



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

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

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

Luiz Cezar Nunes dos Santos (UFSM, Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT)  
E-mail: [luiz@lacesm.ufsm.br](mailto:luiz@lacesm.ufsm.br)

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

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

Santa Maria, julho de 2006.



**Dados de Identificação:**

**Título do Projeto:**

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

**Bolsista:**

Luiz Cezar Nunes dos Santos

Acadêmico do Curso de Física Bacharelado

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

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

**Processo N°:**

Processo CNPq N° 105371/2005-0

**Orientador:**

Dr. Alisson Dal Lago

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

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

**Co-Orientador:**

Dr. Nelson Jorge Schuch – CRSPE/INPE-MCT

**Local de execução do projeto:**

- Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas do CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.
- Trabalho desenvolvido no âmbito da parceria: INPE/MCT-UFSM através do laboratório de ciências espaciais de Santa Maria – LACESM/CT-UFSM

**Pesquisadores e Estudantes Colaboradores:**

- Doutorando Marlos Rockenbach da Silva – INPE/MCT
- Acadêmico Jairo Francisco Savian – UFSM
- Acadêmico Samuel Martins da Silva – UFSM
- Acadêmico Carlos Roberto Braga – UFSM
- Acadêmico Cristian Willian Saueressig – UFSM



*"É muito melhor arriscar coisas grandiosas, alcançar triunfo e glória, mesmo expondo-se à derrota, do que formar fila com os pobres de espírito, que não gozam muito e nem sofrem muito, porque vivem na penumbra cinzenta que não conhece vitória nem derrota."*

*Theodore Roosevelt*



### *Agradecimentos*

*Agradeço aos meus pais, Luiz Cláudio e Eloísa pelo apoio em minhas decisões e incentivo para que estas se tornassem realidade.*

*Agradeço as minhas irmãs Patrícia e Tais pelo incentivo e apoio financeiro recebido em momentos difíceis.*

*Um agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo suporte financeiro e ao Dr José Carlos Becceneri Coordenador do Programa PIBIC/INPE-CNPq/MCT por dar oportunidades a jovens graduandos participarem de projetos de pesquisa. As secretarias Egidia e Angelita e a Maria Célia pelo apoio e a Professora Dr. Damaris K. Pinheiro, diretora do LACESM/CT-UFSM, pela sua preocupação com o bem estar e desenvolvimento dos alunos de I.C.&T. que atuam na parceria: INPE/MCT-UFSM*

*Agradeço aos meus colegas de laboratório pelo apoio técnico amizade e companheirismo em todos os momentos.*

*Ao pessoal técnico-científico da operação das missões ACE e SOHO pelos dados fornecidos dos processos físicos do Meio Interplanetário e Coroa Solar.*

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

*Gostaria de Agradecer ao meu orientador Alisson Dal Lago pela oportunidade de participar deste Projeto de Iniciação Científica e pela sua disposição em ajudar no desenvolvimento do Projeto.*

*Presto meus agradecimentos ao Dr. Nelson J. Schuch pela revisão deste trabalho bem como da sua disposição em auxiliar tanto no meu desenvolvimento profissional quanto o meu desenvolvimento pessoal.*





## Resumo

O projeto visa o estudo de estruturas do Meio Interplanetário com a utilização dos dados fornecidos pelos Satélites Espaciais SOHO (Solar & Heliospheric Observatory) e ACE (Advanced Composition Explorer). A motivação de estudar estruturas do Meio Interplanetário reside no fato de que muitas dessas estruturas originadas no Sol são expelidas para o Meio Interplanetário, podendo vir a atingir a Terra. Dados recentes indicam que os parâmetros do plasma do Vento Solar são substancialmente alterados devido à passagem de nuvens de plasma conhecidas por Ejeções Coronais de Massa (CMEs). As CMEs são estruturas de plasma magnetizado liberado principalmente da Coroa Solar. Quando no Meio Interplanetário se caracterizam por apresentarem um campo magnético intenso, que combinado com baixas temperaturas levam a baixos valores do parâmetro  $\beta$  do plasma. Tais estruturas apresentam rotação da direção do campo magnético, e recebem a denominação especial de Nuvem Magnética quando apresentam aumento do seu campo magnético por um fator maior que 2, e uma rotação suave em um grande ângulo e uma baixa temperatura iônica. As CMEs são ditas geofetivas se possuírem algumas características físicas particulares, tais como: campo magnético intenso que pode permanecer direcionado para valores negativos da componente Z por período de 3 horas ou mais, o que satisfaz o critério empírico de Gonzalez e Tsurutani (1987) para a ocorrência de Tempestades Geomagnéticas Intensas; alta velocidade de propagação; interação com feixes de alta velocidade. Dois eventos de caráter geofetivo estão sendo estudados com o uso de imagens do instrumento EIT (Extreme ultraviolet Imaging Telescop) combinado com as imagens do instrumento LASCO C2 e LASCO C3 (Large Angle and Spectrometric Coronagraph) foram feitos esboços para identificar as origens solares dos eventos. Posteriormente foram utilizados dados fornecidos pelo satélite ACE, para uma análise detalhada dos parâmetros do plasma das estruturas estudadas, quando estas se encontravam no Meio Interplanetário. As análises preliminares mostram que é possível localizar regiões ativas no Sol que estão relacionadas com as CMEs. Com base nos dados fornecidos pelo ACE calculou-se o parâmetro  $\beta$  para os eventos, onde observou-se significativa concordância dos valores obtidos com a literatura especializada. As perspectivas futuras indicam uma necessidade de continuidade do projeto, com intuito de dar prosseguimento à análise dos dados dos fenômenos referentes à interação Sol-Terra.



SUMÁRIO

CAPITULO I.....	10
INTRODUÇÃO .....	10
1.1 - JUSTIFICATIVA.....	10
1.2 – O USO DE SATÉLITES E TELESCÓPIOS CINTILADORES NO ESTUDO DE ESTRUTURAS DO MEIO INTERPLANETÁRIO.....	11
CAPITULO II.....	12
2.1 – AS ESTRURAS QUE COMPOEM O SOL.....	12
2.1.1 – O INTERIOR SOLAR.....	13
2.1.2 – A ATMOSFERA SOLAR .....	14
2.2 – A ATIVIDADE SOLAR.....	19
2.3- EJEÇÕES DE MASSA CORONAL E AS TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS.....	21
CAPITULO III.....	25
3.1 – INTRODUÇÃO: RESUMO SOBRE A HISTORIA DOS RAIOS CÓSMICOS .....	25
3.2 – ORIGEM DOS RAIOS COSMICOS.....	28
3.3 - O USO DE RAIOS COSMICOS NA PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL....	32
3.3.1 – OS MUONS .....	32
CAPITULO IV .....	34
4.1 – METODOLOGIA .....	34
4.2 – INSTRUMENTAÇÃO.....	35
4.2.1 – O SATELITE ACE .....	35
4.2.2 – O SATELITE SOHO.....	39
4.2.3 – O SOLARSOFT .....	43
4.2.4 – TELESCÓPIO CINTILADOR DE MUONS .....	44
3.4.1 – AMPLIAÇÃO DO TELESCOPIO CINTILADOR DE MUONS.....	46
CAPITULO V .....	48
5.1 – EVENTO OCORRIDO EM AGOSTO DE 2000.....	49
5.2 – O EVENTO OCORRIDO EM ABRIL DE 2000 .....	53
5.3 - O EVENTO OCORRIDO EM OUTUBRO DE 1999 .....	57
CAPITULO IV .....	65
CONCLUSÃO.....	65



## INDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Figura ilustrativa da estrutura interna e da atmosfera Solar.....	13
Figura 2 - Instrumento MDI (Fonte: <a href="http://sohowww.nascom.nasa.gov/">http://sohowww.nascom.nasa.gov/</a> ) .....	15
Figura 3 - Manchas solares, onde a parte mais escura é a umbra e a mais clara é a penumbra .....	15
Figura 4 - O Sol em H-alfa (Fonte: <a href="http://www.solarviews.com/cap/sun/halpha.htm">http://www.solarviews.com/cap/sun/halpha.htm</a> ) .....	17
Figura 5 - Uma proeminência Eruptiva (Fonte: <a href="http://sohowww.nascom.nasa.gov">http://sohowww.nascom.nasa.gov</a> ) .....	18
Figura 6 - Na imagem da esquerda o instrumento LASCO C2 fornece a imagem da Coroa nas proximidades do Sol. A imagem da direita o instrumento LASCO C3 fornece a imagem da Coroa Com um campo de Visão mais Amplo (Fonte: <a href="http://sohowww.nascom.nasa.gov">http://sohowww.nascom.nasa.gov</a> ) .....	19
Figura 7 – Um intenso Flare captado pelo instrumento EIT no comprimento de onda de 195 Å. ....	20
Figura 8 – A evolução temporal de um CME captado pelo instrumento LASCO C3 .....	22
Figura 9 - Figura ilustrativa das relações Terra-Sol. (Fonte: <a href="http://sohowww.nascom.nasa.gov">http://sohowww.nascom.nasa.gov</a> ) .....	24
Figura 10 – Galáxias ativas com quasares em seus núcleos (Fonte: <a href="http://hubblesite.org">http://hubblesite.org</a> ) .....	28
Figura 11 – Restos de uma supernova. Imagens em 4 comprimentos de onda distintos. (Fonte: <a href="http://chandra.harvard.edu/photo/2004/kepler/kepler_comp_panel.jpg">http://chandra.harvard.edu/photo/2004/kepler/kepler_comp_panel.jpg</a> ) .....	29
Figura 12 - A radiação cósmica na atmosfera terrestre, resultando em um chuveiro de partículas (Fonte: <a href="http://www.lip.pt/~outreach/posters/posters.html">www.lip.pt/~outreach/posters/posters.html</a> ).....	31
Figura 13 – Órbita do ACE (Fonte: <a href="http://www.srl.caltech.edu/ACE">http://www.srl.caltech.edu/ACE</a> ) .....	36
Figura 14 – Um pequeno trecho de uma planilha de dados fornecidos pelo ACE .	37
Figura 15 – Exemplo de um programa para gerar gráficos. ....	38
Figura 16 -Gráfico de parâmetros do plasma .....	39
Figura 17 – Esquema do órbita do Satélite SOHO . (Fonte: <a href="http://sohowww.nascom.nasa.gov">http://sohowww.nascom.nasa.gov</a> ) .....	40
Figura 18 - Imagem do instrumento EIT (Fonte: <a href="http://umbra.nascom.nasa.gov/eit/EIT.html#WHAT_EIT">http://umbra.nascom.nasa.gov/eit/EIT.html#WHAT_EIT</a> ) .....	42
Figura 19 - O Sol dividido em 4 quadrantes, onde cada quadrante corresponde a um comprimento de onda distinto. (Fonte: <a href="http://sohowww.nascom.nasa.gov">http://sohowww.nascom.nasa.gov</a> ) .....	43
Figura 20 - Vista do Prédio 2 do OES/CRSPE/INPE – MCT em São Martinho da Serra – RS .....	44
Figura 22 – Imagem do plástico cintilante .....	45
Figura 23 – Imagem que mostra as duas camadas de detectores do Telescópio Cintilador de Muon expandido do observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, Rs. ....	47



Relatório Final de Atividades 2006

Figura 24 – Imagem dos detectores da camada de cima do Telescópio Cintilador de Muon expandido do observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, Rs. ....	48
Figura 25 Painel com gráficos referentes aos parâmetros do plasma do Meio Interplanetário, que foram alterados por uma onda de choque provocada por uma complexa estrutura de plasma proveniente do Sol, que se propagou a uma velocidade supersônica. ....	50
Figura 26 - gráfico de pressão térmica, magnética e por ultimo o gráfico do parâmetro que relaciona essas grandezas. ....	52
Figura 27 – Painel com gráficos referentes aos parâmetros do plasma do Meio Interplanetário, que foram alterados por uma onda de choque provocada por uma complexa estrutura de plasma proveniente do Sol. ....	54
Figura 28 gráfico de pressão térmica, magnética e por ultimo o gráfico do parâmetro que relaciona essas grandezas. ....	56



## CAPITULO I

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 - JUSTIFICATIVA

Toda forma de vida existente na Terra é dependente da energia fornecida pelo Sol, que por sua vez é mais uma das ínfimas estrelas que existem no Universo. A diferença está na distância que separa a terra do Sol, cerca de 150 milhões de Quilômetros, muito menor que a distância a outras estrelas.

Nesta distância os efeitos da interação Terra-Sol tornam-se dramáticos, conseqüentemente as perturbações resultantes da atividade Solar merecem uma especial atenção, tendo em vista a alta vulnerabilidade da Terra diante de eventos como as chamadas Ejeções Coronais de Massa, Explosões (*Flares*) e Proeminências. Estes eventos liberam no meio interplanetário, enorme quantidade de matéria na forma de plasma, que viajam a velocidades supersônicas.

Em nosso estudo, foi dada uma atenção especial as ejeções coronais de massa, mais conhecidas como CMEs (do inglês - *coronal mass ejection*). Tais ejeções de massa se dirigem do Sol até a Terra. As CMEs portam um campo magnético próprio, e devido à existência deste campo magnético, ao se aproximar da Terra, interagem com a magnetosfera, podendo ocasionar as chamadas Tempestades Geomagnéticas (Gosling et al., 1990, 1991).

As tempestades Geomagnéticas são eventos de grande perturbação no campo magnético terrestre, onde a Terra fica vulnerável à precipitação de partículas energéticas emanadas do Sol. São vários os danos ocasionados pelas tempestades Geomagnéticas aqui na Terra, como por exemplo, nas redes de energia elétrica, induzindo correntes muito intensas e arraste em espaçonaves que estão em órbita na terra entre outros. Portanto fica



clara a necessidade de um estudo detalhado sobre a natureza física das CMEs bem como dos mecanismos que a geram na Coroa Solar.

## ***1.2 – O USO DE SATÉLITES E TELESCÓPIOS CINTILADORES NO ESTUDO DE ESTRUTURAS DO MEIO INTERPLANETÁRIO***

A comunidade científica internacional dispõe atualmente, para a tarefa de estudar a atividade solar bem como de sua relação existente com a Terra, de satélites espaciais e detectores de raios cósmicos.

Para desenvolver nosso Projeto de Pesquisa, usamos os dados do satélite ACE, que fornece informações referentes ao campo magnético interplanetário, bem como dados referentes aos parâmetros do plasma existente no meio interplanetário, dados do satélite SOHO, que tem a função de estudar a estrutura interna do Sol, sua extensa atmosfera e a origem do vento solar, e a Rede Internacional de Detectores de Muons, da qual o Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE-MCT – passou a fazer parte em 2001.



## CAPITULO II

### O SOL: MODELOS TEÓRICOS E OBSERVACIONAIS REFERENTES À SUA ESTRUTURA, ATIVIDADE, E SUA RELAÇÃO COM AS EJEÇÕES CORONAIS DE MASSA.

De toda a matéria que existe no Sistema Solar, cerca de 99,8 % está concentrada no Sol. O Sol é uma estrela da seqüência principal do diagrama HR (Hertzsprung Russell), bastante comum na Via-Lactea. Apresenta um ciclo de atividade de aproximadamente 11 anos, onde alterna em períodos de atividade máxima seguido de períodos onde a atividade se reduz sensivelmente, o chamado ciclo solar.(Chapman e Ferraro, 1931; Gonzalez et al., 1994; Kivelson e Russell, 1995; Kamide et al, 1998a; Baker,2000).

#### 2.1 – AS ESTRURAS QUE COMPOEM O SOL

Estrutura interiores do Sol e a sua atmosfera são representadas na Figura 1. Tais estruturas, devido a características e a certos processos físicos são divididas em difrentes partes: interior e atmosfera solar, o interior solar é composto de **Zona Radioativa** e **Zona Convectiva**. A parte mais externa do Sol, chamada atmosfera solar é composta por três camadas: a **Fotosfera**, a **Cromosfera** e a **Coroa**.

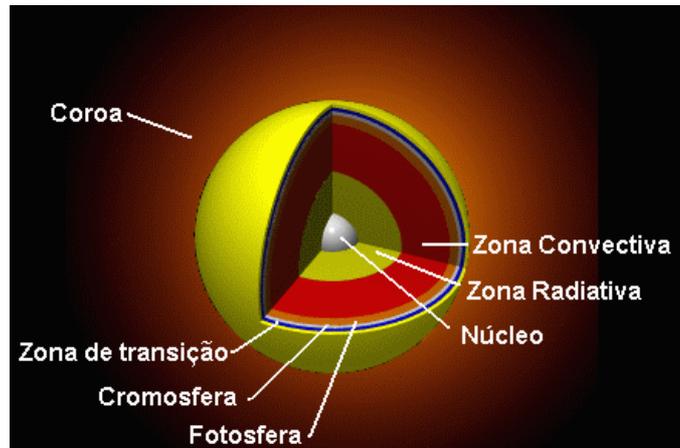


Figura 1- Figura ilustrativa da estrutura interna e da atmosfera Solar  
(Fonte: <http://www.astro.iag.usp.br/~jane/aga215/aula06/cap6a.htm>)

### 2.1.1 – O INTERIOR SOLAR

Nem todas as estrelas possuem a mesma estrutura interna. Pois esta depende da massa da estrela. Para o Sol, a estrutura interna é composta de um núcleo radiativo e um envelope convectivo que pode chegar até a superfície.

O Sol emite energia com uma potência de  $3,9 \times 10^{26} \text{ w}$ . Essa energia se origina de reações nucleares que ocorrem no seu núcleo e necessitam de um tempo de  $10^7$  anos para ser transportadas pela Zona Radiativa e em seguida pela Zona Convectiva até atingir a superfície onde a temperatura é de aproximadamente 5800 K. O estudo científico das condições físicas no interior e na atmosfera das estrelas nos permitiram determinar seus processos de produção de energia. Sabemos que as estrelas são gigantescas massas de gás que se mantêm coesas pela própria força gravitacional. Por esse motivo, tanto a pressão quanto a temperatura do gás são altíssimas no interior das estrelas.

O interior é formado pelas seguintes regiões: **Núcleo**, que se estende até 0,25 raios solares onde a energia é gerada através de reação de fusão nuclear, apresentando uma temperatura da ordem de  $1,5 \times 10^7 \text{ K}$  e densidade  $1,6 \times 10^5 \text{ kg / m}^3$ ; **Zona Radiativa**, se estende no intervalo de 0,25 a 0,75 raios solares, onde a energia gerada no núcleo é



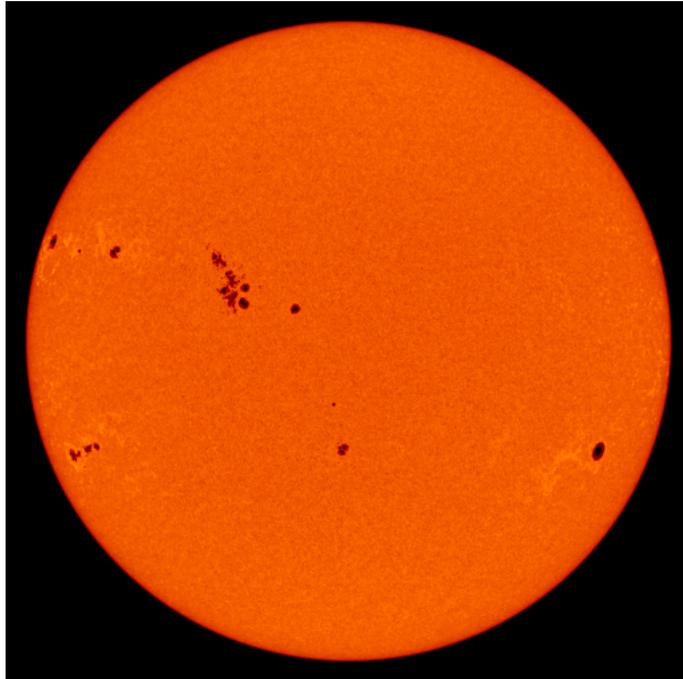
dissipada através do processo de difusão radiativa, tendo uma temperatura da ordem  $8 \times 10^6$  K; **Zona de Convecção**; estendendo-se no intervalo de 0,75 a 1 raio solar, onde a energia é dissipada sob a forma de convecção.

## 2.1.2 – A ATMOSFERA SOLAR

A Atmosfera Solar é composta pelas camadas que sucedem a Zona Convectiva. É composta pela Fotosfera, Cromosfera, uma zona de transição e pela Coroa.

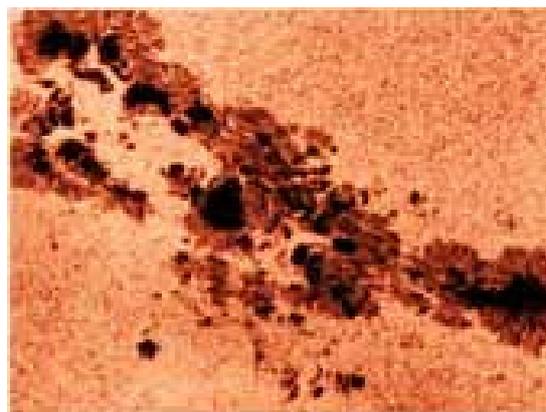
### 2.1.2.1 - FOTOSFERA

A Fotosfera é camada do Sol que emite radiação eletromagnética na região da luz visível. Tem uma espessura da ordem de 500 Km e uma densidade de aproximadamente  $10^{13}$  a  $10^{15}$  partículas por centímetro cúbico. É na fotosfera que estão localizadas as granulações e as chamadas Manchas Solares. As Manchas Solares são estruturas muito peculiares, que são conhecidas desde a antiguidade pelos Chineses e foram observadas por Galileu Galilei, que sistematizou o estudo das mesmas. A Figura 2 mostra a imagem fornecida pelo satélite espacial SOHO, do instrumento MDI, onde é possível ver um grupo de Manchas solares na fotosfera.



