



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

**INPE-10062-PRE/5607**

**ESTUDO DE PULSAÇÕES CONTÍNUAS E TRANSIENTES NO  
CAMPO GEOMAGNÉTICO NA GRANDE REGIÃO DA  
ANOMALIA MAGNÉTICA DO HEMISFÉRIO SUL**

Ederson Staudt  
Nalin B. Trivedi  
Nelson Jorge Schuch

Seminário de Iniciação Científica do INPE (SICINPE 2003).

INPE  
São José dos Campos  
2003

**ESTUDO DE PULSAÇÕES CONTÍNUAS E TRANSIENTES NO CAMPO  
GEOMAGNÉTICO NA GRANDE REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO  
HEMISFÉRIO SUL**

Ederson Staudt<sup>19</sup> (CRSPE/INPE-MCT, Bolsista PIBIC/CNPq)  
Dr. Nalin B. Trivedi<sup>20</sup> (LACESM/CT/UFSM-MEC)  
Dr. Nelson Jorge Schuch<sup>21</sup> (CRSPE/INPE-MCT)

**RESUMO**

As pulsações contínuas e transientes são flutuações do Campo Magnético Terrestre de período curto (0,2-1000 s) e longo (4-100000 s), estas pulsações Magnéticas devem – se à manifestação de ondas de plasma de frequências ultra-baixa na região do Campo Geomagnético correspondente a Magnetosfera, e são provocadas pela manifestação de ondas hidromagnéticas geradas por vários processos físicos que ocorrem nesta região. Neste estudo analisamos os dados Geomagnéticos coletados na Estação Geomagnética de São Martinho da Serra (SMS), situada na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) e nas Estações Geomagnéticas de Ji-Paraná (JIP) e Presidente Médice (PRM), situadas ao redor do Equador Magnético. Com a análise encontramos os eventos de pulsações Magnéticas e estudamos as possíveis causas de sua geração na Ionosfera e Magnetosfera e a sua propagação até a Superfície Terrestre, onde estão localizados os aparelhos para detecção destes eventos. As pulsações detectadas em São Martinho da Serra (SMS), são observadas nas estações Magnéticas de Ji-Paraná (JIP) e Presidente Médice (PRM), com algumas diferenças nas amplitudes dos eventos. Durante o dia das 06-18 horas (local) as pulsações detectadas em JIP e PRM são maiores se comparadas àquelas observadas em SMS, devido às intensas correntes ionosféricas chamadas de Eletrojato Equatorial ao redor do Equador Magnético. Durante a noite das 18h às 6h horas (local), as amplitudes das pulsações são de mesmas amplitudes em SMS, JIP e PRM. A região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul é caracterizada pela baixa intensidade do Campo Magnético Total F, tornando-a uma região sujeita a precipitação de partículas carregadas como prótons e elétrons. Quando isso ocorre, às amplitudes das pulsações em SMS são maiores que as observadas em JIP e PRM. Estamos detectando eventos que ocorrem junto com a precipitação de partículas carregadas na região da Anomalia e estudando as suas características.

---

<sup>19</sup> Aluno do Curso de Física Licenciatura Plena, UFSM. E-mail: ederson@mail.ufsm.br

<sup>20</sup> Universidade Federal de Santa Maria. E-mail: trivedi@lacesm.ufsm.br

<sup>21</sup> Chefe do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais. E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**Estudo de Pulsações Contínuas e Transientes no Campo  
Geomagnético na Grande Região da Anomalia Magnética do  
Hemisfério Sul.**

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

Ederson Staudt (RSU/INPE, Santa Maria, RS, Brasil, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: [edersonst@mail.ufsm.br](mailto:edersonst@mail.ufsm.br)

Dr. Nalin B. Trivedi (LACESM/CT/UFSM, Santa Maria, RS, Brasil, Orientador)  
E-mail: [trivedi@lacesm.ufsm.br](mailto:trivedi@lacesm.ufsm.br)

**COLABORADORES**

Dr. Severino L. Guimarães Dutra Colaborador, pesquisador - DGE/INPE  
Dr. Nelson Jorge Schuch - RSU/INPE, Santa Maria, RS, Brasil

Maio de 2003



**Estudo de Pulsações Contínuas e Transientes no Campo  
Geomagnético na Grande Região da Anomalia Magnética do  
Hemisfério Sul.**

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

**Ederson Staudt (RSU/INPE, Santa Maria, RS, Brasil, Bolsista  
PIBIC/CNPq)**

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

**Dr. Nalin B. Trivedi (LACESM/CT/UFSM, Santa Maria, RS, Brasil,  
Orientador)**

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





## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus orientadores, Dr. Nalin B. Trivedi, Dr. Nelson J. Schuch, Dr. Bashir M. Pathan, aos demais integrantes do Grupo de Geomagnetismo e Magnetosfera pela colaboração e auxílio nas dificuldades que surgiram, ao INPE, PIBIC/CNPq e a UFSM pelo suporte dado e a todos que de alguma maneira contribuíram no decorrer da execução do projeto e a elaboração deste relatório.





## ÍNDICE

INTRODUÇÃO .....	5
1.1. O CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE EM SANTA MARIA	7
1.2. O OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DO CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – OES/CRSPE/INPE EM SÃO MARTINHO DA SERRA – RS .....	7
1.3. GEOMAGNETISMO E MAGNETOSFERA TERRESTRE.....	8
1.4. COOPERAÇÃO CIENTÍFICA INTERNACIONAL BRASIL/JAPÃO EM CIÊNCIAS ESPACIAIS BÁSICAS .....	9
1.5. OBJETIVOS GERAIS DO PROJETO .....	9
1.5.1. PLANO DE TRABALHO .....	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	12
2.1 O CAMPO GEOMAGNÉTICO .....	12
2.2 FENÔMENOS SOLARES E EFEITOS GEOFÍSICOS DA ATIVIDADE SOLAR .....	13
2.3 MANCHAS SOLARES.....	14
2.4 ERUPÇÕES OU “FLARES” .....	14
2.5 EMISSÃO DE PARTÍCULAS PELO SOL.....	15
2.6 ONDAS HIDROMAGNÉTICAS .....	17
2.7 CAMPO DE VARIAÇÕES .....	17
3. MÉTODOS E MATERIAIS .....	25
4. ANÁLISE DE DADOS.....	29
4.1 FILTRAGEM DIGITAL.....	29
6. ATIVIDADES DO BOLSISTA.....	31
8. CONCLUSÃO .....	33
9. BIBLIOGRAFIA.....	34
10. ANEXOS - RESUMOS E CERTIFICADOS DE TRABALHOS APRESENTADOS EM EVENTOS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA.....	35





## INTRODUÇÃO

O campo geomagnético é uma barreira que impede o avanço do vento solar (plasma solar), fazendo-o contornar a Terra a velocidades supersônicas e criando uma bolha alongada semelhante à forma de um cometa, denominada magnetosfera. Dentro da cavidade magnetosférica, o campo geomagnético encontra-se em constante interação com o plasma solar, gerando ondas hidrogeomagnéticas na fronteira de interação. Essas ondas se propagam ao longo das linhas do campo geomagnético, são modificadas ao atravessar a ionosfera terrestre e chegam à superfície na forma de variações geomagnéticas. Na faixa de períodos entre 0.2 e 1000 s, essas variações são conhecidas como pulsações magnéticas. Há também variações transientes e quase-periódicas (períodos entre alguns minutos a algumas dezenas de minutos) que surgem em resposta a mudanças abruptas da pressão dinâmica do vento solar. Apesar de uma vasta infra-estrutura técnica e experimental, os processos de geração e transmissão dessas ondas até a superfície terrestre não se encontram ainda suficientemente entendidos, o que é válido principalmente nas regiões de baixas latitudes magnéticas (caso do território brasileiro).

Uma grande parte do território brasileiro principalmente no sul do equador magnético é ocupada pela anomalia magnética do campo geomagnético total - F, a região de menor intensidade de F na escala global. Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS é caracterizada pela baixa intensidade do campo geomagnético resultando numa grande depressão na Magnetosfera terrestre, que se estende sobre o território brasileiro, do Estado de São Paulo ao sul do Rio Grande do Sul. Como consequência da AMAS, o cinturão de radiação que circunda o Planeta Terra (Cinturão de Van Allen), é pressionado na direção da superfície da Terra, causando uma grande precipitação de raios cósmicos e de partículas do vento solar na região e ocasionando perturbações no campo geomagnético e na Ionosfera, além de radiointerferência. Este fato torna a região da AMAS em um imenso laboratório, onde podem ser efetuadas pesquisas e experimentos científicos à nível do solo em Radiociências, Física de Plasmas, Geofísica Espacial, Aeronomia, entre outras áreas de pesquisa

Neste trabalho tratamos das variações diurnas do Campo Geomagnético, bem como da influência das correntes elétricas na atmosfera ionizada e do eletrojato equatorial na sua variação. Este trabalho é dividido em quatro partes, sendo que a primeira parte trata sobre a estrutura física envolvida na Pesquisa Espacial do Sul no País, na segunda e





terceira partes é apresentada a fundamentação teórica necessária ao entendimento do trabalho e por fim são apresentados alguns resultados e conclusões do trabalho desenvolvido no decorrer do projeto.





### **1.1. O CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE EM SANTA MARIA**

O Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE, em Santa Maria, RS, visa o atendimento dos seguintes objetivos:

1. Dar suporte logístico técnico-científico ao desenvolvimento de programas, projetos e atividades do Instituto realizados nas regiões Sul do Brasil e Cone-Sul da América;
2. Apoiar os lançamentos e monitoramentos de satélites, foguetes e balões, no trânsito dos mesmos, na calibração das cargas úteis e no processamento de dados;
3. Efetuar manutenção do banco de dados obtidos pela Estação Terrena de Rastreamento e Controle de Satélites – ETRCS/CRSPE/INPE e pelo Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE;
4. Prestar apoio a usuários localizados nas regiões Sul do Brasil e Cone-Sul da América na obtenção de dados produzidos pelo Instituto;
5. Desenvolver equipamentos, para suporte dos laboratórios, para uso de missões do Instituto e para coleta de dados convencionais ou via satélite;
6. Realizar a administração das atividades, dos recursos humanos e dos recursos financeiros movimentados pelo CRSPE/INPE, ETRCS/CRSPE/INPE e OES/CRSPE/INPE, bem como as de suprimento de materiais, bens patrimoniais e as de orçamento e finanças.

