

Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE



Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Centro de Tecnologia - CT
Laboratório de Ciência Espacial de Santa Maria - LACESM

Tempestades geomagnéticas: danos materiais e busca de sua redução através de previsão usando detectores de muons

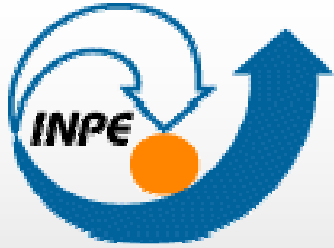
Carlos Roberto Braga

Bolsista PIBIC/INPE - CNPq
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica
2º Ano

Orientador: Dr. Alisson Dal Lago

Co-autores: Jairo Francisco Savian; Marlos Rockenbach da Silva;
Vânia Fátima Andrioli; Nelson Jorge Schuch



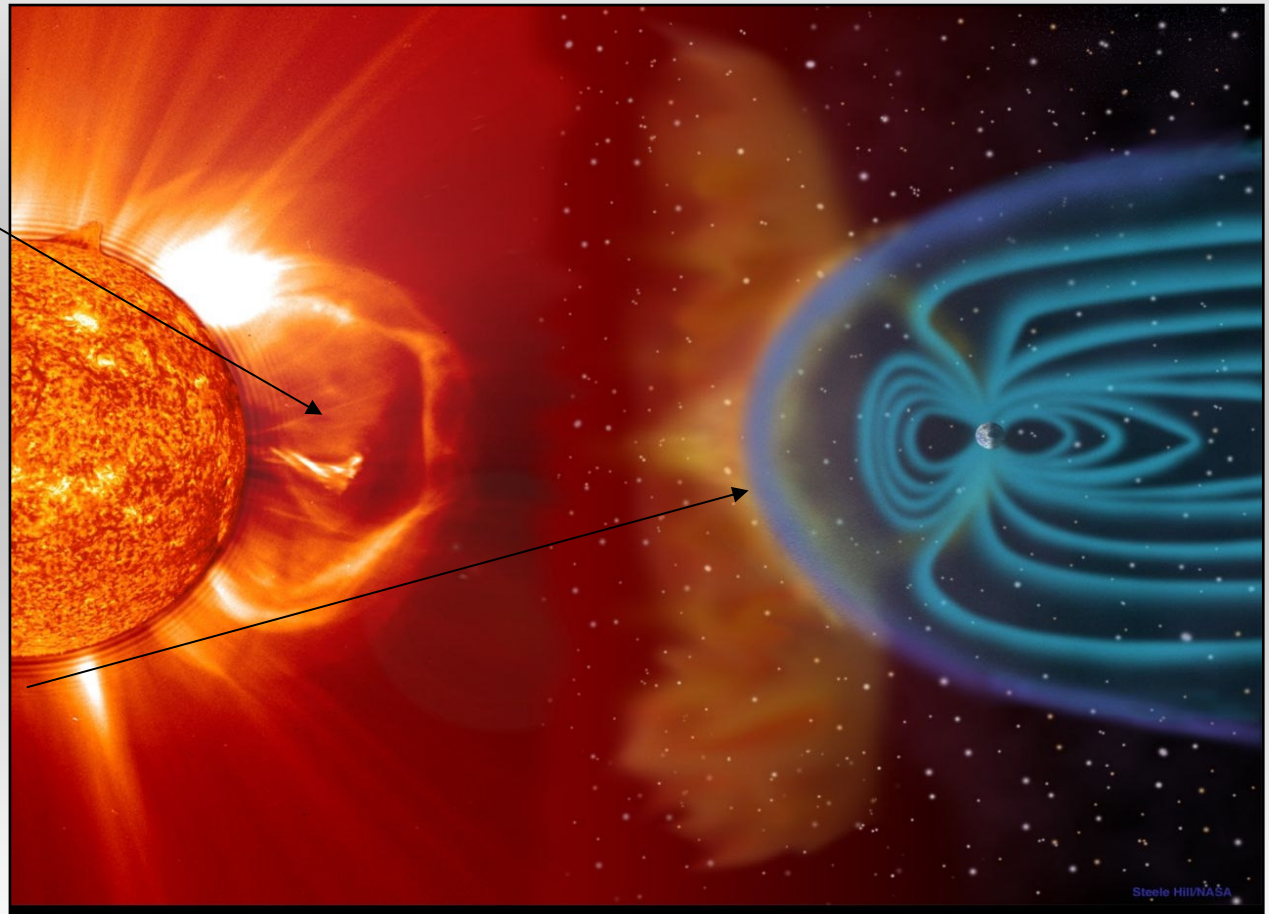


Meio interplanetário e estrutura geoféticas

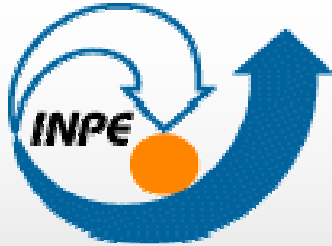


Ejeção coronal de massa (CME)

Campo Geomagnético



Fonte: modificado de <http://sohowww.nascom.nasa.gov>



Tempestades Geomagnéticas



- Sua assinatura característica é um decréscimo na componente H (horizontal) do Campo Magnético Terrestre, em médias e baixas latitudes, durante cerca de algumas dezenas de horas;