**Figura 2 - Instrumento MDI (Fonte: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/>)**

As manchas solares tendem a se formarem em grupos e são constituídas de duas partes: a umbra, parte central mais escura, com temperaturas em torno de 3800 k, a penumbra, região um pouco mais clara e com estrutura radial em torno da umbra. A figura 3 fornece a imagem de um grupo de manchas, onde visualiza-se com facilidade a umbra e a penumbra.



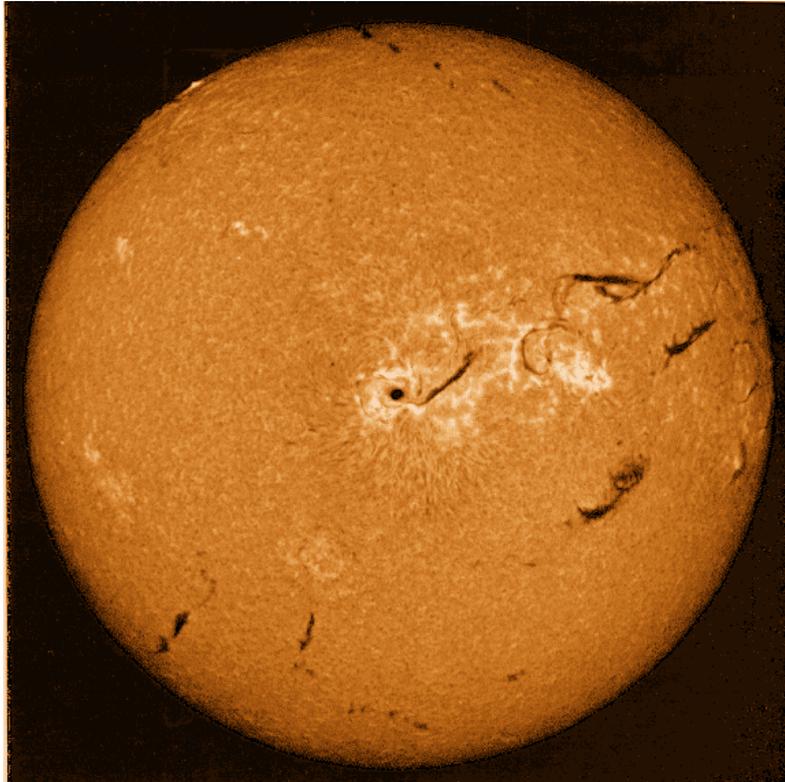
**Figura 3 - Manchas solares, onde a parte mais escura é a umbra e a mais clara é a penumbra  
(Fonte: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/>)**



A existência de manchas solares, é consequência direta do intenso campo magnético ali presente, uma vez que o campo magnético inibe o processo convectivo, resultando em um transporte de energia menor, conseqüentemente as manchas solares são significativamente mais frias emitindo bem menos radiação que o restante da superfície solar. Por este motivo, devido ao contraste como a superfície solar mais brilhante é que as manchas solares aparecem escuras.

### **2.1.2.2 – CROMOSFERA**

Estendendo-se até cerca de 10000KM acima da fotosfera esta camada possui uma temperatura de dezenas a centenas de milhares de graus. A densidade cai de 1-2 ordens de grandezas relativamente à fotosfera. Esta camada pode ser vista observando-se o Sol como um filtro especial na luz vermelha conhecida como H-alfa. Através da utilização deste filtro é possível distinguir varias estruturas particulares da Cromosfera: proeminência , filamentos, fáculas, plages e espículos. A Figura 4 mostra a imagem do Sol como um filtro H-alfa, sendo possível visualizar grande parte das estruturas características da Cromosfera. Qualquer nuvem de material visível acima da superfície solar observado no H-alfa, pode ser chamada de proeminência. Quando observada no limbo aparece brilhante em contraste ao céu escuro, quando observada no disco é chamada por filamento escuro, apresentando-se assim por possuir apenas 10 % do brilho do disco solar em H-alfa. Podem ser observadas em alguns pontos ao redor do disco escuro da lua quando ocorre a máximo de eclipses solares totais.



**Figura 4 - O Sol em H-alfa (Fonte: <http://www.solarviews.com/cap/sun/halpha.htm>)**

As proeminências podem ser classificadas pela forma como apresentam-se em: Calmas, proeminências ou filamentos localizados nas regiões ativas ou próxima destas; Ativas, proeminências geralmente associadas a “Flare”. Na Figura 5 temos a imagem de uma proeminência eruptiva e uma comparação de sua extensão com a Terra.

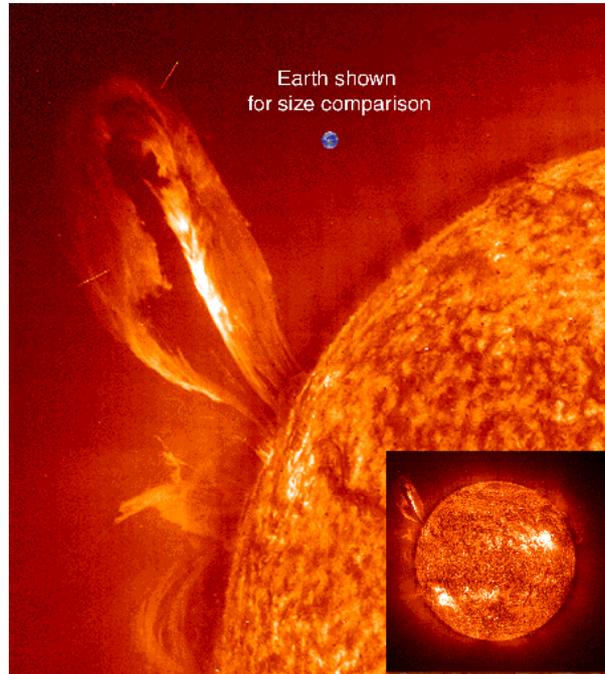


Figura 5 - Uma proeminência Eruptiva (Fonte: <http://sohowww.nascom.nasa.gov>)

### 2.1.2.3 – COROA

Trata-se da camada mais externa da atmosfera solar, tendo um alcance de milhões de Km. A coroa solar tem um brilho equivalente a lua cheia mas não pode ser vista quando se observa diretamente o Sol pois fica obscurecida com o brilho da fotosfera. A Coroa pode ser visualizada em eventos de eclipses, onde o disco solar é encoberto pela Lua, se caracterizando em uma ótima oportunidade de se estudar sua estrutura. O Satélite espacial SOHO, é um dos mais importantes instrumentos para se estudar a coroa solar, pois leva a bordo os instrumentos: LASCO (Large Angle and Spectrometric Coronagraph Experiment) e EIT (Extreme ultraviolet Imaging Telescope). Tais instrumentos fornecem excelentes imagens da cora solar.

Estima-se que a densidade da coroa é de 2-3 ordens de grandeza mais baixa do que da Cromosfera. E sua temperatura gira em torno de 1-2 milhões de graus. A esta temperatura a coroa emite ondas eletromagnéticas com comprimento de onda na região do Raio X. Outra consequência da alta temperatura da Coroa, é que o gás que a forma encontra-se na forma de plasma - gás ionizado -. Na Figura 6, é mostrada a imagem da

Relatório Final de Atividades 2006

coroa fornecida pelo instrumento LASCO C2 E C3 respectivamente, tal instrumento bloqueia a imagem do disco solar, deixando passar apenas a luz da coroa, agindo da mesma forma que um eclipse.

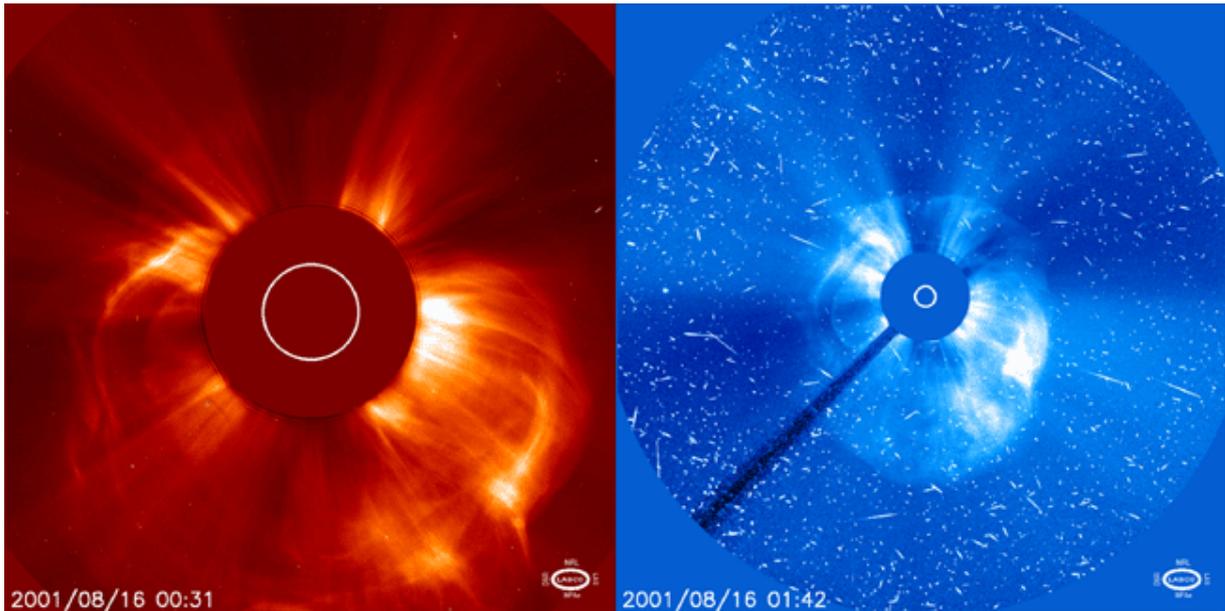


Figura 6 - Na imagem da esquerda o instrumento LASCO C2 fornece a imagem da Coroa nas proximidades do Sol. A imagem da direita o instrumento LASCO C3 fornece a imagem da Coroa Com um campo de Visão mais Amplo (Fonte: <http://sohowww.nascom.nasa.gov>)

## 2.2 – A ATIVIDADE SOLAR

A atividade Solar parece variar significativamente em intervalos regulares de tempo, onde em um ciclo de 11 anos o número de manchas solares cresce até um máximo e logo em seguida decresce até atingir um mínimo. Entretanto, como uma mesma polaridade do Sol repete somente a cada 2 ciclos de atividade, o ciclo magnético solar é cerca de 22 anos.

É durante o Maximo solar, que há uma grande incidência de eventos energéticos que ocorrem em regiões ativas do Sol associados às manchas solares, tais como: Explosões



Relatório Final de Atividades 2006

Solares ou “Flares”. As explosões solares foram observadas pela primeira vez em 1 de setembro de 1859, por R.C Carrington e R. Hodgson, que Durante uma observação de rotina das manchas solares, notaram uma variação da luminosidade nas proximidades das mesmas.

Estes fenômenos caracterizam-se pela emissão de grande quantidade de energia, em intervalos de tempo relativamente curtos, variando de alguns segundos até poucas horas para os fenômenos mais intensos. A imagem da Figura 7 exemplifica uma impressionante Explosão Solar acontecida em novembro de 2003.

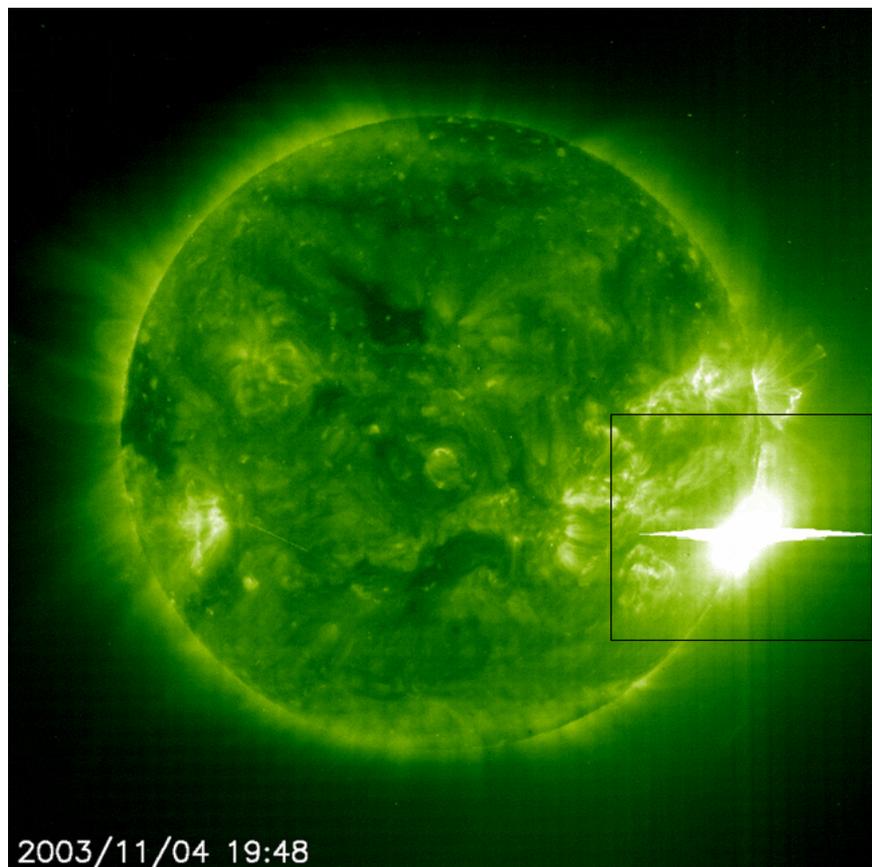


Figura 7 – Um intenso Flare captado pelo instrumento EIT no comprimento de onda de 195 Å.

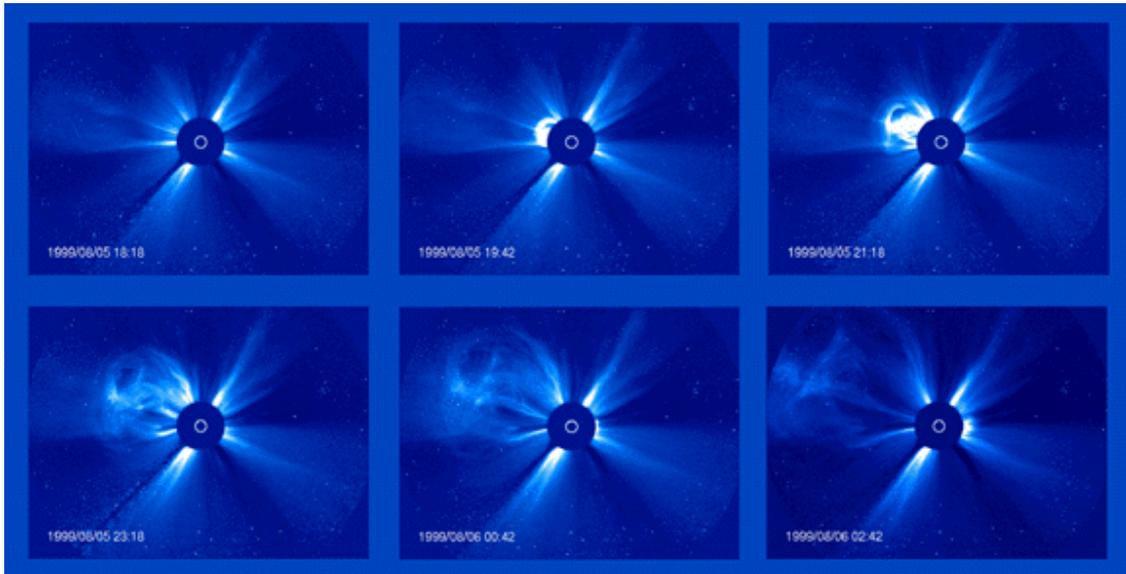
(Fonte: <http://sohowww.nascom.nasa.gov>)



Estudos mostram, que associado as Explosões Solares e Proeminências, podem ocorrer a expulsão de grande quantidade da matéria da atmosfera solar. Por muitas décadas os pesquisadores acreditavam que todos distúrbios não recorrentes do campo magnético terrestre eram causados por Explosões Solares, mas atualmente verifica-se que grande parte destes eventos são causados por Ejeções de Massa Coronal (CME) que podem ou não estar associadas às Explosões Solares, ou seja, a ocorrência de Ejeções Coronais de Massa que causam perturbação no campo magnético terrestre (Geoefetivas) não necessariamente está associado as Explosões Solares, podendo ocorrer sem a presença destes.

### ***2.3 - EJEÇÕES DE MASSA CORONAL E AS TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS***

Cerca de  $10^{15}$  a  $10^{16}$  g de matéria é liberada durante uma Ejeção Coronal de Massa, formando uma enorme erupção que se expande no Sistema Solar. As Ejeções Coronais de Massa são aceleradas (ou desaceleradas) à medida que se distanciam do Sol (ver figura 8). Uma das primeiras observações destes eventos foram obtidas a partir das observações de um coronógrafo a bordo do satélite OSO-7, no período de 1971 a 1973. Na seqüência de imagens abaixo, obtida pelo satélite SOHO, vê-se uma CME sendo expelida. Para o Meio Interplanetário



**Figura 8 – A evolução temporal de um CME captado pelo instrumento LASCOS C3**

(Fonte: <http://sohowww.nascom.nasa.gov>)

-

A frequência dos eventos de Ejeção Coronal de Massa varia como o ciclo de atividade solar, podendo ser observado cerca de um evento por semana, no mínimo do ciclo, enquanto que podem ocorrer até 2-3 eventos por dia nos períodos de Máximo de atividade do ciclo.

A Atividade Solar é responsável por diversas perturbações no campo magnético terrestre, que podem ser recorrentes ou transientes. As recorrentes normalmente estão associadas à rotação do Sol e tem períodos de aproximadamente 27 dias. As transientes estão fortemente relacionadas às Ejeções Coronais de Massa. Dentre estas perturbações podemos destacar as Tempestades Geomagnéticas.

As Tempestades Geomagnéticas são eventos que ocasionam grande perturbação no campo magnético terrestre, onde a terra fica vulnerável a entrada de partículas energéticas do Vento Solares e a raios cósmicos. A característica principal de uma tempestade é o decréscimo acentuado da componente H do Campo Geomagnético e a posterior fase de recuperação.



## Relatório Final de Atividades 2006

Acredita-se que o decréscimo é atribuído ao aumento de partículas aprisionadas na magnetosfera. Derivas devido ao gradiente de 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 à distribuição de partículas injetadas e aprisionadas na magnetosfera interna. A perturbação do campo Geomagnético gerado por essa corrente reflete a condição do campo magnético interplanetário – CMI – que controla o suprimento de energia para interior da magnetosfera. Para medir a intensidade da corrente de anel é utilizado o chamado índice Dst. O índice Dst é baseado nas medidas horárias da componente H do campo Geomagnético obtidos em observatórios de latitude média e baixa.

INTENSIDADE DA TEMPESTADE	DEFINIÇÃO
Intensas	$Dst < -100 \text{ nT}$
Moderadas	$-100 \text{ nT} \leq Dst \leq -50 \text{ nT}$
Fracas	$-50 \leq Dst \leq -30 \text{ nT}$
Atividade Normal	$Dst \geq -30 \text{ nT}$

Tabela 1 – Classificação das Tempestades Geomagnéticas.

Classificam-se as tempestades geomagnéticas de acordo com a sua intensidade. A Tabela 1 mostra os critérios desta classificação.

Dentre as estruturas interplanetárias que geram as Tempestades Geomagnéticas intensas não recorrentes, destacam-se as Nuvens Magnéticas. A razão principal pela qual as Nuvens Magnéticas são as principais causadoras das Tempestades Magnéticas é o fato de frequentemente apresentarem a componente Z do campo magnético negativa e intensa por intervalos de tempo superiores a 3 horas.

Uma CME interagindo com o campo magnético terrestre, pode ser visualizado no diagrama da figura 9, onde é possível ver as muitas estruturas que preenchem o Meio Interplanetário.