### **1.2. O OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DO CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – OES/CRSPE/INPE EM SÃO MARTINHO DA SERRA – RS.**

O Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra – RS, tem como atribuições:

1. Executar e desenvolver as atividades e projetos de pesquisa técnico e científica em Astronomia, nas áreas de Astrofísica e Radioastronomia;
- 2.1 Executar e desenvolver as atividades e projetos de pesquisa técnico e científica em Geofísica Espacial, nas áreas de Geomagnetismo, Magnetosfera e Heliosfera, eletricidade atmosférica, física e química da média e baixa atmosfera;
- 2.2 Executar e desenvolver as atividades e projetos de pesquisa técnico e científica em aeronomia, nas áreas da físico-química e da física da alta atmosfera e da Ionosfera;



- 2.2 Coletar dados, arquivando-os e mantendo-os em banco de dados formatados de acordo com padrões internacionais;
- 2.2 Desenvolver e fortalecer atividades de cooperação científica com pesquisadores e instituições de pesquisa nacionais e estrangeiras.

A localização geográfica e topografia do Observatório são estratégicas, devendo ser ressaltado que não se tem conhecimento da existência de nenhum outro Observatório Espacial do gênero, no Hemisfério Sul, na latitude do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, o que torna inédita, original e de primeira mão, a natureza dos dados coletados por seus instrumentos.

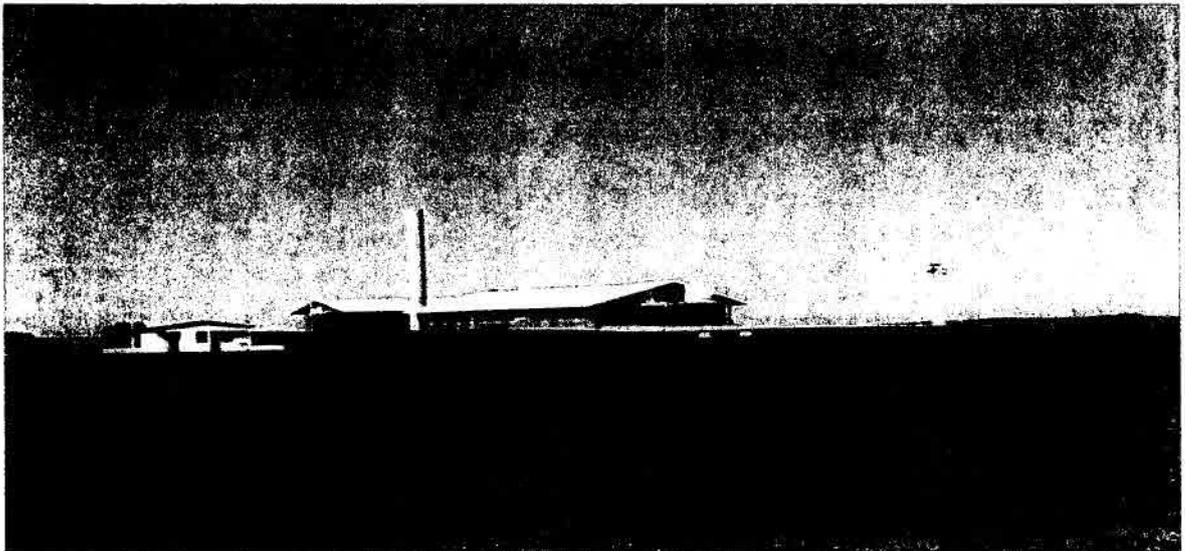


Figura 1 - Prédios 1, 2 e 3, de um total de seis prédios, do Observatório Espacial do Sul -OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra - RS.

Os sensores e equipamentos, como também as antenas dos radiotelescópios instalados e ou a serem instalados na área do Observatório Espacial do Sul, são de natureza passiva e não são ou serão poluidores, produzindo impacto destrutivo ao meio ambiente.

### 1.3. GEOMAGNETISMO E MAGNETOSFERA TERRESTRE

A Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas, com sua Divisão de Geofísica Espacial – INPE/CEA/DGE, foi a primeira unidade do INPE a instalar sensores e equipamentos científicos, do tipo magnetômetro, em Santa Maria.

Os primeiros equipamentos ficaram instalados no Campus da UFSM durante algum tempo, sendo através da colocação em operação dos sensores de um magnetômetro



do tipo de indução, instalados pela Divisão de Geofísica Espacial próximos ao PRÉDIO 1, em colaboração com o LACESM, que o Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, entrou em operação na data de 19/12/1996, com a produção dos primeiros dados observacionais científicos. Atualmente, o Laboratório de Geofísica Espacial – OES/CRSPE/INPE conta com mais quatro magnetômetros: dois do tipo fluxgate e dois de precessão de prótons.

#### **1.4. COOPERAÇÃO CIENTÍFICA INTERNACIONAL BRASIL/JAPÃO EM CIÊNCIAS ESPACIAIS BÁSICAS**

Uma Cooperação Científica Internacional de coleta e análise de dados por longo período, 12 anos, equivalente a um ciclo solar ou 11 anos, foi estabelecida entre o BRASIL/JAPÃO em Ciências Espaciais Básicas. Nesta cooperação participam pelo lado brasileiro o LACESM da UFSM e a Coordenadoria de Ciências Espaciais e Atmosféricas do INPE, pelo lado japonês participam três institutos de pesquisa: National Institute of Polar Research; Communication Research Laboratory; National Institute of Radiological Sciences, e cinco universidades: Nagoya University; Kyushu University; Takushoku University; Kokugakuin University; e Rikkyo University.

Esta cooperação tem como principal objetivo pesquisar os fenômenos dinâmicos: aeronômicos, geofísicos espaciais, geomagnéticos e impactos ambientais que ocorrem na grande região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul.

Atualmente estamos operando três magnetômetros instalados pela cooperação internacional Brasil – Japão, sendo que toda a manutenção e operação dos mesmos é feita por pesquisadores japoneses e brasileiros e pelos estudantes de iniciação científica.

#### **1.5. OBJETIVOS GERAIS DO PROJETO**

- Realizar medidas geomagnéticas contínuas das três componentes ortogonais H (norte-sul), D (leste-oeste) e Z (vertical para baixo) do Campo Geomagnético, no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra – RS (29°S, 53°W).
- Analisar e estudar os dados geomagnéticos coletados em São Martinho da Serra, comparando-os com dados coletados nas outras estações geomagnéticas (figura 3), a fim de estudar as características das pulsações contínuas (PC) e pulsações



impulsivas (PI) na faixa de período 15 - 200 segundos.

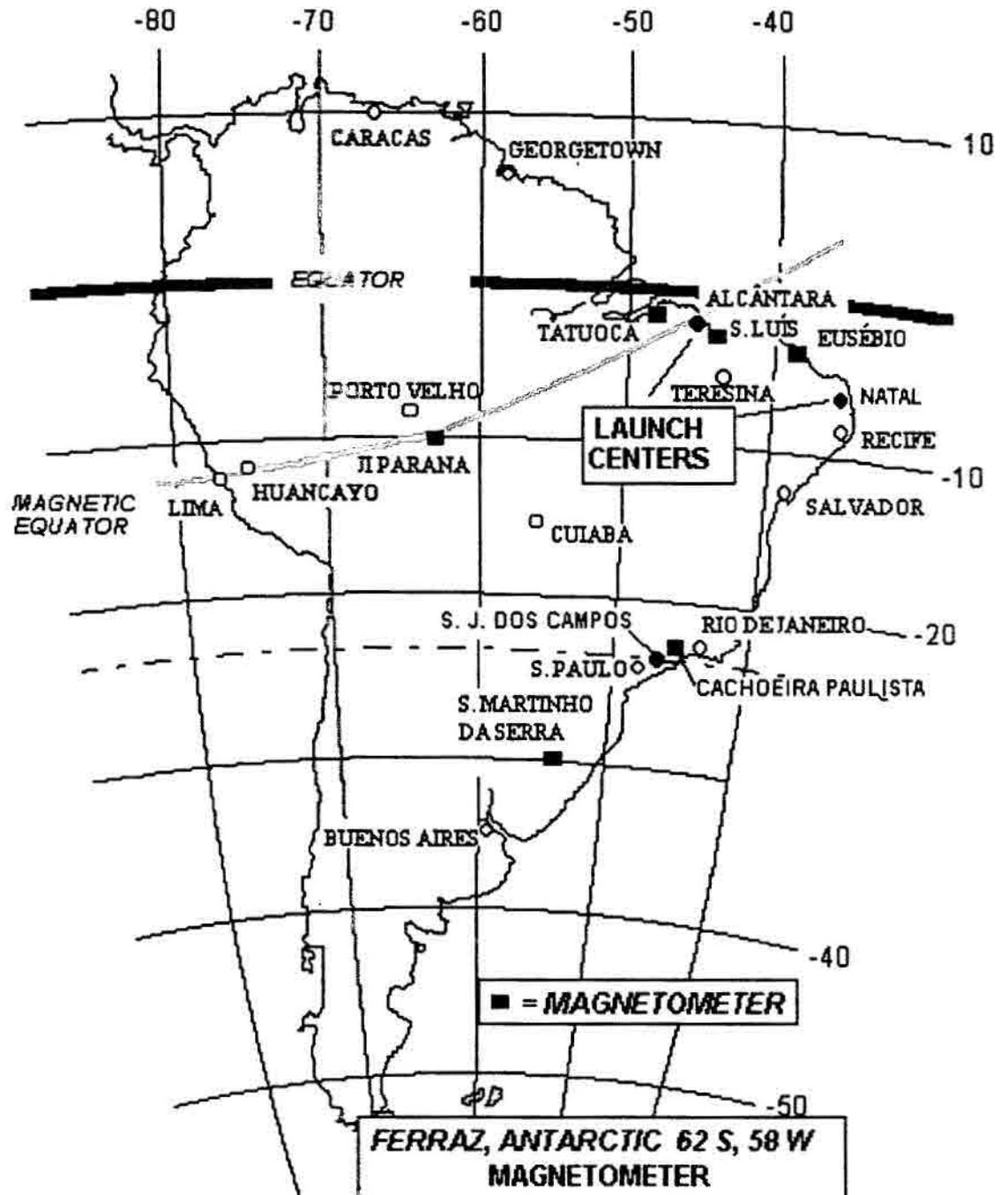


Figura 2 - Mapa da América do Sul mostrando a posição dos equadores geográfico e magnético e também das estações geomagnéticas brasileiras.



