

[imprimir](#)[Referência Completa](#)[Fechar](#)

Tipo da Referência	Conference Proceedings
Chave Secundária	INPE-9787-PRE/5374
Chave de Citação	BuchnerTrDuKuStSc:2002:ObGeNa
Autor(es)	Buchner, Silvio Trivedi, Nalin B Dutra, Severino Luiz Guimarães Kunrath, Lucídio V. Staudt, Ederson Schuch, Nelson Jorge
Título	Estudo de pulsações no campo geomagnético observado em São Martinho da Serra: um observatório Geomagnético na região da anomalia geomagnética
Nome do Evento	Seminário de Iniciação Científica do INPE (SICINPE)
Data	1--11 jun. 2002
Localização do Evento	São José dos Campos
Editora (Publisher)	INPE
Ano	2002
Editor(es)	Kienbaum, Germano de Souza Becceneri, José Carlos Macau, Elbert Einstein Neher Sausen, Tania
Título do Livro	Anais
Tipo	PRE
Organização	INPE
Palavras-Chave	geofísica espacial, anomalia geomagnética, pulsações geomagnéticas, campo magnético
Resumo	<p>As pulsações geomagnéticas são flutuações do Campo Magnético terrestre de curto pe podendo variar de 0,2 a 1000 segundos, estas pulsações magnéticas deve-se a manifestação de ondas de plasma de frequências ultra-baixa na Magnetosfera, e são provocadas manifestação de ondas hidromagnéticas geradas por vários processos físicos. Durante o desenvolvimento desse projeto foram efetuadas medidas geomagnéticas na estação Magnética de São Martinho da Serra, frente ao Observatório Espacial do Sul OES/CRSPE/INPE - em São Martinho da Serra - SMS (29°S, 53°W). Pulsações contínuas e impulsivas, foram estudadas juntamente com a operação de um magnetômetro do tipo Fluxgate, de baixo ruído, (0. 1 nT), de três componentes ortogonais H (Norte - Sul), D (Leste - Oeste), e Z (vertical) e registrando as variações a cada três segundos. Da análise dos dados geomagnéticos coletados em SMS durante os meses de Setembro a Dezembro de 1994 e de Janeiro de 1995, detectar eventos de pulsações Geomagnéticas, nas faixas de período de 45 - 150 segundos (Pc4), e de 150 - 600 segundos (Pc5), foi observado sua máxima ocorrência ao final da tarde. E com uma ocorrência bem menos acentuada foi observado as pulsações com períodos 15 - 45 segundos (Pc3), estas se observou mais próximo ao meio dia. A metodologia proposta foi usada e baseada na filtragem de dados nas bandas mencionadas (Kariasevicli, 1981) e computação espectral (Software Auto Signal 1.0). Para cada faixa de período é apresentado estatística de frequência de ocorrência de pulsações geomagnéticas. Os maiores eventos selecionados pelas suas amplitudes e na seqüência do trabalho serão separadas as pulsações contínuas</p>

	e impulsivas, e estudadas as possíveis fontes geradoras das pulsações e propagação até a superfície terrestre.
Notas	Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica PIBIC/CNPq/INPE
Idioma	Português
Detentor da Cópia	SID/SCD
Tipo Secundário	CN
Tertiary Type	Sessão Oral
Divulgação	
Formato	Papel
Área	CEA
Grupo(s)	RSU, DGE
Afiliação	UFSM Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Centro Regional de Pesquisas Espaciais Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Divisão de Geofísica Espacial
Nome de Usuário	marciana
Data de Acesso	05 set. 2003

# **ESTUDO DE PULSAÇÕES NO CAMPO GEOMAGNÉTICO OBSERVADO EM SÃO MARTINHO DA SERRA - UM OBSERVATÓRIO GEOMAGNÉTICO NA REGIÃO DA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA.**

Silvio Buchner<sup>(1)</sup> (UFSM, Bolsista PIBIC, CNPq)

Nalin B. Trivedi<sup>(2)</sup> (LACESM/RSU/INPE)

Severino L. G. Dutra<sup>(3)</sup>, Lucídio V. Kunrath<sup>(4)</sup>, Ederson Staudt<sup>(5)</sup>, Nelson Jorge Schuch<sup>(6)</sup>

## **RESUMO**

As pulsações geomagnéticas são flutuações do Campo Magnético terrestre de curto período podendo variar de 0,2 a 1000 segundos, estas pulsações magnéticas deve-se a manifestação de ondas de plasma de frequências ultra-baixa na Magnetosfera, e são provocadas pela manifestação de ondas hidromagnéticas geradas por vários processos físicos. Durante o desenvolvimento desse projeto foram efetuadas medidas geomagnéticas na estação Magnética de São Martinho da Serra, frente ao Observatório Espacial do Sul OES/CRSPE/INPE – MCT em São Martinho da Serra – SMS (29°S, 53°W). Pulsações contínuas e impulsivas, foram estudadas juntamente com a operação de um magnetômetro do tipo Fluxgate, de baixo ruído, (0.1nT), de três componentes ortogonais H (Norte – Sul), D (Leste – Oeste), e Z (vertical), e registrando as variações a cada três segundos. Da análise dos dados geomagnéticos coletados em SMS durante os meses de Setembro a Dezembro de 1994 e de Janeiro de 1995, para detectar eventos de pulsações Geomagnéticas, nas faixas de período de 45 – 150 segundos (Pc4), e de 150 – 600 segundos (Pc5), foi observado sua máxima ocorrência ao final da tarde. E com uma ocorrência bem menos acentuada foi observado as pulsações com períodos entre 15 – 45 segundos (Pc3), estas se observou mais próximo ao meio dia. A metodologia proposta foi usada e baseada na filtragem de dados nas bandas mencionadas (Kanasevich, 1981) e computação espectral (Software Auto Signal 1.0). Para cada faixa de período é apresentada a estatística de frequência de ocorrência de pulsações geomagnéticas. Os maiores eventos foram selecionados pelas suas amplitudes e na seqüência do trabalho serão separadas as pulsações contínuas e impulsivas, e estudadas as possíveis fontes geradoras das pulsações e sua propagação até a superfície terrestre.

<sup>(1)</sup> Autor, aluno do curso de Física, UFSM – RS, E-mail: [silvio@lacesm.ufsm.br](mailto:silvio@lacesm.ufsm.br)

<sup>(2)</sup> Orientador, pesquisador - LACESM/RSU/ INPE – MCT, E-mail: [trivedi@lacesm.ufsm.br](mailto:trivedi@lacesm.ufsm.br)

<sup>(3)</sup> Colaborador, pesquisador - DGE/INPE, E-mail: [dutra@dge.inpe.br](mailto:dutra@dge.inpe.br)

<sup>(4)</sup> Colaborador: Acadêmico do Curso de Física, E-mail: [lucidio@lacesm.ufsm.br](mailto:lucidio@lacesm.ufsm.br)

<sup>(5)</sup> Colaborador: Acadêmico do curso de física, E-mail: [ederson@lacesm.ufsm.br](mailto:ederson@lacesm.ufsm.br)

<sup>(6)</sup> Pesquisador - CRSPE/INPE – MCT, E-mail: [njschuch@lacesm.ufsm.br](mailto:njschuch@lacesm.ufsm.br)



**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
UNIDADE REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS - RSU  
OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL - OES/CRSPE/INPE**

**Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica  
PIBIC/CNPq/INPE/MCT**

## **RELATÓRIO PARCIAL DE ATIVIDADES**

**Título do Projeto:**

**"Estudo de pulsações no Campo Geomagnético observado em São Martinho da Serra - um Observatório Geomagnético na região da anomalia Geomagnética"**

**Bolsista:  
Silvio Buchner**

**Orientador:  
Nalin Babulal Trivedi**

**Santa Maria, Janeiro de 2002.**



**Dados de Identificação:**

Bolsista:

Silvio Buchner

Orientador:

Dr. Nalin Babulal Trivedi

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Pesquisadores e estudantes

Dr. Nelson Jorge Schuch - INPE

Dr. Severino L. Guimarães Dutra – INPE

Silvio Buchner – acadêmico/UFSM

Ederson Etaudt - acadêmico/UFSM

Local de Trabalho/Execução do Projeto:

Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE /CEP - INPE

Laboratório de Geofísica Espacial - LGE/LACESM/CT - UFSM





### **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer em especial ao meu orientador, Dr. Nalin B. Trivedi e colaboradores, Dr. Nelson J. Schuch, Dr. Severino L. Guimarães Dutra e aos colegas de trabalho Ederson Staudt e Lucidio V. Konrath (acadêmicos do Curso de Física), pela atenção, colaboração e paciência que tiveram comigo, no desenvolver desse Projeto ao PIBIC/CNPq/INPE – MCT, e a UFSM/CT/LACESM, pelo suporte dado e a todos que de alguma maneira contribuíram para a execução deste projeto e elaboração deste relatório.





## ÍNDICE

CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE - MCT.....	2
INTRODUÇÃO.....	5
1. OBJETIVOS GERAIS DO PROJETO.....	6
1.1.Plano de Trabalho.....	8
1.2. O OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL DO CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – OES/CRSPE/INPE EM SÃO MARTINHO DA SERRA – RS.....	8
2 . FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
2.1 CAVIDADE GEOMAGNÉTICA .....	15
2.2 ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL.....	16
3. MÉTODOS DE AQUISIÇÃO PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE DADOS .....	17
4. ATIVIDADES DO BOLSISTA .....	21
5. PERSPECTIVAS FUTURAS .....	21
6. REDUÇÃO E VISUALIZAÇÃO DE DADOS.....	22
7. CONCLUSÕES.....	24
8. BIBLIOGRAFIA .....	25
9. ANEXOS.....	26





## INTRODUÇÃO

O Campo Geomagnético é uma barreira que impede o avanço do vento solar, fazendo-o contornar a Terra a velocidades supersônicas e criando uma bolha alongada semelhante à forma de um cometa, denominado Magnetosfera. Dentro da cavidade Magnetosférica, o Campo Geomagnético encontra -se em constante interação com o Plasma Solar, gerando ondas hidromagnética na fronteira de interação. Essas interações se propagam ao longo das linhas do Campo Geomagnético, são modificadas ao atravessar a ionosfera Terrestre e chegam a superfície na forma de variações Geomagnéticas. Na faixa entre 0,2 e 1000 segundos essas variações são conhecidas como pulsações Geomagnéticas.

Há também variações transientes e quase periódicas (com períodos entre alguns segundos a dezenas de segundos) que surgem em resposta a mudanças abruptas da pressão dinâmica do Vento Solar. Com isso o Cinturão de Van Allen é pressionado na direção da superfície da Terra e ocasionando perturbações no Campo Geomagnético e na Ionosfera, devido a Anomalia Magnética.

As pesquisas nessa área têm como objetivos coletar, analisar, os dados coletados no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE /CEP - INPE e estudar essas pulsações geomagnéticas e fazer uma comparação com as outras estações geomagnéticas.

Este trabalho é iniciado com a apresentação do projeto, seus objetivos, o desenvolver das atividades experimentais e a apresentações de algumas conclusões preliminares.







## 1. 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).
- Serão estudado o comportamento das pulsações geomagnéticas durante tempos quietos magneticamente como também nos períodos magneticamente perturbados na região da Anomalia Magnética e região do Eletrojato Equatorial ao longo do equador Magnético.
- Estudar as variações impulsivas com períodos longos e curtos.
- Operar o Observatório Geomagnético de São Martinho da Serra.



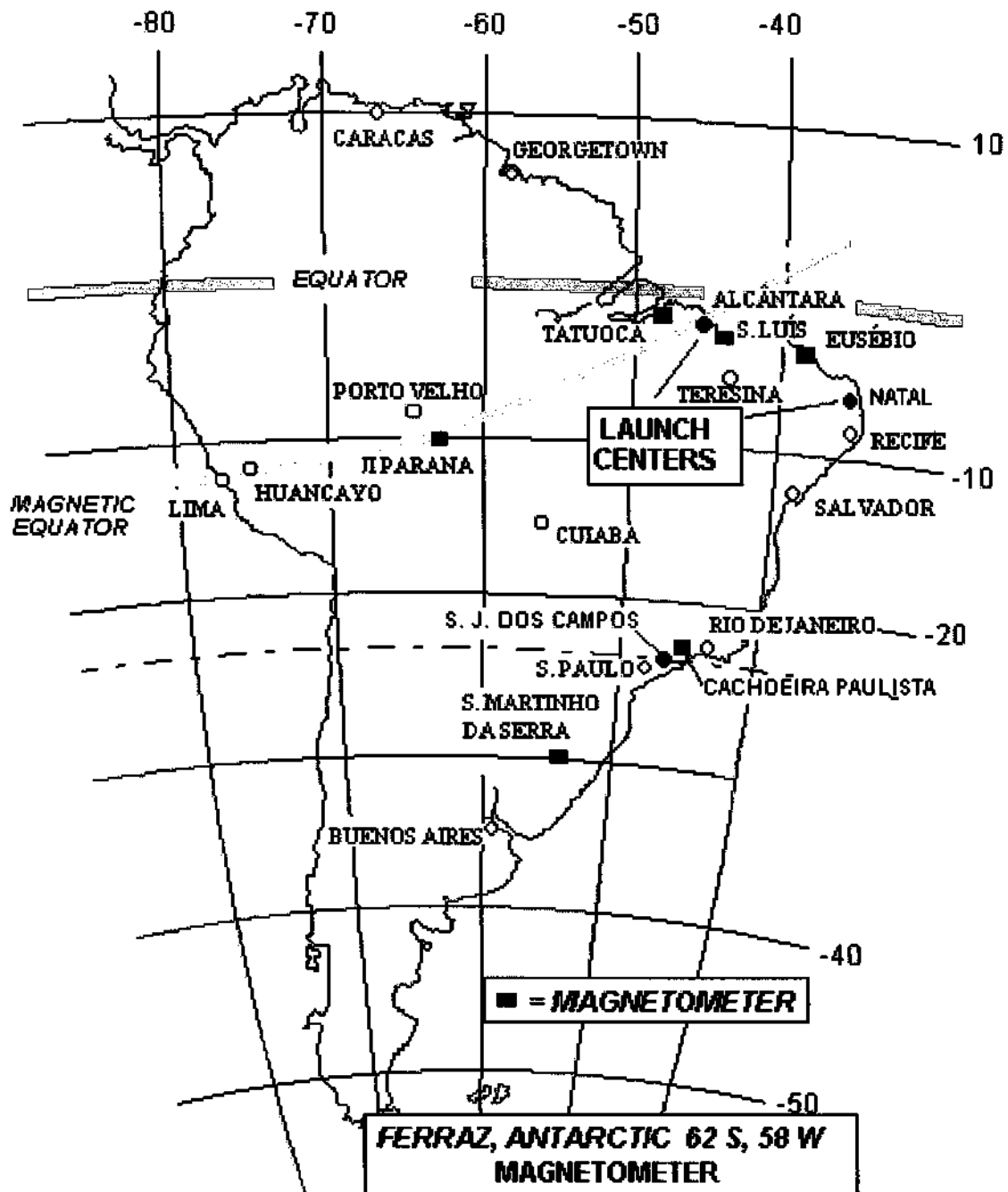


Figura 1- Mapa da América do Sul mostrando a posição dos Equadores Geográfico e Magnético e também das estações geomagnéticas brasileiras.



### **1.1.Plano de Trabalho**

#### **Primeira Fase:**

- Revisão Bibliográfica;
- Introdução à ciência de geomagnetismo e pesquisa espacial e conhecer técnicas experimentais de medir o Campo Geomagnético.
- Estudos tópicos sobre pulsações geomagnéticas.

#### **Segunda Fase:**

- Catalogar os eventos de pulsações geomagnéticas e examinar a estatística de ocorrência de pulsações geomagnéticas.

#### **Terceira Fase:**

- Detectar eventos nos dados geomagnéticos e escrever relatório sobre pesquisa realizada.
- Comparar as variações impulsivas observadas em SMS com as variações geomagnéticas observadas pelos magnetômetros a bordo dos satélites geoestacionários GOES-8 e GOES-10.

### **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:

- Executar e desenvolver as atividades e projetos de pesquisa técnico e científica em Astronomia, nas áreas de Astrofísica e Radioastronomia;
- 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;
- 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;





CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE - MCT

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

O programa de escolha de sítio envolveu estudo técnico e científico de escolha de sítios, nas regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil, no Rio Grande do Sul e finalmente na grande região de Santa Maria e atendendo a metodologia da consideração dos fatores: antropogênicos, logísticos, macro e microclima, meteorológicos e do nível da rádio interferência natural e artificial, pré-requisitos básicos e necessários na pesquisa de escolha e instalação de um sítio, observatório, para observações rádio astronômica.

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.

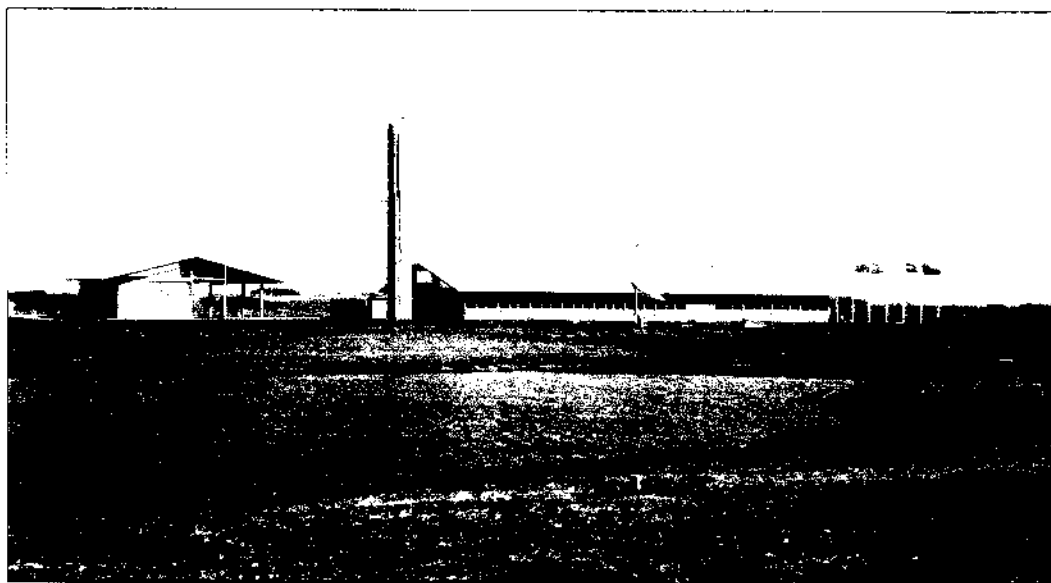


Figura 2 - Prédios 2 e 3, de um total de seis prédios, do Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra - RS.

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.





## 2 . FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Terra possui um campo de forças, chamado Campo Geomagnético (figura 3). 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 o resto produzido 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 Campo Geomagnético não é estável, apresentando variações temporais e espaciais com amplitudes muito inferiores à do campo magnético gerado no núcleo, em várias ordens de grandeza.

Essas variações geomagnéticas podem ser classificadas em seculares (períodos maiores que de um ano), 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 (figura 4). Sendo que as variações seculares são as únicas com origem interna a Terra.



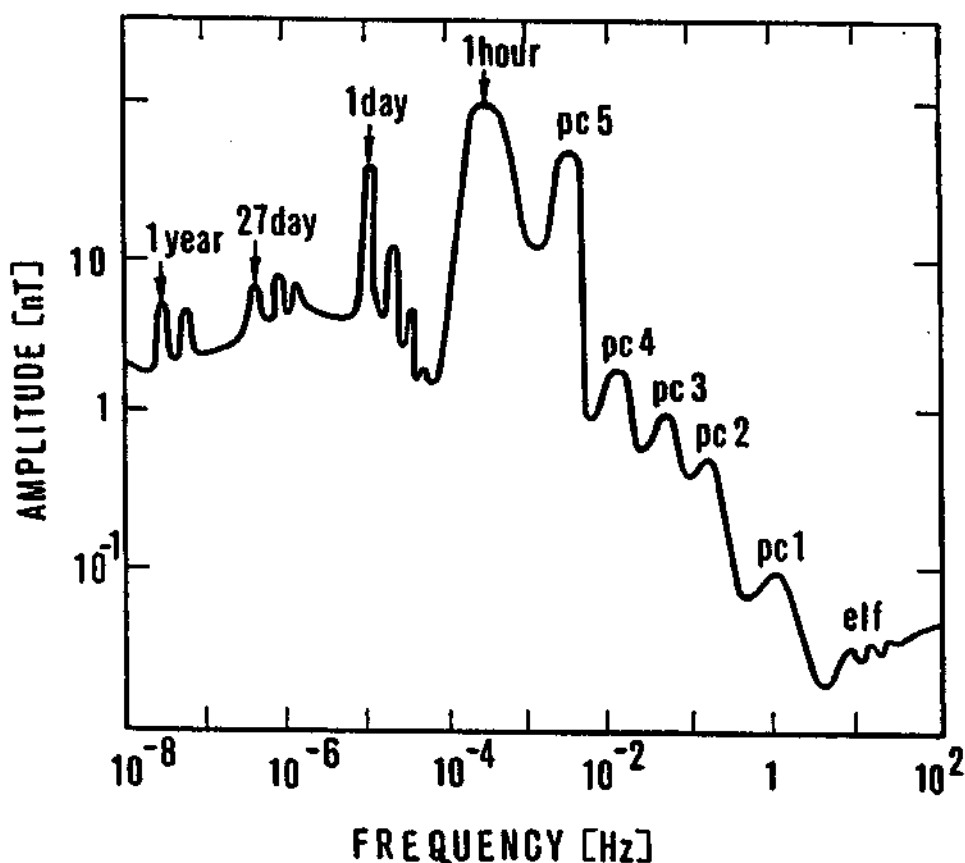


Figura 4– Amplitude das variações naturais da componente horizontal H.(Serson, 1973)

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>, 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.

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<sub>ST</sub> (Storm Time Disturbance).

Os distúrbios magnéticos resultam da entrada de grandes quantidades de plasma solar

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



na Magnetosfera<sup>2</sup>, 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>3</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 5 - Ilustração da Magnetosfera terrestre. (<http://www.sel.noaa.gov>)

Pulsações geomagnéticas são manifestações de ondas de plasma de frequência ultra-baixa (ULF) na magnetosfera terrestre. Essas pulsações tem intervalos de frequência desde aproximadamente 1 mHz até 10 Hz e aparecem como oscilações quase senoidais nos dados registrados em magnetômetros na superfície terrestre, na ionosfera e na magnetosfera.

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

<sup>2</sup> Magnetosfera - região em que o campo magnético domina o movimento do plasma, constituído principalmente de prótons e elétrons.



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 subcomitê do “International Association of Geophysics and Aeronomy” (IAGA) sugeriu 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:

- **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 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 freqüentemente 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 0,5 $\gamma$  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)*

<sup>3</sup> Vento Solar - fluxo de partículas ionizadas (plasma) emanadas pelo Sol.







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 pulsções, com longos períodos (3 – 10 minutos), podem ter amplitudes extremamente grandes, chegando a várias centenas de  $\gamma$ , nas latitudes altas e várias dezenas de nT nas latitudes baixas. 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 eletrojetos equatoriais.

- **Pulsções Irregulares**

Esta classe de pulsções 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 sub-grupos:

#### *Pulsções Irregulares Pi1 (T1 – 40 s)*

As Pi1 tem formas irregulares com períodos menores do que 15 segundos ( $\approx 6 - 10$  s). Suas amplitudes tem valores máximos nas zonas aurais e sua intensidade decresce rapidamente com a latitude. Estas oscilações tem 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 - 5γ . 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.

Na região entre a Terra e o Sol temos 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 elétricas. 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,  $(\omega \ll \Omega_i^2 + \Omega_c^2)^{\frac{1}{2}}$ , 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.

## 2.1 CAVIDADE GEOMAGNÉTICA

Medições feitas com satélites artificiais e foguetes indicam que as grandes distâncias da Terra, próximo a fronteira externa da Magnetosfera (mais de 70.000 Km de altura), as linhas de campo terrestre afastam-se daquelas previstas pelo modelo do dipolo. Tal afastamento se apresenta na forma de uma variação diurna conforme vista de um ponto sobre a Terra girante, mas apresenta-se constante conforme visto por um observador inercial no sol (desprezando o efeito resultante do fato que o eixo de rotação da Terra e o eixo do dipolo não coincidem).

Esta deformação é associada ao movimento da Terra através do gás interplanetário, e ao chamado Vento Solar (fluxo de plasma continuamente ejetado pelo sol).

Abramos aqui um parênteses a fim de estabelecer o conceito de plasma, uma vez que essa noção é de grande importância no entendimento dos vários fenômenos geomagnéticos. Quando um gás é elevado a temperaturas suficientemente altas ou submetido a intensa radiação (X ou ultra-





violeta) , os átomos e moléculas do mesmos se tornam ionizados, sendo os elétrons arrancados por violentas colisões entre as partículas devido a agitação térmica, ou expulsos dos átomos como resultado da absorção de fótons com altas energias. Quando isso ocorre o comportamento dinâmico do gás passa a ser grandemente afetado por forças eletromagnéticas que agem sobre os íons e elétrons livres, e suas propriedades se tornam suficientemente diferentes das do gás normal não ionizado que se justifica uma mudança de denominação. Assim para se representar esse estado gasoso altamente ionizado, porem macroscopicamente neutro, escolheu-se o nome de plasma. A propriedade mais fundamental de um plasma é a sua tendência de permanecer eletricamente neutro. Quando por alguma razão, em uma dada região do mesmo a densidade de carga difere de zero, desenvolvendo-se altos potenciais que fazem as partículas carregadas moverem se rapidamente de modo a reduzir as diferenças de potencial e restabelecer a neutralidade elétrica. É este fenômeno o principal responsável pelas oscilações hidromagnéticas e pelas várias peculiaridades associadas as ondas eletromagnéticas que se propagam em plasmas.

O Vento Solar com seu continuo fluxo de plasma, ao passar pela Terra, liga-se as linhas de Campo Magnético e as arrasta consigo, trazendo como resultado uma compressão da magnetosfera no lado oferecido ao sol e uma alongação da mesma ao lado oposto.

