



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

## **ESTUDO DO CLIMA ESPACIAL COM A UTILIZAÇÃO DA REDE DE TELESCÓPIOS CINTILADORES DE MUONS**

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

**Marlos Rockenbach da Silva (RSU/INPE-MCT, Bolsista PIBIC/CNPq)**  
E-mail: [marlos@lancesm.ufsm.br](mailto:marlos@lancesm.ufsm.br)

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

### **COLABORADORES**

**Dr. Nelson Jorge Schuch (CRSPE/INPE-MCT)**  
**Dr. Alissom Dal Lago (DGE/INPE-MCT)**  
**Doutorando Ezequiel Echer (DGE/INPE-MCT)**  
**Dr. Luiz Eduardo Vieira (DGE/INPE-MCT)**  
**Dr. Kazuoki Munakata (Dep. de Física, Universidade de Matsumoto)**  
**Doutorando Takao Kuwabara (Dep. de Física, Universidade de Matsumoto)**

Maio de 2003

**Dados de Identificação:****Processo:**

023185-2002-3/PIBIC

**Bolsista:**

Marlos Rockenbach da Silva

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

**Orientador:**

Dr. Walter Demetrio Gonzalez-Alarcon

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

**Título do Projeto:**

Estudo do Clima Espacial com a Utilização da Rede de Telescópios Cintiladores de Muons

**Local de Trabalho/Execução do Projeto:**

- Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE
- Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM-INPE
- Laboratório de Geofísica Espacial - LGE/LACESM/CT/UFSM - INPE
- Laboratório de Raios Cósmicos e Previsão de Tempestades Magnéticas

**Pesquisadores e Estudantes Colaboradores:**

- Dr. Nelson Jorge Schuch - INPE
- Dr. Alisson Dal Lago - INPE
- Doutorando Ezequiel Echer – INPE
- Dr. Luiz Eduardo Vieira - INPE
- Acadêmico Jairo Francisco Savian – UFSM
- Acadêmico Marcos Roberto Signori – UFSM
- Acadêmica Danieli Balbuena Contreira – UFSM
- Acadêmica Sheron Oliveira Monteiro – UFSM

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

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



## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 .....	5
INTRODUÇÃO.....	5
CAPÍTULO 2 .....	7
MEIO INTERPLANETÁRIO, RAIOS CÓSMICOS E PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL UTILIZANDO RAIOS CÓSMICOS .....	7
<b>2.1. MEIO INTERPLANETÁRIO</b> .....	7
2.1.1. O SOL.....	7
2.1.2. O VENTO SOLAR .....	8
2.1.3. O CAMPO MAGNÉTICO INTERPLANETÁRIO .....	10
2.1.4. O CICLO SOLAR DE 11 ANOS .....	11
2.1.5. EJEÇÕES DE MASSA CORONAL (EMC).....	12
<b>2.2. TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS</b> .....	14
<b>2.3. RAIOS CÓSMICOS</b> .....	17
2.3.1. INTRODUÇÃO .....	17
2.3.2. ORIGEM E COMPOSIÇÃO DOS RAIOS CÓSMICOS .....	17
2.3.3. OS MUONS .....	19
<b>2.4. PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL UTILIZANDO RAIOS CÓSMICOS</b> .....	21
2.4.1. REDES DE DETECTORES DE RAIOS CÓSMICOS.....	21
2.4.1.1. Rede de Monitores de Nêutrons <i>Spaceship Earth</i> .....	21
2.4.1.2. Rede de Detectores Multidirecionais de Muons .....	22
2.4.2. ANISOTROPIA PRECURSORA DO CONE DE PERDAS .....	23
CAPÍTULO 3 .....	25
INSTRUMENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	25
<b>3.1. TELESCÓPIO CINTILADOR DE MUONS</b> .....	25
3.1.1. MONTAGEM DO TELESCÓPIO .....	25
3.1.2. CIRCUITOS ELETRÔNICOS .....	26
3.1.3. SISTEMA DE COINCIDÊNCIA .....	29
3.1.4. SISTEMA DE GRAVAÇÃO DOS DADOS .....	30
<b>3.2. DADOS DO TELESCÓPIO CINTILADOR DE MUONS</b> .....	31
CAPÍTULO 4 .....	34
RESULTADOS E ANÁLISES .....	34
<b>4.1. RESULTADOS</b> .....	34
4.1.1. GRÁFICOS E ANÁLISE.....	35
CAPÍTULO 5 .....	41
CONCLUSÃO .....	41
AGRADECIMENTOS .....	42



REFERÊNCIAS .....	43
ANEXO A.....	46
TRABALHOS APRESENTADOS E/OU PUBLICADOS .....	46
ANEXO B .....	50
RESUMOS E ARTIGOS APRESENTADOS E/OU PUBLICADOS.....	50
ANEXO C.....	80
CERTIFICADOS DOS TRABALHOS APRESENTADOS.....	80



# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

A Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS – é caracterizada pela baixa intensidade do Campo Geomagnético resultando em uma grande depressão na Magnetosfera Terrestre. Como consequência da AMAS, os cinturões de radiação que circundam o Planeta Terra (Cinturões de Van Allen), são pressionados na direção da superfície terrestre, causando uma grande precipitação de raios cósmicos e de partículas oriundas dos cinturões na região, com consequentes perturbações no Campo Geomagnético e na Ionosfera, além de rádio interferência.

A radiação cósmica é composta por partículas de alta energia que se propagam no espaço interestelar e atingem a Atmosfera Terrestre de maneira isotrópica. Sua energia está no intervalo de  $10^9$  a  $10^{19}$  eV, sendo composta principalmente por íons nucleares. Supõe-se que os raios cósmicos galácticos são originados na explosão de supernovas e são aceleradas pela onda de choque originada neste evento. Partículas de menor energia provenientes do Sol, formando o Vento Solar, juntamente com os raios cósmicos galácticos, atingem a Terra continuamente, constituindo o “background” de radiação. Como os raios cósmicos viajam com uma velocidade próxima à da luz, eles possuem caminho livre no vento solar, e as informações, neles contidas, são levadas rapidamente para locais remotos e podem prover importantes informações para a previsão do Clima Espacial [Munakata et al., 2000].

Por este motivo à criação de uma rede de Telescópios Cintiladores de Muons tornou-se de relevante importância para a previsão do Clima Espacial.

Devido a um grande buraco na cobertura global da rede de Telescópios de Muons surgiu a necessidade de se instalar um Telescópio protótipo no Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE – MCT (coordenadas geográficas: 29°26’24”S, 53°48’38”W, 500 m de altitude acima do nível do mar), para a cobertura da área compreendida pela Europa e Oceano Atlântico [Munakata et al., 2000]. A rede de Telescópios formada pelo



protótipo em conjunto com os Telescópios instalados nas cidades de Nagoya no Japão e Hobart na Austrália, permite que a previsão das estruturas solares capazes de provocar Tempestades Geomagnéticas, seja feita com horas de antecedência, antes que estas atinjam o Planeta Terra e prejudiquem áreas vitais da atividade humana como as telecomunicações, as transmissões de energia elétrica, a operação de satélites, entre outros.

Com um monitoramento sistemático dos Raios Cósmicos e análise dos dados obtidos pelos Telescópios Cintiladores de Muons instalado em São Martinho da Serra (Brasil), Hobart (Austrália) e Nagoya (Japão), será possível estudar uma melhor maneira de prever com maior segurança a ocorrência de eventos solares capazes de danificar os sistemas de telecomunicações, entre outros. Por isso, vem sendo operado desde março de 2001, no Observatório Espacial do Sul - OES/RSU/INPE – MCT, no Rincão dos Negrinhos, no município de São Martinho da Serra, um Protótipo do Telescópio Cintilador de Muons, que utiliza um meio indireto (cintilação) para a detecção dos Raios Cósmicos.

O objetivo principal deste monitoramento é relacionar os efeitos de fraca intensidade do Campo Geomagnético na região da AMAS, explosões solares, ejeções coronais de massa e variações geomagnéticas com as flutuações na taxa de contagens dos raios cósmicos, procurando um método seguro e eficaz para a previsão de Tempestades Magnéticas Geofetivas.



## CAPÍTULO 2

### MEIO INTERPLANETÁRIO, RAIOS CÓSMICOS E PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL UTILIZANDO RAIOS CÓSMICOS

#### 2.1. MEIO INTERPLANETÁRIO

##### 2.1.1. O SOL

O Sol é uma estrela ativa com uma massa média de  $1.99 \times 10^{30}$  kg, raio de 696.000 km e luminosidade de  $3,9 \times 10^{26}$  W, sendo formado predominantemente por hidrogênio e hélio, com pequena quantidade de argônio, cálcio, carbono, ferro, magnésio, néon, níquel, oxigênio e enxofre. A energia solar é originada em seu núcleo no processo de fusão de prótons (núcleos de hidrogênio), formando partículas alfa (núcleos de hélio). O núcleo solar estende-se até 0,25 raios solares, apresentando uma temperatura da ordem de  $1,5 \times 10^7$  K. Esta energia de fusão dos núcleos de hidrogênio é dissipada através do processo de difusão radiativa na zona radiativa solar, que se estende de 0,25 até 0,75 raios solares, possuindo uma temperatura da ordem de  $8 \times 10^6$  K. Na zona de convecção solar, a energia é dissipada na forma de convecção. Esta região estende-se de 0,75 a 1 raio solar, com temperatura na faixa de  $5 \times 10^5$  a 6600 K. A Atmosfera solar é dividida em três regiões devido as diferentes características e processos físicos: A fotosfera é a parte inferior da atmosfera solar, com uma espessura de aproximadamente  $0,5 \times 10^6$  m, e temperatura da ordem de 6600 K, é onde se origina a radiação visível, possui um espectro contínuo e irradia toda a energia que chega na Terra. A cromosfera está acima da fotosfera, com espessura em torno de  $2,5 \times 10^6$  m, e temperatura no intervalo de 4300 a  $10^6$  K. A coroa, é a região acima da Cromosfera e sem limite exterior, apresenta uma temperatura da ordem de  $10^6$  K. A Coroa é a região da Atmosfera Solar de maior importância para os fenômenos físicos do Meio Interplanetário. O Vento Solar é constituído pela “evaporação” de seu material, que arrasta o Campo Magnético Solar através do Meio Interplanetário. Ejeções transientes lançam a altas velocidades, da ordem de 2000 km/s, grandes quantidades do material constituinte da Coroa. Estas ejeções estão fortemente relacionadas a fenômenos geomagnéticos, tais como

Tempestade Geomagnéticas, e à variabilidade do “Clima Espacial”. A estrutura solar e atmosfera podem ser vistas na figura 2.1.

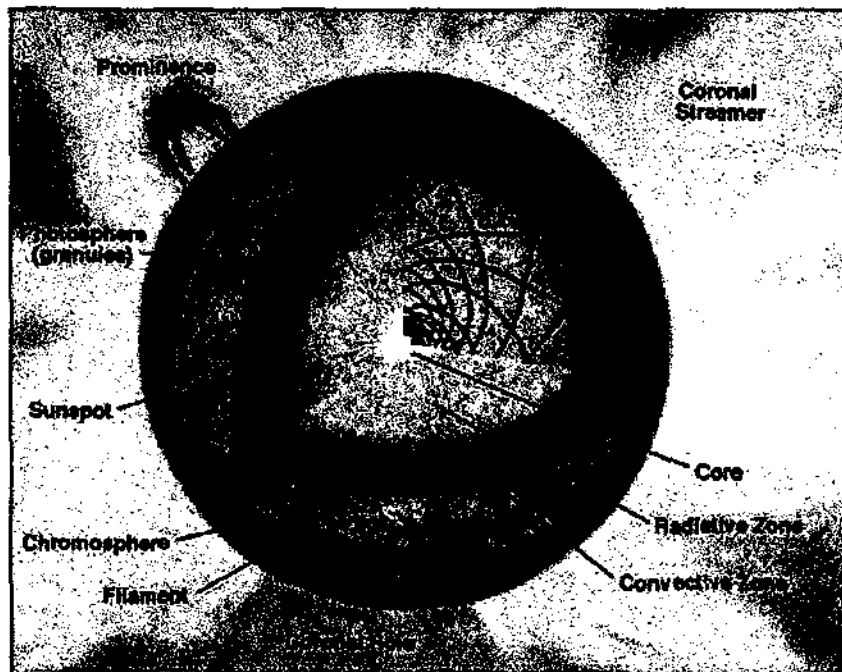


Figura 2.1: Estrutura interna e Atmosfera Solar

[Fonte: <http://www-istp.gsfc.nasa.gov/istp/outreach/>].

### 2.1.2. O VENTO SOLAR

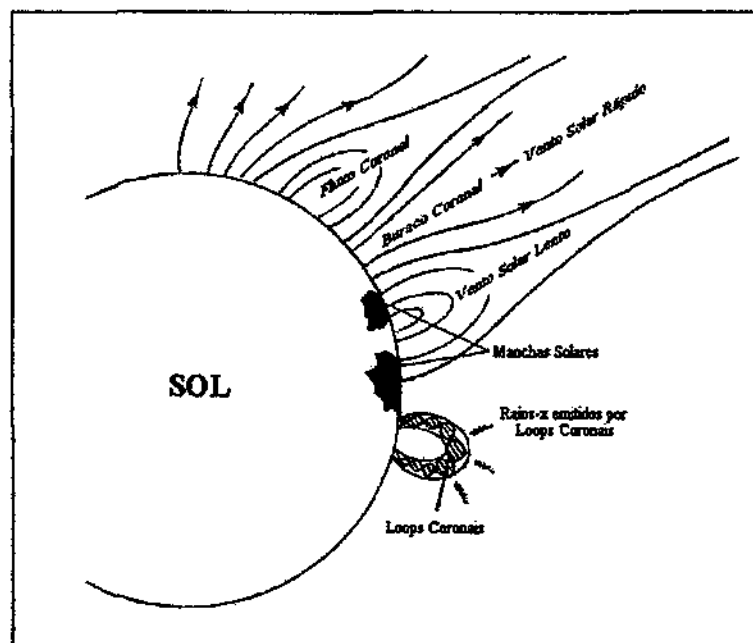
O Vento Solar é um plasma ionizado (gás de prótons e elétrons) emitido radialmente pelo Sol, como resultado da enorme diferença da pressão dos gases da coroa solar e do espaço interestrelar. Este plasma passa pela Terra com uma velocidade média de 400 a 500 km/s e uma densidade medida de prótons e elétrons de  $5 \text{ cm}^{-3}$ . Seu fluxo se propaga muito além da órbita de Plutão. Deve existir um ponto onde sua expansão termina, contida pela pressão externa do vento interestrelar. Não se sabe onde realmente se encontra esta fronteira, mas os modelos predizem que deve estar em torno de 100 UA do Sol.

Sua existência foi sugerida inicialmente por Ludwig Biermann, que publicou uma série de importantes trabalhos entre 1951 e 1957, baseados no estudo da direção de caudas ionizadas de cometas (aproximadamente radiais ao Sol, independente da direção do



movimento), que o levaram a postular uma emissão de radiação corpuscular contínua [Brandt, 1970]. A existência do Vento Solar também foi sugerida por outros cientistas que notaram mudanças no Campo Geomagnético, um dia ou mais após a ocorrência de grandes “Flares” solares [Burlaga, 1995].

Algumas vezes, o vento solar não é emitido uniformemente, pois o campo magnético da coroa solar pode estar altamente estruturado, como mostrado esquematicamente na figura 2.2. O plasma coronal quente pode ser aprisionado em um forte campo magnético na forma de loops, e uma intensa emissão de raios-x é associada com a formação destes Loops Coronais. Dependendo da intensidade do campo magnético, o plasma quente pode escapar destes loops, formando um fluxo coronal que se estende para o espaço. Estes fluxos são a fonte do vento solar lento. Porém, em outros lugares na coroa, o campo magnético solar não possui loops, mas estende-se em direção radial. Nestas regiões, o plasma quente pode escapar facilmente da coroa, formando o vento solar rápido. Como resultado desta rápida fuga, a densidade de plasma e a radiação eletromagnética associada são baixas e conseqüentemente, estas regiões são chamadas de buracos coronais [R. W. Schunk and A F. Nagy , 2000].



**Figura 2.2:** Diagrama esquemático da topologia do campo magnético na coroa solar.

[Fonte: Modificado de R. W. Schunk and A F. Nagy , *Ionospheres – Physics, Plasma Physics and Chemistry*, 2000]

### 2.1.3. O CAMPO MAGNÉTICO INTERPLANETÁRIO

Como vimos, o Vento Solar é um plasma ionizado emitido pelo Sol, por este motivo, o Vento Solar não só é sensível a ação do Campo Magnético Solar, como o movimento de seus elétrons e íons livres altera a configuração deste campo. Produz-se, uma relação interdependente entre plasma e campo magnético. Desta forma, o plasma e o campo magnético estão unidos e diz-se que o Campo Magnético Solar está “congelado” no plasma. O campo magnético é carregado pelo vento solar, mas este campo permanece unido à sua fonte no Sol. As linhas do Campo Magnético Solar não são paralelas à velocidade radial do vento solar, elas vão torcendo conforme o vento solar se afasta do Sol (como mostrado na figura 2.3), constituindo o chamado Campo Magnético Interplanetário CMI, com intensidade de aproximadamente 5 nT nas circunvizinhanças da Terra.

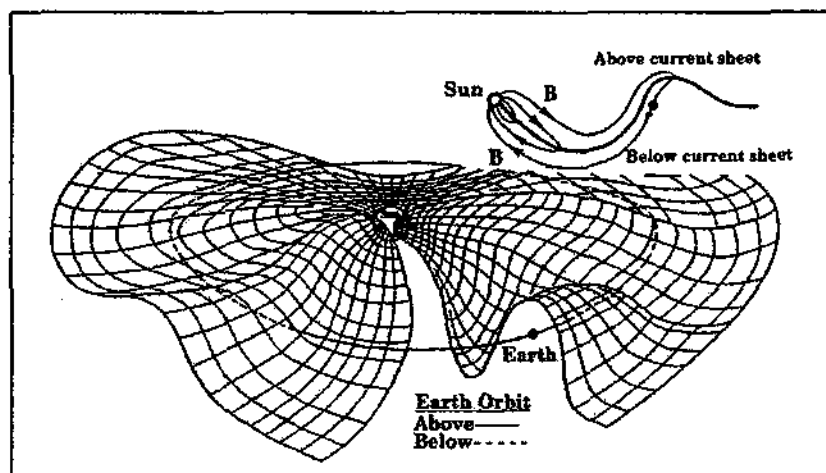


Figura 2.3: Configuração do Campo Magnético Interplanetário (CMI)

[Fonte: R. W. Schunk and A F. Nagy , *Ionospheres – Physics, Plasma Physics and Chemistry*, 2000].

Devido à rotação do Sol, o Campo Magnético Interplanetário tem, em larga escala, o aspecto de uma espiral de Arquimedes, sendo quase radial próximo ao Sol e praticamente perpendicular à direção radial além de 5-10 UA. Na circunvizinhança da Terra, 1 UA, o CMI tem inclinação de aproximadamente 45°. A região onde o CMI domina os processos é conhecida como Heliosfera.

### 2.1.4. O CICLO SOLAR DE 11 ANOS

A atividade solar varia em um período de 11 anos, e como consequência, as estruturas do Meio Interplanetário e o Campo Magnético Interplanetário também variam com este mesmo período. O Ciclo Solar de 11 anos é medido tradicionalmente pelo número de manchas solares.

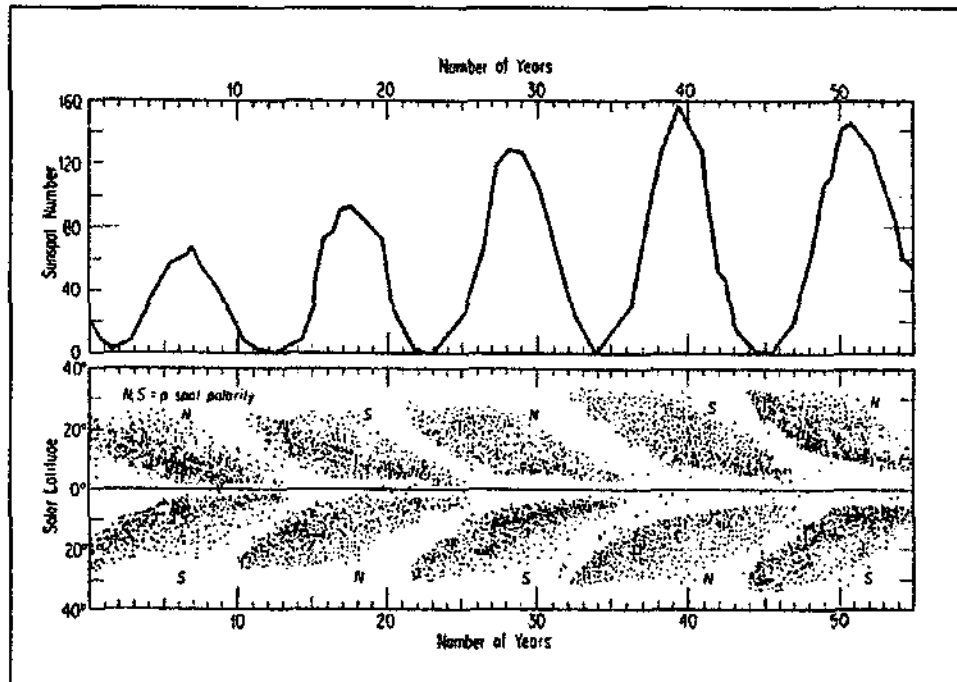


Figura 2.4: Exemplo da variação no número de manchas solares (gráfico de cima) e localização (gráfico de baixo) para 5 ciclos de atividade solar. N e S (Norte e Sul) corresponde à polaridade do campo das manchas solares e a alternância da direção do campo solar.

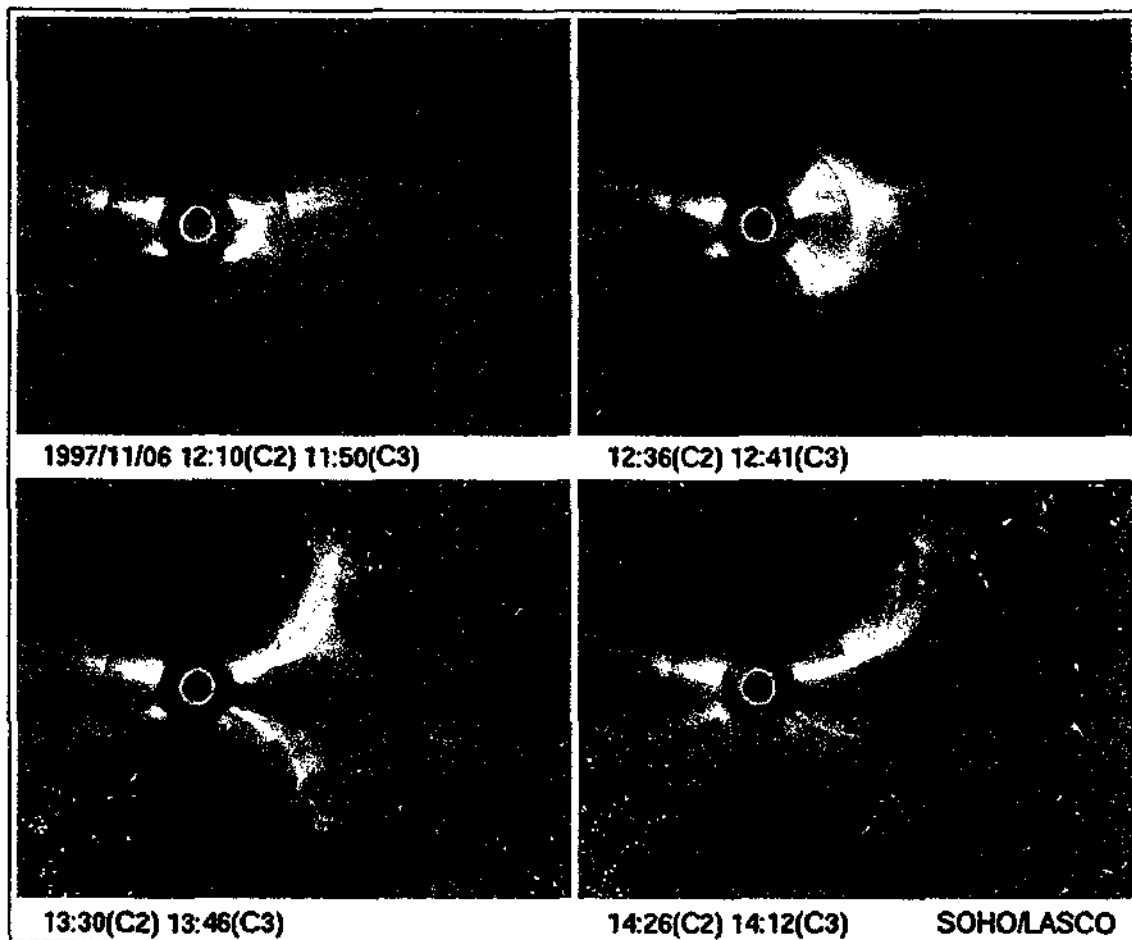
[Fonte: W. H. Campbell, *Introduction to Geomagnetic Fields*, 1997].

As manchas solares são sempre geradas aos pares e possuem campo magnético com polaridades opostas. As manchas possuem polaridades similares em um hemisfério e polaridades opostas no hemisfério oposto, para um ciclo de atividade. Assim como a polaridade do campo dipolar do Sol, a polaridade das manchas inverte a cada ciclo solar, como está esquematizado na figura acima.

Na figura 2.4 acima podemos identificar quatro fases do ciclo de atividade solar: fase de mínima atividade solar, fase ascendente, fase de máxima atividade solar, fase descendente.

### 2.1.5. EJEÇÕES DE MASSA CORONAL (EMC)

As perturbações interplanetárias de grande escala, têm dimensões enormes ao ponto de seus tamanhos alcançam magnitudes da ordem de unidades astronômicas. Estas perturbações são originadas pela atividade solar. De todas as diversas manifestações de atividade solar que existem, destacam-se as Ejeções de Massa Coronal (EMC). As EMC são enormes desprendimentos de massa observados na coroa solar, que são ejetados ao meio interplanetário com velocidades desde algumas dezenas até superiores a  $1000 \text{ km s}^{-1}$ .



**Figura 2.5:** Seqüência de uma Ejeção de Massa Coronal tomada pelo coronógrafo LASCO a bordo do satélite SOHO.

[Fonte: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/>].

A figura 2.5 mostra uma seqüência de fotografias onde se observa uma EMC se expandindo no meio interplanetário. O círculo branco representa o tamanho e a posição do Sol.

É possível que as origens Solares das EMC estejam associadas aos Buracos Coronais, segundo Hewish e Bravo (1986). Os Buracos Coronais são regiões escuras, apresentando configuração de campo magnético aberta, de onde se originam Feixes de Altas Velocidades.

Tipicamente as EMC apresentam estrutura que pode ser caracterizada em três regiões distintas: *loop* externo; cavidade interna com densidade menor; proeminência eruptiva interna [Hundhausen, 1988].

As EMC, devido ao intenso campo magnético em seu interior, causam um decréscimo no fluxo de raios cósmicos de baixa energia e este fato é muito importante na previsão destes fenômenos que podem causar intensas Tempestades Geomagnéticas.

## 2.2. TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS

Tempestades Geomagnéticas são eventos de grandes perturbações no Campo Magnético Terrestre, onde a Terra fica vulnerável à precipitação de partículas energéticas do Vento Solar e a raios cósmicos.

Sua assinatura característica é um decréscimo na componente H, horizontal, do Campo Magnético Terrestre, durando cerca de algumas dezenas de horas [Kamide et al., 1998]. Atribui-se este decréscimo a um aumento da população de partículas aprisionadas na Magnetosfera. Devido ao gradiente do Campo Magnético e a sua curvatura surge a chamada “Corrente de Anel”, que é o movimento destas partículas: íons de leste para oeste; elétrons de oeste para leste. Para medir a intensidade desta corrente, utilizam-se valores horários da variação global da componente H em baixas latitudes, constituindo o índice Dst [Gonzalez et al., 1994]. As variações do índice Dst de uma grande Tempestade Magnética medida no período de 03 a 11 de novembro de 2001 estão ilustradas na Figura 2.6.