- Ocorre grande transferência de energia do vento solar para o campo magnético terrestre, havendo precipitação de partículas energéticas do vento solar nas regiões aurorais, e intensificando as correntes elétricas da magnetosfera;
- Para sua ocorrência é necessário que o campo magnético interplanetário apresente substancial componente na direção Z negativa do sistema de coordenadas Magnetosfera-Sol (GSM), ou seja, anti-paralelo ao campo geomagnético.



Fonte: Gonzalez *et al*, 1994

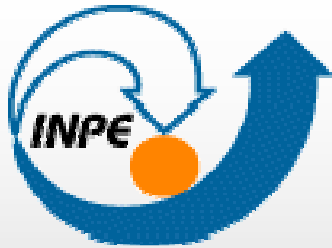


Objetivos



- Relatar danos que podem ser causados por tempestades geomagnéticas ressaltando, dessa forma, a importância do estudo do Clima Espacial;
- Descrever o funcionamento e utilização de telescópios detectores de raios cósmicos de alta-energia (muons);
- Analisar sua resposta em período de tempestade geomagnética e comentar sua eficiência para possíveis previsões de tempestades geomagnéticas.





Danos causados a dispositivos



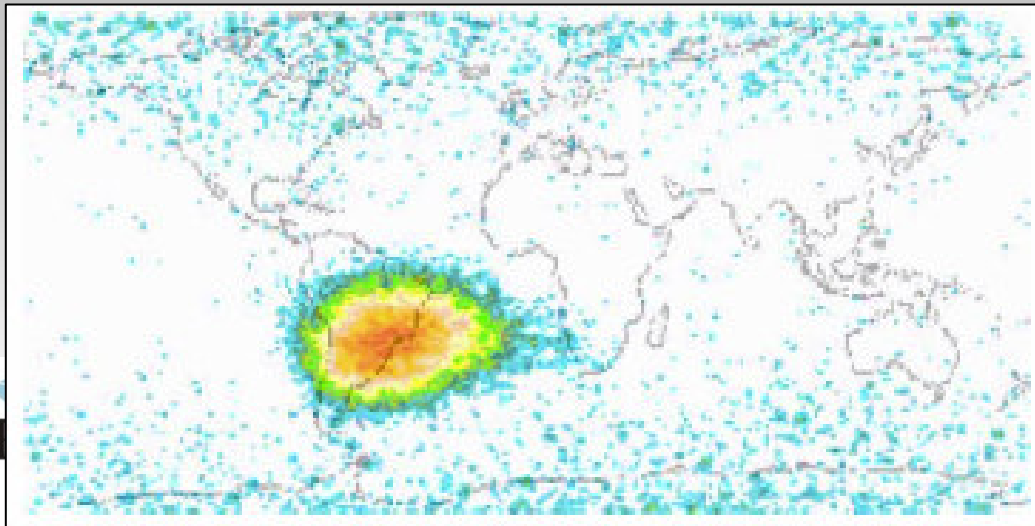
Fonte: modificado de <http://www.spaceweathercenter.org>