## 2.2 ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL

A Terra é rodeada por um Campo Magnético esférico, a magnetosfera. De acordo com o que nós sabemos hoje, está sendo gerado por ação de dínamo no interior da Terra onde metais líquidos continuam em movimento gerados pelas forças de transmissão (troca calor), e da mesma maneira que as massas carregadas no dínamo gera um Campo Magnético quando se movem, estas massas criam o Campo Magnético da Terra. Sem isto, não trabalhariam nossas bússolas, essa barreira nos protege da radiação, inclinando partículas de altas energia ou capturando no cinturão de Van Allen. Destes, descobriu –se pelo primeiro satélite dos EUA, em 1958, que há dois cinturões, um mais interno, o outro mais externo, mas ambos cercam a Terra como uma proteção a radiações de partículas.

Infelizmente, em cima do Sul do Oceano Atlântico, ao largo da costa do Brasil, o efeito protetente da magnetosfera não é bastante esférico mas um " buraco ", o qual os cientistas explicam como resultado do deslocamento excêntrico do Campo Magnético do centro geográfico da Terra (através de 280 milhas) como também o deslocamento entre os marcos magnéticos e geográficos da Terra. Para órbitas inclinadas entre 35 e 60 graus a partir do equador da Terra.

A Anomalia Magnética do Atlântico Sul se torna importante, porque as astronave nessas





órbitas passam periodicamente por essa zona. O intenso fluxo de partícula nessa região requer proteção mais intensa para a tripulação.

Na figura número 6 está representada a região englobada pela Anomalia Magnética

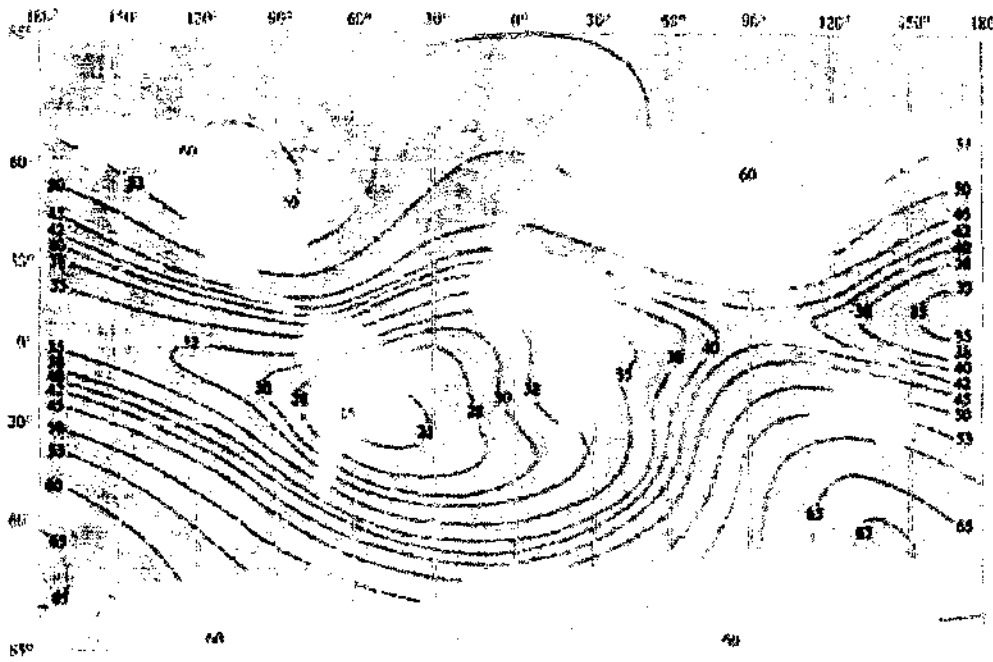


Figura 6 – Anomalia Magnética do Atlântico Sul

( <http://geomag.usgs.gov/MagCharts/wmm-gif/Wmm-00.gif> )

### 3. MÉTODOS DE AQUISIÇÃO PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

O Campo Geomagnético não pode ser medido diretamente, sendo necessária a 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 sensora 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 desconsiderados, 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.

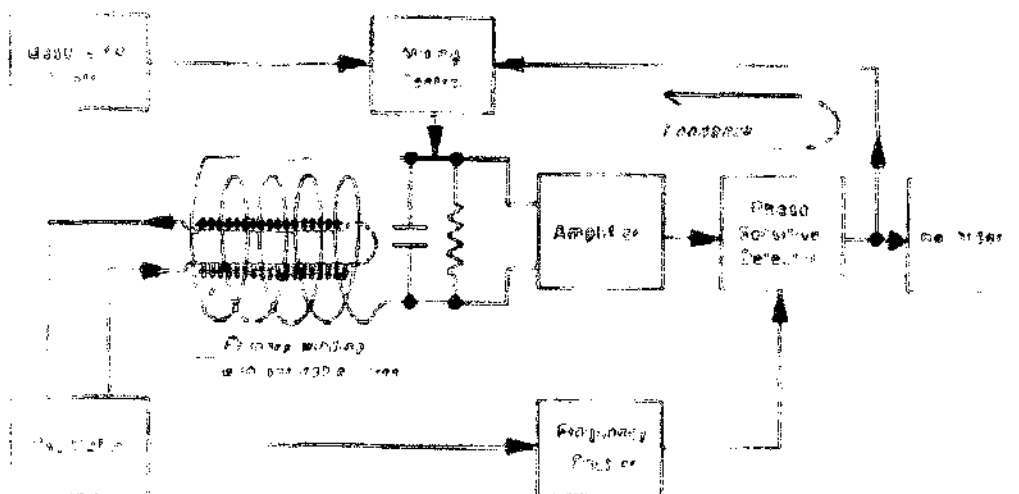


Figura 6 – Magnetômetro Fluxgate para medida direcional do Campo Geomagnético. (Campbell, 1997)

Com uma oscilação de excitação de aproximadamente 700 c/s, uma variação de  $1-\gamma$ , do campo ambiente, produz uma saída de aproximadamente 25  $\mu\text{V}$ . 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 6).

- **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:

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

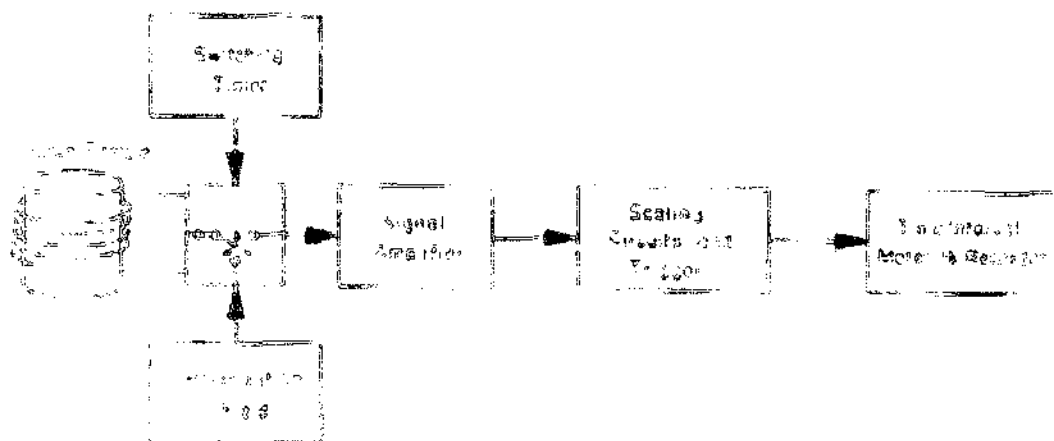


Figura 7 – Magnetômetro de próton para medida do Campo Geomagnético total. A bobina ao redor da amostra é utilizada para alinhar os prótons e detectar o período de precessão dos mesmos.

(Campbell, 1997)

Todas as medidas do campo magnético terrestre envolvem a determinação da magnitude e



direção do campo vetorial  $F$ , (ambas características dependem do tempo). Três direções são necessários para estas medição: horizontal  $H$  (norte-sul),  $D$  (leste-oeste) e  $Z$  (vertical para baixo), este projeto visa medir as pequenas variações que vão de 10 à 600 segundos. A dinâmica das variações do campo magnético terrestre são grandes, variando-se desde períodos de alguns séculos até variações rápidas, com períodos de milisegundos. Devido a grande variação, das componentes do campo, vários instrumentos tem sido desenvolvidos para realizar medidas ou para registrar as variações magnéticas de diferentes aspecto geomagnético.

Uma unidade de aquisição de dados geomagnéticos consiste basicamente de duas partes: sistemas de medição (para o nosso projeto o sistema de medição é feita através de magnetômetros, e o sistema de processamento e armazenamento de dados. Foram desenvolvidas unidades de aquisição com interfaceamento capaz de selecionar as saídas analógicas dos sensores e digitalizá-las por um conversor analógico - digital. Os dados digitalizados são formatados e transferidos para fitas cassetes, ou cartões de memória, para posterior processamento em computador digital.

Para este estudo fez-se uso de dados geomagnéticos coletados pela estação geomagnética instalada no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE -MCT, em São Martinho da Serra – RS (29°S, 53°W).

A filtragem visa alterar a informação espectral contida no sinal, produzindo assim um realce das características espectrais. Um grande número de estruturas diferentes podem ser usadas para implementar filtros digitais. As mais comuns, filtragem direta, em cascata e em paralelo. A conversão da estrutura de filtragem direta para a estrutura em forma de 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 funções parciais, de tal forma que a filtragem direta é representada pela soma das funções de transferência individuais.

A estimação espectral é um poderoso método de análise de dados é freqüentemente usado para estudar processos geofísicos. Muitas técnicas têm sido desenvolvidas para análise de longas séries temporais estacionarias. Contudo, estas técnicas não são universalmente aplicadas para series temporais que envolvem processos não estacionários de curta duração. O principal problema tem sido isolar freqüências.

Uma nova técnica de estimação espectral, apresentada por Thomson (1982), tem sido aplicada na análise de séries temporais . Na técnica de análise espectral por múltiplas janelas os dados são multiplicados por várias janelas com propriedades de resistência ao vazamento espectral, formando uma seqüência ortogonal de janelas, que minimizam o vazamento do espectro estimado,





fazendo a transformação de Fourier nas auto-janelas “plotar” com o programa “Auto Signal” tem se os espectros correspondentes a cada uma dessas janelas.

Cada arquivo criado armazena os dados de um dia para as três componentes do campo geomagnético H, D, Z registradas com intervalos de amostragem de três segundos os arquivos tem formato de uma tabela de 4 colunas e 28800 linhas, tendo os dados digitalizados e dispostos em um arquivo pode se obter o gráfico da variação do campo magnético utilizando o programa Auto Signal, que é um programa específico para ser usado na área de geomagnetismo.

#### 4. 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.

- Realizou visitas semanais ao Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE para manutenção dos equipamentos e para a coleta de dados.
- Participou da leitura e discussão do manografo: “Introduction to Geomagnetic Fields - Wallace H. Campbell “.
- Participou da leitura e discussão do livro: “ Instrumentos Geomagnéticos – Fritz Primdahl”.
- Com os dados que são coletados na estação geomagnética de São Martinho da Serra o bolsista analisou catalogou e fez gráficos das variação da componente H do Campo Magnético Terrestre.
- Está sendo feito um estudo sobre as variações contínuas do Campo Geomagnético, observadas no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE para ser feito uma comparação com as variações geomagnéticas observadas nas outras estações geomagnéticas e nos satélites geoestacionários GOES-8 e GOES-10.
- O bolsista vem estudando também a física da magnetosfera, com a leitura de artigos, revistas e livros indicados pelo orientador.
- O bolsista vem usando algumas técnicas de análise de dados que foram descritas na cessão anterior.
- O bolsista vem catalogando eventos de pulsações contínuas do Campo Geomagnético.

#### 5. PERSPECTIVAS FUTURAS

- O bolsista deverá continuar realizando medidas das variações geomagnéticas que ocorrem na região da anomalia geomagnética do Atlântico Sul para monitorar as características das







pulsações geomagnéticas na região da Anomalia.

- Durante a seqüência do trabalho na área de geomagnetismo o bolsista pretende participar da elaboração e apresentação de trabalhos para a apresentação nas próximas Jornadas Acadêmica Integrada da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, leitura e discussão de livros e continuar realizando visitas semanais ao Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE -MCT para manutenção de equipamentos e coletas de dados.
- O bolsista pretende continuar o estudo da física magnetosférica.
- O bolsista deve continuar auxiliando na manutenção do Observatório Espacial do Sul.
- O bolsista pretende levar o seu trabalho para comparar com outros grupos de pesquisa, fazendo uma integração com outras áreas.
- O bolsista pretende dedicar-se mais aos estudos de pulsções impulsivas, pretende-se cataloga-las a exemplo do que está sendo feito com as pulsções contínuas.
- Durante 2002 aprender programar usando linguas, Fortran, C e MATLAB nas máquinas UNIX e PC .
- Realizar estudos sobre pulsções geomagnéticas contínuas e impulsivas. Estudar processos físicos responsável pela geração destas pulsções, estudando conjuntamente as pulsções Observadas em SMS, no Campo Magnético IMP (Satélite ACE e WIND) e Campo Magnético observado a bordo dos satélites Geoestacionario GOES – 8 e GOES - 10.

## 6. REDUÇÃO E VISUALIZAÇÃO DE DADOS

Durante o decorrer desse Projeto o bolsista vem se dedicando ao estudo de pulsções geomagnéticas, inicialmente fez se um estudo teórico sobre as variações que ocorrem no Campo Magnético. Dando seqüência ao trabalho são feitas aquisições de dados no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE, agora o bolsista está se dedicando a análise desses dados, o dados escolhidos para ser desenvolvido esse projeto são dados dos meses de Outubro, Novembro e Dezembro de 1994. A análise é feita pelo método de múltiplas janelas, após filtrados (filtro ban passante), são separados os eventos que ocorreram, num intervalo de meia hora e em seguida são feitos os gráficos dos eventos e são catalogados os eventos para se ter uma estimativa de que hora cada pulsação tem maior incidência. Alguns gráficos estão em anexo a este relatório, as pulsções referidas anteriormente são pulsções do tipo Pc3, Pc4 e Pc5. As pulsções impulsivas serão enfatizadas no próximo relatório.

Foi usado o método Thomson para detectar os eventos. Para a análise espectral dos intervalos de eventos foi usado um pacote de software comercial Auto Signal (usando método





AutoRegressive Frequency Spectrum) para plotar os espectros.

Os eventos apresentados nos gráficos em anexo estão em tempo universal.

Os dados usados na análise tem amostragem de 0,333 HZ ( $\Delta t = 3$  segundos) mas o programa da análise espectral (pacote Auto Signal 1.0) toma dados com passo de amostragem 1HZ ( $\Delta t = 1$  segundo). Por isso os resultados de picos ou frequências detectadas são valores três vezes menores em frequência. Real valores será frequência(pico)/3 ou período de pico multiplicado por três.





## 7. CONCLUSÕES

O bolsista tentou nesse relatório mostrar um pouco do que está sendo feito pelo grupo de geomagnetismo, enfatizando o que se achou mais importante no desenvolver do projeto. As variações que encontramos e estudamos são geradas pela interação do vento solar com o campo magnético da Terra, pelos processos físicos dentro da Magnetosfera e também pela interação entre as ondas eletromagnéticas/ hidromagnetodinâmicas e pelos elétrons precipitados (devido a Anomalia Geomagnética – SAA) na ionosfera acima de Santa Maria.

Analisamos as Pc3 (10 a 45 segundos), Pc4 (45 a 150 segundos), e as Pc5 (150 a 600 segundos) com o programa thonson6.exe (0,04nT) ou (0,03nT), e após encontrados os eventos agora estamos listando esses eventos, para apresentarmos no relatório final de atividades, junto com a estimativa da hora de maior incidência de cada pulsação.

Temos dados analisados, os gráficos em anexo representam o dia, o tipo de pulsação e a hora em que ocorreu o evento. Nesses gráficos pode – se observar algumas características de cada pulsação, por exemplo, a Pc4 possui o seu máximo ao meio dia, como alguns pesquisadores já haviam enfatizado.

O Projeto está sendo desenvolvido conforme a metodologia adotada, enfatizando que o estudo está sendo feito de pulsações contínuas, as pulsações irregulares serão analisadas nos próximos meses, e apresentadas nos próximos relatórios.





## 8. BIBLIOGRAFIA

**Amarante, J. A. A.** General Topics on Geomagnetism and Studies of the Occurrence of Micropulsations in São José dos Campos. Relatório interno do INPE / LAFE – 48, 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.

**Pereira, O. J.** Estudos de Polarização de Pulsações Magnéticas na Faixa Pc3 a Pc5 Observadas em Santa Maria e Eusébio, 1993, dissertação de Mestrado INPE.

**Primdahl, F.,** Instrumentos Geomagnéticos, Publicações do Observatório Nacional, Publicação Especial, N<sup>o</sup> 09, 1986.

**Schuch, N. J.; Adaime, S. F.; Oliveira, N. U. V.; Bortolotto, E.; Sarkis, P. J.; Pinheiro, D. K.; Lüdke, E.; Wendt, F. A.; Trivedi, N. B.; Costa, J. M.; Kirchhoff, V. M. J. H.; Dutra, S. L. G.; Sobral, J. H. A.; Abdu, M. A.; Takahashi, H.,** Observatório Espacial do Sul - Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais/INPE, Revista Brasileira de Geofísica; Vol. 15, 65-70, 1997.





## **9. ANEXOS**

(Gráficos dos eventos de Pc3, Pc4 e Pc5, analisados pelo bolsista.)

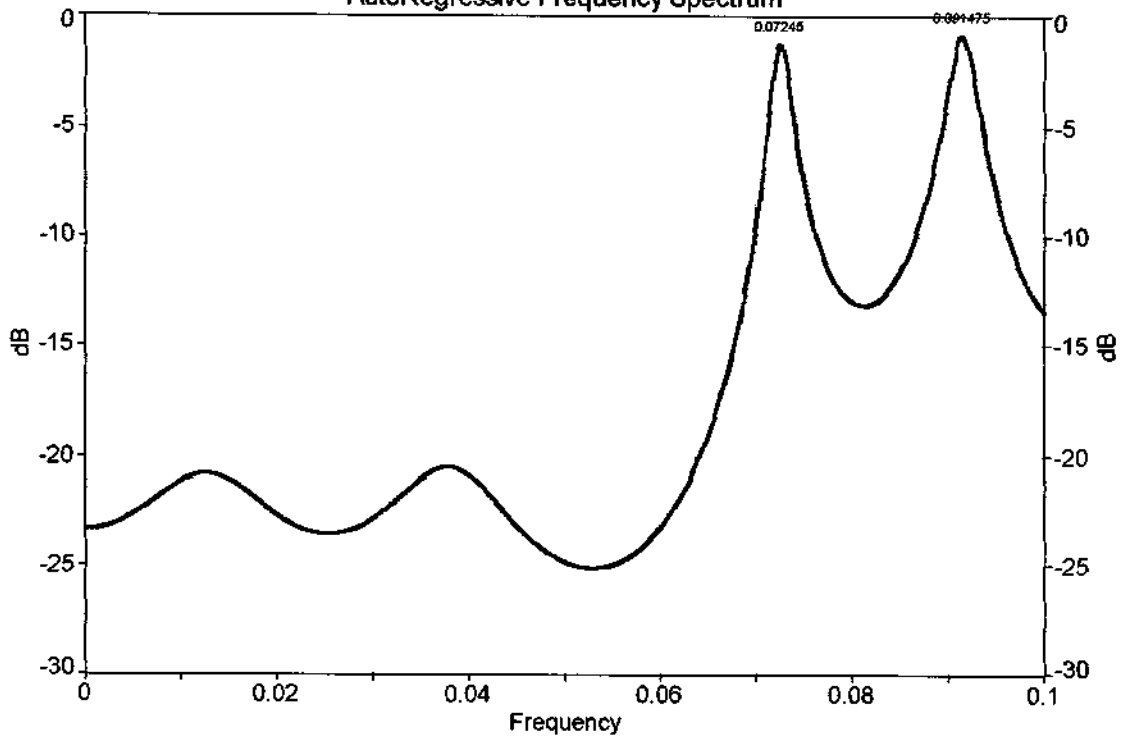




CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE - MCT

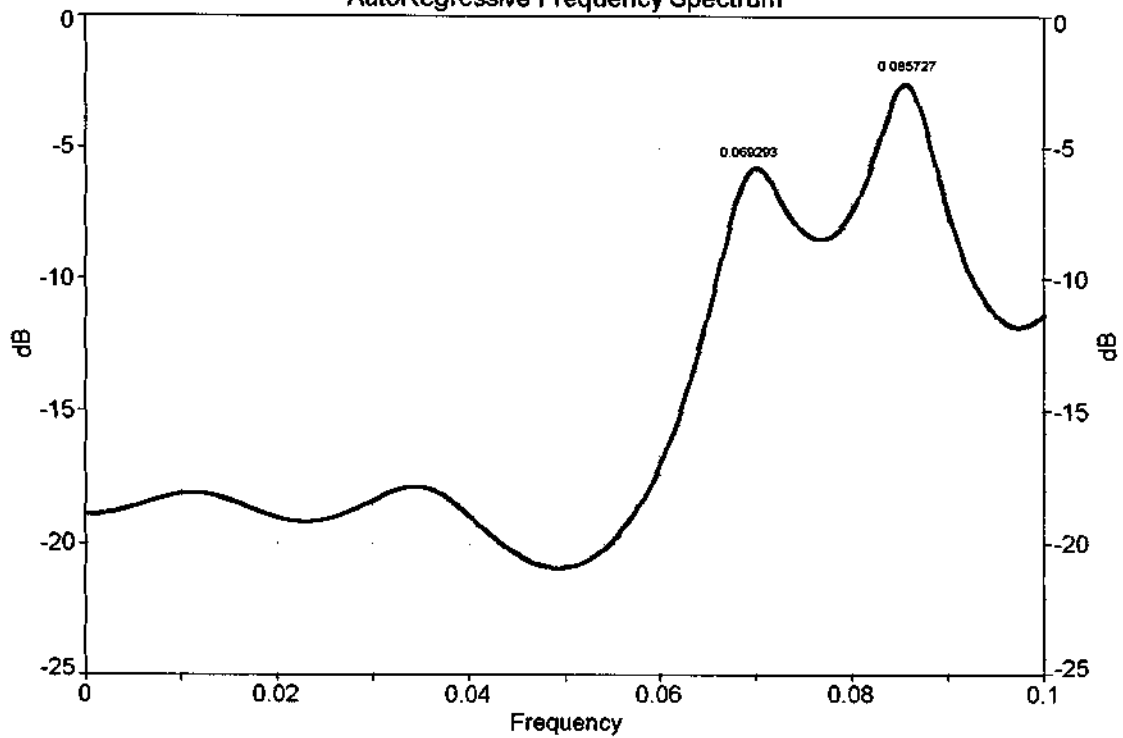
H 04/10/1994 p3.sma Horário: 04:30 - 05:00 h

AutoRegressive Frequency Spectrum



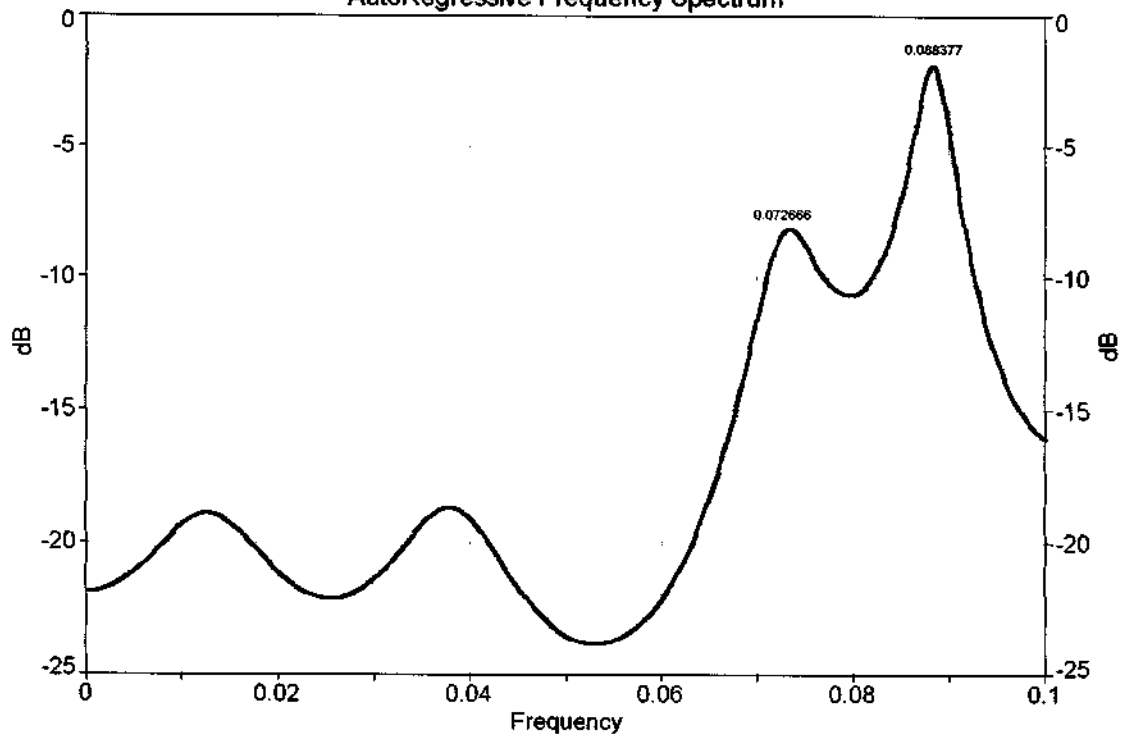
H 04/10/1994 p3.sma Horário: 17:00 - 17:30 h