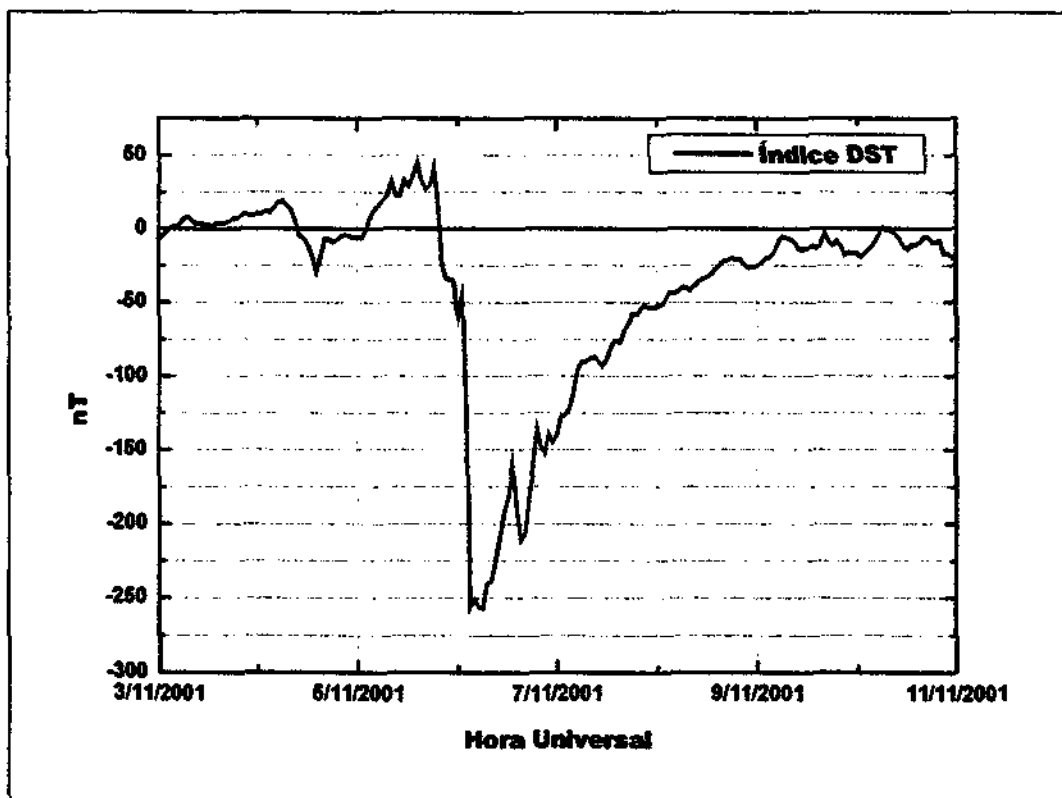


Figura 2.6: Valores horários do índice Dst para a Tempestade Magnética de 03-11 de novembro de 2002.

[Fonte: <http://swdcdb.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/>].

Uma Tempestade Geomagnética pode ser caracterizada tipicamente por 3 fases: início súbito, caracterizado por um aumento do campo magnético; fase principal, que é o intervalo de alto decréscimo do índice Dst; e fase de recuperação, onde o Campo Magnético tende a restaurar sua intensidade normal.

Costuma-se reunir as Tempestades Geomagnéticas em três grupos característicos, de acordo com sua intensidade: **fracas**:  $Dst > -50\text{nT}$ ; **moderadas**:  $-100\text{ nT} < Dst < -50\text{ nT}$ ; e **intensas**:  $Dst < -100\text{ nT}$  [Gonzalez et al., 1994].

Acredita-se que o mecanismo físico responsável pela transferência de energia do Vento Solar para a Magnetosfera seja a reconexão entre o Campo Magnético Interplanetário e o Campo Magnético Terrestre [Tsurutani e Gonzalez, 1997]. Para haver reconexão, é necessário que o Campo Magnético Interplanetário apresente substancial componente na direção  $-Z$ , ou direção Sul. Esta componente é comumente observada no campo magnético de uma Nuvem Magnética. A estrutura do campo magnético de uma Nuvem Magnética pode ser descrita por um modelo “livre de forças”, onde a força magnética total é nula. Uma ilustração da configuração deste campo pode ser visto na figura 2.7. Nesta figura está representado o campo magnético tridimensional de uma Nuvem Magnética. Um corte da estrutura pode ser visto ampliado mostrando a estrutura do campo magnético no plano da página. Um satélite que estivesse no ponto Lagrangeano (ponto onde as forças de gravidade da Terra e do Sol são compensadas), ao interceptar a estrutura, mediria seus parâmetros  $B_z$ ,  $B_y$  e  $|B|$  conforme ilustrado na parte de baixo da figura, onde pode-se observar a rotação da direção do campo magnético na direção  $Z$ . Também pode-se ver que a intensidade do campo magnético é maior no centro da estrutura.

O acoplamento da Magnetosfera Terrestre com o Meio Interplanetário e com o Sol, pode ser mais facilmente compreendido pela visualização da ilustração gráfica da figura 2.8, que foi introduzida por Tsurutani e Gonzalez (1997).

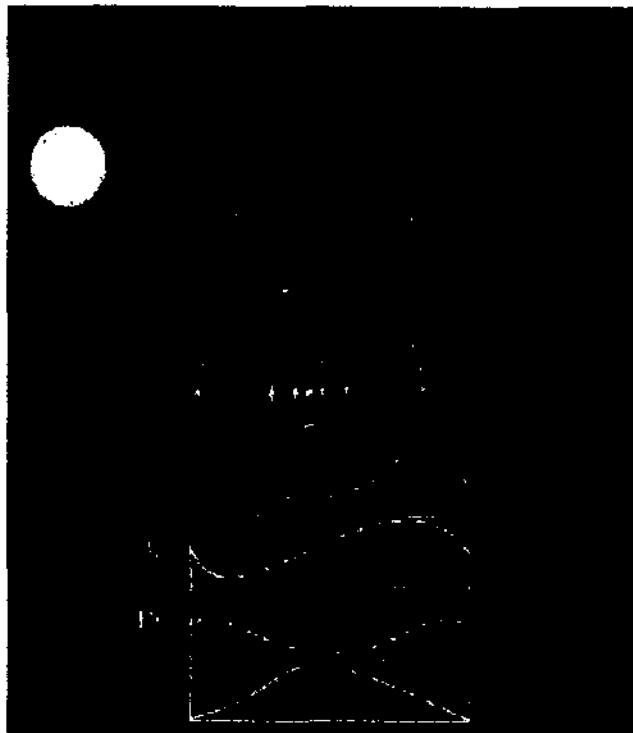


Figura 2.7: Configuração do campo magnético de uma Nuvem Magnética.

[Fonte: Estudo de nuvens magnéticas geofetivas no meio interplanetário - A. Dal Lago, 1999-pág 48].

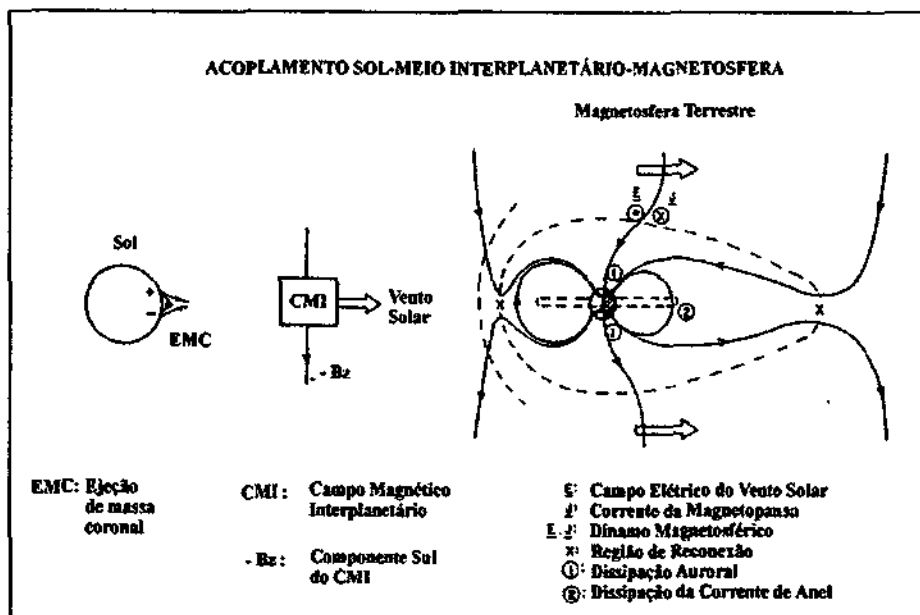


Figura 2.8: Acoplamento entre Sol, Meio Interplanetário e Magnetosfera Terrestre

[Fonte: Tsurutani e Gonzalez, 1997-pág:82].



## 2.3. RAIOS CÓSMICOS

### 2.3.1. INTRODUÇÃO

Os raios cósmicos são radiações naturais cujo poder de penetração é muito superior ao de qualquer outra radiação conhecida, possuem alta energia, se propagam no espaço interestelar atingindo a Atmosfera Terrestre de maneira isotrópica. Sua energia está no intervalo de  $10^9$  a  $10^{19}$  eV. São compostos principalmente por prótons e íons nucleares. Por muitos anos os raios cósmicos eram a mais importante fonte de partículas energéticas para o estudo da Física Subatômica. Hoje os raios cósmicos são estudados como um fenômeno natural que pode nos dizer muito sobre o meio ambiente espacial Terrestre e sobre processos astrofísicos distantes.

### 2.3.2. ORIGEM E COMPOSIÇÃO DOS RAIOS CÓSMICOS

Acredita-se que os raios cósmicos, por possuírem energias muito altas (de  $10^9$  a  $10^{19}$  eV), sejam originados durante a explosão de uma Supernova, pois tanto a frequência de ocorrência quanto à energia liberada nestes eventos são suficientes para acelerar as partículas a energias dos raios cósmicos. Estimou-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, como ilustrado na figura 2.9.

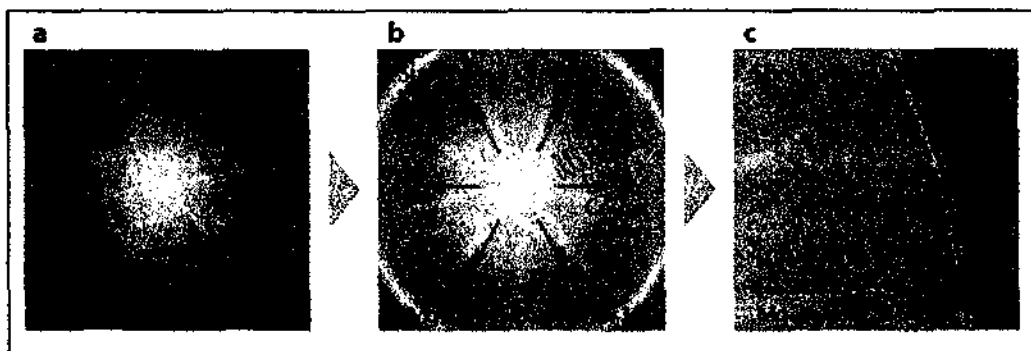


Figura 2.9: Ilustração gráfica da origem dos Raios Cósmicos.

A figura (a) mostra uma estrela no estágio de fusão dos núcleos leves em núcleos mais pesados. A figura (b) mostra o evento de Supernova, onde o material da estrela é ejetado no espaço e a figura (c) mostra a onda de choque que acelera as partículas à energia dos raios cósmicos.

[Fonte: <http://www-istp.gsfc.nasa.gov/istp/outreach/>].

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

Os Raios Cósmicos primários estão divididos em 3 componentes:

- 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.
- Partículas Energéticas Solares (PES): originam-se no Sol; sua intensidade aumenta quando da ocorrência de explosões solares e outras manifestações da atividade solar.
- Raios Cósmicos Anômalos (RCA): 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 da Terra, colidem com os átomos e moléculas do ar. Partículas de raios cósmicos pesados, tais como núcleos 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 nós normalmente encontramos; são radioativos e suas meia-vidas são curtas, geralmente 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 das colisões são chamadas de *Raios Cósmicos Secundários*. Os 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. A figura 2.10 ilustra esquematicamente a formação de partículas secundárias na Atmosfera Terrestre.

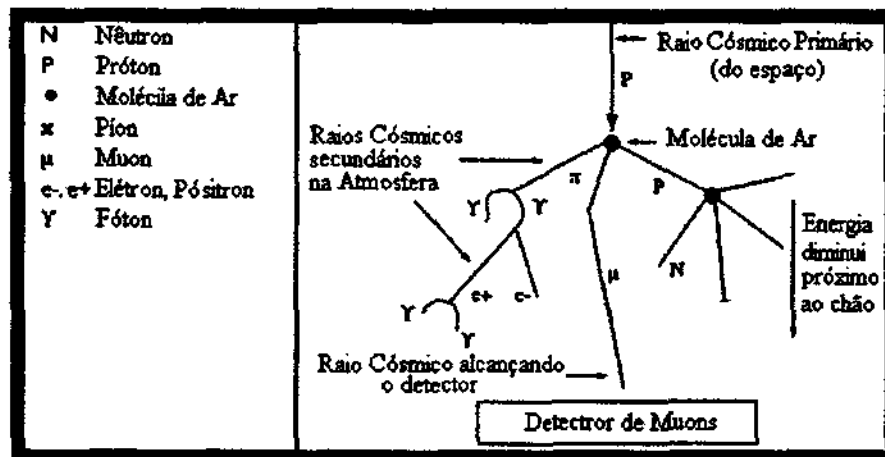


Figura 2.10: Representação esquemática do desenvolvimento da radiação cósmica secundária na Atmosfera Terrestre como resultado da interação de uma partícula primária incidente com os núcleos dos átomos da Atmosfera superior.

[Fonte: <http://www.bartol.udel.edu/>].

### 2.3.3. OS MUONS

Quando raios cósmicos de alta energia chegam na alta 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 do elétron. Logo se detectaram outros rastros semelhantes, e as partículas descobertas receberam o nome de “mésons” [<http://www.mipagina.cantv.net/aquilesr/muon.htm>].

Do decaimento radioativo destes mésons, origina-se outra partícula, que também possui uma massa intermediária, e se move a velocidades da ordem dos 99% da velocidade da luz. Esta partícula recebeu o nome de “muon”, apresentando duas variedades: positiva e



negativa. O muon negativo, que possui 206,77 vezes a massa do elétron, é idêntico a esta partícula em todos os aspectos, exceto pela massa.

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

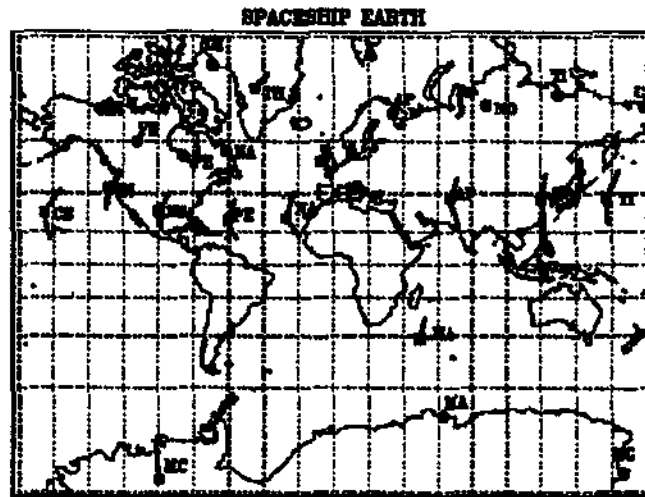
## 2.4. PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL UTILIZANDO RAIOS CÓSMICOS

### 2.4.1. REDES DE DETECTORES DE RAIOS CÓSMICOS

Devido a grande cobertura que pode ser usado em detectores de solo, monitores de nêutrons [Simpson et al. 1953] e detectores de Muons [Fujimoto et al. 1976; 1984] ainda são ideais para medir raios cósmicos  $> 1\text{GeV}$ . Estes instrumentos são excelentes para a detecção de minúsculas variações temporais do fluxo de raios cósmicos e para medir as pequenas anisotropias direcionais típicas dos raios cósmicos. Seus intervalos de energia são altamente complementares aos limites superiores das energias dos detectores de fluxos de raios cósmicos espaciais. A recentemente concluída rede de monitores de nêutrons *Spaceship Earth* está fazendo medidas contínuas de alta precisão de anisotropias tridimensionais. Em energias mais altas, detectores de Muons podem fazer medidas em múltiplas direções de uma única localização utilizando telescópios inclinados [Munakata et al. 2000].

#### 2.4.1.1. Rede de Monitores de Nêutrons *Spaceship Earth*

*Spaceship Earth* é uma rede global de detectores de nêutrons otimizada para medir a distribuição angular dos raios cósmicos [<http://www.bartol.udel.edu/~neutronm/catch/sse1.html>]. No entanto, como revela a figura 2.11, *Spaceship Earth* proporciona boa cobertura do céu em altas energias. Esta rede é compreendida por 11 estações em 4 continentes, otimizada para fazer medições contínuas da anisotropia tridimensional de raios cósmicos. O nome *Spaceship Earth* representa o âmbito multi-nacional do projeto, bem como a semelhança da estratégia de medida empregada em detectores de fluxo de partículas espaciais. As 11 estações da rede são: Inuvik (IN), Fort Smith (FS), Peawanuck (PE), Nain (NA), Apatity (AP), Norilsk (NO), Tixie Bay (TI), Cape Schmidt (CS), McMurdo (MC), Mawson (MA), and Thule (TH). A rede foi completada em novembro de 2000 com a estação em Nain, Labrador.



**Figura 2.11:** Rede de Monitores de Nêutrons *Spaceship Earth*. Aqui estão mostradas as localizações geográficas das estações como círculos sólidos. Retângulos abertos mostram as direções de visão das partículas de 10 GV, e as linhas através dos retângulos englobam rigidezes de 5 a 20 GV.

#### 2.4.1.2. Rede de Detectores Multidirecionais de Muons

A rede de Detectores Multidirecionais de Muons tem como objetivo viabilizar a previsão das estruturas solares capazes de causar Tempestades Magnéticas. A atual rede de Detectores de Muons é compreendida pelos telescópios instalados nas cidades de Hobart (Austrália), Nagoya (Japão) e um Telescópio Protótipo no Município de São Martinho da Serra (Brasil). Com a instalação do Telescópio Protótipo no Sul do Brasil, no Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT, a rede de detectores foi dramaticamente melhorada, como pode se visto na figura 2.12. Esta figura mostra a direção assintótica dos Detectores Multidirecionais de Muons, onde em vermelho e azul tem-se a cobertura global dos detectores de Nagoya e Hobart, respectivamente. Em amarelo, tem-se a cobertura do Telescópio Protótipo Brasileiro e em verde está representada a cobertura global após a expansão do Telescópio Protótipo (2 x 2 m) para um telescópio (6 x 6 m), idêntico aos Telescópios de Nagoya e Hobart. O princípio de operação e a expansão do Protótipo Brasileiro serão descritos detalhadamente no Capítulo 3.

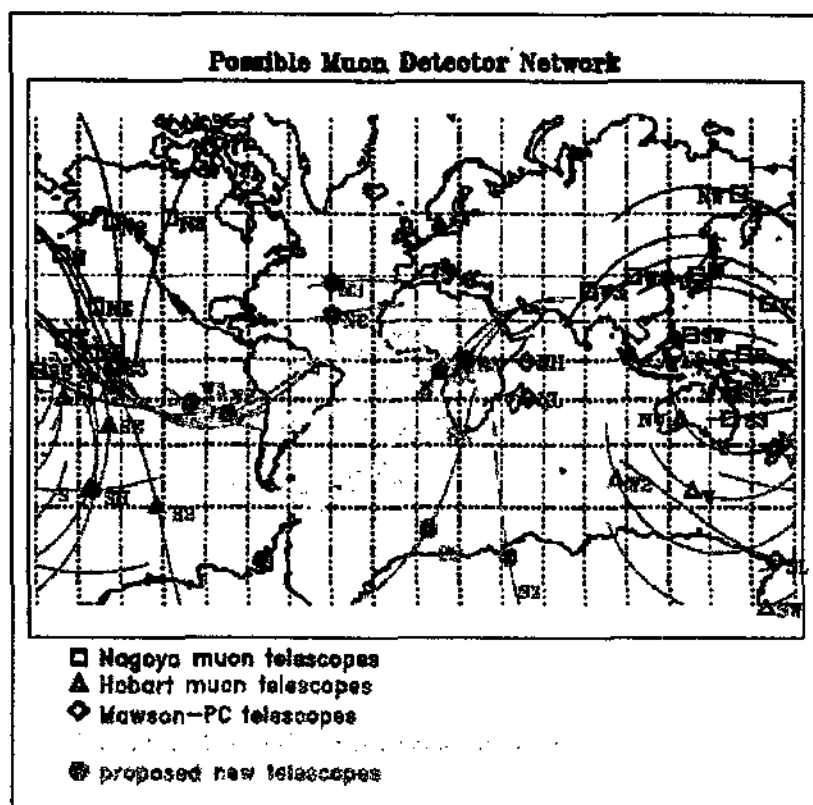


Figura 2.12: Visão assintótica dos Detectores Multidirecionais de Muons.

#### 2.4.2. ANISOTROPIA PRECURSORA DO CONE DE PERDAS

Um distúrbio solar se propagando a partir do Sol, afeta a população de raios cósmicos galácticos pré-existentes de várias maneiras. A mais conhecida é o “decréscimo de Forbush”, uma região de supressão da densidade de raios cósmicos localizada atrás de um choque devido a uma ejeção de massa coronal (EMC) [Cane 1993; Cane et al. 1994; 1996], ainda não está bem compreendido que decréscimos da intensidade de raios cósmicos são freqüentemente acompanhados por fortes crescimentos da sua anisotropia [Lockwood 1971; Duggal & Pomerantz 1976; Nagashima & Fujimoto 1993], alguns dos quais se estendem a regiões à frente das ondas de choque que está se aproximando. Tais anisotropias precursoras fornecem um mecanismo chave através do qual informação acerca da presença de um distúrbio pode ser transportada para localidades remotas. Devido ao fato dos raios cósmicos serem rápidos e possuírem grande livre caminho médio no vento solar, esta informação é transportada rapidamente sendo útil para a previsão do clima espacial [Munakata et al. 2000].

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

Um exemplo de um precursor de cone de perdas observado antes de um distúrbio geomagnético intenso está mostrado na Figura 2.13 [Munakata et al. 2000]. Aproximadamente 8 horas antes do início súbito da tempestade, um cone de perdas está claramente presente nas observações feitas pelos detetores de Muons. Isto pode ser visto no painel onde os Telescópios de Muons observando na direção do Sol, ao longo do campo magnético ( $0^\circ$  ângulo de *pitch*) detectam uma forte supressão da intensidade dos raios cósmicos (círculos sólidos) relativa a média omnidirecional.

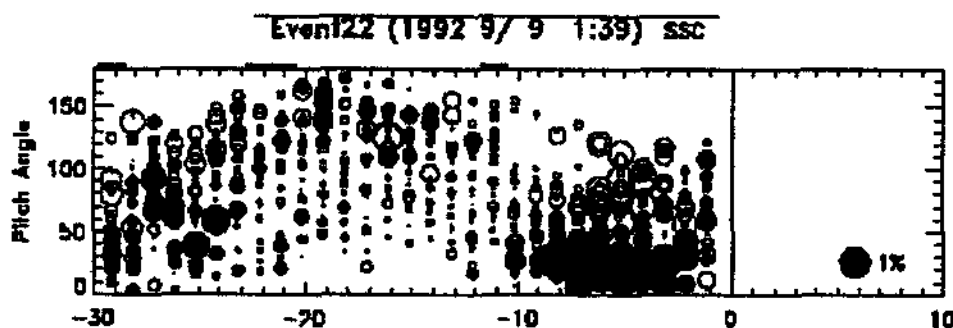


Figura 2.13: Precursor de Cone de Perdas

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

Uma assinatura clássica de um cone de perda.

[Fonte: Munakata et al. 2000].



## CAPÍTULO 3

### INSTRUMENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

#### 3.1. TELESCÓPIO CINTILADOR DE MUONS

No início de março de 2001, um Protótipo de Detector de Muons (figura 3.1) foi instalado no prédio principal do Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT (Latitude 29°, 26', 24"S, Longitude 53°, 48', 38" O, Altitude 500 m acima do nível do mar), no Município de São Martinho da Serra, RS. Desde então, o telescópio tem sido mantido em operação para obter informações básicas sobre a performance de uma rede de detectores de Muons de abrangência completa, cuja instalação está sendo negociada entre as instituições envolvidas em um Memorando de Entendimento Brasil, Japão e Estados Unidos da América.



Figura 3.1: Protótipo do Telescópio de Muons instalado no OES/RSU/INPE-MCT em Março de 2001.

##### 3.1.1. MONTAGEM DO TELESCÓPIO

O Telescópio Cintilador de Muons consiste de 2 camadas de 4 detectores, como mostrado na figura 3.2. Estas camadas são separadas por 1,73 m de altura, intermediadas por uma camada de blocos de chumbo com 5 cm de espessura, usados

para absorver os componentes de baixa energia dos raios cósmicos. No fundo de uma caixa metálica de 1,6 mm de espessura, é instalado um bloco plástico cintilante com dimensões 1m x 1m x 0,1m, que libera fótons – UV ao ser transpassado pelos Muons. Estes fótons liberados são captados por um tubo fotomultiplicador, cujo diâmetro é de 12,7 cm, que está no topo da caixa, gerando pulsos elétricos. Estes detectores são arranjados na forma de um quadrado (2 x 2 m) em cada camada, onde um lado é alinhado a direção Norte-Sul geográfica. Cada detector é identificado por um número com inicial U ou L para as camadas de cima e de baixo (U1, U2, U3, U4, L1, L2, L3, L4), respectivamente.

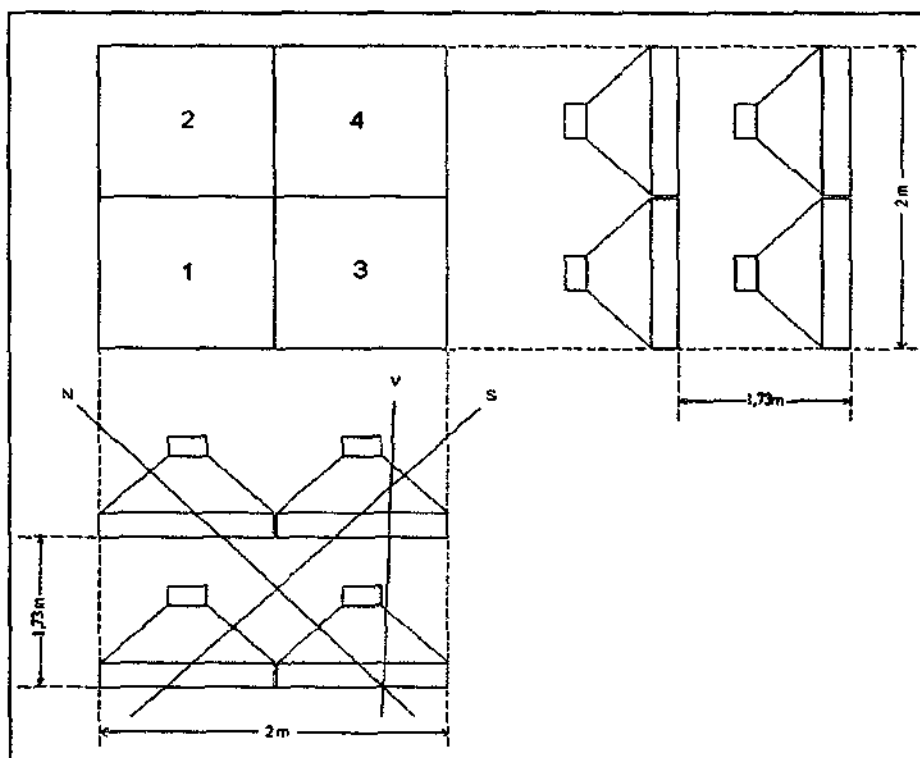


Figura 3.2: Esquema da montagem do Telescópio Cintilador de Muons

### 3.1.2. CIRCUITOS ELETRÔNICOS

O diagrama de bloco dos circuitos eletrônicos do Telescópio é mostrado na figura 3.3. Os pulsos de cada tubo fotomultiplicador são amplificados (300 vezes) por um circuito, acoplado na saída do tubo fotomultiplicador. A distribuição da altura diferencial de pulso proveniente de um detector após sua amplificação é mostrado na figura 3.4. A distribuição do sinal de pulso dos raios cósmicos tem um máximo para uma certa altura

de pulso (que se refere à altura de pico do pulso). A escolha de uma tensão adequada diferencia os sinais provenientes dos Muons dos sinais de ruídos (raios  $\gamma$ , etc.). Esta tensão de discriminação pré-estabelecida é fixada como sendo  $\sim 0,5$  V, assim a alta tensão de cada tubo fotomultiplicador é ajustado separadamente. Para compensar as diferenças na sensibilidade dos tubos fotomultiplicadores bem como na eficiência da cintilação dos detectores, os seguintes procedimentos são adotados para o ajuste:

- I. A alta tensão de cada foto-tubo é ajustada pela inserção de um resistor entre a saída da fonte de alta tensão comum e a rede de resistores do foto-tubo, como mostrado na figura 3.5, assim a altura de pico do pulso de todos os tubos fotomultiplicadores coincidirão entre si.
- II. A taxa de contagens para os vários componentes é obtida como função da alta tensão comum, como mostrado na figura 3.6.
- III. Para adquirir uma melhor estabilidade em observações contínuas, a fonte de alta tensão comum deve ser ajustada no ponto onde o declive nas curvas da figura 3.6 tenha um valor mínimo. Porém, como visto nesta figura, este valor é diferente para as diferentes componentes, desta forma, toma-se o valor médio como sendo a tensão de operação do detector.