Danos a dispositivos no espaço

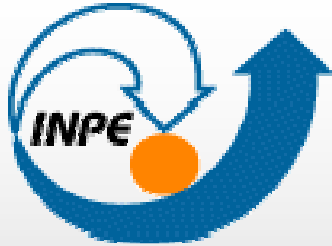


- Causados por partículas ionizadas (elétrons de 30MeV, prótons de 500MeV, íons pesados oriundos de explosões solares etc) e/ou altamente energéticas (raios cósmicos acelerados a energias da ordem de GeV);
- Componentes eletrônicos são extremamente sensíveis ao meio radioativo no espaço, tais como sensores, amplificadores, CCD's e diversos produzidos com semicondutores;
- Satélites estão sujeitos a falhas e redução no tempo de vida útil;



Mapeamento de densidade de erros (em escala logarítmica) para 28 memórias a bordo do experimento ICARO (Novembro 2002 – Setembro 2002).

Fonte: D. Falguère, et al., In-flight observations of the radiative environment and its effects on devices in the SAC-C polar orbit, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-49 (6) (2002) 2782.



Detecção e previsão através da rede de muons



Por que utilizar detectores de raios cósmicos (muons)?

- Estão sujeitos a modulações conseqüentes de distúrbios interplanetários como choques e ejeções coronais associadas (Lockwood, 1971; Cane, 1993);
- Possuem alta velocidade no vento solar permitindo que a informação contida em anisotropias precursoras seja carregada rapidamente a regiões remotas, como a superfície terrestre (Munakata *et al*, 2000);
- Possuem elevado livre caminho médio no meio interplanetário, permitindo a conservação da direção do raio cósmico (Munakata *et al*, 2000).

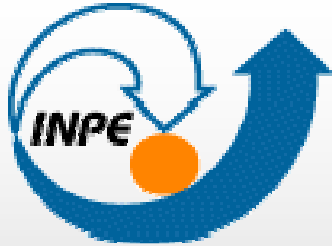
Quais suas vantagens?

- Permite previsão de tempestades geomagnéticas com antecedência de até 12 horas (Munakata *et al*, 2000);
- Fácil manutenção e baixo custo de implantação, se comparado a utilização de satélites;
- Permite utilização de grande número de detectores e grande área de superfície.

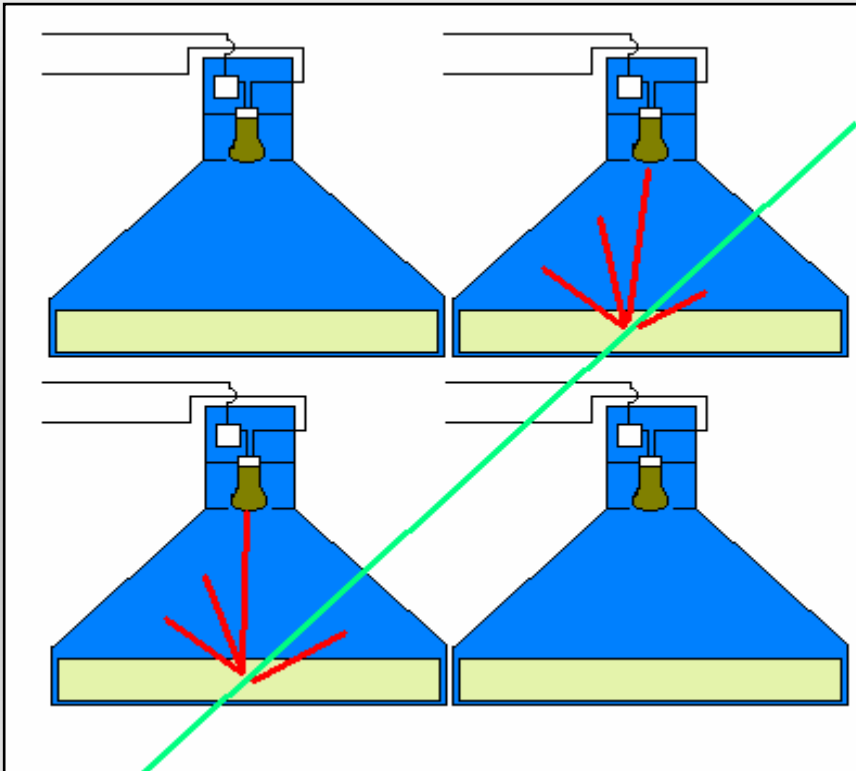


O que é necessário?