### **1.5.1.PLANO DE TRABALHO**

Primeira Fase: (Agosto de 2002 – Outubro de 2002)

- Revisão Bibliográfica;
- Continuação dos estudos relacionados a ciência de geomagnetismo e pesquisa espacial e conhecer técnicas experimentais para medir campo geomagnético.

Segunda Fase: (Novembro de 2002 – Fevereiro de 2002)

- Aprender realizar medidas geomagnéticas absolutas para montar um observatório magnético-padrão;
- Operar o observatório geomagnético em SMS realizando medidas geomagnéticas relativas e absolutas usando magnetômetros do tipo "Fluxgate" e "Precessão de prótons".

Terceira Fase: (Março de 2003– Julho de 2003)

- Detectar eventos nos dados geomagnéticos e escrever relatório sobre pesquisa realizada;
- Comparar as variações impulsivas observadas em SMS com as variações geomagnéticas observadas nos satélites geoestacionários GOES-5 e GOES-6.
- Elaborar uma planilha contendo informações sobre os eventos ocorridos nos meses analisados, planilha esta contendo informações, como por exemplo: períodos de maior ocorrência dos eventos, hora da ocorrência dos eventos, etc.



## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 O CAMPO GEOMAGNÉTICO

A Terra possui um campo de forças, chamado Campo Geomagnético (figura 3), circundando o planeta. Esse campo de forças pode ser dividido em um campo principal, que corresponde à cerca de 99% do seu total e é gerado supostamente através de correntes elétricas que fluem na parte líquida do núcleo terrestre, e vários outros, produzidos por correntes elétricas presentes nas regiões ionizadas vizinhas ao planeta.

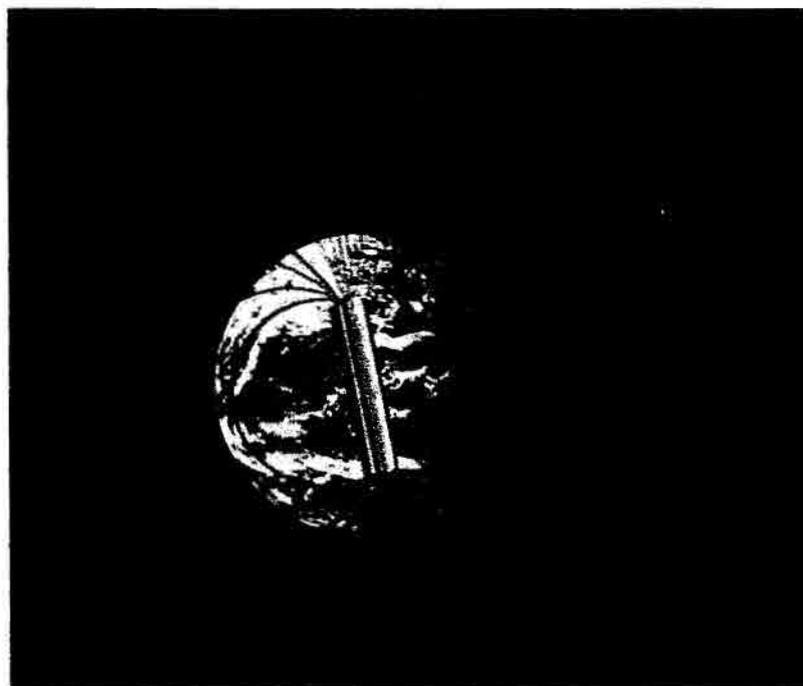


Figura 3 - Dipolo magnético colocado no centro da Terra e levemente inclinado em relação ao eixo de rotação. (Pinto e Gonzales, 1989)

O modelo mais aceito atualmente é de que, os materiais presentes no interior da Terra apresentam-se fundidos e no estado de movimento resultante de convecção térmica provocada por uma não uniforme geração de calor devido ao decaimento de materiais radioativos irregularmente distribuídos. Por ação dínamo, este fluxo pode induzir forças eletromotrizes capazes de produzir e manter correntes elétricas.

O Campo Geomagnético não é estável, apresentando variações temporais e espaciais com amplitudes inferiores à do campo magnético gerado no núcleo, em várias ordens de grandeza.

Essas variações geomagnéticas podem ser classificadas em seculares, diurnas (período de 24 horas), distúrbios (associados a tempestades magnéticas e com períodos bastante variáveis), pulsações (com períodos entre 0,2 e 1000s), atmosféricas (períodos inferiores a 1 s) e produzidas pelo homem. Sendo que as variações seculares são as únicas com origem interna a Terra.

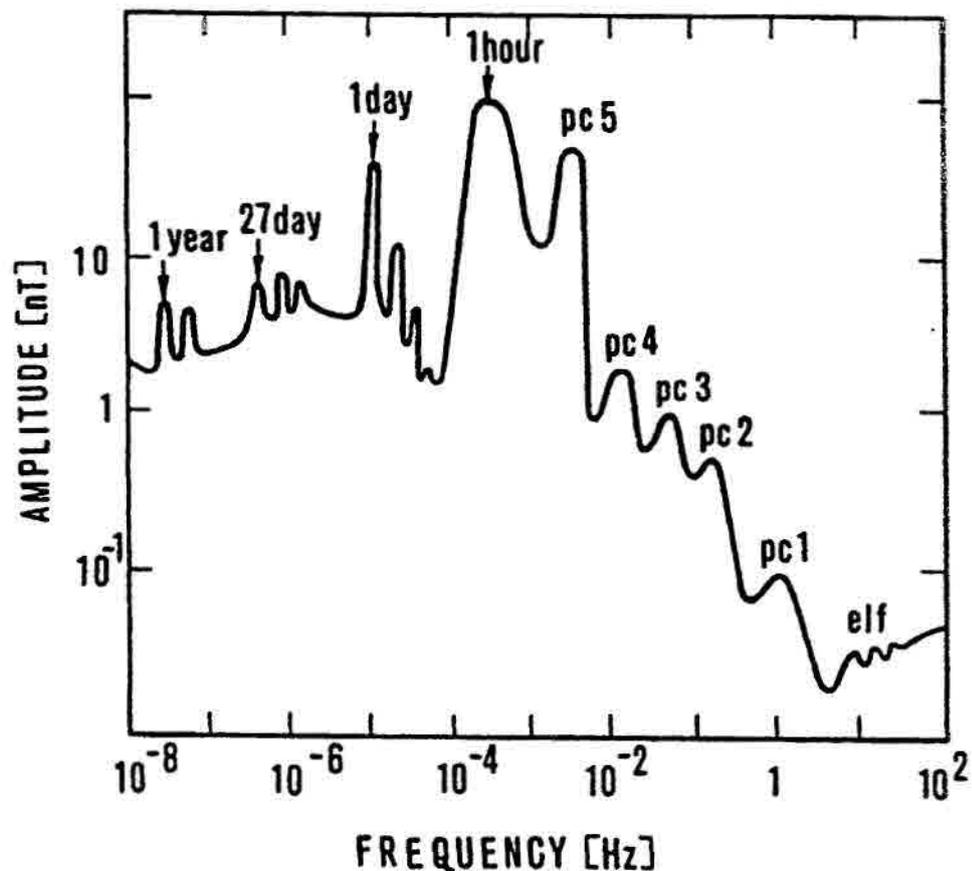


Figura 4 – Amplitude das variações naturais da componente horizontal H. (Serson, 1973)

## 2.2 FENOMENOS SOLARES E EFEITOS GEOFÍSICOS DA ATIVIDADE SOLAR

Antes de fazermos um estudo do campo de variações é conveniente que sejam analisados alguns aspectos referentes ao sol e as suas relações energéticas com a Terra, uma vez que eles serão de grande valor para uma melhor compreensão de certas peculiaridades geomagnéticas.

A luz emitida pelo Sol se origina em três diferentes camadas: fotosfera, cromosfera e coroa. A fotosfera contribui com a maior quantidade de luz recebida na Terra,



mas para os nossos propósitos a cromosfera é a região mais importante, pois é nela que ocorrem as “erupções solares” (flares) e as proeminências.

Perturbações na alta atmosfera da Terra seguem-se a perturbações solares, e podem ser separadas com pouca ambigüidade, naquelas perturbações produzidas por radiação ultravioleta ou Raios X e naquelas produzidas por radiação corpuscular emitida por regiões solares perturbadas.

A seguir é feita uma breve apresentação do que são estes fenômenos solares, uma vez que eles estão intimamente relacionados com as variações detectadas no campo magnético terrestre.

### **2.3 MANCHAS SOLARES**

As primeiras manchas escuras no disco solar indicam uma perturbação no Sol. As manchas solares são regiões onde se desenvolvem campos magnéticos de intensidades excepcionalmente altas, da ordem de alguns milhares de Gauss na parte central (aproximadamente de 3500 gauss, conforme medido através do efeito Zeeman nas linhas de absorção originárias destas regiões) o que contrasta com campos da ordem de 1 gauss nas demais regiões.

O número de manchas solares atravessa um ciclo de 11 anos, aparecendo as primeiras a cerca de 40° de latitude solar e depois regredindo até o equador enquanto o número existente aumenta para depois diminuir. Para explicar a ocorrência de 27 dias de certas categorias de tempestades magnéticas na Terra, Bartels inferiu regiões magneticamente ativas no Sol. Tais regiões impossíveis de identificação por qualquer outro meio, seriam as fontes de partículas que provocariam na ionosfera as perturbações tempestuosas.

### **2.4 ERUPÇÕES OU “FLARES”**

Na luz B-Balmer-alfa, ela aparece como um repentino aumento de brilho próximo a uma mancha.