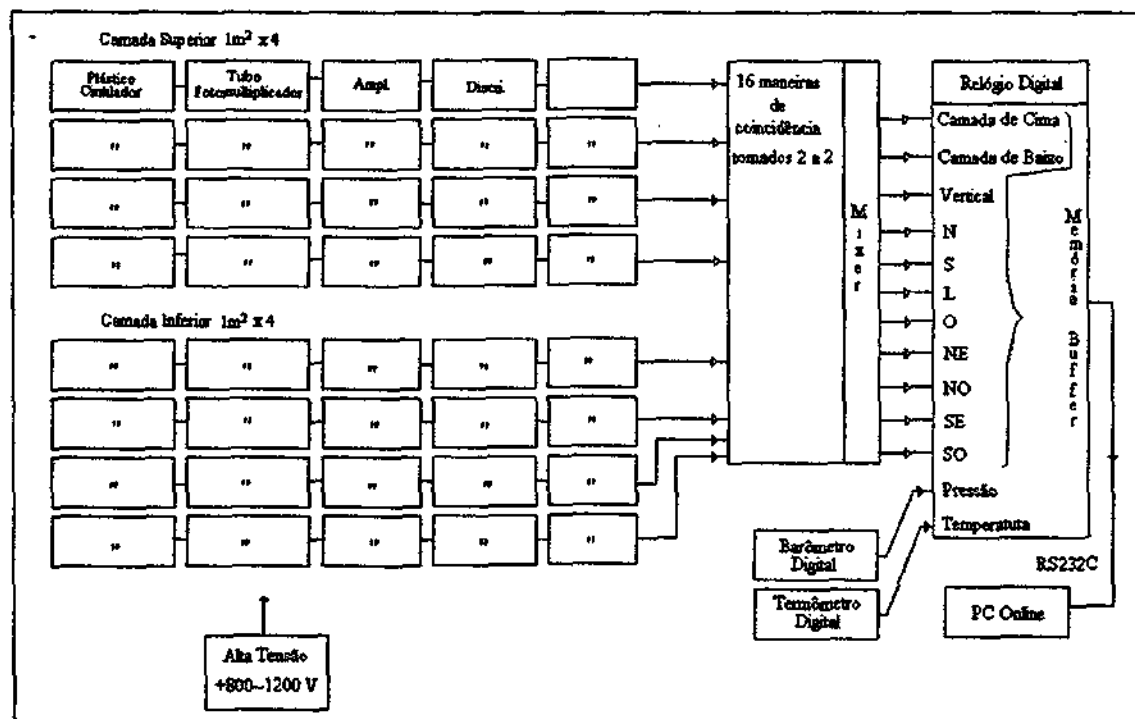


Figura 3.3: Diagrama de bloco dos circuitos eletrônicos do telescópio, mostrando o caminho do sinal desde o detector até o sistema de gravação dos dados.

[Fonte: Z. Fujii et al., *Multi-Directional Cosmic Ray Intensities*, Nagoya, 1995-2000].

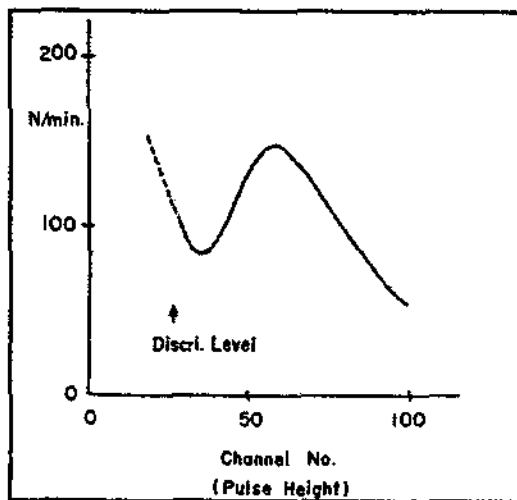


Figura 3.4: Distribuição da altura diferencial dos pulsos de saída: o pico do lado direito é devido às partículas dos raios cósmicos, enquanto que a parte pontilhada deve-se ao background de raios gamma.

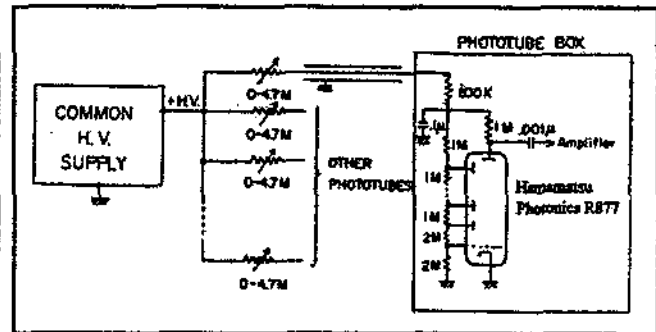


Figura 3.5: Circuito para o ajuste da alta tensão dos tubos fotomultiplicadores pela variação do valor da resistência entre a fonte comum de alta tensão e a rede de resistores dos foto-tubos.

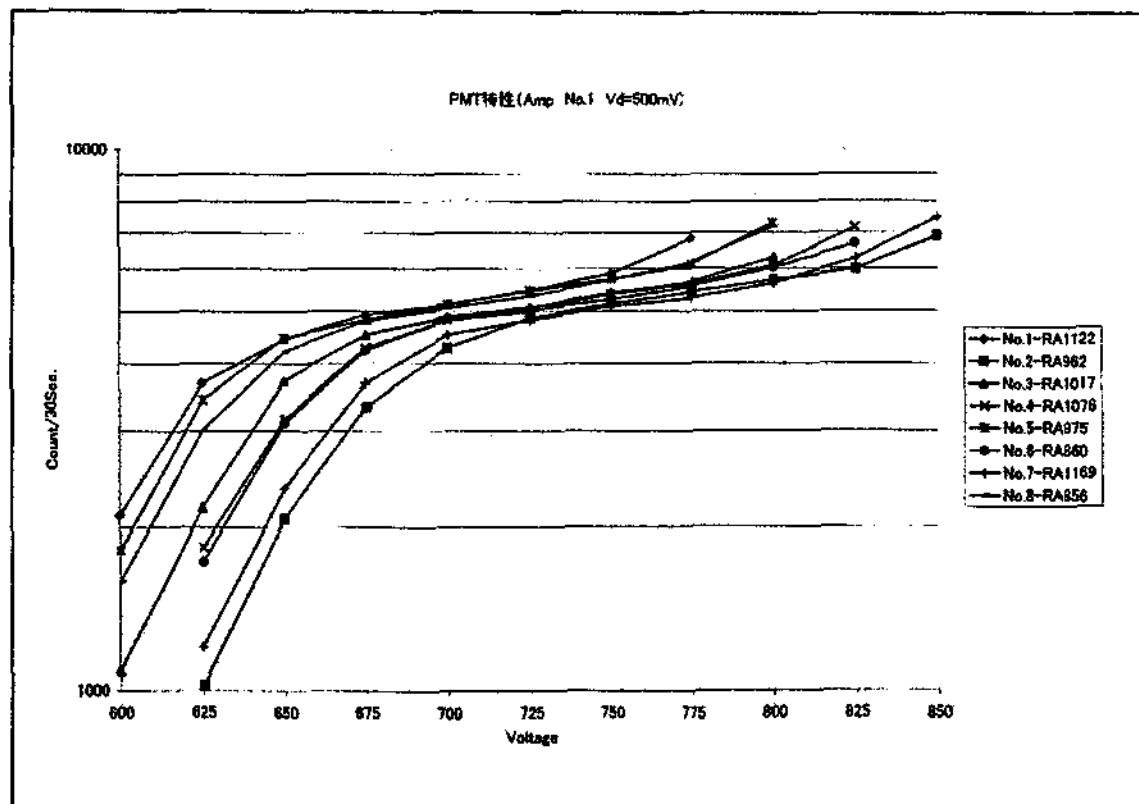


Figura 3.6: Dependência da taxa de contagens dos vários componentes pela variação da voltagem de alta tensão.

### 3.1.3. SISTEMA DE COINCIDÊNCIA

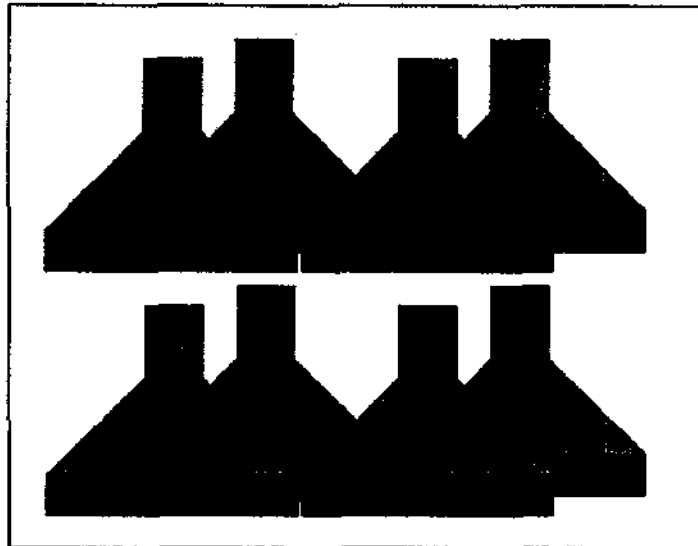
No Detector Protótipo de Muons do OES/RSU/INPE-MCT, parceria INPE – UFSM, os pulsos dos 8 detectores das camadas superior e inferior dispõem de 16 maneiras de fornecer dados aos circuitos de coincidência, gerando 9 canais direcionais do telescópio. Cada componente do telescópio consiste de todas as possíveis maneiras de se combinar qualquer par de detectores superior e inferior tomados em posições relativas.

O Telescópio Protótipo do Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT, é idêntico aos Telescópios de Muons de Hobart (Austrália) e de Nagoya (Japão) exceto pelo fato de ter um menor número de detectores. Os Telescópios de Hobart e de Nagoya possuem 72 detectores nas camadas superior e inferior, desta forma, eles dispõem de 992 maneiras de coincidência, gerando 17 canais direcionais.

A tabela 3.1 mostra as 16 maneiras de como podemos obter os 9 canais direcionais do Telescópio Protótipo do Observatório Espacial do Sul, sendo juntamente com a figura 3.7, auto-explicativos da lógica para obtenção dos canais direcionais do Telescópio de Muons.

Tabela 3.1: Disposição dos Detectores tomados dois a dois, formando os 9 canais direcionais.

Canais Direcionais	Disposição dos Detectores Tomados 2 a 2 Detectores			
	U1 – L1	U2 – L2	U3 – L3	U4 – L4
Vertical				
N	U1 – L3		U2 – L4	
S	U3 – L1		U4 – L2	
E	U2 – L1		U4 – L3	
W	U1 – L2		U3 – L4	
NE		U2 – L3		
NW		U1 – L4		
SE		U4 – L1		
SW		U3 – L2		



**Figura 3.7:** Disposição dos detectores do Telescópio de Muons do Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT

#### 3.1.4. SISTEMA DE GRAVAÇÃO DOS DADOS

A saída dos pulsos do sistema de coincidência, alimenta um sistema de gravação dos dados (Figura 3.3). Cada canal de gravação consiste de 10 bits na escala binária e 4 dígitos de contador decimal com uma memória “buffer” de 4 dígitos. O fator de escala (K) da escala binário é ajustado para que a taxa de contagens do contador decimal chegue a aproximadamente 8000/10 min. As contagens acumuladas no contador decimal são transferidas para a memória buffer a cada 10 min, o contador é ajustado para o próximo período de acumulação. O conteúdo da memória “buffer” e o código da hora universal (UT), obtido de um relógio eletrônico, são transferidos por um circuito para um Computador online, via uma saída serial RS232C. 20 canais de gravação são utilizados para gravar as taxas de contagens da intensidade dos raios cósmicos de 9 direções, juntamente com as contagens dos 8 detectores individuais, mais a contagem total das camadas superior e inferior e a contagem total de todos os oito detectores. Outro canal de gravação é usado para acumular pulsos de contagens de um barômetro digital por meio de um cristal de quartzo ressonante. A temperatura da sala é medida por um termômetro eletrônico digital que é registrada pelo mesmo sistema de gravação.

### 3.2. DADOS DO TELESCÓPIO CINTILADOR DE MUONS

Os dados do Telescópio Cintilador de Muons são disponibilizados em arquivo .dat diários, podendo ser visualizado na figura 3.8.

The screenshot shows a text-based data file with a header row: 'Arquivo: data.dat - Livro de contagens'. Below the header, the data is presented in a grid format. Each row starts with a date and time (e.g., '2003 04 21 00:00:00') followed by 20 columns of numerical values. The values are integers, representing counts for various detectors and directions. The data is organized in rows, each representing an hour.

Figura 3.8: Visualização da disponibilização dos dados do Telescópio protótipo do Observatório Espacial do Sul.

Cada linha corresponde a uma hora, sendo que a seqüência está na seguinte ordem:

Ano (4 dígitos), mês (2 dígitos), dia (2 dígitos), hora (2 dígitos), minuto (2 dígitos), U1 (4 dígitos), U2 (4 dígitos), U3 (4 dígitos), U4 (4 dígitos), L1 (4 dígitos), L2 (4 dígitos), L3 (4 dígitos), L4 (4 dígitos), Us (4 dígitos), Ls (4 dígitos), WT (4 dígitos), V (4 dígitos), N (4 dígitos), S (4 dígitos), E (4 dígitos), W (4 dígitos), NE (4 dígitos), NW (4 dígitos), SE (4 dígitos), SW (4 dígitos), PR (4 dígitos), e RT (4 dígitos).

U1, U2, U3, U4, L1, L2, L3, e L4 são os dados de cada detector (figura 3.7). Us, Ls, e WT são as contagens das partículas que passam pelos detectores que estão em cima, em baixo e em ambas camadas, respectivamente.

V (Vertical), N (Norte), S (Sul), E (Leste), W (Oeste), NE (Nordeste), NW (Noroeste), SE (Sudeste), e SW (Sudoeste) são os dados de cada direção. A lógica é como segue:

$$Us = U1+U2+U3+U4$$

$$Ls = L1+L2+L3+L4$$

$$WT = Us*Ls$$

$$V = U1*L1 + U2*L2 + U3*L3 + U4*L4$$

$$N = U1*L3 + U2*L4$$

$$S = U3*L1 + U4*L2$$

$$E = U2*L1 + U4*L3$$

$$W = U1*L2 + U3*L4$$

$$NE = U2*L3$$

$$NW = U1*L4$$

$$SE = U4*L1$$

$$SW = U3*L2$$

Os quatro dígitos dos dados são valores divididos por um certo parâmetro, que são:

$$U1/U2/U3/U4/L1/L2/L3/L4 : 200;$$

$$Us/Ls : 1000;$$

$$WT : 4000;$$

$$N/S/E/W : 40;$$

$$NE/NW/SE/SW : 10;$$

Por exemplo: Dados de U1(4855) multiplicado pelo parâmetro (200) torna-se igual ao valor de U1(971000 contagens/hora).

Além disso, RT são os dados de Temperatura da sala e PR são os dados da pressão Atmosférica. Para determinar o valor real de RT e de PR deve-se fazer o seguinte cálculo:

Tabela 3.2: Equações para o cálculo do valor real da Temperatura e Pressão Atmosférica

TEMPERATURA ATMOSFÉRICA (°C)	Pressão Atmosférica (psia)
$X(\text{micro segundos}) = \frac{1}{(3090000 + RT) * 200}$	$T(\text{micro segundos}) = \frac{1}{(1510000 + PR) * 80}$
$U = X - 5.827605$	$C = 99.47206 + 4.35512 U - 122.7058 U^2$
$\text{Temperatura} = -3954.21 U - 10724.26 U^2$	$To = 27.59161 + 0.80617 U + 19.29672 U^2 + 15.24889 U^3$
	$\text{Pressão} = C \left(1 - \frac{T_0^2}{T^2}\right) \left(1 - 0.037349 \left(1 - \frac{T_0^2}{T^2}\right)\right)$



O cálculo do valor real da temperatura e da pressão atmosférica é necessário, pois os raios cósmicos variam com estes parâmetros atmosféricos. Desta forma, há necessidade de se fazer uma correção nos dados para que estes efeitos sejam eliminados para que os dados sejam analisados sem as distorções atmosféricas.

A correção dos dados de raios cósmicos para eliminar os efeitos barométricos e da temperatura é feita utilizando a equação abaixo:

$$\frac{\Delta I}{I} = \beta \Delta p + \int \alpha(h) \Delta T(h) dh$$

onde  $p$  é a pressão atmosférica e  $T(h)$  é a temperatura do ar no nível atmosférico  $h$  que são calculados pelas equações da tabela 3.2. O primeiro termo do lado direito da equação acima, representa o efeito barométrico, sendo  $\beta$  o coeficiente barométrico, enquanto o segundo termo é o efeito da temperatura e  $\alpha(h)$  é o coeficiente da temperatura, que depende da altura  $h$  [<http://www.sbfl.if.usp.Br/eventos/enfpc/xx/procs/res193/node3.html>].

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E ANÁLISES

#### 4.1. RESULTADOS

Durante o período de vigência deste Projeto “Estudo do Clima Espacial com a Utilização da Rede de Telescópios Cintiladores de Muons”, foram analisados os dados dos telescópios que fazem parte desta rede, instalados nas regiões de São Martinho da Serra - Brasil, Nagoya - Japão e Hobart - Austrália, sendo identificados por Santa, Nagoya e Hobart, respectivamente. Foram selecionados para análise os dias em que ocorreram intensas Tempestades Magnéticas ( $DST < -100$  nT) durante o período de Março de 2001 à Novembro de 2002.

A análise dos dados da Rede de Telescópios de Muons tem como objetivo identificar anisotropias precursoras de estruturas solares que podem causar Tempestades Magnéticas.

Das 17 Tempestades Magnéticas intensas analisadas no período citado, 10 (59 %) apresentaram indícios de anisotropias precursoras, indicadas nos gráficos por uma flecha (Figuras 4.1 a 4.11). Em 4 (23 %) não foram identificadas nenhuma anisotropia precursora e nas 3 restantes (18 %), pelo menos uma das estações apresentou problemas nos dados não sendo possível uma análise confiável.

As figuras 4.1 a 4.11 mostram os gráficos das três estações, sendo o primeiro (preto) os dados do Telescópio do Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT, em São Martinho da Serra. O segundo gráfico (vermelho) mostra os dados do Telescópio de Nagoya, Japão. O terceiro gráfico (azul) mostra os dados de Hobart, Austrália e o último gráfico (verde) mostra o índice Dst, que mede a intensidade da Tempestade Magnética.

## 4.1.1. GRÁFICOS E ANÁLISE

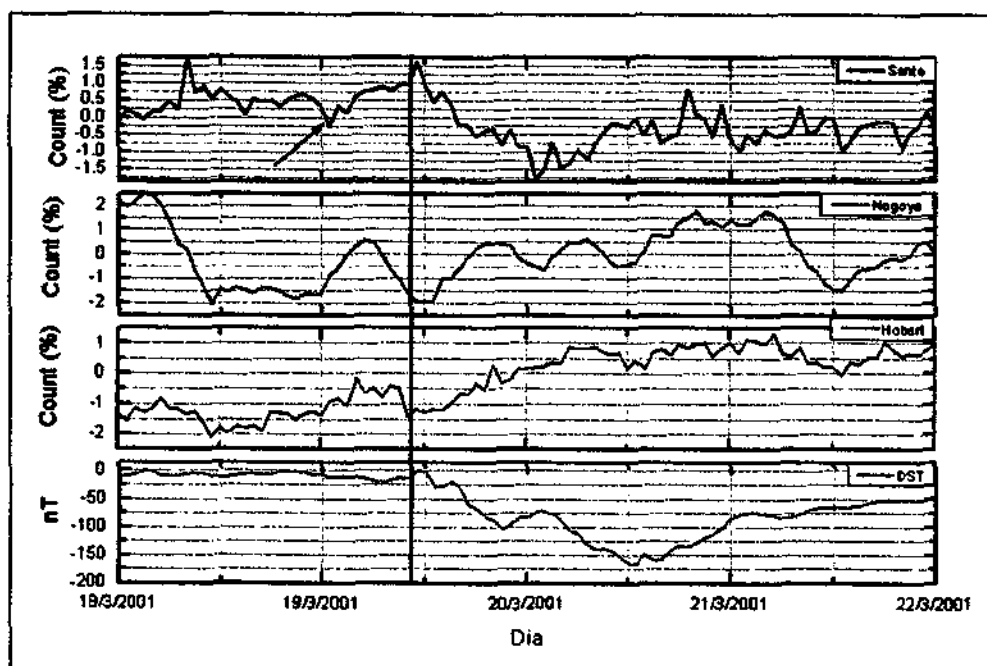


Figura 4.1: Tempestade Magnética de 19 de março de 2001. Pode-se notar um acentuado decréscimo na intensidade relativa dos Muons no detector Santa, exatamente 9 horas antes do início da Tempestade Magnética, tendo este decréscimo uma intensidade relativa de 0,5 %.

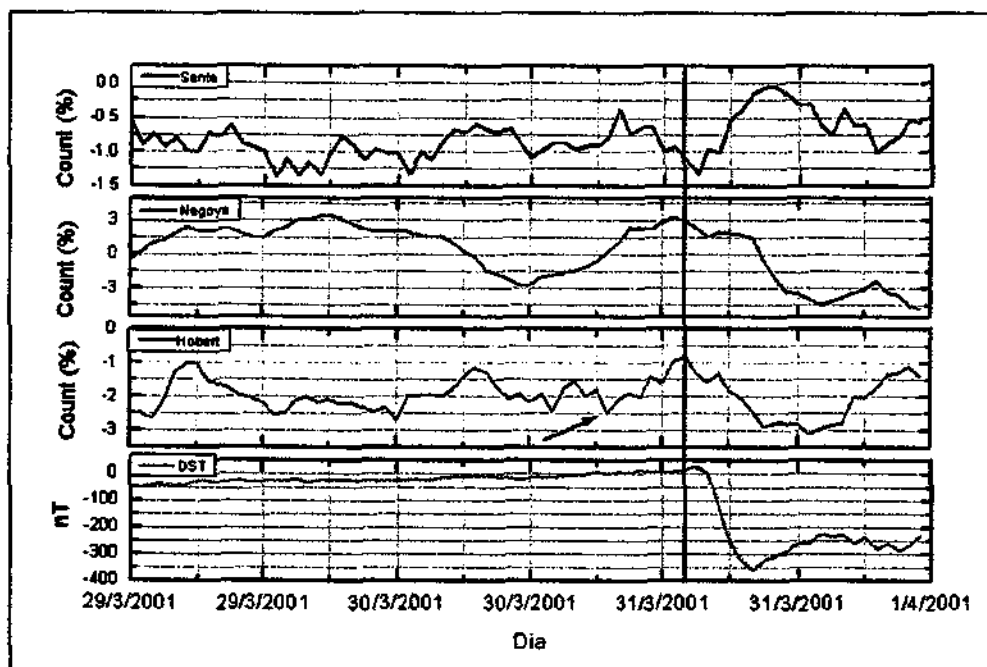


Figura 4.2: Tempestade Magnética de 31 de março de 2001. Neste caso o decréscimo na intensidade relativa dos Muons ocorreu no detector Hobart 8 horas antes do início da Tempestade Magnética, com uma intensidade relativa de 0,8 %.

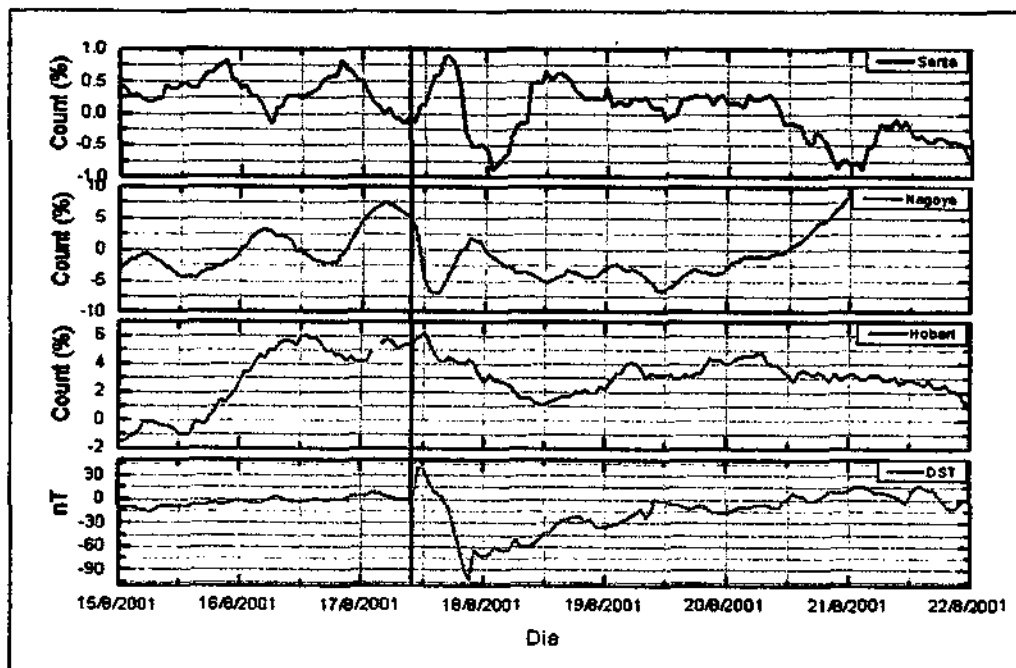


Figura 4.3: Tempestade Magnética de 17 de Agosto de 2001. Este é um exemplo de ocorrência de uma intensa Tempestade Magnética, onde não foi identificado nenhuma anisotropia precursora.