- Boa cobertura de ângulos de *pitch* na direção do IMF no sentido do Sol.



Detector de muons



Contagem de muons:

- **Raios cósmicos** chegam continuamente a Terra e, em períodos sem ejeções coronais de massa, de forma isotrópica;
- Ao chegarem a atmosfera terrestre, raios cósmicos de alta-energia passam por um processo de decaimento, transformando-se em **muons**;
- A passagem de muons por plásticos cintilante libera **fótons**;
- Fótons são detectados por fotomultiplicadoras, tendo como saída **pulsos elétricos**;
- Realiza-se contagem horária dos pulsos (isto é, dos muons) que atingem o plástico cintilante;

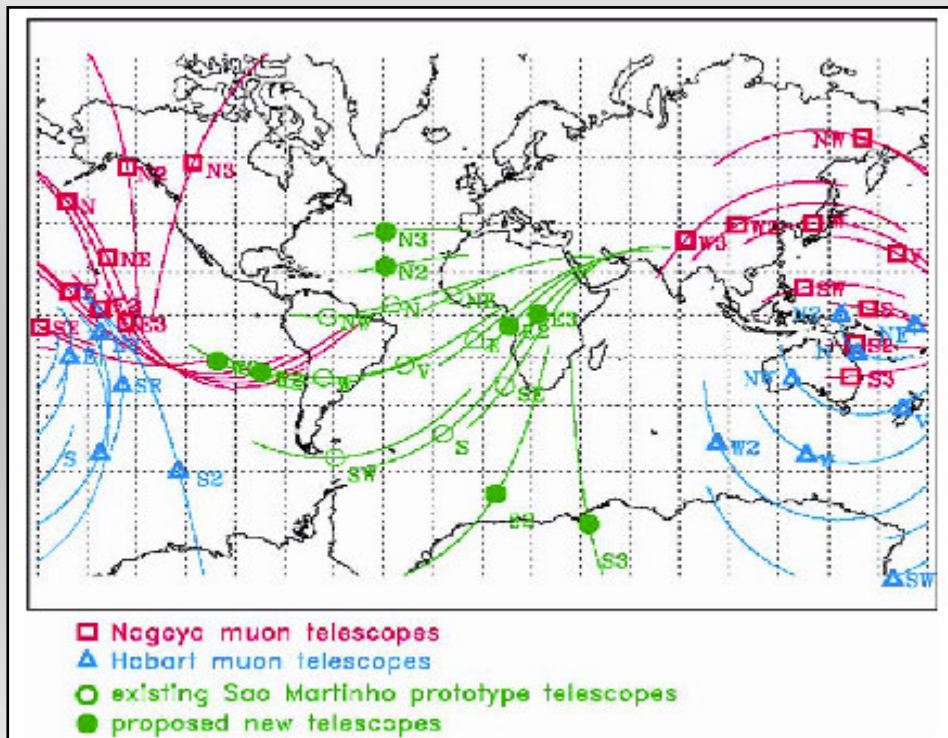
Direção de chegada:

- Realiza-se **correlação** entre as duas camadas de detectores;
- O muon incidente atravessa **dois detectores**: um na camada superior e outro na camada inferior;
- Com estes **dois pontos da trajetória** do muon, determina-se sua **direção**.



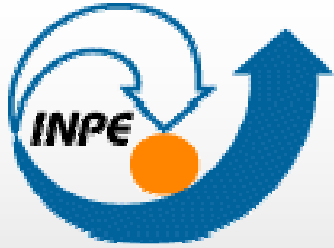


Rede internacional de detectores de muons



- Visa cobertura de toda superfície terrestre, isto é, todas direções de visão;
- Possui três detectores: Nagoya (Japão), Hobart (Austrália) e São Martinho da Serra (Brasil);
- Cada detector possui vários telescópios direcionais: vertical, 30° S, 30° N, 30° L, 30° O, 39° SE, 39° SO, 39° NE, 39° NO, 64° N, 64° S, 64° L, 64° O;
- Atualmente possui lacuna em sua cobertura na região do Oceano Atlântico e do continente europeu
- A referida lacuna está sendo corrigida com a presente ampliação do telescópio de São Martinho da Serra.





