de interação e comunicação global dependem de satélites e veículos espaciais. Projetos ambiciosos, como a Estação Espacial Internacional, necessitam de previsões do Clima Espacial, ou seja, das condições prevaletentes no meio espacial interplanetário e próximo a Terra. A previsão das tempestades geomagnéticas é imprescindível. O Projeto de Detecção e Monitoramento de Muons proporciona previsões do Clima Espacial, permitindo a tomada de ações adequadas para proteger sistemas eletroeletrônicos tanto em órbita como na superfície terrestre, das correntes elétricas induzidas por campos eletromagnéticos gerados pelas tempestades geomagnéticas. Um protótipo de Telescópio Multi-Direcional de Muons, através da Parceria Brasil-Japão em Ciências Espaciais, foi colocado em operação no Observatório Espacial do Sul OES/CRSPE/INPE-MCT, localizado em São Martinho da Serra-RS desde Março de 2001, no âmbito do convênio, INPE-UFSM. Este Telescópio é composto de 8 detectores de plástico cintilante alinhados geometricamente, com duas camadas de 4 detectores (2 X 2) em cada camada. Usando a técnica de circuitos de coincidência lógica a intensidade de muons gerados de raios cósmicos é monitorada por 9 canais direcionais. Cada detector está envolvido por uma caixa metálica, tendo uma fotomultiplicadora acoplada. Os pulsos gerados pelas fotomultiplicadoras são amplificados e discriminados por uma certa amplitude limiar de tensão, para se obter somente pulsos provenientes de muons. As amplitudes de alta tensão são cuidadosamente ajustadas em cada tubo fotomultiplicador para compensar as diferenças de sensibilidade e eficiência dos detectores mantendo a linearidade das razões de contagem nos diferentes canais. Circuitos de coincidência determinam a direção de chegada dos muons. A contagem periódica dos muons é feita por contadores decimais e armazenada em uma memória 'buffer' que envia os dados a um "PC, on line". Os resultados são encorajadores. Assim planeja-se ampliar a Parceria Brasil-Japão, com a inclusão dos EUA, através de um Memorando de Entendimento, tendo o apoio da NFS/EUA, a fim de aumentar o desempenho do protótipo de Telescópio existente, empregando 35 (5 X 7) detectores em cada camada em vez de 4, (2 X 2) detectores. Esta mudança proporcionará uma grande melhoria na correlação direcional do equipamento, aumentando de 16 para 992 diferentes combinações, que fornecerão 17 canais direcionais de observação. O novo Telescópio instalado no OES, juntamente com os Telescópios operando em Nagóia, Japão e Hobart, Austrália, melhorará substancialmente a capacidade de prever ou detectar precursores de tempestades geomagnéticas.

***Relatório Final de Atividades 2004***



## PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL COM A UTILIZAÇÃO DA REDE INTERNACIONAL DE DETECTORES DE MUONS NO PERÍODO DE MARÇO DE 2001 A NOVEMBRO DE 2002<sup>1</sup>

Jairo F. Savian<sup>2</sup>, Nelson J. Schuch<sup>3</sup>, Marlos R. da Silva<sup>4</sup>, Marcos R. Signori<sup>5</sup>, Alisson Dal Lago<sup>6</sup>, Walter D. Gonzalez<sup>7</sup>

No mês de março de 2001 foi instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE-MCT, no Município de São Martinho da Serra, RS, um protótipo do Telescópio Cintilador de Muons para anpliar a Rede Internacional de Detectores de Muons, juntamente com os telescópios instalados nas cidades de Nagoya (Japão) e Hobart (Austrália). Estes três detectores operam em conjunto para fornecer precisa e confiável previsão das estruturas solares capazes de causar intensas Tempestades Geomagnéticas. Esta previsão é necessária, pois os principais meios de telecomunicações operam através de satélites, que podem ser danificados pela intensa radiação presente nestas estruturas. Anteriormente, esta previsão só era possível ser feita por satélites, com uma previsão de ordem de 1 hora de antecedência entre a detecção da estrutura e o início da tempestade. Com a Rede Internacional de Detectores de Muons esta previsão pode ser feita com maior antecedência, com a vantagem dos detectores estarem na superfície terrestre. Ainda não está bem compreendido o fenômeno do decréscimo da intensidade de raios cósmicos que são freqüentemente acompanhados por fortes crescimentos da sua anisotropia, alguns dos quais se estendendo desde regiões à frente das ondas de choque que está se aproximando. Tais anisotropias precursoras são um mecanismo importante através do qual a informação acerca da presença de um distúrbio pode ser transportada para localidades remotas. Devido ao fato dos raios cósmicos serem rápidos e possuírem grande livre caminho médio no vento solar, estas informações são transportadas rapidamente sendo útil para a previsão do Clima Espacial. Decréscimos de precursores podem ser resultados do efeito de “cone de perdas”, no qual a estação de observação está magneticamente conectada à região de decréscimo de raios cósmicos. Aumentos de precursores podem ser resultados de partículas que receberam uma pequena injeção de energia por reflexão na onda de choque que está se aproximando. Neste trabalho serão apresentados dados da Rede Internacional de Detectores de Muons, onde foi possível identificar indícios de anisotropias precursoras de estruturas solares que podem causar intensas Tempestades Magnéticas. De um total de 17 Tempestades Magnéticas intensas ( $Dst < -100$  nT), que ocorreram durante o período de Março de 2001 à Novembro de 2002, ~59 % apresentaram indícios de anisotropias precursoras, tendo uma supressão média nas contagens dos Muons de ~0,64 % e uma antecedência média de ~8,3 horas. Em ~23 % das tempestades, não foi possível identificar

<sup>1</sup> Pesquisa Financiada MMA, AEB/PR, INPE, UFSM

<sup>2</sup> Acadêmico do Curso de Física, LACESM/UFSM

<sup>3</sup> Coordenador da Ação de Implantação do CRSPE/INPE - UFSM

<sup>4</sup> Acadêmico do Curso de Física, LACESM/UFSM

<sup>5</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica. LACESM/UFSM

<sup>6</sup> Colaborador do Grupo Magnetosfera-Heliosfera, MAGHEL/INPE-MCT

<sup>7</sup> Coordenador do Grupo Magnetosfera-Heliosfera, MAGHEL/INPE-MCT



a anisotropia precursora e nas 18 % restantes, houve problemas nos dados de pelo menos um dos detectores, não sendo possível fazer uma análise confiável.

## **IMPLEMENTAÇÃO DA REDE INTERNACIONAL DE DETECÇÃO DE MUONS COM APLICAÇÃO AO CLIMA ESPACIAL<sup>1</sup>**

Marcos R. Signori<sup>1</sup>, Marlos R. da Silva<sup>2</sup>, Jairo F. Savian<sup>3</sup>, Nelson J. Schuch<sup>4</sup>

Os atuais sistemas globais de comunicação são feitos por veículos espaciais, tais como, sondas e satélites, que estão inseridos no Meio Interplanetário, portanto sujeitos à variabilidade do Clima Espacial. No intuito de aumentar a vida útil dos aparelhos em órbita, surgiu a necessidade de previsão das estruturas solares capazes de causar Tempestades Magnéticas. Um dos equipamentos com maior retorno é o Telescópio Multi-Direcional de Muons que consegue detectar partículas vindas de múltiplas direções do Espaço, cuja energia é da ordem de 50 GeV, com uma antecedência aproximada de 8 a 12 horas. Assim, foi implementada a Rede Internacional de Detectores de Muons, composta pelos detectores instalados nas cidades de Nagoya (Japão), Hobart (Austrália) e o Telescópio Protótipo São Martinho, localizado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE-MCT, no Rincão dos Negrinhos, no Município de São Martinho da Serra-RS, Brasil. Este último, por ser um protótipo, não abrange grande área de detecção. A intenção do Projeto é cobrir completamente a área Atlântica e Européia, através da expansão do protótipo de (2 x 2) para um telescópio de (6 x 6) detectores. O Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, Brasil, foi escolhido por estar situado numa posição antípoda ao Telescópio de Nagoya, além do apoio logístico e de infraestrutura. A simulação da rede existente, com o protótipo, mostra que a distribuição das taxas de contagem não reproduz a correta distribuição esperada. Isto ocorre devido à grande separação entre os “ângulos de pitch” de intensidade observados em São Martinho da Serra e aqueles observados em Nagoya e Hobart, o que dificulta a estimativa correta da distribuição de “ângulo de pitch” de intensidade. Na simulação com o Telescópio ampliado, que passará a ter 8 canais direcionais a mais, nota-se o preenchimento das falhas nos “ângulos de pitch” do Telescópio do Observatório Espacial do Sul, proporcionando uma precisa observação da anisotropia e uma significativa redução no erro de Poisson devido ao aumento na taxa de contagem. Os dados obtidos e os estudos realizados são encorajadores, evidenciando a importância da ampliação da Rede Internacional de Detectores de Muons, com múltiplos benefícios sociais, científicos e de apoio tecnológico.



## ANÁLISE DE PARÂMETROS INTERPLANETÁRIOS RESPONSÁVEIS PELA ORIGEM DAS TEMPESTADES GEOMÁGNÉTICAS DE 31 DE MARÇO DE 2001 E DE 11 DE ABRIL DE 2001

Jairo F. Savian<sup>1,3</sup>, Marlos R. Da Silva<sup>1,3</sup>, Marcos R. Signori<sup>1,3</sup>, Vânia F. Andrioli<sup>1,3</sup>, Alisson Dal Lago<sup>2</sup>, Luis Eduardo A. Vieira<sup>2</sup>, Ezequiel Echer<sup>2</sup>, Walter D. Gonzalez<sup>2</sup>, Nelson J. Schuch<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, LACESM/CT/UFSM Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 – Santa Maria - RS – Brasil  
savian@lacesm.ufsm.br, njschuch@lacesm.ufsm.br

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos – SP

<sup>3</sup>Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE, Santa Maria - RS

### RESUMO

A cada intervalo de 11 anos o Sol passa por um período de aumento em sua atividade magnética denominado de máximo solar, apresentando um maior número de regiões de instabilidade, as quais são responsáveis pela liberação à altas velocidades, de grandes quantidades de matéria na forma de Ejeções Coronais de Massa - ECM. Estas manifestações de intensa atividade atingem o Meio Interplanetário e os planetas causando as chamadas Tempestades Geomagnéticas. Um parâmetro muito importante para o desenvolvimento das Tempestades Geomagnéticas é a componente “z” do Campo Magnético Interplanetário - CMI, cuja direção é antiparalela a do campo magnético da Terra na região equatorial. Deste modo, o Campo Magnético interconecta-se com a Magnetosfera Terrestre ocorrendo um transporte efetivo de energia para a Magnetosfera e um aumento da densidade de partículas que circundam a Terra, caracterizando assim a Tempestade Geomagnética. Acompanhando estes fenômenos também podem ocorrer distúrbios nas altas camadas da Atmosfera, influência nas telecomunicações e até mesmo “blackouts”. O Campo Magnético Terrestre é a proteção dos seres vivos contra a entrada de partículas altamente energéticas, prótons – elétrons, e da ação direta do Vento Solar. Este trabalho tem por objetivo analisar as estruturas interplanetárias responsáveis pela origem das Tempestades Geomagnéticas observadas nos dias 31/03/2001 e de 11/04/2001. Para a realização deste estudo foram utilizados dados de plasma - densidade, temperatura de próton e velocidade do vento solar - e Campo Magnético Interplanetário, proveniente dos satélites WIND e ACE que estão em órbita desde 1995 e 1997, respectivamente, e fazem o monitoramento contínuo do Meio Interplanetário. Dados do índice Dst foram usados para a identificação das Tempestades Geomagnéticas. Para que estas tempestades sejam consideradas intensas o índice Dst deve atingir valores menores que -100nT. O contínuo monitoramento destes parâmetros é de significativa importância para um conhecimento melhor do chamado “Clima Espacial”, que trata das condições do espaço vizinho à Terra, obtendo informações a respeito do possível desenvolvimento de Tempestades Geomagnéticas, cujos efeitos podem ser sentidos, tanto no espaço quanto na superfície da Terra.