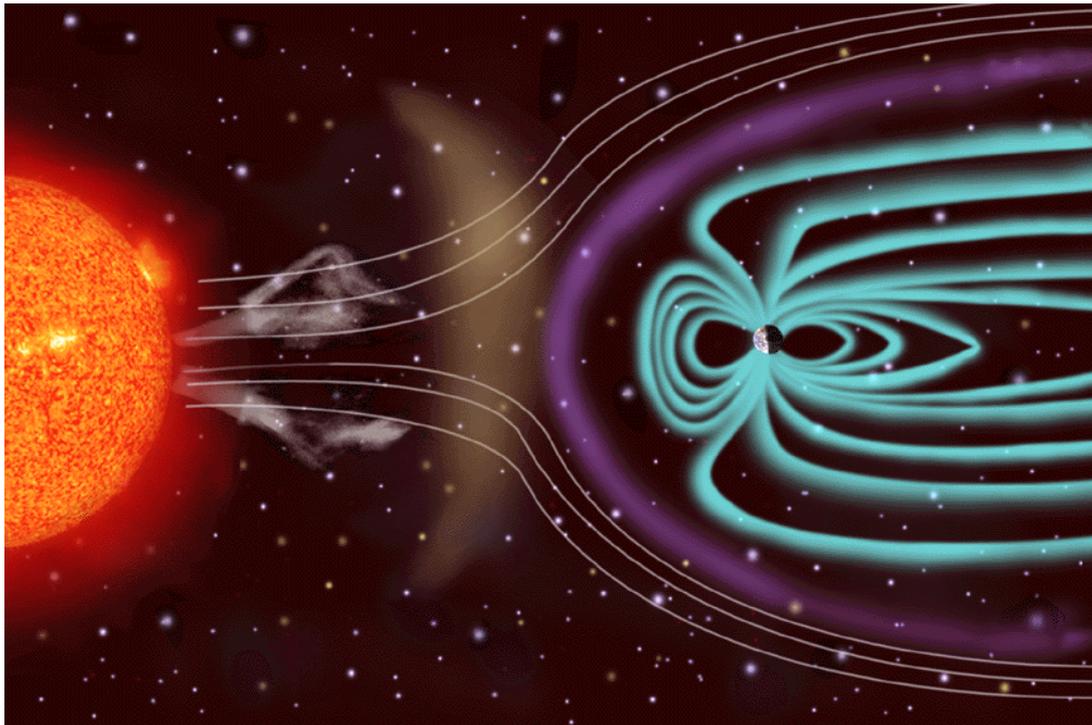


Figura 9 - Figura ilustrativa das relações Terra-Sol. (Fonte: <http://sohowww.nascom.nasa.gov>)

Devido ao aumento da densidade e velocidade, a pressão exercida na Magnetosfera Terrestre causa uma repentina compressão na Magnetosfera e um salto positivo na componente horizontal. 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*. O início de tempestade ocorre quase coincidentemente com o giro do campo magnético interplanetário para a direção sul nos limites da nuvem magnética. O desenvolvimento da fase principal de tempestade é rápido.



## CAPÍTULO III

### OS RAIOS CÓSMICOS

Os raios cósmicos são formados por partículas altamente energéticas, cujo poder de penetração é maior que qualquer outra partícula conhecida. Essas partículas constantemente bombardeiam a Terra em todas as direções, atingindo o topo da atmosfera terrestre com um fluxo com mais de  $10^{18}$  partículas por segundo, possuindo uma energia maior que 1 MeV.

Seu estudo é de grande interesse uma vez que são fundamentalmente constituído de partículas dotados de energia muito elevadas, provocando processos que eram desconhecidos e que levaram a descoberta de outras partículas. Outro interesse no estudo de Raios Cósmico reside no fato de que os raios cósmicos fornecem informações tanto sobre processos astrofísicos distantes quanto sobre o meio interplanetário, magnetosfera e atmosfera terrestre, que eram antes somente acessíveis à especulação.

#### **3.1 – INTRODUÇÃO: RESUMO SOBRE A HISTÓRIA DOS RAIOS CÓSMICOS**

Os raios X foram descobertos em 1895 por Wilhelm Konrad Roentgen cujo estudo fora de grande importância devido seu elevado poder de penetração. Destarte conduziu em poucos meses o francês Henri Becquerel a descobrir a radioatividade proveniente do urânio, e logo em seguida em 1897, Rutherford mostrou que essa radiação era constituída de raios alfa "moles" e beta "duros". Marie Curie e Pierre Curie em 1898 fizeram detalhados estudos sobre o urânio e o rádio e seus respectivos poderes de penetração. Mas foi em 1902 que Rutherford e Soddy separaram os raios em três grupos:  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  -  $\alpha$  e  $\beta$



Relatório Final de Atividades 2006

formados por partículas eletricamente carregadas - g sendo raios semelhantes à luz, eletricamente neutros.

Foi verificado que os raios b (elétrons) eram cem vezes mais penetrantes que os raios alfa (núcleos de He), e que os raios gama eram cem vezes mais penetrantes que os raios beta. Os raios gama chegavam a atravessar espessuras de até 5cm de chumbo.

Em 1903 foi verificado que esses materiais radioativos eram encontrados em pequenas quantidades em todas as classes de rochas e solos.

Até 1910 não havia nenhum indício de que existissem raios que possuíssem maior poder de penetração do que os raios gama do rádio.

Um fenômeno bastante curioso na época era de que um eletroscópio carregado, mesmo que bem isolado com espessas placas de chumbo, se descarregava gradualmente. A primeira interpretação para explicar esse fenômeno foi atribuído a raios que eram emanados da crosta terrestre.

Em 1906, Richardson sugeriu que os efeitos da descarga eletroscópica deveriam estar relacionados com o Sol. Após a verificação mais cautelosa notou-se que os efeitos eram igualmente intensos tanto de dia como a noite, descartando assim essa idéia.

Em 1909, Kürz resumiu todas as investigações que haviam aparecidas neste campo até então citando três possíveis origens do efeito de descarga eletroscópica: os raios eram provenientes da (1) crosta terrestre, (2) da atmosfera ou (3) de regiões mais além da atmosfera.

As duas últimas hipóteses foram logo descartadas, pois sugeria-se que os raios proviam de substâncias radioativas da Terra. A explicação dada era que bastava apenas 1 km de atmosfera para absorver todas as radiações.

Foi em 1910 que o suíço Gockel lançou um eletroscópio em um balão que alcançou 4500m de altitude e notou que o eletroscópio se descarregava mais rapidamente do que no solo terrestre. Fato "novo e importante", que o levou a concluir que os raios não se originavam na crosta terrestre, mas que, ou eram originados nas regiões mais remotas da atmosfera ou em regiões mais além da atmosfera.

O ponto mais importante da experiência de Gockel é que o eletroscópio não se descarregava totalmente mesmo a alturas superiores a 1000m como era de se esperar na época, segundo já se havia demonstrado teoricamente antes de 1910, se tivesse a Terra



Relatório Final de Atividades 2006

como fonte dos fenômenos observados. Em vez disso havia um ligeiro aumento da carga residual com a altura, derrubando assim a hipótese sustentada até o momento, e elegendo como possíveis fontes da radiação as hipóteses (2) e (3) descartadas por Kürz. Em 1911, Hess repetiu as experiências de Gockel estendendo a altura para 5200m. Dando um caráter mais quantitativo, manifestou-se a favor da hipótese de número (3), não descartando ainda a hipótese (2).

Em 1913 e 1914, Kohlhörster realizou experiências iguais a de Gockel e Hess, até 9000m, e ao observar o aumento de 12 a 13 vezes na velocidade da descarga dos raios gama em relação ao nível do mar apoiou a hipótese de número (3).

Com o objetivo de saber qual exatamente era a origem dos raios, Millikan e Bowen realizaram em Kelly Field, San Antonio no Texas a primeira ascensão à estratosfera (15500m) com eletroscópio de registro automático, barômetros e termômetros levados em balão de sonda.

Se os raios tinham origens nos limites da atmosfera deveríamos esperar um aumento exponencial da ionização, isto é, uma progressão geométrica da velocidade de descarga do eletroscópio que se deveria cumprir até o limite da atmosfera (os instrumentos chegaram até 0.89 da altura total da atmosfera) - o coeficiente de absorção a 9000m calculada por Kohlhörster foi de aproximadamente 0.55 por metro de água.

Dado que o eletroscópio regressou com uma carga total consideravelmente menor que a calculada para este coeficiente, deduz-se que o coeficiente de absorção aparente alcançou um máximo antes de chegar ao limite da atmosfera.

Em 1922, Ottis, Cameron e Millikan resolveram medir o poder de penetração dos devidos raios, submergindo metro a metro um eletroscópio no lago Muir, situado a 4000m de altitude na Califórnia, provando que os raios possuíam poder de penetração de aproximadamente dezoito vezes maior do que os raios gama.

Ao fazer a mesma experiência em outro lago (Arrowhead, situado a 1700m) na Califórnia, perceberam que todas as leituras efetuadas até a menor profundidade eram idênticas às leituras realizadas no lago anterior.

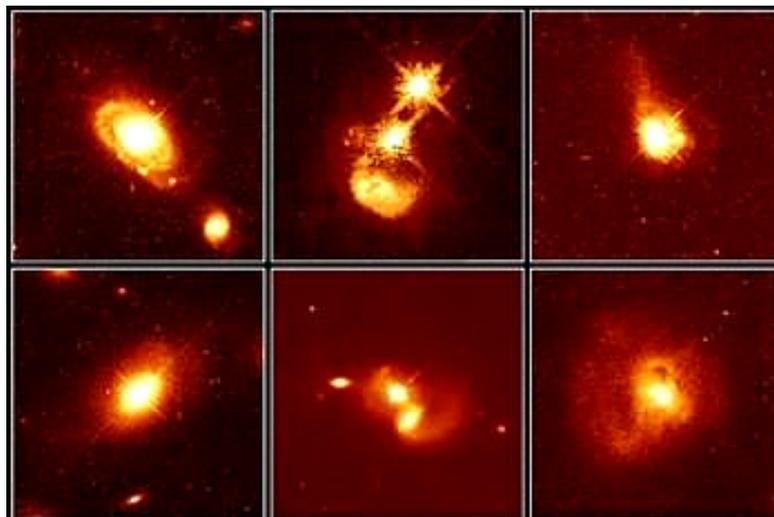
A primeira experiência mostrava que esses raios possuíam um poder de penetração suficientemente elevado e, tendo em vista que tais fontes de energia estavam ausentes da atmosfera solar como foi demonstrado, conclui-se juntamente com a análise da segunda

experiência, a qual mostrava que a fonte de tais raios não podia estar distribuída de forma uniforme na atmosfera, que os raios se originavam nas regiões mais remotas da atmosfera terrestre. E assim no fim do ano de 1925 foi utilizada a palavra Raios Cósmicos para definir a procedência desses raios estudados.

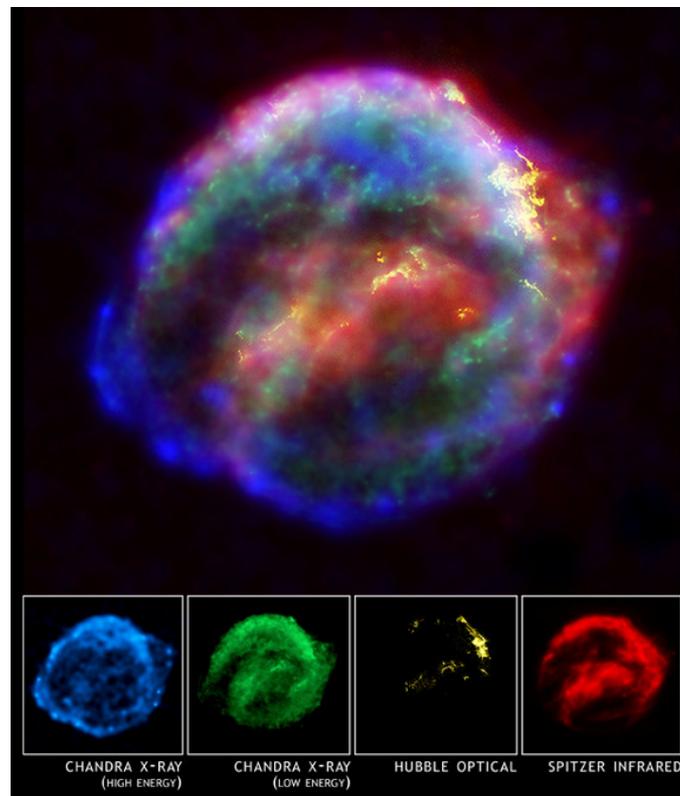
Os raios cósmicos atingem a atmosfera terrestre de maneira isotrópica. Sua energia está no intervalo de  $10^9$  a  $10^{20}$  eV. São compostos principalmente por fótons e íons nucleares. Por muitos anos os raios cósmicos têm sido estudados como um fenômeno que pode nos dizer muito o meio ambiente espacial Terrestre e sobre processos astrofísicos distantes.

### **3.2 – ORIGEM DOS RAIOS CÓSMICOS**

As fontes dos raios cósmicos são muito diversificadas. Sua origem está intimamente relacionada à sua energia. Algumas categorias de raios cósmicos são produzidos pelo Sol e por outras estrelas, os chamados raios cósmicos galácticos. Raios cósmicos de energia superior, têm como provável origem outras galáxias, nos quasares (Figura 10) . Outros ainda por cataclismas cósmicos, como as supernovas ( Figura 11).



**Figura 10 – Galáxias ativas com quasares em seus núcleos (Fonte: <http://hubblesite.org>)**



**Figura 11 – Restos de uma supernova. Imagens em 4 comprimentos de onda distintos. (Fonte: [http://chandra.harvard.edu/photo/2004/kepler/kepler\\_comp\\_panel.jpg](http://chandra.harvard.edu/photo/2004/kepler/kepler_comp_panel.jpg))**

Acredita-se que os raios cósmicos extragalácticos, por possuírem energias muito altas, sejam originados durante a explosão de uma Supernova, pois tanto a frequência de ocorrência quanto a energia liberada nestes eventos são suficientes para acelerar as partículas a energia dos raios cósmicos. Teorizou-se que a fonte de aceleração pudesse ser a onda de choque que é criada na frente da matéria ejetada durante a explosão de uma Supernova, pois tanto a frequência de ocorrência quanto à energia liberada nestes eventos são suficientes para acelerar as partículas de modo a portarem as energias observadas.

A grande maioria da radiação cósmica primaria (partículas antes da interação com os átomos e moléculas da Atmosfera Terrestre) é formada por prótons, portanto os raios cósmicos são predominantemente partículas carregadas positivamente. Existem, no entanto,



Relatório Final de Atividades 2006

partículas alfa e menos de 1% de núcleos pesados. Sabe-se com certeza que não se tratam de nêutrons nem mésons, já que estes são instáveis e decaem durante o seu percurso.

Os raios cósmicos primários estão divididos em 3 componentes:

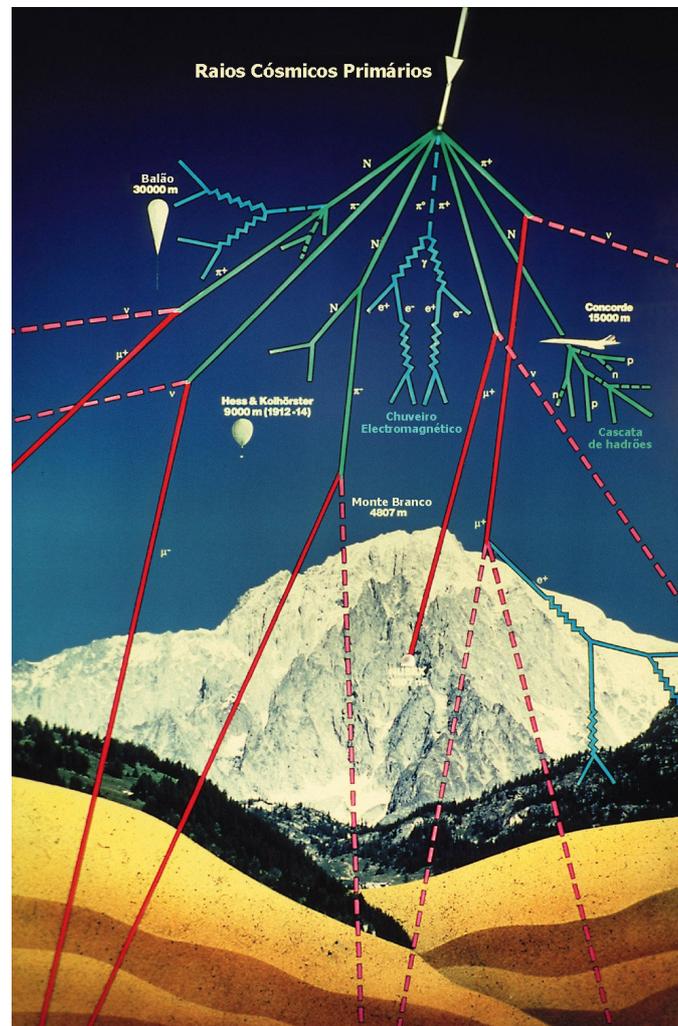
**1-Raios Cósmicos Galácticos (RCG):** Originam-se fora do Sistema Solar provavelmente no centro da Via Láctea. Sua propagação é guiada pelos campos magnéticos da Galáxia. O componente primário representa a composição do material original e um componente secundário é produzido pela fragmentação de núcleos mais pesados.

**2-Partículas Energéticas Solares:** Originam-se no Sol; sua intensidade aumenta devido a ocorrência de explosões solares e outras manifestações da atividade solar.

**3-Raios Cósmicos Anômalos:** Originam-se no espaço interestelar além da heliopausa. Diferem dos RCG por apresentarem em sua composição porcentagem superior de Hélio (partículas Alfa).

Quando partículas de raios cósmicos entram na atmosfera superior de Terra, colidem com os átomos e moléculas do ar. Partículas de Raios Cósmicos pesados, tais como núcleo de hélio, são geralmente fissionados nestas colisões, podendo perder frações significantes de sua energia. Emergindo destas colisões surgem fluxos de partículas, algumas são íons nucleares e outras são partículas incomuns denominadas mésons. Estes não são constituintes da matéria que nos normalmente encontramos: são radiativos e suas meias-vidas são curtas, menos de um milionésimo de segundo. Quando eles decaem ou colidem com átomos ou moléculas da Atmosfera Terrestre, mais partículas, inclusive elétrons são produzidas. Estas partículas resultantes da colisão são chamadas de *Raios Cósmicos Secundários*.

O elétrons podem radiar fótons, que produzem ainda mais elétrons de tal maneira que cascatas desenvolvem-se à medida que o processo é repetido sobre muitas gerações através da atmosfera, até que chuviros de bilhões de partículas possam ser detectadas simultaneamente na superfície. Esses chuviros aéreos extensivos são a única maneira de detectar partículas de raios cósmicos de altas energias



**Figura 12 - A radiação cósmica na atmosfera terrestre, resultando em um chuva de partículas**  
(Fonte: [www.lip.pt/~outreach/posters/posters.html](http://www.lip.pt/~outreach/posters/posters.html))

Esquematicamente, a formação de partículas secundárias na atmosfera terrestre, pode ser ilustrada pelo diagrama da Figura 12.



### **3.3 - O USO DE RAIOS CÓSMICOS NA PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL**

Devido ao grande volume que pode ser usado em detectores em 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 são altamente complementares aos limites superiores das energias dos detectores de fluxos de raios cósmicos espaciais.

Há várias razões pelas quais partículas com estas energias são interessantes do ponto de vista do clima espacial. Primeiro elas viajam a velocidades próximas da luz. Partículas de raios cósmicos que interagem com uma onda de choque ou uma Ejeção Coronal de Massa (CME) e escapam para a parte frontal dessas estruturas, viajarão mais rapidamente que o choque, trazendo o alerta da chegada da estrutura com antecedência. Segundo as partículas tem um grande livre caminho médio. Isto é importante porque assinaturas percussoras da chegada de um distúrbio seriam apagadas devido ao espalhamento em escalas maiores que o livre caminho médio. Terceiro, as partículas tem raio de Larmor muito grande em comparação com a magnetosfera da Terra, mas são menores ou da mesma ordem de tamanho do distúrbio. Por exemplo, a energia típica de um monitor de nêutrons é  $10\text{GeV}$  correspondendo a um raio de Larmor de  $0,1\text{ UA}$ . Isto é importante porque significa que anisotropias cinéticas (tais como a anisotropia  $\vec{B} \times \vec{\nabla} n$ ) correspondem a estruturas de larga escala no Vento Solar perturbado.

#### **3.3.1 – OS MUONS**

A interação de raios cósmicos que atingem o alto da atmosfera terrestre produz grandes quantidades de partículas elementares conhecidas como pions ou mésons-pi. Esses pions são partículas instáveis que desintegram-se em frações de segundo após terem sido



Relatório Final de Atividades 2006

produzidas, criando partículas secundárias chamadas muons e seus neutrinos. Os muons, por sua vez também são partículas instáveis que desintegram-se formando um terceiro conjunto de partículas elementares: os elétrons, os neutrinos do elétron e mais um neutrino do muon. Os neutrinos produzidos nesta sequência de decaimentos são chamados neutrinos atmosféricos. Observando a sequência de decaimentos descrita acima, espera-se que para cada dois neutrinos do muon, somente um neutrino do elétron seja observado.

Quando raios cósmicos de alta energia chegam na atmosfera terrestre, criam certas partículas elementares instáveis, cujos rastros, registrados em emulsões fotográficas, são muito curtos, mais curvilíneos que o rastro de um próton e menos que o de um elétron. Em outras palavras, estas partículas teriam uma massa intermediária entre a massa do próton e a massa do elétron. Logo se detectaram outros rastros semelhantes, e as partículas descobertas receberam o nome de mésons.

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

As partículas eletricamente carregadas, como é o caso dos muons, perdem frações de sua energia devido a interação com as partículas constituintes da matéria, principalmente elétrons. Como os muons possuem uma energia muito alta, eles interagem muito pouco com a matéria, apenas por ionização. Por causa disto, eles podem deslocar-se por grandes distâncias e comumente alcançam a superfície da Terra.



## CAPITULO IV

### METODOLOGIA E INSTRUMENTAÇÃO UTILISADA

Neste Capítulo será mostrada a metodologia e a instrumentação utilizada para a análise de 3 eventos que ocasionaram tempestades geomagnéticas intensas nos períodos de 5/4/2000 a 10/4/2000; 20/10/1999 á 24/10/1999; e 11/8/2000 a 15/8/2000.