A energia liberada com estas erupções é muito grande. Para uma erupção intensa, a energia desprendida em poucos minutos pode atingir até  $10^{33}$  ergs, que excede toda a energia calorífica armazenada na cromosfera e coroa solares. A fonte para uma tão tremenda energia deve estar nos intensos e complicados campos magnéticos existentes nas regiões solares ativas.



Figura 5 – Erupção solar com ejeção de uma grande quantidade de partículas

## 2.5 EMISSÃO DE PARTÍCULAS PELO SOL

A emissão corpuscular por parte do Sol consiste de três tipos básicos:

- a) partículas com alta energia, associadas a “flares”;
- b) nuvens de plasma, associadas a “flares”;
- c) plasma que se evade continuamente da coroa solar, constituindo o vento solar.

Este vento solar consiste num tênue gás, com densidade de aproximadamente cinco partículas por centímetro cúbico que flui radialmente a partir do Sol, com uma velocidade de aproximadamente de cerca de 400 a 600 km/s e que carrega consigo um campo congelado, tendo uma direção curva, quase radial com relação ao Sol. O vento solar



apresenta, nas regiões vizinhas ao planeta Terra, um campo magnético quiescente de aproximadamente 20 gammas.

Esta emissão gasosa de plasma da coroa solar, tem existência contínua, estando presente mesmo em dias calmos. É ela a responsável pela deformação permanente induzida no campo magnético da terra, sendo que este é comprimido no lado voltado para o sol e alongado no lado oposto.

A energia incidente na atmosfera superior (acima de 60 km), vinda do espaço circunvizinho, provém na sua maior parte do Sol. Em adição a energia radiante, num largo espectro, o gás interplanetário ejetado pelo Sol produz na fronteira da atmosfera uma contínua interação e transferência de energia.

Quando o Sol se mantém num estado relativamente calmo, um correspondente comportamento é observado na atmosfera superior, a qual é dita normal. Mas, como já vimos, o Sol está sujeito a severos distúrbios, muitas vezes de grande violência, durante os quais a emissão de radiação e matéria é fortemente aumentada. A tais efeitos a atmosfera superior responde de varias formas, e quando o seu comportamento se afasta suficientemente do estado normal, ela é dita perturbada.

As características estáticas da atmosfera superior não perturbada são determinadas quase que exclusivamente pela emissão solar de fótons, a qual é responsável principalmente pela ionização produzida por reações fotoquímicas excitada por radiação solar, principalmente na região do ultra-violeta e raios x, com a conseqüente formação de camadas de ionização. Outro efeito da emissão de fótons é a produção de Airglow, que resulta principalmente da absorção de radiação solar pela atmosfera e remissão da mesma gradualmente num processo posterior.

As perturbações na atmosfera superior estão intimamente relacionadas às perturbações no Sol, e certos eventos geofísicos podem ser relacionados a particulares distúrbios solares.

Um efeito da radiação eletromagnética solar associada a uma perturbação é o fenômeno geomagnético anômalo estimulado principalmente por grandes erupções (“flares”) denominado de “crochet”.

Partículas ejetadas durante distúrbios solares conduzem alterações muito mais intensas e duradouras na atmosfera, principalmente em altas latitudes. Estas partículas são separadas em duas categorias gerais, sendo a ejeção de ambas as classes usualmente





acompanhadas de emissão de rádio cujas características, se identificadas, podem servir como um aviso prévio da chegada da perturbação.

## 2.6 ONDAS HIDROMAGNÉTICAS

Deve ser salientado que o papel desempenhado pelas ondas hidromagnéticas nas interações Terra-Sol ainda não está completamente compreendido. Tais ondas supõe-se serem capazes de se propagarem através do tênue gás interplanetário, do Sol para a Terra e podem ocasionar vários processos físicos na atmosfera superior. Os impulsos súbitos e os inícios súbitos de tempestades (“sudden impulses” e “sudden commencements”) provavelmente resultam de alguma forma de ondas de choque hidromagnéticas, associadas a nuvens de plasma solar viajando pelo espaço interplanetário.

Na região entre a Terra e o Sol existe um estado gasoso altamente ionizado, porém macroscopicamente neutro, que recebe o nome de plasma. A propriedade fundamental de um plasma é a tendência de permanecer eletricamente neutro. Qualquer alteração dinâmica no fluido dará origem a campos elétricos induzidos, os quais, por sua vez, produzirão corrente elétrica. Devido a presença de um campo magnético, estas correntes elétricas ficarão sujeitas a forças que irão modificar o movimento original do fluido, resultando num complexo acoplamento entre o sistema material e os campos eletromagnéticos. Para frequências baixas,  $(\omega \ll \Omega_i^2 + \Omega_c^2)^{1/2}$ , isto é, frequências muito menores que a girofrequência dos íons e que a frequência de colisões no plasma. O acoplamento entre os dois sistemas produz assim chamada onda magnetoidrodinâmica ou onda hidromagnética.

## 2.7 CAMPO DE VARIAÇÕES

O assim chamado campo principal é resultante de uma média planetária, no qual os efeitos das variações de curta duração são suavizados. Entretanto, as várias componentes do campo apresentam variações regulares e irregulares de curta duração com amplitude de até 0,1 % do campo total e que a ele se superpõe.

Na alta atmosfera ocorrem fluxos variáveis de corrente, com escalas de tempo variando desde segundos até dias, de acordo com a natureza das fontes. Tanto a localização de tais correntes, como origem e intensidade das mesmas é variável e inerente a cada tipo





particular de fenômeno. Correntes fluindo na região E e F da ionosfera, e resultantes da ação dínamo (correntes resultantes da ação de um campo magnético sobre partículas carregadas existente em massas de ar altamente condutoras, postas em movimento na alta atmosfera por efeito do aquecimento pelo Sol combinado com efeitos de marés solares e lunares) são as fontes primárias do campo de variações periódicas. Estas correntes induzem outras no interior da Terra, e o efeito combinado dos dois sistemas da origem ao campo de variações.

Vamos descrever agora algumas das principais variações que ocorrem no campo magnético terrestre.

A variação diurna é causada por sistemas de corrente elétrica, que se originam devido ao movimento das camadas atmosféricas ionizadas através das linhas do Campo Magnético Terrestre, devido principalmente à atração gravitacional do Sol. Esses sistemas de corrente circulam na região E da Ionosfera<sup>1</sup> (figura 5), tendo dois vórtices localizados nas proximidades das latitudes 30°N e 30°S e são fixos no espaço em relação ao Sol, enquanto a Terra gira embaixo deles. A variação diurna é função da época do ano, da atividade solar e da latitude geomagnética.

---

<sup>1</sup> Ionosfera - região da atmosfera, de aproximadamente 60 a 1000 km de altitude, em que a densidade de íons é alta o suficiente para afetar transmissões de ondas eletromagnéticas em rádio frequência.



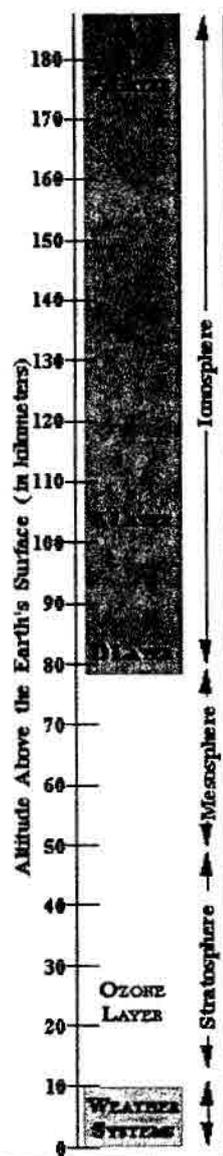


Figura 6 - Divisão da Ionosfera em suas respectivas camadas. (<http://www.sel.noaa.gov>)

Com base no índice de atividade magnética K, podemos classificar os dias, de acordo com a atividade magnética, em calmos, perturbados e normais. A variação do campo magnético sobre dias magneticamente calmos é chamada variação Sq (do inglês, Solar quiet). Correspondentemente, para dias perturbados, a variação é chamada SD (Solar Disturbed). A variação que ocorre durante uma tempestade magnética é chamada  $D_{ST}$  (Storm Time Disturbance).

Os distúrbios magnéticos resultam da entrada de grandes quantidades de plasma solar na Magnetosfera<sup>1</sup> (figura 6), por ocasião de tempestades magnéticas. As tempestades magnéticas são consequência do aumento de correntes magnetosféricas e ionosféricas

devido à interação entre o vento solar<sup>1</sup> e o Campo Magnético Terrestre, e a incidência de raios X solares e radiação UV solar, aumentando os sistemas de correntes ionosféricas de tal maneira que o campo magnético experimenta fortes perturbações. Uma tempestade magnética típica pode ser dividida em uma fase inicial, com duração de três a quatro horas, uma fase principal, com várias horas de duração, e uma fase de recuperação, com duração de algumas horas a alguns dias, dependendo da intensidade da tempestade.