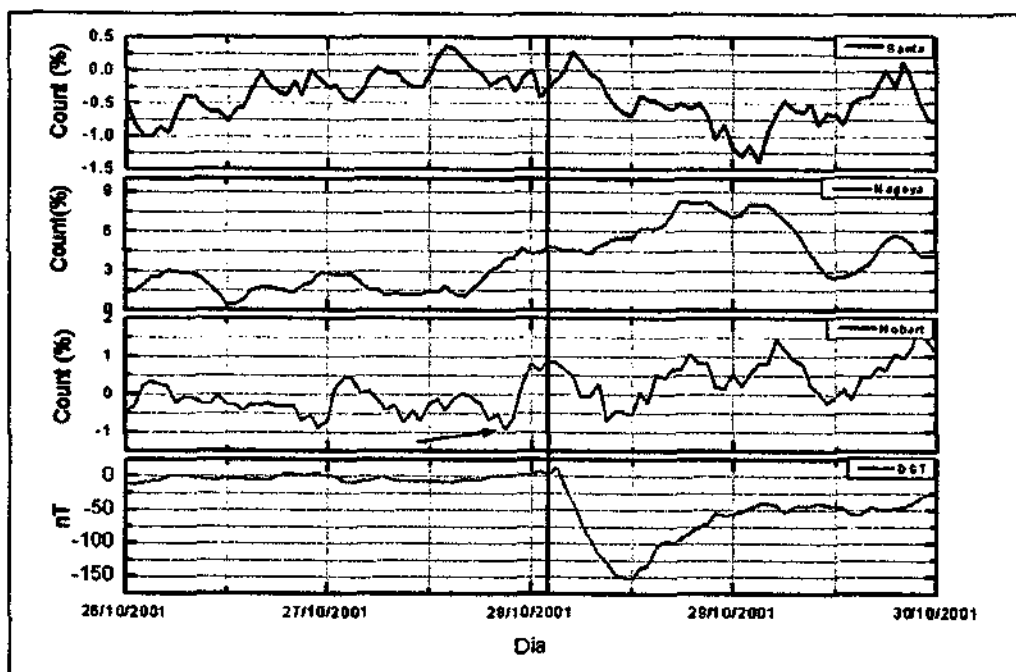
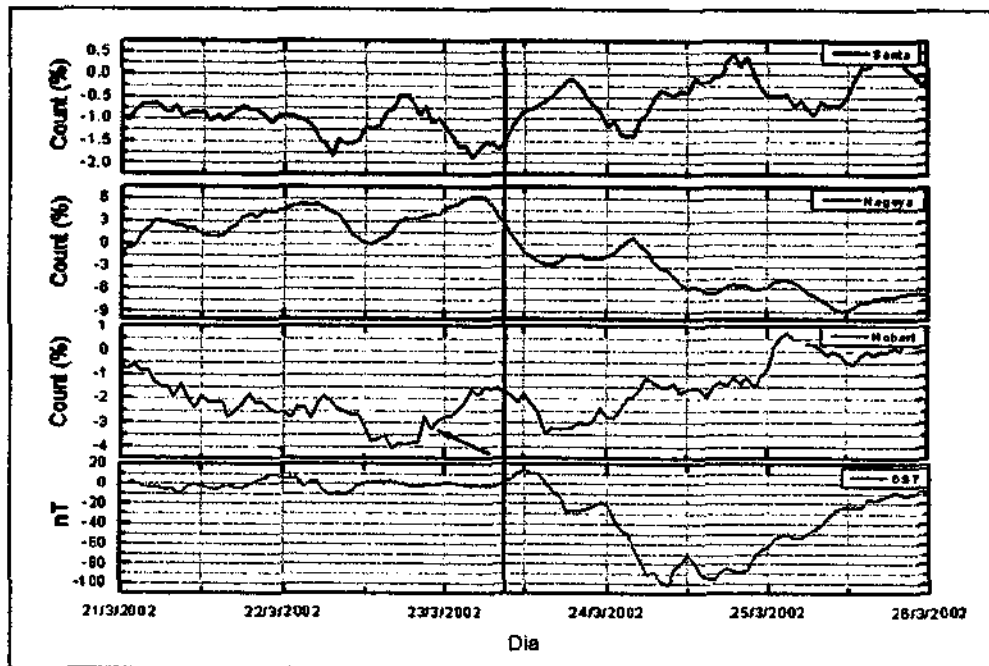
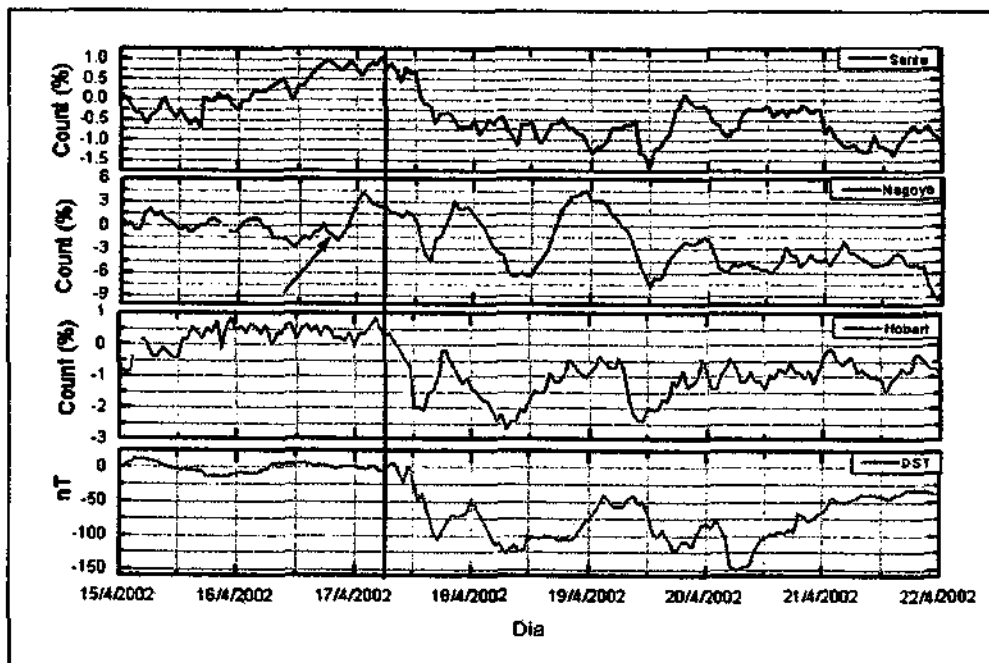


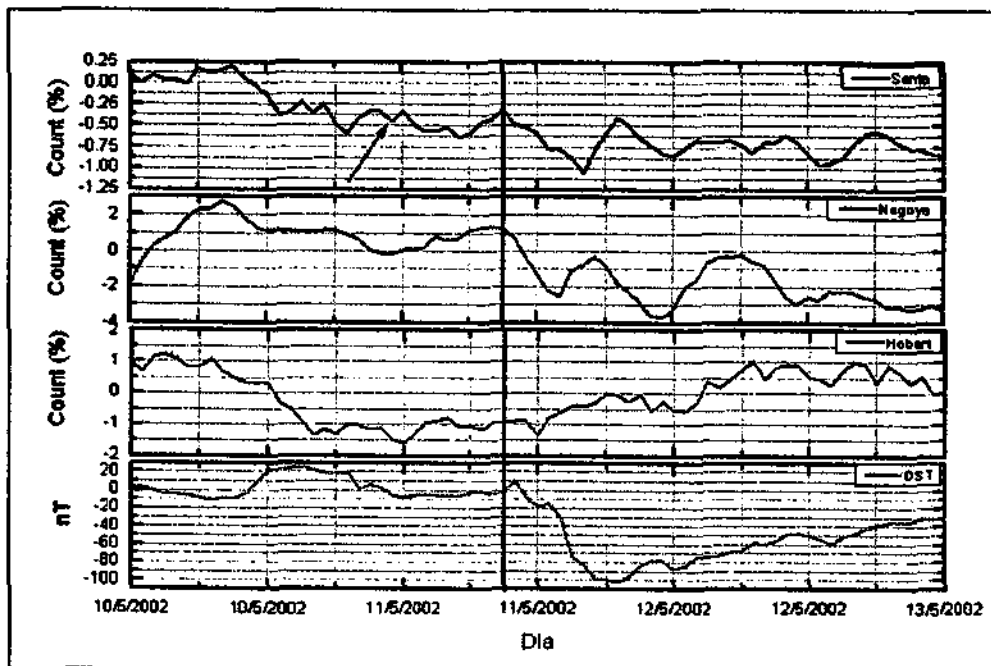
Figura 4.4: Tempestade Magnética de 28 de Outubro de 2001. A anisotropia precursora foi identificada no detector Hobart 6 horas antes da Tempestade Magnética, tendo um decréscimo relativo de 0,4 %.



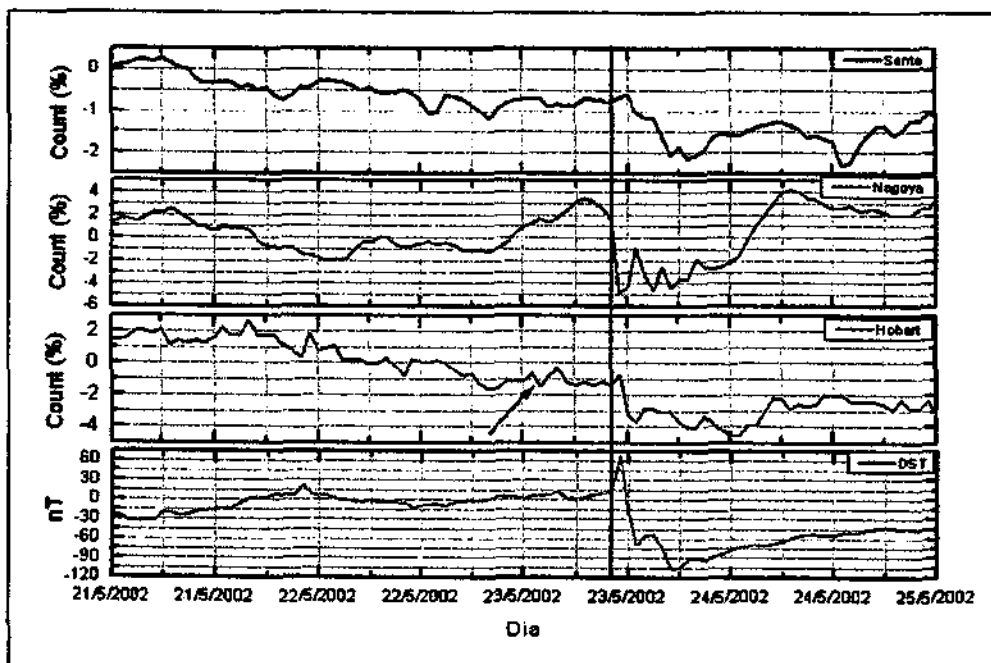
**Figura 4.5:** Tempestade Magnética de 23 de Março de 2002. No detector Hobart foi identificado indícios de anisotropias precursoras 10 horas antes do início da Tempestade Magnética, tendo uma intensidade relativa de 0,5 %.



**Figura 4.6:** Tempestade Magnética de 17 de Abril de 2002. A anisotropia precursora foi identificada no detector Nagoya 9 horas antes do início da Tempestade Magnética, tendo uma intensidade relativa de 2 %.



**Figura 4.7:** Tempestade Magnética de 11 de Maio de 2002. Foi identificada a anisotropia precursora no detector Santa 10 horas antes do início da Tempestade Magnética, tendo uma intensidade relativa de 0,1 %.



**Figura 4.8:** Tempestade Magnética de 23 de Maio de 2002. Indícios da anisotropia precursora foi identificada no detector Hobart 8 horas antes da Tempestade Magnética, tendo uma intensidade relativa de 0,9 %.

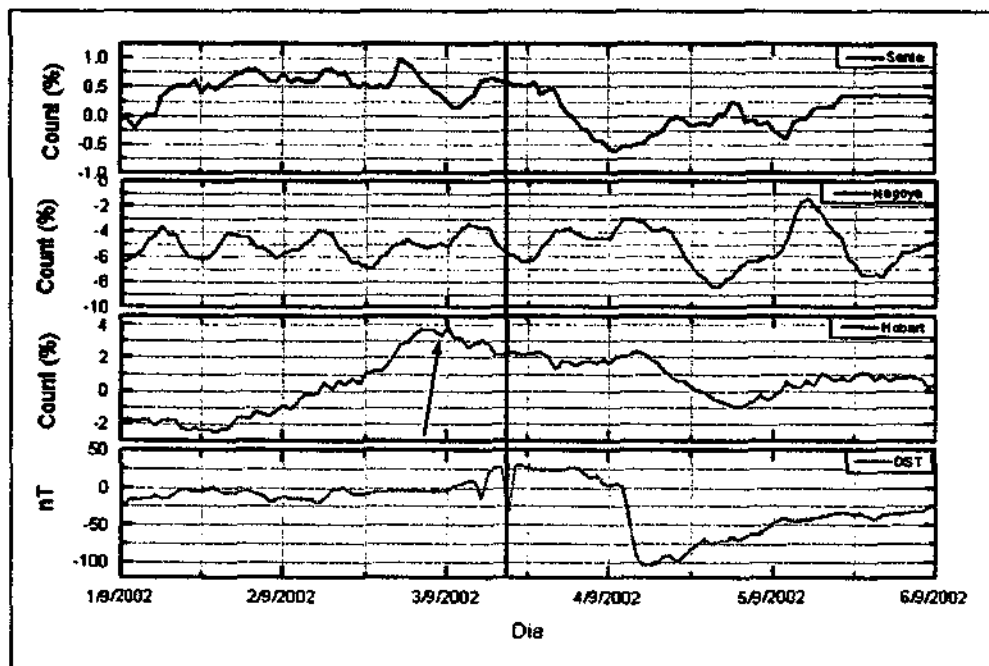


Figura 4.9: Tempestade Magnética de 3 de Setembro de 2002. Os indícios de anisotropia foi identificada no detector Hobart 9 horas antes do início da Tempestade Magnética, tendo uma intensidade de 0,5 %.

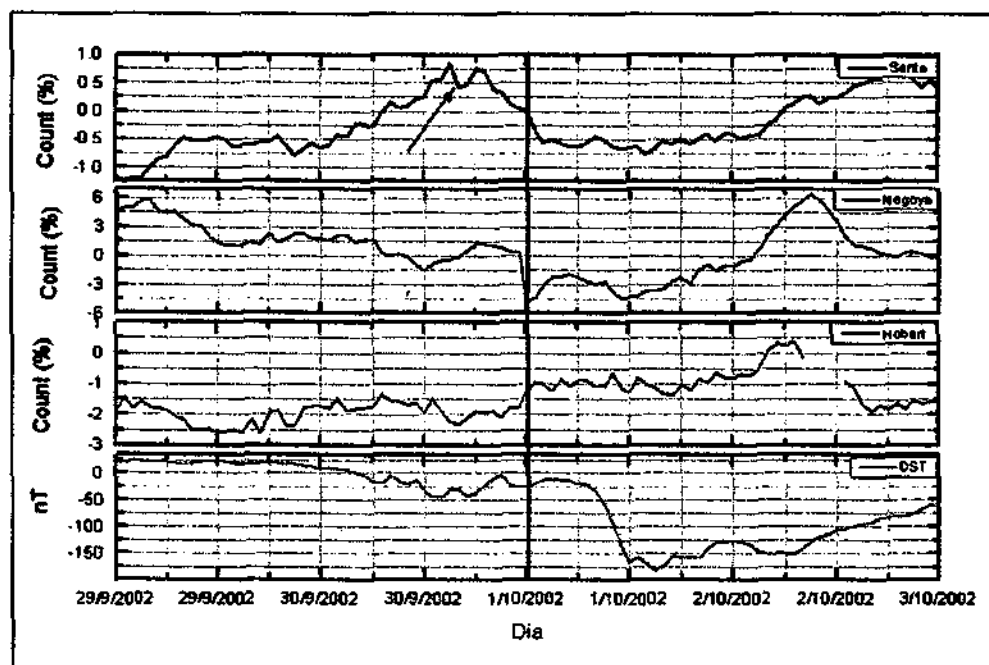
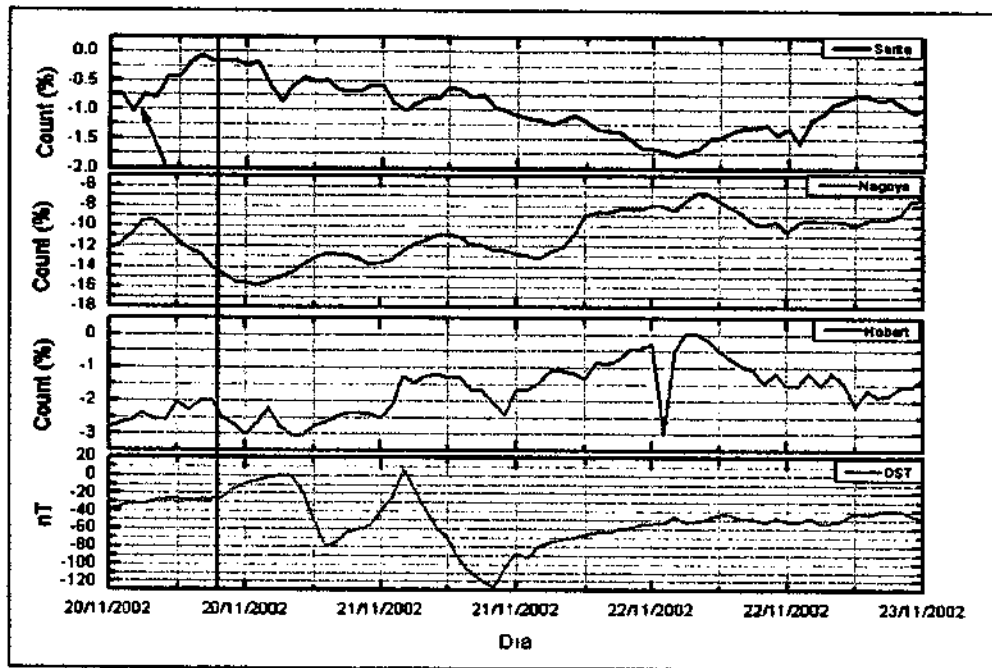


Figura 4.10: Tempestade Magnética de 1 de Outubro de 2002. A anisotropia precursora foi identificada no detector Santa 8 horas antes do início da Tempestade Magnética, tendo uma intensidade relativa de 0,4 %.



**Figura 4.11: Tempestade Magnética de 20 de Novembro de 2002. Indícios da anisotropia precursora foi identificada no detector Santa 8 horas antes do início da Tempestade Magnética, tendo uma intensidade relativa de 0,3 %.**



## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÃO

Com a análise dos dados dos detectores que fazem parte da Rede de Detectores de Muons, formada pelos detectores instalados em São Martinho da Serra - Brasil, Nagoya - Japão e Hobart - Austrália, foi possível identificar indícios de anisotropias precursoras, de estruturas solares que podem causar Tempestades Geomagnéticas.

De um total de 17 Tempestades Magnéticas intensas ( $Dst < -100$  nT), que ocorreram durante o período de Março de 2001 à Novembro de 2002, 10 (~59 %) apresentaram indícios de anisotropias precursoras, tendo uma supressão média nas contagens dos Muons de ~0,64 % e uma antecedência média de ~8,3 horas. Em 4 Tempestades (~23 %), não foi possível identificar a anisotropia precursora e nas 3 Tempestades restantes (~18 %), houve problemas nos dados de pelo menos um dos detectores, não sendo possível fazer uma análise confiável.

Com este estudo, conclui-se que a Rede de Telescópios Cintiladores de Muons vem para prover uma melhor previsão das estruturas solares que podem causar Tempestades Geomagnéticas, aumentando o tempo entre a detecção das estruturas solares e o início da tempestade magnética para em média 8,5 horas, que anteriormente era de apenas 1 hora, através de satélites.

A atual rede cobre satisfatoriamente o globo Terrestre, tendo uma eficiência de previsão em 59 % das Tempestades Magnéticas que ocorreram no período de vigência deste Projeto. Esta cobertura será melhorada com a ampliação do Telescópio protótipo (2 x 2) do Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE-MCT, para um Telescópio (6 x 6) idêntico aos Telescópios de Nagoya e Hobart. As melhorias consistem no aumento do número de canais direcionais, dos atuais 9 para 17, aumentando assim a cobertura global e reduzindo os erros estatísticos das contagens dos Muons.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo suporte financeiro e também por dar oportunidades para que jovens universitários possam entrar em contato com o mundo científico durante seus cursos de graduação;

Aos alunos que atuam na Parceria: INPE - UFSM do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM e do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE-MCT pelo apoio técnico;

Ao Orientador Dr. Walter Demetrio Gonzalez-Alarcon, pela oportunidade de trabalhar neste Projeto e disponibilizar meios para que eu aprendesse tudo o que aprendi durante o período de uma vigência;

Ao Dr. Alisson Dal Lago, um de meus Co-orientadores do projeto, pelo apoio técnico, amizade e dedicação;

Ao Dr. Kazuoki Munakata por permitir a utilização dos dados dos Detectores de Hobart e de Nagoya, sem os quais não seria possível desenvolver o Projeto satisfatoriamente e por ter sido um verdadeiro Professor, ensinando tudo o que podia sobre raios cósmicos e Previsão de Tempestades Magnéticas;

Ao Dr. Nelson Jorge Schuch por ter confiado a responsabilidade de operar o Detector de Muons do Observatório Espacial do Sul. É o grande mestre e verdadeiro amigo, sendo exemplo de liderança, responsabilidade e profissionalismo. Foi a única pessoa que demonstrou real interesse em meu desenvolvimento como pesquisador e principalmente como pessoa, disponibilizando seu tempo para discutirmos assuntos tanto profissionais quanto pessoais.

## Referências

- 1- K. Munakata, J. W. Bieber, S. Yasue, C. Kato, M. Koyama, S. Akahane, K. Fujimoto, Z. Fujii, J. E. Humble, and M. L. Duldig; *Precursors of Geomagnetic Storms Observed by the Muon Detector Network*, Journal of Geophysical Research, vol. 105, N° A12, Pages 27,457-27,468, December 1, 2000.
- 2- Brant, J. C.; *Introduction to the solar wind*. San Francisco: W. H. Freeman, 1970. 216p.
- 3- Burlaga, L. F.; *Interplanetary magnetohydrodynamics*. New York: Oxford University Press, 1995, 256p.
- 4- R. W. Schunk and A. F. Nagy; *Ionospheres- Physics, Plasma Physics, and Chemistry*, 2000.
- 5- W. H. Campbell; *Introduction to Geomagnetic Fields*, 1997
- 6- Hewish, A.; Bravo, S. *The sources of large-scale heliospheric disturbances*. Solar Phys., v.106, p.185-200, Apr. 1986.
- 7- 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.
- 8- Kamide, Y.; Baumjohann, W.; Daglis, I. A.; Gonzalez, W. D.; Grande, M.; Joselyn, J.A.; McPherron, R. L.; Phillips, J. L.; Reeves, E. G. D.; Rostoker, G.; Sharma, A. S.; Singer, H. J.; Tsurutani, B. T.; Vasyliunas, V. M.; *Current understanding of magnetic storms: storm-substorm relationships*. J. Geophys. Res., v.103, n.A8, p.17705-17728, Aug. 1998.

- 9- Gonzalez, W. D.; Joselyn, J. A.; Kamide, Y.; Kroehl, H. W.; Rostoker, G.; Tsurutani, B. T.; Vasyliunas, V. M.; *What is a magnetic storm?* J. Geophys. Res., v.99, n.A4, p.5771-5792, Apr. 1994.
- 10- 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.
- 11- A. Dal Lago, *Estudo de Nuvens Magnéticas Geoféticas no Meio Interplanetário*, 1999.
- 12- J. A. Simpson, W. Fonger, and S. B. Treiman, Phys. Rev., 90, 934, 1953.
- 13- 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.
- 14- 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.
- 15- H. V. Cane, *Cosmic Ray Decreases and Magnetic Clouds*, J. Geophys. Res., 98, 3509-3512, 1993.
- 16- 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.
- 17- H. V. Cane, I. G. Richardson, and T. T. von Rosenvinger, *Cosmic ray decreases: 1964 - 1994*, J. Geophys. Res., 101, 21,561, 1996.



- 
- 18- J. A. Lockwood, *Forbush decreases in the cosmic radiation*, Space Sci. Rev., 12, 658, 1971.
- 19- 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.
- 20- <http://www-istp.gsfc.nasa.gov/istp/outreach/>
- 21- <http://sohowww.nascom.nasa.gov>
- 22- <http://swdcdb.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/>
- 23- <http://www.bartol.udel.edu/>
- 24- <http://www.mipagina.cantv.net/aquilesr/muon.htm>
- 25- <http://www.bartol.udel.edu/~neutronm/catch/sse1.html>



**ANEXO A**  
**TRABALHOS APRESENTADOS E/OU PUBLICADOS**

Na qualidade de estudante do terceiro ano do Curso de Física tive a oportunidade de apresentar oralmente o trabalho **“Cosmic Ray Muon Observation at Southern Space Observatory – SSO (29°S, 53°W)”** no **“Eleventh United Nations\European Space Agency Workshop on Basic Space Science”** realizado pela Universidad Nacional de la Plata em nome do Governo da Argentina, no período de 9 a 13 de setembro de 2002. Fui financiado pela United Nations Office for Outer Space Affairs, Vienna International Center, sendo, este trabalho, posteriormente publicado na revista das Nações Unidas: **Seminars of the United Nations Programme on Space Applications – No14**, páginas 115-123.

#### **TRABALHOS APRESENTADOS E/OU PUBLICADOS**

##### **A.1- Cosmic Ray Muon Observation at Southern Space Observatory– SSO (29°S, 53°W)**

**M. R. Silva, D. B. Contreira, S. Monteiro, N. B. Trivedi, M. C. D’Ornellas, K. Munakata, T. Kuwabara, N. J. Schuch**

UN/ESA Workshop on Basic Space Science 2002.

##### **A.2- CME – Geometry and Cosmic-Ray Anisotropy Observed by a Prototype Muon Detector Network**

**K. Munakata, T. Kuwabara, J. W. Bieber, P. Evenson, R. Pyle, S. Yasue, C. Kato, Z. Fujii, M. L. Duldig, J. E. Humble, M. R. Silva, N. B. Trivedi, W. D. Gonzalez, N. J. Schuch**

COSPAR 2002.

##### **A.3- An Experiment to Study the Solar Flares Effects on Radio Communication Signals**

**D. B. Contreira, F. S. Rodrigues, K. Makita, C. G. M. Brum, W. Gonzalez, E. R. de Paula, M. R. da Silva and N. J. Schuch**

COSPAR 2002.

**A.4- Importância dos Raios Cósmicos na Previsão do Clima Espacial**

M. R. da Silva, M. Canabarro, D. B. Contreira, S. O. Monteiro, R. Krummenauer, J. V. Bageston, N. J. Schuch e W. D. Gonzalez

XVII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica, UPF 2002.

**A.5- Observações de Raios Cósmicos no Observatório Espacial do Sul – OES (29°S, 53°O)**

M. R. da Silva, M. Canabarro, D. B. Contreira, S. O. Monteiro, R. Krummenauer, J. V. Bageston, N. J. Schuch e W. D. Gonzalez

XVII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica, UPF 2002.

**A.6- Efeito de Explosões Solares Observados em Sinal de Rádio Comunicação no Observatório Espacial do Sul OES/CRSPE/INPE (29° S, 53° O)**

D. B. Contreira, M. Canabarro, S. O. Monteiro, M. R. da Silva, R. Krummenauer, J. V. Bageston, M. R. Signore, F. Rodrigues, K. Makita, N. J. Schuch, W. D. Gonzalez

XVII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica, UPF 2002.

**A.7- Observação de Parâmetros do Meio Interplanetário Responsáveis pela Origem da Tempestade Geomagnética de 17 de Abril de 2002**

D. B. Contreira, M. Canabarro, S. O. Monteiro, M. R. da Silva, R. Krummenauer, J. V. Bageston, M. R. Signore, A. Dal Lago, N. J. Schuch, W. D. Gonzalez

XVII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica, UPF 2002.

**A.8- Estudo das Cintilações em Sinais de Satélites GPS**

R. Krummenauer, M. R. Signori, M. Canabarro, J. V. Bageston, S. O. Monteiro, D. B. Contreira, M. R. da Silva, F. S. Rodrigues, N. J. Schuch

XVII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica, UPF 2002.

**A.9- Estudo da Aeroluminescência na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul Usando um Espectro Imageador de Varredura Meridional**

J. V. Bageston, S. O. Monteiro, D. B. Contreira, M. R. da Silva, R. Krummenauer, M. R. Signori, M. Canabarro, N. J. Schuch, D. Gobbi, H. Takahashi

XVII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica, UPF 2002.



**A.10- Importância da Implementação da Rede de Plataformas de Coletas de dados Meteorológicos no Rio Grande do Sul**

**M. R. da Silva, N. J. Schuch, P. P. Machado, D. B. Contreira, M. Canabarro, R. Krummenauer**

XVII Jornada Acadêmica Integrada, UFSM 2002.

**A.11- O Sol e a Origem das Tempestades Geomagnéticas**

**D. B. Contreira, N. J. Schuch, M. R. da Silva, S. O. Monteiro, M. Canabarro, W. D. Gonzalez**

XVII Jornada Acadêmica Integrada, UFSM 2002.

**A.12- Instrumentação na Banda de HF para Monitoramento Ionosférico no Observatório Espacial do Sul**

**M. Canabarro, N. J. Schuch, D. B. Contreira, M. R. Silva, J. V. Bageston R. Krummenauer**

XVII Jornada Acadêmica Integrada, UFSM 2002.