## REDE INTERNACIONAL DE DETECÇÃO DE MUONS APLICADA NA PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL

Vânia F. Andrioli<sup>1,3</sup>, Marcos R. Signori<sup>1,3</sup>, Jairo F. Savian<sup>1,3</sup>, Marlos R. Da Silva<sup>1,3</sup>, Alisson Dal Lago<sup>2</sup>, Luis Eduardo A. Vieira<sup>2</sup>, Ezequiel Echer<sup>2</sup>, Walter D. Gonzalez<sup>2</sup>, Nelson J. Schuch<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, LACESM/CT/UFSM Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 – Santa Maria - RS – Brasil

[vania@lacesm.ufsm.br](mailto:vania@lacesm.ufsm.br), [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos – SP

<sup>3</sup>Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE, Santa Maria - RS

Os relevantes sistemas globais de comunicação são feitos por equipamentos espaciais, tais como, sondas e satélites, que estão inseridos no Meio Interplanetário, portanto sujeitos à variabilidade do Clima Espacial. No intuito de aumentar a vida útil desses aparelhos, surgiu a necessidade de previsão das estruturas solares capazes de causar Tempestades Magnéticas. Um, dos equipamentos que pode colaborar significativamente com a previsão do Clima Espacial é o Telescópio Multi-Direcional de Muons que consegue detectar partículas de várias direções do Espaço, cuja energia é da ordem de 50 GeV, e fenômenos tais como tempestades Geomagnéticas, com uma antecedência aproximada de 8 a 12 horas. Assim, foi implementada a Rede Internacional de Detectores de Muons, composta pelos detectores instalados nas cidades de Nagoya (Japão), Hobart (Austrália) e o Telescópio Protótipo São Martinho, localizado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE-MCT, no Município de São Martinho da Serra- RS, Brasil. Este último, por ser um protótipo, não abrange grande área de detecção. A intenção do Projeto é cobrir completamente a área Atlântica e Européia, através da expansão do protótipo. O OES, foi escolhido por estar situado numa posição antípoda ao Telescópio de Nagoya, além do apoio logístico e da infraestrutura. A simulação da rede existente, com o protótipo, mostra que a distribuição das taxas de contagem não reproduz a correta distribuição esperada. Isto ocorre devido à grande separação entre os “ângulos de pitch” de intensidade observados em São Martinho da Serra e aqueles observados em Nagoya e Hobart, o que dificulta a estimativa correta da distribuição de “ângulo de pitch” de intensidade. Em simulações com a ampliação do Telescópio Protótipo, nota-se o preenchimento dessas falhas, proporcionando uma ampla observação da anisotropia e uma significativa redução no erro de Poisson devido ao aumento na taxa de contagem. Os dados obtidos e os estudos realizados são encorajadores, evidenciando a importância da ampliação desta Rede, com múltiplos benefícios sociais, científicos e de apoio tecnológico.



## INSTALAÇÃO DO DETECTOR UNI-DIRECIONAL DE PARTÍCULAS DE RAIOS CÓSMICOS ASSOCIADAS A DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL OES/CRSPE/INPE-MCT

Marcos R. Signori<sup>1,2</sup>, Jairo F. Savian<sup>1,2</sup>, Marlos R. da Silva<sup>1,2</sup>, Vânia F. Andrioli<sup>1,2</sup>, T. Torii<sup>3</sup>, K. Makita<sup>4</sup>,  
Nelson J. Schuch<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM

Av. Roraima - Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 - Santa Maria–RS-Brasil.

<sup>2</sup>Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE/INPE-MCT, Santa Maria – RS

<sup>3</sup>Instituto de Desenvolvimento Nuclear do Japão - Japão.

<sup>4</sup>Universidade de Takushoku - Japão.

[marcos@lacesm.ufsm.br](mailto:marcos@lacesm.ufsm.br), [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

Várias pesquisas comprovam a ligação entre fenômenos naturais e a Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS, onde o Campo Magnético da Terra atinge um dos seus menores valores, em torno de 23200 nT, nano Tesla. Recentemente, por meio da Parceria em Ciências Espaciais - Brasil/Japão, foi instalado no Observatório Espacial do Sul, localizado no Município de São Martinho da Serra, um novo Detector Uni-Direcional de Partículas de Raios Cósmicos. Na região da AMAS, há um significativo aumento na incidência de partículas constituintes dos raios cósmicos. Sabe-se que, como observado no Japão, no momento de formação de tempestades, há um acréscimo no nível do Campo Elétrico, que pode provocar uma maior incidência de partículas constituintes dos raios cósmicos. Posteriormente, no instante de ocorrência de um flash de raio, acontece um súbito decréscimo de ambos os parâmetros. O Detector Uni-Direcional de Partículas de Raios Cósmicos possui dois detectores cintilantes, feitos de um misto de plástico e material radioativo que formam dois canais de detecção. O material cintilante, ao ser alvejado por partículas, emite fótons que são conduzidos por um guia de luz até um tubo fotomultiplicador, PMT, que os transforma em pulsos elétricos na ordem de  $10^5$  a  $1M$  elétrons/fóton. O sinal de saída da PMT é tratado por um pré-amplificador, conformador de sinal, e conduzido a um conversor analógico – digital, A – D, que possibilita a análise gráfica dos dados. Os detectores estão sobrepostos numa base e alinhados verticalmente. O detector superior, capta prótons, elétrons e muons com energia superior a 1 MeV. Entre os dois detectores há uma barreira de alumínio, onde o muon é a única partícula que atravessa e reage com o segundo detector. Assim pode-se contá-lo pelo método de coincidência.



## IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DO CLIMA ESPACIAL

**Jairo F. Savian**, Marlos R. da Silva, Marcos R. Signori, Vania F. Anadrioli, Sheron O. Monteiro, Alisson Dal Lago, Luis Eduardo A. Vieira, Ezequiel Echer, K. Munakata, Walter D. Gonzalez, Nelson J. Schuch

Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LACESM/CT/UFSM – OES/CRSPE/INPE

Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 – Santa Maria –RS –  
Brasil

[savian@lacesm.ufsm.br](mailto:savian@lacesm.ufsm.br), [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

### RESUMO

O Clima Espacial é um conjunto de fenômenos que acontecem no Meio Interplanetário e é regido pela Atividade Solar. Estes fenômenos causam danos aos satélites em órbita, dentro ou fora da proteção da Magnetosfera Terrestre. As Tempestades Geomagnéticas, produzidas pela Atividade Solar, exercem influência na vida; fauna-flora; danificam sistemas de comunicação via satélite, redes de transmissão de energia etc. O Sol possui um ciclo de atividade de 11 anos. Quando em intensa atividade, Máximo Solar, libera grandes quantidades de matéria a altas velocidades, na forma de Ejeções Coronais de Massa. Ao tocarem a Magnetosfera Terrestre, as partículas ejetadas causam Tempestades Geomagnéticas, com partículas energéticas do Vento Solar que entram na Magnetosfera causando distúrbios na Alta Atmosfera. O Campo Magnético Terrestre protege organismos vivos e satélites contra a entrada de partículas altamente energéticas, oriundas do Vento Solar. O estudo do Clima Espacial é efetuado por sondas espaciais e detectores de partículas no solo. Este é o caso do Detector de Muons do Observatório Espacial do Sul, São Martinho da Serra,RS. Os satélites utilizados encontram-se no ponto Lagrangiano. Os mais importantes são SOHO, ACE e WIND. Estas sondas alertam os operadores para protegerem os equipamentos no Espaço. Devido a estes problemas, o Clima Espacial vem sendo estudado pelos fabricantes de satélites na construção de naves resistentes. Os sistemas mais afetados pela radiação são as Telecomunicações e o GPS. O objetivo deste trabalho é mostrar a importância do Clima Espacial para otimizar a nossa capacidade de evitar riscos produzidos pelas Tempestades Magnéticas Geofetivas. Faz-se necessário um Sistema integrado, coletar e analisar dados sobre o espaço, de forma rápida precisa e confiável. Essa é a missão de satélites e detectores de partículas, entender os fenômenos físicos do Clima Espacial para prever danos tanto econômicos, quanto à vida.



IDENTIFICAÇÃO DE ANISOTROPIAS PRECURSORAS DAS TEMPESTADES  
GEOMAGNÉTICAS INTENSAS (  $Dst < -100nT$  ) DE 22 DE OUTUBRO DE 1999 E 6 DE  
ABRIL DE 2000

**Jairo F. Savian**, Marlos R. da Silva, Marcos R. Signori, Vania F. Anadrioli, Silvio Buchner, Alisson Dal Lago, Luis Eduardo A. Vieira, Ezequiel Echer, K. Munakata, Walter D. Gonzalez, Nelson J. Schuch

Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LACESM/CT/UFSM – OES/CRSPE/INPE  
Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 – Santa Maria –RS –  
Brasil

[savian@lacesm.ufsm.br](mailto:savian@lacesm.ufsm.br), [gonzalez@dge.inpe.br](mailto:gonzalez@dge.inpe.br)

#### RESUMO

As características das emissões solares relacionam-se à sua atividade. O aspecto mais marcante da atividade é o ciclo solar de 11 anos, passando por um mínimo e um máximo, onde o número de manchas solares cresce ocorrendo um aumento dos fenômenos energéticos que estão associados aos chamados “flares”, às Ejeções Coronais de Massa (CME) e Tempestades Geomagnéticas. As Tempestades Geomagnéticas caracterizam-se pelo decréscimo na componente H, horizontal, do Campo Magnético Terrestre. O decréscimo atribui-se a um aumento da população de partículas aprisionadas na Magnetosfera, intensificando a chamada “Corrente de Anel”. Estas tempestades estão associadas às estruturas interplanetárias cuja componente do Campo Magnético Interplanetário, na direção z ( $B_z$ ), esteja na direção Sul, ou seja, antiparalela à direção do Campo Magnético Terrestre. Assim, o Campo Magnético Interplanetário interconecta-se com a Magnetosfera ocorrendo um transporte efetivo de energia. A Tempestade Magnética caracteriza-se por três fases: fase inicial, identificada por um salto dos campos físicos do Meio Interplanetário; fase principal, caracterizado por um alto decréscimo do índice Dst e fase de recuperação, onde os campos físicos voltam aos seus valores iniciais. O objetivo deste trabalho é identificar as anisotropias precursoras responsáveis pela origem das Tempestades Geomagnéticas intensas ( $Dst < -100nT$ ), dos dias 22 de outubro de 1999 e 6 de abril de 2000. Foram utilizados dados dos parâmetros interplanetários como: plasma (velocidade do Vento Solar, densidade e temperatura de prótons), Campo Magnético Interplanetário (componentes B,  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$ ), provenientes dos satélites WIND e ACE e do índice Dst para a identificação das tempestades. O monitoramento destes parâmetros é de significativa importância para um melhor entendimento da variabilidade do Clima Espacial, propiciando informações a respeito das condições do Meio Interplanetário, atividade solar e o possível desenvolvimento de Tempestades Geomagnéticas, cujos efeitos podem ser sentidos no meio-ambiente terrestre.