#### 4.1 – METODOLOGIA

Usou-se dados referentes aos valores do índice Dst disponíveis no sitio da universidade de Kyoto, Japão, que mede a intensidade da corrente de anel magnetosférica (Mendes Jr. 1992). Posteriormente usaram-se os dados disponíveis dos parâmetros do plasma do meio interplanetário fornecido pelo satélite espacial ACE. Os dados disponíveis do satélite ACE foram tratados em linguagem de programação IDL que permitiu que fossem retirados os dados com erro obtidos pelos instrumentos do ACE e posteriormente feito gráficos para análise detelhada.

Com base nos dados fornecidos pelo satélite ACE referentes aos parâmetros do plasma do meio interplanetário analisou-se as variações nos parâmetros em função do tempo a fim de constatar a passagem das estruturas interplanetárias. Com base nos valores do modulo do campo magnético e da pressão térmica calculou-se o parâmetro  $\beta$  que é um importante indicador do comportamento da estrutura. Com base no valor da velocidade de propagação da ICME (*Interplanetary Coronal mass ejection*) calculou-se aproximadamente o tempo que estrutura levou do Sol até os instrumentos da satélite ACE



(considerando a velocidade de propagação constante, o que está incorreto, porém é válido como uma primeira aproximação), com base nesse tempo, estimou-se aproximadamente a data que estrutura foi gerada no Sol, e com isso procurou-se os eventos ocorridos no Sol com o uso das imagens fornecidas pelo satélite espacial SOHO.

## **4.2 – INSTRUMENTAÇÃO**

### **4.2.1 – O SATELITE ACE**

O satélite ACE órbita 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 do Sol. Com um semi-eixo de aproximadamente 200.000 km, a órbita elíptica coloca o ACE à uma visão primária do Sol e regiões galácticas (Figura 13).

Alguns dos instrumentos a bordo do satélite são: Espectrômetro Ultra da 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.

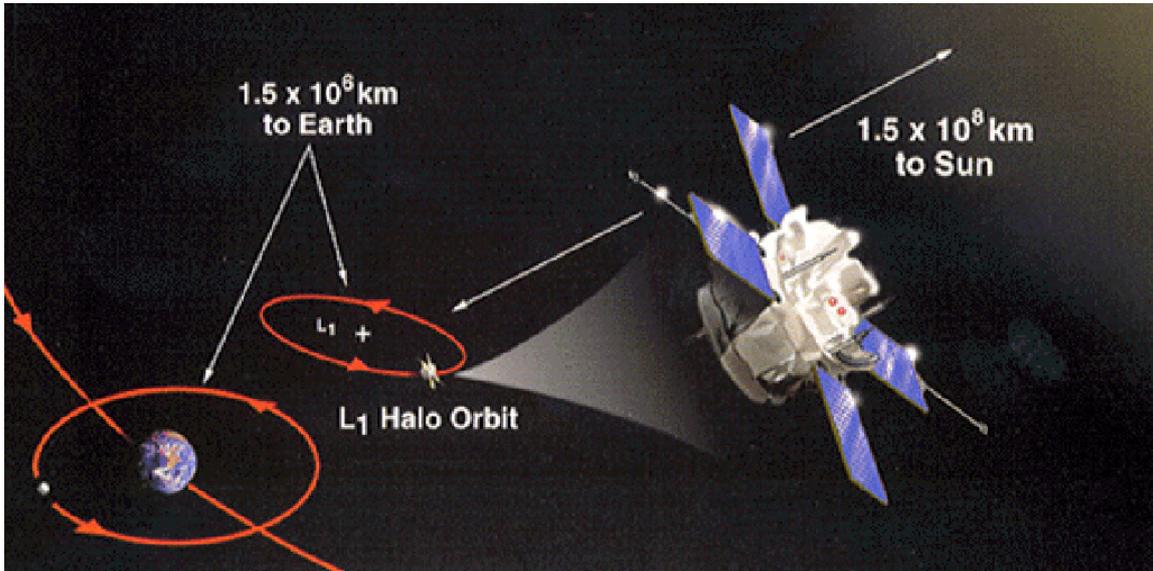


Figura 13 – Órbita do ACE (Fonte: <http://www.srl.caltech.edu/ACE>)

Para trabalhar com os dados dos parâmetros do plasma fornecidos pelo satélite ACE usaram-se programas desenvolvidos em ambiente IDL. Os dados baixados estão dispostos sob forma de colunas. Criaram-se rotinas que reconhecem os dados dispostos na forma de coluna para que posteriormente fossem manipulados tais dados. O quadro abaixo mostra um pequeno trecho dos dados fornecidos pelo ACE, onde é possível ver as colunas correspondentes ao dia, hora, densidade de prótons, temperatura dos prótons, componente x do vetor velocidade no sistema de coordenada gse, componente y do vetor campo magnético no sistema de coordenada gse, componente z do vetor campo magnético no sistema de coordenada gse, modulo do campo magnético, respectivamente.



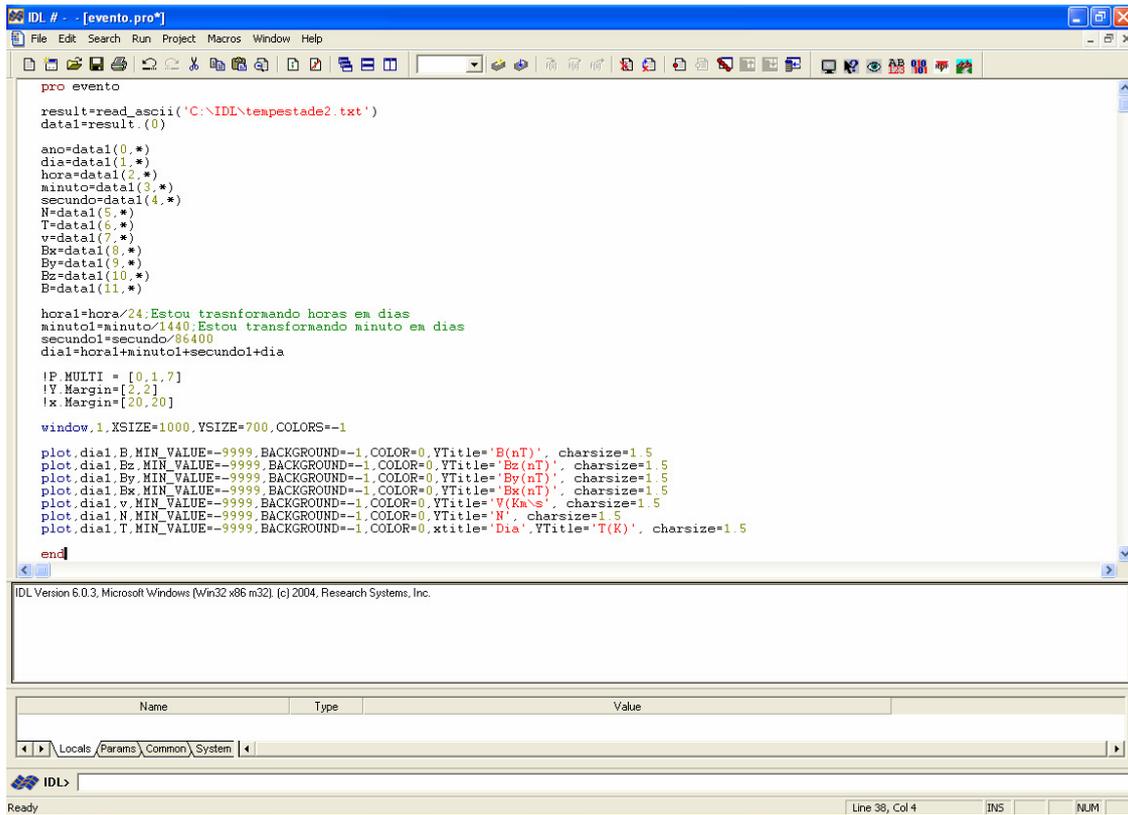
## Relatório Final de Atividades 2006

day	hr	min	Np	Tp	V_gse_x	B_gse_y	B_gse_z	Bmag	
293	0	0		7.231	1.6489e+04	-369.32	2.956	5.196	6.132
293	0	1		6.730	2.0576e+04	-370.32	3.296	4.957	6.149
293	0	2		7.064	1.2568e+04	-371.37	3.436	4.848	6.163
293	0	3		6.547	1.6900e+04	-372.27	3.529	4.796	6.202
293	0	4		6.906	1.5031e+04	-371.85	3.259	4.975	6.202
293	0	5		6.281	1.5749e+04	-369.92	2.833	5.310	6.231
293	0	6		6.883	1.6163e+04	-369.31	2.969	5.330	6.271
293	0	7		6.166	1.5384e+04	-367.77	3.054	5.264	6.282
293	0	8		6.897	1.6478e+04	-367.30	3.179	5.140	6.300
293	0	9		6.231	1.5054e+04	-368.51	3.106	5.012	6.269
293	0	10		6.862	1.4199e+04	-370.28	3.088	4.960	6.275
293	0	11		6.322	1.7344e+04	-367.98	3.178	4.808	6.260
293	0	12		6.773	1.8849e+04	-366.78	3.178	4.898	6.253
293	0	13		6.720	1.6751e+04	-367.89	2.940	5.160	6.084
293	0	14		6.770	1.2404e+04	-371.03	2.948	5.125	6.151
293	0	16		7.037	1.7461e+04	-369.00	3.078	5.145	6.224
293	0	17		6.567	1.1729e+04	-373.13	3.058	5.376	6.411
293	0	18		5.430	1.7051e+04	-371.61	2.908	5.510	6.401
293	0	19		6.564	1.4164e+04	-373.47	2.944	5.511	6.415
293	0	20		5.876	1.7924e+04	-374.24	3.470	5.147	6.343
293	0	21		6.567	1.2871e+04	-374.67	3.344	5.336	6.406
293	0	22		5.654	1.4962e+04	-372.18	2.965	5.547	6.420
293	0	23		-9999.900	-9.9999e+03	-9999.90	2.935	5.647	6.472

Figura 14 – Um pequeno trecho de uma planilha de dados fornecidos pelo ACE

Um fator interessante de observar é o valor obtido para a densidade de prótons, temperatura de prótons e componente x da velocidade do plasma da última linha, onde observa-se o valor -9999.900. Esse valor muito desproporcional em relação aos outros valores indica que o instrumento falhou na coleta dos dados nesse momento, sendo gerado então esse valor automaticamente indicando a falha no instrumento.

Para facilitar a análise dos dados é conveniente fazer gráficos com os dados, na figura abaixo é mostrado um exemplo de rotina feita no IDL para plotar gráficos dos parâmetros do plasma em um dado período de tempo.



```
IDL # - - [evento.pro*]
File Edit Search Run Project Macros Window Help
pro evento
result=read_ascii('C:\IDL\tempestade2.txt')
data=result.(0)
ano=data(0,*)
dia=data(1,*)
hora=data(2,*)
minuto=data(3,*)
segundo=data(4,*)
N=data(5,*)
T=data(6,*)
v=data(7,*)
Bx=data(8,*)
By=data(9,*)
Bz=data(10,*)
B=data(11,*)

horal=hora/24;Estou transformando horas em dias
minutol=minuto/1440;Estou transformando minuto em dias
segundol=segundo/86400
dial=horal+minutol+segundol+dia

!P.MULTI = [0,1,7]
!Y.Margin=[2,2]
!X.Margin=[20,20]

window,1,XSIZE=1000,YSIZE=700,COLORS=-1

plot,dial,B,MIN_VALUE=-9999,BACKGROUND=-1,COLOR=0,YTitle='B(nT)',charsize=1.5
plot,dial,Bz,MIN_VALUE=-9999,BACKGROUND=-1,COLOR=0,YTitle='Bz(nT)',charsize=1.5
plot,dial,By,MIN_VALUE=-9999,BACKGROUND=-1,COLOR=0,YTitle='By(nT)',charsize=1.5
plot,dial,Bx,MIN_VALUE=-9999,BACKGROUND=-1,COLOR=0,YTitle='Bx(nT)',charsize=1.5
plot,dial,v,MIN_VALUE=-9999,BACKGROUND=-1,COLOR=0,YTitle='V(Km\s)',charsize=1.5
plot,dial,N,MIN_VALUE=-9999,BACKGROUND=-1,COLOR=0,YTitle='N',charsize=1.5
plot,dial,T,MIN_VALUE=-9999,BACKGROUND=-1,COLOR=0,xtitle='Dia',YTitle='T(K)',charsize=1.5

end
```

IDL Version 6.0.3, Microsoft Windows (Win32 x86 m32) (c) 2004, Research Systems, Inc.

Name	Type	Value
------	------	-------

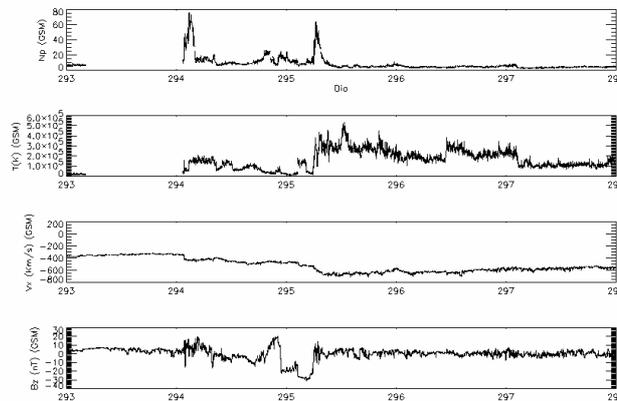
Locals | Params | Common | System

IDL>

Ready Line 36, Col 4 INS NUM

Figura 15 – Exemplo de um programa para gerar gráficos.

Um gráfico de parâmetros interplanetários em um programa feito em plataforma IDL é mostrado na figura 16



**Figura 16 -Gráfico de parâmetros do plasma**

#### 4.2.2 – O SATELITE SOHO

O SOHO (*Solar & Heliospheric Observatory*) é um projeto em conjunto da Agencia Espacial Européia (ESA) e da NASA, que visa a cooperação entre as duas agencias no estudo científico das relações Sol-Terra.

O SOHO é designado para estudar a estrutura interna do Sol, sua atmosfera e a origem do vento solar, se caracterizando em um ótimo instrumento para estudo das interações Sol-Terra. Estando em operações desde 2005, a mais de 10 anos o SOHO faz um excelente trabalho ininterrupto de monitoramento do Sol.

O Satélite SOHO assim como o satélite ACE está localizado no ponto Lagrangeano L1 no qual é definido como um ponto de equilíbrio gravitacional no caminho Sol-Terra assim como fora mencionado anteriormente, a uma distancia de 1,5 milhões de quilômetros da Terra (ver figura 17).

Nominal orbital parameters:  
 $A_x = 206\,448\text{ km}$   
 $A_y = 666\,672\text{ km}$   
 $A_z = 120\,000\text{ km}$

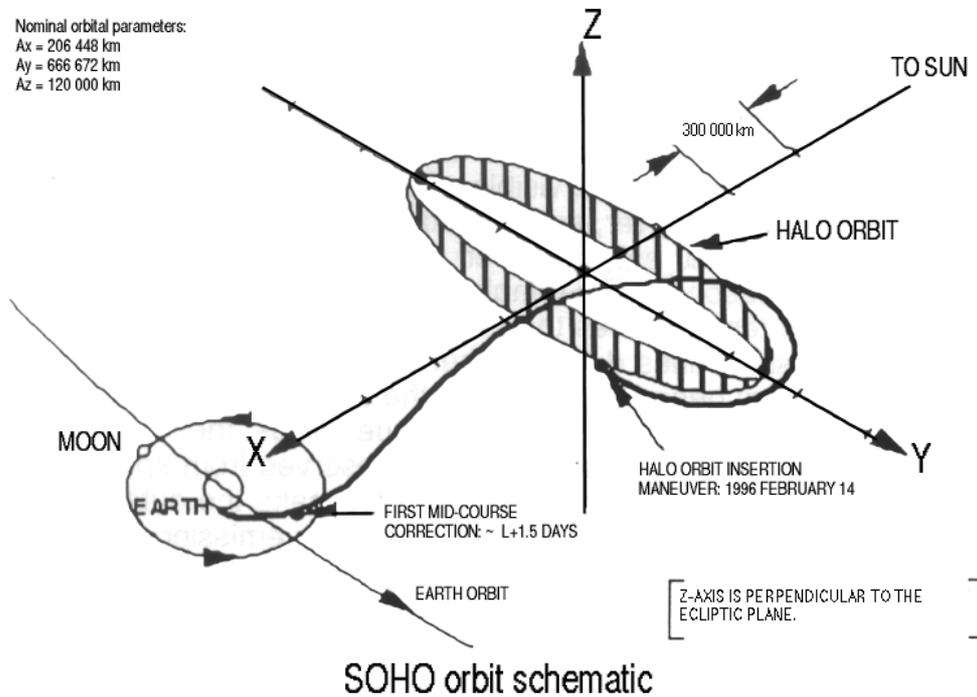


Figura 17 – Esquema do órbita do Satélite SOHO . (Fonte: <http://sohowww.nascom.nasa.gov>)

O SOHO possui 11 instrumentos que fornecem as mais variadas informações sobre o Sol. Para nosso estudo utilizamos os instrumentos LASCO (*LARGE ANGLE AND SPECTROMETRIC CORONAGRAPH*) C2 e C3 e o EIT (*EXTREME ULTRAVIOLET IMAGING TELESCOPE*) no comprimento de onda de  $195\text{ \AA}$ .

#### 4.2.2.1 – O INSTRUMENTO LASCO

O LASCO é um dos 11 instrumentos a bordo do satélite SOHO. Constitui-se de um conjunto de 3 coronógrafos que fornecem imagens da coroa solar de 1.1 a 32 raios solares.

Um raio solar equivale a uma distância de 700.000 km ou 16 minutos de arco. Os



Relatório Final de Atividades 2006

três telescópios que compõem o LASCO são: C1 com uma cobertura de 1.1 a 3 raios solares, o C2 que abrange uma cobertura que pega partes do C1 e C3 e se estende de 2 a 6 raios solares e o C3 que fornece imagens da coroa exterior, estendendo-se de 3.7 a 32 raios solares. O C1, que é um instrumento que analisa a Coroa interna, é uma versão desenvolvida do coronógrafo ocultado internamente, Lyot clássico.

As câmeras CCD em cada telescópio fornecem detalhadas imagens com uma excepcional dinâmica. Devido elas portarem uma grande memória e um microprocessador de alta velocidade, pode-se obter s até 10 imagens da coroa por hora.

A missão científica do instrumento LASCO consiste em responder as seguintes questões explicitadas nos seguintes tópicos abaixo:

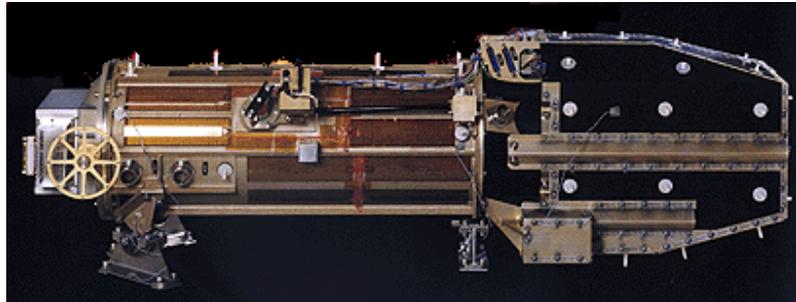
- Qual o mecanismo de aquecimento da Coroa;
- A origem e o mecanismo de aceleração do Vento Solar;
- O que causa as ejeções coronais de Massa e o seu papel na evolução temporal do campo magnético em grande escala;
- O que é, a distribuição e as propriedades da nuvem de poeira Zodiacal;

Para responder estas perguntas o LASCO irá investigar o transporte de massa, do momento e da energia através da coroa e do vento solar, medindo:

- A distribuição global dos parâmetros chave do plasma: temperatura, densidade, velocidade e direção do campo magnético, seqüência temporal de eventos dinâmicos na coroa, especialmente eventos que ocorrem ejeções coronais de massa, e as circunstâncias que provocam tais eventos.

#### **4.2.2.2 – O INSTRUMENTO EIT**

O instrumento EIT ( *EXTREME ULTRAVIOLET IMAGING TELESCOPE*, ver Figura 18 ) foi projetado para fornecer imagens de todo o disco solar e da região de transição e o interior do coroa solar.



**Figura 18 - Imagem do instrumento EIT (Fonte:  
[http://umbra.nascom.nasa.gov/eit/EIT.html#WHAT\\_EIT](http://umbra.nascom.nasa.gov/eit/EIT.html#WHAT_EIT))**

O objetivo científico primário do EIT é o estudo da dinâmica e a evolução de estruturas coronais sob uma larga escala de tempo, conseqüentemente contribuindo para entendimento de processos responsáveis pelas reações coronais e a aceleração do vento solar. O EIT consiste de um telescópio de Ritchey–Chrétien, diversos filtros em um detector CCD . O EIT é capaz de captar radiação eletromagnética em 4 comprimentos de onda distintos que são: 171 Å (Fe IX e Fe X); 195 Å (Fe XII); 284 Å (Fé XV); 304 Å (He II) . A seguir na figura 19 são exemplificados os quatro tipos de imagens obtidas pelo EIT.