AutoRegressive Frequency Spectrum

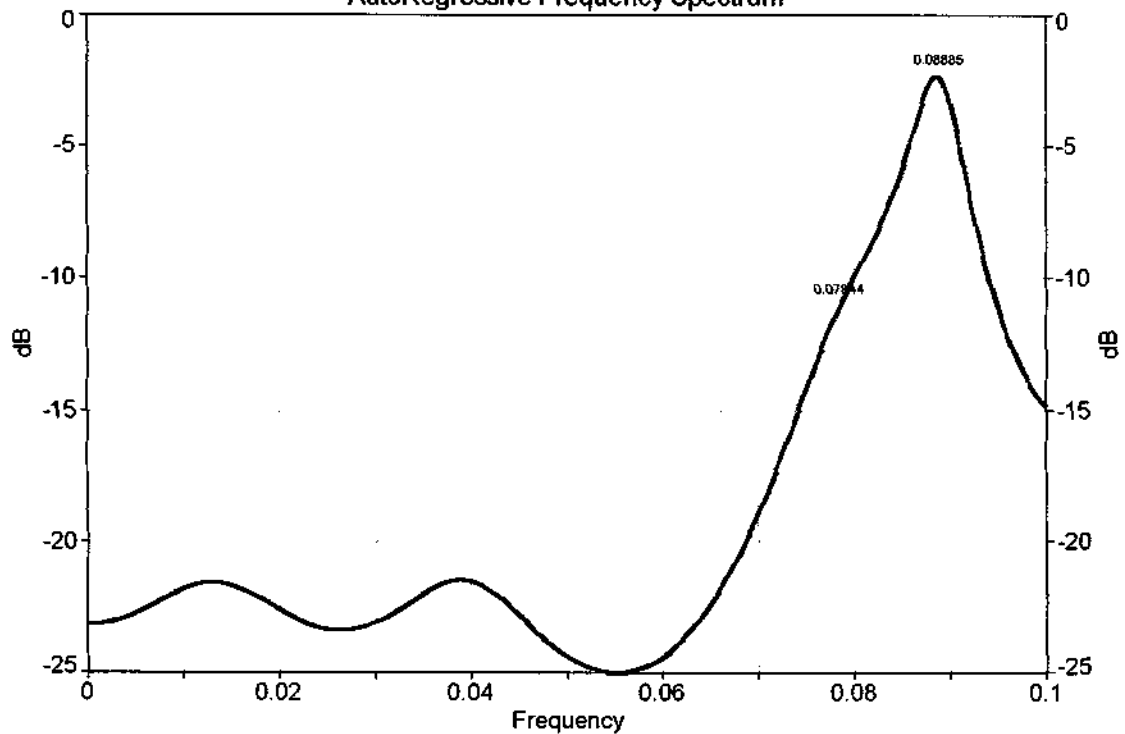




H 04/10/1994 p3.sma Horário: 21:00 - 21:30 h  
AutoRegressive Frequency Spectrum

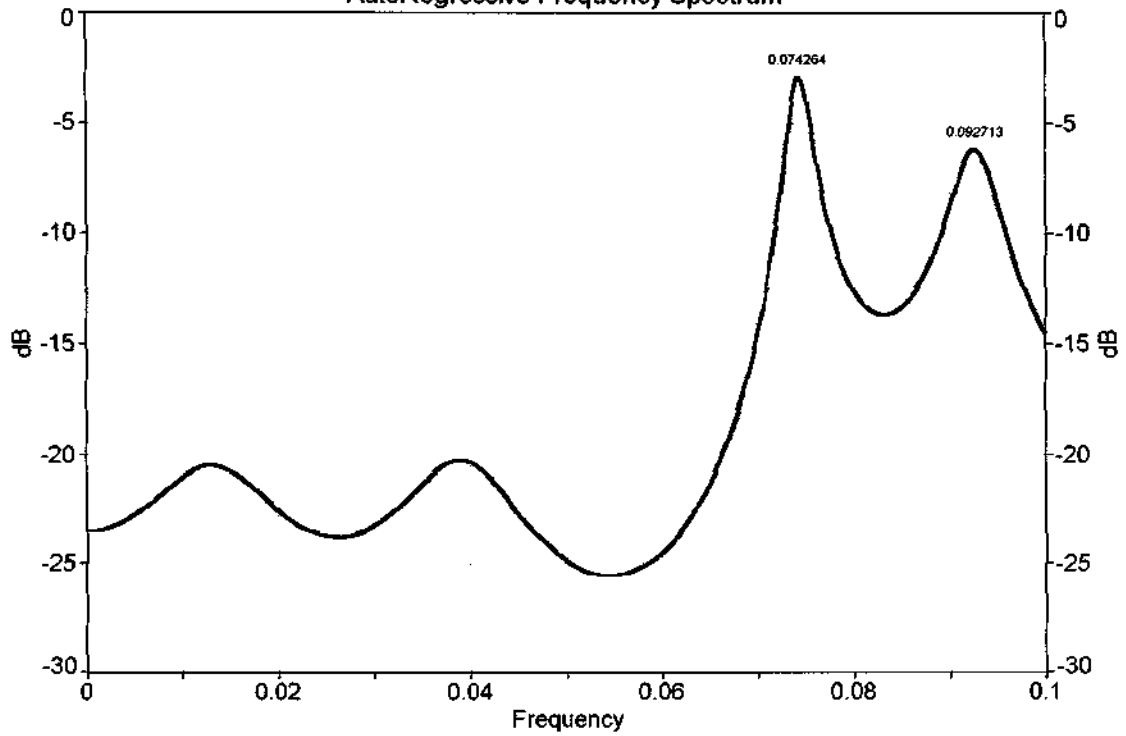


H 15/10/1994 p3.sma Horário: 15:00 - 15:30 h  
AutoRegressive Frequency Spectrum

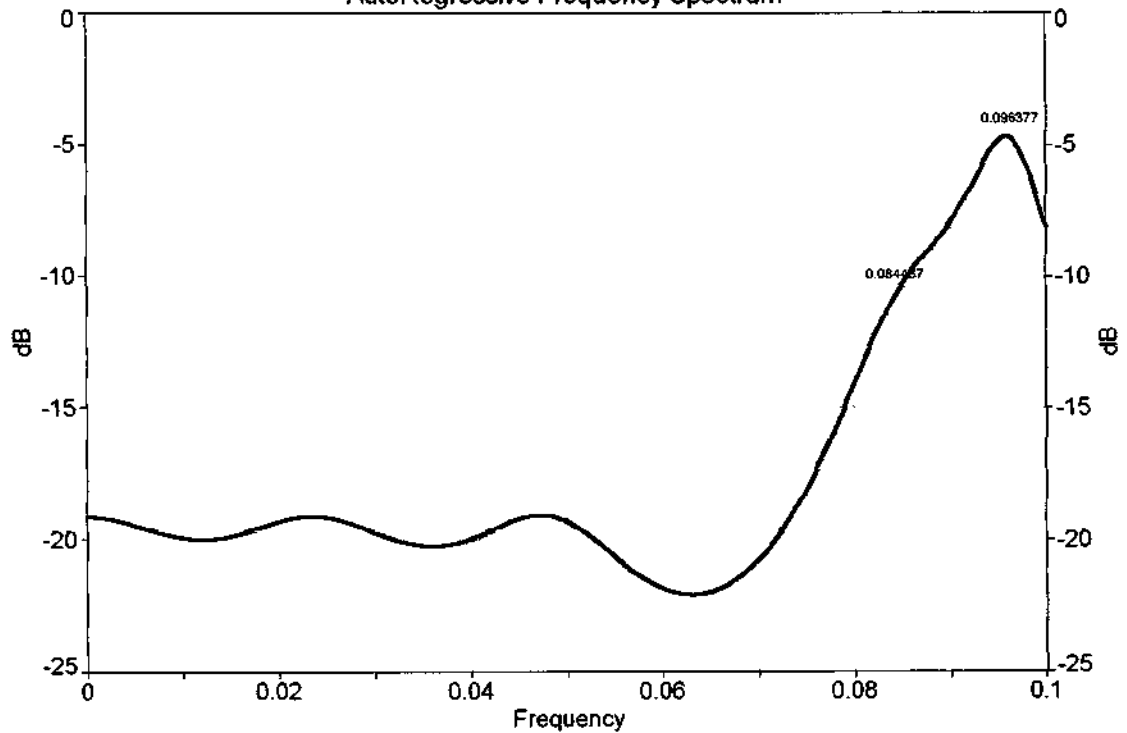




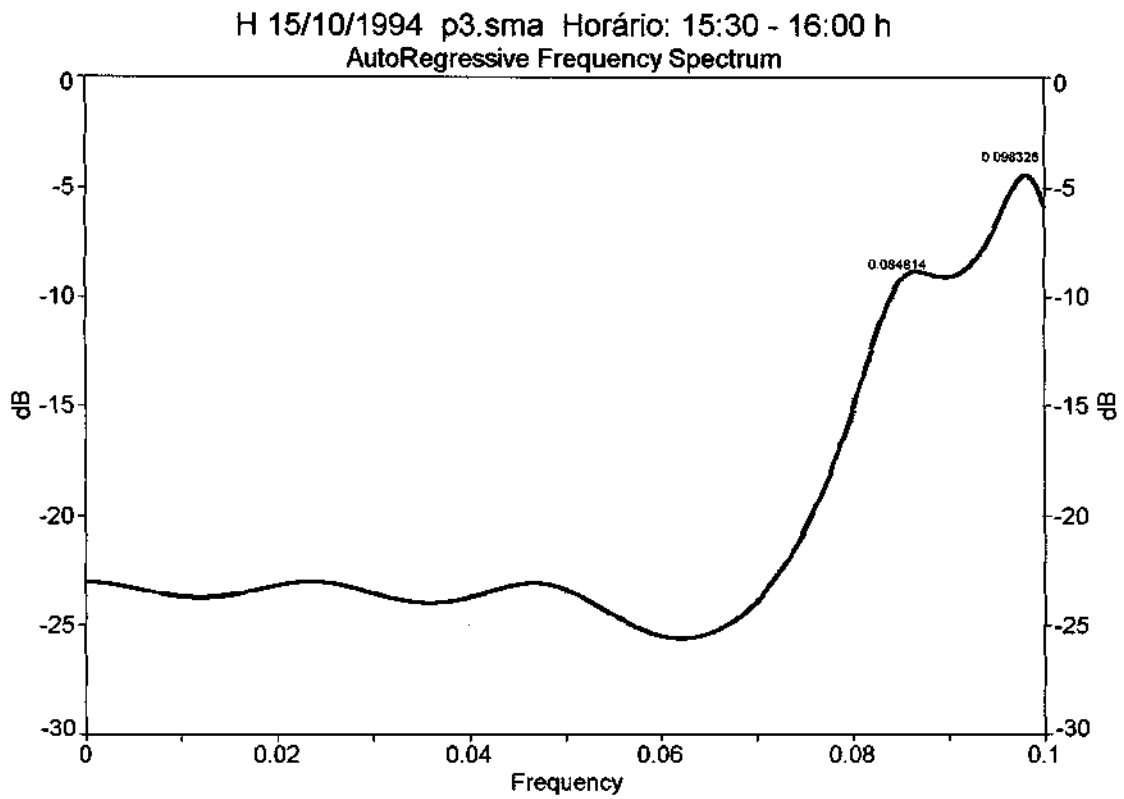
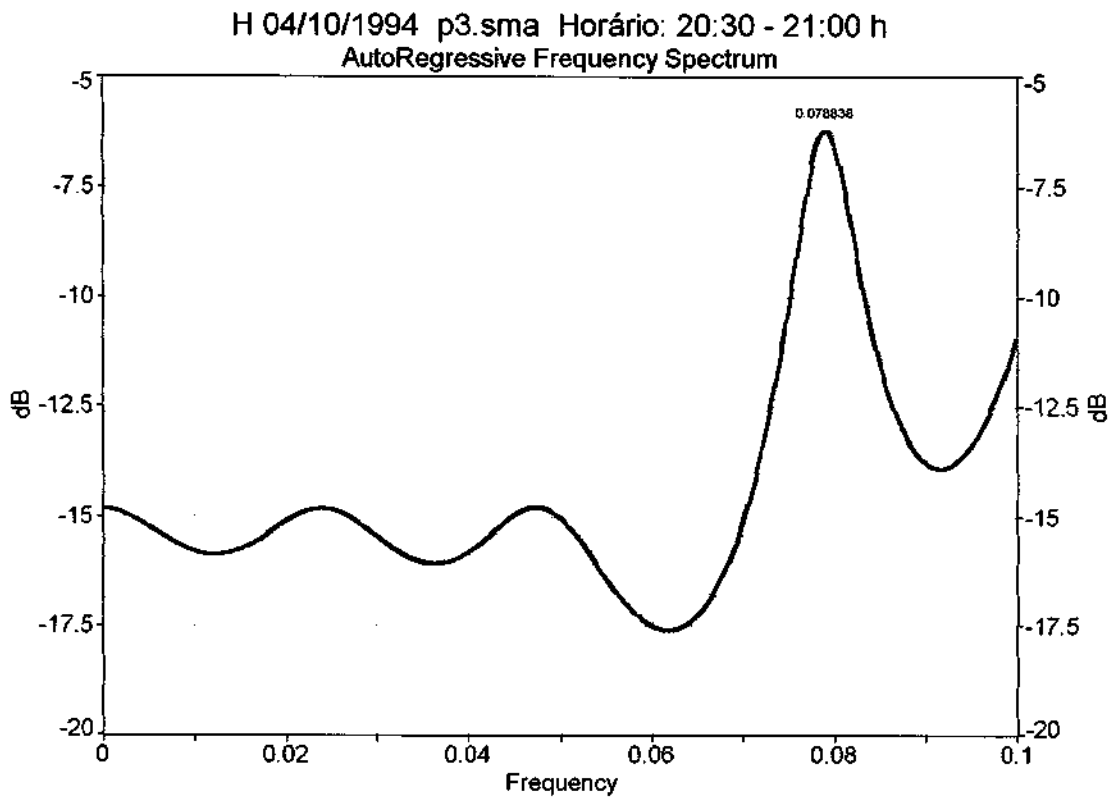
H 08/10/1994 p3.sma Horário: 12:30 - 13:00 h  
AutoRegressive Frequency Spectrum



H 08/10/1994 p3.sma Horário: 15:30 - 16:00 h  
AutoRegressive Frequency Spectrum



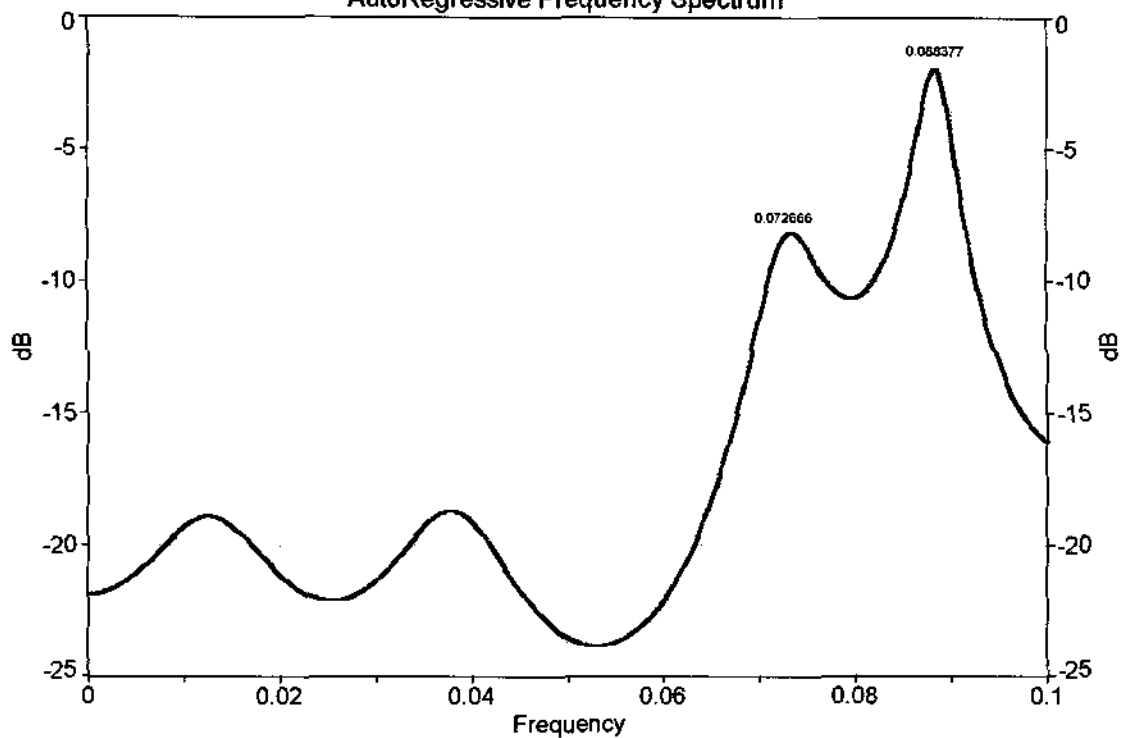






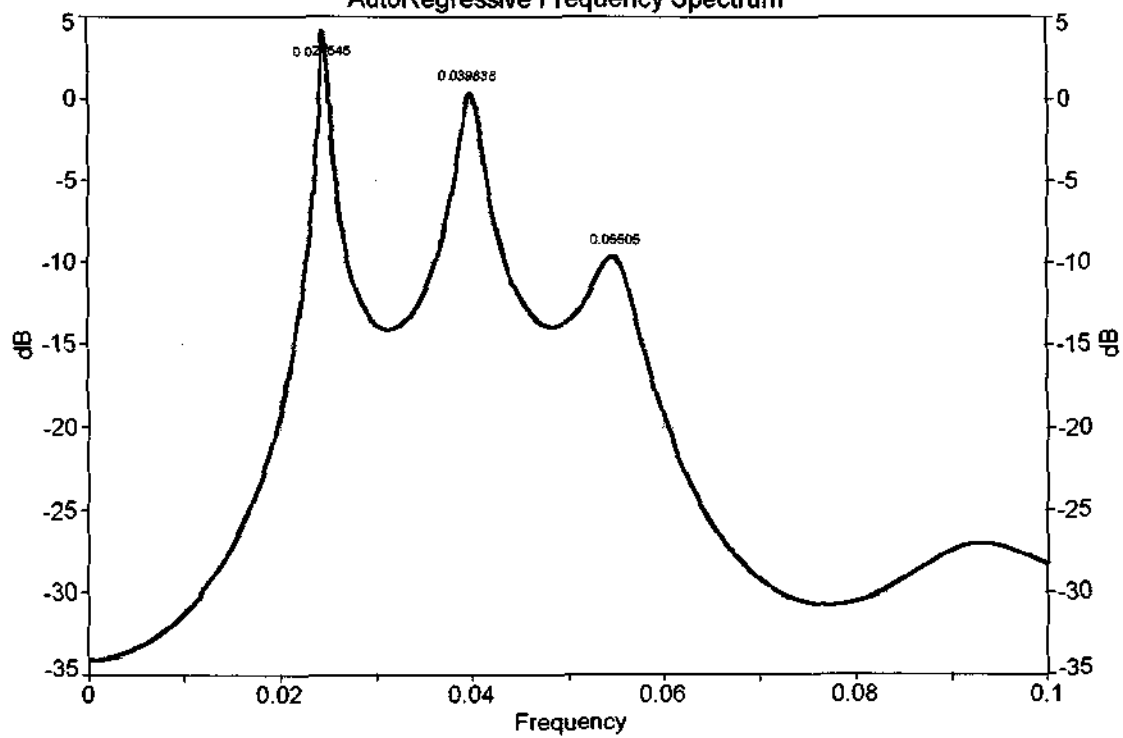
H 04/10/1994 p3.sma Horário: 21:00 - 21:30 h

AutoRegressive Frequency Spectrum



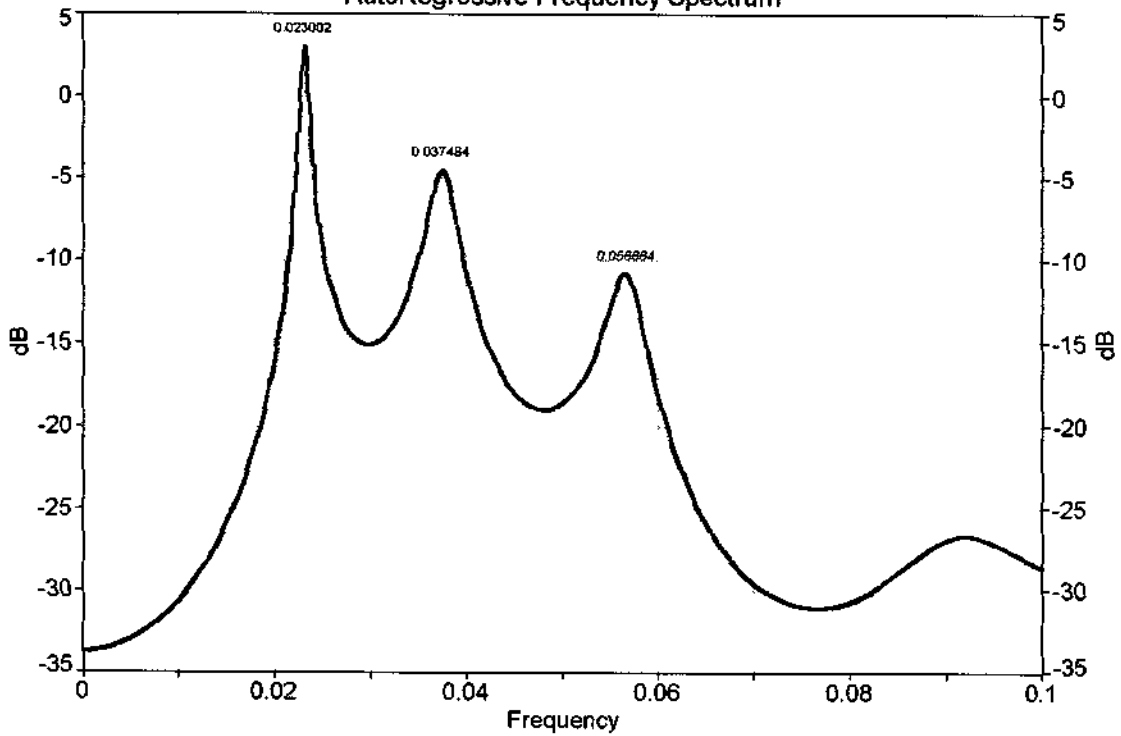
H 04/10/1994 p4.sma Horário: 11:30 - 12:00