## VARIAÇÕES NAS AMPLITUDES DAS PULSAÇÕES IMPULSIVAS COM O AUMENTO DO CAMPO MAGNÉTICO TOTAL F

Silvio Buchner<sup>(1)(2)</sup>, Everton Frigo<sup>(1)(2)</sup>, Virnei S. Moreira<sup>(1)(2)</sup>, Jairo F. Savian<sup>(1)(2)</sup>, Vania F. Andrioli<sup>(1)(2)</sup>, Nalin B. Trivedi<sup>(2)</sup>, Nelson Jorge Schuch<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – RSU/INPE, Santa Maria, RS, Brasil  
(2) Universidade Federal de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM, Santa Maria, RS, Brasil

### RESUMO

As Pulsações Geomagnéticas podem ser divididas em Pulsações Contínuas (Pc) e Pulsações Impulsivas (Pi). As Pi são geralmente interpretadas como um sinal hidromagnético transiente associado com mudanças súbitas no estado físico da Magnetosfera Terrestre durante a fase de expansão de uma sub-tempestade Magnética. Esses impulsos súbitos são pulsos de rarefação e compressão das linhas de Campo na Magnetopausa, são causados pelo choque Interplanetário. Pulsações Impulsivas observadas em São Martinho da Serra (-29.43° N, 306.18° E) são de amplitudes menores ou iguais a observadas nas demais Estações Geomagnéticas. Observa-se, porém que alguns eventos Impulsivos observados em São Martinho da Serra, essa generalidade não ocorre, ou seja, encontramos alguns eventos em que as amplitudes Impulsivas são maiores na região localizada nas proximidades do centro da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS). Esta constatação foi efetivada quando comparados dados das Estações Geomagnética de São Martinho da Serra (SMS), Vassouras (VSS) (-22.40° N, 316.35° E), e Korou (KOU) (2.21° N, 307.27° E). Foram utilizados dados dessas três Estações por estas estarem respectivamente localizadas na proximidade do centro, na borda, e na região fora da (AMAS). Observou-se que para alguns eventos Impulsivos as amplitudes vão diminuindo a medida que o Campo Total (F) aumenta. Acredita-se que esses eventos são devido à precipitação de elétrons na região da (AMAS), que compreende a região em que fica localizada a Estação Magnética de São Martinho da Serra, junto ao Observatório Espacial do Sul (OES). Esta constatação foi feita para 34 eventos Impulsivos no período de Setembro de 2000 à Dezembro de 2001. Esse estudo está sendo efetuado para o período de Janeiro de 2002 à Dezembro de 2003, pretende-se com isso a comprovação desse fato experimental, e a sua relação com o fenômeno da precipitação de partículas na região da (AMAS), e elucidar os processos físicos que estão ocorrendo na Magnetosfera Terrestre.



DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A INTENSIDADE DO CAMPO ELÉTRICO  
ATMOSFÉRICO E OBSERVAÇÃO DE PARTÍCULAS DE RAIOS CÓSMICOS – MUONS,  
DETECTADOS EM TEMPESTADES TROPOSFÉRICAS INTENSAS

Marcos R. Signori, Jairo F. Savian, Marlos R. da Silva, Vânia Andrioli, T. Torii,  
K.Makita, Nelson J. Schuch

Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LACESM/CT/UFSM – OES/CRSPE/INPE

Av. Roraima - Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 - Santa Maria–RS-Brasil.  
[marcos@lacesm.ufsm.br](mailto:marcos@lacesm.ufsm.br), [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

As Descargas Elétricas Atmosféricas (raios), têm grande efeito sobre o meio ambiente e provavelmente originaram moléculas e substâncias, como os aminoácidos, que formaram a Crosta Terrestre. Os raios provocam incêndios, constituindo-se em agentes naturais para a manutenção do equilíbrio da quantidade de plantas. Catalisam mudanças nas características da Atmosfera ao redor das regiões de onde ocorrem, quebrando moléculas de componentes do ar, produzindo novos elementos e modificando a concentração de outros, como o Gás Ozônio, que se misturam com a água da chuva e se precipitam como fertilizante natural. Recentemente, através da Parceria Brasil - Japão em Ciências Espaciais, foram instalados no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, um Detector Unidirecional de Raios Cósmicos e um Detector de Campo Elétrico, “Field Mill”. O Detector de Raios Cósmicos possui dois canais, correspondentes aos seus dois detectores cintilantes, sobrepostos numa base e alinhados verticalmente. Os Detectores captam partículas com energia de aproximadamente 1 MeV. Somente o Muon atravessa a barreira de alumínio entre os dois detectores e reage com o segundo detector, sendo contado pelo método de coincidência. O material cintilante, ao ser alvejado por partículas, emite fótons que incidem num tubo fotomultiplicador - PMT e são transformados em pulsos elétricos. O sinal de saída da PMT é tratado por um pré-amplificador, conformador de sinal, e conduzido a um conversor A-D, analógico/digital. O Detector de Campo Elétrico, “Field Mill”, tem um painel vazado rotativo que intercepta o Campo Elétrico Atmosférico, segundo a frequência do motor, e um painel cheio que está fixo. Assim, são induzidas cargas positivas e negativas em pontos opostos, formando um sinal alternado. Num estágio, a tensão atmosférica carrega o capacitor formado pelos painéis e posteriormente, este capacitor descarrega num circuito RC paralelo, sendo o sinal conduzido ao conversor A-D. Assim o Campo Elétrico é proporcional a tensão de saída do circuito. Através da plotagem dos dados de ambos os detectores, é analisada a relação entre o número de contagem de Partículas de Raios Cósmicos – Muons e aumento da intensidade do nível do Campo Elétrico Atmosférico, na iminência de ocorrer uma descarga elétrica. Um aumento nos dois parâmetros, e após a descarga, um súbito decréscimo nos mesmos é observado. A influência da Anomalia Magnética do Atlântico Sul nestes fenômenos é analisada, precisando como estes fatores estão envolvidos nas tempestades troposféricas, bem como o seu comportamento.



**ANALISYS OF INTERPLANETARY STRUCTURES ASSOCIATED WITH COSMIC RAY  
PRECURSORY ANISOTROPIES AND INTENSE GEOMAGNETIC STORMS**

Jairo F. Savian<sup>1,4</sup>, Marlos R. da Silva<sup>2</sup>, Marcos R. Signori<sup>1,4</sup>, Vania F. Andrioli<sup>1,4</sup>, Alisson Dal Lago<sup>2</sup>, Luis Eduardo A. Vieira<sup>2</sup>, K. Munakata<sup>3</sup>, Walter D. Gonzalez<sup>2</sup>, Nelson J. Schuch<sup>4</sup>.

<sup>(1)</sup> Santa Maria Space Science Laboratory, UFSM, Santa Maria, Brazil, <sup>(2)</sup> National Institute for Space Research, Sao Jose dos Campos, Brazil, <sup>(3)</sup> Physics Dept., Shinshu University, Nagano, JAPAN, <sup>(4)</sup> Southern Regional Space Research Center – INPE/MCT, Santa Maria, Brazil.  
e-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br / Fax: +55-55-220-8007

Throughout the 11 year solar cycle a number of energetic phenomena such as “flares” and coronal mass ejections (CME) give rise at earth to the so-called magnetic storms. These storms are characterized by a decrease in the H component of terrestrial magnetic field, lasting some dozens of hours. They are associated to interplanetary structures whose interplanetary magnetic field component in the Z direction ( $B_z$ ) is southward, i.e., antiparallel to the earth’s magnetic field direction. Thus, the interplanetary magnetic field interconnects with the geomagnetic field causing energy to be transported inwards. Some of these structures are associated with precursory anisotropy observed in ground cosmic ray data (muons). The objective of this work is to use a set of intense geomagnetic storm events ( $Dst < -100nT$ ), already studied by Munakata et al (2000) in terms of cosmic ray signatures, and identify their interplanetary structures using observations made by ACE, Wind and IMP-8 satellites. We use the following interplanetary data: plasma (solar wind speed, density and temperature of protons), interplanetary magnetic field ( $B$ ,  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$ ), observed by IMP-8, WIND and ACE satellites, and Dst index from Kyoto to characterize the storms.



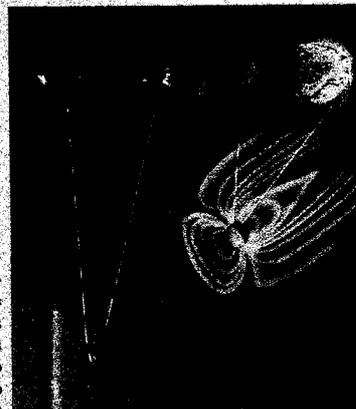
## ANÁLISE DE PARÂMETROS INTERPLANETÁRIOS RESPONSÁVEIS PELA ORIGEM DAS TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS DE 31 DE MARÇO DE 2001 E DE 11 DE ABRIL DE 2001

JAIRO F. SAVIAN<sup>(1,2)</sup>, MARLOS R. DA SILVA<sup>(3)</sup>, MARCOS R. SIGNORI<sup>(1,2)</sup>, VÂNIA F. ANDRIOLI<sup>(1,2)</sup>, ALISSON DAL LAGO<sup>(4,2)</sup>, LUIZ EDUARDO VIEIRA<sup>(4,2)</sup>, EZEQUIEL ECHER<sup>(2)</sup>, WALTER D. GONZALEZ<sup>(2)</sup>, NELSON J. SCHUCH<sup>(1)</sup>

- (1) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - RSU/INPE - Santa Maria - RS, Brasil - Contato:  
 (2) Universidade Federal de Santa Maria - LACESM/CI/UFMS - Santa Maria - RS, Brasil  
 (3) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CEA/DGE/INPE - São José dos Campos - SP, Brasil  
 (4) Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, SP, Brasil.