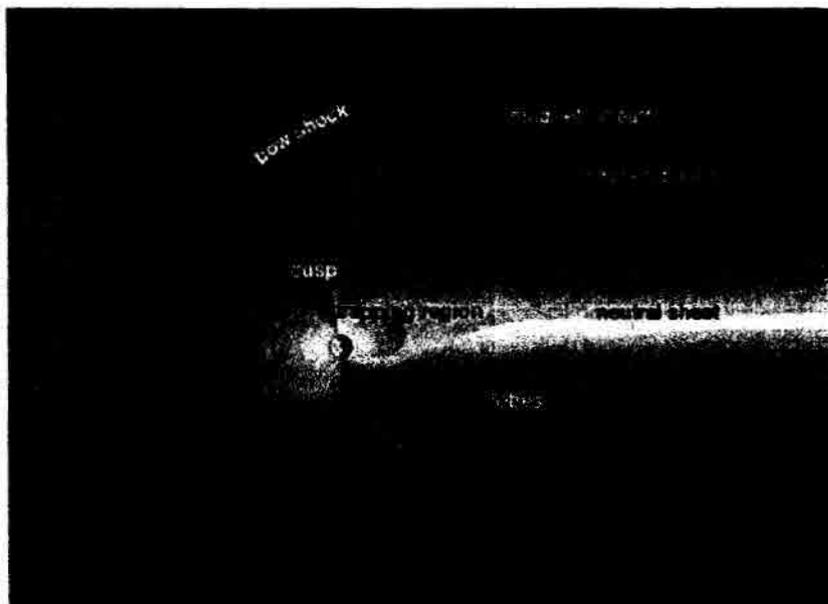


Figura 7 - Ilustração da Magnetosfera terrestre com suas principais regiões. (<http://www.sel.noaa.gov>)

Pulsações geomagnéticas observadas no solo e na magnetosfera são manifestações de ondas de plasma (hidromagnéticas) de frequência ultra-baixa (ULF) na magnetosfera. Essas pulsações são flutuações de curto período (usualmente da ordem de segundos a minutos) do campo magnético terrestre. As amplitudes típicas destas flutuações são menores do que uma parte em 10 do campo principal e tem efeito transitório. As ondas com mais baixa frequência tem comprimentos de onda comparáveis ao tamanho da magnetosfera e amplitudes da ordem de nanoteslas (Jacobs, 1970; Samson, 1991; Hughes, 1994). O limite superior do espectro de ondas causadoras de micropulsações é determinado pela frequência ciclotrônica do hidrogênio na magnetosfera, que é tipicamente menor que 10 Hz (Samson, 1991). Em geral é aceito que as micropulsações geomagnéticas são provocadas pela manifestação de ondas hidromagnéticas gerados por vários processos

<sup>1</sup> Magnetosfera - região em que o campo magnético domina o movimento do plasma, constituído principalmente de prótons e elétrons.



físicos. A interação do vento solar com o campo magnético da Terra é o principal processo de geração das micropulsações detectadas em toda a magnetosfera, ionosfera e na superfície terrestre (Kuwashima e Fukita, 1989; Anderson, 1994; Sibeck, 1994; Hughes, 1994).

As micropulsações são observadas por estações geomagnéticas sobre a superfície terrestre e com instrumentos a bordo de satélites. Independente do ponto de observação há vários fatores vinculados, direta ou indiretamente, a interação Terra-Sol, que podem afetar a atividade das micropulsações, tais como: a interação do vento solar que flui através das linhas do campo magnético com velocidades instáveis supersônicas (250 – 800 km/s), causando pulsos de compressão e rarefação nas linhas de campo da magnetosfera; a duração do ciclo solar e efeitos periódicos como as manchas solares; a localização, em latitude e longitude geomagnética do observatório; a hora e o dia; o estado local da ionosfera; o nível da atividade magnética.

As fontes para a geração dos fatores que influenciam as micropulsações também precisam ser identificadas. Pode-se dizer que, um ou mais tipos de micropulsações podem estar associados, a um ou mais tipos dessas ondas, geradas numa certa região e associadas a diversos processos físicos correlacionados a interação Sol-Terra.

Historicamente, as primeiras observações das pulsações geomagnéticas foram feitas por Stewart (1861), o qual notou pulsações geomagnéticas nos registros de uma grande tempestade geomagnética, observada em Kew Observatory (Greenwich, Inglaterra). Somente no Ano Internacional de Geofísica (1958) (IGY) ocorreu um substancial aumento no número de observações das pulsações geomagnéticas e estabeleceu-se o estudo das ondas de plasma e pulsações na magnetosfera como uma disciplina madura.

Um problema na investigação de micropulsações é a descrição e classificação dos tipos de oscilações observadas e as condições sobre as quais elas foram geradas. Dois tipos principais de classificações tem sido mencionadas, a primeira é baseada nas propriedades morfológicas e mais recentemente, a classificação genética, baseada nos mecanismos de geração das pulsações

Um subcomitê do “International Association of Geophysics na Aeronomy” (IAGA) em 1958 propôs uma classificação baseada nas características morfológicas das micropulsações, sugerindo um esquema de classificação baseado em duas classes





principais de pulsações (Jacobs et al., 1964). A primeira inclui pulsações de caráter mais ou menos contínuo e foi denotada por Pc. A segunda classe inclui pulsações mais ou menos impulsivas e foi denotada por Pi. Vamos falar um pouco sobre cada classe mais adiante.

- **Pulsações Regulares ou contínuas**

Abrangem o intervalo inteiro das pulsações, com períodos de 0,2 a 600 segundos. Podem ser subdivididas em subgrupos, dependendo de seus períodos.

- *Pulsações Contínuas Pc1 (T = 0,2 – 5 s)*

Estas pulsações são devidas a onda ULF geradas pelas instabilidades eletromagnéticas íon-ciclotrônicas (EMIC) próximo ao equador magnético e por isso são chamadas de ondas íon ciclotrônicas.

Estas pulsações são importantes fontes de informações de instabilidades de plasma que podem se desenvolver nas regiões dos cinturões de radiação e são, usualmente, o indicador do estado da magnetosfera.

As Pc1 são oscilações senoidais regulares, com períodos variantes de 0,2 a 5 segundos. Estas pulsações ocorrem na forma de explosões separadas, desenvolvendo-se gradualmente em uma série de pulsações que se estendem de 10 minutos a horas. Elas podem também ocorrer na forma de grupos de pulsações com bruscas variações de frequência.

Investigações no solo da ocorrência das Pc1 e as características nas mudanças de suas amplitudes com a latitude indicam que elas são mais frequentemente excitadas em zonas aurorais e sub-aurorais.

- *Pulsações Contínuas Pc2-3 (T=5-10, 10-45 s)*

As amplitudes de sinais observadas das Pc2-3 são, usualmente, menores de 0,5γ e os períodos típicos são em torno de 2 a 30 segundos. São tipicamente fenômenos diurnos, com período médio sofrendo variações diurnas, maximizando-se ao meio-dia. A principal direção do vetor horizontal perturbado, embora tipicamente norte-sul, sofre uma variação diurna nas maiorias das latitudes e, com essa mudança, ocorrem vários sentidos de polarização.

A frequência característica das Pc2-3 aumenta com o aumento do índice de atividade magnética K. Há incidência destas pulsações também durante a fase inicial das tempestades magnéticas.





- *Pulsações Contínuas Pc4* ( $T = 45 - 150$  s)

As amplitudes típicas das Pc4 são de 5 a 9  $\gamma$  nas altas latitudes e 1  $\gamma$  nas baixas latitudes. Os sinais, usualmente, duram de 10 minutos a várias horas. Estes, muitas vezes, aumentam lentamente até uma amplitude máxima que se sustenta por um longo tempo, e depois decaem imediatamente. Nas médias e baixas latitudes o modelo de ocorrência diária tem um máximo ao meio-dia.

A frequência de ocorrência das Pc4 aumenta com a diminuição da atividade solar, embora suas amplitudes permaneçam quase constantes por todo o ciclo solar. Por outro lado, a frequência de ocorrência das Pc3 não muda muito ao longo do ciclo solar; já suas amplitudes decrescem repentinamente com o decréscimo da atividade solar. Assim, as Pc4 são muito mais dominantes que as Pc3 nos mínimos solar.

Em todas as latitudes a ocorrência das Pc4 pode ser conectada com o ciclo solar; mais ativamente nos anos de mínimas manchas solares.

- *Pulsações Contínuas Pc5* ( $T = 150 - 600$  s)

Esta classe de pulsações, com longos períodos (3 – 9 minutos), podem ter amplitudes extremamente grandes, chegando a várias centenas de  $\gamma$ . Estendem-se por um período de 10 minutos à várias horas, e suas formas são inteiramente senoidais, muitas vezes amortecidas, com algumas distorções que aparecem com o aumento da atividade magnética.

Há uma larga distribuição latitudinal das Pc5, incluindo um rápido decréscimo em amplitude com o aumento da distância à zona auroral e um claro aumento equatorial. O aumento da amplitude na região equatorial pode ser explicado pelas correntes ionosféricas chamadas de eletrojatos equatoriais, os quais serão comentados posteriormente.

• **Pulsações Irregulares**

Esta classe de pulsações é caracterizada por sua forma irregular. Elas tem conexão com os distúrbios do campo magnético e possuem correlação com os distúrbios da magnetosfera superior. Esta classe é dividida em dois subgrupos:

- *Pulsações Irregulares Pi1* ( $T1 - 40$  s)

As Pi1 tem formas irregulares com períodos menores do que 15 segundos (6 – 10 s). Suas amplitudes têm valores máximos nas zonas aurorais e sua intensidade decresce rapidamente com a latitude. Estas oscilações têm formas de microestruturas devido aos





distúrbios lentos do campo magnético, observadas durante a fase principal das tempestades magnéticas.

A atividade Pi1 mostra uma dependência distinta com o índice K, aumentando com o aumento de K. Algumas vezes, as Pc1 e Pi1 são registradas simultaneamente com distúrbios lentos e, também, como distúrbios de campos independentes.

- *Pulsações Irregulares pi2 (T = 40 – 150 s)*

As Pi2 possuem formas irregulares com períodos localizados num intervalo de 40 – 150 segundos, podendo, às vezes, apresentar períodos acima de 250 segundos, e suas amplitudes variam de 1 - 5 $\gamma$ . As Pi2 tem como características principais o seu pequeno tempo de duração e a sua superposição nas Pi1, as quais podem ser seguidas, em certas ocasiões, pelas Pc1.

A probabilidade de ocorrência das pi2 aumenta com o aumento do índice K. Para um mesmo intervalo de tempo, as atividades Pi1 aumentam com o máximo das manchas solares, sugerindo que as Pi1 e Pi2 tem diferentes fontes de geração ou que tem diferentes modos de propagação sobre a superfície da Terra.

- *Outras Formas de Pulsações Irregulares*

Outros tipos de pulsações podem ser observadas, particularmente durante períodos de tempestades, com menos regularidade de aparência que as emissões contínuas, porém são mais regulares que as explosões de ruído (Pi1). Estas emissões ocorrem durante períodos magneticamente perturbados e, muitas vezes, estão associados a baías magnéticas.

Diferentes tipos de Pi são distinguidos, na faixa de frequência de 0,1 a 3 Hz, sendo as mais importantes: Pulsação irregular curta (SIP), Pulsação irregular de período diminuído (IPDP), pulsação irregular de período aumentado (IPIP). Os eventos de intervalos de pulsações de período diminuído estão relacionados as instabilidades próximas a região de corrente de anel. A fonte de íons da corrente de anel depende fortemente da atividade geomagnética.