Telescópios de Muons no Brasil



- Foi instalado um protótipo em 2001 no Observatório Espacial do Sul (OES/CRSPE/INPE – MCT), São Martinho da Serra, RS;
- Possuía 8 detectores (16 telescópios direcionais) dispostos em duas camadas de dimensões 2x2;
- Desde maio de 2005, está em processo de ampliação para 72 detectores (duas camadas de 4x9).





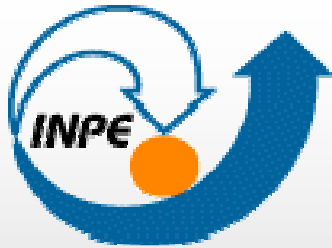
Estudo de caso: 05 a 12 Nov. 2004



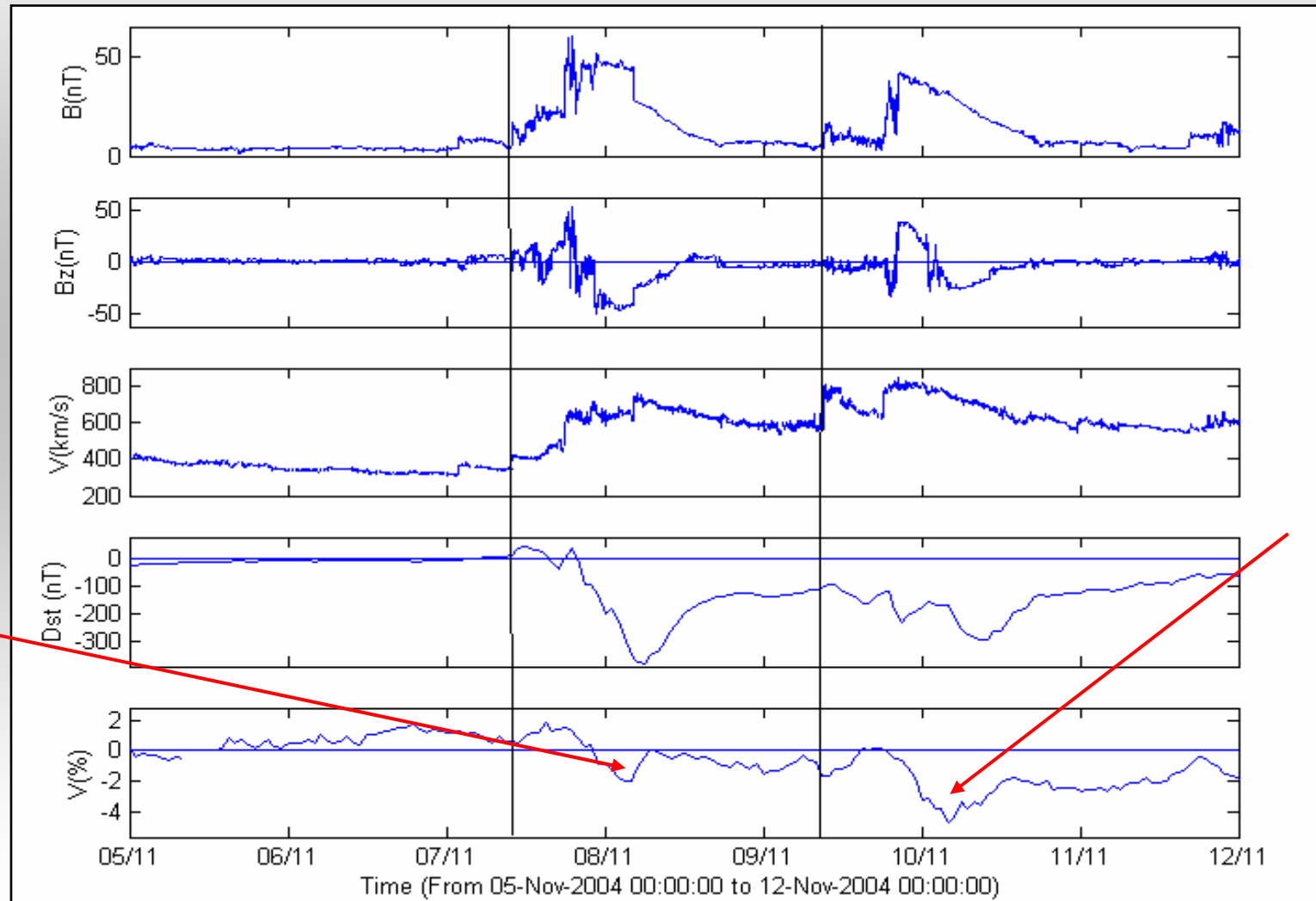
Metodologia

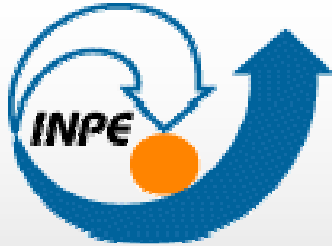
- Contagem horária de muons para a direção vertical do telescópio de São Martinho da Serra;
- Utilização do índice Dst;
- Utilização de dados do meio interplanetário do satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*) localizado no ponto lagrangeano;





Resultados Obtidos





Resultados Obtidos



- Ocorrem dois decréscimo do índice Dst, caracterizando dois eventos de tempestades geomagnéticas no período analisado;
- Os decréscimos são inferiores a $Dst < -100nT$, tratando-se de tempestades geomagnéticas intensas;
- Ocorre aumento da velocidade do vento solar;
- Ocorre grande aumento na intensidade do campo magnético interplanetário (IMF);
- Ocorre rotação no componente z do IMF nos dois eventos;
- Ocorrem decréscimo na contagem de muons para o componente vertical no telescópio de São Martinho da Serra de pelo menos 2%, indicando que houve blindagem dos raios cósmicos por parte das estruturas interplanetárias;



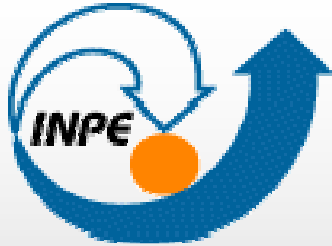


Resultados Obtidos



- Através dos parâmetros apresentados, pode-se concluir que trata-se que uma nuvem magnética interplanetária;