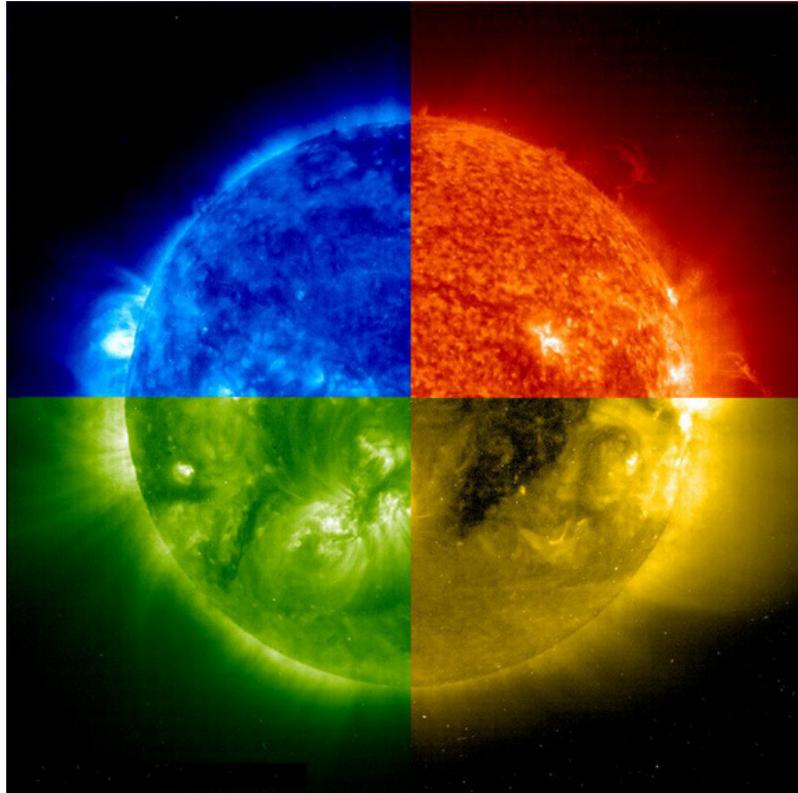


Figura 19 - O Sol dividido em 4 quadrantes, onde cada quadrante corresponde a um comprimento de onda distinto. (Fonte: <http://sohowww.nascom.nasa.gov>)

### 4.2.3 – O SOLARSOFT

O SolarSoft consiste em um sistema integrado de bibliotecas de softwares, base de dados e sistemas utilitários, relacionados com a análise da programação e dos dados para a Física Solar. É um sistema baseado em ambiente de programação IDL, embora algumas equipes forneçam os executáveis escritos em outras linguagens de programação. O SolarSoft carrega imagens em formato FITS, que é muito usado na Astrofísica. Após carregar as imagens no SolarSoft, sejam elas provenientes do EIT ou do LASCO, é possível trabalhar com essas imagens e obter-se as mais variadas informações possíveis a respeito das estruturas solares.



Dentre as funções de uso do SolarSoft destacam-se do ponto de vista do nosso projeto de pesquisa a possibilidade de calcular a velocidade de propagação radial de uma CME, com base na intensidade dos pixels da imagem gerada.

#### 4.2.4 – TELESCÓPIO CINTILADOR DE MUONS

Um protótipo de Telescópio Cintilador de Muons Multi-Direcional entrou em operação no Observatório espacial do Sul do Centro Regional Sul de pesquisas Espaciais – OES/CRSSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, Rio Grande do Sul no de 2001. A figura 20 mostra uma fotografia panorâmica do prédio 2, principal do observatório.



**Figura 20 - Vista do Prédio 2 do OES/CRSSPE/INPE – MCT em São Martinho da Serra – RS**  
(Fonte: <http://www.crspe.net/>)

O TCM consiste de 2 camadas de 4 detectores. Estas camadas estão separadas por 1.73 m de altura, intermediadas por uma camada de chumbo com 5cm de espessura. Os detectores estão arranjados na forma de um quadrado de 2x2 metros em cada camada, onde um lado é alinhado a direção Norte-Sul geográfica. Cada detector é identificado por um numero com inicial U ou L para as camadas de cima e de baixo (U1,U2,U 3, U4, L1, L2, L3, L4) , respectivamente. A Figura 21 mostra o detector instalado



**Figura 21 – Protótipo do Telescópio Cintilador de Muon Multi Direcional do observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, Rs.**



**Figura 22 – Imagem do plástico cintilante**

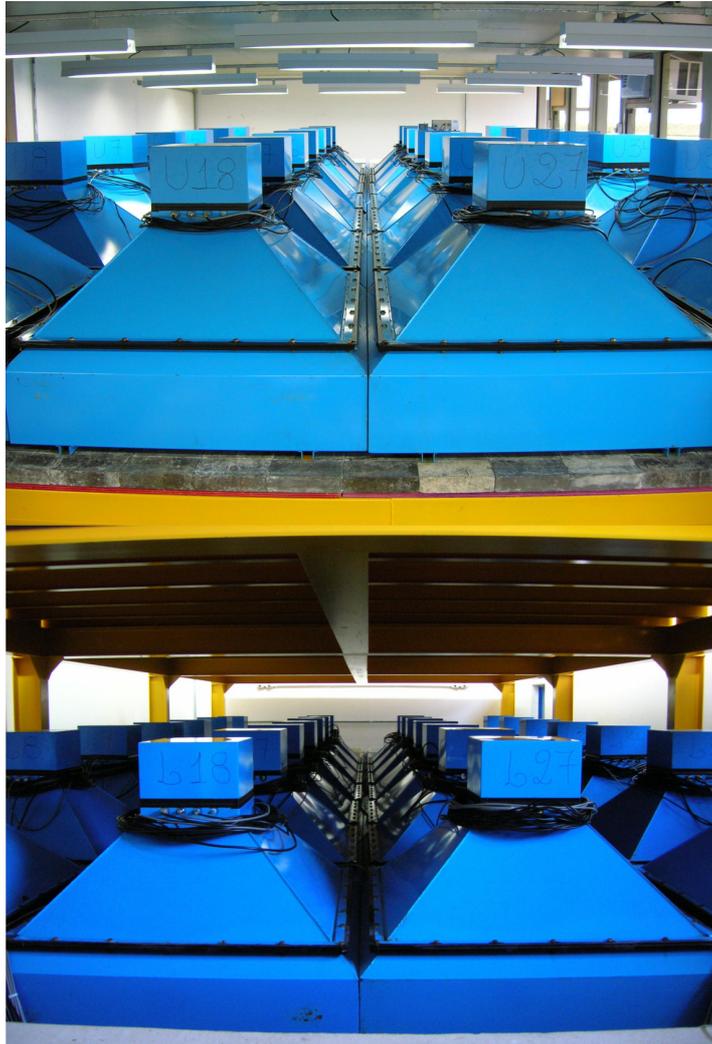
Cada detector contém 4 plásticos cintilantes de dimensões totais de  $(1 \times 1 \times 0,1)m$  (Figura 21). O plástico cintilador é composto por um material orgânico, onde os átomos tornam-se excitados quando as partículas de raios cósmicos o atravessam. Quando estes átomos voltam ao estado fundamental de energia são liberados fótons na faixa do UV. Estes



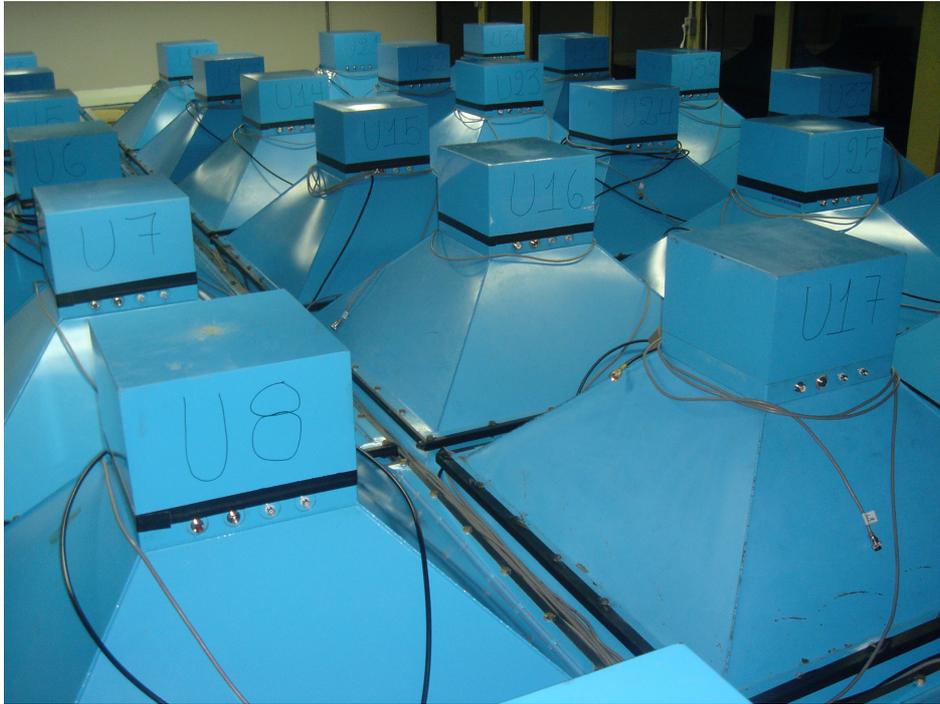
fótons liberados são detectados por um tubo fotomultiplicador que se encontra no topo da caixa metálica . O tubo fotomultiplicador amplia os fótons na faixa do UV liberados pelo plástico cintilante e os converte em sinal elétrico, que pode ser medido. A partir do sinal elétrico é feita uma estimativa do numero de partículas que passa pelo detector.

### **3.4.1 – AMPLIAÇÃO DO TELESCOPIO CINTILADOR DE MUONS**

Durante o período de novembro e dezembro de 2005 uma equipe de pesquisadores e alunos de Iniciação Científica da Cooperação Científica entre Brasil, Japão e Estados Unidos deram início a ampliação do Telescópio Cintilador de Muon do Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra OES/CRSSPE/INPE – MCT, a ampliação foi concluída em dezembro do mesmo ano, ao termino o novo e expandido Telescópio Cintilador de Muons já estava em operação novamente e como resultado tivemos: numero de detectores foi ampliado de 8 para 56, com isso a área de detecção passou de  $4m^2$  ( $2 \times 2$ ) para  $28m^2$  ( $4 \times 7$ ), e com o aumento do numero de telescópios direcionais, podemos aumentar o ângulo de cobertura acarretando em uma melhoria no entendimento dos percussores das tempestades geomagnéticas e na previsão do Clima Espacial (ver Figura 23 e 24).



**Figura 23 – Imagem que mostra as duas camadas de detectores do Telescópio Cintilador de Muon expandido do observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, Rs.**



**Figura 24 – Imagem dos detectores da camada de cima do Telescópio Cintilador de Muon expandido do observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, Rs.**

## **CAPITULO V**

### **ANÁLISES E RESULTADOS DOS EVENTOS ESTUDADOS**

Neste Capítulo vamos analisar os resultados obtidos para os eventos estudados no Projeto. Para o evento ocorrido no período de 20/10/1999 à 24/10/1999, fizemos um estudo de tal estrutura incluindo suas possíveis origens solares, com o uso do instrumento EIT para acompanhar a atividade magnética do Sol, no momento que possivelmente a estrutura tenha sido ejetada do Sol para o meio interplanetário, com a radiação emitida no comprimento de onda de 195 Å.



Relatório Final de Atividades 2006

Após essa primeira observação da atividade solar com o instrumento EIT 195Å, acompanhamos a estrutura em momentos subseqüentes com os instrumentos LASCO C2 e LASCO C3. Com o uso de tais instrumentos foi possível observar-se a Coroa solar, que é camada mais externa do Sol que não tem um limite definido, através de uma distancia de 1.1 a 32 raios solares.

Posteriormente estudou-se essa estrutura com os dados fornecidos pelo Satélite ACE, onde foi feita uma análise complementar a respeito da estrutura física, dos parâmetros do plasma, como densidade, temperatura, campo magnético entre outros.

E para os demais eventos estudados usaram-se somente os dados do satélite ACE, sendo que análise de tais eventos através de observações dos instrumentos LASCO e EIT para estes dois eventos estão em andamento.

### **5.1 – EVENTO OCORRIDO EM AGOSTO DE 2000**

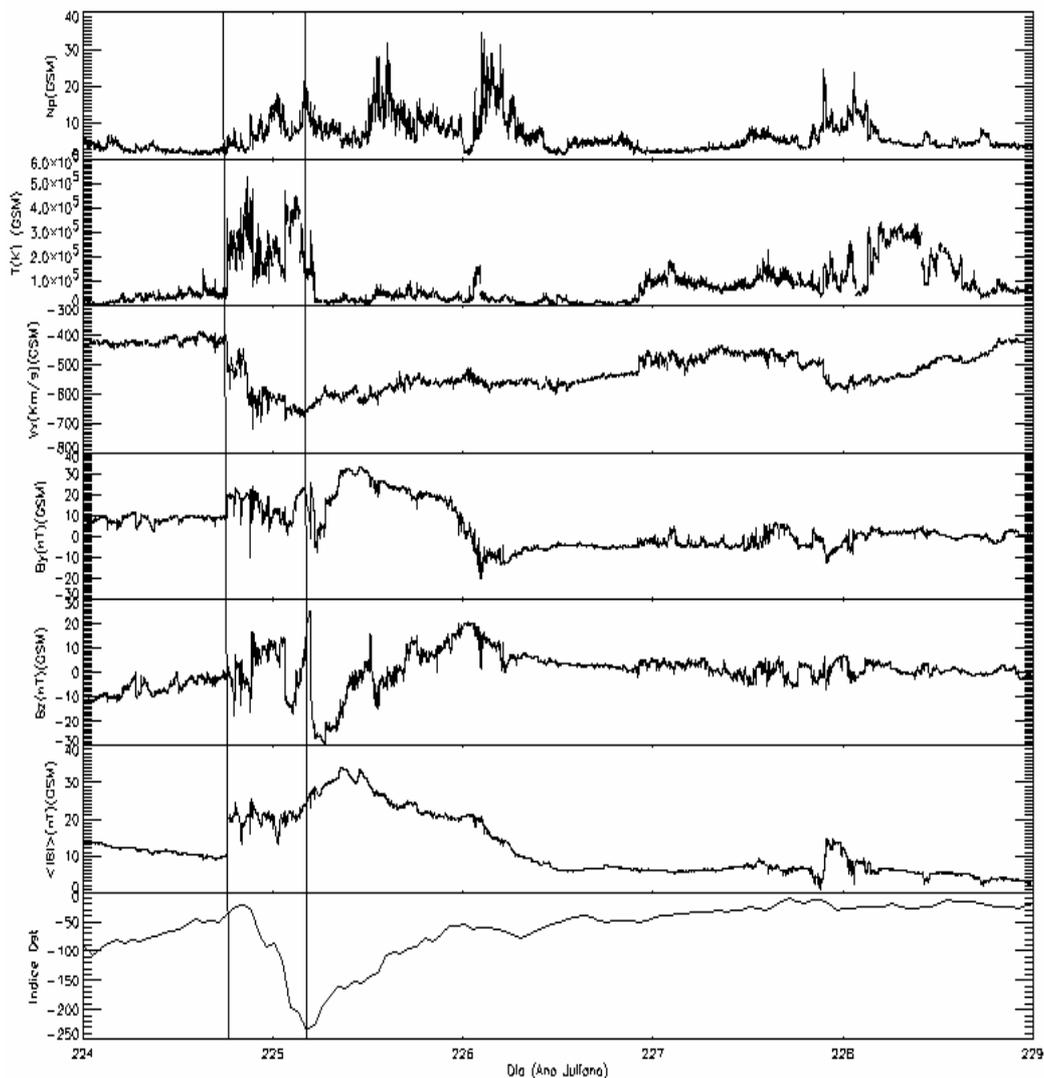
Conforme os dados fornecidos do índice Dst , trata-se de um evento que ocasionou uma intensa tempestade geomagnética. Sendo então a estrutura associada ao evento de caráter geofetivo.

Conforme observa-se nos gráficos do painel da Figura 25, os parâmetros do vento solar foram substancialmente alterados a partir do final do dia 224 de 2000 do calendário Juliano que corresponde ao dia 11 de agosto de 2000. Fato esse que se deve ao choque provocado pela estrutura do evento, que elevou os parâmetros do plasma.

Através da técnica usada de plotar em um painel os gráficos dos parâmetros do plasma um abaixo do outro, fica evidenciado que todos os parâmetros foram alterados inicialmente em uma data em comum, além desse fator, observa-se certas simetrias mais facilmente, como a relação existente entre a temperatura dos prótons e a densidade dos prótons. Pois nestes eventos verificamos que a intensidade de cada um destes parâmetros varia em dependência do outro, ou seja, quando a temperatura dos prótons aumenta a densidade dos mesmos diminui e vice-versa, é como se o plasma que compõem a estrutura comporta-se como um gás ideal, fato esse que será analisado mais detalhadamente a seguir.

## Relatório Final de Atividades 2006

Voltando aos gráficos da Figura 25. No primeiro gráfico de cima para baixo temos a densidade de prótons. Onde observa-se que a densidade de prótons estava em um valor quase constante, passou a oscilar em torno de valores mais elevados com a chegada da onda de choque, atingindo valores elevados logo em seguida decrescendo, o que durou por aproximadamente 1 dia.



**Figura 25** Painel com gráficos referentes aos parâmetros do plasma do Meio Interplanetário, que foram alterados por uma onda de choque provocada por uma complexa estrutura de plasma proveniente do Sol, que se propagou a uma velocidade supersônica. Os dados para a construção dessa imagem foram retirados dos arquivos do satélite ACE e processados pelo aluno nas dependências do Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas do CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.



No segundo gráfico que é o da temperatura dos prótons, notou-se que esta passou de valores pequenos de oscilação, para valores mais elevados, caracterizando o aumento brusco quando a onda de choque atinge os instrumentos do ACE.

Para o terceiro gráfico, que é da velocidade do plasma da componente x, notou-se uma variação para valores muito baixos, atingindo picos de  $-700$  Km/s durante o tempo que ocorreu o evento, em seguida se estabilizou para valores normais do vento solar.

No quarto gráfico, da componente y do campo magnético, notou-se que essa componente passou de valores estáveis, em torno de  $10$  nT, para oscilar em valores elevados, chegando a ficar negativo por um longo período de tempo.

Para o quinto gráfico, que é o gráfico que representa a componente z do campo magnético, um importante parâmetro, pois é a interação desta componente do campo magnético da estrutura com a magnetosfera terrestre, um importante fator na determinação de uma Tempestade Geomagnética. Pois quando esta componente atinge valores negativos induz a magnetosfera a se re-conectar com o Campo Magnético Interplanetário, durante a ocorrência desta reconexão, a terra fica vulnerável a entrada de partículas energéticas. Para este evento houve rotações bruscas desta componente, atingindo valores negativos com pico de  $-30$  nT.

O sexto gráfico mostra os valores para o módulo do campo magnético da estrutura onde vê-se claramente um aumento na intensidade durante o período de vigência do evento, logo em seguida voltando a valores normais gradativamente.

E o último gráfico mostra o índice Dst para o evento, onde nota-se que depois de um leve aumento, este caiu muito repentinamente para valores negativos chegando em um pico de  $-235$  nT, o que caracterizou-se tratar de uma Tempestade Geomagnética muito intensa, uma vez que o valor mínimo para se caracterizar uma tempestade geomagnética intensa é  $-100$  nT.

A seguir serão usados alguns destes parâmetros de plasma analisados para obter mais informações da estrutura estudada. Nós iremos considerar que a estrutura se comporta como um gás ideal e iremos aplicar a equação  $p = NkT$  para calcular a pressão térmica

## Relatório Final de Atividades 2006

da estrutura, onde  $N$  é a densidade dos prótons,  $k$  é a constante de Boltzmann e  $T$  é temperatura dos prótons.

Calcularemos a pressão magnética com a expressão  $p = B^2 / 2\mu_0$ , onde  $B$  é o campo magnético e  $\mu$  é uma constante.

A seguir obteremos o parâmetro  $\beta$  que é o produto da pressão térmica pelo inverso da pressão magnética. O parâmetro  $\beta$  em nuvens magnéticas fica em torno de 0.1 se constituindo em um bom indicador se a estrutura é uma nuvem magnética, juntamente com uma suave rotação da componente z do campo magnético sob um ângulo de  $180^\circ$  (Klein e Burlaga 1982). Na Figura 25 temos um gráfico dessas grandezas em função do tempo.