### 3. MÉTODOS E MATERIAIS

Os instrumentos para medir o campo magnético da Terá podem ser categorizados de várias formas. Uma distinção básica pode ser feita entre os magnetômetros que efetuam medidas absolutas, e os variômetros, que medem as variações do campo relativo a um certo valor (linha de base). Contudo alguns instrumentos não observam esta distinção e alguns magnetômetros realizam a função de variômetros (Jacobs, 1991).

Outra distinção fundamental esta na natureza da medida. Instrumentos escalares medem o campo sem a referencia de direção, enquanto que os instrumentos vetoriais medem o campo em uma direção especifica. Algumas outras distinções podem ser feitas relacionadas a resolução de medida, portabilidade, custo, etc. Porem, o método mais comum de classificação invoca os principio físicos envolvidos na medida.

O Campo Geomagnético não pode ser medido diretamente, sendo necessária à interação do campo em outros processos físicos para produção de efeitos mensuráveis. Além disso, devido a grande extensão espacial do campo com relação às dimensões dos sensores, apenas medidas pontuais são obtidas.

O equipamento utilizado para medir o Campo Geomagnético é chamado magnetômetro. Devido a grande variedade de fenômenos que respondem a campos magnéticos, existe uma grande variedade de magnetômetros, cada um com suas vantagens distintas. Neste trabalho, discutiremos alguns tipos de magnetômetros que são utilizados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra - RS.

- **Magnetômetro Fluxgate (núcleo saturado)**

Neste equipamento, um núcleo altamente permeável, de fácil saturação, é utilizado para amplificar o sinal do campo magnético obtido. A propriedade de histerese do núcleo saturável é utilizada pela imposição de um campo oscilante intenso, que é cancelado pelo campo local. A intensidade do Campo Geomagnético é obtida pela geração de harmônicos de distorção no campo de saída, medidos pelo sensor secundário ao redor do núcleo. A quantidade de interesse é o segundo harmônico da frequência de excitação, gerado no range de saturação linear do sensor.

Um Campo Geomagnético ambiente  $H_0$  é sobreposto a um campo de excitação senoidal  $A$ ,  $A \gg H_0$ , no qual  $A$  é ajustado para ser tão grande quanto necessário para saturação do núcleo de alta permeabilidade. O cancelamento do campo assimétrico causado pela adição do campo ambiente,  $H_0$ , resulta numa distorção da forma da variação da densidade de fluxo magnético,  $B$ , unindo-se a uma segunda bobina censora enrolada ao redor do núcleo. Esta distorção da variação de  $B$  com relação ao tempo,  $t$ , contém harmônicos pares em suas componentes de Fourier. A função do campo de entrada pode ser aproximada como

$$B(t) = a(H_0 + H_e) + b(H_0 + H_e)^3 + c(H_0 + H_e)^5,$$

onde  $H_e$  é o campo de excitação e  $a$ ,  $b$  e  $c$  são constantes.

Os harmônicos, a partir do terceiro, podem ser desprezados, pois são consideravelmente menores do que o segundo. Com um filtro de banda estreita, este segundo harmônico de saída é selecionado para tornar-se a medida do campo ambiente,  $H_0$ , depois de serem comparados a um segundo harmônico “artificial” a partir de uma duplicação da oscilação de excitação original.

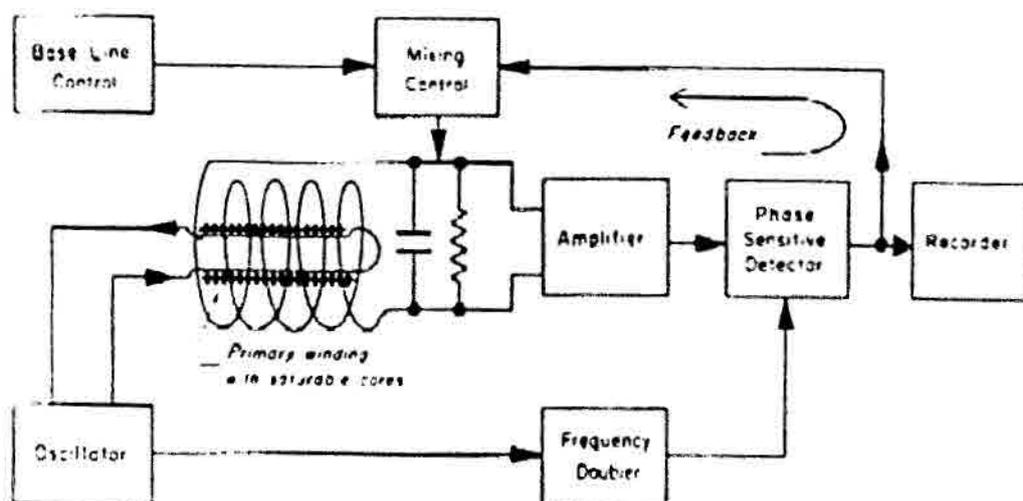


Figura 8 – Magnetômetro Fluxgate para medida direcional do Campo Geomagnético. (Campbell, 1997)

Com uma oscilação de excitação de aproximadamente 700 c/s, uma variação de 1- $\gamma$ , do campo ambiente, produz uma saída de aproximadamente 25  $\mu$ V. Para medidas de



sinais fracos, são utilizados dois núcleos em direções opostas no circuito de excitação, e uma bobina secundária cercado ambos. As duas contribuições primárias, nas bobinas com núcleo saturado postas em direções opostas, são então canceladas (figura 10).

- **Magnetômetro Fluxgate (núcleo saturado em forma de anel)**

O sensor de núcleo saturado é mostrado na figura 8. O enrolamento do primário é diretamente acoplado ao núcleo do anel com aproximadamente 100 espiras de fio de cobre. O núcleo de anel é fixado numa caixa quadrada de teflon. O enrolamento do secundário de cerca de 400 espiras é enrolado em torno desta caixa quadrada. A saída do secundário  $I_0(t)$  é direcionada para um amplificador. O secundário também recebe a corrente externa de referencia  $I_{ex}$ , para a compensação da linha de base. Os magnetômetros com núcleos em forma de anel são mais apropriados para sinais de baixo ruído, obtendo as seguintes vantagens: tensões internas do material uniformemente distribuídas; correção de assimetria do núcleo pela rotação dentro da bobina do secundário; não existem efeitos de borda, geralmente associados ao aumento de ruído; maiores facilidades para conseguir a saturação do núcleo, já que o circuito magnético de excitação é fechado. Cada um destes sensores mede apenas uma componente do campo magnético mas, para ter um conhecimento completo do vetor campo magnético, precisa-se medir as três componentes ortogonais do mesmo. É devido a este fato que precisamos usar três sensores dispostos perpendicularmente entre si, cada um sobre um eixo cartesiano geográfico: X para o norte; Y para o leste; Z vertical com sentido para dentro da Terra. Cada sensor em conjunto com o sistema eletrônico associado forma um magnetômetro independente.

Saka e Tachihara (1986) descreveram magnetômetros para estudar micropulsões geomagnéticas e o eletrojato equatorial. Mais recentemente, Trivedi et al. (1995); Tachihara et al. (1996) mostraram a construção e funcionamento de um magnetômetro “fluxgate”, do tipo núcleo saturado em forma de anel, utilizado para registrar as variações diurnas do campo geomagnético e estudar micropulsões e o eletrojato equatorial. Uma rede de estações equipadas com estes magnetômetros, com funcionamento aceitável para monitorar as variações diurnas das componentes H, D e Z do campo geomagnético, foi instalada nas latitudes muito baixa e equatoriais, no território brasileiro. Alguns dos dados coletados nestas estações foram utilizados para o desenvolvimento deste trabalho.



- **Magnetômetro de Precessão de Prótons**

Se um fluido rico em prótons tal como querosene, combustível de avião, heptano, etc. é colocado em um campo magnético os prótons irão alinhar-se ao longo do vetor campo magnético. O campo magnético é induzido no sensor pressionando-se um botão. Então este campo é repentinamente removido. Prótons, que se comportam como giroscópios elementares, iniciarão a precessão ao redor do campo magnético restante - o Campo Magnético Terrestre. A frequência de precessão é diretamente proporcional ao campo magnético da Terra. O magnetômetro conta esta frequência, divide ela por uma constante apropriada para obter um valor em gamas e mostrar a leitura, calculando o Campo Geomagnético através da seguinte relação:

$$B_E = \frac{2\pi}{\gamma_p} \nu$$

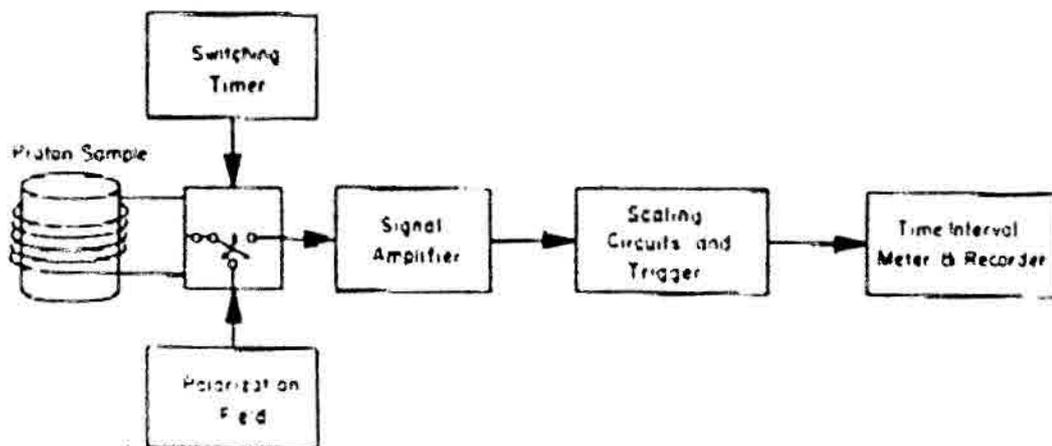


Figura 9 – Magnetômetro de próton para medida do Campo Geomagnético total. A bobina ao redor da amostra é utilizada para alinhar os prótons e detectar o período de precessão dos mesmos. (Campbell, 1997)



## 4. ANÁLISE DE DADOS

Nesta parte do trabalho vou descrever as técnicas de processamento e análise de dados adotadas para o estudo das micropulsações. Inicialmente, introduz-se a técnica de filtragem digital utilizada para eliminar as longas tendências da variação diurna do campo geomagnético. Posteriormente mostram-se as técnicas de análise espectral de múltiplas janelas de suavizações, baseadas na Transformada Rápida de Fourier (FFT) para obter o espectro de potência e os parâmetro de polarização das micropulsações.