### RESUMO

A cada intervalo de 11 anos o Sol passa por um período de aumento em sua atividade magnética denominado de máximo solar, apresentando um maior número de regiões de instabilidade, as quais são responsáveis pela liberação à altas velocidades, de grandes quantidades de matéria na forma de Ejeções Coronais de Massa - ECM. Estas manifestações de intensa atividade atingem o Meio Interplanetário e os planetas causando as chamadas Tempestades Geomagnéticas. Um parâmetro muito importante para o desenvolvimento das Tempestades Geomagnéticas é a componente "z" do Campo Magnético Interplanetário - CMI, cuja direção é antiparalela a do campo magnético da Terra na região equatorial. Deste modo, o Campo Magnético interconecta-se com a Magnetosfera Terrestre ocorrendo um transporte efetivo de energia para a Magnetosfera e um aumento da densidade de partículas que circundam a Terra, caracterizando assim a Tempestade Geomagnética. Acompanhando estes fenômenos também podem ocorrer distúrbios nas altas camadas da Atmosfera, influência nas telecomunicações e até mesmo "blackouts". O Campo Magnético Terrestre é a proteção dos seres vivos contra a entrada de partículas altamente energéticas, prótons - elétrons, e da ação direta do Vento Solar. Este trabalho tem por objetivo analisar as estruturas interplanetárias responsáveis pela origem das Tempestades Geomagnéticas observadas nos dias 31/03/2001 e de 11/04/2001. Para a realização deste estudo foram utilizados dados de plasma - densidade, temperatura de próton e velocidade do vento solar - e Campo Magnético Interplanetário, proveniente dos satélites WIND e ACE que estão em órbita desde 1995 e 1997, respectivamente, e fazem o monitoramento contínuo do Meio Interplanetário. Dados do índice Dst foram usados para a identificação das Tempestades Geomagnéticas. Para que estas tempestades sejam consideradas intensas o índice Dst deve atingir valores menores que -100nT. O contínuo monitoramento destes parâmetros é de significativa importância para um conhecimento melhor do chamado "Clima Espacial", que trata das condições do espaço vizinho à Terra, obtendo informações a respeito do possível desenvolvimento de Tempestades Geomagnéticas, cujos efeitos podem ser sentidos, tanto no espaço quanto na superfície da Terra.



www.nasa.gov

### INTRODUÇÃO

As tempestades geomagnéticas constituem um dos principais processos do Clima Espacial, pois interconectam de uma maneira única, o sol, o espaço interplanetário, a magnetosfera terrestre e ocasionalmente a superfície terrestre. As tempestades geomagnéticas têm sido tópicos extensivos de estudos devido aos seus efeitos observados na Terra, tais como: a aceleração de partículas carregadas, intensidade de correntes elétricas no espaço e na superfície terrestre, ocorrência de aurora nos pólos, prejuízos causados em comunicações, sistemas de navegação, órbita de satélites, oleodutos, exploração de recursos minerais, sistemas de fornecimento de energia, sistemas biológicos e também danos das radiações colocando a vida de astronautas durante missões no espaço.

### TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS

www.nasa.gov

O meio interplanetário pode ser definido como a região que se estende do Sol até o meio interestelar. Os fenômenos físicos que ocorrem nesta região têm como origem o Sol e a sua atividade, sendo consequência direta dos processos físicos que ocorrem no interior do astro. Estes processos, que desenvolvem instabilidades de plasma e campo magnético estão relacionados às emissões transitentes que variam de acordo com o ciclo solar de 11 anos. O Sol possui um período de máxima atividade, que é caracterizado pelo aumento do número de manchas solares e ocorrência de explosões ("flares") na região das manchas. Estas explosões liberam grandes quantidades de matéria a altas velocidades chamadas Ejeções Coronais de Massa (ECM) que são carregadas pelo Vento Solar entremeadas às linhas do Campo Magnético Interplanetário. As ECMs frequentemente possuem forma de "nuvem magnética" que ao se chocarem com a magnetosfera terrestre causam as chamadas "Tempestades Geomagnéticas". As Tempestades Geomagnéticas são flutuações no Campo Magnético terrestre, cuja característica marcante é o decréscimo acentuado da componente horizontal, H, do Campo Magnético e a posterior fase de recuperação. Este decréscimo de intensidade é conhecido devido a um aumento da população de partículas aprisionadas na magnetosfera. Deriva devido ao gradiente do Campo Magnético e a sua curvatura produzem a chamada Corrente de Anel, que representa o movimento das partículas. Para medir a intensidade da corrente de anel são utilizados valores horários da variação média global da componente H em baixas latitudes, constituindo o chamado índice Dst. A tempestade é considerada intensa quando o Dst < -100nT.

### DADOS

Os dados são retirados dos satélites ACE, WIND e IMP-8, estes satélites possuem a bordo instrumentos como: Espectrômetro de Raios Cômicos, Espectrômetro Solar, Espectrômetro Ultra de Baixas Energias, Analisador de Partículas Energéticas Solares, Espectrômetro de Vento Solar, Monitor de Prótons, Elétrons e Partículas Alfa, Magnetômetro. Estes dados ficam dispostos na Internet fazendo-se possível a sua análise.

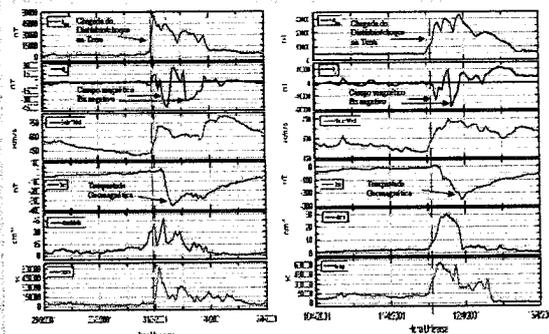


Figura 1 - De cima para baixo: campo magnético total e sua componente H, velocidade do Vento Solar, índice Dst, densidade numérica e temperatura do Vento Solar de 29/03/2001 a 02/04/2001.

Figura 2 - De cima para baixo: campo magnético total e sua componente H, velocidade do Vento Solar, índice Dst, densidade numérica e temperatura do Vento Solar de 10/03/2001 a 13/04/2001.

### RESULTADOS

Este trabalho abordará a análise dos parâmetros interplanetários das Tempestades Geomagnéticas de 31 de março de 2001 e 11 de abril de 2001, onde vimos que o índice Dst atingiu o valor de pico de -350 nT no caso da tempestade de 31 de março, considerada uma tempestade muito intensa, e -250 nT no caso da tempestade de 11 de abril, também muito intensa.

### CONCLUSÕES

A importância do estudo do clima espacial se faz necessário para que possamos prever estas Tempestades Magnéticas sem que causem danos, tanto à satélites em órbita que causam prejuízos econômicos, quanto para a vida humana, no caso dos astronautas. Estão se desenvolvendo a cada dia várias formas de previsão desses fenômenos, através de detectores em Terra e também satélites mais resistentes as Explosões Solares.

### REFERÊNCIAS

- Gonzalez, W.D.; Tsurutani, B.T. *Criteria of interplanetary causing intense magnetic storms (Dst < -100nT)*. Planet Space Sci, v.35, n.9, p.1101-1109, Jul 1987.  
 Dal Lago A. *Estudo de nuvens magnéticas geoefetivas no meio interplanetário*. São José dos Campos, 112 p. (INPE-7263-TDI/705. Tese (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.

### Agradecimentos:

Os autores gostariam de agradecer ao pessoal de operação das missões ACE, WIND e IMP-8, bem como o pessoal de operação da Universidade de Kyoto, por fornecerem os dados interplanetários e de superfície utilizados neste trabalho. Dados de campo magnético interplanetário e de plasma do satélite ACE são cortesia de N. Neas (Bartol Research Institute) e D. J. McComas (SWRI), através do sistema do ISTEP-CDASWeb, e dados do índice Dst são cortesia de WDC-Kyoto. Os autores gostariam igualmente de agradecer ao Programa PIBIC do CNPq e ao programa PET da CAPES pelas bolsas de iniciação científica, e à FAPESP pelos programas de pós-doutoramento, processos 02/14150-0 e 02/12723-2.



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS-INPE  
 CENTRO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS-URSP  
 OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL-OESTE  
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA-UFSM  
 LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA-LACESM

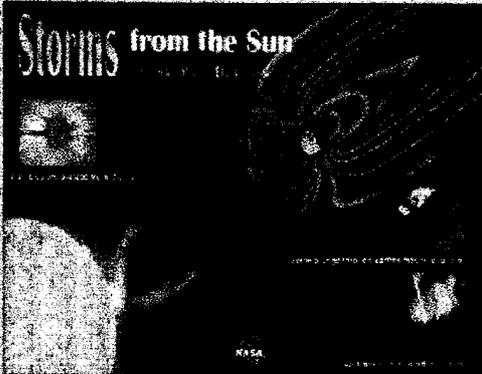


## IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DO CLIMA ESPACIAL

WALTER D. GONZALEZ<sup>1</sup>, MARCELO S. SIGNORI<sup>2</sup>, VÂNIA F. ANDRIOLI<sup>1,2</sup>, SHERON MONTEIRO<sup>1,2</sup>,  
 ANTONIO CARLOS DE SOUZA<sup>1</sup>, MARCELO VIEIRA<sup>3</sup>, EZZIQUEL ECHER<sup>4</sup>, WALTER D. GONZALEZ<sup>5</sup>, NELSON J. SCHUCH<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Observatório do Sul-Oeste - RS, Brasil - Contato: savim@lacosm.ufsm.br; <sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Maria - RS, Brasil; <sup>3</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CEA/DGE/INPE - São José dos Campos - SP, Brasil; <sup>4</sup> Universidade Federal de Santa Maria - RS, Brasil; <sup>5</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CEA/DGE/INPE - São José dos Campos - SP, Brasil; <sup>6</sup> Universidade Federal de Santa Maria - RS, Brasil

O estudo do ambiente que envolve o Meio Interplanetário e a região pela qual os raios cósmicos galácticos se deslocam em direção ao Sistema Solar, dentro ou fora da proteção da magnetosfera terrestre, é influenciado pela Atividade Solar, através de fenômenos como ejeções de massa coronária, ventos solares, raios de transmissão de energia etc. O ciclo solar de 11 anos. Quando da baixa atividade, Máximo Solar, libera grandes quantidades de partículas no Espaço Corrente de Matéria. Ao focarem a Terra, essas partículas causam Tempestades Geomagnéticas, com perturbações na ionosfera, causando distúrbios na Alta Atmosfera. O Campo Magnético da Terra e a magnetosfera protegem a entrada de partículas altamente energéticas, que causam danos à saúde humana e a obtenção por sondas Espaciais e detectores de raios cósmicos. O estudo do Clima Espacial é obtido por sondas Espaciais e detectores de raios cósmicos. O Observatório Espacial do Sul, São Martinho de Serra, RS, Brasil, possui o grupo Lagrangean. Os mais importantes são SOHO, ACE e Wind. Esses dados são utilizados para planejamento de equipamentos no Espaço. Devido a estes dados, é possível fazer o planejamento de satélites na construção de redes de telecomunicações e o GPS. O objetivo deste trabalho é estudar o Clima Espacial para otimizar a nossa capacidade de evitar riscos de danos econômicos e ambientais. Para isso, necessitamos um Sistema Internacional Integrado, que permita a troca de dados e a obtenção de dados precisos e confiáveis. Essa é a missão de satélites e observatórios Espaciais do Clima Espacial para prever danos tanto econômicos,



FONTE: <http://www.nasa.gov>

### INTRODUÇÃO

As Tempestades Geomagnéticas constituem um dos principais processos do Clima Espacial, pois são influenciadas de uma maneira direta, o Sol, o Espaço Interplanetário, a Magnetosfera Terrestre e consequentemente a superfície terrestre. As Tempestades Geomagnéticas têm sido objeto extensivo de estudos desde que seus efeitos observados na Terra, tais como: a aceleração de partículas carregadas, intensidade de brechas elétricas no Espaço e na superfície terrestre, ocorrência de auroras nos polos, prejuízos causados em telecomunicações, sistemas de navegação, órbita de satélites, oleodutos, exploração de recursos minerais, sistemas de armazenamento de energia, sistemas biológicos e danos das radiações colocando em risco a vida de astronautas durante missões no Espaço.