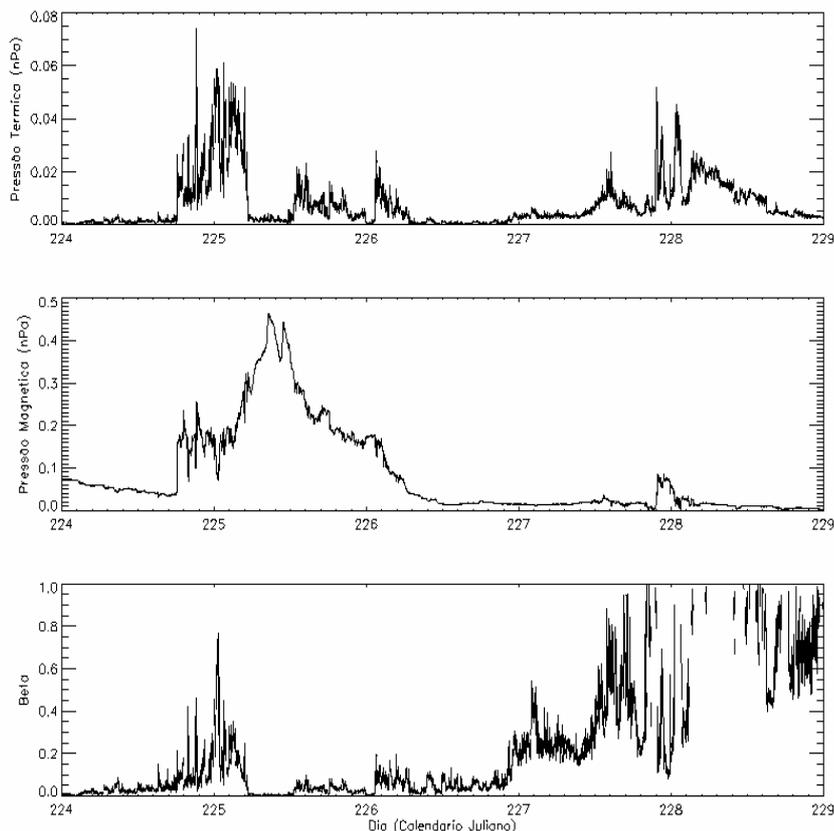


Figura 26 - gráfico de pressão térmica, magnética e por ultimo o gráfico do parâmetro  $\beta$  que relaciona essas grandezas. Os dados para a construção dessa imagem foram retirados dos arquivos do satélite ACE e processados pelo aluno nas dependências do Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas do CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.

No primeiro gráfico temos a pressão térmica em função do tempo. O evento inicia-se ao final do dia 224 do calendário Juliano, que corresponde ao final do dia 11 de agosto de 2000. A onda de choque associada a estrutura elevou a pressão térmica a um determinado patamar, e essa passou a oscilar em torno deste valor, seguindo nessa configuração por aproximadamente 1 dia, logo em seguida passou a oscilar de uma maneira irregular até o desfecho do evento.

Para o segundo gráfico de cima para baixo, que corresponde ao gráfico de pressão magnética, observa-se depois da chegada do choque, uma elevação do valor dessa pressão. Que permaneceu por aproximadamente 1 dia para logo em seguida se estabilizar em valores normais.

E no gráfico mais abaixo que corresponde ao parâmetro  $\beta$ , observa-se que durante a vigência do evento este ficou na maior parte do tempo em valores em torno de 0 a 0,1.

## **5.2 – O EVENTO OCORRIDO EM ABRIL DE 2000**

Conforme os dados fornecidos do índice Dst, trata-se de um evento que ocasionou uma intensa tempestade geomagnética. Sendo então a estrutura associada ao evento de caráter geofetivo.

Observa-se nos gráficos do painel da Figura 26, que os parâmetros do vento solar foram substancialmente alterados a partir do final do dia 97e 2000 do calendário Juliano que corresponde ao dia 5 de Abril 2000. Fato esse que se deve ao choque provocado pela estrutura do evento, que elevou os parâmetros do plasma. A primeira barra vertical indica o início da tempestade geomagnética, com a chegada da onda de choque que se propaga a frente da estrutura de plasma. A segunda barra indica a fase principal do evento, onde o índice Dst atinge seu valor máximo, logo em seguida voltando a valores normais.

Nessa tempestade geomagnética houve um pico do índice Dst de  $-300$  nT, indicando se tratar-se de uma tempestade muito intensa.

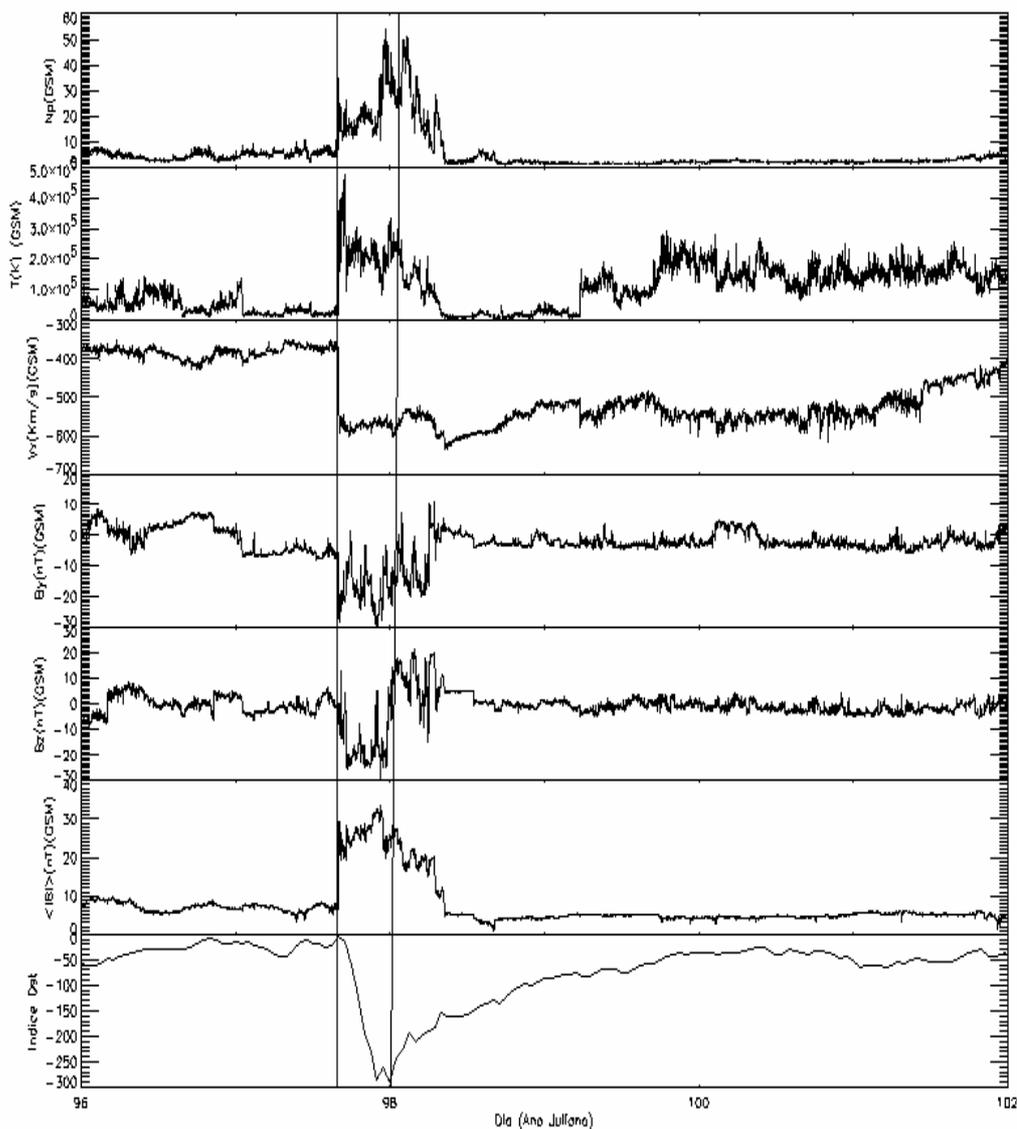


Figura 27 – Painel com gráficos referentes aos parâmetros do plasma do Meio Interplanetário, que foram alterados por uma onda de choque provocada por uma complexa estrutura de plasma proveniente do Sol. Os dados para a construção dessa imagem foram retirados dos arquivos do satélite ACE e processados pelo aluno nas dependências do Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas do CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.



No primeiro gráfico de cima para baixo temos a densidade de prótons. Onde nota-se que esta estava em um valor quase constante, passou a oscilar em torno de valores mais elevados com a chegada da onda de choque, atingindo valores elevados logo em seguida decrescendo, o que durou por aproximadamente 1 dia.

No segundo gráfico que é o da temperatura dos prótons, após um salto repentino, notou-se que esta passou de valores pequenos de oscilação, para valores mais elevados, caracterizando o aumento brusco quando a onda de choque atinge os instrumentos do ACE.

Para o terceiro gráfico, que é da velocidade do plasma da componente x, notou-se uma variação para valores muito baixos, atingindo picos de  $-600$  Km/s durante o tempo que ocorreu o evento, em seguida se estabilizou para valores normais do vento solar.

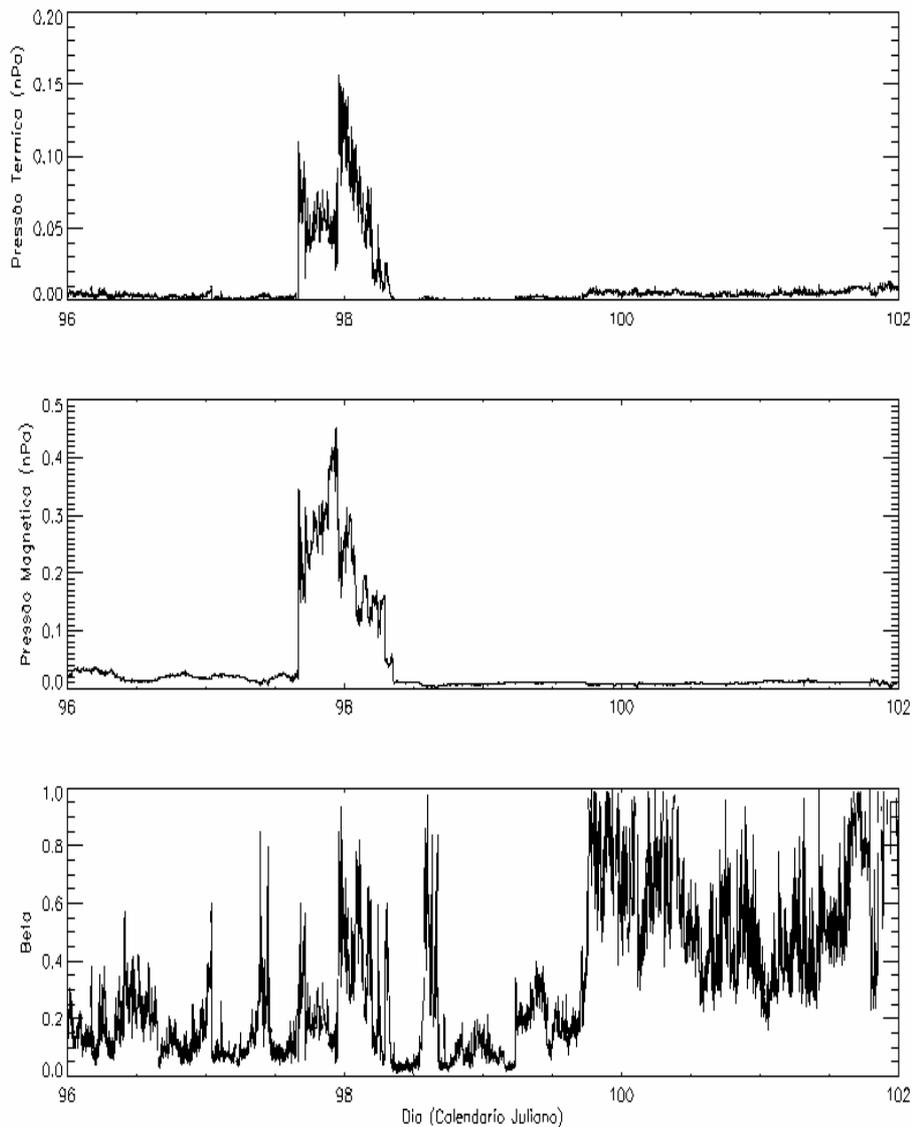
No quarto gráfico, da componente y do campo magnético, notou-se que essa componente passou de valores estáveis, para oscilar em uma amplitude maior em torno de valores negativos.

Para o quinto gráfico, que representa a componente z do campo magnético. Para este evento tal parâmetro ficou em torno de valores negativos chegando a um pico de  $-30$  nT.

O sexto gráfico mostra os valores para o módulo do campo magnético da estrutura onde vê-se claramente um aumento na intensidade durante o período de vigência do evento, logo em seguida voltando a valores normais gradativamente.

E o último gráfico mostra o índice Dst para o evento, nota-se que depois de um leve aumento, este caiu muito repentinamente para valores negativos chegando em um pico de  $-295$  nT, que caracterizou-se tratar de uma Tempestade Geomagnética muito intensa, uma vez que o valor mínimo para se caracterizar uma tempestade geomagnética intensa é  $-100$  nT.

A seguir serão usados alguns destes parâmetros de plasma analisados para obter mais informações da estrutura estudada a exemplo do evento anterior.



**Figura 28** gráfico de pressão térmica, magnética e por ultimo o gráfico do parâmetro  $\beta$  que relaciona essas grandezas. Os dados para a construção dessa imagem foram retirados dos arquivos do satélite ACE e processados pelo aluno nas dependências do Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas do CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.

No primeiro gráfico temos a pressão térmica em função do tempo. O evento inicia-se ao final do dia 97 do calendário Juliano, que corresponde ao final do dia 5 de abril de 2000. A onda de choque associada à estrutura elevou a pressão térmica a um determinado



patamar, durante aproximadamente 1 dia, logo em seguida passou a oscilar de uma maneira irregular até o desfecho do evento.

Para o segundo gráfico de cima para baixo, que corresponde ao gráfico de pressão magnética, observa-se depois da chegada do choque, houve uma elevação do valor dessa pressão. Que permaneceu por aproximadamente 1 dia para logo em seguida se estabilizar em valores normais.

E no gráfico mais abaixo que corresponde ao parâmetro  $\beta$ , observa-se que durante a vigência do evento este ficou na maior parte do tempo em valores em torno de 0 a 0,1.

### **5.3 - O EVENTO OCORRIDO EM OUTUBRO DE 1999**

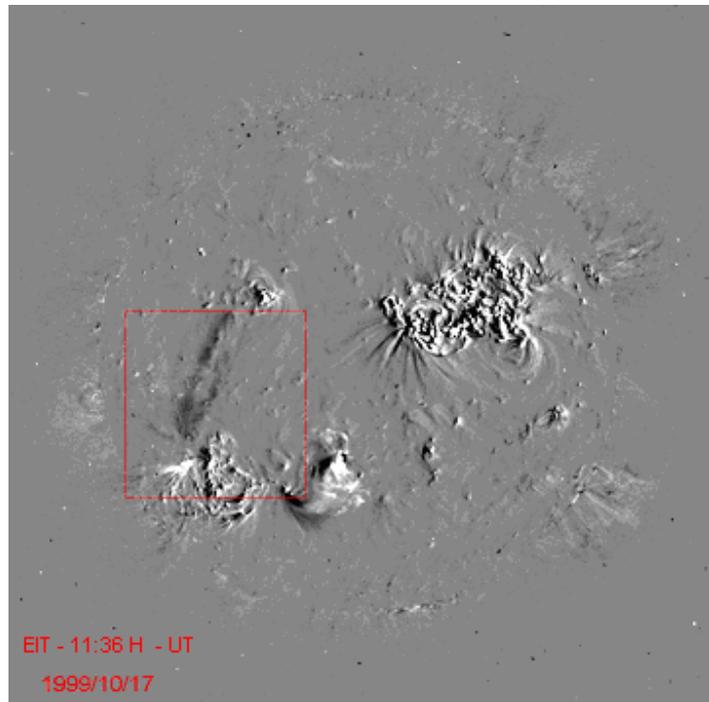
Após verificar nos bancos de dados disponíveis na internet referentes às regiões ativas constatou-se uma região ativa no Sol que esta relacionada com o evento ocorrido de 20 a 24 de outubro de 1999, o que está em concordância com o estudo feito por Alisson Dal lago para os mesmo eventos, e com estudos feitos pelo bolsista.

A seguir vê-se nas Figuras 29 e 30 imagens obtidas pelo instrumento EIT, que foi baixada pelo aluno diretamente dos arquivos de dados do satélite SOHO, que posteriormente foram trabalhadas no Solarsoft.

Nesta imagem no comprimento de onda de 195 Å obtida as 23:36 horas do dia 17 de outubro de 1999, é mostrada a zona ativa que esta relacionada a ejeção de massa coronal, que é a estrutura que esta contida dentro do retângulo vermelho (ver Figura 29 e 30).

Identificou-se tal região ativa através da análise de uma seqüência de imagens carregadas no Solarsoft, que são mostradas como um pequeno filme.

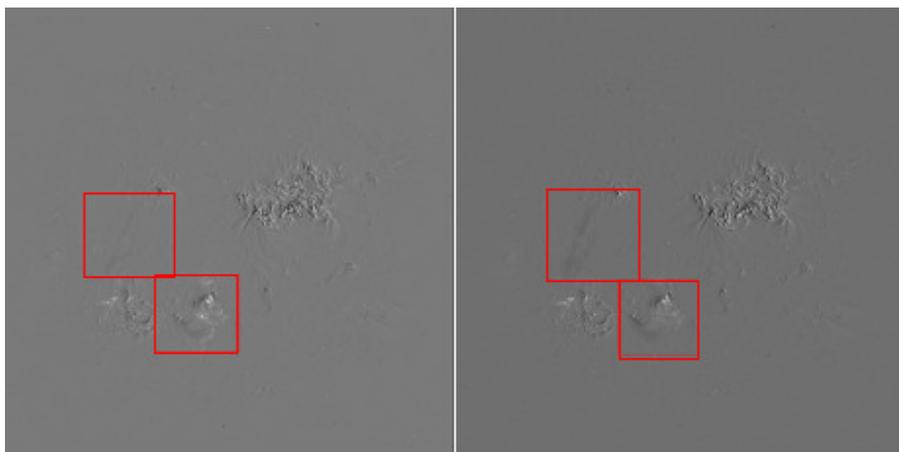
Tal técnica permite identificar mais facilmente alterações na configuração das estruturas do campo magnético solar nas imagens fornecidas em um determinado intervalo de tempo.



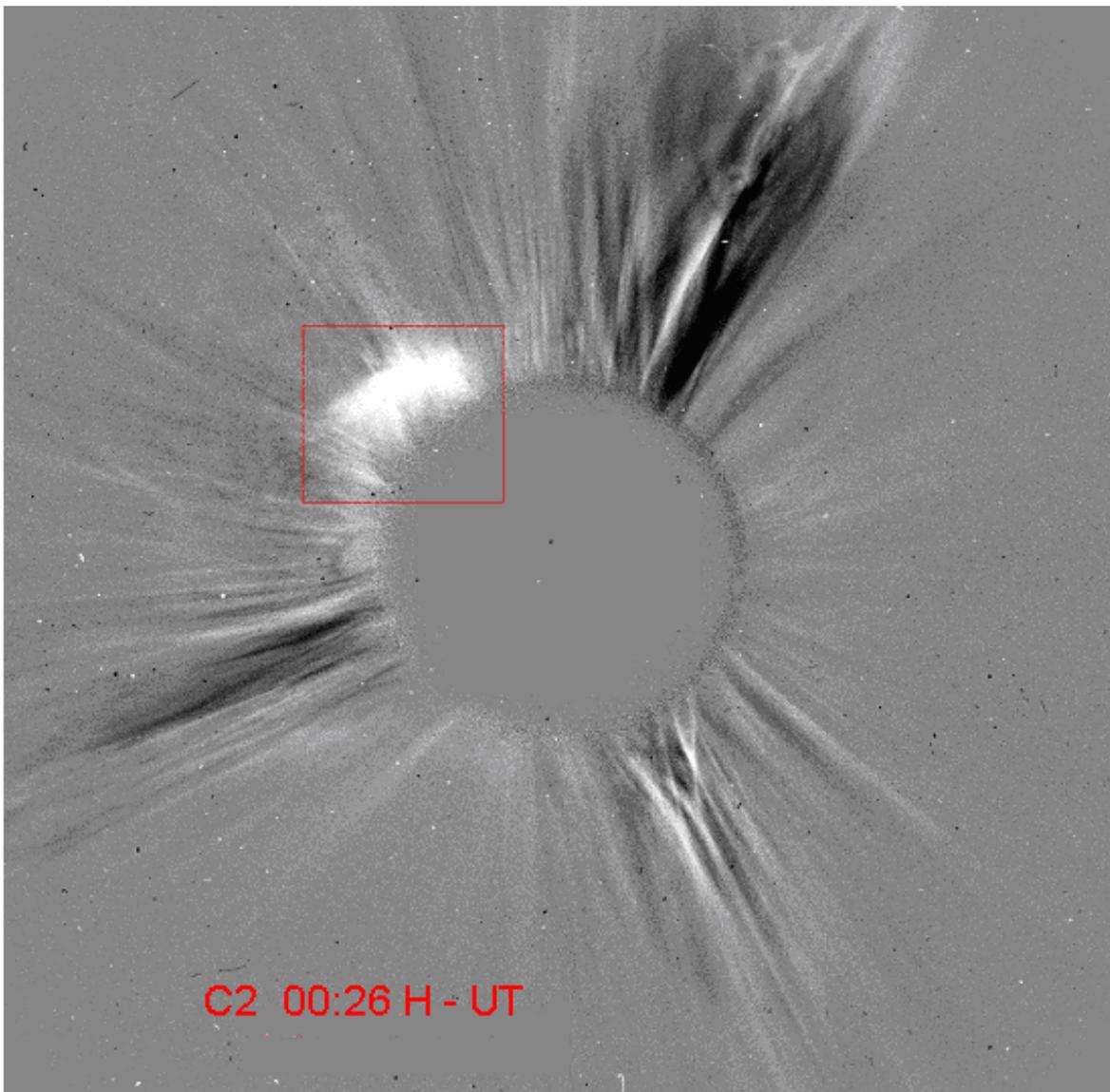
**Ilustração 29 - Uma imagem do Sol no comprimento de onda de  $195^\circ$  obtida pelo instrumento EIT, abordo do satélite SOHO, a zona ativa encontra-se dentro do retângulo vermelho**