- A análise preliminar de alguns eventos por Da Silva, M.R. (2005) indica que há uma diminuição de aproximadamente 1,5% em média nas contagens de raios cósmicos observados em São Martinho da Serra durante tempestades geomagnéticas intensas.
- Como utilizamos apenas a direção vertical dos raios cósmicos, observamos os decréscimos já durante as tempestades geomagnéticas, porém, Munakata *et al.* (2000) mostraram que utilizando todas as direções, é possível fazer previsões da ocorrência destes distúrbios geomagnéticos com antecedência de até 10 horas.





Conclusões



- O presente detector de muons instalado em São Martinho da Serra apresentou resposta adequada no período analisado, sendo possível detectar significativas diminuições nas contagens dos muons durante dois eventos geofetivos. Isto indica que com a utilização de mais direções, este detector será uma ferramenta adequada de previsões de tempestades geomagnéticas;
- A ampliação da presente rede com o acréscimo de detectores ao telescópio de São Martinho da Serra torna a rede excelente ferramenta para a previsão de tempestades geomagnéticas visto que há cobertura do todos as regiões da superfície terrestre;
- Evitar-se-á maiores danos a sistemas elétricos e de telecomunicações, tanto na Terra como no Espaço.





Agradecimentos



- Ao programa PIBIC/INPE – CNPq, pela bolsa de iniciação científica;
- Ao Convênio Brasil – Japão – EUA em Clima Espacial, em especial ao Dr. Kazuoki Munakata;
- *World Data Center for Geomagnetism*, Kyoto, Japão, pela disponibilidade dos dados do índice Dst;
- A missão espacial ACE pela disponibilidade de dados de plasma e campo magnético.

E-mail para contato:
carlos@lacesm.ufsm.br