## **ANEXO B**

### **RESUMOS E ARTIGOS APRESENTADOS E/OU PUBLICADOS**

## COSMIC RAY MUON OBSERVATION AT SOUTHERN SPACE OBSERVATORY – SSO (29° S, 53°W)

M. R. Silva<sup>(1)</sup>, D. B. Contreira<sup>(1)</sup>, S. Monteiro<sup>(1)</sup>, N. B. Trivedi<sup>(1)</sup>, M. C. D’Ornellas<sup>(2)</sup>,  
K. Munakata<sup>(3)</sup>, T. Kuwabara<sup>(3)</sup>, N. J. Schuch<sup>(1)</sup>

marios@lagesm.ufsm.br

(1) Southern Regional Space Research Center – CRSPE/INPE-MCT – Santa Maria, Brazil

(2) Federal University of Santa Maria – UFSM – Santa Maria, Brazil

(3) Physics Department, Faculty of Science, Shinshu University – Matsumoto, Japan

### Abstract

*Under an agreement of scientific cooperation between Brazil and Japan, a prototype detector of cosmic ray muons has been operating since March 2001 at Southern Space Observatory – SSO located at São Martinho da Serra (29°S, 53°W), Brazil, in order to observe cosmic ray precursors of geomagnetic storms. This detector plays a key roll in the prototype network of muon observations together with two larger detectors operating in Japan and Australia. The planned extension of the detector in its size will complete the global coverage of our muon detector network. The prototype network has already discovered cosmic ray precursors of several magnetic storms, as reported by Munakata et al. (2000, 2001). We have also observed the Forbush Decreases (FD’s), as well as the precursory enhancements of cosmic ray anisotropy preceding the onsets of geomagnetic storms. This report presents the description of the network and some results obtained since the prototype detector implementation.*

### Introduction

Cosmic rays have been studied as a natural phenomenon that can tell us much about both the Earth’s environment in space and distant astrophysical processes (Suess et al., 2000). A solar disturbance propagating away from the Sun affects the pre-existing population of galactic cosmic rays in a number of ways. For instance, analysis of cosmic ray anisotropy ( $B \times \mathbf{n}$ ) with the IMF ( $B$ ) data measured by space probe yields the cosmic ray gradient vector ( $\nabla \mathbf{n}$ ), which contains valuable information about the large-scale structure and geometry of the CME (Bieber and Evenson, 1998).

The ground-based measurements using neutron monitors (Simpson et al., 1953) and muon detectors (Fujimoto et al., 1976; 1984) are preferred for measuring anisotropies of primary cosmic rays with energy greater than 1 GeV, as a detector with large volume can be deployed on the ground. These energetic particles are of great interest from a space weather perspective for several reasons. First, these particles travel nearly at the speed of light. Such particles, which interact with a shock or CME, get out the downstream region and race ahead of the much slower shock, can provide advance warning of a disturbance approaching to the earth. Second, they have large mean free paths of the pitch-angle scattering. This is important because precursory signatures of an approaching disturbance are wiped out by the scattering after particles travelling further than a mean free path. Third, the Larmor radii of these particles in the IMF are larger than the size of the Earth’s magnetosphere, but smaller than the typical scale size of disturbances. The typical energy of cosmic rays measured by a muon detector is 50 GeV, which corresponds to a Larmor radius of  $\sim 0.2$  AU. This is significant because it implies that the kinetic anisotropy and gradient mainly reflect the structure of the disturbance of this scale.

In March 2001, a prototype muon detector was installed at São Martinho da Serra (29°26'24"S, 53°48'38"W, 500m above sea level) in the main building of the Southern Space Observatory (SSO) of the National Institute for Space Research (INPE), Brazil. It has been operating since then in order to get basic information on the performance of the full-scale network with a planned large muon detector in Brazil.

### Instrumentation

Since the detectors with large volume can be installed at ground-based stations, neutron monitor (*Simpson et al., 1953*) and muon detectors (*Fujimoto et al., 1976; 1984*) are the preferred instruments for measuring anisotropies of >1 GeV cosmic rays. Typical neutron monitor has maximum response to ~10 GeV primary cosmic rays, while muon detector responds to ~50 GeV cosmic rays. As high energy muons travel straight in the atmosphere keeping the information of the incident direction of primary cosmic rays, we can make the directional measurement of cosmic ray intensity by installing multidirectional muon telescopes at a single station. However, the current muon detector network is hampered by a lack of station(s) in the western hemisphere. The symbols (squares, triangles and diamonds) in Figure 1 show the asymptotic viewing directions (after correction for geomagnetic bending) of cosmic ray particles incident to each directional telescope (*Munakata et al., 2000*), in the network before installing the prototype detector in Brazil. The thin lines through the symbols encompass the central 80% of the energy response of each directional channel (*Bieber et al., 2001*). This illustration demonstrates the need for a new muon detector for filling the big gap over the European and Atlantic area.

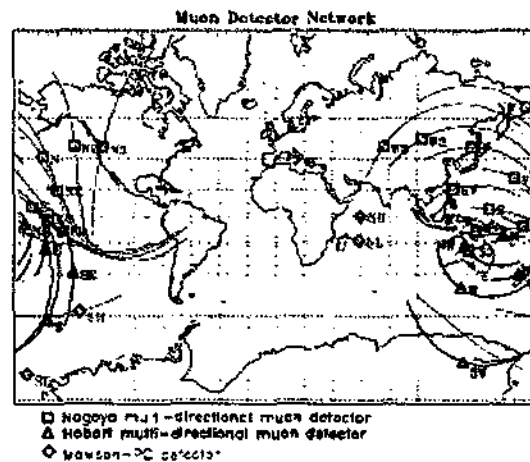


Figure 1. The big gap before the installation of the prototype muon detector at SSO.

In early March 2001, a small prototype muon detector was installed at São Martinho da Serra (29°26'24"S, 53°48'38"W, above 500 m sea level), at the Southern Space Observatory of National Institute for Space Research, Brazil, to fill the gap in Figure 1.



**Figure 2.** The prototype muon detector installed at Southern Space Observatory.

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 2x2 array of 1 m<sup>2</sup> unit detectors (1m x 1m x 0.1m plastic scintillator viewed by a photomultiplier tube of 12.7 cm diameter) giving a total detection area of 4 m<sup>2</sup> (Figure 2). The observed count rate in the vertical channel is 390,000 count per hour (cph). The detector is identical to that operating in Nagoya, Japan, except for its smaller detection area (Nagoya muon detector has a total detection area of 36 m<sup>2</sup> and a vertical count rate of 2,760,000 cph).

The muon detector is multidirectional, i.e. it detects the muon intensity in every channel of incident direction of muons. The detector at São Martinho da Serra has 9 directional channels: Vertical, North, South, East, West, North-East, North-West, South-East and South-West respectively represented by the symbols: V, N, S, E, W, NE, NW, SE, SW. Table 1 summarizes characteristics of directional telescopes in São Martinho da Serra, including the median rigidity ( $P_m$ ) of primary cosmic rays. (Munakata *et al.*, 2000).

Telescope Name	Hourly Count, 10 <sup>4</sup> cph	Count Error %	$P_m$ GV
São Martinho (29.4° S, 306.2° E)			
V	39	0.16	53
N	11	0.30	58
S	11	0.30	57
E	11	0.30	59
W	11	0.30	56
NE	4.7	0.46	64
NW	5.4	0.43	61
SE	5.3	0.43	63
SW	5.5	0.43	60

**Table 1.** Characteristics of the prototype muon detector at SSO.

We have been planning to expand the 2x2 array of 1 m<sup>2</sup> detectors at São Martinho da Serra to a 6 x 6 array. This expansion will increase the number of directional channels of cosmic ray intensity

to 17 (from 9 at present), as well as the count rate in each channel (the vertical count rate, for instance, is expected to be 2,860,000 cph).

Figure 3 shows the directional coverage of the full-scale network with the expanded detector at São Martinho da Serra, in the same manner as in Figure 1. The open circles show the viewing directions of the present prototype detector at São Martinho da Serra, while the solid circles show new directions to be added by the proposed expansion. The count rates in all directional channels at São Martinho da Serra would also increase dramatically.

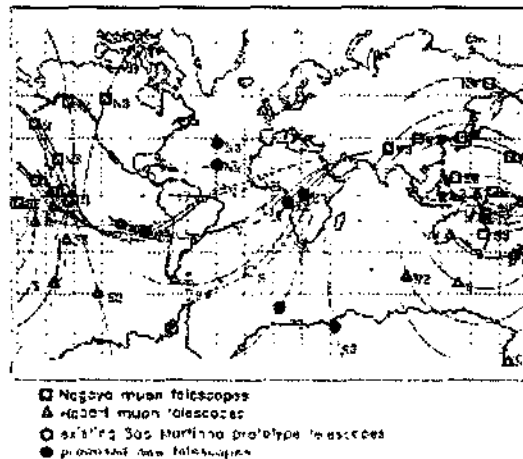


Figure 3. Proposed expanded muon detector network.

### Data observation and results

Large geomagnetic storms are primarily caused by interplanetary disturbances associated with the coronal mass ejections (CMEs) (Gosling *et al.*, 1990; Gosling, 1993). The population of energetic particles observed by ground level detectors is also modulated by the interplanetary disturbances like shocks and ejecta (shock drivers) associated with CMEs (Lockwood, 1971). The intensity of cosmic rays with energy above 1 GeV is normally suppressed by 1-10%, downstream of the shock and within ejecta following the shock. Munakata *et al.* (2000) have previously identified cosmic ray precursors with lead times ranging from 6 to 9 hours prior to the storm sudden commencement (SSC) and demonstrated that the muon detector network may provide useful information for space weather forecasting.

The nine directional telescopes installed at the Southern Space Observatory (SSO) started operating on March 8, 2001 with a vertical count rate of 390,000 counts per hour. The real time data can be exchanged between three stations in Brazil, Japan and Australia through the INTERNET. Cosmic ray precursors of geomagnetic storms have been observed by the prototype network and previously reported by Munakata *et al.* (2001). The Brazilian team has also been analyzing the data and studying the muon response to geomagnetic storms. Some sample events observed with muon detector network are displayed in Figure 4, which shows (on the top panel) the percentile variation of muon hourly count.

Also shown in the figure are the Dst index data (the second panel from the top), the IMF components,  $B_z$  and  $B_x$ , (the third panel) and the solar wind speed (the last panel) measured by the ACE satellite. The Dst index is used to identify the occurrence of geomagnetic storms, while the IMF and solar wind data are used to identify the shock arrival at the earth. In Figure 4 we can see the immediate decreases of the cosmic ray intensity, signatures of the Forbush Decreases (FDs). The FD was first discovered at the beginning of cosmic ray studies and has been studied for more than 60 years (*Forbush, 1937*). This phenomenon is primarily defined as a decrease of cosmic ray intensity during geomagnetic storm (*Dorman, 1963*). However it is also known that the FDs are often observed under the quiet geomagnetic conditions as well. Figure 5 shows an example of FDs observed by our network during quiet geomagnetic activity.

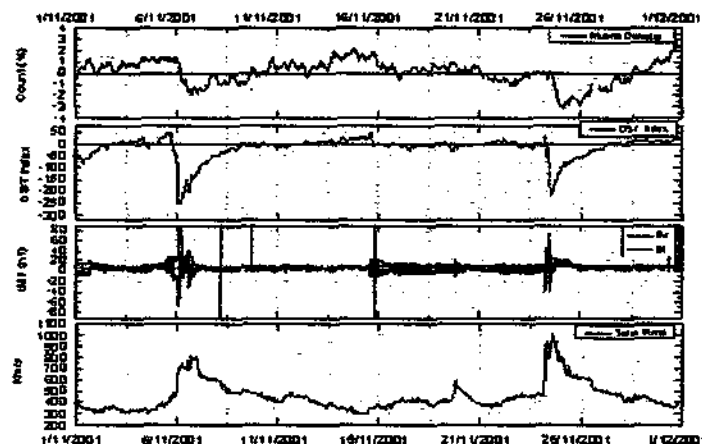


Figure 4. Example of cosmic ray data recorded by São Martinho da Serra prototype muon detector. The top panel indicates the muon count rate in November 2001. Dst index data (second panel), IMF components (third panel) and solar wind speed (last panel) have been collected through the internet and used to identify the onset of geomagnetic storm and the shock arrival at the earth. Two Forbush Decreases identified by accentuated decreases in the cosmic ray count can be seen.

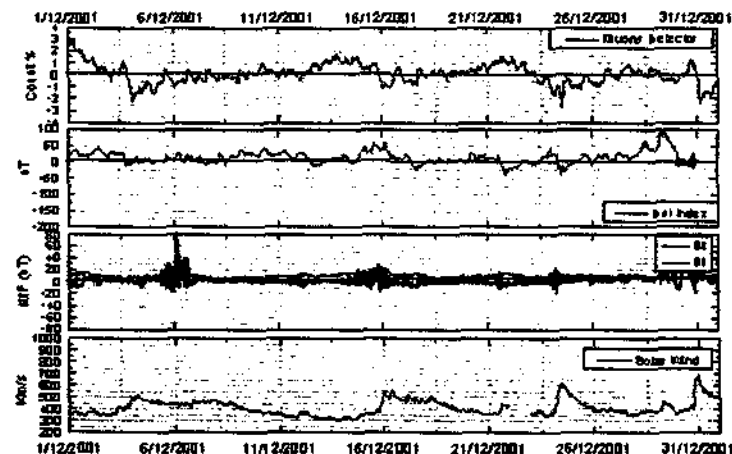
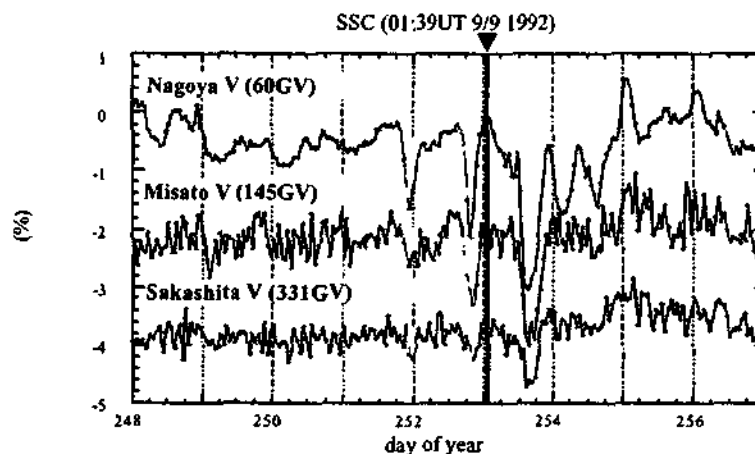


Figure 5. Example of Forbush Decrease occurred during quiet geomagnetic conditions. A Forbush Decrease of  $\sim 2\%$  associated with a Dst decrease of about  $-10$  nT is observed in December 3.

Munakata et al. have analyzed the cosmic ray precursors of geomagnetic storms and the pitch angle distributions recorded by a network of ground level muon detectors in Nagoya (Japan), Hobart (Australia), Mawson (Antarctica) and a prototype muon detector in São Martinho da Serra (Brazil) (Munakata et al., 2000, 2001). Figure 6 shows a cosmic ray precursor of a large geomagnetic storm with the maximum Kp index of 7.3 reported by Munakata et al (2000). Shown in this figure are the temporal variations of the hourly count rates in three vertical muon telescopes at Nagoya, Misato and Sakashita. Misato and Sakashita are Japanese underground muon detectors at vertical depths of, respectively, 34 and 80 m of water equivalent. The median primary energies of vertical telescopes at Misato and Sakashita are, respectively, 145 and 331 GeV. The sharp intensity decreases preceding the SSC indicated by a vertical line are clearly seen in the count rates recorded at Nagoya and Misato on day 251 and 252. It is visible even in Sakashita data, but less prominent than in other data at shallower depths. These decreases are the manifestation of the “loss-cone” intensity distribution observed by a single telescope as its viewing direction sweeps across the sunward IMF. The presence of the “loss-cone” effect in Misato and Sakashita data indicates that the “loss-cone” precursor of this storm is a high energy phenomenon.



**Figure 6.** Temporal variations of cosmic ray intensity observed for a storm on September 9, 1992. Relative counting rate of cosmic ray muons recorded by three vertical telescopes at Nagoya, Misato and Sakashita are plotted as functions of time (day of year). The data plotted in this figure are corrected for atmospheric pressure variation, but uncorrected for temperature variation.

### Summary

We have studied the cosmic ray response to geomagnetic storms by analyzing the data recorded by a ground level prototype muon detector installed at the Southern Space Observatory - SSO. Monitoring energetic cosmic ray intensity is of wide importance since it can provide good parameters reflecting the nature of interplanetary disturbances. Munakata et al. (2000) have previously demonstrated that the muon detector network can be a good tool for space weather forecasting as it can observe cosmic ray precursors from 6 to 9 hours prior to the storm onset. It can also be used to predict the arrival of CME at the earth and the consequent development of the



magnetic storm. Energetic particles associated with a CME can produce serious damages in spacecraft systems, and the enhanced electromagnetic emission from the sun, mainly in x-ray band, leads to failures in radio communications due to the anomalous increase of ionization in ionospheric layers. A great part of these failures could be avoided with an efficient system, which can predict with hours of antecedence the arrival of energetic particles and allow the satellites and electronic systems to be turned off in advance. The present muon detector network, however, still has a big gap in directional coverage over the Atlantic and European regions. This gap disabled us from precisely evaluating the appearance time of long lasting precursors. As illustrated in Figure 3 (open circles), even a single prototype muon detector installed in the southern Brazil provided a large improvement in the sky coverage over the Atlantic region. The expansion of the detector in its size is therefore required for both better understanding of the cosmic ray precursors and space weather forecasting. A new muon detector (6x6 array) will be installed in the Southern region of Brazil, at Southern Space Observatory, to complete the full-scale network without the gap over European and Atlantic regions.

### Acknowledgments

We thank to the group of research workers at the Space Weather Laboratory, to Shinshu University for technical support and also to the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – for the financial support.

### References

- Bieber, J. W., P. Everson, *CME Geometry in Relation to Cosmic Ray Anisotropy*, Geophysical Research Letter, 25, pp 2955-2958, 1998.
- Bieber, J. W., Clem, J., Duldig, M. L., Everson, P., Humble, J. E., Pyle, R., *A Continuing Yearly Neutron Monitor Latitude Survey: Preliminary Results from 1994-2001*, Proc. 27<sup>th</sup> International Cosmic Ray Conference, Hamburg, 10, 4087-4090, 2001.
- Bieber, J. W., Clem, J., Duldig, M. L., Everson, P., Humble, J. E., Pyle, R., *New Method of Observing Neutron Monitor Multiplicities*, Proc. 27<sup>th</sup> International Cosmic Ray Conference, Hamburg, 10, 4091-4094, 2001.
- Dorman, L.I., *Geophysical and Astrophysical Aspects of Cosmic Rays*, Pro. Phys. Cosmic Ray Elementary Particles, ser. Vol.7, 320 pp., North-Holland, New York, 1963.
- Forbush, S. E., *On the Effects in the Cosmic-Ray Intensity Observed During Geomagnetic Storms*, Phys. Rev., 51, 1108-1112, 1937.
- Fujimoto, K., S. Yasue, N. Yahagi, A. Inoue, K. Murakami, M. Kodama, I. Kondo, K. Nagashima, *Coupling Coefficients Of The Cosmic Ray Variation For Underground Meson Telescopes*, Proc. of International Cosmic Ray Symposium On High Energy Cosmic Ray Modulation, University Of Tokyo, pp 60-65, 1976.

Fujimoto, A. Inoue, K. Murakami, K. Nagashima, *Coupling Coefficients Of Cosmic Ray Daily Variation for Meson Telescopes*, Report Of Cosmic-Ray Research Lab., N°.9, Nagoya University, 1984.

Gosling, J. T., Bame, S. J., McComas, D. J. and Phillips, J. L., *Coronal Mass Ejections and Large Geomagnetic Storms*; Geophysics Research Letters 17, 901-904, 1990.

Gosling, J.T., *The Solar Flare Myth*., Journal Geophys. Res., 98, 18, 937-18, 949, 1993.

Munakata, K. , J. W. Bieber, S. 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*, Journal of Geophysical Research, vol. 105, no A12, pp 27,457-27,468, December 1, 2000.

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

Lockwood, J.A., *Forbush Decrease in the Cosmic Radiation*, Space Sci. Rev., 12, 658-715, 1971.

Simpson, J.A., W. Fonger, And S.B. Treinman, *Phys Rev.*, 90, 934, 1953.

Suess, Steven T., Tsurutani, Bruce T., *From The Sun*, American Geophysical Union – Washington DC, 2000.

## **CME-GEOMETRY AND COSMIC-RAY ANISOTROPY OBSERVED BY A PROTOTYPE MUON DETECTOR NETWORK**

K. Munakata<sup>1</sup>, T. Kuwabara<sup>1</sup>, J. W. Bieber<sup>2</sup>, P. Evenson<sup>2</sup>, R. Pyle<sup>2</sup>, S. Yasue<sup>1</sup>, C. Kato<sup>1</sup>, Z. Fujii<sup>3</sup>, M. L. Duldig<sup>4</sup>,  
J. E. Humble<sup>5</sup>, M. R. Silva<sup>6</sup>, N. B. Trivedi<sup>6</sup>, W. D. Gonzalez<sup>6</sup>, and N. J. Shuch<sup>6</sup>

<sup>1</sup>*Physics Department, Shinshu University, Matsumoto, Nagano 390-8621, JAPAN*

<sup>2</sup>*Bartol Research Institute, University of Delaware, Newark, DE 19716, USA*

<sup>3</sup>*Solar Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, Nagoya, Aichi 464-8601, JAPAN*

<sup>4</sup>*Australian Antarctic Division, Kingston, Tasmania 7005, AUSTRALIA*

<sup>5</sup>*School of Mathematics and Physics, University of Tasmania, Hobart, Tasmania 7001, AUSTRALIA*

<sup>6</sup>*Southern Regional Space Research Center, National Institute for Space Research (OES/CRSPE/INPE),  
Santa Maria, RS, BRAZIL*

### **ABSTRACT**

We analyze the cosmic-ray anisotropy observed by a prototype network of muon detectors during geomagnetic storms associated with CMEs. The network currently consists of multidirectional surface muon detectors at Nagoya (Japan) and Hobart (Australia), together with a prototype detector at São Martinho (Brazil) which has been in operation since March, 2001. In this report, we analyze the anisotropy recorded in both the muon detector and neutron monitor (the *Spaceship Earth*) networks and find significant enhancements of cosmic-ray anisotropy during geomagnetic storms. Following the analysis by Bieber and Evenson (1998) for the neutron monitor data at  $\sim 10$  GeV, we also derive cosmic-ray density gradients from muon data at higher-energy ( $\sim 50$  GeV), possibly reflecting the larger-scale geometry of CMEs causing geomagnetic storms. We particularly find in some events the anisotropy enhancement clearly starting prior to the storm onset in both the muon and neutron data. This is the first result of the CME-geometry derived from simultaneous observations of the anisotropy with networks of multidirectional muon detectors and neutron monitors.

### **PROTOTYPE MUON DETECTOR NETWORK**

By analyzing the cosmic-ray anisotropy observed by a network of multi-directional muon telescopes in Japan, Australia and Antarctica during periods preceding major geomagnetic storms, Munakata et al. (2000) demonstrated that a muon detector network can provide a good tool for forecasting large geomagnetic storms and for better understanding space weather in the vicinity of the earth. However, the network had a serious gap in its directional coverage over the Atlantic and European region. Due to this gap, they couldn't analyze the cosmic-ray precursors for 43.6% of storms. The gap also made it difficult to precisely estimate the appearance time of precursors preceding the onset of storms. To fill this gap, a small multi-directional muon detector was installed at the INPE's Southern Space Observatory in São Martinho da Serra, near Santa Maria, southern Brazil, and has been in operation since March 2001 (Munakata et al., 2001). This detector together with larger detectors operating in Nagoya (Japan) and Hobart (Tasmania, Australia) composes the "prototype muon detector network" covering a full pitch angle range. The network will be further enhanced in the near future, through an enlargement of the São Martinho detector by a factor of 6, with an attendant increase in the number of distinct viewing directions.

Munakata et al. (2001) reported preliminary results of the pitch angle distribution of cosmic ray intensity observed by the prototype network. In the present paper, we analyze the first order anisotropy of intensity distribution. Following the analysis by Bieber and Evenson (1998), we then deduce from the obtained anisotropy the spatial gradient of cosmic ray density, which gives us valuable information on the geometry of the interplanetary disturbances like CMEs. We also compare the results with those obtained from the *Spaceship Earth* (SSE) neutron monitor (NM) network observation during the same period.

## DATA ANALYSIS AND RESULTS

We analyze the hourly count rate of cosmic ray muons corrected for the atmospheric pressure variation during periods including reported geomagnetic storms. During 8 months between March and November 2001, there are 23 geomagnetic storms recorded with the maximum Kp index equal to or greater than 4.0. We analyze the counting rates recorded in a total of 35 directional telescopes in the network. The median rigidity ( $P_m$ ) of primary galactic cosmic rays, calculated by utilizing the response function of muons in the atmosphere to primary particles (Murakami et al., 1979), ranges from 53 to 119 GV and the statistical error of hourly count rate is estimated to be between 0.06% and 0.43%. To normalize the data for differing detector efficiencies, we first obtain the percent deviation ( $I_{ij}^{dev}(t)$ ) of each hourly counting rate in each directional telescope (the  $j$ th telescope in the  $i$ th detector) from the trailing average over 24 hours preceding the hour under consideration ( $t$ ). Note that this percent deviation is derived using the “trailing” average and is not affected by the variation occurring after  $t$ . We also normalize the trailing average in each telescope to that in Nagoya vertical telescope. This is needed to normalize the data for differing energy responses and suppress the spurious anisotropy sometimes caused by the energy dependent variation in the isotropic component of cosmic ray intensity. For muons with energies considered here, we also need to correct  $I_{ij}^{dev}(t)$  for the atmospheric temperature effect, which is expected to be almost common for all telescopes (subscript  $j$ ). In this paper, we make this correction by internormalizing  $I_{ij}^{dev}(t)$  for “N” of Hobart to that for “S2” of Nagoya, both of which have viewing directions (at median rigidity) well overlapping with each other over the north-east coast of Australia. By this method, we can eliminate the temperature effect from the anisotropy in  $I_{ij}^{dev}(t)$ s of 26 directional telescopes at Nagoya and Hobart. At present we have no way to internormalize  $I_{ij}^{dev}(t)$  at São Martinho, as there is no overlapping pair of telescopes between São Martinho and Nagoya or Hobart. Figure 1 shows  $I_{ij}^{dev}(t)$  recorded in three vertical telescopes at Nagoya

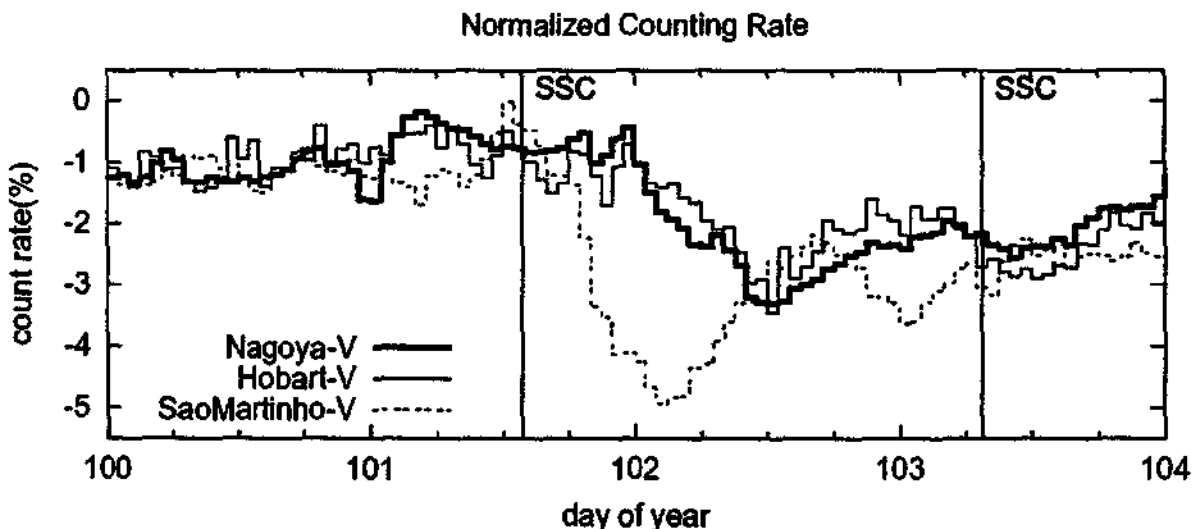


Fig. 1. The normalized count rates recorded in three vertical telescopes at Nagoya (thick curve), Hobart (thin curve) and São Martinho (broken curve) as functions of the day of year (DOY) on the horizontal axis over 4 days, including a large geomagnetic storm occurred in 11 (101 DOY) April, 2001.