AutoRegressive Frequency Spectrum

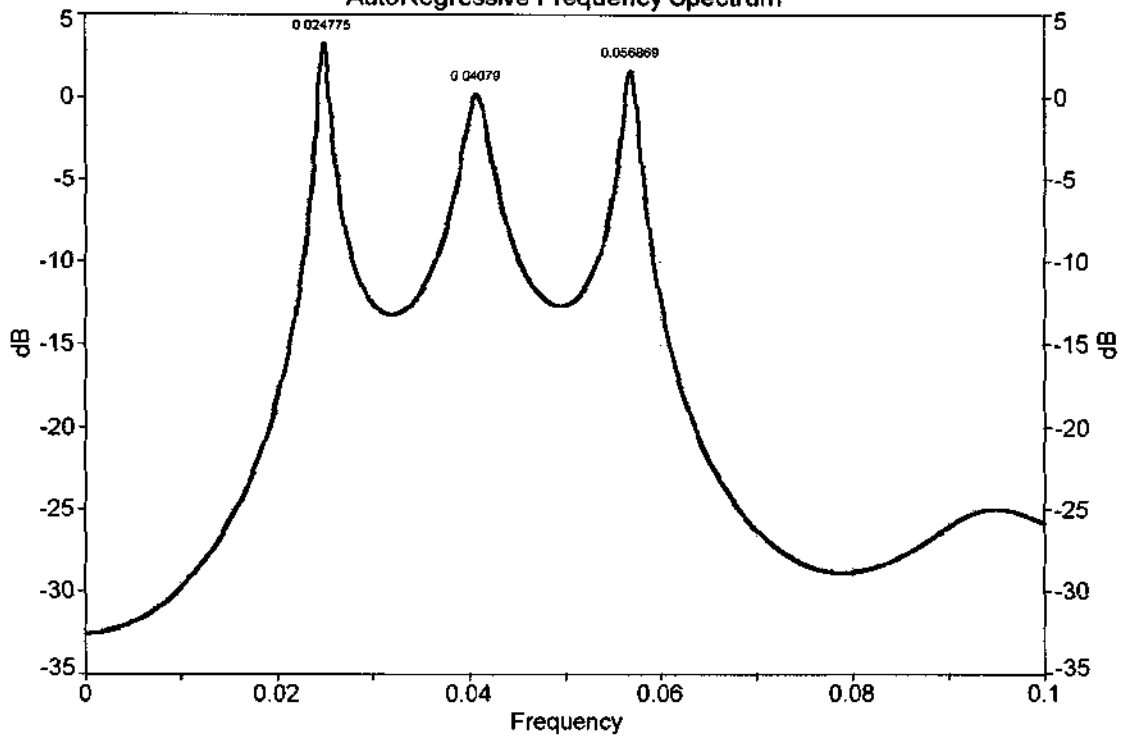




H 04/10/1994 p4.sma Horário: 12:00 - 12:30  
AutoRegressive Frequency Spectrum

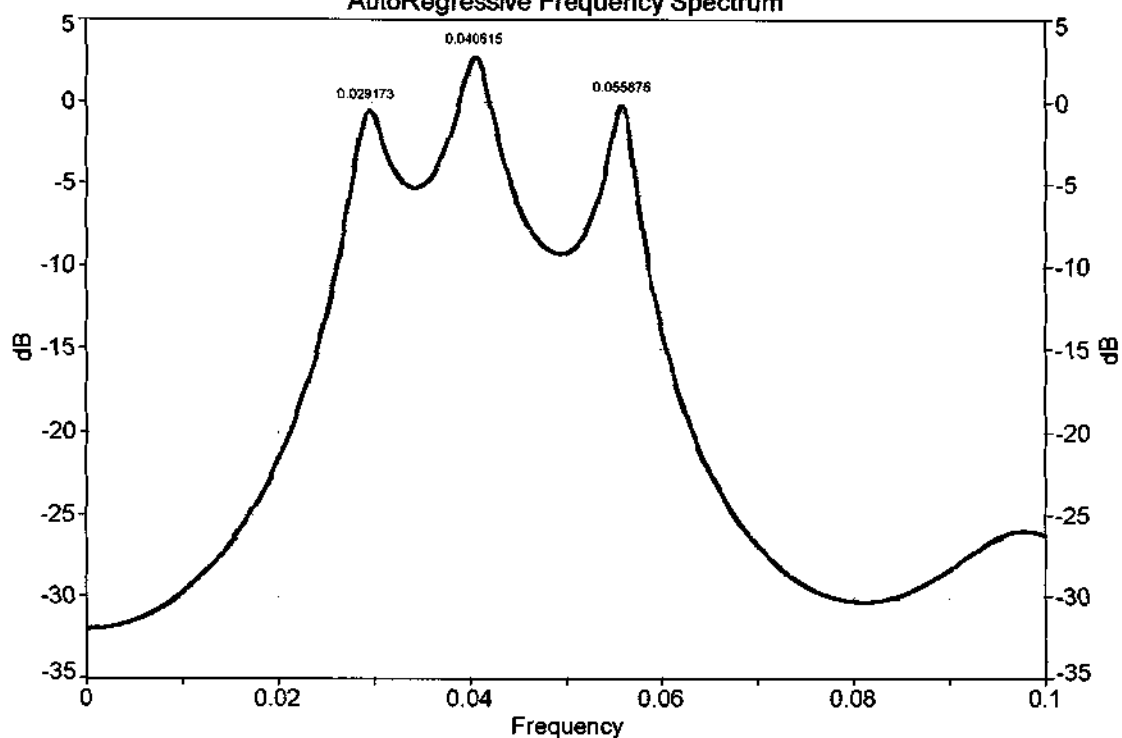


H 08/10/1994 p4.sma Horário: 11:30 - 12:00 h  
AutoRegressive Frequency Spectrum

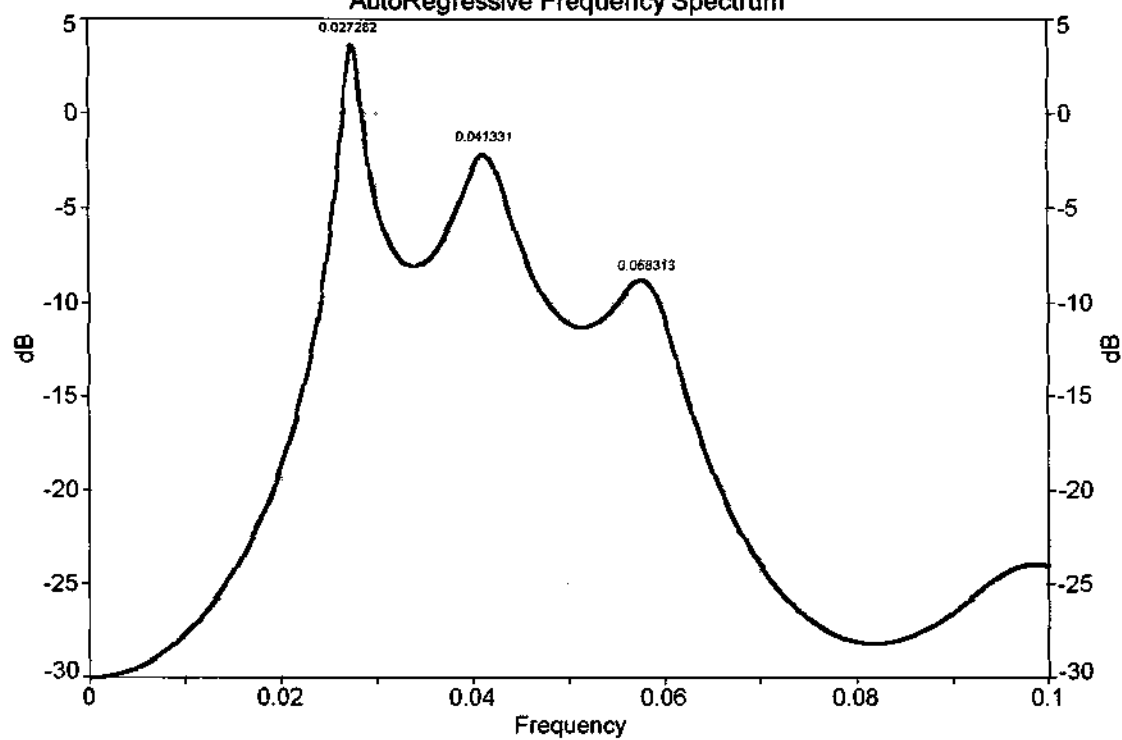




H 08/10/1994 p4.sma Horário: 12:00 - 12:30 h  
AutoRegressive Frequency Spectrum



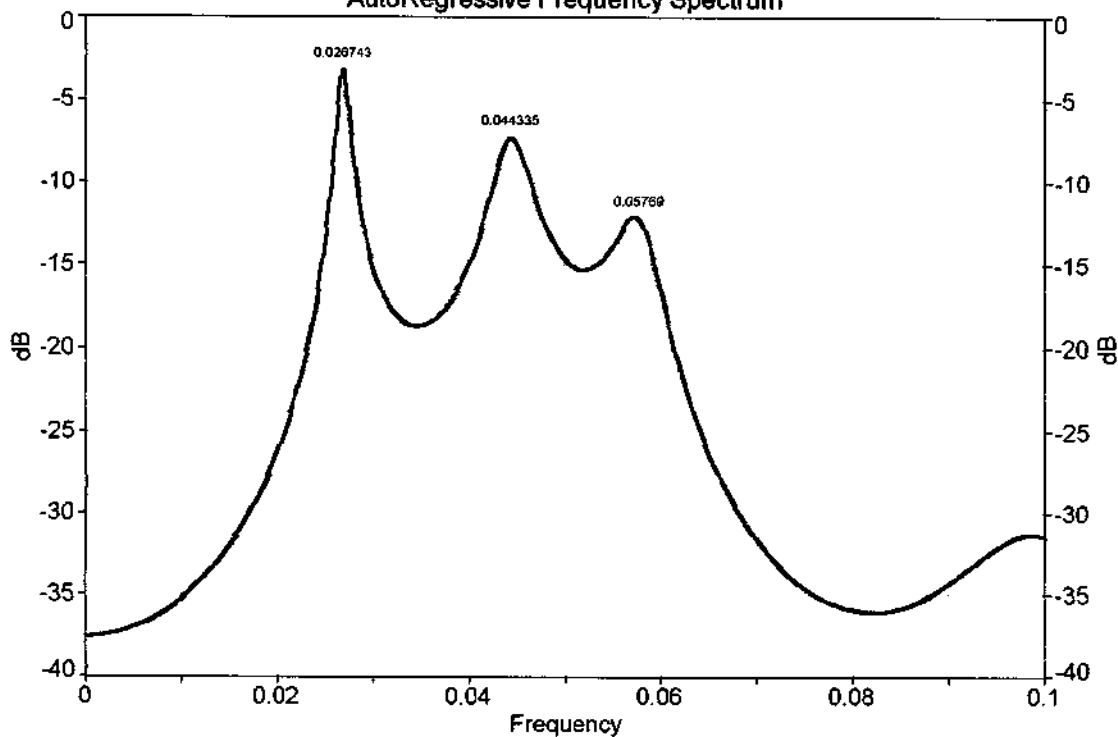
H 08/10/1994 p4.sma Horário: 12:30 - 13:00  
AutoRegressive Frequency Spectrum





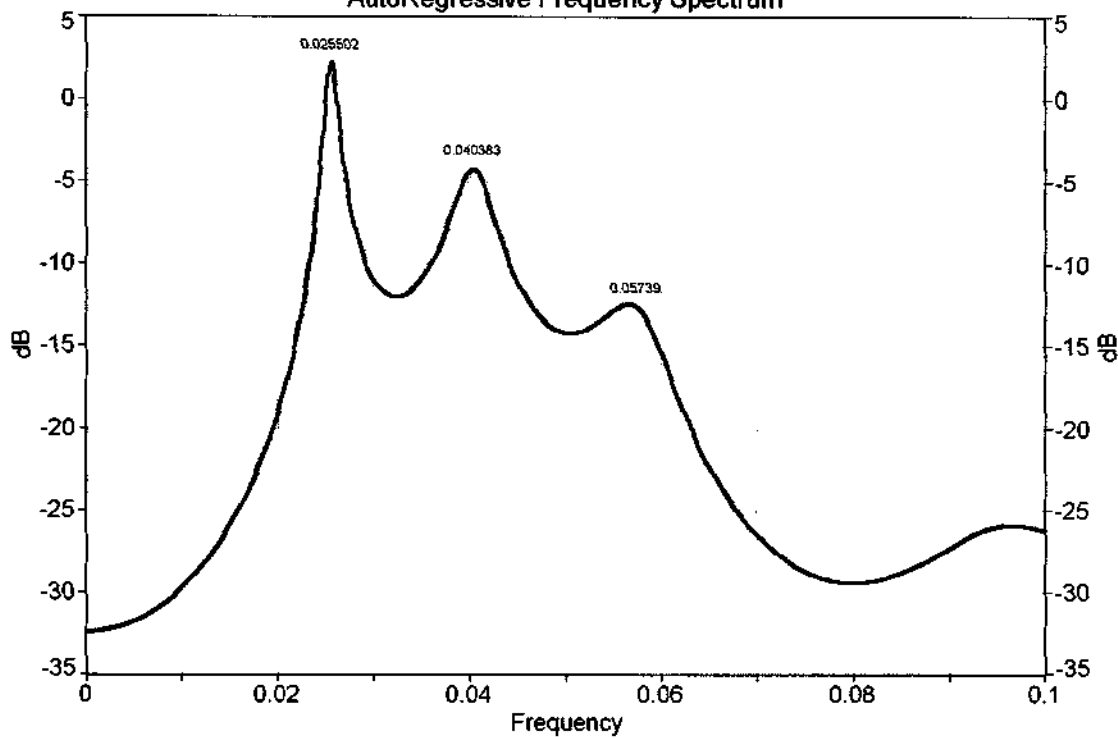
H 08/10/1994 p4.sma Horário: 22:00 - 22:30 h

AutoRegressive Frequency Spectrum



H 03/10/1994 p4.sma Horário: 05:00 - 05:30 h

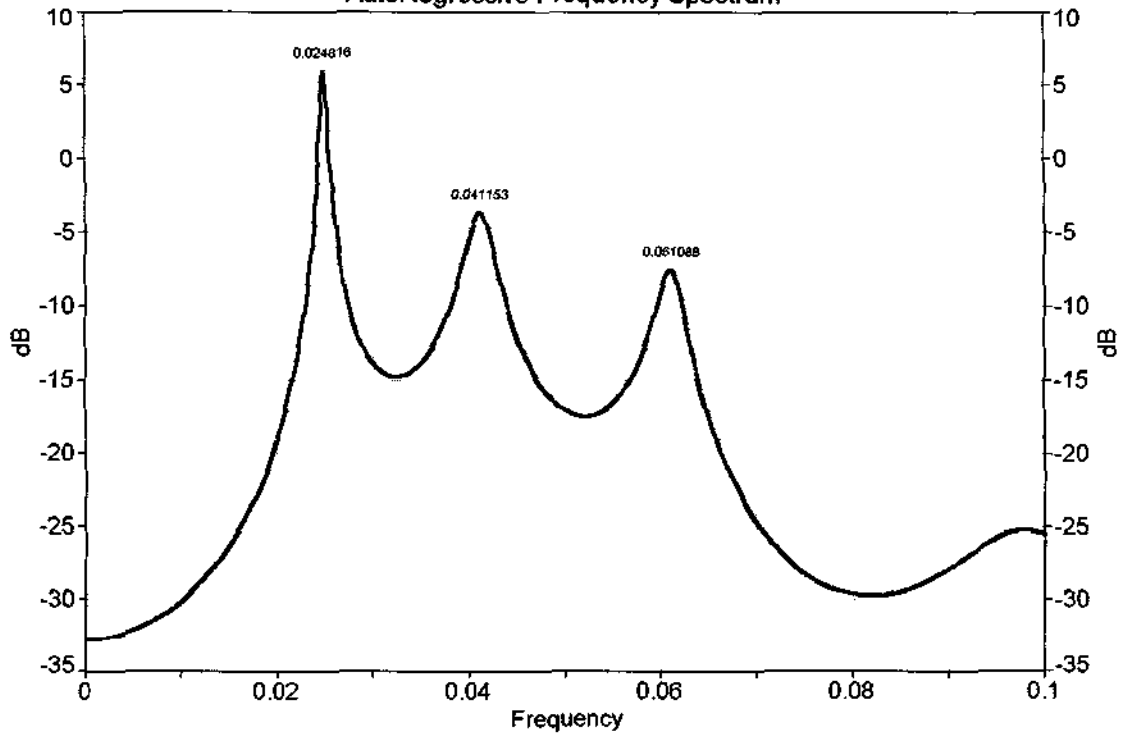
AutoRegressive Frequency Spectrum





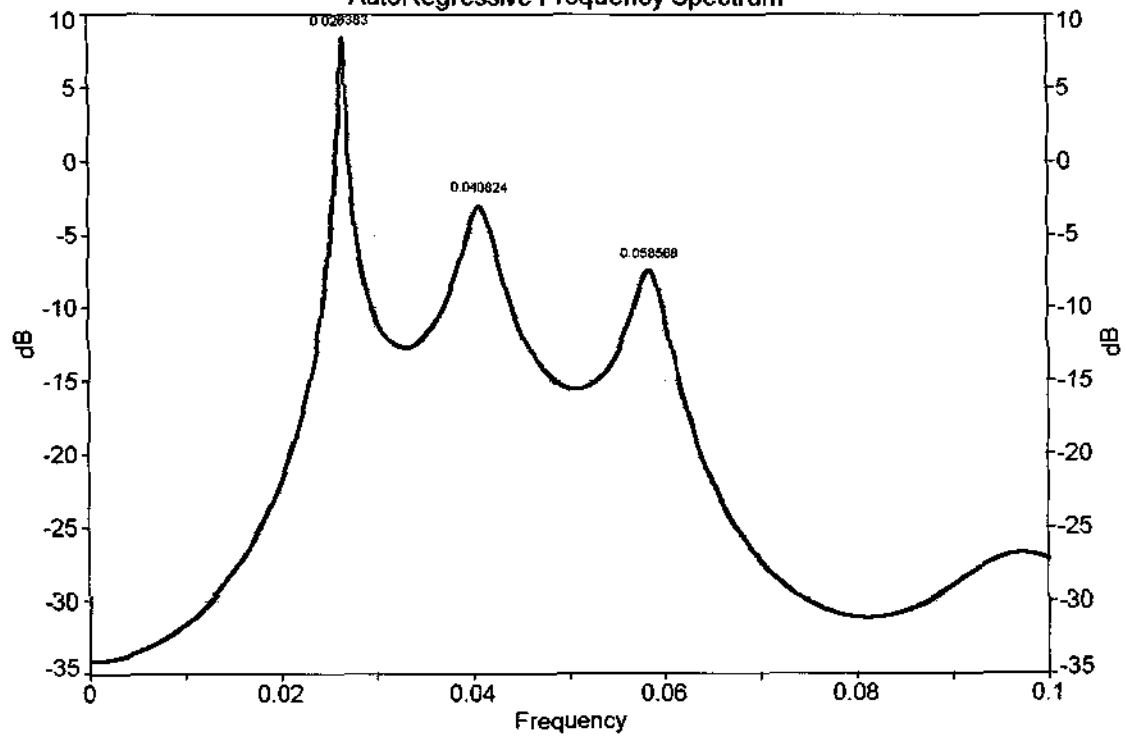
H 03/10/1994 p4.sma Horário: 05:30 - 06:00 h

AutoRegressive Frequency Spectrum



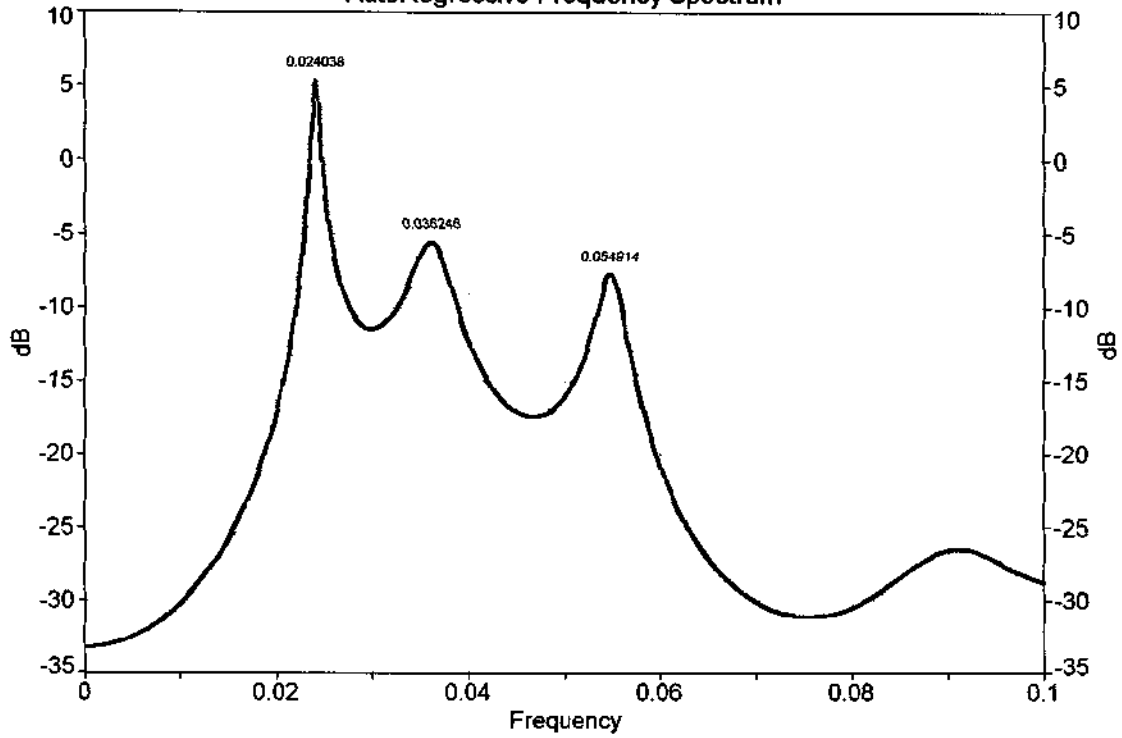
H 03/10/1994 p4.sma Horário: 10:30 - 11:00 h

AutoRegressive Frequency Spectrum

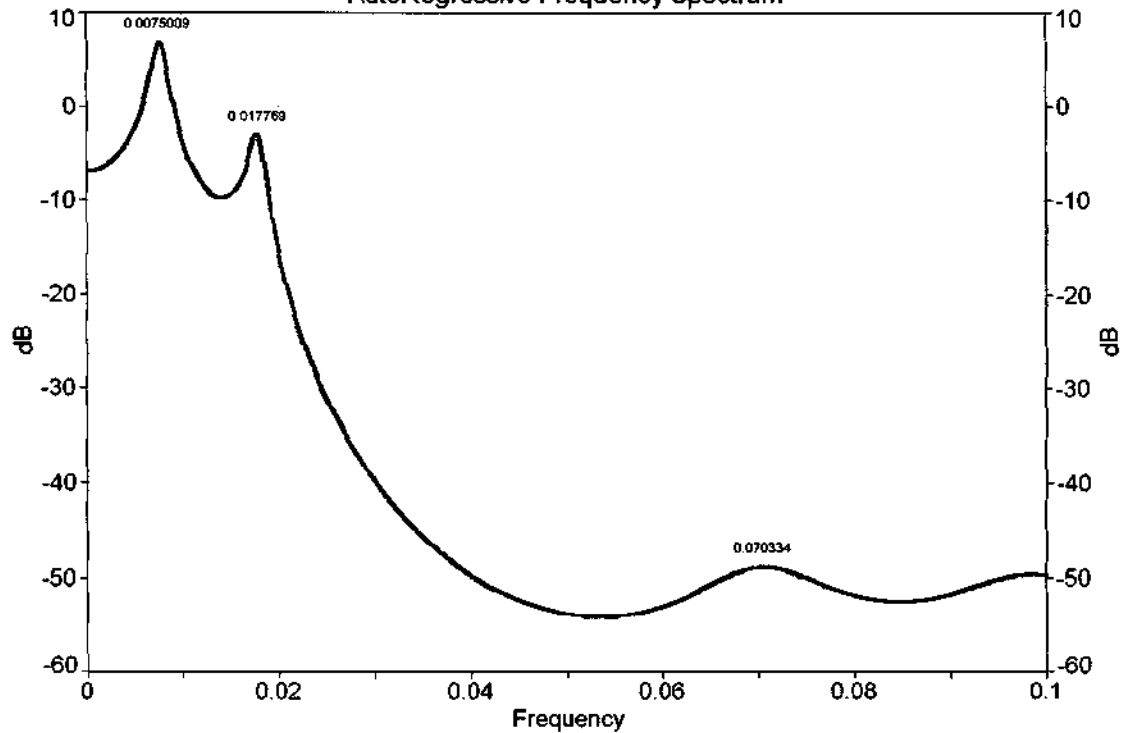


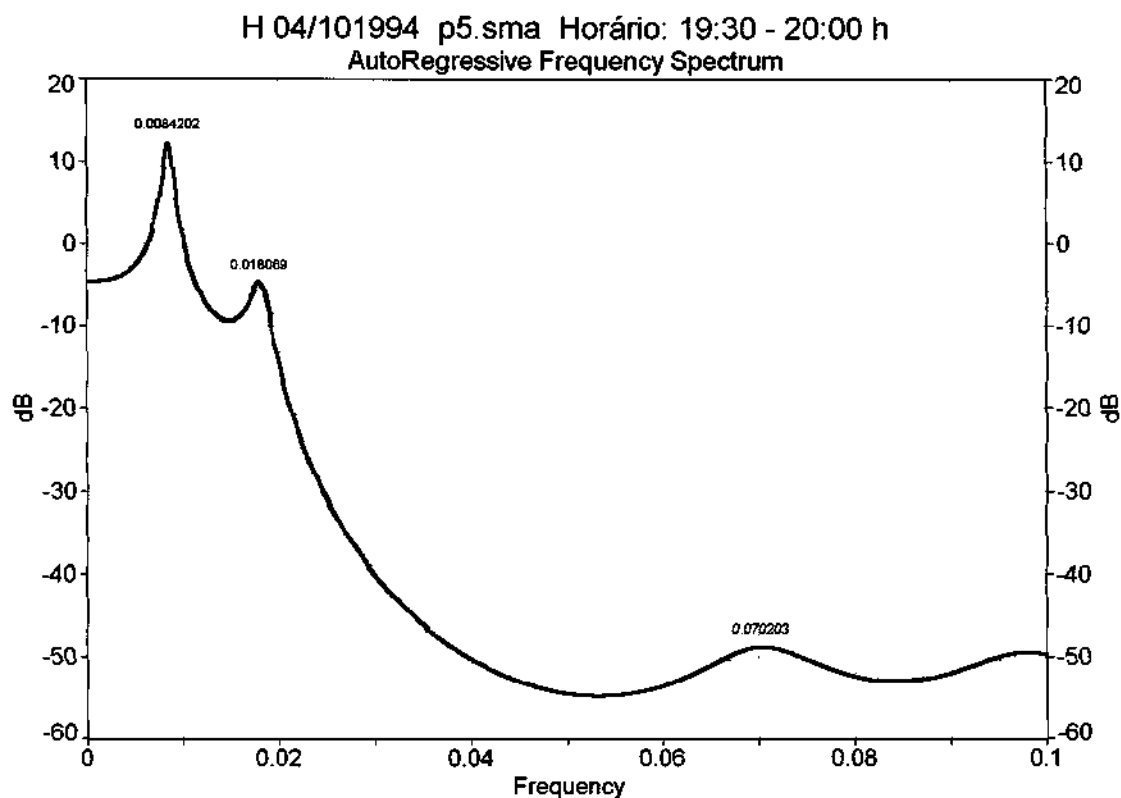
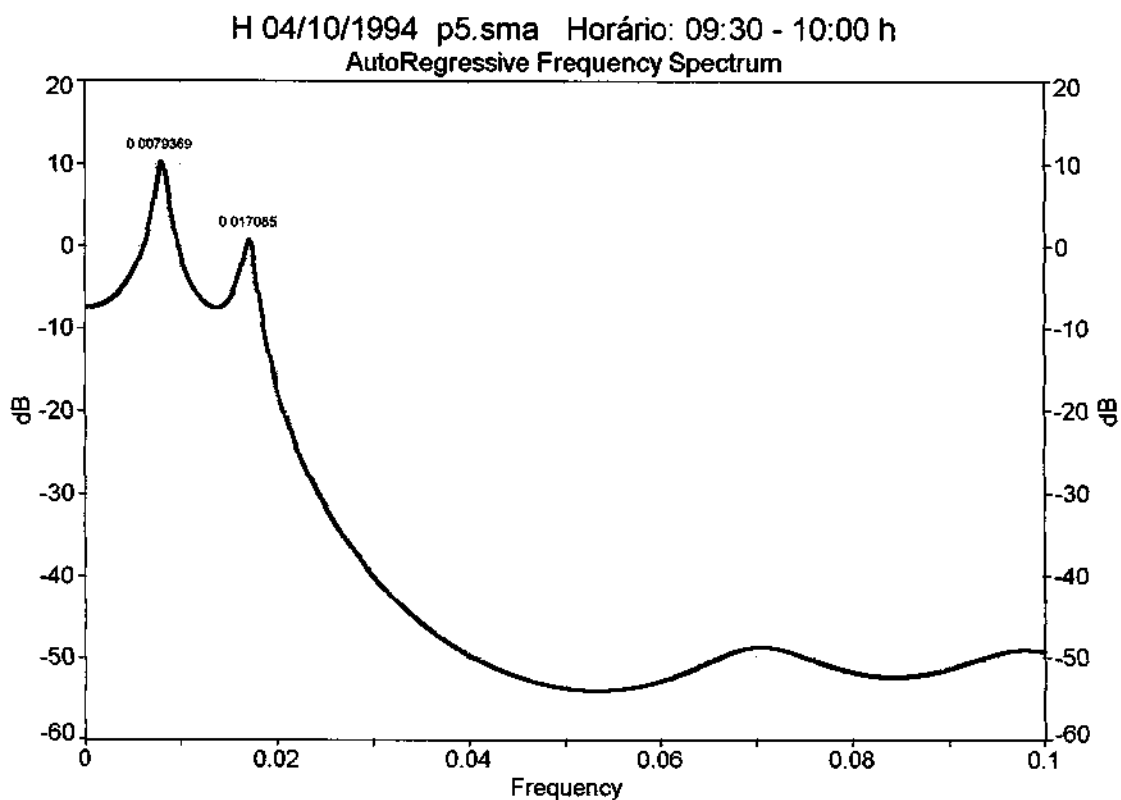