### TEMPESADES GEOMAGNÉTICAS

O Clima Interplanetário pode ser definido como a região que se estende do Sol até o meio interplanetário. Os fenômenos físicos que ocorrem nesta região têm como origem o Sol e a sua atividade, sendo influenciados direta dos processos físicos que ocorrem no interior do astro. Esses processos, que descrevem instabilidades de plasma e Campo Magnético estão influenciados de maneira direta que variam de acordo com o Ciclo Solar de 11 anos. O Sol possui sua própria atividade, que é caracterizada pelo aumento do número de manchas solares e ocorrência de explosões ("flares") na região das manchas. Estas explosões liberam grandes quantidades de matéria e altas velocidades chamadas Ejeções Coronárias de Matéria (ECM) que são carregadas pelo Vento Solar em direção às linhas do Campo Magnético Interplanetário. As ECMs frequentemente possuem forma de "nuvem magnética" que ao se deslocarem em direção à Magnetosfera Terrestre causam as chamadas "Tempestades Geomagnéticas". Para medir a intensidade da corrente de anel são utilizados valores horários da variação média global do componente H em bases instaladas, constituindo o chamado índice Dst. A tempestade é considerada intensa quando o Dst < -100nT.

### DADOS

Os dados são obtidos dos satélites ACE, WIND e IMP-8, estes satélites possuem a bordo instrumentos como: Espectrômetro de Raios Cômicos, Espectrômetro Solar, Espectrômetro Ultra de Baixa Energia, Analisador de Partículas Energéticas Solares, Espectrômetro de Vento Solar, Detector de Prótons, Elétrons e Partículas Alfa, Magnetômetro. Estes dados ficam dispostos na Internet ficando-se possível a sua análise. E dados do telescópio sintilador de múons do Observatório Espacial do Sul-Oeste/RS/INPE-MCT

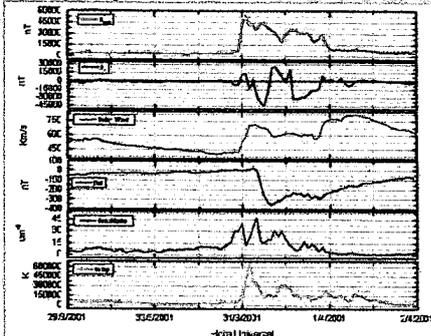


Gráfico 1 - Os seis painéis mostram raios cósmicos total e sua composição de raios cósmicos de baixa energia, raios de alta energia, raios de alta energia e raios de alta energia e raios de alta energia.

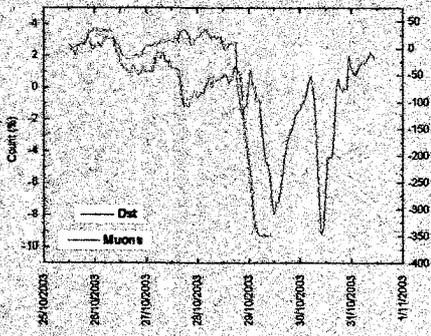


Gráfico 2 - As setinhas indicam as quedas de múons e as suas derivações do índice Dst caracterizando a Tempestade Geomagnética.

### Agradecimentos:

Os autores gostariam de agradecer ao pessoal de operação das missões ACE, WIND e IMP-8, bem como o pessoal de operação da Universidade de Kyoto, por fornecerem os dados interplanetários e de superfície utilizados neste trabalho. Dados de campo magnético interplanetário e de plasma do satélite ACE são cortesia de N. Ness (Bartol Research Institute) e D. J. McCombes (SWRI), através do sistema do ISTEP-CDAWeb, e dados do índice Dst são cortesia de WDC-Kyoto. Os autores gostariam igualmente de agradecer ao Programa PIBIC do CNPq e ao programa PET da CAPES pelas bolsas de iniciação científica, e à FAPESP pelos programas de pós-doutoramento, processos 02/14150-0 e 02/12723-2. Ao Dr. Kazukioki Mitsuoka do Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Japão, por permitir a utilização dos dados do Detector de São Martinho da Serra.

### REFERÊNCIAS

Gonzalez, W.D.; Tsurutani, R.T.; *Criteria of interplanetary causing intense magnetic storms (Dst < -100nT)*. Planet Space Sci, v.35, n.9, p.1101-1109, Jul.1987.  
 Del Lago, A. *Estudo de nuvens magnéticas geoefetivas no meio interplanetário*. São José dos Campos, 112 p. (INPE-7263-TDU/705. Tese (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.  
[http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/cdaweb/istp\\_public/](http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/cdaweb/istp_public/), <http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/cdaweb/eval2.cgi>, <http://swdowwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/>

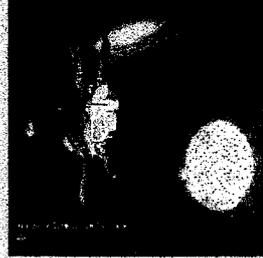


Destruição de uma estação de energia em Canadá causada por uma Tempestade Geomagnética.

### INSTRUMENTOS QUE AUXILIAM NA PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL



Telescópio Cintilador de múons localizado no Observatório Espacial do Sul-Oeste/RS/INPE-MCT em São Martinho da Serra/RS, Rio Grande do Sul, Brasil, é parte do Rede Internacional de Detectores de múons, junto com o telescópio de Niigata no Japão e Robot na América.



Satélite ACE, localizado no posto Lagrangean L1, Coordenado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) através do clima espacial do espaço japonês com os Satélites WIND e IMP-8.

### RESULTADOS

Este trabalho abordará a importância da previsão do Clima Espacial usando a análise dos parâmetros interplanetários das Tempestades Geomagnéticas, onde vimos que o índice Dst atingiu o valor de pico de -350 nT, considerando-se tempestades muito intensa. A previsão dessas tempestades pode ser detectada 2 horas antes de atingir a Terra no caso dos satélites e 8 a 12 horas no caso do Telescópio de múons.

### CONCLUSÕES

A importância do estudo do Clima Espacial se faz necessário para que possamos prever estas Tempestades Magnéticas sem que causem danos, tanto à satélites em órbita que causam prejuízos econômicos, quanto para a vida humana, no caso dos astronautas.



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



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA – UFSM/MEC  
LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA – LACESM/CT/UFSM  
PARCERIA: INPE/MCT – UFSM/MEC

IDENTIFICAÇÃO DAS ORIGENS INTERPLANETÁRIAS DAS TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS INTENSAS ( DST < -100nT )  
DE 22 DE OUTUBRO DE 1999 E 6 DE ABRIL DE 2000.

Jairo F. Savian<sup>(1,2)</sup>, Marcos R. da Silva<sup>(3)</sup>, Marcos R. Signori<sup>(1,2)</sup>, Vânia F. Andrioli<sup>(1,2)</sup>, Sílio Buchner<sup>(1,2)</sup>, Afonso Dal Lago<sup>(4,5)</sup>, Luiz Eduardo Vieira<sup>(4,5)</sup>, Ezequiel Echer<sup>(5)</sup>, K. Munakata<sup>(5)</sup>, Walter D. Gonzalez<sup>(5)</sup>, Nelson J. Schuch<sup>(1)</sup>

- (1) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - Santa Maria - RS, Brasil - Contato: savian@lacesm.ufsm.br ;  
(2) Universidade Federal de Santa Maria – Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - Santa Maria - RS, Brasil;  
(3) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Geofísica Espacial - São José dos Campos - SP, Brasil;  
(4) Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, SP, Brasil;  
(5) Physics Dept., Shimizu University, Nagano, JAPAN.

RESUMO

As características das emissões solares relacionam-se à sua atividade. O aspecto mais marcante da atividade solar é o ciclo de 11 anos, passando por um mínimo e um máximo, onde o número de manchas solares cresce ocorrendo um aumento dos fenômenos energéticos a elas associados, como os "flares" e as Ejeções Coronais de Massa (CME), que por sua vez estão relacionadas às Tempestades Geomagnéticas na Terra. As Tempestades Geomagnéticas caracterizam-se pelo decréscimo na componente H, horizontal, do Campo Magnético Terrestre. O decréscimo atribui-se a um aumento da população de partículas aprisionadas na Magnetosfera, intensificando a chamada "Corrente de Anel". Estas tempestades estão associadas às estruturas interplanetárias cuja componente do Campo Magnético Interplanetário, na direção z (B<sub>z</sub>), esteja para o Sul, ou seja, antiparalela à direção do Campo Magnético Terrestre. Assim, o Campo Magnético Interplanetário interconecta-se com o campo geomagnético ocorrendo um transporte efetivo de energia para dentro da Magnetosfera. A Tempestade Magnética caracteriza-se por três fases: fase inicial, identificada por um salto dos campos físicos do Meio Interplanetário; fase principal, caracterizada por um alto decréscimo do índice Dst e fase de recuperação, onde os campos físicos voltam aos seus valores iniciais. O objetivo deste trabalho é identificar a origem das Tempestades Geomagnéticas Intensas (Dst < -100nT), dos dias 22 de outubro de 1999 e 6 de abril de 2000. Foram utilizados dados dos parâmetros interplanetários como: plasma (velocidade do Vento Solar, densidade e temperatura de prótons), Campo Magnético Interplanetário (componentes B<sub>x</sub>, B<sub>y</sub>, B<sub>z</sub>), provenientes dos satélites WIND e ACE e do Índice Dst para a identificação das tempestades. O monitoramento destes parâmetros é de significativa importância para um melhor entendimento da variabilidade do Clima Espacial, propiciando informações a respeito das condições do Meio Interplanetário, atividade solar e o possível desenvolvimento de Tempestades Geomagnéticas, cujos efeitos podem ser sentidos no meio-ambiente terrestre.