(thick curve), Hobart (thin curve) and São Martinho (broken curve) as functions of the day of year (DOY) on the horizontal axis over 4 days. This sample period includes a large geomagnetic storm (maximum Kp index is 8+) occurred in 11 (101 DOY) April, 2001. This storm was associated with clear signatures of the arrival of an interplanetary shock at the earth, such as sudden increases of both solar wind bulk speed and the interplanetary magnetic field (IMF) magnitude. The onset of the SSC which well coincides with each shock arrival is indicated by the vertical line in the figure. The common decrease ( $\sim 2\%$ ) in these three directional channels is a manifestation of the Forbush decrease of the isotropic intensity. Clearly seen in this figure is the daily variation of counting rate superposed on the Forbush decrease and being enhanced following the SSC. It is also seen that the daily variations at Nagoya and São Martinho are almost out of phase to each other. This is a clear signature of the enhanced anisotropy of cosmic ray intensity.

To analyze the temporal variation of the anisotropy separately from the isotropic component of cosmic ray intensity, we make the following best-fit calculation ( $I_{i,j}^{af}(t)$ ) for the  $I_{i,j}^{of}(t)$ ,

$$I_{i,j}^{af}(t) = c_{0i,j}^0 I^0(t) + \xi_x^{GEO}(t)(c_{1i,j}^1 \cos \omega t_i - s_{1i,j}^1 \sin \omega t_i) + \xi_y^{GEO}(t)(s_{1i,j}^1 \cos \omega t_i + c_{1i,j}^1 \sin \omega t_i) + \xi_z^{GEO}(t)c_{1i,j}^0, \quad (1)$$

where  $I^0(t)$ ,  $\xi_x^{GEO}(t)$ ,  $\xi_y^{GEO}(t)$  and  $\xi_z^{GEO}(t)$  are the best-fit parameters at the universal time  $t$ , representing respectively the cosmic ray density (or isotropic component of intensity) and three components of the anisotropy vector in the geographical coordinate system,  $c_{0i,j}^0$ ,  $c_{1i,j}^1$ ,  $s_{1i,j}^1$  and  $c_{1i,j}^0$  are so called ‘‘coupling coefficients’’ for the cosmic ray density and the first order anisotropy (Fujimoto et al., 1984),  $t_i$  is the local time at the geographical location of the  $i$ th detector and  $\omega = 2\pi/24$ . In calculating the coupling coefficients in Eq. (1), we assumed the rigidity independent anisotropy in space. The obtained anisotropy vector  $\xi^{GEO}$  is transformed to  $\xi$  in the GSE coordinate system and its three components,  $\xi_x(t)$ ,  $\xi_y(t)$  and  $\xi_z(t)$ , are calculated. The anisotropy  $\xi(t)$  is then corrected for the solar wind convection anisotropy and for the Compton-Getting anisotropy due to the earth’s orbital motion around the sun. Based on the ‘‘weak scattering’’ regime for cosmic rays at muon detector and NM energies, we assume that the enhanced anisotropy in Figure 1 is predominantly a result of  $\mathbf{B}(t) \times \nabla n$  drift flux driven by gradients perpendicular to the IMF ( $\mathbf{B}(t)$ ). Following Bieber and Evenson (1998), we can derive the fractional gradient  $G_{\perp}(t) = \nabla_{\perp} n/n$  (%/AU) perpendicular to the IMF from the anisotropy vector, as

$$\mathbf{G}_{\perp}(t) = -\mathbf{b}(t) \times \xi^{(P)}(t) / R_L(t), \quad (2)$$

where  $\xi^{(P)}(t)$  is the anisotropy vector corrected for the convection and Compton-Getting anisotropies,  $R_L(t)$  is the particle Larmor radius in AU and  $\mathbf{b}(t)$  is a unit vector in the direction of IMF. We used 1-hour averages of the *ACE* plasma data (Level 2), lagged by 1 hour as a rough correction for the solar wind transit time between the *ACE* satellite and the earth. The unit vector  $\mathbf{b}(t)$  also used *ACE* data lagged by 1 hour.

Figure 2a shows best-fit parameters and  $G_{\perp}$  obtained for a sample period in Figure 1, while Figure 2b displays the same quantities derived from the *SSE* NM network. For the analysis of NM network data, readers can refer to Bieber and Evenson (1998). From the top to the bottom, each panel in Figures 2a and 2b displays the best-fit density ( $I^0(t)$ ), the north-south (NS) anisotropy ( $\xi_z$ ), the component anisotropy in the ecliptic plane ( $\xi_x$ ,  $\xi_y$ ) and the negative gradient vector projected on the x-y and y-z planes. In the third panel, we plotted  $\xi_x$  and  $\xi_y$  in a grayscale format. Each vertical stripe represents 1 hour of data, with lighter colors denoting a higher cosmic ray flux and darker colors denoting lower flux. Saturation occurs at +1.0 % (white) and -1.0 % (black). For instance, particles streaming directly outward from the sun would produce a peak flux from  $0^\circ$  GSE longitude. Also shown by open circles in the second and third panels are the GSE latitude and longitude of hourly mean IMF direction. Plotted in the bottom two panels is  $R_L(t)G_{\perp}(t)$ , which is effectively the gradient measured in units of the Larmor radius. Taking 50 GV as typical rigidity in the muon observation, the Larmor radius is 0.2 AU (5 nT field), and 1 % in Figure 2a corresponds to 5 %/AU. Clearly seen in these figures is the cosmic ray anisotropy being enhanced after the onset of the SSC in both the muon and NM data. As in this example, we often observe the enhanced anisotropy corresponding to an increased flux of particles arriving from somewhere in the  $0^\circ$ - $90^\circ$  quadrant in GSE longitude. It is interesting to note that such enhancement can also be seen in the muon data between 101.0-101.5 DOY, more than half a day prior to the SSC. The negative NS anisotropy corresponding to an excess flux from the south of the ecliptic plane is also enhanced around

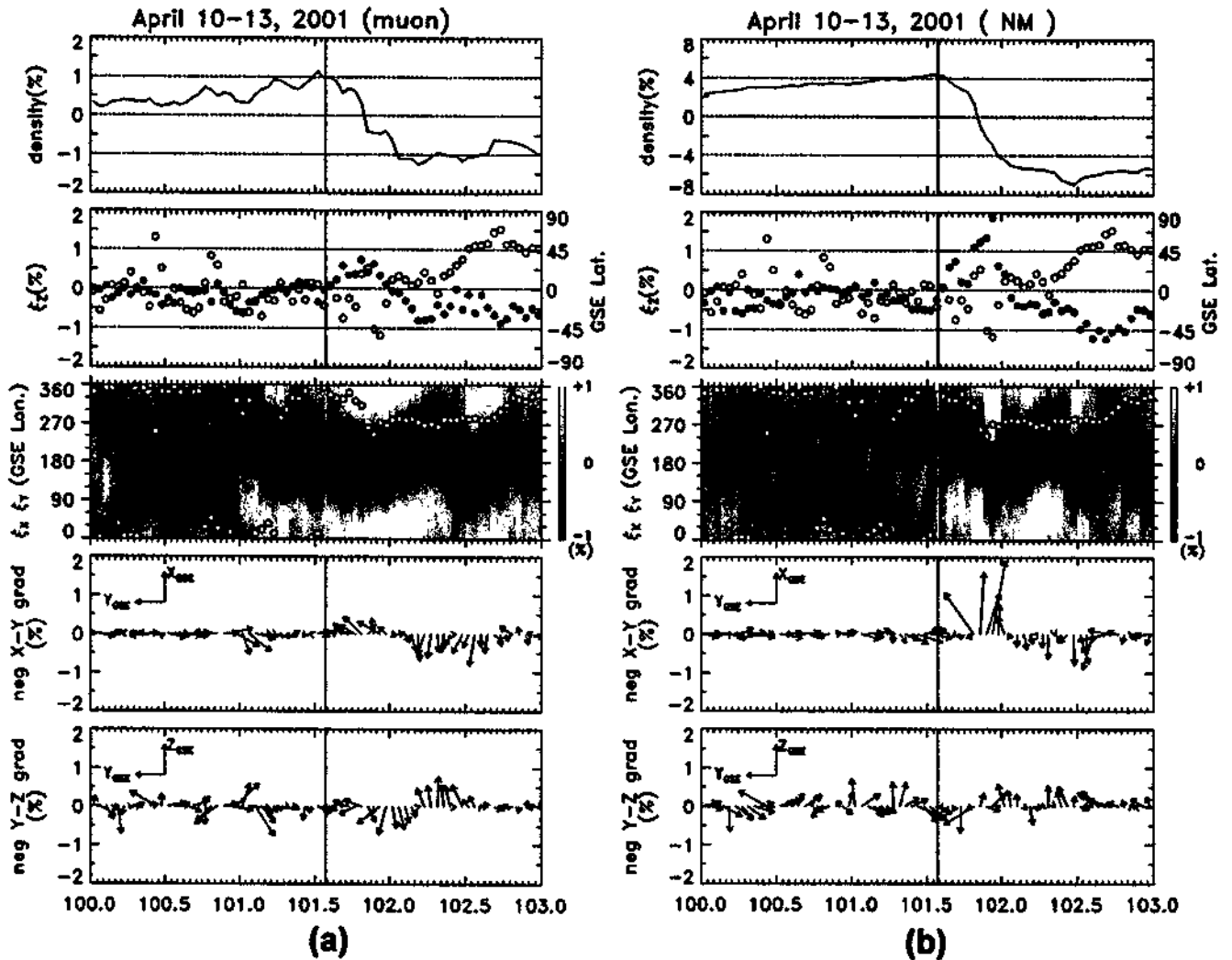


Fig. 2. The best-fit parameters derived from muon data (a) and *Spaceship Earth* NM data (b) for a period including a sample storm in Figure 1. Each panel from the top displays respectively the cosmic ray density, the north-south anisotropy, the component anisotropy in the ecliptic plane, the perpendicular gradients in the GSE x-y plane and y-z plane, as a function of the day of year in 2001. In the third panel, we plotted the anisotropy in a grayscale format. Each vertical stripe represents 1 hour of data, with lighter colors denoting a higher cosmic ray flux and darker colors denoting lower flux. Saturation occurs at +1.0 % (white) and -1.0 % (black). Also shown by open circles in the second and third panels are respectively the GSE latitude and longitude of hourly mean IMF direction.

101.0 DOY in muon data (second panel of Figure 2a), while it is enhanced around 101.4 DOY in NM data. The physical causes of these precursors are not identified yet, but a signature of loss-cone anisotropy has been clearly recorded at around 101.0 DOY by the GRAPES III multidirectional muon telescopes at Ooty, India, which have been in operation since 1998 with narrow viewing fields and extremely high counting rates (Kawakami, 2002, also see Figure 6 in Kawakami et al., 2001). A dip seen around 101.0 DOY in Nagoya data in Figure 1 might correspond to this effect, but we couldn't see any clear signature of loss-cone in the pitch angle distribution recorded in our muon detector network, probably due to insufficient sky coverage and counting rates. Some other features of this event are also seen in density gradients plotted in the bottom two panels in Figures 2a and 2b. Note that these panels display the negative gradient vectors by arrows pointing toward the direction where the cosmic ray density decreases. During the second half of 101 DOY after the SSC, the gradients point anti-sunward (the second panels from the bottom), which indicate a cosmic ray depleted region approaching the earth. (Note that the negative of the gradient is displayed in the figure, so that the arrows

point towards the region of depleted density.) The gradients then turn sunward at around 102.0 DOY, again indicating the depleted region travels past the earth. This feature is consistently observed in both the muon detector and NM network. The y-z component gradients in muon data also show a clear turning over from +z to -z direction at 102.2 DOY, probably indicating that the depleted region traveled from the south to the north of the earth, but it is not observed in NM data. Some precursor enhancements are seen in the gradients, corresponding to the precursor enhancement of anisotropy mentioned above.

Figure 3a and 3b show another sample event, which occurred on 27 (239 DOY) August, 2001, in the same manner as Figure 2. This event is also associated with clear signatures of the arrival of interplanetary shock at the earth, but the geomagnetic storm recorded is rather minor with the maximum Kp index of 5-. The strong enhancement is seen again in the anisotropy after the SSC. Most notable in this event is that the enhancement is also clearly seen about 5 hours prior to the SSC in the muon data (the second and third panels in Figure 3a). Though less prominent, close inspection of the third panel reveals that the precursor enhancement is also observed consistently in NM data. Another important feature of this event is that the y-z component gradients persistently point northward in both the muon and NM data, indicating a cosmic ray depleted region passed to the south of the earth.

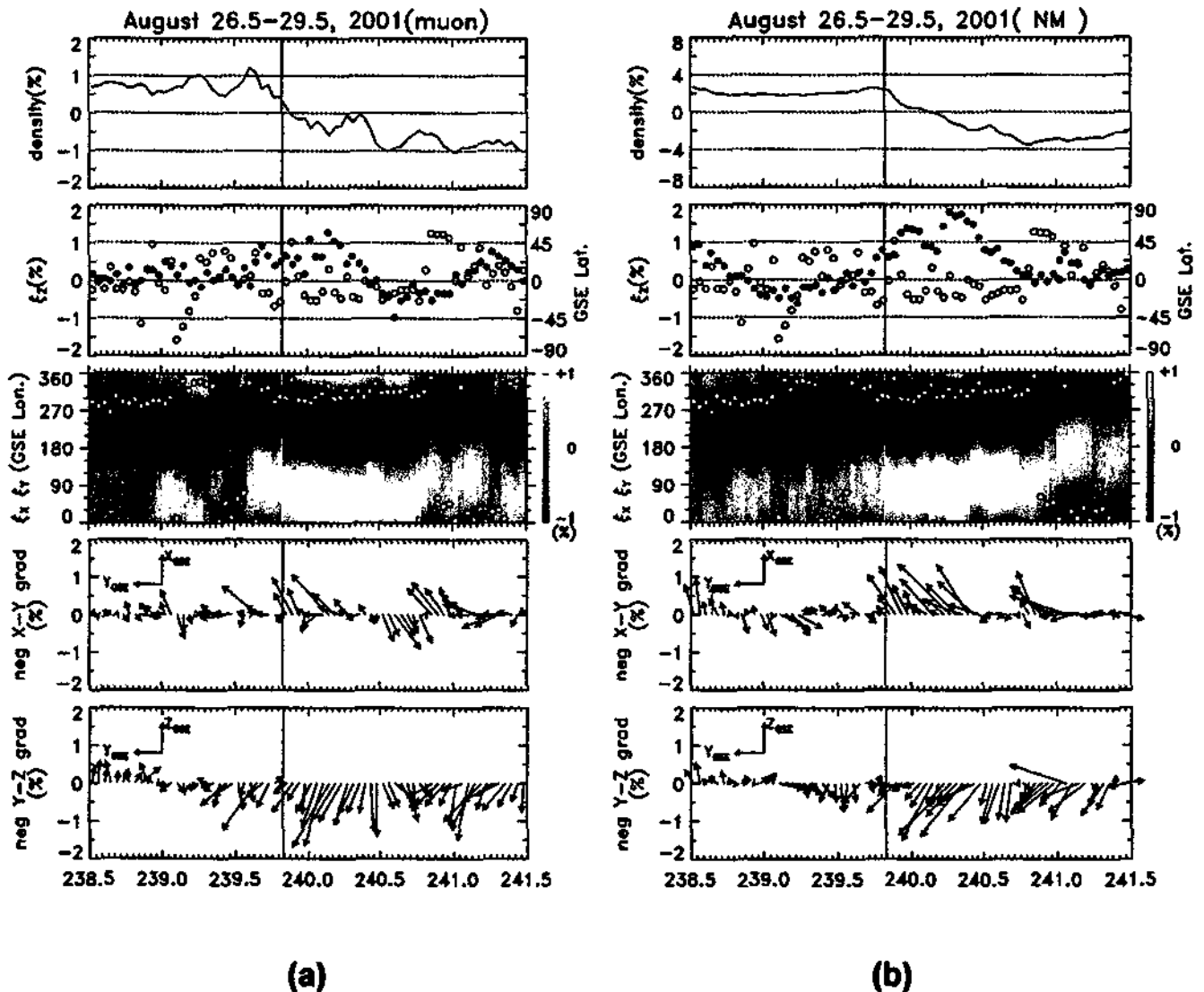


Fig. 3. The best-fit parameters derived from a period including a storm in 27 (239 DOY) August 2001. Parameters are shown in the same manner as Figure 2.

## SUMMARY

We analyzed the cosmic ray anisotropy observed by both the prototype muon detector network and the *Spaceship Earth* neutron monitor network during periods including geomagnetic storms in 2001. Analyses of two sample periods including respectively large and minor storms reveal strong enhancements of the anisotropy during the storm. Of particular interest is that the enhancement is also seen up to half a day preceding the onset of the storm. The density gradients derived from the anisotropy illustrate interesting features of the cosmic ray depleted region in the CME approaching and traveling past the earth. This is the first result of the CME-geometry derived from simultaneous observations of the anisotropy with networks of multidirectional muon detectors and neutron monitors.

## ACKNOWLEDGMENTS

This work is supported in part by U.S. NSF grant ATM-0000315 and in part by a Grant-in-Aid for Scientific Research from the Ministry of Education, Culture, Sports and Technology in Japan and by the joint research program of the Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University. The muon observations at Nagoya and Hobart have been carried out by Shinshu University and Nagoya University in Japan, the University of Tasmania and the Australian Antarctic Division in Australia, while the prototype muon detector at São Martinho has been operated under collaboration between Shinshu University and the Southern Regional Space Research Center of National Institute for Space Research in Brazil. Expansion of the São Martinho muon detector is being undertaken with support from the U.S. National Space Weather Program under grant ATM-0207196. We thank N. F. Ness for providing *ACE* magnetic field data via the *ACE* Science Center.

## REFERENCES

- Bieber, J. W., and P. Evenson, CME geometry in relation to cosmic ray anisotropy, *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 2955-2958, 1998.
- Fujimoto, K., A. Inoue, K. Murakami et al., Coupling coefficients of cosmic ray daily variations for meson telescopes, *Rep. 9, Cosmic Ray Res., Lab., Nagoya, Japan*, 1984.
- Kawakami, S., K. Fujimoto, S. K. Gupta et al., The first outcome on the 3-D feature of forrush decrease events from large muon telescope of GRAPES III at Ooty, *Proc. 27th Int. Cosmic-Ray Conf.*, **9**, 3,473-3,476, 2001.
- Kawakami, S., private communication, 2002.
- Munakata, K., J. W. Bieber, S. Yasue et al., Precursors of geomagnetic storms observed by the muon detector network, *J. Geophys. Res.*, **105**, 27,457-27,468, 2000.
- Munakata, K., J. W. Bieber, T. Kuwabara et al., A prototype muon detector network covering a full range of cosmic ray pitch angles, *Proc. 27th Int. Cosmic-Ray Conf.*, **9**, 3,494-3,497, 2001.
- Murakami, K., K. Nagashima, S. Sagisaka et al., Response functions for cosmic-ray muons at various depths underground, *IL NUOVO CIMENTO*, **2C**, 635-651, 1979.

E-mail address of J. W. Bieber    john@bartol.udel.edu

Manuscript received 19 October 2002; revised

; accepted



## AN EXPERIMENT TO STUDY SOLAR FLARE'S EFFECTS ON RADIO-COMMUNICATION SIGNALS

D. B. Contreira<sup>1</sup>, F. S. Rodrigues<sup>2</sup>, K. Makita<sup>3</sup>, C. G. M. Brum<sup>2</sup>, W. Gonzalez<sup>2</sup>,  
N. B. Trivedi<sup>1</sup>, M. R. da Silva<sup>1</sup> and N. J. Schuch<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Southern Regional Space Research Center – INPE, Santa Maria-RS, 97110-970, Brazil*

<sup>2</sup>*INPE-DAE, CP 515, São José dos Campos - SP, Brazil*

<sup>3</sup>*Takushoku University, Faculty of Engineering, 815-1, Tatemachi, Hachioji-shi, Tokyo 193-0985, Japan*

### ABSTRACT

The occurrence of radio signal fading events caused by ionospheric absorption plays an important role in the performance of radio-communication systems. It is necessary to know the magnitude and time-scale of such events in order to specify technical parameters of the communication system to be used. Generally, fading events are associated with solar flares, which are characterized by sudden increase in the solar x-ray flux that causes an increase in the ionization in the lower ionosphere. The abrupt increase of ionization causes the absorption of radio waves propagating in the Earth-ionosphere wave-guide and are reported as radio signal fading events. A simple experiment to monitor the behavior of lower ionosphere has been carried out at the Southern Space Observatory – SSO/INPE (29.43°S, 53.8°W), located in the Southern Brazil. The experiment is basically a computer controlled radio receiver that records the received signal strength of Amplitude Modulated (AM) radio signals in the HF (High Frequencies) range. We analyzed data of the 6 MHz beacon signal that has been transmitted by a broadcasting radio station located about 400 km far from the observation site. In this work we present initial results about daily variation of the received signal strength and fading events associated with solar flares observed in the 6 MHz signal monitored by the experiment during 2001. X-ray solar flux data from GOES-8 satellite were used to identify x-ray solar bursts associated with solar flares. Based on the one-year data collected by the experiment, a statistical summary of fading occurrences and their correlation with solar flares as well as the distributions of time-scales and magnitudes of such events are presented.

### INTRODUCTION

The Earth's ionosphere is very important for communication signals in the HF range that covers signals with frequencies between 3 and 30 MHz. The lower frequencies in the HF range propagate mainly by ionospheric reflection and they are subject to absorption by the lower ionosphere (mainly D layer). The effectiveness of the ionosphere as a radio reflector depends on the radio wave frequency of the transmitted signal and the properties of the ionosphere, which can change over a time scale of minutes (Hargreaves, 1992). So, the radio wave absorption depends on the electron density and it is much stronger during the daytime because the enhanced ionization in the lower ionosphere by the solar radiation (Richmond, 1998; Stauning, 1996). The ionospheric absorption may also suffer sudden increase during anomalous ionization enhancements associated mainly to x-ray solar flare events, modifying the properties of radio wave reflection (Lin, 1998; Davies, 1990; ITU, 1998). During intense solar flares, which can occur at the rate of several per day in high solar activity years, all HF radio waves reaching the daytime ionosphere are absorbed during the flare occurrence (Joselyn, 1998). These absorption events are well known as radio fading events and they are characterized by a sharp decrease in signal amplitude caused by variations in the

electron density of absorbing regions (specially D layer). Such changes in the signal amplitude may sometimes last longer than one hour (ITU, 1998; Joselyn, 1998).

A solar flare event may be defined as a transient brightening of a small region on the solar surface observed in the H $\alpha$  emission line (Campbell, 1997). Flares produce a burst of radiation across the electromagnetic spectrum, from radio waves to x-rays and gamma-rays (Rust, 1998; Lin, 1998). The x-ray solar flares may be classified according to their peak intensity in the 0.1-0.8 nm range as X, M or C classes (Davies, 1990). X-class flares ( $10^{-4}$  W/m $^2$   $\leq$  Peak intensity  $\leq$   $10^{-3}$  W/m $^2$ ) are major events that can trigger planet-wide radio blackouts and long-lasting radiation storms. M-class flares ( $10^{-5}$  W/m $^2$   $\leq$  Peak intensity  $\leq$   $10^{-4}$  W/m $^2$ ) are medium-size events that generally cause brief radio blackouts affecting specially Earth's polar regions. Minor radiation storms sometimes follow a M-class flare. Finally, C-class flares ( $10^{-6}$  W/m $^2$   $\leq$  Peak intensity  $\leq$   $10^{-5}$  W/m $^2$ ) are small events with small consequences on Earth's ionosphere and magnetosphere.

The main purpose of this work is to present the initial results of a HF receiver system for lower ionosphere monitoring and also analyzing the occurrences of fading events observed in the 6 MHz signal monitored by this system during 2001.

## METHODOLOGY

Following the work of K. Nozaki (Communications Research Laboratory – CRL, Japan) we used a commercial MF-HF radio receiver (Japan Radio Company – Model NRD535) to monitor the ionosphere. The JRC receiver used by us has a serial communication (RS232) interface making possible the automatic control from a conventional personal computer (PC). We developed a very simple computer software that automatically changes the frequency to be tuned by the radio receiver and values of the received signal strength are sampled each 10 seconds. The sampled signal strength values are in arbitrary digital units corresponding to 40 different levels (from 57,5 to 1) of a S-Meter built in the receiver. The digital values are then received by the computer and recorded in daily text data files. During data reduction procedure we convert the raw digital data to S-Meter values and finally to dBm units ( $\text{dBm} = 10 \cdot \log(\text{Power}_{\text{received}}/1\text{mW})$ ). The procedure of converting arbitrary units to S-Meter values is based on a conversion table available in the radio receiver manual (JRC, 1996).

At the moment, signal strength of 4 signals transmitted by different AM broadcasting stations have been monitored by our system. The number of the radio stations monitored as well as the sampling rate can be easily modified according with user's interest. The observation site (Southern Space Observatory - SSO/INPE, 29.43° S, 53.8° W), where the system is installed, is located far away from artificial noise sources and the antenna has a free field of view.

In our statistics, we associated fading events to solar flares when the signal strength decreased very sharply immediately after a sudden x-ray solar flux increase. We used solar x-ray flux data from GOES-8 satellite for the 0.1-0.8 nm wavelength range to identify x-ray solar flares.

The magnitude of the fading was estimated from the subtraction of the minimum signal strength value from the signal strength value in the beginning of the fading. The fading duration was considered from the beginning of the fading until its complete recovery to normal levels.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Typical Daily Variation of Monitored Signals

The 6 MHz signal has been monitored and studied due to its systematic stability in comparison to other monitored frequencies. Figure 1(a) shows a typical daily variation of the received signal strength for the four frequencies monitored by the radio receiver and (b) shows the map with the locations of these transmitter stations. From Figure 1(a) we can see the typical daily variation for the 6 MHz signal and note that this signal is much more stable than others monitored by the system. Other signals have sudden both long and short time decreases in their amplitude that are caused by the unknown reasons (probably related to their transmitter stations). As expected, the signal strength is much lower during daytime than during nighttime because the enhanced ionization by solar radiation in the lower ionosphere.

From Figure 1(a) we can also identify the interval between 03:00 and 07:00 UT when the 6 MHz signal strength is very low. We call this period nighttime noise level and occurs when the radio station turns the transmitter off. The time, when the transmitter is turned off, changes along the year but always is between 03:00 and 10:00 UT.

The system has been operating since middle October 2000 and thus we have been able to monitor the lower ionosphere daily variation.

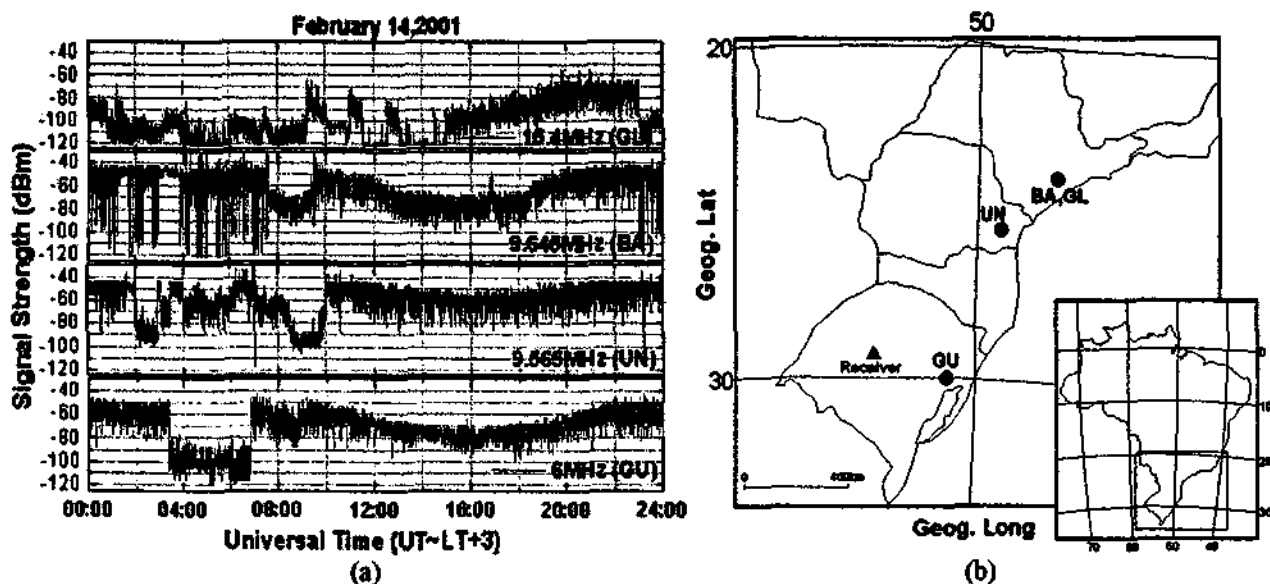


Fig. 1. (a) Example of a typical daily variation of the received signal strength for the 4 signals monitored by the HF radio receiver and (b) Map showing the location of the transmitter stations in Brazil.