H 03/10/1994 p4.sma Horário: 11:30 - 12:00 h  
AutoRegressive Frequency Spectrum



H 04/10/1994 p5.sma Horário: 05:00 - 05:30 h  
AutoRegressive Frequency Spectrum

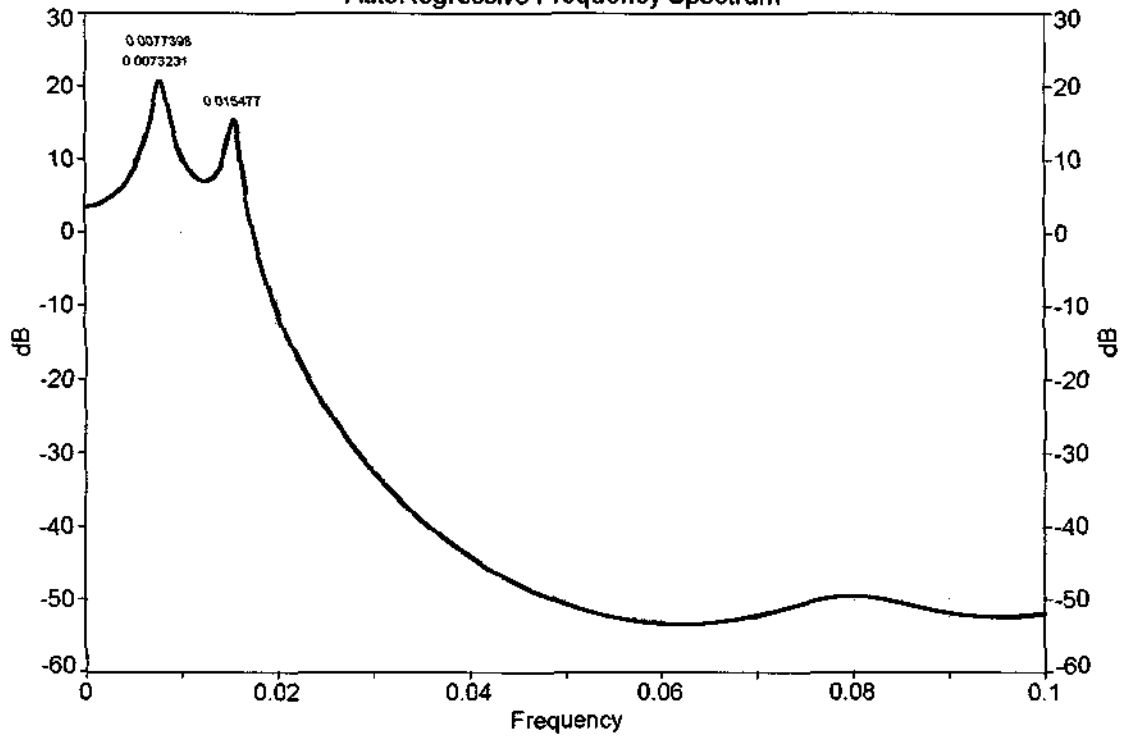




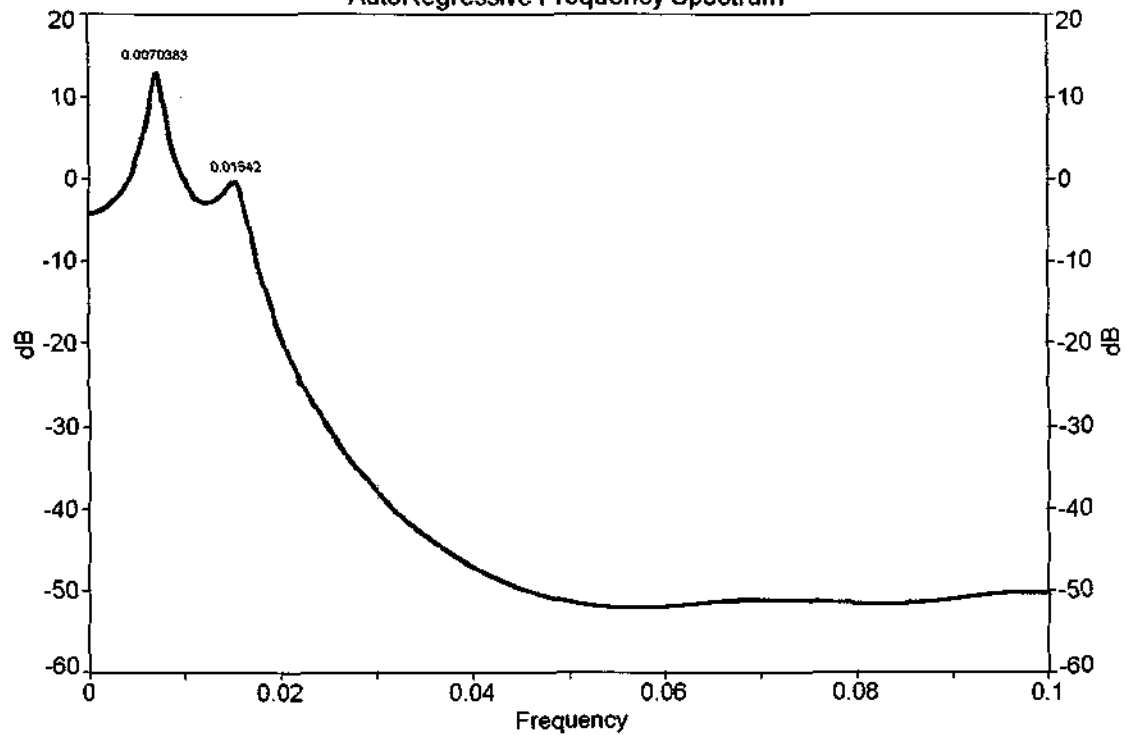


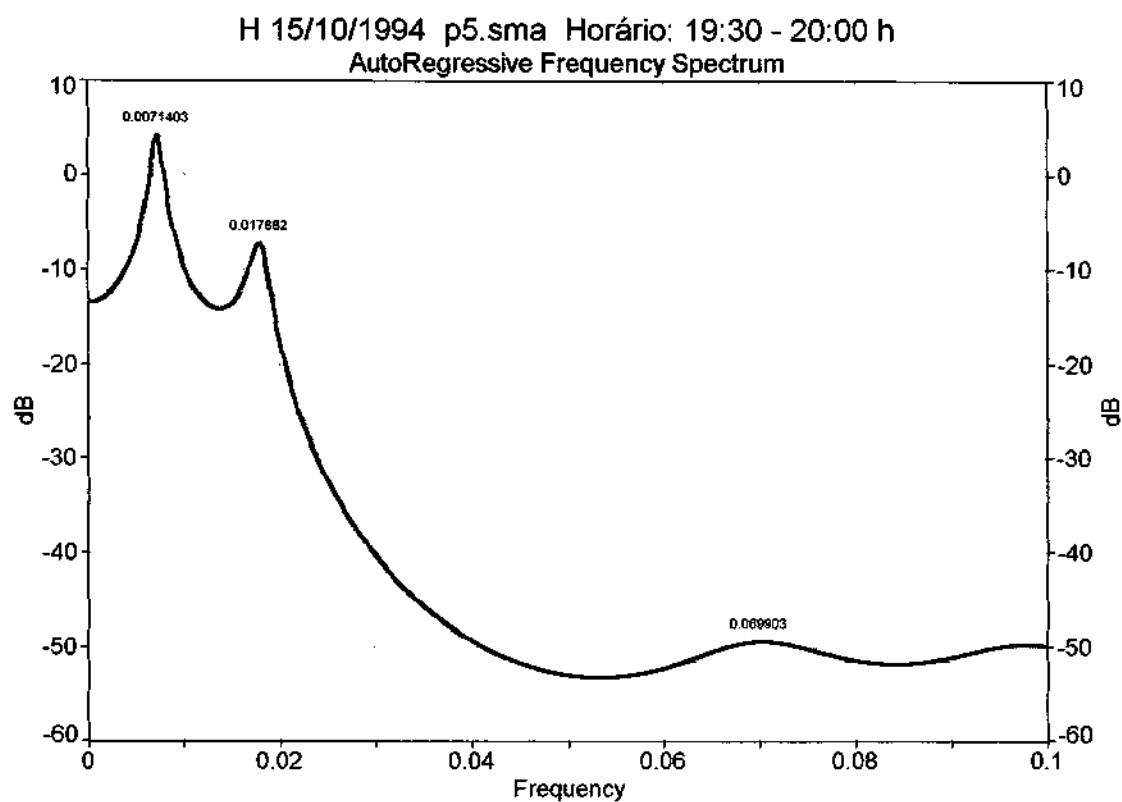
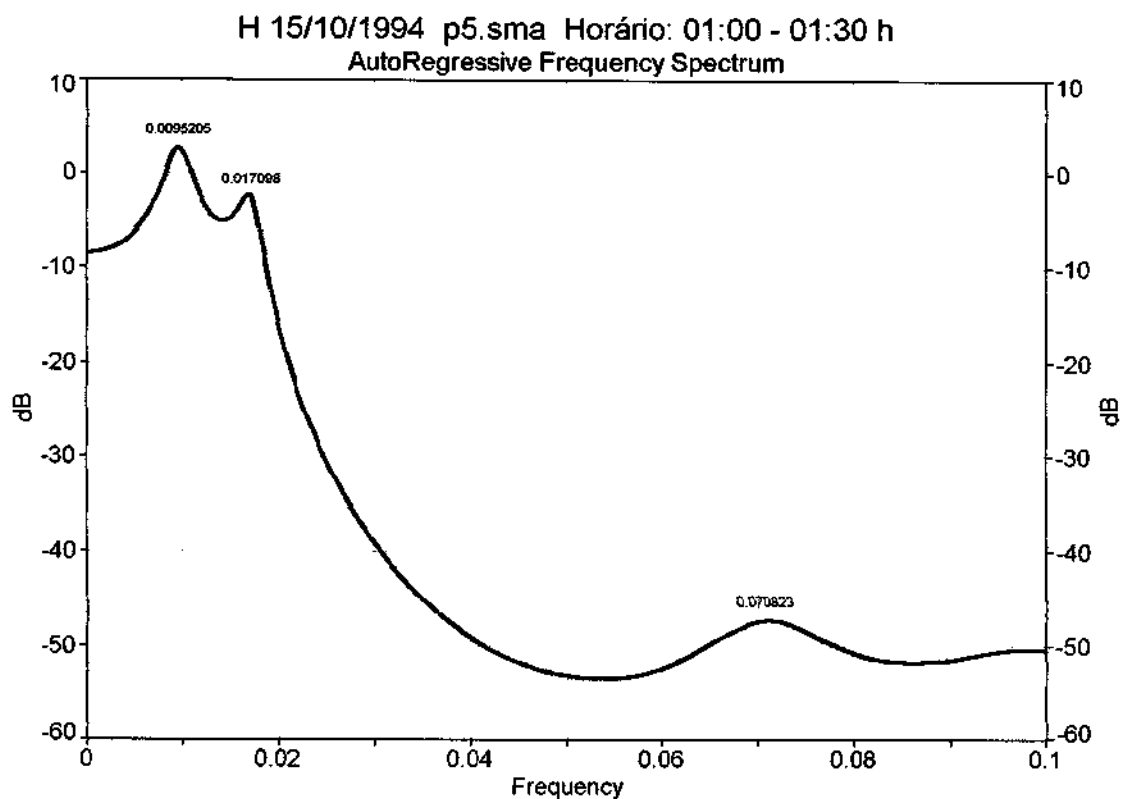


H 04/10/1994 p5.sma Horário: 15:30 - 16:00 h  
AutoRegressive Frequency Spectrum



H 15/10/1994 p5.sma Horário: 06:00 - 06:30 h  
AutoRegressive Frequency Spectrum

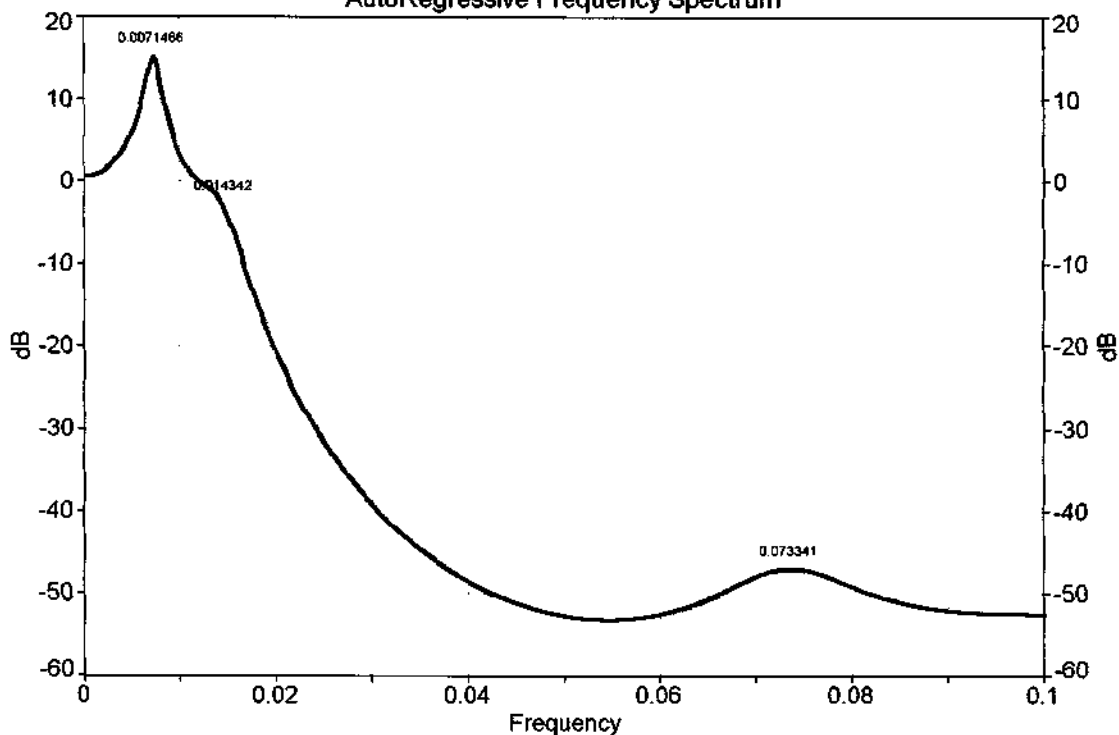






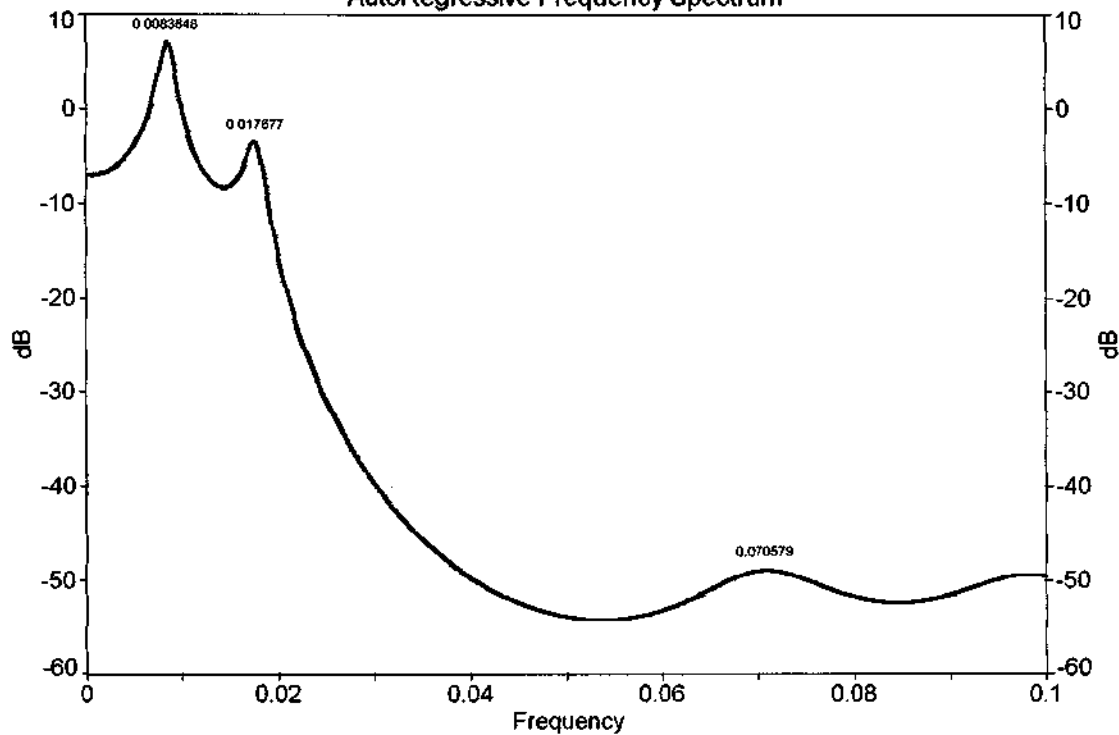
H 15/10/1994 p5.sma Horário: 03:00 - 03:30 h

AutoRegressive Frequency Spectrum



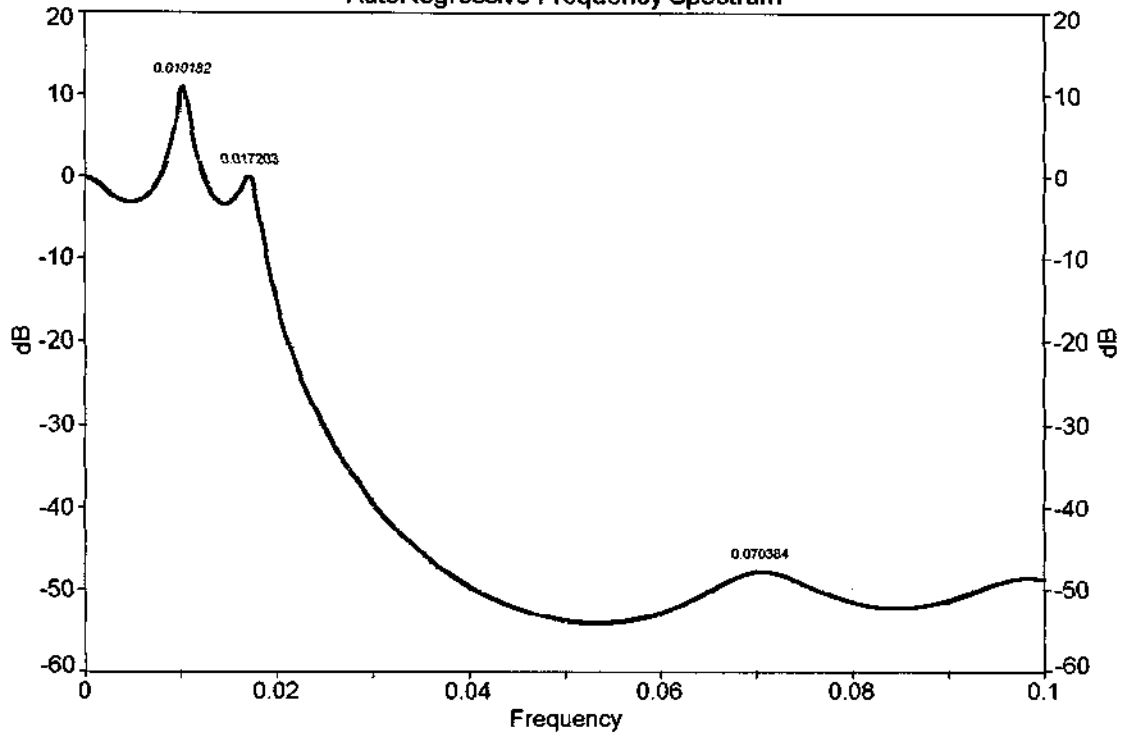
H 08/10/1994 p5.sma Horário: 10:00 - 10:30 h

AutoRegressive Frequency Spectrum

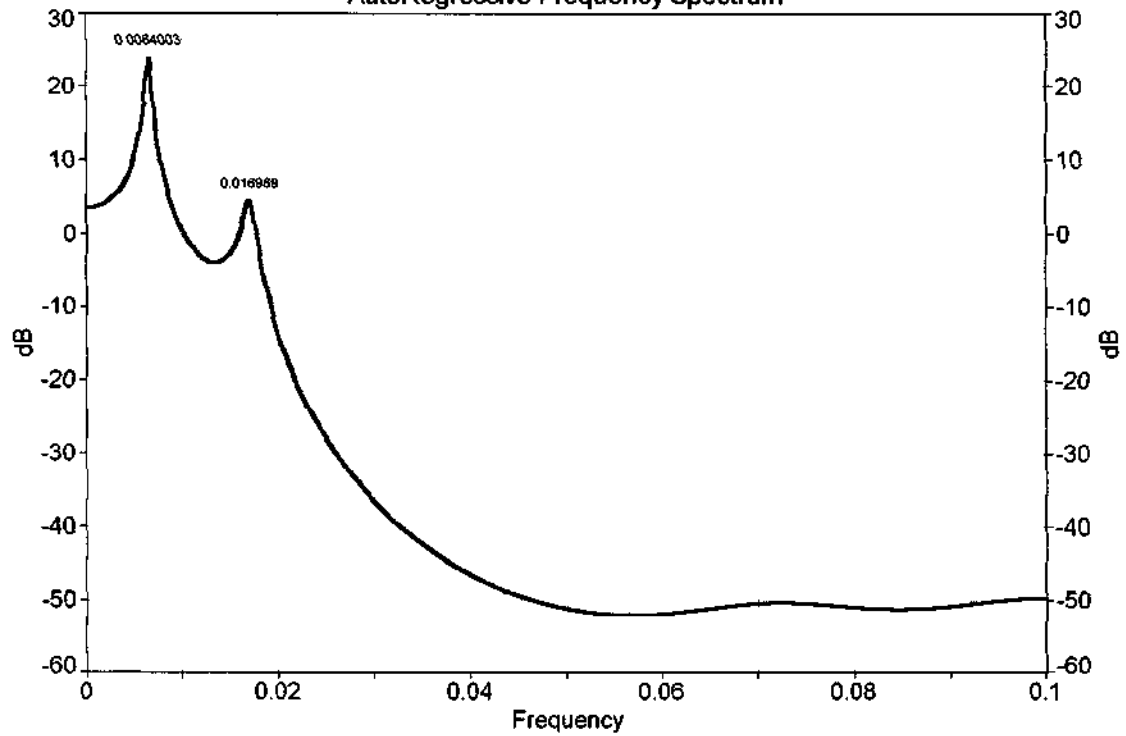




H 08/10/1994 p5.sma Horário: 15:00 - 15:30 h  
AutoRegressive Frequency Spectrum



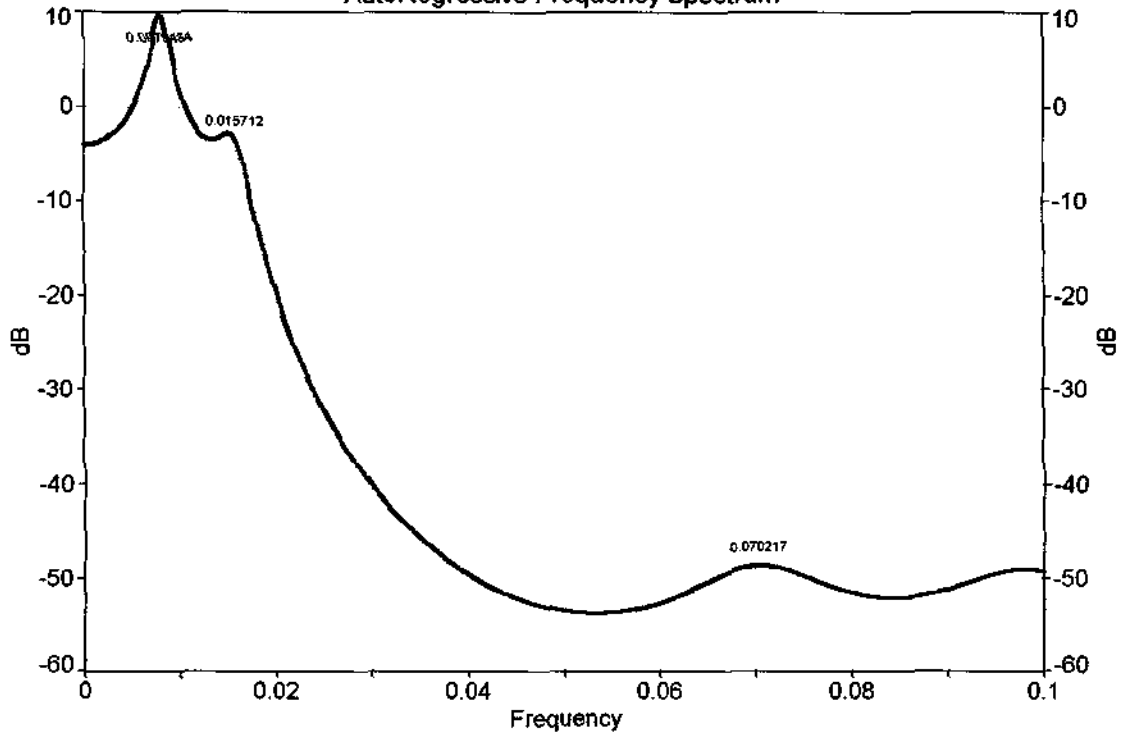
H 08/10/1994 p5.sma Horário: 18:30 - 19:00  
AutoRegressive Frequency Spectrum





H 08/10/1994 p5.sma Horário: 22:00 - 22:30 h

AutoRegressive Frequency Spectrum



**Estudo de pulsações no Campo Geomagnético observado em São  
Martinho da Serra - um Observatório Geomagnético na região da  
anomalia Geomagnética**

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

**Silvio Buchner (UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: [silvio@lacesm.ufsm.br](mailto:silvio@lacesm.ufsm.br)**

**Dr. Nalin B. Trivedi (LACESM/RSU, Orientador)  
E-mail: [trivedi@lacesm.ufsm.br](mailto:trivedi@lacesm.ufsm.br)**

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer em especial ao meu orientador, Dr. Nalin B. Trivedi e colaboradores, Dr. Nelson J. Schuch, Dr. Severino L. Guimarães Dutra e aos colegas de trabalho Ederson Staudt e Lucidio V. Konrath (acadêmicos do Curso de Física), pela atenção, colaboração e paciência que tiveram comigo, no desenvolver desse Projeto ao PIBIC/CNPq/INPE – MCT, e a UFSM/CT/LACESM, pelo suporte dado e a todos que de alguma maneira contribuíram para a execução deste projeto e elaboração deste relatório.



- Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra – RS (29°S, 53°W).
- Serão estudados o comportamento das pulsações geomagnéticas durante tempos quietos magneticamente como também nos períodos magneticamente perturbados na região da Anomalia Magnética e região do Eletrojato Equatorial ao longo do equador Magnético.
- Estudar as variações impulsivas com períodos longos e curtos.
- Operar o Observatório Geomagnético de São Martinho da Serra.

## 1.2. PLANO DE TRABALHO

### Primeira Fase:

- Revisão Bibliográfica;
- Introdução à ciência de geomagnetismo e pesquisa espacial e conhecer técnicas experimentais de medir o Campo Geomagnético.
- Estudos tópicos sobre pulsações geomagnéticas.