### 4.1 FILTRAGEM DIGITAL

Para realizar as filtrações dos dados deste trabalho usou-se um filtro digital do tipo passa – banda, no domínio do tempo, com saída numa determinada faixa de frequência. A aplicação de um filtro passa – banda na variação original do campo geomagnético permite obter o sinal de frequência que se deseja estudar. O filtro é aplicado nas direções direta e reversa, para não alterar a fase do sinal original, com ganho unitário dentro da banda de frequência estipulada pela filtração.

O propósito da filtração digital é alterar a informação espectral contida no sinal, produzido assim um realce das características espectrais. Um grande número de estruturas diferentes podem ser usadas para implementar filtros digitais. As mais comuns, filtração direta, em cascata e em paralelo. A maioria dos filtros digitais podem ser implementados usando uma das estruturas mencionadas. A conversão da estrutura de filtração direta para uma estrutura em cascata envolve a fatoração dos polinômios de maneira que o produto das funções de transferência individuais é igual a uma função de transferência. Similarmente, a conversão para a estrutura em paralelo requer a expansão em frações parciais, de tal forma que a filtração direta é representada pela soma das funções de transferência individuais.

Três tipos básicos de filtros podem ser definidos em termos de suas características de resposta no domínio da frequência. O filtro passa - baixa e caracterizado pela atenuação dos componentes de alta frequência, enquanto que permite a transferência dos componentes de baixa frequência. O filtro de passa - alta permite a transferência de componentes de alta frequência, enquanto que atenua os componentes de baixa frequência. O filtro passa banda rejeita ambos, componentes de altas e baixas frequências, enquanto que permite a passagem de componentes intermediárias.





Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – RSU/INPE - MCT

A variação diurna do campo geomagnético tem um amplo espectro, podendo variar desde várias horas até alguns segundos. Este trabalho objetiva estudar as pequenas variações, com períodos desde 10 até 600 segundos.





## 6. ATIVIDADES DO BOLSISTA

Durante o trabalho na área de Geomagnetismo, desenvolvido no Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/UFSM e no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, o bolsista desenvolveu e participou das seguintes atividades (ver também documentação em anexo):

- Redigiu e apresentou o trabalho: Análise de Observações Geomagnéticas Efetuadas em São Martinho da Serra – RS e em Alcântara – MA. na XVII JAI (Jornada Acadêmica Integrada).
- Participou como co-autor do trabalho: Estudo das Pulsações Geomagnéticas na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, apresentado na XVII JAI, pelo acadêmico Lucídio V. Kunrath.
- Participou como co-autor do trabalho: Estudo de Micropulsações Magnéticas na Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, apresentado na XVII JAI, pelo acadêmico Silvio Buchner.
- Realizou visitas semanais ao Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, para manutenção dos equipamentos instalados.
- Participou da leitura e discussão do monógrafo: “Introduction to Geomagnetic Fields – Wallace H. Campbell”.
- Participou da leitura e discussão do livro: “Instrumentos Geomagnéticos - Fritz Primdahl”.
- O Bolsista estudou a dissertação de Mestrado com o título: Micropulsações Geomagnéticas em Santa Maria, defendida por Ademilson Zanandrea (março de 1994 – INPE/S.J. dos Campos).
- O Bolsista estudou a Tese de Doutorado com o título: Estudo de Micropulsações Geomagnéticas PC3-5 em Latitudes Muito Baixas, no Brasil, defendida por Ademilson Zanandrea (dezembro de 1998 – INPE/S.J. dos Campos).
- O bolsista estudou também a física da magnetosfera, com a leitura de artigos, revistas e livros indicados pelo orientador.
- O bolsista dedicou-se ao estudo de novos softwares utilizados para a análise mais detalhada e precisa dos dados coletados nas Estações Geomagnéticas Brasileiras,





pois percebeu-se que a análise que vinha sendo feita não estava completamente correta onde estavam presentes algumas imprecisões.

- O bolsista analisou os dados, catalogou os eventos com as maiores amplitudes, realizou a estatística de ocorrência de pulsações durante os meses de setembro à dezembro de 1994 e janeiro de 1995. Este procedimento foi realizado para as Estações Geomagnéticas de: Santa Maria (agora São Martinho da Serra), Alcântara e Belém.
- Comparou-se as estatísticas destas três estações com o intuito de avaliar as diferenças entre os eventos encontrados entre as Estações Geomagnéticas, a fim de estudar os processos físicos associados a geração destes eventos e sua propagação até a superfície terrestre.
- Montou-se um banco de dados contendo a análise dos eventos geomagnéticos encontrado nas diversas Estações Geomagnéticas, para um bom monitoramento dos mesmos e como fonte de consulta permanente para os demais integrantes do grupo de Magnetosferas Interações Terra – Sol e Geomagnetismo.
- Devido ao ingresso no programa de Pós – Graduação em Física da Universidade Federal de Santa Maria (PG-FIS/UFSM), o aluno bolsista não pode concluir a análise gráfica dos eventos encontrados, sendo que a sua participação no projeto se limitou ao auxílio em problemas encontrados nos aparelhos de aquisição de dados instalados no OES/SMS, e auxílio aos novos estudantes ingressos no grupo.





## 8.CONCLUSÃO

Processos físicos ocorrem na Magnetosfera modulando o fluxo de energia carregado pelo Vento Solar para a Terra. Na literatura atual aceita-se que as micropulsações magnéticas são provocadas pelas manifestações de ondas hidromagnéticas (MHD), geradas por vários processos físicos. Estas micropulsações possuem características diferentes nas diferentes regiões sobre o Globo Terrestre. Concentramos nossa atenção na comparação dos eventos encontrados, efetuando a análise dos dados coletados em SMS, em relação aos eventos encontrados na realização da análise de dados coletados por estações geomagnéticas próximas ao equador geográfico. Percebeu-se que, os eventos encontrados nas estações próximas ao equador possuem as amplitudes de suas oscilações consideravelmente superiores se comparados às amplitudes dos eventos da estação de SMS. O fato das diferenças nas amplitudes das micropulsações é devido à presença de um sistema de correntes elétricas na Ionosfera, conhecido como Eletro Jato Equatorial.

Em virtude da conclusão do curso de Física, pelo aluno bolsista, e seu ingresso no curso de Pós-Graduação em Física pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), foi encaminhado um pedido de desligamento do bolsista, sendo que os trabalhos não foram concluídos e maiores conclusões não puderam ser obtidas. A participação do aluno-bolsista no projeto, após o pedido de desligamento, passou a ter um cunho de auxílio nas atividades que estavam sendo desenvolvidas, principalmente na manutenção dos aparelhos de aquisição de dados e esclarecimentos de dúvidas dos novos integrantes do grupo de pesquisa Magnetosferas Interações Terra – Sol e Geomagnetismo.





## 9. BIBLIOGRAFIA

- Amarante, José A. A.**, *General Topics on geomagnetism and Studies of the Occurrence of micropulsations in São José dos Campos*, Comissão Nacional de Atividades Espaciais (CNAE) – São José dos Campos - São Paulo – Brazil, Relatório Interno\_CNAE – LAFE-048, 1966.
- Campbell, W. H.** *Introduction to Geomagnetic Fields*, Cambridge University Press, New York, 1997.
- Jankowski, J e C. Sucksdorff**, *Guide for magnetic measurements and observatory practice*, International Association of Geomagnetism and Aeronomy, Boulder, 1996.
- Kirchhoff, V. W. J. H.** *Introdução à Geofísica Espacial*, Ed. Nova Estella.
- Pinto, Jr. O. e Gonzales W. D.** *Anomalia Magnética Brasileira*, Ciência Hoje, vol. 9, nº 52, 1989.
- Primdahl, F.**, *Instrumentos Geomagnéticos, Publicações do Observatório Nacional*, Publicação Especial, Nº 09, 1986.
- Zanandrea, A.** *Micropulsações Geomagnéticas em Santa Maria - RS*, Tese de Doutorado – INPE - 1994.
- Pereira, O. J.** *Estudo de Polarização de Pulsações Magnéticas na Faixa Pc3 a Pc5 Observadas em Santa Maria e Eusébio*, Dissertação de Mestrado – INPE – 1993.
- Kivelson, M. G. , e Russel, C. T.** *Introduction to Space Physics*, Cambridge University Press – 1995.