#### Fading Events Related to X-ray Solar Flares

We analyzed 240 days of observation in 2001 out of which we found 69 days with at least 1 fading signature per day. Figure 2 shows examples of fading events caused by C, M and X solar flares. Each fading event in Figure 2 is shown with (a) the daily variation curve of the 6 MHz signal strength jointly with the monthly average curve; (b) x-ray flux data (0.1-0.8 nm and 0.5-4 nm) from GOES-8 and, (c) absorption curve computed by subtracting the daily curve from the monthly average curve. The immediate solar flare effect in the ionospheric ionization and consequent radio wave absorption can be easily observed in all cases shown in Figure 2. Immediately after a x-ray solar flux increase, the signal strength decreases very sharply (increasing the absorption level). Sometimes the fading is so deep that the signal strength reaches noise levels allowing radio blackouts, which may cause several damages on spacecraft and communication systems (Daglis, 2001). The arrow (→) in plots indicated days when radio receiver starts operating later (around 10:00 GMT).

Table 1 shows the number of 6 MHz fading events observed during each month of 2001 and the number of fading events that we considered caused by x-ray solar flares. For a fading event to be considered as caused by x-ray solar flare, the signal strength should vary simultaneously with the sudden x-ray solar flux increase. For 2001, 75% of the observed fading events were simultaneous to x-ray solar flares. Other events occurred with no signature of x-ray solar flare occurrence. These events may be related to geomagnetic disturbances and energetic particles precipitation in the South Atlantic Magnetic Anomaly (SAMA), however, this is only a speculation and further analyzes should be carried out to confirm this speculation. Data gaps in the July and August months are due absence of data caused by instrumental problems.

Table 1. 6 MHz fading events observed during 2001

Number	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
# of observation days	17	26	30	27	30	16	-	-	16	27	21	30	240
# of fading events	6	6	8	10	2	3	-	-	3	9	13	13	73
#of events associated to flares	4	3	7	8	1	1	-	-	2	7	11	11	55

**Examples of Fading Events Observed During 2001**

One example of fading event caused by a C-class flare is shown in Figure 2.a. Figure 2.b shows a fading case occurred at March 03 well correlated with a M-class solar flare. In this case we observed more accentuated absorption (< 30 dBm). In Nov. 08 (not shown here), a M-class solar flare occurred near the time of minimum solar zenith angle and we could observe that even M-class events can cause a complete loss of signal with the signal attaining noise levels for about 37 minutes. Finally, more significant absorption events were well associated to x-class solar flares. In Figure 2.c for Apr.15 is possible to observe the strong effect of such intense solar flares causing a complete loss of signal and with recovery time that usually exceed one hour. It is interesting to note that intense solar flares occurring even near the sunset sector can cause strong absorption as in the case of Dec. 28, shown in Figure 2.d.

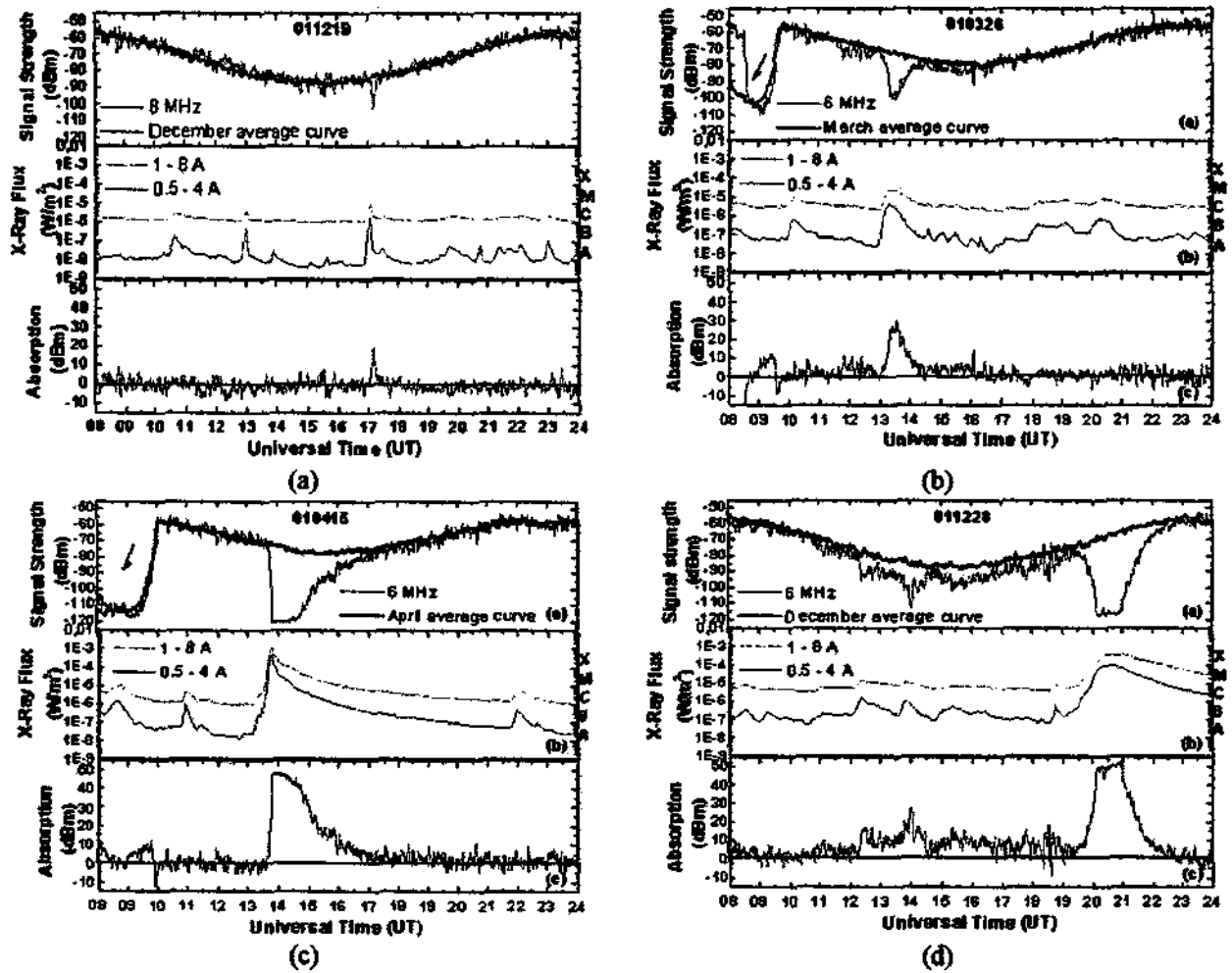


Fig. 2. Example of fading events associated to C-class (a), M-class (b) and X-class (c,d) solar flare events.

**Statistics of the Magnitude and the Duration Time-scale of the Fading Events Associated to X-ray Solar Flares**

Figure 3 (a) shows the magnitude distribution of the observed fading events that were well correlated with x-ray solar flares. According to our data, the magnitudes of the fading events are almost equally distributed. The events, that reached noise level, are represented by the right column in Figure 3 (a).

Figure 3 (b) shows the duration time-scale of the observed fading events that were well correlated with x-ray solar flares. From this Figure we can observe that most events last 60 to 90 minutes and the number of events decreases with increase of the time duration. We also observed 8 events with duration longer those 210 minutes. Generally, these events were well associated with long lasting X-class flares occurrence.

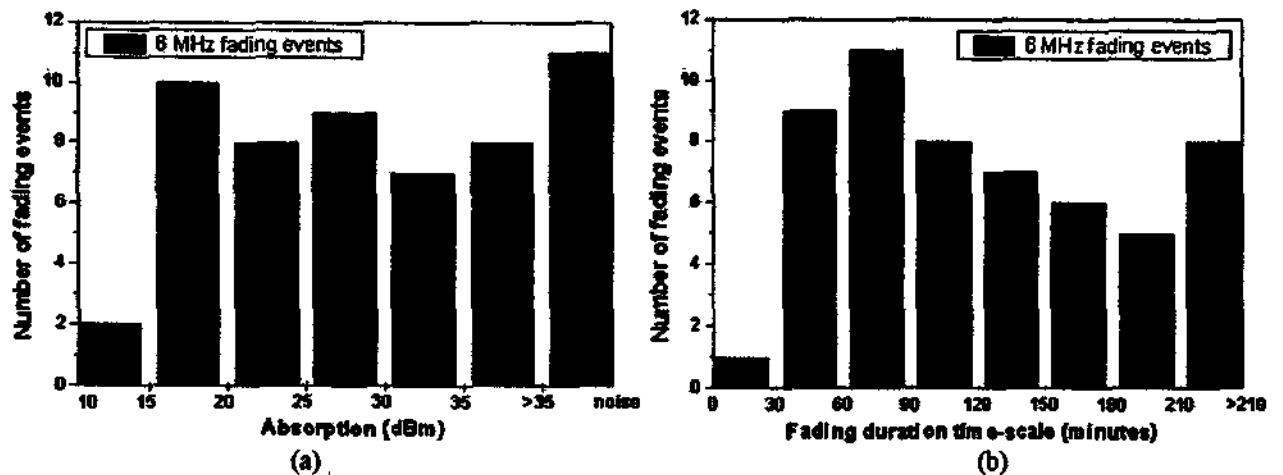


Fig. 3. (a) Magnitude distribution of fading events and (b) duration time-scale of the observed fading events.

## CONCLUSIONS

We show in this work that the system is able to measure the daily variation of the lower ionosphere ionization as well as to identify fading events caused by x-ray solar flares. We observed 69 days with fading events during 2001, from which 75% were well correlated with x-ray solar flare bursts.

Fading events in the 6 MHz signal predominantly exceeded 15 dBm of magnitude and 30 minutes of duration. The distribution of magnitudes does not show any predominant magnitude but apparently the number of events roughly decrease with the increase of the magnitude. In several cases (11) the radio signal was completely lost.

Time duration of the observed fading events were predominantly longer than 30 minutes and the number of events decreased with the increase of the time duration very clearly. We also observed several fading cases with duration longer than 210 minutes.

The measurements show the dependence of the stability of radio links in HF range on the solar activity conditions and also that even small fluctuations in the ionospheric ionization process may lead amplitude fluctuations in 6 MHz received signal. Perhaps the more evident solar activity effect on humanity's technological achievements is the effect on telecommunications systems, this work is a typical example that shows these space weather effects.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This work is supported by Takushoku University, Japan and Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) in Brazil. D.B.C. acknowledges the financial support from Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq. C.G.M.B. is grateful to FAPESP for financial support under Project Nº 99/09230-0. The operation and data acquisition is managed by students of the Space Weather Laboratory – CRSPE/INPE. The authors also acknowledge the NOAA World Data Center for making GOES-8 x-ray data available.

## REFERENCES

- Campbell, W.H., *Introduction to Geomagnetic Fields*, Cambridge University Press, 1997.
- Daglis, I.A., Space storms, ring current and space-atmosphere coupling, *Space Storms and Space Weather Hazards*, editor and author of chapter 1, NATO Science Series II, Mathematics, Physics and Chemistry, 38, 1-42, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2001.
- Davies, K., *Ionospheric Radio*, Peter Peregrinus, 1990.
- Hargreaves, J.K., *The Solar Terrestrial-Environment: An Introduction to Geospace-the Science of the Terrestrial Upper Atmosphere, Ionosphere and Magnetosphere*, Cambridge University Press, New York, USA, 1992.
- ITU, *The Ionosphere and its Effects on Radiowave Propagation*, International Telecommunications Union, Handbook –Radiocommunication Bureau, 1998.
- JRC, Japan Radio Company, Instruction Manual for Model NRD 535, 1996.

- Joselyn, J. A., The human impact of solar flares and magnetic storms, *From the Sun: Auroras, Magnetic Storms, Solar flares and Cosmic Rays*, edited by Steven T. Suess and Bruce Tsurutani, 67-72, AGU Books Board, 1998.
- Lin, R. P., Solar flare particles, *From the Sun: Auroras, Magnetic Storms, Solar flares and Cosmic Rays*, edited by Steven T. Suess and Bruce Tsurutani, 91-101, AGU Books Board, 1998.
- Richmond, A.D., The ionosphere and upper atmosphere, *From the Sun: Auroras, Magnetic Storms, Solar flares and Cosmic Rays*, edited by Steven T. Suess and Bruce Tsurutani, 35-44, AGU Books Board, 1998.
- Rust, D., Solar Flares, *From the Sun: Auroras, Magnetic Storms, Solar flares and Cosmic Rays*, edited by Steven T. Suess and Bruce Tsurutani, 81-90, AGU Books Board, 1998.
- Stauning, P., Investigations of ionospheric radio wave absorption process using imaging riometer techniques, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 58, 753-764, 1996.

D. B. Contreira, [danieli@lasesm.ufsm.br](mailto:danieli@lasesm.ufsm.br)  
F. S. Rodrigues, [fabiano@dae.inpe.br](mailto:fabiano@dae.inpe.br)  
K. Makita, [kmakita@la.takushoku-u.ac.jp](mailto:kmakita@la.takushoku-u.ac.jp)  
C. G. M. Brum, [garnett@dae.inpe.br](mailto:garnett@dae.inpe.br)  
W. Gonzalez, [gonzalez@dge.inpe.br](mailto:gonzalez@dge.inpe.br)  
N. B. Trivedi, [trivedi@lasesm.ufsm.br](mailto:trivedi@lasesm.ufsm.br)  
M. R. da Silva, [marlos@lasesm.ufsm.br](mailto:marlos@lasesm.ufsm.br)  
N. J. Schuch, [njschuch@lasesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lasesm.ufsm.br)

Manuscript received ; revised ;accepted

## IMPORTÂNCIA DOS RAIOS CÓSMICOS NA PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL

**Marlos R. da Silva, Maíquel Canabarro, Daniell B. Contreira, Sheron Monteiro,  
Rafael Krummenauer, José V. Bageston, Nelson J. Schuch e Walter D. Gonzalez**  
Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LACESM/CT/UFSM – OES/CRSPE/INPE  
Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 – Santa Maria – RS – Brasil  
[marlos@lacesm.ufsm.br](mailto:marlos@lacesm.ufsm.br), [gonzalez@dgc.inpe.br](mailto:gonzalez@dgc.inpe.br)

Os Raios Cósmicos são radiações naturais cujo poder de penetração é muito superior ao de qualquer outra radiação conhecida, possuem alta energia, se propagam no espaço interestelar e atinge a Atmosfera Terrestre de maneira isotrópica. Sua energia está no intervalo de  $10^9$  a  $10^{19}$  eV, sendo composta principalmente por prótons. Outras partículas estão presentes, mas em menor quantidades. Há várias razões pelas quais partículas com estas energias são importantes na previsão do Clima Espacial. Primeiro, viajam com velocidades relativísticas, próximas à da luz. Partículas de Raios Cósmicos que interagem com uma onda de choque ou uma Ejeção de Massa Coronal Solar (EMC), escapam para a parte frontal dessas estruturas, viajam mais rapidamente que o choque, trazendo o alerta da chegada da estrutura com antecedência de aproximadamente de 6 a 8 horas. Segundo, as partículas têm um grande livre caminho médio. Isto é importante porque assinaturas precursoras da chegada de um distúrbio seriam apagadas devido ao espalhamento em escalas maiores que o livre caminho médio. Anisotropias precursoras têm sido geralmente interpretadas como sendo efeitos cinéticos relacionados à interação dos Raios Cósmicos ambientes com uma onda de choque se aproximando. Decréscimos precursoros podem ser resultados de efeitos de “cone de perdas”, no qual o instrumental do Observatório está magneticamente conectada à região de decréscimo de Raios Cósmicos a frente da onda de choque. Aumentos precursoros podem ser resultados de partículas que receberam uma pequena injeção de energia por reflexão na onda de choque que está se aproximando. Neste trabalho, são definidos os Raios Cósmicos, seus tipos, origem e finalmente mostrar a modulação por eles sofrida frente aos eventos Solares que alteram temporariamente a estrutura do campo Magnético Terrestre.

Entidades Financiadoras: MMA, (AEB, FINEP, CNPq, INPE)/MCT, FAPESP, FAPERGS, UFSM.

**OBSERVAÇÕES DE RAIOS CÓSMICOS NO  
OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – OES (29°S, 53°O)**

***Marlos R. da Silva, Malquel Canabarro, Daniel B. Contreira, Sheron Monteiro,  
Rafael Krummenauer, José V. Bageston, Nelson J. Schuch e Walter D. Gonzalez***

**Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**

**LACESM/CT/UFSM – OES/CRSPE/INPE**

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

**[marlos@lacesm.ufsm.br](mailto:marlos@lacesm.ufsm.br), [gonzalez@lacesm.ufsm.br](mailto:gonzalez@lacesm.ufsm.br)**

Através da Cooperação Internacional entre Brasil e Japão, um protótipo do Detector de Muons (Raios Cósmicos) tem sido operado desde Março de 2001 no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE-MCT, localizado em São Martinho da Serra (29°S, 53°W), para observar Raios Cósmicos precursores de Tempestades Geomagnéticas. Este protótipo opera em rede internacional, juntamente com outros dois grandes detectores instalados no Japão e na Austrália, formando uma rede de detectores para a observação de Muons. O Detector por se tratar de instrumento multi-direcional foi instalado no Observatório Espacial do Sul com a finalidade de cobrir uma grande área de observação sobre a Terra, esta área é compreendida pelas regiões Atlântica e Européia, na qual a rede anterior a sua instalação não era eficaz. Planos foram aprovados pelas instituições Japonesas e Norte-Americanas para ampliar o protótipo (2x2) por um detector de muons (6x6), aumentando assim, a área de detecção de Raios Cósmicos e completando a cobertura global da rede Internacional de Detectores de Muons. O protótipo do Detector de Muons tem detectado precursores de Raios Cósmicos de várias tempestades geomagnéticas, como relatado por Mumakata et al. (2000, 2001). No OES/CRSPE/INPE-MCT foram observados Decréscimos Forbush, como também precursores dos Raios Cósmicos anisotrópicos precedendo o início das Tempestades Magnéticas Geofetivas. Neste trabalho é apresentada uma descrição da rede e resultados preliminares obtidos com este protótipo.

**Entidades Financiadoras: MMA, (AEB, FINEP, CNPq, INPE/MCT, FAPESP, FAPERGS, UFSM.**



**EFEITOS DE EXPLOSÕES SOLARES OBSERVADOS EM SINAIS DE RÁDIO  
COMUNICAÇÃO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL  
OES/CRSPE/INPE (29° S, 53° O)**

**Danieli B. Contreira, Maiquel Canabarro, Sheron de O. Monteiro, Marlos R. da Silva,  
Rafael Krummenauer, José V. Bageston, Marcos R. Signore, Fabiano Rodrigues, Kazuo  
Makita, Nelson J. Schuch, *Walter D. Gonzalez***

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

Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 – Santa Maria –RS – Brasil  
[danieli@laccsm.ufsm.br](mailto:danieli@laccsm.ufsm.br), [gonzalez@dge.inpe.br](mailto:gonzalez@dge.inpe.br)

A Ionosfera é a região da Atmosfera localizada entre 50 e 1000 Km em relação à superfície terrestre, é caracterizada pela grande concentração eletrônica e por ser responsável pela reflexão das ondas de rádio que usam esta camada como meio de propagação. As partículas carregadas são produzidas, sobretudo pela radiação ultravioleta (EUV) e por raios-x solares. Eventos de explosões solares são caracterizados pela intensificação do fluxo de raios-x, causando aumento abrupto de ionização na mais baixa Ionosfera e a conseqüente absorção de ondas de rádio. Estes eventos de absorção são observados como eventos de desvanecimento de rádio sinais e apresentam uma importante influência no desempenho de sistemas de rádio-comunicação. Este trabalho tem como objetivo estudar a ocorrência de desvanecimento de rádio sinais associados a explosões solares de raios-x, utilizando um sistema rádio receptor para sinais de amplitude modulada (AM) na faixa de altas frequências (HF). O sistema consiste de um rádio receptor, modelo NRD-535 da JRC (Japan Radio Company), com interface serial RS-232, que possibilita o controle do rádio por um computador dedicado. O software de controle e aquisição de dados muda automaticamente as frequências de recepção e adquire os valores de potência do sinal recebido. Os sinais de 4 diferentes estações têm sido continuamente monitorados pelo sistema receptor que está implementado e em operação contínua no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, localizado no município de São Martinho da Serra (29.43°S, 53.8°O). Foram analisados dados de potência do sinal AM, (6 MHz), transmitido pela estação de rádio Guaíba de Porto Alegre – RS, (30.02°S, 51.13°O) e dados de fluxo de raios-x proveniente do satélite GOES-8 para o ano de 2001. Verificou-se que grande parte dos eventos estudados neste período, entre 05 e 21 horas locais, foram correlacionados a explosões solares de raios-x, nas classes C ( $10^{-6} \text{ W/m} \leq \text{Fluxo máximo} \leq 10^{-5} \text{ W/m}^2$ ) e M ( $10^{-5} \text{ W/m} \leq \text{Fluxo máximo} \leq 10^{-4} \text{ W/m}^2$ ). O efeito imediato da explosão solar pode ser verificado causando perdas na intensidade do sinal com duração total de mais de 1 hora na maioria dos casos observados. A partir dos resultados verificou-se que o sistema permite o monitoramento da variação diária de ionização da baixa Ionosfera, e também a possibilidade de estimar a magnitude de absorção do sinal durante eventos de explosões solares. Um longo período de observações pode prover informações estatísticas sobre a relação existente entre explosões solares de raios-x e o fenômeno que produz ionização anômala nas camadas da baixa Ionosfera e absorção de ondas de rádio.

**OBSERVAÇÃO DE PARÂMETROS DO MEIO INTERPLANETÁRIO  
RESPONSÁVEIS PELA ORIGEM DA TEMPESTADE GEOMAGNÉTICA DE  
17 DE ABRIL DE 2002**

**Danieli B. Contreira, Maiquel Canabarro, Sheron Monteiro, Marlos R. da Silva, Rafael  
Krummenauer, José V. Bageston, Marcos R. Signore, Alisson Dal Lago, Nelson J.  
Schuch, *Walter D. Gonzalez***

Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LACESM/CT/UFSM – OES/CRSPE/INPE  
Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 – Santa Maria –RS – Brasil  
[danieli@lacesm.ufsm.br](mailto:danieli@lacesm.ufsm.br), [gonzalez@dge.inpe.br](mailto:gonzalez@dge.inpe.br)

A cada intervalo de 11 anos o Sol entra em intensa atividade, período denominado máximo solar, apresentando regiões de instabilidades que podem liberar a altas velocidades grandes quantidades de matéria e energia eletromagnética na forma de ejeções de massa coronal (EMC) e explosões solares, respectivamente. Estas manifestações de intensa atividade atingem o meio interplanetário e os planetas, podendo dar lugar na Magnetosfera Terrestre às chamadas Tempestades Geomagnéticas. O principal parâmetro para o desenvolvimento das Tempestades Geomagnéticas está associado a estruturas interplanetárias com intensa e de longa duração componente do campo magnético interplanetário (CMI), na direção antiparalela a do campo geomagnético, os quais se interconectam ocorrendo um transporte efetivo de energia para a Magnetosfera. Como consequência é verificado um aumento na densidade de partículas que circundam a Terra, distúrbios nas altas camadas da Atmosfera, influência nas telecomunicações e até mesmo “blackouts”. O campo magnético da Magnetosfera Terrestre é de grande importância para os seres humanos uma vez que protege a Terra contra a entrada de partículas altamente energéticas (prótons e elétrons) e da ação direta do vento solar. O objetivo deste trabalho é analisar as estruturas interplanetárias responsáveis pela origem da Tempestade Geomagnética observada no dia 17 de abril de 2002, e avaliar os diversos parâmetros que permitem a detecção de uma Tempestade Magnética. Para a realização deste estudo foram utilizados dados de plasma (velocidade do vento solar, densidade e temperatura de prótons) e campo magnético interplanetário (componentes  $B$ ,  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$ ), provenientes dos satélites WIND e ACE, que estão em operação desde os anos de 1995 e 1997, respectivamente, produzindo dados que permitem o monitoramento diário da dinâmica do meio interplanetário. Dados do índice Dst foram usados para a identificação da Tempestade Geomagnética. Este índice é construído a partir de médias globais da variação da componente horizontal ( $H$ ) do campo magnético terrestre que se torna menos intenso durante a manifestação de uma Tempestade Geomagnética, propiciando valores negativos do índice Dst. Tempestades Geomagnéticas são classificadas como intensas quando  $Dst < -100$  nT. Para o evento em estudo verificou-se que na fase principal da Tempestade, o índice Dst atingiu o valor de  $-105$  nT, sendo esta fase acompanhada por valores da componente  $B_z$  do CMI em torno de  $-22$  nT. Durante a chegada da estrutura responsável pela fase inicial da Tempestade, observou-se um aumento na magnitude do campo magnético, densidade e velocidade do vento solar, atingindo valores em torno de  $500 \text{ km s}^{-1}$  (aumento de aproximadamente  $160 \text{ km s}^{-1}$ ) em comparação ao período anterior. Estes parâmetros são de significativa importância permitindo o monitoramento contínuo do Clima Espacial, propiciando informações a respeito das condições do meio interplanetário e atividade solar e o possível desenvolvimento de Tempestades Geomagnéticas, cujos efeitos podem ser sentidos no ambiente terrestre.

Entidades Financiadoras: MMA, (AEB, FINEP, CNPq, INPE)/MCT, FAPESP, FAPERGS, UFSM.

## **ESTUDO DAS CINTILAÇÕES EM SINAIS DE SATÉLITES GPS**

**Rafael Krummenauer, Marcos R. Signori, Maiquel Canabarro, José V. Bageston, Sheron Monteiro, Danieli B. Contreira, Marlos R. da Silva, Fabiano S. Rodrigues, Nelson J. Schuch**  
Universidade Federal de Santa Maria - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LACESM/CT/UFSM - OES/CRSPE/INPE

Av. Roraima – Bairro Camobi – Caixa Postal 5021 – 97110-970 – Santa Maria –RS - Brasil  
[rafakrum@lacesm.ufsm.br](mailto:rafakrum@lacesm.ufsm.br), [marcos@lacesm.ufsm.br](mailto:marcos@lacesm.ufsm.br), [maiquel@lacesm.ufsm.br](mailto:maiquel@lacesm.ufsm.br),  
[bageston@lacesm.ufsm.br](mailto:bageston@lacesm.ufsm.br), [sheron@lacesm.ufsm.br](mailto:sheron@lacesm.ufsm.br), [danieli@lacesm.ufsm.br](mailto:danieli@lacesm.ufsm.br),  
[marlos@lacesm.ufsm.br](mailto:marlos@lacesm.ufsm.br), [fabiano@dae.inpe.br](mailto:fabiano@dae.inpe.br), [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)

Ondas de rádio em frequências acima de VHF são capazes de transpor a camada ionosférica, possibilitando a comunicação trans-ionosférica. No entanto a propagação estável dos sinais pode ser afetada ao atravessar regiões onde há irregularidades na densidade de plasma ionosférico. O fenômeno de degradação do sinal é comumente chamado de cintilação e o parâmetro mais usual que caracteriza a intensidade das flutuações no sinal é o índice de cintilação  $S_4$  definido em termos da distribuição da intensidade do sinal recebido. Cintilações são mais evidentes em regiões equatoriais e regiões de altas latitudes e se formam logo após o pôr do Sol. Períodos de máximo Solar e tempestades magnéticas são fatores determinantes na formação da instabilidade do plasma ionosférico. Efeitos como a rotação de Faraday, atraso de grupo, dispersão, deslocamento Doppler, refração e absorção, são observados nos sinais GPS que cruzam as irregularidades e podem contribuir para modelar o fenômeno de cintilações. Com o objetivo de estudar este tipo de evento, o Observatório Espacial do Sul OES/CRSPE/INPE - MCT, localizado em São Martinho da Serra –RS, adquiriu, via colaboração entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e a Universidade de Cornell – USA, um conjunto de sistemas receptores GPS projetado para medir cintilações de amplitude do sinal recebido em 1,57542 GHz ( Banda L ). A instrumentação consiste de dois receptores GPS, distanciados de 50 metros e instalados na direção Leste-Oeste, placas de interface Plessey GPS, com capacidade de medir a intensidade dos sinais GPS a uma taxa de 50 amostras/segundo, além de possuir 12 canais, que processam digitalmente os sinais recebidos simultaneamente de até 12 satélites posicionados acima do horizonte com elevação acima de  $10^\circ$ . Os dados são armazenados inicialmente em disco rígido e posteriormente gravados em CD's. Para modelar o fenômeno da cintilação é preciso entender os mecanismos físicos que geram as irregularidades do plasma, portanto o monitoramento deve ser diário para que os eventos de cintilação possam ser posteriormente analisados e correlacionados. Com os modelos obtidos através dos dados coletados, pode-se otimizar a operação dos sistemas de telecomunicações trans-ionosféricos e desta forma evitar “black-outs” nos sistemas que utilizam a radio-propagação como meio de transporte de informações.