### Segunda Fase:

- Catalogar os eventos de pulsações geomagnéticas e examinar a estatística de ocorrência de pulsações geomagnéticas.

### Terceira Fase:

- Detectar eventos nos dados geomagnéticos e escrever relatório sobre pesquisa realizada.
- Comparar as variações impulsivas observadas em SMS com as







variações geomagnéticas observadas pelos magnetômetros a bordo dos satélites geoestacionários GOES-8 e GOES-10.

### **1.3.0 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:

- Executar e desenvolver as atividades e projetos de pesquisa técnico e científica em Astronomia, nas áreas de Astrofísica e Radioastronomia;
- 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;
- 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;
- Coletar dados, arquivando-os e mantendo-os em banco de dados formatados de acordo com padrões internacionais;
- Desenvolver e fortalecer atividades de cooperação científica com pesquisadores e instituições de pesquisa nacionais e estrangeiras.

O programa de escolha de sítio envolveu estudo técnico e científico de escolha de sítios, nas regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil, no Rio Grande do Sul e finalmente na grande região de Santa Maria e atendendo a metodologia da consideração dos fatores: antropogênicos, logísticos, macro e microclima, meteorológicos e do nível da rádio interferência natural e artificial, pré-requisitos básicos e necessários na pesquisa de escolha e instalação de um sítio, observatório, para observações





rádio astronômica.

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.

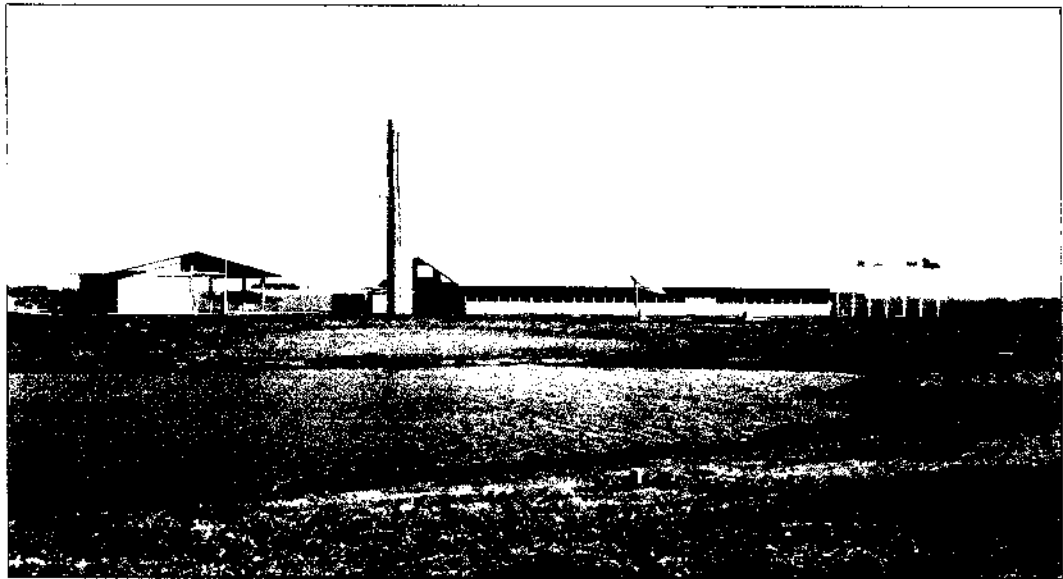


Figura 1 - Prédios 2 e 3, de um total de seis prédios, do Observatório Espacial do Sul -OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra - RS.

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.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Terra possui um campo de forças, chamado Campo Geomagnético (Figura 2). 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 o resto produzido por



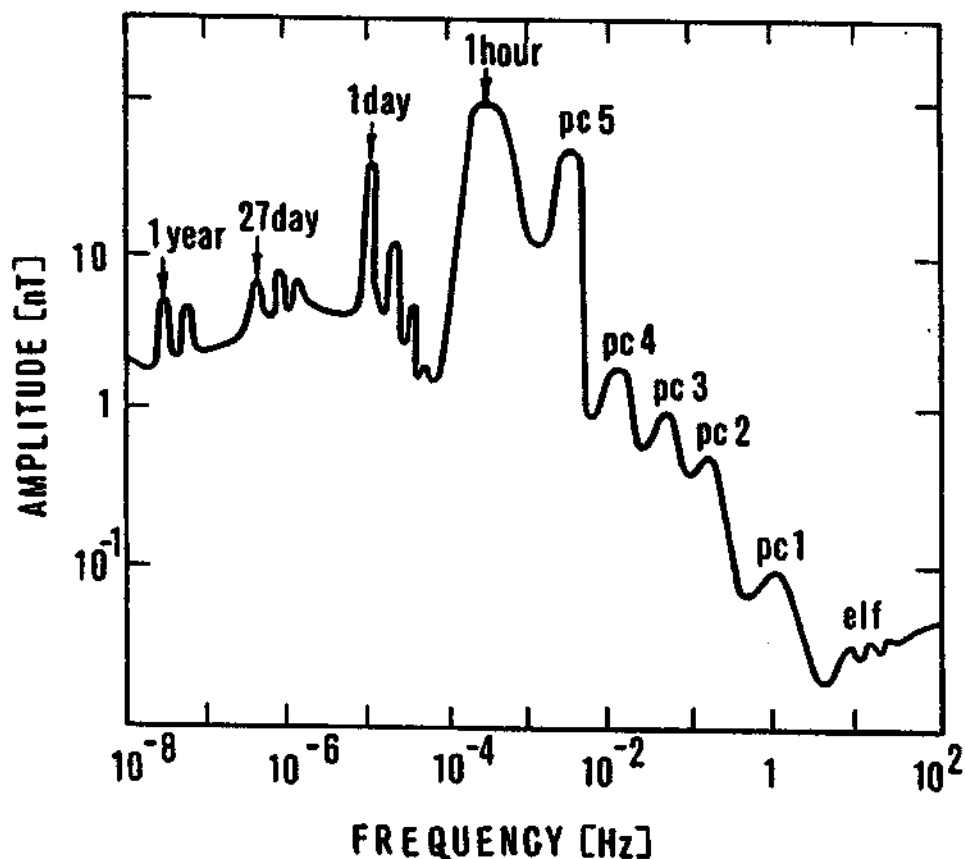


Figura 3– Amplitude das variações naturais da componente horizontal H.(Serson, 1973)

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>, tendo dois vórtices localizados nas proximidades das latitudes  $30^{\circ}\text{N}$  e  $30^{\circ}\text{S}$  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.

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





correntes elétricas presentes nas regiões ionizadas vizinhas ao planeta.

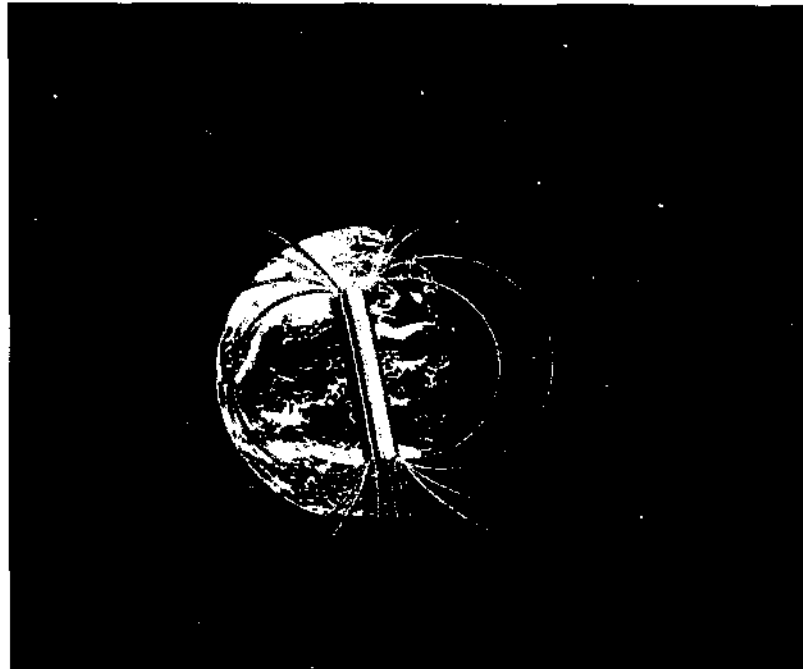


Figura 2 - Dipolo magnético colocado no centro da Terra e levemente inclinado em relação ao eixo de rotação. (Pinto e Gonzales, 1989)

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

Essas variações geomagnéticas podem ser classificadas em seculares (períodos maiores que de um ano), 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 (figura 3). Sendo que as variações seculares são as únicas com origem interna a Terra.



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>2</sup>, 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>3</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 4 - Ilustração da Magnetosfera terrestre.

(<http://www.sel.noaa.gov>)

<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.

<sup>2</sup> Magnetosfera - região em que o campo magnético domina o movimento do plasma, constituído principalmente de prótons e elétrons.





Pulsações geomagnéticas são manifestações de ondas de plasma de frequência ultra-baixa (ULF) na magnetosfera terrestre. Essas pulsações tem intervalos de frequência desde aproximadamente 1 mHz até 10 Hz e aparecem como oscilações quase senoidais nos dados registrados em magnetômetros na superfície terrestre, na ionosfera e na magnetosfera.

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 subcomitê do “International Association of Geophysics and Aeronomy” (IAGA) sugeriu 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:

- **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 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

<sup>3</sup> Vento Solar - fluxo de partículas ionizadas (plasma) emanadas pelo Sol.





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 freqüentemente 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 0,5 $\gamma$  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





freqüência 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 pulsções, com longos períodos (3 – 10 minutos), podem ter amplitudes extremamente grandes, chegando a várias centenas de  $\gamma$ , nas latitudes altas e várias dezenas de nT nas latitudes baixas. 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 eletrojetos equatoriais.

- **Pulsções Irregulares**

Esta classe de pulsções 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 sub-grupos:

*Pulsções Irregulares Pi1 ( $T1 - 40 s$ ).*

As Pi1 tem formas irregulares com períodos menores do que 15 segundos ( $\approx 6 - 10 s$ ). Suas amplitudes tem valores máximos nas zonas aurais e sua intensidade decresce rapidamente com a latitude. Estas oscilações tem formas de microestruturas devido aos distúrbios lentos do campo magnético, observadas durante a fase principal das tempestades magnéticas.







A atividade  $P_{i1}$  mostra uma dependência distinta com o índice  $K$ , aumentando com o aumento de  $K$ . Algumas vezes, as  $P_{c1}$  e  $P_{i1}$  são registradas simultaneamente com distúrbios lentos e, também, como distúrbios de campos independentes.

*Pulsações Irregulares  $pi_2$  ( $T = 40 - 150$  s)*

As  $P_{i2}$  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  $P_{i2}$  tem como características principais o seu pequeno tempo de duração e a sua superposição nas  $P_{i1}$ , as quais podem ser seguidas, em certas ocasiões, pelas  $P_{c1}$ .

A probabilidade de ocorrência das  $pi_2$  aumenta com o aumento do índice  $K$ . Para um mesmo intervalo de tempo, as atividades  $P_{i1}$  aumentam com o máximo das manchas solares, sugerindo que as  $P_{i1}$  e  $P_{i2}$  tem diferentes fontes de geração ou que tem diferentes modos de propagação sobre a superfície da Terra.

Na região entre a Terra e o Sol temos 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 elétricas. 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,  $(\omega \ll \Omega_i^2 + \Omega_c^2)^{\frac{1}{2}}$ , 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.





## 2.1 CAVIDADE GEOMAGNÉTICA

Medições feitas com satélites artificiais e foguetes indicam que as grandes distâncias da Terra, próximo a fronteira externa da Magnetosfera (mais de 70.000 Km de altura), as linhas de campo terrestre afastam-se daquelas previstas pelo modelo do dipolo. Tal afastamento se apresenta na forma de uma variação diurna conforme vista de um ponto sobre a Terra girante, mas apresenta-se constante conforme visto por um observador inercial no sol (desprezando o efeito resultante do fato que o eixo de rotação da Terra e o eixo do dipolo não coincidem).

Esta deformação é associada ao movimento da Terra através do gás interplanetário, e ao chamado Vento Solar (fluxo de plasma continuamente ejetado pelo sol).

Abramos aqui um parênteses a fim de estabelecer o conceito de plasma, uma vez que essa noção é de grande importância no entendimento dos vários fenômenos geomagnéticos. Quando um gás é elevado a temperaturas suficientemente altas ou submetido a intensa radiação (X ou ultra-violeta), os átomos e moléculas do mesmos se tornam ionizados, sendo os elétrons arrancados por violentas colisões entre as partículas devido a agitação térmica, ou expulsos dos átomos como resultado da absorção de fótons com altas energias. Quando isso ocorre o comportamento dinâmico do gás passa a ser grandemente afetado por forças eletromagnéticas que agem sobre os íons e elétrons livres, e suas propriedades se tornam suficientemente diferentes das do gás normal não ionizado que se justifica uma mudança de denominação. Assim para se representar esse estado gasoso altamente ionizado, porém macroscopicamente neutro, escolheu-se o nome de plasma. A propriedade mais fundamental de um plasma é a sua tendência de permanecer eletricamente neutro. Quando por alguma razão, em





uma dada região do mesmo a densidade de carga difere de zero, desenvolvendo-se altos potenciais que fazem as partículas carregadas moverem-se rapidamente de modo a reduzir as diferenças de potencial e restabelecer a neutralidade elétrica. É este fenômeno o principal responsável pelas oscilações hidromagnéticas e pelas várias peculiaridades associadas as ondas eletromagnéticas que se propagam em plasmas.

O Vento Solar com seu contínuo fluxo de plasma, ao passar pela Terra, liga-se as linhas de Campo Magnético e as arrasta consigo, trazendo como resultado uma compressão da magnetosfera no lado oferecido ao sol e uma alongação da mesma ao lado oposto.

## 2.2 ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL

A Terra é rodeada por um Campo Magnético esférico, a

magnetosfera. De acordo com o que nós sabemos hoje, está sendo gerado por ação de dínamo no interior da Terra onde metais líquidos continuam em movimento gerados pelas forças de transmissão (troca calor), e da mesma maneira que as massas carregadas no dínamo gera um Campo Magnético quando se movem, estas massas criam o Campo Magnético da Terra. Sem isto, não trabalhariam nossas bússolas, essa barreira nos protege da radiação, inclinando partículas de altas energia ou capturando no cinturão de Van Allen. Destes, descobriu-se pelo primeiro satélite dos EUA, em 1958, que há dois cinturões, um mais interno, o outro mais externo, mas ambos cercam a Terra como uma proteção a radiações de partículas.

Infelizmente, em cima do Sul do Oceano Atlântico, ao largo da costa do Brasil, o efeito protetor da magnetosfera não é bastante esférico mas um "buraco", o qual os cientistas explicam como resultado do deslocamento excêntrico do Campo Magnético







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



desconsiderados, 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. Com uma oscilação de excitação de aproximadamente 700 c/s, uma variação de  $1-\gamma$ , do campo ambiente, produz uma saída de aproximadamente  $25 \mu\text{V}$ . Para medidas de sinais fracos, são utilizados dois núcleos em direções opostas no circuito de excitação, e uma bobina secundária cercando ambos. As duas contribuições primárias, nas bobinas com núcleo saturado postas em direções opostas, são então canceladas (Figura 6).

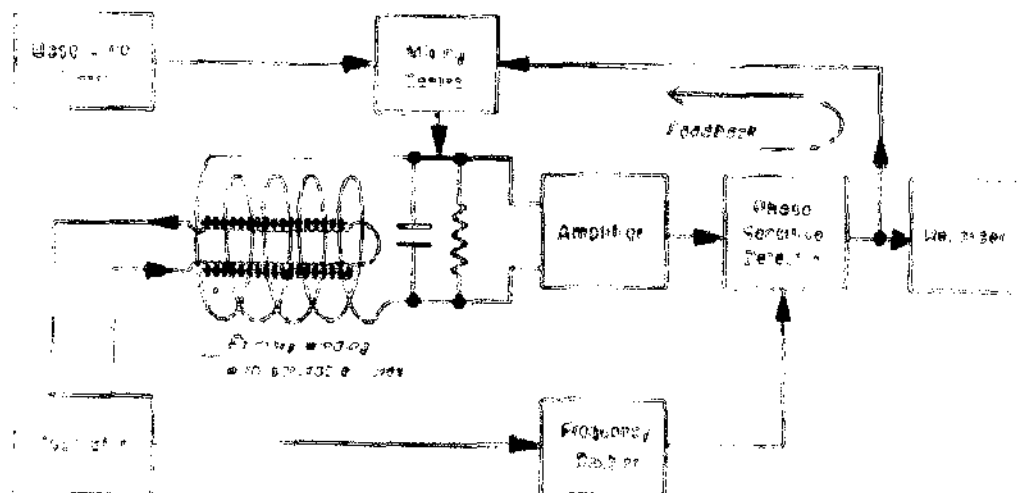


Figura 6 – Magnetômetro Fluxgate para medida direcional do Campo Geomagnético. (Campbell, 1997)

- **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:

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

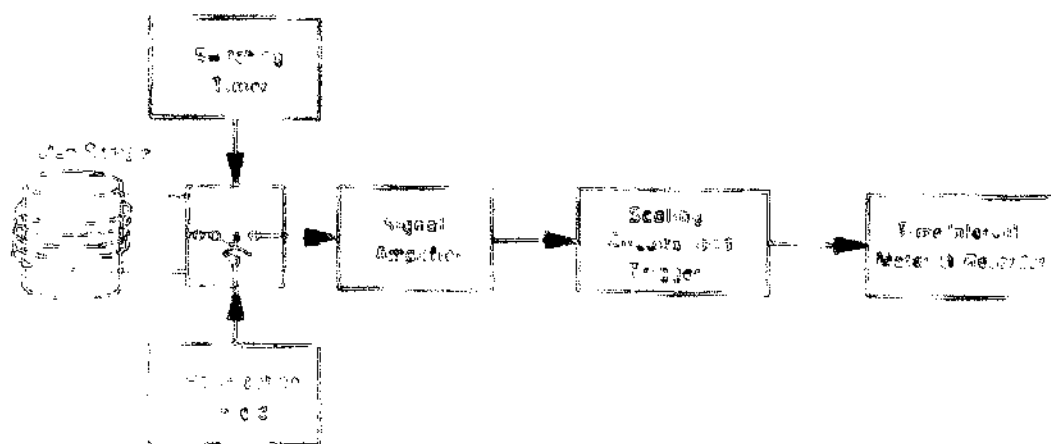


Figura 7 – Magnetômetro de próton para medida do Campo Geomagnético total. A bobina ao redor da amostra é utilizada para alinhar os prótons e detectar o período de precessão dos mesmos. (Campbell, 1997)

Todas as medidas do campo magnético terrestre envolvem a determinação da magnitude e direção do campo vetorial  $F$ , (ambas características dependem do tempo). Três direções são necessários para estas medição: horizontal  $H$  (norte-sul),  $D$  (leste-oeste) e  $Z$  (vertical para baixo), este projeto visa medir as pequenas variações que vão de 10 à 600 segundos. A dinâmica das variações do campo magnético terrestre são grandes, variando-se desde períodos de alguns séculos até variações rápidas, com períodos de





milissegundos. Devido a grande variação, das componentes do campo, vários instrumentos tem sido desenvolvidos para realizar medidas ou para registrar as variações magnéticas de diferentes aspectos geomagnético.

Uma unidade de aquisição de dados geomagnéticos consiste basicamente de duas partes: sistemas de medição (para o nosso projeto o sistema de medição é feita através de magnetômetros, e o sistema de processamento e armazenamento de dados. Foram desenvolvidas unidades de aquisição com interfaceamento capaz de selecionar as saídas analógicas dos sensores e digitalizá-las por um conversor analógico - digital. Os dados digitalizados são formatados e transferidos para fitas cassetes, ou cartões de memória, para posterior processamento em computador digital.

Para este estudo fez-se uso de dados geomagnéticos coletados pela estação geomagnética instalada no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE -MCT, em São Martinho da Serra – RS (29°S, 53°W).

A filtragem visa alterar a informação espectral contida no sinal, produzindo assim um realce das características espectrais. Um grande número de estruturas diferentes podem ser usadas para implementar filtros digitais. As mais comuns, filtragem direta, em cascata e em paralelo. A conversão da estrutura de filtragem direta para a estrutura em forma de 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 funções parciais, de tal forma que a filtragem direta é representada pela soma das funções de transferência individuais.

A estimação espectral é um poderoso método de análise de dados é frequentemente usado para estudar processos geofísicos. Muitas técnicas têm sido desenvolvidas para análise de longas séries temporais estacionárias. Contudo, estas técnicas não são universalmente aplicadas para series temporais que envolvem







processos não estacionários de curta duração. O principal problema tem sido isolar frequências.

Uma nova técnica de estimação espectral, apresentada por Thomson (1982), tem sido aplicada na análise de séries temporais. Na técnica de análise espectral por múltiplas janelas os dados são multiplicados por várias janelas com propriedades de resistência ao vazamento espectral, formando uma seqüência ortogonal de janelas, que minimizam o vazamento do espectro estimado, fazendo a transformação de Fourier nas auto-janelas “plotar” com o programa “Auto Signal” tem se os espectros correspondentes a cada uma dessas janelas.

Cada arquivo criado armazena os dados de um dia para as três componentes do campo geomagnético H, D, Z registradas com intervalos de amostragem de três segundos os arquivos têm formato de uma tabela de 4 colunas e 28800 linhas, tendo os dados digitalizados e dispostos em um arquivo pode se obter o gráfico da variação do campo magnético utilizando o programa Auto Signal, que é um programa específico para ser usado na área de geomagnetismo.

## **4. RESULTADOS E ANALISES**

### **4.1. 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.

- Realizou visitas semanais ao Observatório Espacial do Sul OES/CRSPE/INPE para manutenção dos equipamentos e para a





coleta de dados.

- Participou da leitura e discussão do manografo: “Introduction to Geomagnetic Fields - Wallace H. Campbell “.
- Participou da leitura e discussão do livro: “ Instrumentos Geomagnéticos – Fritz Primdahl”.
- Com os dados que são coletados na estação geomagnética de São Martinho da Serra o bolsista analisou catalogou e fez gráficos das variação da componente H do Campo Magnético Terrestre.
- O bolsista vem estudando também a física da magnetosfera, com a leitura de artigos, revistas e livros indicados pelo orientador.
- O bolsista vem usando algumas técnicas de análise de dados que foram descritas na cessão anterior.
- O bolsista fez uma estatística de ocorrência de pulsações durante os meses de agosto á dezembro de 1994 e janeiro de 1995. Neste período foram encontrados vários eventos com amplitudes diferentes.
- Os eventos geomagnéticos encontrados na análise dos dados foram colocados em tabelas, separadas a cada meia hora, esta separação foi feita para sabermos nos meses analisados qual a hora em que se teve maior números de eventos.
- No Anexo (B) estão apresentadas a tabela de um mês (dos cinco analisados) de estatística de ocorrência de eventos magnéticos com uma separação a cada meia hora. Os eventos encontrados foram marcados com (X) na hora correspondente. E desses eventos é que foram separados os que possuíam uma maior amplitude e feitos os gráficos de suas variações, para podermos comparar com outras estações magnéticas.
- No anexo (B) também são apresentados alguns gráficos analisados em curtos períodos. São apresentadas algumas pulsações contínuas observadas em São Martinho da Serra.





CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE - MCT

- Com toda a análise dos melhores eventos da estação magnética de São Martinho da Serra, foi estendido o nosso estudo numa comparação com dados de outras duas estações magnéticas.
- No anexo (A) estão plotados alguns gráficos após filtrados entre 60 a 7200 segundos das variações diurnas da estação de São Martinho da Serra (Como os dados são de 1994 antes era Santa Maria, e a partir de 1996 passou a ser Estação Magnética de São Martinho da Serra) e uma comparação com os dados da estação de Alcântara.
- Os dados brutos (antes da filtragem) são adquiridos com a taxa de amostragem de 3 segundos, assim num dia temos 28800 pontos de dados adquiridos.
- Nos três últimos gráficos do anexo A temos a apresentação de pulsações impulsivas (com taxa de aquisição a cada dois segundos) observadas em São Martinho da Serra, e comparadas com as da estação de São Luiz e de Eusébio. Observamos que ambas ocorrem ao mesmo horário, e a partir de agora vou me deter a estudar mais as pulsações impulsivas para entender os processos físicos que estão ocorrendo na Magnetosfera.
- No final do relatório encontra-se o anexo referente ao trabalho apresentado na XV Jornada acadêmica e integrada da Universidade Federal de Santa Maria.

#### **4.2. PERSPECTIVAS FUTURAS**

- O bolsista deverá continuar realizando medidas das variações geomagnéticas que ocorrem na região da anomalia geomagnética do Atlântico Sul para monitorar as características das pulsações geomagnéticas na região da Anomalia.
- Durante a seqüência do trabalho na área de geomagnetismo o





CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE - MCT bolsista pretende participar da elaboração e apresentação de trabalhos para a apresentação nas próximas Jornadas Acadêmica Integrada da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, leitura e discussão de livros e continuar realizando visitas semanais ao Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE -MCT para manutenção de equipamentos e coletas de dados.

- O bolsista pretende continuar o estudo da física magnetosférica.
- O bolsista deve continuar auxiliando na manutenção do Observatório Espacial do Sul.
- Durante 2002 - 2003 aprender programar usando línguas, Fortran, C e MATLAB nas máquinas UNIX e PC .
- Realizar estudos sobre pulsações geomagnéticas contínuas e impulsivas. Estudar processos físicos responsável pela geração destas pulsações, estudando conjuntamente as pulsações Observadas em SMS, no Campo Magnético IMP (Satélite ACE e WIND) e Campo Magnético observado a bordo dos satélites Geoestacionario GOES – 8 e GOES - 10.

### **4.3. REDUÇÃO E VISUALIZAÇÃO DE DADOS**

Durante o decorrer desse Projeto o bolsista vem se dedicando ao estudo de pulsações geomagnéticas, inicialmente fez se um estudo teórico sobre as variações que ocorrem no Campo Magnético. Dando seqüência ao trabalho são feitas aquisições de dados no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE, agora o bolsista está se dedicando a análise desses dados, o dados escolhidos para ser desenvolvido esse projeto são dados dos meses de Setembro a Dezembro de 1994 e Janeiro de 1995. A análise é feita pelo método de múltiplas janelas, após filtrados (filtro ban passante), são separados os eventos que ocorreram, num intervalo de meia hora e em seguida são feitos os gráficos dos eventos e são





catalogados os eventos para se ter uma estimativa de que hora cada pulsação tem maior incidência. Alguns gráficos estão em anexo a este relatório, as pulsações referidas anteriormente são pulsações do tipo Pc3, Pc4 e Pc5.