INTRODUÇÃO

As Tempestades Geomagnéticas constituem um dos principais processos do Clima Espacial. Os estudos realizados têm sido de crucial importância devido aos seus efeitos observados na Terra, tais como: a aceleração de partículas carregadas, intensidade de correntes elétricas no espaço e na superfície terrestre, ocorrência de auroras nos pólos, prejuízos causados em telecomunicações, sistemas de navegação, órbita de satélites, oleodutos, exploração de recursos minerais, sistemas de fornecimento de energia, sistemas biológicos e danos das radiações colocando em risco a vida de astronautas durante missões no espaço

DADOS

A previsão do Clima Espacial é feita através de instrumentos a bordo de satélites ou em Terra, exemplo disso são os satélites ACE, WIND e IMP-8. Estes satélites possuem a bordo instrumentos como: Espectrômetro de Raios Cósmicos, Espectrômetro Solar, Espectrômetro Ultra de Baixas Energias, Analisador de Partículas Energéticas Solares, Espectrômetro de Vento Solar, Monitor de Prótons, Elétrons e Partículas Alfa, Magnetômetro. A previsão das Tempestades Geomagnéticas feita pelo satélite ACE é de cerca de 1 a 2 horas de antecedência. A Rede Internacional de Detectores de Muons, constituída pelos detectores de Nagoya - Japão -, Hobart - Austrália - e o detector protótipo localizado em São Martinho da Serra - Brasil -, auxilia na previsão do Clima Espacial, podendo prever as Tempestades Geomagnéticas com uma Antecedência de 8 a 12 horas - Munakata et al. 2000 -. Os dados dos satélites estão disponíveis através do sistema CDA - Coordinate Data Analysis - do programa ISTEP - International Solar-Terrestrial Physics -.

ANÁLISE DA TEMPESTADE GEOMAGNÉTICA DE 22 DE OUTUBRO DE 1999

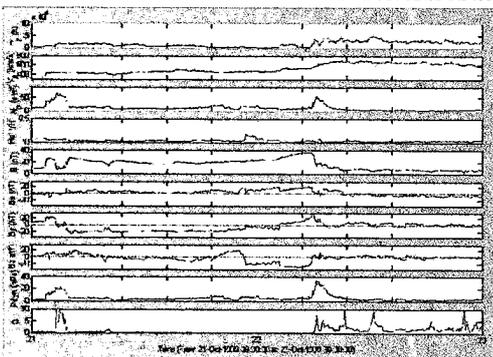


FIGURA 1

<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/>

ANÁLISE DA TEMPESTADE GEOMAGNÉTICA DE 6 DE ABRIL DE 2000

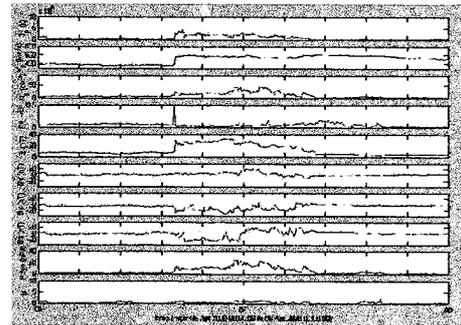


FIGURA 2

<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/>

RESULTADOS E CONCLUSÕES

A Figura 1 mostra os parâmetros do Meio Interplanetário observados pelo satélite ACE em 22 de abril de 1999. Esta tempestade foi causada por uma ejeção, como é caracterizado pelo aumento da componente B<sub>z</sub>(nT). O aumento súbito da temperatura de prótons, densidade numérica e velocidade do Vento Solar e campo magnético caracteriza uma onda de choque logo a frente dessa ejeção. No início do dia 22, observou-se um feixe rápido seguindo a ejeção. É possível que a interação entre este feixe rápido e a ejeção tenha causado a tempestade. A Figura 2 mostra as variações temporais de uma estrutura do Meio Interplanetário observada pelo satélite ACE em 6 de abril de 2000. Uma onda de choque se caracteriza pelo aumento súbito do Campo Magnético Interplanetário, aumento na temperatura de prótons, aumento na velocidade do Vento Solar. Esta onda de choque não estava acompanhada de uma ejeção (nuvem magnética), indicando que possivelmente a Terra não estava em rota de colisão com a ejeção, apenas com o choque por ela produzido. Esta onda de choque comprimiu e intensificou o campo magnético existente no Vento Solar, o qual por estar apontado na direção Z negativa, causou a tempestade, conforme vimos pelo índice Dst. Portanto, neste trabalho foi feita a análise e a identificação das estruturas causadoras das Tempestades Geomagnéticas intensas dos dias 22 de outubro de 1999 e 6 de abril de 2000.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao pessoal de operação das missão ACE, bem como o pessoal de operação da Universidade de Kyoto, por fornecerem os dados interplanetários e de superfície utilizados neste trabalho. Dados de campo magnético interplanetário e de plasma do satélite ACE são cortesia de N. Ness (Bartol Research Institute) e D. J. McComas (SWRI), através do sistema do ISTEP-CDAWeb, e dados do índice Dst são cortesia de WDC-Kyoto. Os autores gostariam igualmente de agradecer ao Programa PIBIC do CNPq e ao programa PET da CAPES pelas bolsas de iniciação científica, e à FAPESP pelos programas de pós-doutoramento, processos 02/14150-0 e 02/12723-2.

REFERÊNCIAS

- Gonzalez, W.D.; Tsurutani, B. T.; *Criteria of interplanetary causing intense magnetic storms(Dst<-100nT)*. *Planet Space Sci*, v.35, n.9, p.1101-1109, Jul.1987.  
Gonzalez, W. D.; Tsurutani, B. T.; Chua de Gonzalez, A. L. *Interplanetary origin of geomagnetic storms*. *Space Sci. Rev.* v.88, p.529-562, 1999.  
Gonzalez, W. D.; Joselyn, J. A.; Kamide, Y.; Kroehl, H. W.; Rostoker, G.; Tsurutani, B. T.; e Vasyliunas, V. M. *What is a magnetic storm?*. *J. Geophys. Res.*, v.99, n.A4, p.5771-5792, Apr. 1994.  
Dal Lago A. *Estudo de nuvens magnéticas geofísicas no meio interplanetário*. São José dos Campos, 112 p. (INPE-7263-TDI/705. Tese (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria  
Rua 750 - Santa Maria - RS, Brasil



## ANEXO 3 – PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

Neste anexo está apresentado o projeto correspondente a bolsa de iniciação científica

Nome do Orientador: Walter Demétrio Gonzalez-Alarcon C.P.F.: 739.508.238-91

Título do Projeto: “Identificação das origens interplanetárias das Tempestades Geomagnéticas intensas ocorridas no período de 1999 a 2002”.

Palavras-chaves

1 - Tempestades Geomagnéticas; 2 – Meio Interplanetário; 3 – Clima Espacial

Área do conhecimento  
1.07.02.00-8 Geofísica

### Objetivos Específicos

O objetivo principal deste projeto é identificar os tipos de estruturas interplanetárias que causaram as tempestades geomagnéticas durante o máximo do ciclo solar 23, ou seja, durante o período de 1999 a 2002. Durante este período houve observações de raios cósmicos pela rede de detectores de muons, da qual o Observatório Espacial do Sul passou a fazer parte desde 2001, as quais estão sendo usadas para a previsão da ocorrência destas tempestades geomagnéticas com elevada eficiência, podendo fornecer até 8 horas de alerta (Munakata et al., 2000). A identificação das estruturas interplanetárias que causaram as tempestade intensas neste período serão muito importantes para uma comparação futura com as observações de raios cósmicos (muons), permitindo verificar se há algum tipo preferencial de estrutura que pode ser detectada pela rede de detectores de muons. Este trabalho, portanto, fará parte de um grande projeto de estudo do Clima Espacial utilizando vários tipos de observações. Especificamente o aluno terá como objetivos: (1) familiarização com as estruturas observadas no meio interplanetário próximo à Terra, tais como ondas de choque, ejeções solares, nuvens magnéticas; (2) familiarização com as conseqüências geomagnéticas relacionadas a estas estruturas, tais como as Tempestades Geomagnéticas (Gonzalez e Tsurutani, 1987; Gonzalez et al., 1994; Gonzalez et al., 1999); (3) manipulação de dados oriundos de observações de satélites localizados no meio interplanetário, principalmente o ACE (*Advanced Composition Explorer*), que fornece dados de velocidade, densidade e temperatura do vento solar, e campo magnético do vento solar; (4) identificação de estruturas a partir destes dados, tais como ondas de choque, ejeções interplanetárias e nuvens magnéticas, para o período em torno máximo do ciclo solar 23 (1999 à 2002). Os dados interplanetário estão disponíveis através do sistema CDA (*Coordinate Data Analysis*) do programa ISTP (*International Solar-Terrestrial Physics*), ao qual o INPE tem acesso.

**Relatório Final de Atividades 2004**



## **Metodologia**

O aluno utilizará observações de índice Dst disponíveis no sítio da Universidade de Kyoto (Japão), que mede a intensidade da corrente de anel magnetosférica (Mendes Jr. 1992), para identificar as tempestades geomagnéticas mais intensas ocorridas ( $Dst < -100$  nT) no período de 1999 à 2002. Em seguida o aluno utilizará os dados de observações do meio interplanetário, preferencialmente do satélite ACE, disponíveis no sistema CDA do ISTP, para identificar as estruturas interplanetárias relacionadas a estas tempestades intensas. Para tanto o aluno fará uso de softwares de análise de dados como o IDL (*Interactive Data Language*), disponíveis no CRSPE/INPE.

## **Plano de trabalho do bolsista**

(1) estudo da literatura referente às estruturas interplanetárias causadoras de tempestades geomagnéticas, tais como as diversas teses e dissertações produzidas no grupo de pesquisa do orientador no INPE em São José dos Campos, SP; (2) obtenção dos dados do índice Dst para identificação das tempestades intensas ocorridas no período de estudo; (3) obtenção dos dados interplanetários referentes ao mesmo período; (4) confecção de gráficos dos parâmetros interplanetários; (5) análise dos dados para identificação de estruturas como ondas de choque e nuvens magnéticas interplanetárias, conforme descritos em trabalhos anteriormente publicados pelo grupo do orientador (Dal Lago, 1999); (6) elaboração de trabalhos da serem apresentados em congressos de iniciação científica.

## **Cronograma de atividades**

espera-se que a cada 2 meses o aluno realize cada um dos itens acima descritos, podendo estender este trabalho por mais um ano conforme a profundidade da análise.

## **Resultados esperados**

(1) aprendizado por parte do aluno de conceitos físicos relacionados à física espacial em geral e à área específica da física da magnetosfera e do meio interplanetário; (2) confecção de gráficos com os parâmetros interplanetários e geomagnéticos das tempestades intensas ocorridas no período de 1999 à 2002; (3) identificação das estruturas interplanetárias causadoras das tempestades geomagnéticas neste período; (4) elaboração e apresentação de trabalho(s) em eventos de iniciação científica; (5) elaboração de relatórios parciais e final das atividades.