(A)

(B)



**Ilustração 30 - Na figura A tem-se a imagem da região ativa onde os campos magnéticos estão configurados de uma determinada maneira, na figura B, temos um momento posterior, onde nota-se uma variação do campo magnético local. Os dados para a construção dessa imagem foram retirados dos arquivos do satélite SOHO e processados no SolarSoft pelo aluno nas dependências do Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas do CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.**

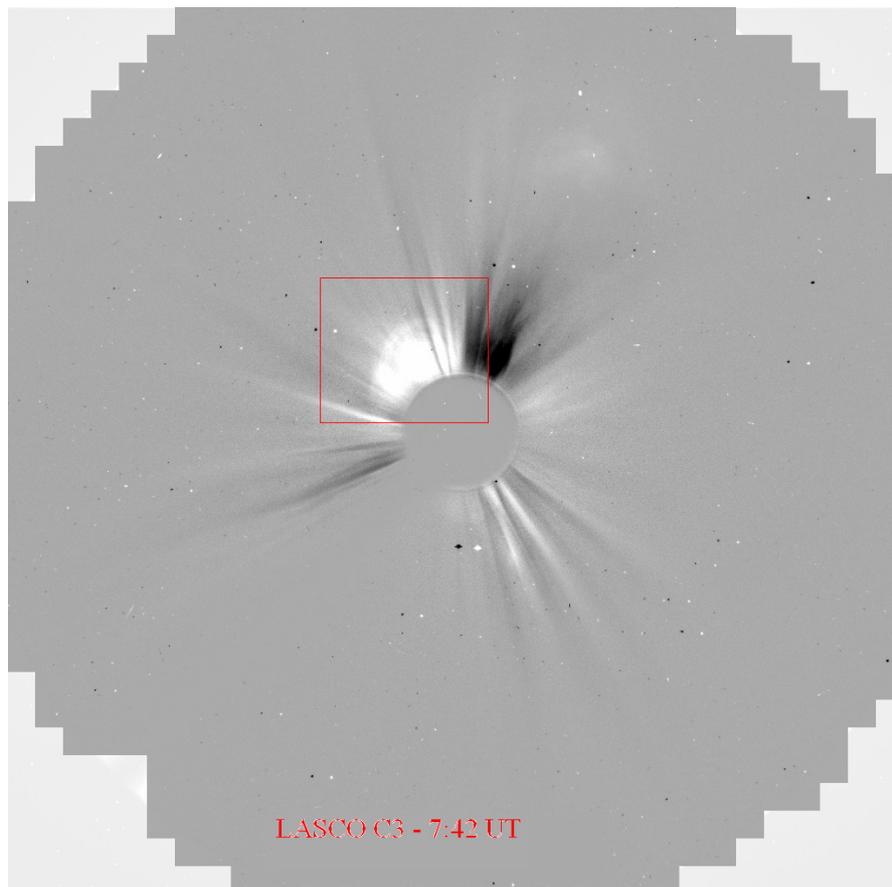


**Figura 31 - Imagem da estrutura obtida pelo coronógrafo C2 a bordo do satélite SOHO, onde o retângulo vermelho delimita a estrutura proveniente da região ativa que veio a provocar a tempestade geomagnética em momentos subseqüentes. Os dados para a construção dessa imagem foram retirados**



Relatório Final de Atividades 2006

dos arquivos do satélite SOHO e processados no SolarSoft pelo aluno nas dependências do Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas do CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.



**Figura 32 - Imagem do instrumento do coronógrafo C3, algum tempo após a imagem obtida pelo C2, dentro do retângulo vermelho encontra-se CME originaria da estrutura ativa. Os dados para a construção dessa imagem foram retirados dos arquivos do satélite SOHO e processados no SolarSoft pelo aluno nas dependências do Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas do CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.**

## Relatório Final de Atividades 2006

Conforme observa-se nos gráficos do painel da Figura 33, os parâmetros do vento solar foram substancialmente alterados a partir do dia 294 de 1999 do calendário Juliano que corresponde ao dia 21 de agosto de 2000. Fato esse que se deve ao choque provocado pela estrutura do evento, que elevou os parâmetros do plasma.

Nessa tempestade geomagnética houve um pico do índice Dst de  $-230$  nT, indicando se tratar de uma tempestade intensa.

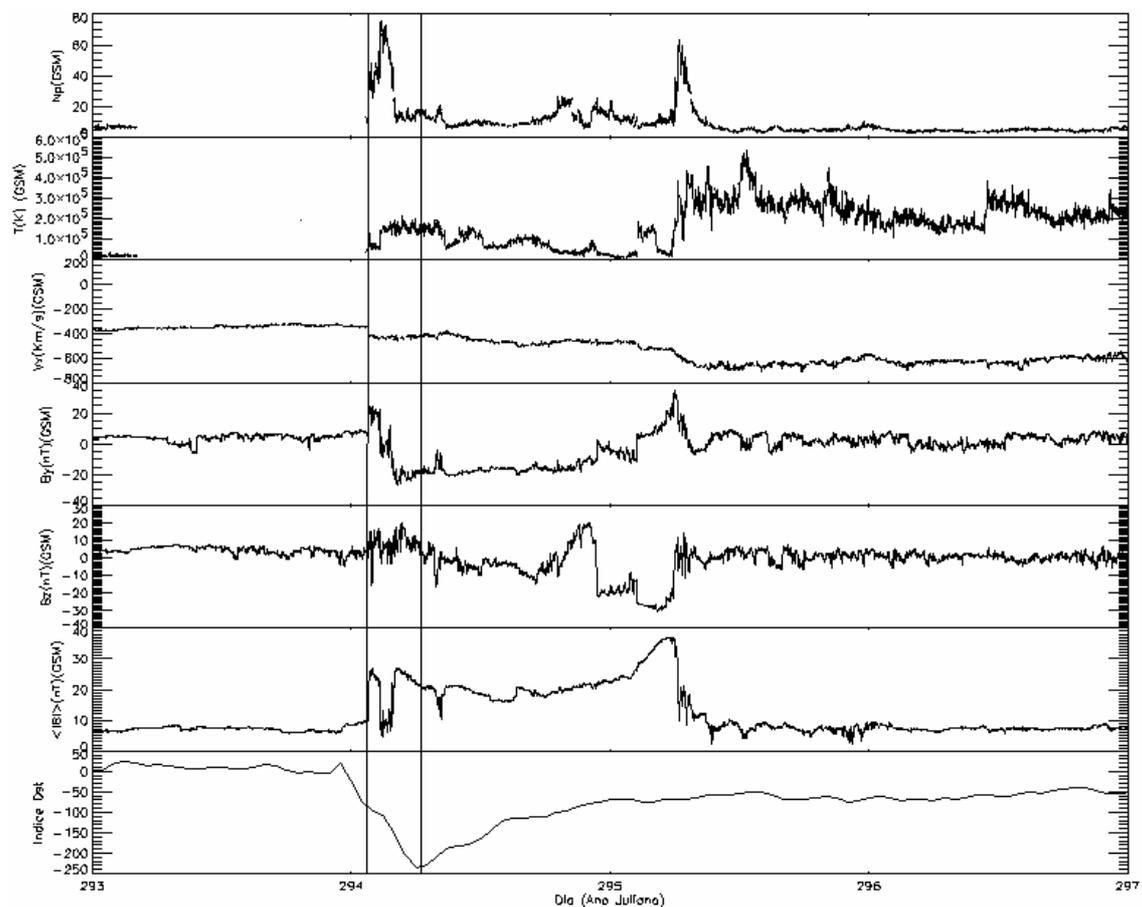


Figura 33 - Painel com gráficos referentes aos parâmetros do plasma do Meio Interplanetário, que foram alterados por uma onda de choque provocada pela complexa estrutura de plasma proveniente do Sol. Os dados para a construção dessa imagem foram retirados dos arquivos do satélite ACE e processados pelo aluno nas dependências do Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas do CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.



No primeiro gráfico de cima para baixo temos a densidade de prótons. Onde se observa que esta, em um valor quase constante, sofreu um aumento para valores mais elevados com a chegada da onda de choque, logo em seguida decrescendo. O trecho em que o gráfico não aparece se deve a falha no instrumento do satélite ACE.

No segundo gráfico que é o da temperatura dos prótons, não houve um aumento muito levado em sua intensidade no principio do evento, o trecho sem gráfico indica falha nos instrumentos do ACE.

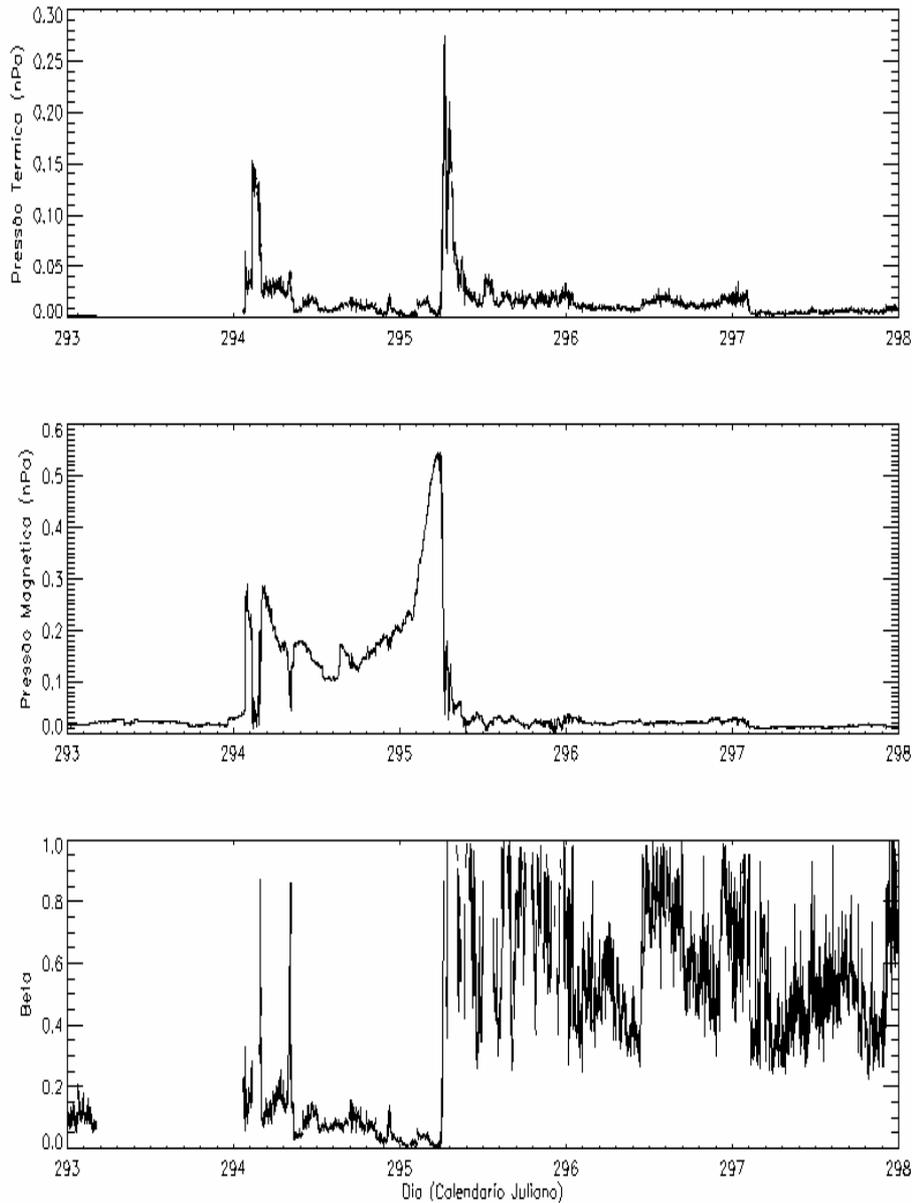
Para o terceiro gráfico, que é da velocidade do plasma da componente x, verificou-se uma pequena queda de sua intensidade permanecendo constante durante o tempo que ocorreu o evento.

No quarto gráfico, da componente y do campo magnético, notou-se que essa componente de valores estáveis, sofreu um aumento abrupto, logo em seguida decaindo até um determinado patamar.

Para o quinto gráfico, que é o gráfico que representa a componente z do campo magnético. Para este evento tal parâmetro ficou em valores que não mudaram muito em relação aos valores que antecederam a chegada do choque.

O sexto gráfico mostra os valores para o módulo do campo magnético da estrutura, observa-se um aumento na intensidade durante o período de vigência do evento, logo em seguida voltando a valores normais gradativamente.

E o último gráfico mostra o índice Dst para o evento, nota-se que depois de um leve aumento, este caiu muito repentinamente para valores negativos chegando em um pico de  $-230$  nT, que caracterizou se tratar de uma Tempestade Geomagnética intensa, uma vez que o valor mínimo para se caracterizar uma tempestade geomagnética intensa é  $-100$  nT.



**Figura 34 – gráfico de pressão térmica, magnética e por último o gráfico do parâmetro que relaciona essas grandezas. Os dados para a construção dessa imagem foram retirados dos arquivos do satélite ACE e processados pelo aluno nas dependências do Laboratório de Clima Espacial e Previsão de Tempestades Magnéticas do CRSPE/INPE-MCT, em Santa Maria, RS.**

No primeiro gráfico da Figura 34 temos a pressão térmica em função do tempo. O evento inicia-se no dia 294 do calendário Juliano, que corresponde ao dia 21 de outubro de



Relatório Final de Atividades 2006

1999. A onda de choque associada à estrutura elevou a pressão térmica a um determinado patamar, durante aproximadamente 1 dia, logo em seguida passou a oscilar de uma maneira irregular até o desfecho do evento.

Para o segundo gráfico de cima para baixo, que corresponde ao gráfico de pressão magnética, observa-se depois da chegada do choque, houve uma elevação do valor dessa pressão. Que permaneceu por aproximadamente 1 dia para logo em seguida se estabilizar em valores normais.

E no gráfico mais abaixo que corresponde ao parâmetro  $\beta$ , observa-se que durante a vigência do evento este ficou este ficou na maior parte do tempo em valores em torno de 0 a 0,1.



## CAPITULO IV

### CONCLUSÃO

Durante o primeiro ano de trabalho com o Projeto de Pesquisa intitulado “**Estudo de Estruturas Interplanetárias Utilizando Observações de satélites e observações de Raios Cósmicos**”, foram obtidos interessantes resultados tanto em nível pessoal do aluno, como a inserção em um grupo de pesquisa, e conseqüentemente a interação com estudantes e pesquisadores da área, como em nível de resultados dos eventos estudados.

Ambos os eventos estudados estavam relacionados a nuvens de plasma provenientes do Sol, que deslocavam-se a grandes velocidades no meio interplanetário, foram associadas, em todos eventos estudados, ondas de choque devido a propagação supersônica das estruturas de plasma.

Observou-se uma relação de dependência entre a pressão térmica e a pressão magnética, quando a pressão térmica aumentava a pressão magnética diminuía e vice-versa. Sendo que a razão entre as pressões nos forneceu um importante parâmetro, o chamado parâmetro  $\beta$ . Tal parâmetro assumiu valores baixos durante o período em que ocorreram os eventos estudados, seus valores ficaram em todos os eventos em torno de 0,1.

Para o evento de outubro de 1999, que foi o evento mais estudado pelo aluno, usaram-se imagens de coronógrafos (LASCO C2 e C3) e imagens fornecidas pelo telescópio sensível a radiação ultravioleta extrema (EIT). Com base no tempo estimado que uma nuvem de plasma leva em média para se dirigir do Sol até a Terra, procurou-se nos arquivos do satélite SOHO, imagens referentes a provável data, que a CME foi gerada.

Observando a configuração dos campos magnéticos no Sol através de sucessivas imagens, conseguiu-se observar estruturas com alta probabilidade de estarem relacionadas com a CME geofetiva estudada. Espera-se para o próximo ano de vigência do projeto, dar prosseguimento na análise de tais eventos usando imagens, como fora feito no evento de outubro de 1999 e agregar ao estudo os dados fornecidos pelo Telescópio Cintilador de



Relatório Final de Atividades 2006

Muons em operação no observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, Rs.



## REFERÊNCIAS

Dal Lago, A. Estudo de nuvens magnéticas geofetivas no meio interplanetário. São José dos Campos. 122p. (INPE – 7263 – TDI/705). Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.

DAL LAGO, A. ; GONZALEZ, Walter D ; BALMACEDA, Laura Antonia ; VIEIRA, Luis Eduardo Antunes ; ECHER, Ezequiel ; GUARNIERI, Fernando Luis ; SANTOS, Jean Carlo ; SILVA, Marlos Rockenbach da ; LUCAS, Aline de ; GONZALEZ, Alicia L Clua de ; SCHWENN, Rainer ; SCHUCH, Nelson Jorge . The October 17th-22nd (1999) solar-interplanetary-geomagnetic event: very intense geomagnetic storm associated with a pressure balance between an average-speed interplanetary coronal mass ejection and a high speed stream. *Journal of Geophysical Research*, Estados Unidos, v. 111, n. A07S14, p. 1-5, 2006.

DAL LAGO, A. ; SCHWENN, Rainer ; GONZALEZ, Wlateral D . Relation between the radial speed and the expansion speed of coronal mass ejections. *Advances in Space Research*, v. 32, n. 12, p. 2637-2640, 2003.

DAL LAGO, A. ; SCHWENN, Rainer ; STENBORG, Guillermo ; GONZALEZ, Wlateral D . Coronal mass ejection speeds measured in the solar corona using LASCO C2 and C3 images. *Advances in Space Research*, Inglaterra, v. 32, n. 12, p. 2619-2624, 2003.

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.

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.



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.

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.

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.

Brant, J. C.; *Introduction to the solar wind*. San Francisco: W. H. Freeman, 1970. 216p.

Burlaga, L. F.; *Interplanetary magnetohydrodynamics*. New York: Oxford University Press, 1995, 256p.

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

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

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

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.

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.



Relatório Final de Atividades 2006

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.

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..

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

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.

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.

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

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.

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

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



Relatório Final de Atividades 2006

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.

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

<http://hubblesite.org>

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

<http://www.crspe.net/>

<http://www.srl.caltech.edu/ACE>

<http://chandra.harvard.edu/photo/2004/kepler>

<http://www.lip.pt/~outreach/posters>

<http://www.astro.iag.usp.br/~jane/aga215/aula06>

<http://www.solarviews.com/cap/sun/>



***DOCUMENTOS ANEXOS***



## **ANEXO 1**

### **PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**



Orientador: Dr Alisson Dal Lago

Co-orientador: Dr Nelson j. Schuch

Nome do Bolsista: Luiz Cezar Nunes dos Santos

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

Introdução:

O espaço existente entre os planetas do Sistema Solar é conhecido pelo nome de “Meio Interplanetário”. Neste meio existe uma variedade de estruturas de plasma magnetizado, que podem ser observadas por satélites situados fora do Campo Magnético Terrestre. O Meio Interplanetário é um sistema físico muito especial, que serve de laboratório natural para estudos de fluxos Magnetoidrodinâmicos (MHD). Observações espaciais in situ proporcionaram medidas de campo magnético e de plasma no intervalo de escalas: desde menores do que o raio de giro do próton até maiores que 40 UA. Estas



observações confirmaram a existência de muitos fenômenos MHD hoje conhecidos com profundidade, como choques rápidos e lentos não-colisionais, estruturas de pressão balanceada, descontinuidades tangenciais e rotacionais, configuração de campos “livres de força” (force-free) e ondas MHD (baseado em Burlaga, 1995). Algumas estruturas, que envolvem configurações particulares dos parâmetros do plasma do Meio Interplanetário, como densidade, velocidade, temperatura, intensidade e direção do campo magnético, estão diretamente relacionadas a fenômenos terrestres, como as Tempestades Geomagnéticas (Gonzalez et al., 1999) e blindagem de raios cósmicos (Munakata et al., 2000). Dentre as estruturas interplanetárias mais importantes do ponto de vista dos efeitos observados na Terra, podemos destacar as nuvens magnéticas interplanetárias (Burlaga et al., 1981) e os feixes rápidos (Klein e Burlaga, 1982). O objetivo deste trabalho é iniciar um estudo das características das estruturas comumente observadas no meio interplanetário e avaliar seus efeitos geomagnéticos. Pretende-se igualmente estudar os efeitos dessas estruturas nos raios cósmicos que chegam à Terra, utilizando dados do Protótipo de Telescópio Multi-Direcional Detector de Muons, em funcionamento no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE desde 2001.