Foram filtrados dados das variações diurnas das Estações de São Martinho da Serra e de Alcântara. Os gráficos feitos após essa filtragem estão apresentados no anexo (A).

Foi usado o método Thomson para detectar os eventos. Para a análise espectral dos intervalos de eventos foi usado um pacote de software comercial Auto Signal (usando método AutoRegressive Frequency Spectrum) para plotar os espectros, e o software Origin.

Os gráfico apresentados em anexo estão em tempo universal.

## 5. CONCLUSÕES

O bolsista tentou nesse relatório mostrar um pouco do que está sendo feito pelo grupo de geomagnetismo, enfatizando o que se achou mais importante no desenvolver do projeto. As variações que encontramos e estudamos são geradas pela interação do vento solar com o campo magnético da Terra, pelos processos físicos dentro da Magnetosfera e também pela interação entre as ondas eletromagnéticas/ hidromagnetodinamicas e pelos elétrons precipitados (devido a Anomalia Geomagnética – SAA) na ionosfera acima de Santa Maria.

Listamos eventos de pulsações contínuas, separamos alguns eventos de maior amplitude e fizemos os gráficos para estudarmos melhor. Observamos um maior numero de eventos do tipo Pc4, depois as Pc5 e com pouca ocorrência as Pc3.

Na filtragem dos dados da variação diurna da componente H do Campo Magnético das estações de São Martinho na Serra e da estação de Alcântara observamos que a amplitude das variações na





CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE - MCT  
estação de Alcântara são maiores durante o dia que em São  
Martinho da Serra. Mas as variações que ocorrem em São Martinho  
também ocorrem na estação de Alcântara no mesmo horário.

O Projeto está sendo desenvolvido conforme a metodologia  
adotada, enfatizando que o estudo está sendo feito de pulsações  
contínuas, e de variações diurnas, as pulsações irregulares estão  
sendo analisadas mas seram estudadas melhor nos próximos  
meses, e apresentadas posteriormente.

## 6. BIBLIOGRAFIA

**Amarante, J. A. A.** General Topics on Geomagnetism and  
Studies of the Occurrence of Micropulsations in São José dos  
Campos. Relatório interno do INPE / LAFE – 48, 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.

**Pereira, O. J.** Estudos de Polarização de Pulsações  
Magnéticas na Faixa Pc3 a Pc5 Observadas em Santa Maria e  
Eusébio, 1993, dissertação de Mestrado INPE.

**Primdahl, F.,** Instrumentos Geomagnéticos, Publicações do  
Observatório Nacional, Publicação Especial, N<sup>o</sup> 09, 1986.

**Schuch, N. J.; Adaime, S. F.; Oliveira, N. U. V.;**  
**Bortolotto, E.; Sarkis, P. J.; Pinheiro, D. K.; Lüdke, E.; Wendt,**  
**F. A.; Trivedi, N. B.; Costa, J. M.; Kirchhoff, V. M. J. H.;**  
**Dutra, S. L. G.; Sobral, J. H. A.; Abdu, M. A.; Takahashi, H.;**  
Observatório Espacial do Sul - Centro Regional Sul de Pesquisas  
Espaciais/INPE, Revista Brasileira de Geofísica; Vol. 15, 65-  
70, 1997.





## 7. ANEXOS



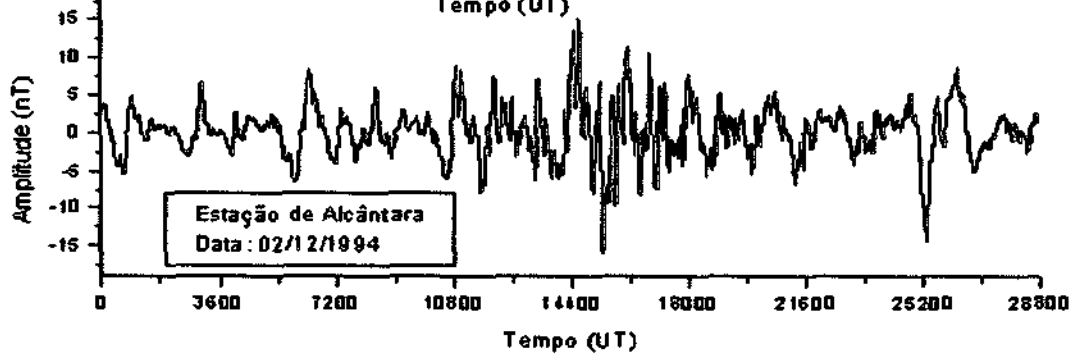
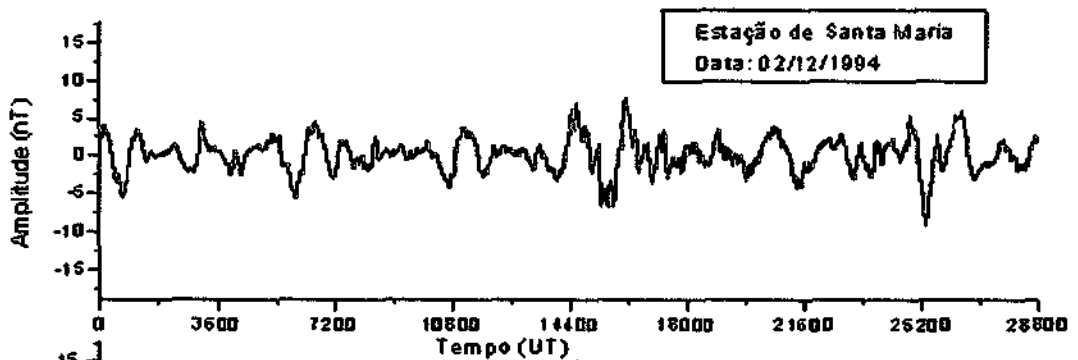
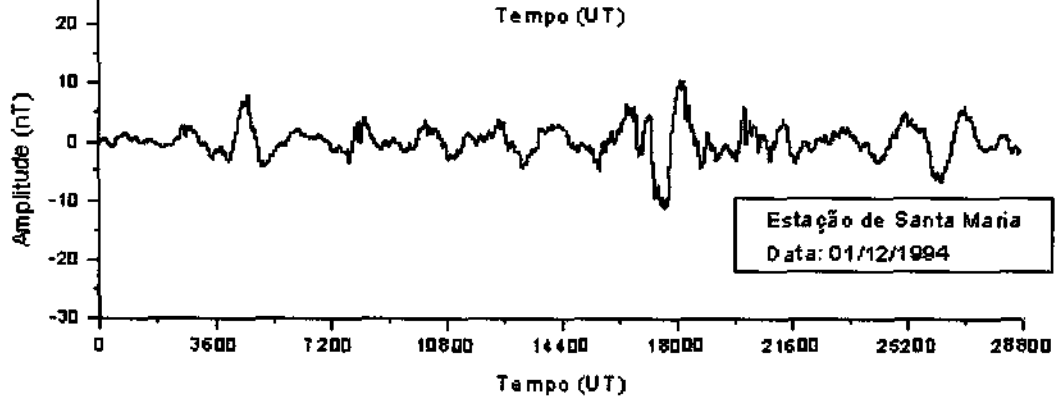
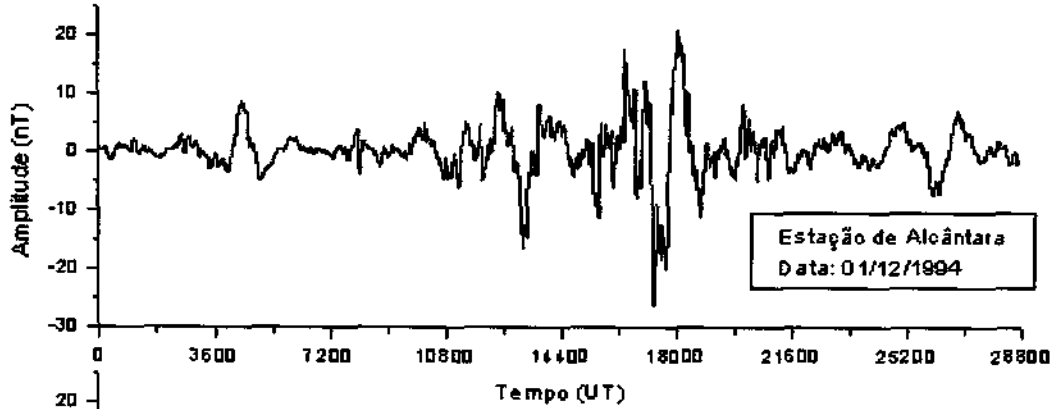


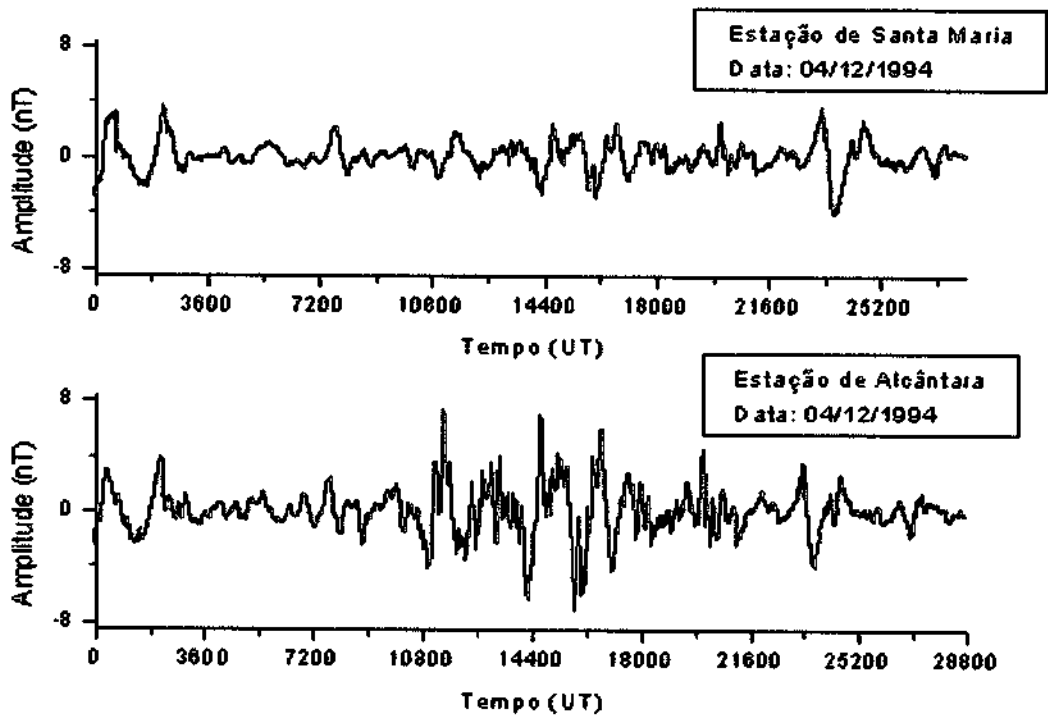
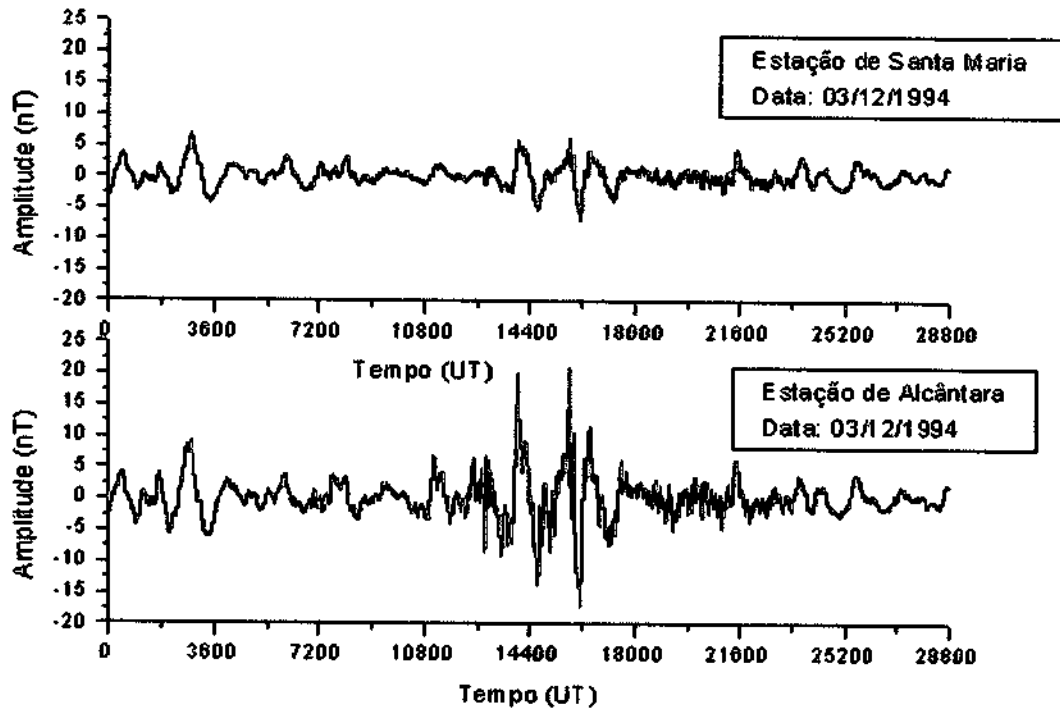
### **7.1. Anexo A**

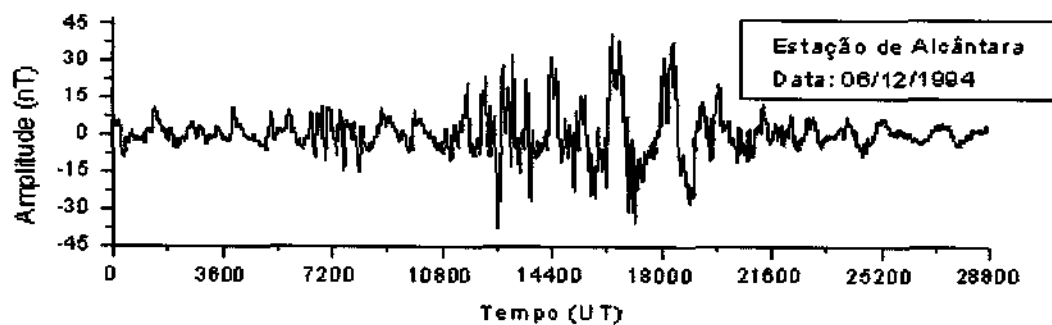
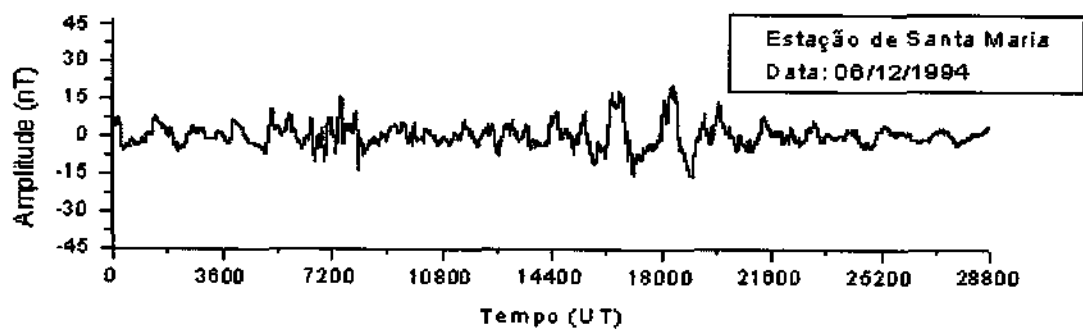
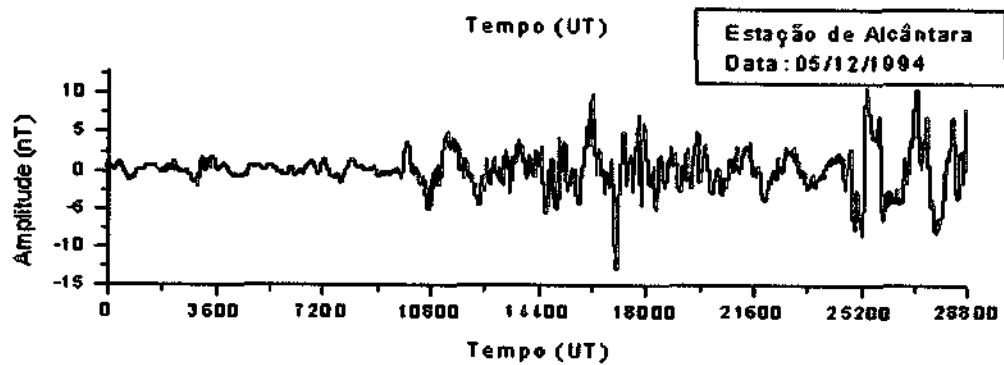
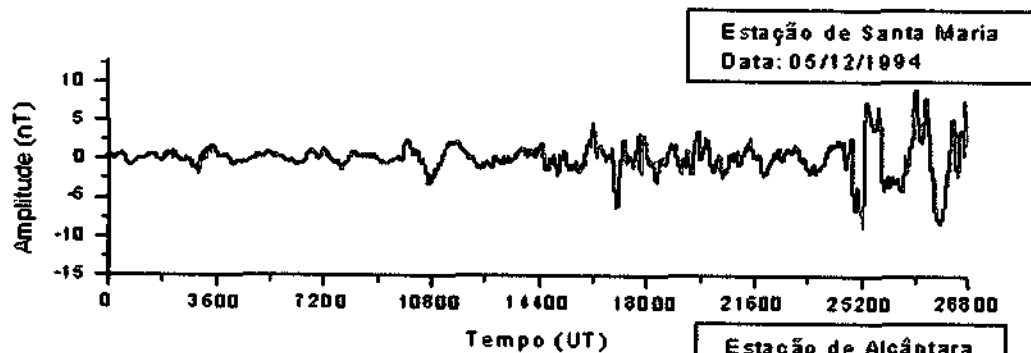
(Gráficos da análise diurna da estação Magnética de Santa Maria (hoje São Martinho da Serra) e comparação com a estação de Alcântara, na faixa de 60 a 7200 segundos)

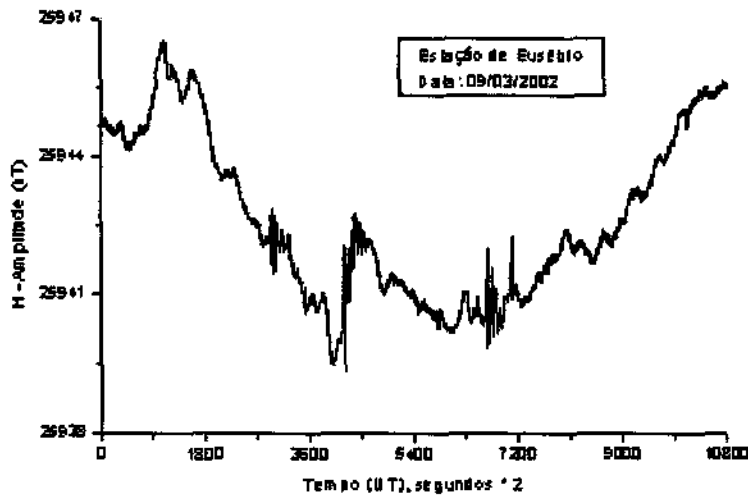
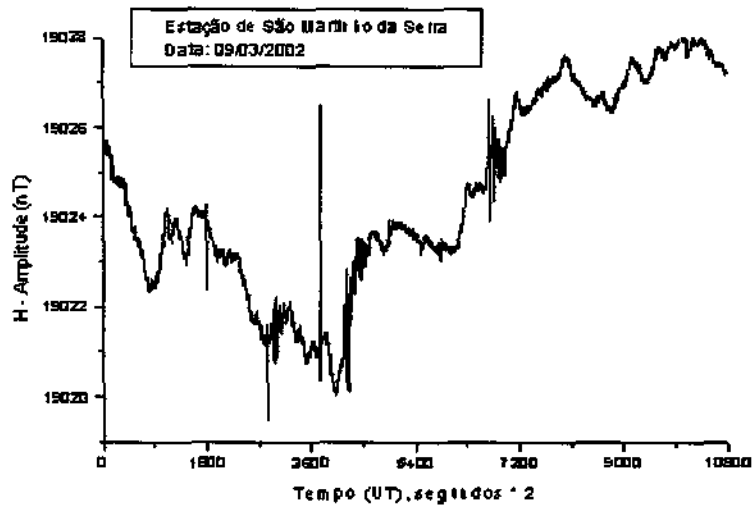
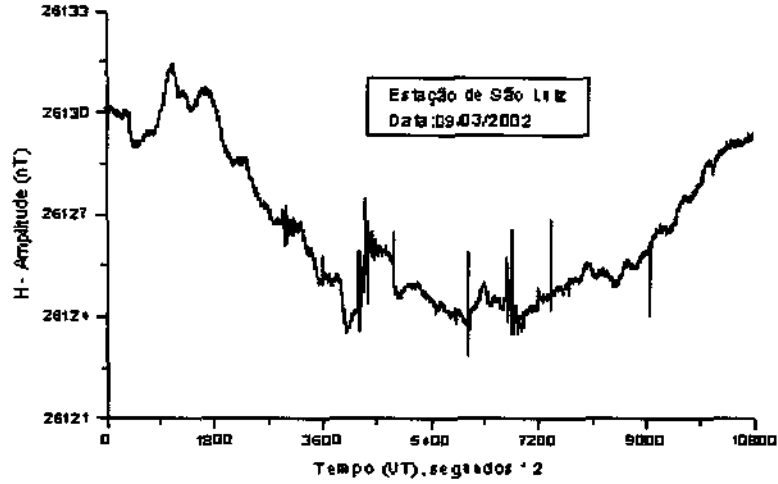














## **7.2. Anexo B**

**(Tabela de estatística de ocorrência de Pulsações Contínuas de um mês dos cinco analisados, e alguns gráficos das pulsações contínuas, Pc3, Pc4 e Pc5)**









CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS -- CRSPE/INPE - MCT

Estatística de ocorrência de eventos tipo Pc3 componente H - Santa Maria novembro de 1994

HORA/DIA	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total/hora				
00:00 / 00:30																																				
00:30 / 01:00																																				
01:00 / 01:30																																				
01:30 / 02:00																																				
02:00 / 02:30																																				
02:30 / 03:00																																				
03:00 / 03:30																																				
03:30 / 04:00																													X						I	
04:00 / 04:30																																				
04:30 / 05:00																																				
05:00 / 05:30																																				
05:30 / 06:00																																				
06:00 / 06:30																																				
06:30 / 07:00																																				
07:00 / 07:30																																				
07:30 / 08:00																																				
08:00 / 08:30																																				
08:30 / 09:00																																				
09:00 / 09:30																																				
09:30 / 10:00																																				
10:00 / 10:30																																				
10:30 / 11:00																																				
11:00 / 11:30																																				
11:30 / 12:00																																				
12:00 / 12:30																																				
12:30 / 13:00																																				
13:00 / 13:30																																				
13:30 / 14:00																																				
14:00 / 14:30																																				
14:30 / 15:00																																				
15:00 / 15:30																																				
15:30 / 16:00																																				





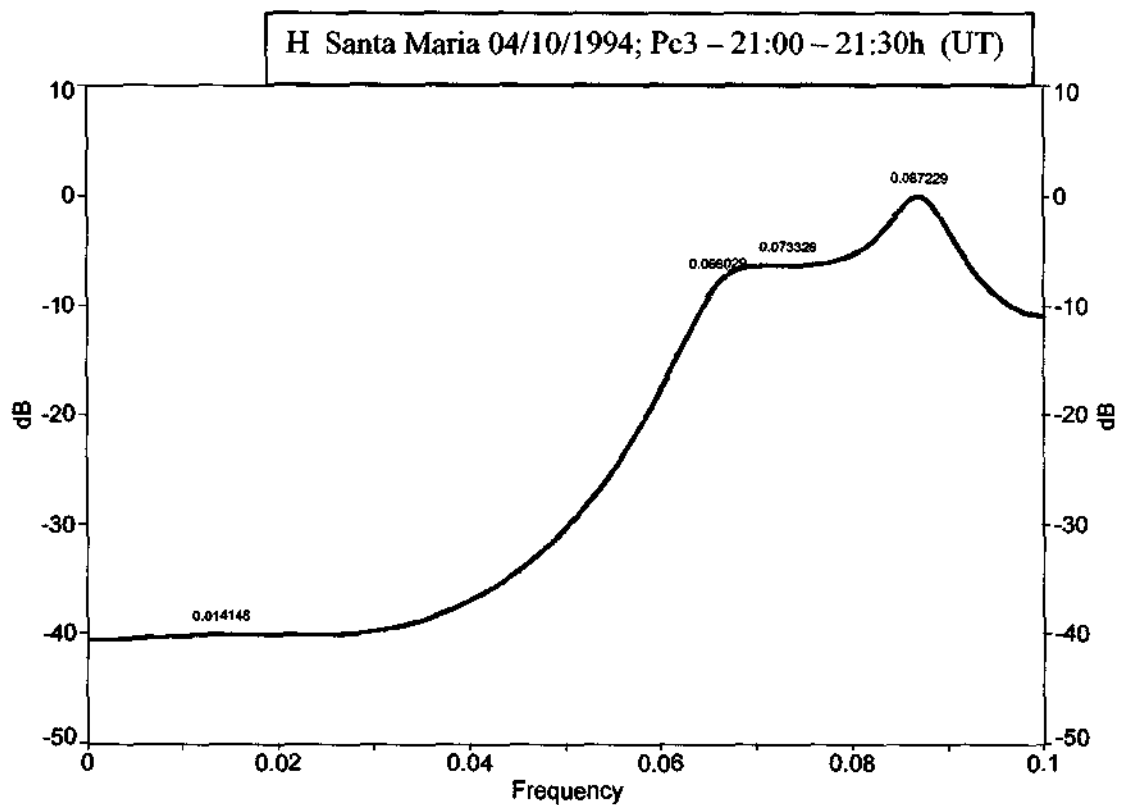
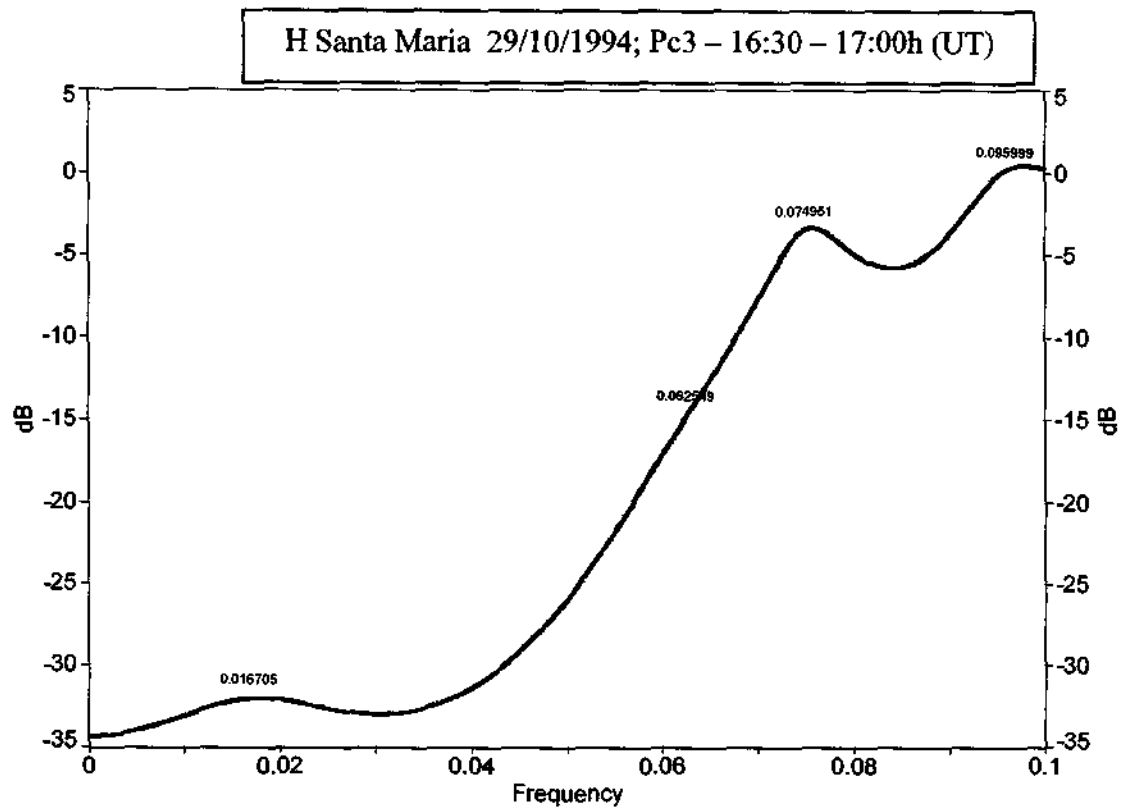