## **ANEXO 4**

### **CERTIFICADOS**

Este Anexo apresenta os certificados dos trabalhos apresentados como autor e co-autor, bem como dos eventos Nacionais e Internacionais dos quais o aluno participou durante o período de vigência da bolsa do Programa PIBIC/INPE-CNPq/MCT.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA



## ATESTADO

Atestamos que o acadêmico **JAIRO FRANCISCO SAVIAN** participou do **Curso Tópicos em Clima Espacial**, proferido pelos Dr. Alisson Dal Lago, Dr. Luís Eduardo Antunes Vieira e Msc. Alan Prestes no período de 05 a 08 de agosto de 2003, com uma carga horária de 45 horas, realizado dentro da Parceria INPE – UFSM no Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM e no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/CEP/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.

Santa Maria, 11 de maio de 2004.

Prof.ª Damaris Kirsch Pinheiro  
Diretora do LACESM/CT/UFSM



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA



## ATESTADO

Atestamos que o acadêmico **JAIRO FRANCISCO SAVIAN** participou do **Curso Tópicos em Observações Científicas da Cooperação Brasil-Japão** proferido pelos Dr.Kazuo Makita, Dr. Masanori Nishino e Dr.Tatsuo Torii, no dia 22 de agosto de 2003, com uma carga horária de 8 horas, realizado dentro da Parceria INPE – UFSM no Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM e no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/CEP/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.

Santa Maria, 11 de maio de 2004.

  
Prof.<sup>a</sup> Damaris Kirsch Pinheiro  
Diretora do LACESM/CT/UFSM

# CRICIE

XVIII Congresso Regional de Iniciação  
Científica e Tecnológica em Engenharia  
IV Feira de Protótipos **2003**  
UNIVALI

**Certificamos que**

*Jaivo Francisco Santos*

**Participou do XVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia - CRICTE 2003, e  
IV Feira de Protótipos, realizado de 9 a 11 de outubro de 2003, na Universidade do Vale do Itajaí,  
Santa Catarina, Brasil.**



Prof. Valdir Quechinel Filho, Dr.  
Pró-Reitor de Pesquisa, Pós-Graduação,  
Extensão e Cultura

Prof. Sílvia Santos, M.Sc.  
Presidente da Comissão Organizadora  
do XVIII CRICTE e IV FEIRA DE PROTÓTIPOS

Prof. Fernando Luiz Prieth, M.Sc.  
Diretor do Centro de Ciências  
Tecnológicas da Terra e do Mar - CTTMar

# CRICTE

XVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia  
IV Feira de Protótipos 2003  
UNIVALI

**Certificamos que**

*Jairo F. Savian*

Participou do XVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia - CRICTE 2003, e IV Feira de Protótipos, realizado de 9 a 11 de outubro de 2003, na Universidade do Vale do Itajaí, Santa Catarina, Brasil, apresentando o trabalho:

**IDENTIFICAÇÃO DAS ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS RESPONSÁVEIS PELA ORIGEM DAS TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS DE 31 DE MARÇO DE 2001 E DE 11 DE ABRIL DE 2001**



Prof. Valdir Gecchinel Filho, Dr.  
Pró-Reitor de Pesquisa, Pós-Graduação,  
Extensão e Cultura

Prof. Fernando Luiz Diehl, M.Sc.  
Diretor do Centro de Ciências  
Tecnológicas da Terra e do Mar - CTTMar

Prof. Sílvia Santos, M.Sc.  
Presidente da Comissão Organizadora  
do XVIII CRICTE e IV FEIRA DE PROTOTIPOS

# XVIII JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA

Ministério da Educação - Universidade Federal de Santa Maria

## CERTIFICADO

Certificamos que

JAIRO FRANCISCO SAVIAN

NELSON JORGE SCHUCH

Alisson Dal Lago

MARCOS ROBERTO SIGNORI

MARLOS ROCKENBACH DA SILVA

Walter D. Gonzalez

Participaram da XVIII Jornada Acadêmica Integrada, realizada nos dias 14, 15 e 16 de outubro de 2003, com o trabalho:

PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL COM A UTILIZAÇÃO DA REDE  
INTERNACIONAL DE DETECTORES DE MUONS NO PERÍODO DE MARÇO DE  
2001 A NOVEMBRO DE 2002



Comissão Executiva  
Outubro de 2003

Divulgue sua idéia!

2003

UFMS

[www.ufsm.br/jornada](http://www.ufsm.br/jornada)

# XVIII JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA

Ministério da Educação - Universidade Federal de Santa Maria

## CERTIFICADO

Certificamos que

MARCOS ROBERTO SIGNORI  
NELSON JORGE SCHUCH  
JAIRO FRANCISCO SAVIAN  
MARLOS ROCKENBACH DA SILVA

Participaram da XVIII Jornada Acadêmica Integrada, realizada nos dias 14, 15 e 16 de outubro de 2003, com o trabalho:

IMPLEMENTAÇÃO DA REDE INTERNACIONAL DE DETECÇÃO DE MUONS  
COM APLICAÇÃO AO CLIMA ESPACIAL

*D. Migliorini*  
conferiu com o autor  
P/ GENES RAVAZI IFFARRAGUIRE  
Chefe do GAP - CT - UFSM

Divulgue sua idéia!

2003  
UFSM  
www.ufsm.br/jornada

*Rualdo B. Gonçalves*

Comissão Executiva  
Outubro de 2003

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Pró Reitoria de Pesquisa  
**XV Salão de Iniciação Científica**  
**XII Feira de Iniciação Científica**  
C e r t i f i c a d o      2 0 0 3

**Certificamos que o trabalho**

**INSTALAÇÃO DO DETECTOR UNI-DIRECIONAL DE  
PARTÍCULAS DE RAIOS CÓSMICOS ASSOCIADAS A  
DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS NO OBSERVATÓRIO  
ESPACIAL DO SUL OES/CRSPE/INPE-MCT**

de autoria de

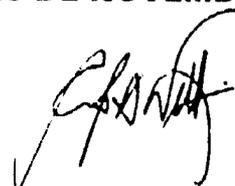
**MARCOS ROBERTO SIGNORI  
JAIRO FRANCISCO SAVIAN  
MARLOS ROCHENBACH DA SILVA  
VÂNIA FÁTIMA ANDRIOLI  
TATSUO TORII  
KAZUO MAKITA**

tendo como orientador

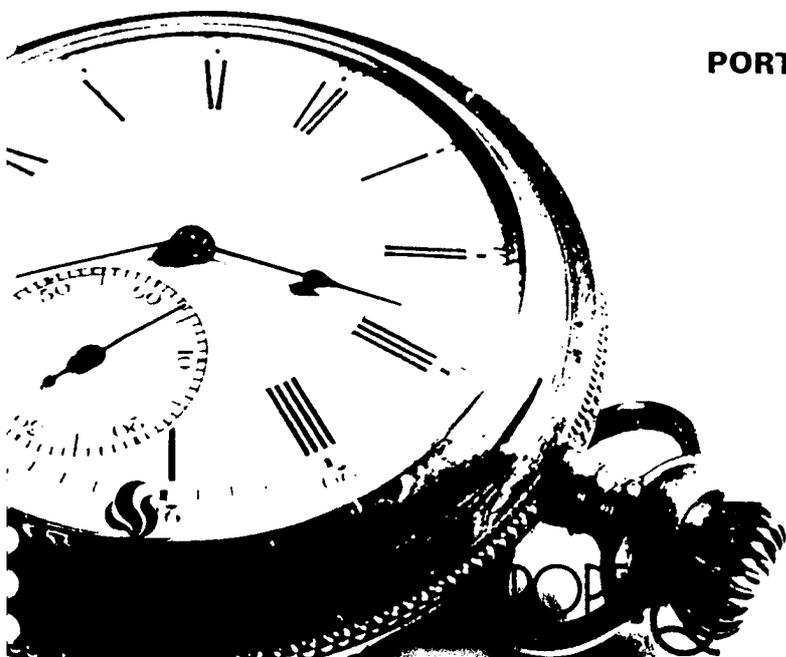
**NELSON JORGE SCHUCH**

foi apresentado no XV SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA promovido pela Pró-Reitoria de Pesquisa/PROPESQ da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no período de 24 a 28 de novembro de 2003.

**PORTO ALEGRE, 28 DE NOVEMBRO DE 2003.**



**CARLOS ALEXANDRE NETTO**  
PRÓ-REITOR DE PESQUISA, UFRGS



*Universidade Viva*



# XII Congresso de Iniciação Científica V Encontro da Pós-Graduação

VENPÓS  
encontro de pós-graduação  
**XII CIC**  
XII Congresso de Iniciação Científica



## CERTIFICADO

Certificamos que **Jairo Francisco Savian** apresentou o Trabalho, *Importância do estudo do Clima Espacial* no XII Congresso de Iniciação Científica e V Encontro de Pós-Graduação, realizado na UFPel, no período de 03, 04 e 05 de dezembro de 2003, tendo como autores; **Jairo Francisco Savian; Marlos R. da Silva; Marcos Roberto Signori; Vânia fátima Andrioli; Alisson Dal Lago; Luiz Eduardo A. Vieira; Ezequiel Echer; Walter D. Gonzalez; Nelson J. Schuch** sob a orientação do(a) Prof.(a) **Walter Demétrio Gonzalez Alarcon**.

Prof. Dr. Marcio Nunes Corrêa

Coordenador do XII CIC e V ENPÓS



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA



## ATESTADO

Atestamos que o acadêmico **JAIRO FRANCISCO SAVIAN** participou do **Curso IDL e Métodos Matemáticos**, proferido pelo Dr. Clezio Marcos De Nardin, no período de 05 a 09 de janeiro de 2004, com uma carga horária de 45 horas, realizado dentro da Parceria INPE – UFSM no Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM e no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/CEP/INPE – MCT, em Santa Maria, RS.

Santa Maria, 11 de maio de 2004.

Prof.ª Damaris Kirsch Pinheiro  
Diretora do LACESM/CT/UFSM

# VII COLAGE

## 7<sup>th</sup> LATIN-AMERICAN CONFERENCE ON SPACE GEOPHYSICS

---

*Space Sciences for the XXI Century*

---

### CERTIFICATE

We certify that **Jairo Francisco Savian**

attended the **First Latin American Advanced School on Space Environment (ASSE 2004)** held at the National Institute for Space Research - INPE, São José dos Campos, SP, Brazil, from 22 to 27 of March, 2004.

São José dos Campos, March 27<sup>th</sup>, 2004.



Organizing Committee

# VII COLAGE

## 7<sup>th</sup> LATIN-AMERICAN CONFERENCE ON SPACE GEOPHYSICS

---

*Space Sciences for the XXI Century*

---

## CERTIFICATE

We certify that **Jairo Francisco Savian**

attended the **7<sup>th</sup> LATIN-AMERICAN CONFERENCE ON SPACE GEOPHYSICS**, held at the Hotel Village Eldorado  
Atibaia, Atibaia - SP, Brazil, from March 29<sup>th</sup> to April 2<sup>nd</sup>, 2004.