**10. ANEXOS - RESUMOS E CERTIFICADOS DE TRABALHOS APRESENTADOS  
EM EVENTOS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**





## **ANÁLISE DE OBSERVAÇÕES GEOMAGNÉTICAS EFETUADAS EM SÃO MARTINHO DA SERRA – RS E EM ALCÂNTARA – MA<sup>(1)</sup>**

Ederson Staudt<sup>(2)</sup>, Nalin B. Trivedi<sup>(3)</sup>, Lucídio V. Kunrath<sup>(4)</sup>, Silvio Buchner<sup>(5)</sup>, Nelson Jorge Schuch<sup>(6)</sup>

O Planeta Terra possui ao seu redor um intenso Campo Magnético cuja intensidade não é constante globalmente. A Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) é uma região anômala localizada na região oeste de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul onde a intensidade do Campo Magnético é bem reduzida em comparação com a intensidade média global. O campo é modulado e distorcido por um fluxo contínuo de plasma a partir do Sol fazendo com que as linhas de campo sejam comprimidas na direção voltada para o Sol e alongadas na direção oposta, formando uma cavidade conhecida como Magnetosfera. Os processos físicos que ocorrem nesta cavidade modulam o fluxo de energia carregado pelo Vento Solar para a Terra. Várias são as teorias modernas que procuram explicar as inúmeras características destes processos, experimentalmente observados. As micropulsações são uma classe de flutuações, que podemos encontrar no campo magnético, de curto período (da ordem de minutos a segundos). As amplitudes destas típicas flutuações são menores do que uma parte em  $10^4$  do campo principal e tem efeito transitório. A faixa de período na qual se considera as micropulsações está entre 0,2 e 7 minutos, com amplitudes de frações até centenas de “nano teslas” (nT). Em geral é aceito que as micropulsações magnéticas são provocadas pela manifestação de ondas hidromagnéticas geradas por vários processos físicos, sendo que estas ondas podem ser detectadas por aparelhos na superfície terrestre ou em satélites em órbita. Aparelhos deste tipo (magnetômetros) estão instalados no Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra (SMS). Neste trabalho realizamos a análise dos dados coletados nos meses de dezembro de 1994 e janeiro de 1995, envolvendo a catalogação dos eventos encontrados, tratamento estatístico e gráfico. Posteriormente comparamos os eventos encontrados na estação localizada próxima ao centro da AMAS com os eventos encontrados na análise dos dados coletados pela estação de Alcântara (MA), localizada em uma região fora da AMAS. Como conclusão obtemos as informações de que, os eventos encontrados na estação de Alcântara possuem as amplitudes de suas oscilações consideravelmente superiores se comparados às amplitudes dos eventos da estação de SMS. Isso se deve ao fato de que, na região de Alcântara o Campo Magnético sofre variações devido à presença de um sistema de correntes elétricas na ionosfera, conhecido como Eletro Jato Equatorial. Como trabalho futuro estamos propondo a comparação dos dados coletados por aparelhos na superfície terrestre com os dados coletados pelos satélites GOES 6 e GOES 8 para estudarmos as contribuições da ionosfera na propagação destes eventos.

<sup>(1)</sup> Pesquisa financiada pelo INPE, PIBIC/CNPq, UFSM;

<sup>(2)</sup> Apresentador/Autor: Acadêmico do curso de Física;

<sup>(3)</sup> Orientador: Pesquisador CRSPE/INPE – MCT;

<sup>(4)</sup> Co-autor do trabalho: Acadêmico do curso de física;

<sup>(5)</sup> Co-autor do trabalho: Acadêmico do curso de física;

<sup>(6)</sup> Co-autor do trabalho: Pesquisador CRSPE/INPE – MCT.

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





## ESTUDO DAS PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL<sup>(1)</sup>

Lucídio V. Kunrath<sup>(2)</sup>, Nalin B. Trivedi<sup>(3)</sup>, Silvio Buchner<sup>(4)</sup>, Ederson Staudt<sup>(5)</sup>, Nelson Jorge Schuch<sup>(6)</sup>

O Sistema Solar é imerso no plasma, emitido continuamente pelo sol. O Plasma, gás ionizado, propaga-se no espaço com velocidades de 500 a 1500 km/s, levando partículas carregadas até os Planetas, incluindo a Terra. A Terra é protegida do Vento Solar (Plasma Solar) por um Campo Geomagnético, que é gerado no núcleo líquido da Terra. Este Campo Magnético barra a passagem das partículas, fazendo com que elas não colidam com a superfície terrestre. Quando as partículas constituintes do Vento Solar conseguem penetrar na Magnetosfera, ocorrem vários fenômenos, dentre eles: as auroras nas latitudes altas (> 60 graus), tempestades e pulsações geomagnéticas. O Campo Geomagnético pode ser dividido em duas partes: um campo principal, cuja origem atribui-se a correntes existentes no núcleo da Terra, e que corresponde a 99% de seu total; e outros campos, de intensidade variável, e que são produzidos por correntes elétricas nas regiões ionizadas vizinhas ao planeta (ionosfera e magnetosfera). A distribuição global da Intensidade Total do Campo Geomagnético apresenta uma região de mínimo, a qual compreende parte do Território Brasileiro e parte do Oceano Atlântico, e é conhecida como região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS – ou também como região da Anomalia Magnética Brasileira – AMB. Sua principal consequência é a ocorrência de uma maior precipitação de partículas nessa região devido ao rebaixamento do cinturão de radiação que circunda o Planeta, conhecido como cinturão de Van Allen. O Campo Geomagnético apresenta variações temporais e espaciais com amplitudes muito inferiores à do Campo Magnético gerado no núcleo, em várias ordens de grandeza. Estas variações classificam-se em: seculares, diurnas (período de 24 horas), distúrbios (associados a tempestades magnéticas e com períodos bastante variáveis) e pulsações (com períodos entre 0,2 a 1000s). O grupo de Geomagnetismo do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria (LACESM), está atualmente se dedicando ao estudo das Variações Geomagnéticas, na faixa de períodos compreendidos entre 0,2 a 1000 segundos, que ocorrem devido à interação entre o Plasma Solar incidente e o Campo Magnético terrestre. O objetivo desta pesquisa é monitorar as variações geomagnéticas e a deriva da Anomalia Magnética como também estudar o clima espacial.

(1) Pesquisa financiada pelo INPE, CNPq, PRAE - UFSM;

(2) Apresentador/Autor: Acadêmico do curso de Física;

(3) Orientador: Pesquisador CRSPE/INPE – MCT;

(4) Co-autor do trabalho: Acadêmico do curso de física;

(5) Co-autor do trabalho: Acadêmico do curso de física;

(6) Co-autor do trabalho: Pesquisador CRSPE/INPE – MCT.

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





## ESTUDO DE MICROPULSAÇÕES MAGNÉTICAS NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL <sup>(1)</sup>

Silvio Buchner<sup>(2)</sup>, Nalin B. Trivedi<sup>(3)</sup>, Lucídio V. Kunrath<sup>(4)</sup>, Ederson Staudt<sup>(5)</sup>, Nelson Jorge Schuch<sup>(6)</sup>,

As micropulsões podem ser definidas como Pulsões Geomagnéticas de baixa frequência. Estas pulsões podem ser divididas em duas classes distintas: as Pulsões Contínuas (Pc) e as Pulsões Irregulares (Pi). Muitos destes distúrbios tem aspecto senoidal em aparência e, tem sido atribuído a ondas hidromagnéticas ou magneto – hidrodinâmicas (MHD), dentro da Magnetosfera da Terra podendo ser vistas como oscilações do Campo Magnético da Terra. As Pulsões do pacote Irregular são provavelmente produzidas por feixes de partículas carregadas que penetram na alta Atmosfera. Esta injeção de partículas provoca também na Ionosfera o estabelecimento de sistemas de correntes ocasionando um aumento da condutividade da Ionosfera. Esta por sua vez, passa a oferecer uma blindagem cada vez maior às ondas hidromagnéticas excitadas pelo feixe, fazendo com que as Pulsões Irregulares (Pi) ocorrem em geral nas etapas iniciais do desenvolvimento de umas tempestades Magnéticas. As Pulsões Contínuas (Pc) são Pulsões quase senoidais e classificadas como Pc1 a Pc5, na faixa de períodos entre 0,2 a 1000 segundos. As Pc<sub>1</sub> são oscilações senoidais regulares, com seus períodos variando de 0,2 a 5 segundos, são mais frequentemente excitadas em zonas aurorais e sub-aurorais, as Pc<sub>2</sub> e Pc<sub>3</sub> são tipicamente fenômenos diurnos, com períodos médios, sofrendo variações diurnas, maximizando-se ao meio dia, a ocorrência das Pc<sub>4</sub> aumenta com a diminuição da atividade Solar, são dominantes nos mínimos solares, as Pc<sub>5</sub> possuem uma forma inteiramente senoidal, sendo muitas vezes amortecidas, com algumas distorções que aparecem com o aumento da atividade Magnética. Na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMS) ocorre o rebaixamento do cinturão de radiação de Van Allen e sua principal consequência é a maior precipitação de partículas, que podem atingir os satélites que passam por esta região, atingindo experimentos a bordo destes satélites, e principalmente devemos nos preocupar com a segurança dos astronautas que passam por esta região, por isso se torna necessário este estudo. Estas micropulsões Magnéticas estão sendo medidas no Observatório Espacial do Sul, OES/CRSPE/INPE em São Martinho da Serra, na região da Grande Anomalia Magnética do Atlântico Sul, e estudadas por pesquisadores do INPE em parceria com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria (LACESM). Inicialmente foram analisados dados de Setembro a Dezembro de 1994 e Janeiro de 1995, foram separados os maiores eventos pela suas amplitude e na seqüência deste trabalho estamos classificando as Pulsões Contínuas, as Impulsivas e as comparando com dados de outras estações Magnéticas, para podermos entender os processos físicos que ocorrem na Magnetosfera terrestre.

---

<sup>(1)</sup> Pesquisa financiada pelo INPE, PIBIC/CNPq, UFSM;

<sup>(2)</sup> Apresentador/Autor: Acadêmico do curso de Física;

<sup>(3)</sup> Orientador: Pesquisador CRSPE/INPE – MCT;

<sup>(4)</sup> Co-autor do trabalho: Acadêmico do curso de física;

<sup>(5)</sup> Co-autor do trabalho: Acadêmico do curso de física;

<sup>(6)</sup> Co-autor do trabalho: Pesquisador CRSPE/INPE – MCT;

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



# XVII JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA

Ministério da Educação - Universidade Federal de Santa Maria

---

## CERTIFICADO

Certificamos que

EDERSON STAUDT

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

ANÁLISE DE OBSERVAÇÕES GEOMAGNÉTICAS  
EFETUADAS EM SÃO MARTINHO DA SERRA - RS E EM  
ALCÂNTARA - MA

  
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

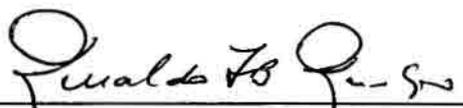
---

## CERTIFICADO

Certificamos que  
EDERSON STAUDT

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

ESTUDO DAS PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS NA REGIÃO  
DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO 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  
EDERSON STAUDT

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

ESTUDO DE MICROPULSAÇÕES MAGNÉTICAS NA REGIÃO  
DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL

  
Comissão Executiva  
Outubro de 2002

**acenda sua idéia!**

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