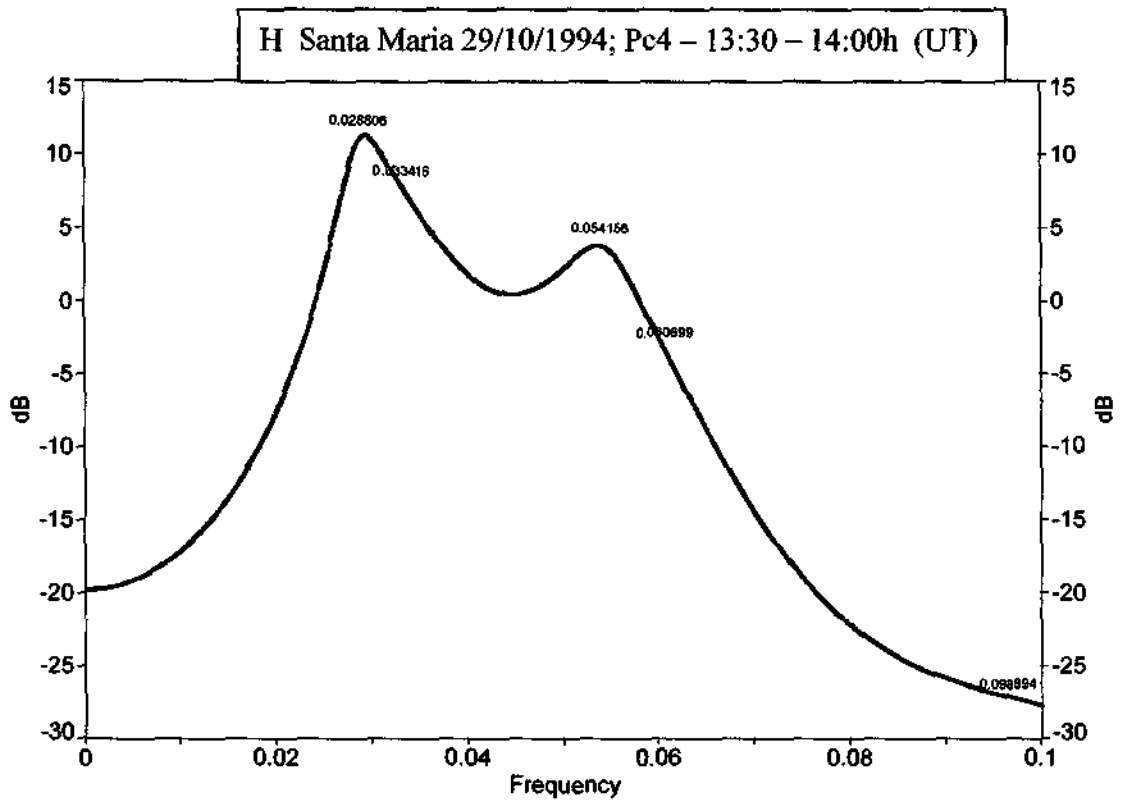
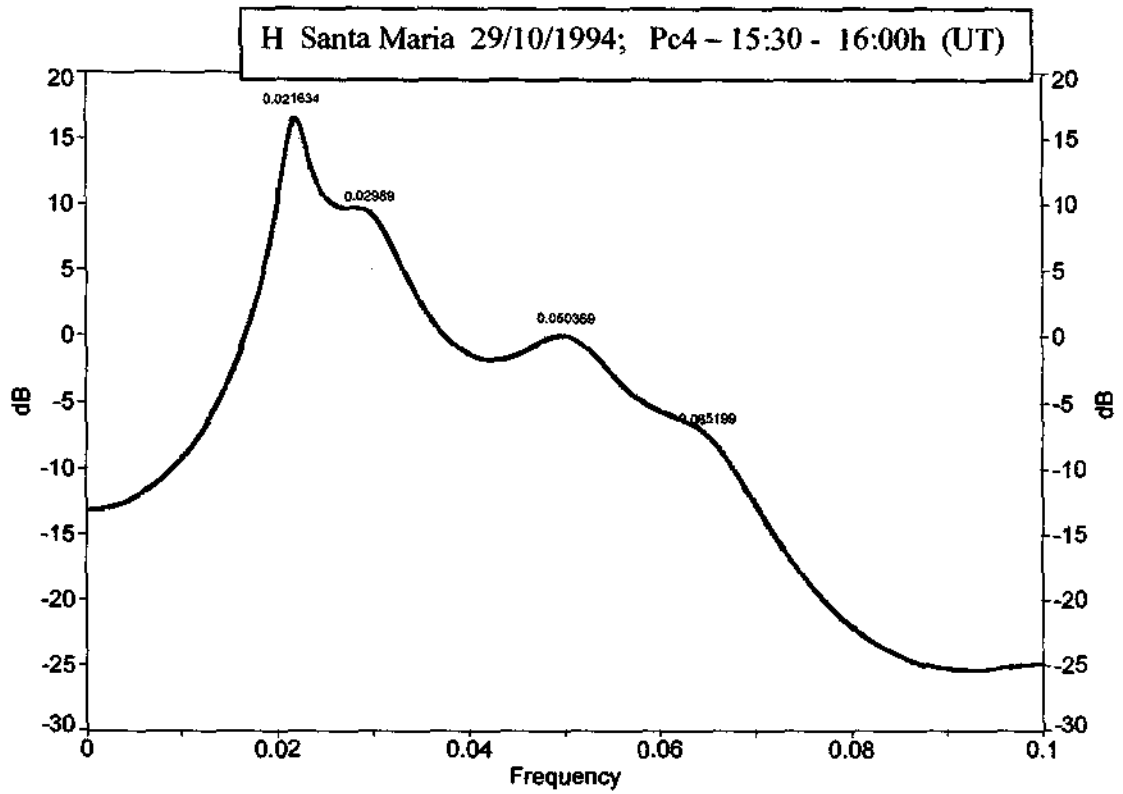


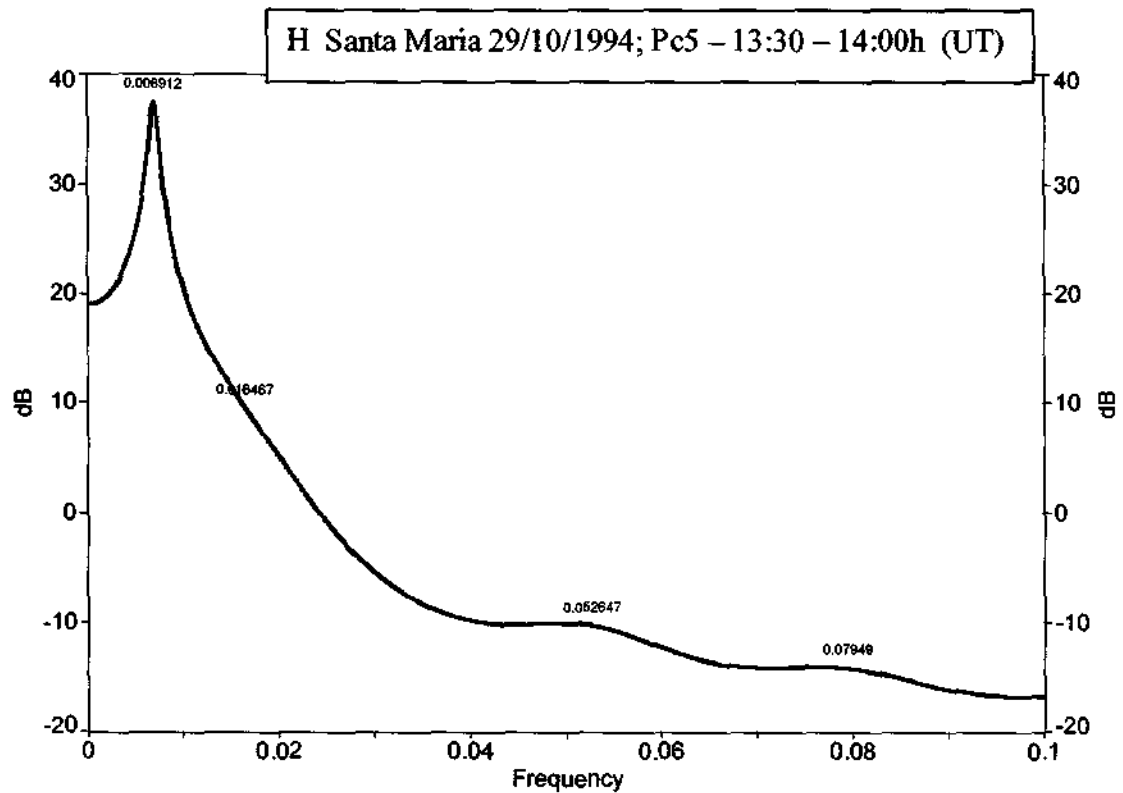
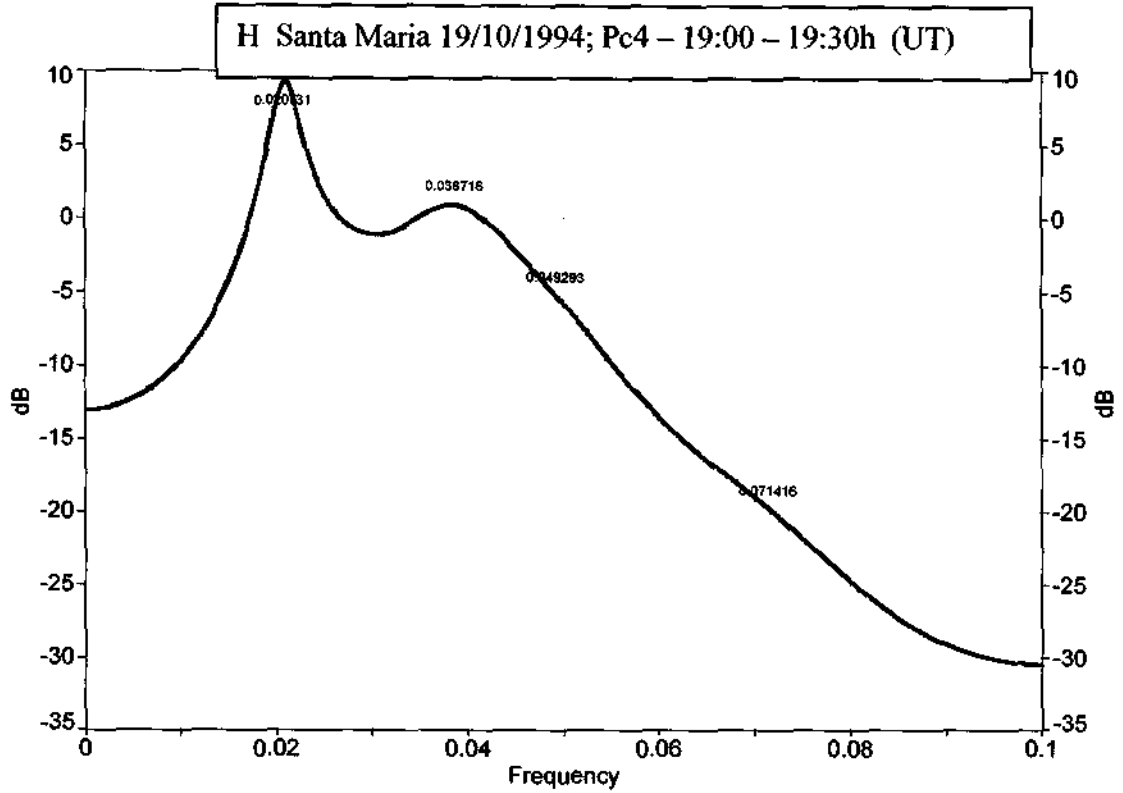
### Gráficos de Pulsações Contínuas de Santa Maria





CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE - MCT

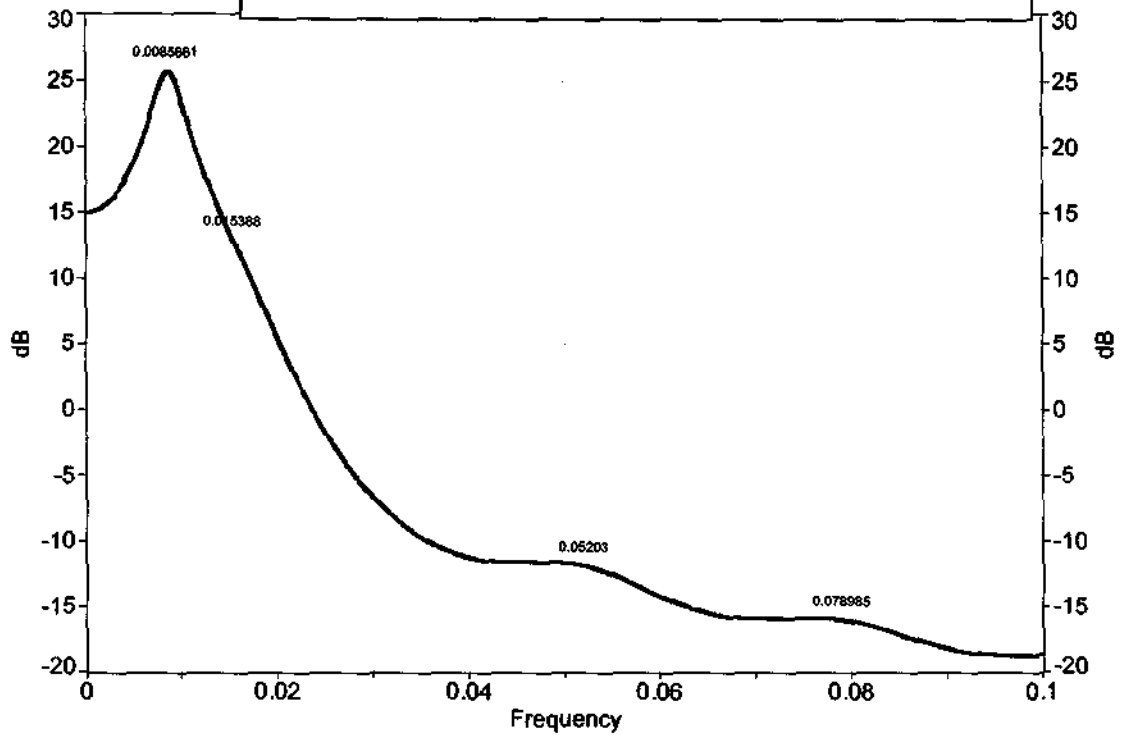




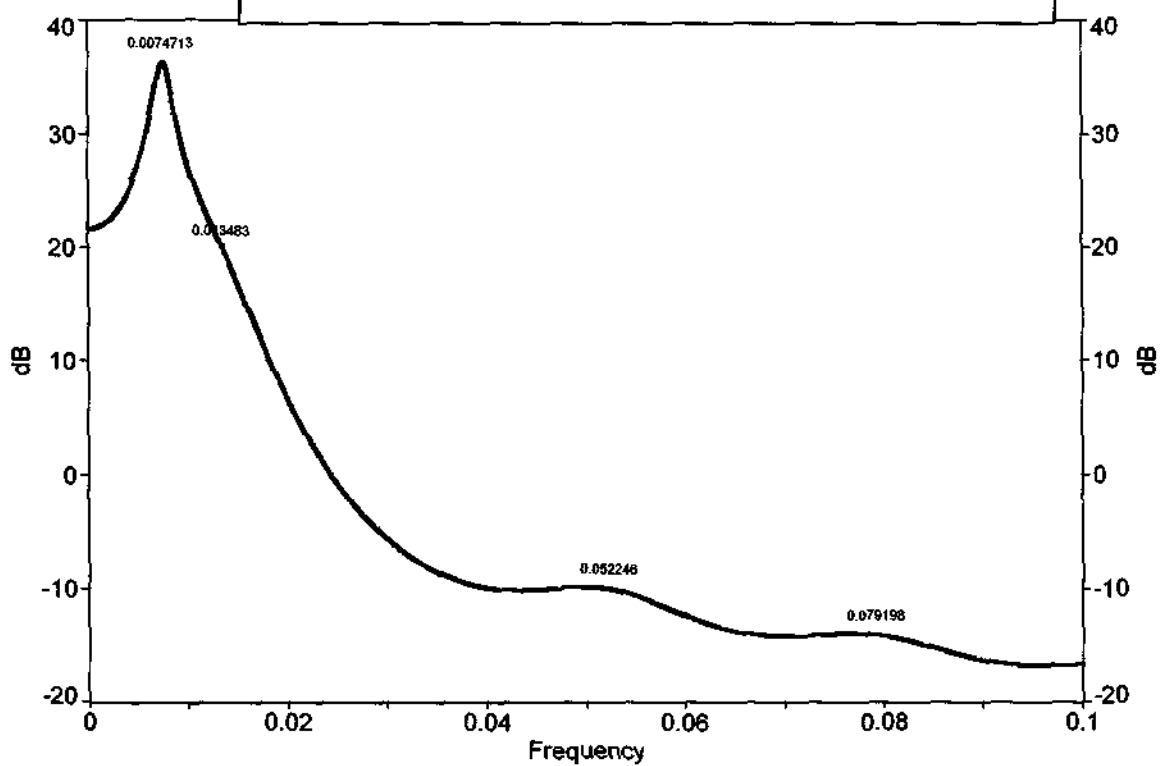


CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CRSPE/INPE - MCT

H Santa Maria 23/10/1994; Pc5 – 00:30 – 01:00h (UT)



H Santa Maria; Pc5 - 29/10/1994 – 14:30 – 15:00h (UT)





## 8. TRABALHOS APRESENTADOS

### ESTUDO DAS PULSAÇÕES CONTÍNUAS NO CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE NA REGIÃO DA GRANDE 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>,

Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LACESM/CT/UFSM - OES/CRSPE/INPE – MCT  
97105 – 900 – Santa Maria – RS – Brasil

As pulsações geomagnéticas são as variações do Campo Magnético Terrestre, na faixa de períodos entre 0,2 a 1000 segundos e amplitudes variando entre 0.1 nT a dezenas de nT nas baixas latitudes. As pulsações Geomagnéticas são montadas em cima das variações diurnas ( período de 24 horas) observadas na superfície Terrestre. Estas pulsações Magnéticas são manifestações de ondas de plasma de frequências ultra-baixa na Magnetosfera, provocadas pela interação de Vento Solar com o Campo Geomagnético. O Sistema Solar é imerso no plasma Solar emitido continuamente pelo Sol . As velocidades do Vento Solar variam entre 500 km/s a 1500 km/s. As pulsações contínuas (Pc) são pulsações 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. As variações que ocorrem nas componentes do Campo Magnético Terrestre H (Norte-Sul), D (Leste-Oeste) e Z (vertical para baixo), podem ser medidas operando magnetômetros de tipo "fluxgate". Estas medidas estão sendo feitas pelo grupo de Geomagnetismo do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria (LACESM), no Observatório Espacial do Sul OES/CRSPE/INPE, em São Martinho da Serra. Pretende-se estudar as características das pulsações Geomagnéticas na Anomalia Geomagnética na região de Santa Maria e no Sudeste Brasileiro.

(1) Pesquisa financiada pelo INPE, PIBIC/CNPq, 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;







## Estudo de Pulsações Irregulares no Campo Magnético Terrestre com Dados do Observatório Espacial do Sul – OES <sup>(1)</sup>

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

Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LACESM/CT/UFSM - OES/CRSPE/INPE – MCT  
97105 – 900 – Santa Maria – RS – Brasil

O Planeta Terra possui um intenso campo magnético interno, que é modulado e distorcido por um fluxo contínuo de plasma a partir do sol. Este fluxo contínuo de plasma solar faz com que o Campo Magnético seja comprimido na direção voltada para o Sol e alongada na direção oposta, formando uma cavidade conhecida como Magnetosfera. A existência da Magnetosfera é muito importante, uma vez que ela protege a superfície do Planeta das partículas de alta energia provenientes do Vento Solar. Os processos físicos que ocorrem nesta cavidade modulam o fluxo de energia carregado pelo Vento Solar para a Terra. A Magnetosfera é altamente estruturada, tanto em termos de seu Campo Magnético quanto de suas características de plasma. Esta estrutura tem uma profunda influência na propagação de ondas de plasma, especialmente de frequências da ordem de mHz, conhecidas como ondas ULF (ultra-low-frequency waves). As ondas ULF ocorrem praticamente em todas as regiões da Magnetosfera, sendo uma resposta a alterações nestas regiões, e um indicativo de sua natureza dinâmica. As pulsções geomagnéticas são manifestações de onda ULF de plasma na Magnetosfera Terrestre. Estas pulsções tem um intervalo de frequências a partir de aproximadamente 1 mHz até 10 Hz aparecendo como oscilações quase que senoidais em dados registrados por magnetômetros na superfície terrestre, na Ionosfera e Magnetosfera. Inúmeras são as teorias modernas que procuram explicar as várias características das pulsções experimentalmente observadas. Alguns melhor explicam certos detalhes enquanto outros mais se ajustam a outras peculiaridades. As pulsções foram divididas em dois pacotes de onda, um contínuo e outro irregular. As pulsções 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 Pulsções Irregulares (Pi) ocorrerem em geral nas etapas iniciais do desenvolvimento de tempestades magnéticas. Para monitorar o comportamento das variações no Campo Geomagnético na região da Grande Anomalia do Atlântico Sul, faz-se uso de dados coletados pela estação geomagnética instalada no Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - OES/CRSPE/INPE - MCT.

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

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

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

(4) Co-autor do trabalho: Pesquisador CRSPE/INPE – MCT;

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

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





## INSTALAÇÃO DO OBSERVATÓRIO MAGNÉTICO PADRÃO PARA ESTUDO DE VARIAÇÕES NO CAMPO GEOMAGNETICO <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>,

Universidade Federal de Santa Maria – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LACESM/CT/UFSM - OES/CRSPE/INPE – MCT  
97105 – 900 – Santa Maria – RS – Brasil

O Campo Geomagnético é assimétrico. A região de menor intensidade compreende parte do oceano Atlântico e parte do Território Brasileiro. Esse fenômeno é denominado de “Anomalia Magnética do Atlântico Sul” ou “Anomalia Magnética Brasileira”. O valor atual do Campo Magnético F na região da anomalia é de aproximadamente 22800 nT, e a taxa de diminuição contínua do Campo F, é de 40 a 50 nT pør ano, isso significa que se a taxa continuar decrescendo neste ritmo, entre 200 a 250 anos a intensidade de F, na região de Santa Maria, reduzisse-a praticamente a metade de sua intensidade atual. Por esse motivo precisamos monitorar o valor absoluto de F e conseqüentemente a necessidade de um Observatório Geomagnético Padrão em São Martinho da Serra [29.43 S, 53.8 O]. As atividades e as áreas de desenvolvimento de pesquisas em Ciências Espaciais e de Tecnologia, entre o INPE e da UFSM, iniciaram formalmente em 1988. Em 1996, iniciou-se as atividades de cooperação Científica Internacional de coleta e análise de dados por um período de 12 anos entre o BRASIL/JAPÃO em Ciências Espaciais Básicas, onde pelo lado brasileiro participam da cooperação o LACESM da UFSM e a Coordenadoria de Ciências Espaciais e Atmosféricas do INPE. Realizamos medidas contínuas das componentes H (N-S), D (L-O) e Z (Vertical), usando magnetômetros do tipo ‘fluxgate’ de três eixos, com a taxa de aquisição de 0.5 Hz, no Observatório Geomagnético de OES. São estudadas as pulsações geomagnéticas entre 0.1 a 0.001 Hz na região da Anomalia Magnética, com intuito de entender melhor os processos físicos devido à interação onda partículas, na Atmosfera superior da região da Anomalia, além da variação secular geomagnética na região central da Anomalia Magnética.

(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.