Atibaia, April 2<sup>th</sup>, 2004.



Organizing Committee

# VII COLAGE

## 7<sup>th</sup> LATIN-AMERICAN CONFERENCE ON SPACE GEOPHYSICS

---

*Space Sciences for the XXI Century*

---

### CERTIFICATE

We certify that the paper "Identificação de anisotropias precursoras das tempestades geomagnéticas intensas (Dst < -100 nT) de 22 de outubro de 1999 e 6 de abril de 2000

has been presented by Savian, J.F., Silva, M.R., Signori, M.R., Anadrioli, V.F., Buchner, S., Dal Lago, A., Vieira, L.E.A., Echer, E., Gonzalez, W.D., Schuch, N.J.,

during the 7<sup>th</sup> LATIN-AMERICAN CONFERENCE ON SPACE GEOPHYSICS, held at the Hotel Village Eldorado Atibaia, Atibaia - SP, Brazil, from March 29<sup>th</sup> to April 2<sup>nd</sup>, 2004.

Atibaia, April 2<sup>th</sup>, 2004.



Organizing Committee

# VII COLAGE

## 7<sup>th</sup> LATIN-AMERICAN CONFERENCE ON SPACE GEOPHYSICS

*Space Sciences for the XXI Century*

### CERTIFICATE

We certify that the paper *Variações nas amplitudes das pulsações impulsivas com o aumento do campo magnético total F*

has been presented by *Buchner, S., Trivedi, N. B., Frigo, E., Moreira, V. S., Savian, J. F., Andrioli, V. F., Schuch, N. J.*

during the 7<sup>th</sup> LATIN-AMERICAN CONFERENCE ON SPACE GEOPHYSICS, held at the Hotel Village Eldorado Atibaia, Atibaia - SP, Brazil, from March 29<sup>th</sup> to April 2<sup>nd</sup>, 2004.

Atibaia, April 2<sup>th</sup>, 2004.



Organizing Committee

# VII COLAGE

## 7<sup>th</sup> LATIN-AMERICAN CONFERENCE ON SPACE GEOPHYSICS

---

*Space Sciences for the XXI Century*

---

### CERTIFICATE

We certify that the paper *Determinação da relação entre a intensidade do campo elétrico atmosférico e observação de partículas de raios cósmicos- muons, detectados em tempestades troposféricas intensas*

has been presented by

**Marcos Roberto Signori, Jairo, F. Savian, Marlos, R. da Silva, Vânia Andrioli, Torii, T., Makita, K., Nelson J. Schuch**

during the 7<sup>th</sup> LATIN-AMERICAN CONFERENCE ON SPACE GEOPHYSICS, held at the Hotel Village Eldorado Atibaia, Atibaia - SP, Brazil, from March 29<sup>th</sup> to April 2<sup>nd</sup>, 2004.

Atibaia, April 2<sup>th</sup>, 2004.



Organizing Committee

[Imprimir](#)[Fechar](#)*Referência Completa*

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Tipo da Referência      | Conference Proceedings   |
| Chave Secundária        | INPE-11562-PRE/6950  |
| Chave de Citação        | Savian:2004:IdOrIn   |
| Autor(es)               | Savian, Jairo Francisco  |
| Título                  | Identificação das Origens Interplanetárias das Tempestades Geomagnéticas Intensas Ocorridas no Período De 1999 À 2002  |
| Nome do Evento          | Seminário de Iniciação Científica do INPE (SICINPE)  |
| Localização do Evento   | São José dos Campos  |
| Data                    | 03 e 04 de ago. 2004   |
| Editora (Publisher)     | INPE   |
| Ano                     | 2004   |
| Páginas                 | 1-81   |
| Título do Livro         | Anais  |
| Endereço da Editora     | São José dos Campos  |
| Organização             | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  |
| Repositório do Metadado | sid.inpe.br/marciana/2004/11.19.15.22.32   |
| Resumo                  | <p>Este trabalho, iniciado em agosto de 2003, tem como objetivo principal identificar os tipos de estruturas interplanetárias que causam as Tempestades Geomagnéticas durante o máximo do ciclo solar 23, ou seja, no período de 1999 à 2002. Durante este período houve observações de raios cósmicos pela rede de detectores de muons, da qual o Observatório Espacial do Sul passou a fazer parte desde 2001, as quais estão sendo usadas para a previsão da ocorrência dessas Tempestades Geomagnéticas com elevada eficiência, podendo fornecer até 8 horas de alerta - Munakata et al., 2000 -. O conhecimento dos fenômenos do Meio Interplanetário, como nuvens magnéticas e choques interplanetários, fornece informações importantes a respeito da dinâmica do Meio Interplanetário e do conseqüente desenvolvimento de Tempestades Geomagnéticas. Os satélites ACE, WIND e IMP-8, propiciam um monitoramento contínuo do Clima Espacial através de dados de plasma e Campo Magnético Interplanetário, permitindo uma identificação das diferentes estruturas presentes no Meio Interplanetário. No entanto, através destes dados o conhecimento da chegada das estruturas que originam uma Tempestade Geomagnética é possível com poucas horas de antecedência. Para a análise destes dados foi preciso um aprendizado do ambiente de programação MATLAB - Matrix Laboratory. Durante o período de vigência da bolsa, doze (12) trabalhos foram desenvolvidos e apresentados em congressos de nacionais de Iniciação Científica, como em congressos internacionais, relacionados ao estudo das Tempestades Geomagnéticas. Como resultado inicial verificou-se que os eventos de Tempestades Geomagnéticas, <math>Dst &lt; -100nT</math>, são causados por estruturas interplanetárias diferenciadas como nos resultados analisados. O presente estudo envolveu um conjunto específico de tempestades intensas, que deve ser ampliado. O</p> |

|                                |   |
|--------------------------------|---|
|                                | conhecimento das origens solares de eventos de Tempestades Geomagnéticas é necessário, completando dessa forma, observações interplanetárias. |
| Última Atualização do Metadado | 2004:11.19.17.22.33 sid.inpe.br/banon/2003/08.15.17.40 sergio   |
| Site                           | <iris.sid.inpe.br:1916>   |
| Idioma                         | Portuguese  |
| Detentor da Cópia              | SID/SCD   |
| Divulgação                     |   |
| Formato                        | Papel   |
| Area                           | CEA   |
| Grupo(s)                       | DGE   |
| Afiliação                      | UFSM/INPE, Bolsista PIBIC/CNPq  |
| Usuário Avançado               | sergio  |
| Grupo de Usuários              | sergio  |
| Visibilidade                   | shown   |
| Data de Acesso                 | 19 nov. 2004  |
| <a href="#">atualizar</a>      |   |

[Fechar](#)

## **Identificação das Origens Interplanetárias das Tempestades Geomagnéticas Intensas Ocorridas no Período De 1999 À 2002**

Jairo Francisco Savian<sup>1</sup> (UFSM/INPE, Bolsista PIBIC/CNPq)  
Dr. Walter Demétrio Gonzalez Alarcon<sup>2</sup> (DGE/CEA/INPE)

### **RESUMO**

Este trabalho, iniciado em agosto de 2003, tem como objetivo principal identificar os tipos de estruturas interplanetárias que causam as Tempestades Geomagnéticas durante o máximo do ciclo solar 23, ou seja, no período de 1999 à 2002. Durante este período houve observações de raios cósmicos pela rede de detectores de muons, da qual o Observatório Espacial do Sul passou a fazer parte desde 2001, as quais estão sendo usadas para a previsão da ocorrência dessas Tempestades Geomagnéticas com elevada eficiência, podendo fornecer até 8 horas de alerta – Munakata et al., 2000 - . O conhecimento dos fenômenos do Meio Interplanetário, como nuvens magnéticas e choques interplanetários, fornece informações importantes a respeito da dinâmica do Meio Interplanetário e do conseqüente desenvolvimento de Tempestades Geomagnéticas. Os satélites ACE, WIND e IMP-8, propiciam um monitoramento contínuo do Clima Espacial através de dados de plasma e Campo Magnético Interplanetário, permitindo uma identificação das diferentes estruturas presentes no Meio Interplanetário. No entanto, através destes dados o conhecimento da chegada das estruturas que originam uma Tempestade Geomagnética é possível com poucas horas de antecedência. Para a análise destes dados foi preciso um aprendizado do ambiente de programação MATLAB – Matrix Laboratory. Durante o período de vigência da bolsa, doze (12) trabalhos foram desenvolvidos e apresentados em congressos de nacionais de Iniciação Científica, como em congressos internacionais, relacionados ao estudo das Tempestades Geomagnéticas. Como resultado inicial verificou-se que os eventos de Tempestades Geomagnéticas,  $Dst < -100nT$ , são causados por estruturas interplanetárias diferenciadas como nos resultados analisados. O presente estudo envolveu um conjunto específico de tempestades intensas, que deve ser ampliado. O conhecimento das origens solares de eventos de Tempestades Geomagnéticas é necessário, completando dessa forma, observações interplanetárias.

---

<sup>1</sup>Aluno do Curso de Física Licenciatura Plena, UFSM. E-mail: savian@lacesm.ufsm.br

<sup>2</sup>Pesquisador da Divisão de Geofísica Espacial, Coordenação Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas. E-mail: gonzalez@dge.inpe.br



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

# AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO

Número

PIBIC-032/04

Título

*M.D.S.*

Identificação das Origens Interplanetárias das Tempestades Geomagnéticas Intensas Ocorridas no Período de 199 a 2002

Autor

Jairo Francisco Savian

Tradutor

Não há

Editor

| Origem | Projeto | Série | No. de Páginas | No. de Fotos | No. de Mapas |
|--------|---------|-------|----------------|--------------|--------------|
|        |         |       | 81             | 0            | 0            |

Tipo

RPQ  PRE  NTC  PRP  MAN  PUD  TAE

Divulgação

Externa  Interna  Reservada  Lista de Distribuição Anexa

Periódico / Evento

Seminário de Iniciação Científica do INPE - SICINPE 2004

Convênio

Autorização Preliminar

\_\_\_/\_\_\_/\_\_\_  
Data

*[Signature]*  
Coordenador do PIBIC  
Programa Institucional de Bolsas  
de Iniciação Científica do INPE

Revisão Técnica

Solicitada  Dispensada  
Recebida \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Devolvida \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Titular de Nível "A"

\_\_\_\_\_  
Assinatura do Revisor

Revisão de Linguagem

Solicitada  Dispensada  
Recebida \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Devolvida \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Titular de Nível "A"

\_\_\_\_\_  
Assinatura do Revisor

Autorização Final

\_\_\_/\_\_\_/\_\_\_  
Data

*[Signature]*  
Marcos Dias da Silva  
Coordenador de Ensino, Docência e  
Programas Especiais

Palavras Chave

Tempestades - Geomagnéticas - Interplanetárias

*[Circular Stamp]*  
INPE - 106.2  
Coordenador de Ensino, Docência e Programas Especiais  
Marcos Dias da Silva  
25/10/2004