#### Objetivos Específicos:

Os objetivos específicos são os seguintes: (1) familiarização do aluno, através de seu aprendizado, com a física e as observações das estruturas observadas no meio interplanetário, o que será obtido através de leitura de bibliografia



especializada; (2) análise de eventos de diferentes estruturas interplanetárias através de dados obtidos pelo Satélite Advanced Composition Explorer – ACE, que situa-se no ponto Lagrangeano L1, fora da Magnetosfera Terrestre; (3) relacionado ao item anterior, aprendizado de utilização de software de análise de dados de séries temporais, o que é muito importante para o futuro do aluno em carreira acadêmica; (4) análise de parâmetros de plasma das estruturas interplanetárias, tais como o cálculo do parâmetro beta, que determina a relação entre a pressão cinética e a pressão magnética na estrutura, sendo muito interessante do ponto de vista da física do meio interplanetário; (5) análise dos efeitos das estruturas nos raios cósmicos observados pelo protótipo de telescópio multi-direcional detector de muons instalado no OES/CRSPE/INPE em São Martinho da Serra, RS

Metodologia: Para realizar este trabalho, propõe-se a seguinte metodologia: 1) Selecionar um número de cerca de 10 casos de diferentes estruturas interplanetárias. Esta fase será feita em conjunto com o orientador; 2) Utilizar dados de plasma e campo magnético obtidos pelo satélite Advanced Composition Explorer – ACE, referentes ao período dos casos escolhidos e graficá-los de forma a identificar estruturas interplanetárias, tais como nuvens magnéticas, feixes rápidos, e ondas de choque; 3) Calcular as pressões cinética ( $NkT$ ) e magnética ( $B^2/4\pi$ ), e a seguir o parâmetro beta de plasma, a fim de identificar as peculiaridades das diferentes estruturas interplanetárias; 4) Analisar a modulação sofrida pelos raios cósmicos observados pelo telescópio multi-direcional em operação no OES/CRSPE/INPE em São Martinho da Serra, RS.



#### Plano de trabalho do bolsista:

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

- 1) O bolsista deverá realizar uma revisão bibliográfica acerca da fenomenologia relativa estruturas interplanetárias, utilizando bibliografia especializada. A linha de Pesquisa em Magnetosfera e Heliosfera da Divisão de Geofísica Espacial (DGE-CEA) produziu diversos trabalhos, tanto de teses e dissertações, quanto artigos em revistas, que serão utilizados pelo aluno.
- 2) O bolsista deverá estudar as metodologias de análise de dados do satélite ACE, trabalho que consiste em aprendizado de análise de séries temporais. Essa metodologia envolve aprendizado da utilização de softwares tais como Origin, MatLab e IDL.
- 3) O aluno deverá selecionar, conjuntamente com o orientador, um conjunto de eventos (10) e preparar os gráficos dos parâmetros de plasma e campo magnético relativos ao período;
- 4) O aluno deverá calcular as pressões cinética e magnética a partir dos dados interplanetários do item anterior, e analisar as diferenças existentes;
- 5) O bolsista deverá analisar os dados de raios cósmicos para estes mesmos eventos, já utilizando seus conhecimentos de análise de séries temporais, e



avalia a resposta dos raios cósmicos em relação às estruturas anteriormente estudadas.

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

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

#### Cronograma de atividades:

Este trabalho está projetado para ser realizado em no mínimo 2 anos, dependendo da disponibilidade do aluno. As seguintes etapas são propostas:

- 1) Nos primeiros 3 a 4 meses pretende-se realizar a revisão bibliográfica sobre estruturas interplanetárias e a física básica envolvida;
- 2) Nos 3 meses subseqüentes (podendo haver inteseccção com o item 1), realizar a análise de alguns eventos utilizando dados do satélite ACE;
- 3) Nos 3 seguintes meses realizar o cálculo das pressões e do parâmetro beta.
- 4) Nos 3 últimos meses do primeiro ano o bolsista deverá preparar trabalhos para o SICINPE 2006 e outros congressos que julgar interessantes, e redigir o relatório final contendo revisão bibliográfica e os resultados do trabalho realizado durante o ano;
- 5) No segundo ano, o aluno deverá analisar a modulação sofrida pelos raios cósmicos observados pelo telescópio multi-direcional detector de muons do



OES/CRSPE/INPE, correlacionando com os mesmo eventos interplanetários já estudados;

Resultados esperados:

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

Referências Bibliográficas:

Burlaga, L. F. Interplanetary magnetohydrodynamics. New York: Oxford University Press, 1995, 256p.

Burlaga, L. F.; Sittler, E.; Mariani, F.; Schwenn, R. Magnetic loop behind an interplanetary shock: Voyager, Helios and IMP-8 observations. J. Geophys. Res., v.86, n.A8, p.6673-6684, Aug. 1981.



Dal Lago, A.; Gonzalez, W. D.; Clúa de Gonzalez, A. L.; Vieira, L. E., Compression of magnetic clouds in interplanetary space and increase in their geoeffectiveness, *J. Atm. Solar Terr. Phys.*, v.63, n.5, p.451-455, 2001.

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

Klein, L. W.; Burlaga, L. F. Interplanetary magnetic clouds at 1 AU. *J. Geophys. Res.*, v.87, n.A2, p.613-624, Feb. 1982.

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.

Tsurutani, B. T.; Gonzalez, W. D.; Tang, F.; Akasofu, S. I.; Smith, E. J. Origin of interplanetary southward magnetic field responsible for major magnetic storms near solar maximum (1978-1979). *J. Geophys. Res.*, v.93, n.A8, p.8519-8531, Aug. 1988.

São José dos Campos, 17 de junho de 2005



## ANEXO 2

### **TITULOS E RESUMOS DE TRABALHOS APRESENTADOS E OU BUBMETIDOS NO PERIODO DE VIGÊNCIA DA BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTIFICA AGOSTO 2005 – JULHO 2005**



1.SAVIAN, J.F ; SANTOS, L. C. N. ; SILVA, Marlos Rockenbach da ; LAGO, Alisson Dal ; BRAGA, Carlos Roberto ; SILVA, Cristian Willian Saueressig da ; SILVA, Samuel Martins da ; ANDRIOLI, Vânia Fátima ; MUNAKATA, Kazuoki ; SCHUCH, Nelson Jorge. Preliminary data from the new muon telescope located in the Southern Space Observatory at São Martinho Serra, RS, Brasil. In: European Geosciences Union General Assembly 2006, 2006, Viena, 2006.

2.SANTOS, L. C. N. ; ANDRIOLI, Vânia Fátima ; SAVIAN, Jairo Francisco ; LAGO, Alisson Dal ; SCHUCH, Nelson Jorge . Estudo de estruturas interplanetárias geofetivas. In: XX Jornada Acadêmica Integrada, 2005, Santa Maria, 2005.

3.SAVIAN, J.F ; SANTOS, L. C. N. ; LAGO, Alisson Dal ; SILVA, Marlos Rockenbach da ; LUCAS, Aline de ; SILVA, Samuel Martins da ; BRAGA, Carlos Roberto ; SILVA, Cristian Willian Saueressig da ; ANDRIOLI, Vânia Fátima ; ECHER, Ezequiel ; VIEIRA, Luis Eduardo Antunes ; GONZALES, Walter Demetrio ; MUNAKATA, Kazuoki ; BIEBER, John ; SCHUCH, Nelson Jorge . On the solar and Interplanetary origin of intense geomagnetic storms and ground cosmic ray response. In: 3rd El Leoncito School of Solar Physics, 2005, San Juan. Anais de la Tercera Escuela de Física Solar El Leoncito, 2005.

4.BRAGA, Carlos Roberto ; SAVIAN, Jairo Francisco ; ANDRIOLI, Vânia Fátima ; SANTOS, Luiz Cezar Nunes dos ; SILVA, Cristian Willian Saueressig da ; LAGO, Alisson Dal ; SILVA, Marlos Rockenbach da ; GONZALEZ, Walter Demetrio ; ECHER, Ezequiel ; VIEIRA, Luiz Eduardo Antunes ; LUCAS, Aline de ; MUNAKATA, Kazuoki ; BIEBER, John ; SCHUCH, Nelson Jorge . Upgrade of the Southern Space Observatory's multidirecional muons detector telescope. In: 3rd El Leoncito School of Solar Physics, 2005, San Juan, 2005.



5. BRAGA, C. R., SAVIAN, J. F., DA SILVA, M. R., DA SILVA, S. M, DA SILVA, C. W. S., DOS SANTOS, L. C. N, DAL LAGO, A., KUWABARA, T., MUNAKATA, K., BIEBER, J. W., SCHUCH, N. J. Cosmic ray modulation and noise level on the extended multidirecional muons detector telescope installed in south of Brazil: preliminary analysis. In: Cospar Scientific Assembly, Beyjing, China.



**ANALYSIS OF THE THREE INTENSE GEOMAGNETIC STORM OBSERVED  
ON JULY 20-31, 2004: SOLAR, INTERPLANETARY AND COSMIC RAY  
EFFECTS NEAR THE EARTH.**

J. F. Savian<sup>1</sup>, M. R. da Silva<sup>2</sup>, A. Dal Lago<sup>2</sup>, C. R. Braga<sup>1</sup>, C. W. S. da Silva<sup>1</sup>,  
L. C. N. dos Santos<sup>1</sup>, S. M. da Silva<sup>1</sup>, E. Echer<sup>2</sup>, L. E. A. Vieira<sup>2</sup>, K. Munakata<sup>3</sup>,  
T. Kuwabara<sup>4</sup>, N. J. Schuch<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Southern Regional Space Research Center (CRSPE/INPE – MCT) and Space Science Laboratory of Santa Maria, Federal University of Santa Maria (LACESM/CT/UFSM), Santa Maria, 97910-110, (RS), Brazil,*

<sup>2</sup> *Space Geophysics Division, National Institute for Space Research (DGE/CEA/INPE – MCT), São José dos Campos, 12201-970, (SP), Brazil,*

<sup>3</sup> *Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto, 390-8621, Japan,*

<sup>4</sup> *Bartol Research Institute, University of Dalaware (BARTOL/UDEL), Newark, (DE), 19716, USA.*

**ABSTRACT**

Geomagnetic storms are geomagnetic field disturbances caused by gusts in the solar wind, injecting a substantial quantity of energy into the magnetosphere, intensifying the ring current, becoming strong enough to exceed some key threshold of the quantifying storm time Dst index. In this work we analyze three intense geomagnetic storms ( $Dst < -100nT$ ) occurred in period of July 22nd, 24th and 27th, 2004. We use images of solar corona made by Large Angle and Spectroscopic Coronagraph (LASCO) and the solar disk made by the Extreme Ultraviolet Imaging Telescope (EIT) aboard the Solar and Heliospheric Observatory (SOHO). Observations of plasma and interplanetary magnetic field obtained by the Advanced Composition Explorer (ACE) were also used. We analyze high energy cosmic ray observations obtained using the Muon Telescope of the Brazilian Southern Space Observatory-SSO of the INPE's Southern Regional Space Research Center at (29°26'24''S; 53°48'38''W) for identify Forbush decreases in the cosmic ray intensity. The main objective of this work is study three intense geomagnetic storms ( $Dst < -100 nT$ ), that occurred in a relatively small time interval, in order to identify their solar origin, interplanetary counterparts and cosmic ray modulation near the Earth. This study is important for the study of energetic cosmic rays modulation due to a subsequent chain of interplanetary disturbances, and in the near future it will help the understanding of space weather cosmic ray variability.



## **Preliminary data from the new muon telescope located in the Southern Space Observatory at São Martinho Serra, RS, Brasil.**

J. F. Savian(1, 3), M. R. da Silva(2), A. Dal Lago(2), C. R. Braga(1, 3), L. C. N. dos Santos(1,3), C. W. S. da Silva(1,3), S. M. da Silva(1,3), V. F. Andrioli(1,3), K. Munakata(4), N. J. Schuch(3)

(1) Space Science Laboratory of Santa Maria – LACESM/CT/UFSM, Brasil, (2) National Institute for Space Research – INPE/MCT, Brasil, (3) Southern Regional Space Research Center – CRSPE/INPE/MCT, Brasil, (4) Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto Japan.  
(savian@lacesm.ufsm.br/ +55-553220-8021)

Large geomagnetic storms are primarily caused by interplanetary disturbances associated with coronal mass ejection (CMEs). The cosmic ray particles of intensities  $> 1\text{GeV}$  are normally suppressed by a factor of  $\sim 1$  to  $10\%$  downstream the CME shock and within the CME ejecta following the shock. In addition to these intensity depressions, called “Forbush decreases” (FDs), precursory phenomena appearing upstream the CME shock have also been reported. Munakata et. al. (2000) have identified cosmic ray precursors with lead times ranging from six to nine hours prior to the storm sudden commencement (SSC) and demonstrated that the muon detector network may provide useful information for space weather forecasting. In early March 2001, a small prototype muons detector was installed at Sao Martinho da Serra ( $29^{\circ}26'24''\text{S}$ ,  $53^{\circ}48'38''\text{W}$ , above 500m sea level), at the SSO of INPE, Brazil. The detector consists of two horizontal layers of plastic scintillators separated by 1.73 m, with an intermediate 5 cm thick layer of lead to absorb the soft component in cosmic rays in the atmosphere. Each layer comprises a  $2 \times 2$  array of  $1\text{ m}^2$  unit detectors ( $1\text{m} \times 1\text{m} \times 0.1\text{m}$  plastic scintillator viewed by a photomultiplier tube of 12.7 cm diameter) giving a total detection area of  $4\text{ m}^2$ . In December 2005 this detector was upgraded to a  $7 \times 4$  configuration, enlarging its detection capability. In this work we present some preliminary data from this new muon telescope. This study is important for the monitoring of energetic cosmic rays and their response to interplanetary magnetic disturbances, and in the near future it will be used for space weather forecasting.



## **COSMIC RAY MODULATION AND NOISE LEVEL ON THE EXTENDED MULTIDIRECTIONAL MUONS DETECTOR TELESCOPE INSTALLED IN SOUTH OF BRAZIL: PRELIMINARY ANALYSIS**

C. R. Braga (1, 2), J. F. Savian (1,2), M. R. da Silva (3), S. M. da Silva (1, 2), C. W. S. da Silva (1, 2), L. C. N dos Santos (1, 2), A. Dal Lago (3), T. Kuwabara (5), K. Munakata (4), J. W. Bieber (5), N. J. Schuch (1,2)

(1) Southern Regional Space Research Center, National Institute for Space Research (CRSPE/INPE - MCT), Santa Maria-RS, Brazil (2) Space Science Laboratory of Santa Maria,

Federal University of Santa Maria (LACESM/CT/UFSM), Santa Maria-RS, Brazil (3) Space

Geophysics Division, National Institute for Space Research (DGE/CEA/INPE - MCT), São José dos Campos-SP, Brazil (4) Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University

(5) Bartol Research Institute and Department of Physics and Astronomy, University of Delaware, Newark, DE, USA

Because of the large detector mass required to detect high-energy cosmic rays, groundbased instruments remain the state-of-the-art method for studying these particles. At energies up to  $\sim 100$  GeV, primary galactic cosmic rays experience significant variation in response to solar wind disturbances, such as interplanetary coronal mass ejections (ICMEs). In this way, ground-based detectors can provide unique information on conditions in the near-earth interplanetary medium. Since 2001 a prototype multidirectional high energy  $> 50$  GeV cosmic-ray (muons) detector telescope was operating in the Southern Space Observatory (SSO/CRSPE/INPE - MCT), Brazil (geomagnetic coordinates  $19^{\circ} 13' S$  and  $16^{\circ} 30' E$ ). In December 2005, an upgrade increased the collection area in 600 %, becoming two layers of 28 m<sup>2</sup> each. The objective of this work is to analyze cosmic ray count rates observed by ground-based detector in order to find both variations not associated with interplanetary structures, possible associated with the noise from the instrument, and decrease rates caused by cosmic ray modulation due to interplanetary structures near Earth. We use 1 minute resolution data from the extended telescope collected since January 2006, which is the first data since the update of the instrument on December 2005. We also use the disturbance storm time Dst index from Kyoto, plasma and interplanetary magnetic field from the ACE satellite. In the future, this study will help to separate cosmic ray modulation caused by interplanetary structures from those variations in short periods (less than 1 month) caused by noise from the instrument. The high energy cosmic ray (muon) telescope at the SSO is a tri-lateral collaboration between Brazil, Japan and the United States.



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

Luiz Cezar Nunes dos Santos<sup>1</sup> (LACESM/CT/UFSM, Bolsista PIBIC/INPE - CNPq/MCT)  
Dr. Alisson Dal Lago<sup>2</sup> (DGE/CIE/INPE – MCT, Orientador)

Dr. Nelson Jorge Schuch<sup>3</sup> (CRSPE/INPE – MCT, Co-orientador)

### RESUMO

O projeto visa o estudo de estruturas do Meio Interplanetário com a utilização dos dados fornecidos pelos Satélites Espaciais SOHO (*Solar & Heliospheric Observatory*) e ACE (*Advanced Composition Explorer*). A motivação de estudar estruturas do Meio Interplanetário reside no fato de que muitas dessas estruturas originadas no Sol são expelidas para o Meio Interplanetário, podendo vir a atingir a Terra. Dados recentes indicam que os parâmetros do plasma do Vento Solar são substancialmente alterados devido à passagem de nuvens de plasma conhecidas por Ejeções Coronais de Massa (CMEs). As CMEs são estruturas de plasma magnetizado liberado principalmente da Coroa Solar. Quando no Meio Interplanetário se caracterizam por apresentarem um campo magnético intenso, que combinado com baixas temperaturas levam a baixos valores do parâmetro  $\beta$  do plasma. Tais estruturas apresentam rotação da direção do campo magnético, e recebem a denominação especial de Nuvem Magnética quando apresentam aumento do seu campo magnético por um fator maior que 2, e uma rotação suave em um grande ângulo e uma baixa temperatura iônica. As CMEs são ditas geofetivas se possuem algumas características físicas particulares, tais como: campo magnético intenso que pode permanecer direcionado para valores negativos da componente Z por período de 3 horas ou mais, o que satisfaz o critério empírico de Gonzalez e Tsurutani (1987) para a ocorrência de Tempestades Geomagnéticas Intensas; alta velocidade de propagação; interação com feixes de alta velocidade. Dois eventos de caráter geofetivo estão sendo estudados com o uso de imagens do instrumento EIT (*Extreme ultraviolet Imaging Telescope*) combinado com as imagens do instrumento LASCO C2 e LASCO C3 (*Large Angle and Spectrometric Coronagraph*) foram feitos esboços para identificar as origens solares dos eventos. Posteriormente foram utilizados dados fornecidos pelo satélite ACE, para uma análise detalhada dos parâmetros do plasma das estruturas estudadas, quando estas se encontravam no Meio Interplanetário. As análises preliminares mostram que é possível localizar regiões ativas no Sol que estão relacionadas com as CMEs. Com base nos dados fornecidos pelo ACE calculou-se o parâmetro  $\beta$  para os eventos, onde observou-se significativa concordância dos valores obtidos com a literatura especializada. As perspectivas futuras indicam uma necessidade de continuidade do projeto, com intuito de dar prosseguimento à análise dos dados dos fenômenos referentes à interação Sol-Terra.

---

<sup>1</sup> Aluno do Curso de Física Bacharelado, UFSM. E-mail: [luiz@lacesm.ufsm.br](mailto:luiz@lacesm.ufsm.br)

<sup>2</sup> Pesquisador da Divisão de Geofísica Espacial-DGE/CEA/INPE – MCT, E-mail: [dallago@dge.inpe.br](mailto:dallago@dge.inpe.br)

<sup>3</sup> Pesquisador, Coordenador da Ação 1275 de Implantação do CRSPE e Chefe da RSU/CIE/INPE – MCT. E-mail: [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)



## ESTUDO DE ESTRUTURAS INTERPLANETÁRIAS GEOEFETIVAS<sup>4</sup>

Luiz Cezar Nunes dos Santos<sup>5</sup>, Vânia Fátima Andrioli<sup>6</sup>, Jairo Francisco Savian<sup>7</sup>,  
Alisson Dal Lago<sup>8</sup>, Nelson Jorge Schuch<sup>9</sup>

No espaço entre os planetas do Sistema Solar, conhecido como Meio Interplanetário, existem configurações singulares de matéria, tais como estruturas de plasma magnetizado provenientes de ejeções de matéria do Sol. Quando atingem a Terra, tais estruturas podem danificar satélites e redes de energia elétrica, uma vez que elas são as causas das Tempestades Geomagnéticas. No presente trabalho, tem-se como objetivo o estudo das estruturas, ditas “geoefetivas”, bem como uma análise dos efeitos no campo magnético terrestre, pois um maior entendimento de tais estruturas proporcionaria mais precisão nas previsões das Tempestades Geomagnéticas. Para tal fim, estamos utilizando dados do satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*), situado no ponto de liberação L1, onde a força gravitacional da Terra, no satélite, é equivalente a força gravitacional do Sol exercida no mesmo, se constituindo em um ponto de equilíbrio, bem próximo a Terra quando comparado com a distância Sol-Terra. Este satélite executa medições do vento solar, analisa a composição da matéria (elementos e isótopos) existente no espaço, assim como o fornecimento de dados sobre o campo magnético interplanetário, uma vez que, embora próximo à Terra, o ponto L1 está fora do campo geomagnético. Utilizamos dados do Protótipo de Telescópio Multi-Direcional Detector de Muons que servem para avaliar os efeitos dessas estruturas nos raios cósmicos que chegam na Terra. Com isso espera-se obter uma maior compreensão sobre a variabilidade do chamado “Clima Espacial”.

---

<sup>4</sup> Trabalho desenvolvido no Laboratório de Clima Espacial do CRSPE/INPE – MCT, em parceria com o LACESM/CT/UFSM

<sup>5</sup> Apresentador: Acadêmico do Curso de Física/UFSM

<sup>6</sup> Acadêmico do Curso de Física/UFSM

<sup>7</sup> Acadêmico do Curso de Física/UFSM

<sup>8</sup> Orientador: Pesquisador do grupo Magnetosfera-Heliosfera, MAGHEL/DGE/CEA/INPE - MCT

<sup>9</sup> Co-orientador: Pesquisador e Coordenador da Ação 1275 do PNAE, Implantação do CRSPE/INPE – MCT, PRA 2004-2007



## ANEXO 4 - CERTIFICADOS