# **ESTUDO DA AEROLUMINESCÊNCIA NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL USANDO UM ESPECTRO IMAGEADOR DE VARREDURA MERIDIONAL**

**José V. Bageston, Sheron de O. Monteiro, Danieli B. Contreira, Marios R. da Silva, Rafael Krummenauer, Marcos R. Signori, Maiquel Canabarro, Nelson J. Schuch, Delano Gobbi, Hisao Takahashi**

Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LACESM/CT/UFSM – OES/CRSPE/INPE

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

[bageston@lacesm.ufsm.br](mailto:bageston@lacesm.ufsm.br), [hisao@laser.inpe.br](mailto:hisao@laser.inpe.br)

A Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS – corresponde a uma grande área do Planalto centrada na Região Sul do Brasil, atingindo o Uruguai e Argentina, caracterizada por uma baixa intensidade do Campo Geomagnético. Devido a este fato há uma maior precipitação de partículas energéticas nesta região. A Aeroluminescência – Airglow - é um fenômeno óptico que acontece na Alta Atmosfera devido à desexcitação dos átomos e moléculas excitados pela radiação solar, emitindo fótons luminosos por processos de recombinação iônica e fotodissociação. Esta emissão é modulada pela precipitação de partículas energéticas, que podem aumentar a intensidade de emissão. Observações de variações espaciais e/ou temporais das emissões podem ser úteis na investigação do fenômeno da AMAS e nos processos físico-químicos desta região da Atmosfera. Sabendo que a precipitação de partículas energéticas na Atmosfera Terrestre pode causar danos em satélites e influenciar nas telecomunicações em geral, este estudo se faz importante. Com o objetivo de investigar os fenômenos Geofísicos Espaciais que ocorrem nesta região de anomalia e especialmente a precipitação de partículas na Alta Atmosfera, está sendo instalado no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra (29°S, 53°O) - OES/CRSPE/INPE-MCT - um Espectrofotômetro Imageador de alta sensibilidade, para monitoramento das linhas de emissões do Nitrogênio Ionizado,  $N_2^+$ , nos comprimentos de onda 391,4nm e 427,8nm. O Espectrômetro de Varredura Meridional - *Meridian Imaging Spectrometer* - MIS - tem a capacidade de observar uma região espectral com banda, em comprimento de onda de 100nm, de 380 a 480nm, com uma resolução espectral de 0,5nm. O espectro eletromagnético observado é gravado no imageador, para posterior análise. O Laboratório de Ótica e Luminescência Atmosférica -LOLA/OES/CRSPE/INPE-MCT - e o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria -LACESM/CT/UFSM-MEC - vêm mantendo um programa de monitoramento do céu noturno, operando detectores ópticos de alta sensibilidade, permitindo assim, o estudo e determinação de parâmetros da Alta Atmosfera, permitindo o estudo de sua dinâmica no Sul do País e a sua correlação com parâmetros obtidos em outras latitudes. O MIS vem, dessa forma, complementar esta instrumentação ampliando os estudos ópticos realizados no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE/INPE-MCT - de maneira a conhecermos melhor a Alta Atmosfera Terrestre.

# **IMPORTÂNCIA DA IMPLEMENTAÇÃO DA REDE DE PLATAFORMAS DE COLETA DE DADOS METEOROLÓGICOS NO RIO GRANDE DO SUL<sup>1</sup>**

**Marios R. da Silva<sup>2</sup>, Nelson J. Schuch<sup>3</sup>, Priscila P. Machado<sup>4</sup>, Danieli B. Contreira<sup>5</sup>,  
Maiquel Canabarro<sup>6</sup>, Rafael Krummenauer<sup>7</sup>**

Os satélites SCD 1 e SCD 2, foram produzidos pelo INPE com o intuito de prover o Brasil de uma rede de satélites, capazes de retransmitir dados das Plataformas de Coleta de Dados Meteorológicos (PCDs), instaladas no Território Nacional, auxiliando a transmissão de dados de regiões de difícil acesso ou desprovido de uma eficiente rede de energia. Os dados enviados aos satélites SCDs, são retransmitidos para as estações terrenas do Centro de Missão e Coleta de Dados (CMCD) no Centro Espacial de Cachoeira Paulista, SP; onde são processados e disponibilizados para a Comunidade, beneficiando o aperfeiçoamento de uma série de atividades de operação e desenvolvimento da pesquisa nas áreas de Instrumentação, Meteorologia, Agrometeorologia e Ciências Ambientais. Os satélites SCD 1 e SCD 2, foram lançados respectivamente em 9 de fevereiro de 1993 e 22 de outubro de 1998. Mais recentemente foi lançado o satélite Sino-Brasileiro de Sensoriamento Remoto (CBERS), que tem um módulo de coleta de dados. As Plataformas de Coleta de Dados (PCDs), são aparelhos eletrônicos, de alto nível de automação, são auto-suficientes, podem ser ligados diretamente a sistemas de computadores, ou podem transmitir suas informações, via satélites de coleta de dados. Transmitem dentro de níveis de alta confiabilidade, parâmetros ambientais, meteorológicos, hidrológicos ou agrometeorológicos, captados por sensores, desenvolvidos para estes fins. Uma grande variedade de sensores podem ser instalados na PCD, transmitindo grandezas Físicas, Químicas e Biológicas. A utilização das PCD em todo o Território Nacional, associada a um Sistema de Coleta de Dados via satélite, reveste-se de inegável importância, beneficiando diretamente a Sociedade e a Economia do País em áreas de prioritária importância como Agricultura, geração de Eletricidade, Defesa Civil, Turismo, etc. É de extrema importância que uma rede de PCDs, seja implementada no Estado do Rio Grande do Sul, pois contamos com apenas uma plataforma, que está instalada no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE-MCT (coordenadas geográficas 29°26'24"S, 53°48'38"W). Com esta rede, os modelos matemáticos de previsão do tempo, terão dados em tempo real que cobrem todo o Território do Estado, permitindo previsões do tempo com grandes níveis de confiabilidade, refletindo diretamente na qualidade de vida da Sociedade. Este trabalho, mostra a importância da implementação desta rede de PCDs para a sociedade, as vantagens que o Sistema de Transmissão de Dados via satélite oferece, comparando-o com os outros tipos de sistemas de coleta de dados.

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

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

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

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

<sup>5</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Química, LACESM/UFSM

<sup>6</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica, LACESM/UFSM

<sup>7</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica, LACESM/UFSM

# **O SOL E A ORIGEM DAS TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS<sup>1</sup>**

**Danieli B. Contreira<sup>2</sup>, Nelson J. Schuch<sup>3</sup>, Marlos R. da Silva<sup>4</sup>, Sheron de O. Monteiro<sup>4</sup>,  
Maiquel Canabarro<sup>5</sup>, Walter D. Gonzalez<sup>6</sup>**

Do ponto de vista dos seres humanos a Terra e o Sol são os astros mais importantes do Sistema Solar. O primeiro por se tratar de nossa casa, e o segundo por fornecer energia para os processos que ocorrem na superfície terrestre. O objetivo deste trabalho é realizar uma abordagem sobre tópicos de Física Solar e analisar as origens solares das Tempestades Geomagnéticas utilizando dados dos satélites, ACE, SOHO e GOES. A energia solar é gerada no núcleo dentro de enormes quantidades de calores e pressões, sendo transportada para as camadas externas por processos de radiação e convecção. A radiação solar apresenta variações de longos e curtos períodos. As variações transientes são associadas ao ciclo de manchas solares, e as variações recorrentes ao período de rotação solar de 27 dias. A estrutura interna é caracterizada por regiões denominadas: Núcleo, Zona Radiativa e Convectiva, sendo a Atmosfera Solar composta por: Fotosfera, Cromosfera e Corona. Na Fotosfera encontram-se as manchas solares, regiões escuras e frias, as quais o ritmo de surgimento determina as condições da Atmosfera Solar. Os campos magnéticos intensos associados a pares de manchas solares aprisionam altas energias eletromagnéticas que podem ser liberadas em períodos de instabilidades na forma de explosões solares. A Corona é a região de maior importância para os fenômenos físicos do Meio Interplanetário, pois através da evaporação de seu material constitui o Vento Solar, um fluxo constante de partículas carregadas a velocidades de 350 a 2000 km/s. Ejeções de massa coronal lançam a altas velocidades grandes quantidades de material constituinte da Corona, podendo atingir a Terra e originar as chamadas Tempestades Geomagnéticas cujos efeitos vão desde danos nas comunicações via satélites até a produção de "blecautes". Estas ejeções têm sido observadas através de coronógrafos a bordo do satélite SOHO e suas propriedades físicas e influências têm sido largamente estudadas. Como as atividades humanas estão cada vez mais dependentes de alta tecnologia que são muito sensíveis à atividade solar, a investigação científica das origens desta atividade e seus possíveis efeitos na Terra tomam-se de grande valia.

1 - Trabalho desenvolvido no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE

2 - Apresentador: Acadêmica do Curso de Engenharia Química – CT/UFSM

3 - Orientador: Dr. Nelson Jorge Schuch – Chefe da Unidade Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE

4 - Co-Autores: Acadêmicos do curso de Física – CCNE/UFSM

5 - Co-Autor: Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica – CT/UFSM

6 - Co-Autor: Dr. Walter D. Gonzalez – INPE

**XVII Jornada Acadêmica Integrada, UFSM, 02,03 e 04 de outubro de 2002**

# **INSTRUMENTAÇÃO NA BANDA DE HF PARA MONITORAMENTO IONOSFÉRICO NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL<sup>1</sup>**

Maiquel Canabarro<sup>2</sup>, Nelson J. Schuch<sup>3</sup>, Danieli B. Contreira<sup>4</sup>, Marlos R. da Silva<sup>5</sup>, José V. Bageston<sup>5</sup>, Rafael Krummenauer<sup>6</sup>

Um dos meios mais utilizados no monitoramento da Ionosfera é através da recepção de ondas de rádio. Estas ondas, em médias frequências (MF), e até mesmo altas frequências (HF) são refletidas ao se chocarem com a Ionosfera, em alturas que dependem da frequência da onda e da densidade do meio. O Objetivo deste trabalho é apresentar a eficiência da implementação de um sistema simples e de baixo custo para realizar estudos dos efeitos ocasionados por distúrbios ionosféricos sobre sinais de rádio-comunicação. O sistema receptor foi obtido através de uma cooperação científica internacional com a Takushoku University – Japão, e encontra-se instalado e em operação contínua no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE-MCT desde outubro de 2000. O sistema consiste de um rádio-receptor para sinais de amplitude modulada (AM) na faixa de altas frequências (HF), modelo NRD-535 da JRC (Japan Radio Communication), com interface serial RS-232 possibilitando o controle do rádio por computador. Para aquisição dos dados foi desenvolvido um software que muda automaticamente as frequências de recepção, que são pré-definidas pelo usuário e adquire os valores de potência do sinal captado, transmitido via reflexão ionosférica por estações de rádio comercial. Os dados são obtidos em unidades digitais arbitrárias sendo convertidos posteriormente para unidades dBm. Os sinais de 4 diferentes estações têm sido continuamente monitorados, e os valores de potência do sinal são gravados em arquivos textos diários com amostragem de 10 segundos. A potência do sinal de 6 MHz tem sido principalmente analisada devido a sua estabilidade, em relação às outras frequências de recepção, (9.645, 9.565, 15.4MHz). Nesta banda o sinal tem apresentado variabilidade diária, sazonal e absorção do sinal durante eventos que originam aumento na densidade eletrônica ionosférica. Através dos resultados previamente obtidos, verifica-se que o sistema é eficiente para o monitoramento diário e sazonal da Ionosfera local, permitindo estudos de eventos de absorção ionosférica na faixa de 6 MHz.

- 1 - Trabalho desenvolvido no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE
- 2 - Apresentador: Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica – CT/UFSM
- 3 - Orientador: Dr. Nelson Jorge Schuch – CRSPE/INPE
- 4 - Co-Autores: Acadêmica do curso de Engenharia Química – CT/UFSM
- 5 - Co-Autor: Acadêmicos do curso Física – CCNE/UFSM
- 6 - Co-Autor: Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica – CT/UFSM

**XVII Jornada Acadêmica Integrada, UFSM, 02,03 e 04 de outubro de 2002**



**ANEXO C**  
**CERTIFICADOS DOS TRABALHOS APRESENTADOS**



**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO**  
**VICE-REITORIA DE EXTENSÃO E ASSUNTOS COMUNITÁRIOS**  
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E GEOCIÊNCIAS

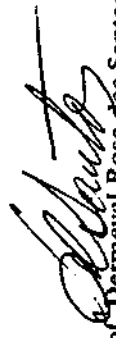
**CERTIFICADO**

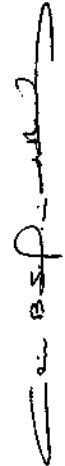
Certificamos que MARLOS ROCKENBACH DA SILVA, registro nº 0352, apresentou o trabalho "IMPORTÂNCIA DOS RAIOS CÔSMICOS NA PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL" no XVII CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA E III FEIRA DE PROTÓTIPOS CRICTE 2002, promovido pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura e Instituto de Ciências Exatas e Geociências da Universidade de Passo Fundo, no período de 23 a 25 de outubro de 2002.

A programação foi aprovada pelo Consum em 5 de abril de 2002, ata nº 273.

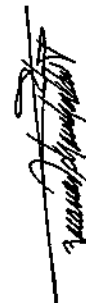
Passo Fundo, 25 de outubro de 2002.

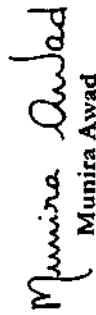


  
Prof. Dermeval Rosa-dos Santos  
Diretor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura

  
Profa. Cléa Bernadete S. N. Nunes  
Diretora do Instituto de Ciências Exatas e Geociências

  
Prof. Antônio Thomé  
Coordenador do Congresso

  
Prof. Zacarias Chamberlain  
Coordenador do Congresso

  
Munira Awad  
Coordenadora da Divisão de Extensão

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO**  
**VICE-REITORIA DE EXTENSÃO E ASSUNTOS COMUNITÁRIOS**  
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E GEOCIÊNCIAS

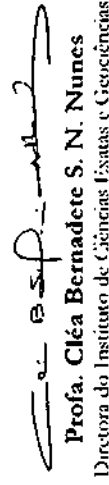
**CERTIFICADO**

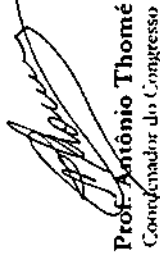
Certificamos que **MARLOS ROCKENBACH DA SILVA**, registro nº 0010, recebeu o prêmio "Trabalho Destaque - 1º lugar", na área "Engenharia AeroEspacial", com o trabalho "IMPORTÂNCIA DOS RAIOS CÓSMICOS NA PREVISÃO DO CLIMA ESPACIAL" no XVII CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA E III FEIRA DE PROTÓTIPOS CRICTE 2002, promovido pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura e Instituto de Ciências Exatas e Geociências da Universidade de Passo Fundo, no período de 23 a 25 de outubro de 2002.

A programação foi aprovada pelo Consun em 5 de abril de 2002, ata nº 273.

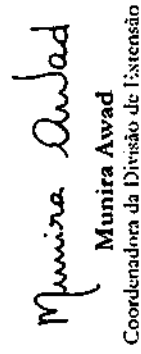
Passo Fundo, 25 de outubro de 2002.

  
Prof. Dermeval Resz dos Santos  
Diretor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura

  
Profa. Cléa Bernadete S. N. Nunes  
Diretora do Instituto de Ciências Exatas e Geociências

  
Prof. Antônio Thomé  
Coordenador do Congresso

  
Prof. Zacarias Chamberlain  
Coordenador do Congresso

  
Munira Avad  
Coordenadora da Divisão de Extensão



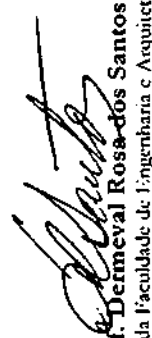
**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO**  
**VICE-REITORIA DE EXTENSÃO E ASSUNTOS COMUNITÁRIOS**  
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E GEOCIÊNCIAS

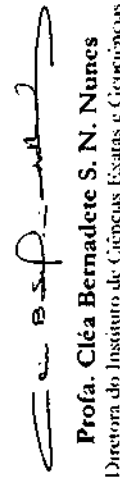
**CERTIFICADO**

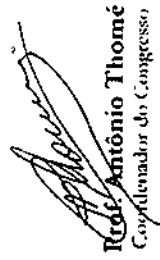
Certificamos que **MARLOS ROCKENBACH DA SILVA**, registro nº 0353, apresentou o trabalho "OBSERVAÇÕES DE RAIOS CÓSMICOS NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL – OES (29 S, 53 O)" no **XVIII CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA E III FEIRA DE PROTÓTIPOS CRICTE 2002**, promovido pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura e Instituto de Ciências Exatas e Geociências da Universidade de Passo Fundo, no período de 23 a 25 de outubro de 2002.

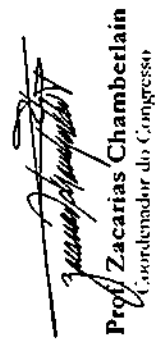
A programação foi aprovada pelo Consun em 5 de abril de 2002, ata nº 273.

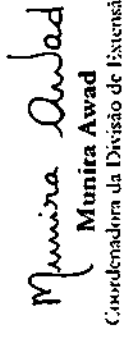
Passo Fundo, 25 de outubro de 2002.

  
Prof. Dermeval Rosa dos Santos  
Diretor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura

  
Profa. Cléia Bernadete S. N. Nunes  
Diretora do Instituto de Ciências Exatas e Geociências

  
Prof. Antônio Thomé  
Coordenador do Congresso

  
Prof. Zacarias Chamberlain  
Coordenador do Congresso

  
Munira Awad  
Coordenadora da Divisão de Extensão





# JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA

Ministério da Educação - Universidade Federal de Santa Maria

---

## CERTIFICADO

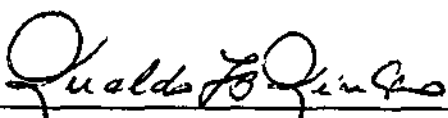


Certificamos que

**MARLOS ROCKENBACH DA SILVA**

Participou da XVII Jornada Acadêmica Integrada, realizada nos dias 02, 03 e 04 de outubro de 2002, como apresentador/autor do trabalho

**IMPORTÂNCIA DA IMPLEMENTAÇÃO DA REDE DE  
PLATAFORMAS DE COLETA DE DADOS METEOROLÓGICOS  
NO RIO GRANDE DO SUL**

  
Comissão Executiva  
Outubro de 2002

**acenda sua idéia!**

**2002**

**UFSM**

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

# XVII JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA

Ministério da Educação - Universidade Federal de Santa Maria

## CERTIFICADO



Certificamos que

MARLOS ROCKENBACH DA SILVA

Participou da XVII Jornada Acadêmica Integrada, realizada nos dias 02, 03 e 04 de outubro de 2002, como co-autor do trabalho

INSTRUMENTAÇÃO NA BANDA DE HF PARA  
MONITORAMENTO IONOSFÉRICO NO OBSERVATÓRIO  
ESPACIAL DO SUL

Comissão Executiva  
Outubro de 2002

acenda sua idéia!

2002  
UFSM  
[www.ufsm.br/jornada](http://www.ufsm.br/jornada)

# XVII JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA

Ministério da Educação - Universidade Federal de Santa Maria

## CERTIFICADO




Certificamos que

**MARLOS ROCKENBACH DA SILVA**

Participou da XVII Jornada Acadêmica Integrada, realizada nos dias 02, 03 e 04 de outubro de 2002, como co-autor do trabalho

**O SOL E A ORIGEM DAS TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS**

  
Comissão Executiva  
Outubro de 2002

**acenda sua idéia!**

**2002**

**UFSM**

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



UNITED NATIONS OFFICE AT VIENNA

OFFICE DES NATIONS UNIES A VIENNE

**OFFICE FOR OUTER SPACE AFFAIRS**

Vienna International Centre

P.O. BOX 500, A 1400 VIENNA, AUSTRIA

TELEPHONE (43 1) 26060-4950; FAX: (43 1) 26060-5830; (43 1) 263 3389

E-mail: [OOSA@unov.un.or.at](mailto:OOSA@unov.un.or.at) URL: [http://www.un.or.at/OOSA\\_Kiosk/index.html](http://www.un.or.at/OOSA_Kiosk/index.html)

6 September 2002

**UN/LAF Workshop on "Space Solutions for Global Problems: Building Working Partnership with All Stakeholders in Human Security and Development"**  
*(10-12 October 2002, Houston, Texas, United States of America)*

Dear Mr. Rockenbach da Silva,

Thank you very much for your interest in the United Nations/International Astronautical Federation Workshop on "Space Solutions for Global Problems: Building Working Partnership with All Stakeholders in Human Security and Development", to be held from 10 to 12 October 2002, in Houston, Texas, United States of America. We have received your application and noted your request for funding by the co-sponsors for both air travel and living expenses.

We are very pleased to have received more than 70 applications from close to 40 countries from around the world. There are a number of highly qualified applicants, and the selection of participants to be funded by the co-sponsors was conducted on a competitive basis, bearing in mind the need to provide equal opportunities to all regions. We also made efforts to provide opportunities to those applicants who have not been funded by our Office for our activities in the past years.

While we welcome your participation in the Workshop, we regret to inform you that we are unable to fund your participation. We hope that you will be able to receive financial support through other means and that you will be able to contribute to this important Workshop.

Yours sincerely,

A handwritten signature in black ink that reads "Sergio Camacho L.".

Sergio Camacho L.

Officer-in-Charge

Office for Outer Space Affairs

Mr. Marlos Rockenbach da Silva  
INPE  
Brazil  
FAX: +55 55 220 8007



**Título**

ESTUDO DO CLIMA ESPACIAL COM A UTILIZAÇÃO DA REDE DE TELESCÓPIOS CINTILADORES DE MUONS

**Autor**

Marlos Rockenbach da Silva; Walter Demetrio Gonzalez Alarcon; Nelson Jorge Schuch; Alissom Dal Lago; Ezequiel Echer; Luiz Eduardo Vieira; Kazuoki Munakata; Takao Kuwabara

**Tradutor**

Não há.

**Editor**

Origem	Projeto	Série	No. de Páginas	No. de Fotos	No. de Mapas
DMC	Pibic		87	44	0

**Tipo**

RPQ  PRE  NTC  PRP  MAN  PUD  TAE

**Divulgação**

Externa  Interna  Reservada  Lista de Distribuição Anexa

**Periódico / Evento**

Seminário de Iniciação Científica do INPE - SICINPE 2003

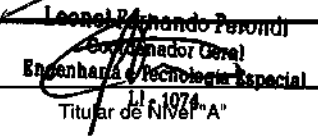
**Convênio**

**Autorização Preliminar**

/  /  Data
 
  
 Takao Kuwabara  
 Chefe de Divisão de Monitoramento e Controle - DMC

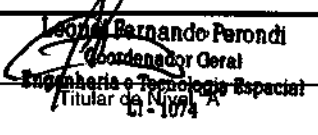
**Revisão Técnica**

Solicitada  Dispensada  
 Recebida  Devolvida

  
 Leonel Bernardo Perondi  
 Coordenador Geral  
 Engenharia e Tecnologia Espacial  
 Titular de Nível "A"  
 Assinatura do Revisor

**Revisão de Linguagem**

Solicitada  Dispensada  
 Recebida  Devolvida

  
 Leonel Bernardo Perondi  
 Coordenador Geral  
 Engenharia e Tecnologia Espacial  
 Titular de Nível "A"  
 Assinatura do Revisor

**Autorização Final**

/  /  Data
 
 \_\_\_\_\_  
 Titular da Unidade

**Palavras Chave**

clima espacial, muons





# ESTUDO DO CLIMA ESPACIAL COM A UTILIZAÇÃO DA REDE DE TELESCÓPIOS CINTILADORES DE MUONS

Marlos Rockenbach da Silva<sup>41</sup> (CRSPE/INPE-MCT, Bolsista PIBIC/CNPq)  
Dr. Walter Demétrio Gonzalez<sup>42</sup> (DGE/CEA/INPE-MCT)  
Dr. Alisson Dal Lago<sup>43</sup> (DGE/CEA/INPE-MCT)  
Dr. Nelson Jorge Schuch<sup>44</sup> (CRSPE/INPE-MCT)

## RESUMO

Um distúrbio solar se propagando no meio interplanetário afeta a população de raios cósmicos galácticos pré-existentes de várias maneiras. A mais conhecida é o “decréscimo de Forbush”, uma região de supressão da densidade de raios cósmicos localizada atrás de um choque devido a uma ejeção de massa coronal (EMC). Algumas partículas desta região de supressão da densidade de raios cósmicos caem na parte frontal da onda de choque e, viajando próximo a velocidade da luz, se afastam da mesma sendo observadas como uma forte anisotropia precursora, bem à frente do choque. Cones de perdas são tipicamente observados de 6 a 9 horas antes da chegada da onda de choque associada às tempestades geomagnéticas intensas. Para este precursor ser observado, há a necessidade de que o detector esteja magneticamente conectado com a estrutura causadora deste precursor, pois as partículas dos raios cósmicos viajam preferencialmente ao longo das linhas do Campo Magnético Interplanetário (CMI). Devido a este fato, no início do mês de março de 2001, um protótipo do Telescópio Cintilador de Muons foi instalado no município de São Martinho da Serra (Latitude 29°26'24”S, Longitude 53°48'38”W e Altitude de 500m acima do nível do mar) no prédio principal do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE-MCT, com o intuito de cobrir as áreas Atlântica e Européia, onde existia um grande buraco na cobertura da antiga Rede Internacional de Detectores de Muons. Estes detectores podem fazer medidas em múltiplas direções de uma única localização utilizando telescópios inclinados, para partículas com energias muito altas. Com esta rede de Detectores Multidirecionais de Muons, compreendida pelos detectores instalados nas cidades de Nagoya, no Japão e em Hobart, na Austrália, além do detector protótipo recentemente instalado no Observatório Espacial do Sul, é possível detectar estas anisotropias precursoras. Está sendo estudada a ampliação do detector protótipo do Observatório Espacial do Sul (2m x 2m), por um detector idêntico aos detectores de Nagoya e de Hobart (6m x 6m). Esta ampliação viabilizará melhor cobertura da área que está sendo coberta pelo detector protótipo, aumentando assim, os níveis de confiabilidade da previsão destas estruturas solares que podem causar intensas Tempestades Geomagnéticas. Este Projeto tem como objetivo principal a identificação destas anisotropias precursoras, através de uma comparação entre os dados e análises da intensidade relativa dos raios cósmicos das três estações que formam esta Rede Internacional de Detectores de Muons, Japão Austrália e Brasil.

<sup>41</sup> Aluno do Curso de Física Licenciatura Plena, UFSM. E-mail: [marlos@lacesm.ufsm.br](mailto:marlos@lacesm.ufsm.br)

<sup>42</sup> Pesquisador da Divisão de Geofísica Espacial, Chefe do Grupo Magnetosfera e Heliosfera - MAGHEL.  
E-mail: [gonzalez@dge.inpe.br](mailto:gonzalez@dge.inpe.br)

<sup>43</sup> Pesquisador da Divisão de Geofísica Espacial. E-mail: [dallago@dge.inpe.br](mailto:dallago@dge.inpe.br)

<sup>44</sup> Chefe do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais. E-mail: [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)