



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**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/INPE – CNPq/MCT**

PROCESSO Nº 104151/2001-3

Eduardo Andrighetto (UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: edu@lacesm.ufsm.br

Dr. Nalin B. Trivedi (DGE/CEA – INPE – MCT, Orientador)

E-mail: trivedi@lacesm.ufsm.br

Santa Maria, Maio de 2004



Dados de identificação:

Bolsista:

Eduardo Andrighetto
Acadêmico de Engenharia Elétrica – Centro de Tecnologia
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Processo:

104151/2001-3

Orientador:

Dr. Nalin B. Trivedi
Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA – INPE – MCT
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT

Colaboradores:

Dr. Nelson Jorge Schuch
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT
Marcos Roberto Signori
Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Santa
Maria – UFSM
Éverton Frigo
Acadêmico do Curso de Física – Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Local de Trabalho/Execução do projeto:

Laboratório de Física Solar, do Meio Inaterplanetário e Magnetosferas –
CRSPE/INPE – MCT
Laboratório Eletrônica – CRSPE/INPE – MCT
Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT – MCT
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM



ÍNDICE

CAPÍTULO 1	5
INTRODUÇÃO	5
1.1 Conceitos Iniciais	5
1.2 Objetivos do Projeto	6
1.3 O Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT	7
CAPÍTULO 2	9
EMBASAMENTO TEÓRICO	9
2.1 Campo Magnético Terrestre	9
2.2 Elementos do Campo Geomagnético	9
2.3 Vento Solar	11
2.4 Magnetosfera	11
2.5 Cinturão de Van Allen	13
2.6 Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS	13
2.7 Variações do Campo Geomagnético	15
2.8 Variações Seculares	15
2.9 Variações Diurnas	15
2.10 Pulsações Geomagnéticas	16
2.10.1 Pulsações de Baixa Frequência (1 – 10mHz)	16
2.10.2 Pulsações de Média Frequência (10 – 100mHz)	17
2.10.3 Pulsações de Alta Frequência (0,1 – 10Hz)	17
2.11 Classificação das Pulsações Geomagnéticas	17
2.11.1 Pulsações Contínuas	18
2.11.1.1 Pulsações Contínuas Pc1	18
2.11.1.2 Pulsações Contínuas Pc2/3	18
2.11.1.3 Pulsações Contínuas Pc4	19
2.11.1.4 Pulsações Contínuas Pc5	19



2.11.2 Pulsações Irregulares	19
2.11.2.1 Pulsações Irregulares P_{i1}	20
2.11.2.2 Pulsações Irregulares P_{i2}	20
CAPÍTULO 3	21
MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DOS DADOS	21
3.1 Magnetômetro tipo Fluxgate	21
3.1.1 Princípio de Funcionamento	21
3.1.2 Métodos de Detecção	24
3.1.3 Magnetômetro de Segundo Harmônico Realimentado	25
3.1.4 O Sensor e a Bobina de Realimentação	25
3.1.5 Magnetômetro Fluxgate Curto Circuitado	26
3.1.6 Magnetômetro de Segundo Harmônico Sintonizado	27
3.1.7 Magnetômetro de Harmônicos Pares	28
3.1.8 Ruído	29
CAPÍTULO 4	31
RESULTADOS E ANÁLISES	31
4.1 Atividades Desenvolvidas	31
4.2 Perspectivas Futuras	33
CAPÍTULO 5	35
CONCLUSÃO	35
BIBLIOGRAFIA	36
ANEXOS A	37
ANEXOS B	45



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Conceitos Iniciais

O movimento de fluidos ionizados pelas altas temperaturas no núcleo da Terra provocam correntes elétricas induzem um campo magnético dando origem ao chamado Campo Magnético da Terra. Se não fosse a influência de fontes secundárias fora da Terra, que distorcem e causam perturbações no campo, poderia ser dito como um campo dipolar. Com uma grande faixa de variação temporal do campo magnético terrestre, desde frações de segundos até milhões de anos, podemos separá-las em: variações de longo período, como a variação secular; e variações de curto período, como tempestades geomagnéticas, variações diurnas S_q e micropulsações geomagnéticas. Sendo que, as variações seculares são originadas internamente, enquanto as variações de curto período são de origem externas a Terra e estão diretamente associadas às atividades solares.

Uma estrutura com forma semelhante a uma bolha alongada similar a cauda de um cometa é criada pela passagem do Vento Solar chocando-se com a barreira formada pelo Campo Magnético dando origem a chamada Magnetosfera. Dentro da Magnetosfera o Campo Geomagnético está em constante interação com o Plasma Solar gerando ondas hidromagnéticas 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. Com relação as investigações dessas pulsações geomagnéticas na Magnetosfera terrestre, tem-se dado uma atenção considerável na identificação dos mecanismos de geração e propagação dessas ondas para as baixas latitudes na Plasmasfera.



Devido ao fato de que a análise dos dados de satélites para baixas latitudes requer sofisticadas técnicas de processamento, grande parte das análises são feitas com magnetômetros instalados em estações no solo. As pesquisas nessa área têm como objetivos coletar, analisar, os dados coletados a partir de um magnetômetro instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/RSU/INPE – MCT e estudar essas pulsações geomagnéticas e fazer uma comparação com as outras estações geomagnéticas.

1.2 Objetivos 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 – MCT, em São Martinho da Serra – RS (29°S, 53°W);
- ✓ Estudar 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 do Observatório Espacial do Sul OES/RSU/INPE – MCT , em São Martinho da Serra, RS;

Além disso, o bolsista se propôs estudar o funcionamento de Magnetômetros Fluxgate para futura implementação.



1.3 O Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT

O Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra – RS (29°S, 53°W), tem como atribuições:

- ✓ 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, na área de 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 – MCT, o que torna inédita, original e de primeira mão, a natureza dos dados coletados por seus instrumentos.

Os sensores e equipamentos, como também as antenas 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.



CAPÍTULO 2

EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1 Campo Magnético Terrestre

O Planeta Terra é envolvido por um grande campo o qual apresenta importantes características magnéticas. Como exemplo, pode-se citar a orientação da agulha de uma bússola ilustrando assim uma classe de fenômenos geofísicos referente a esse campo. Um outro fenômeno magnético que pode ser citado é a grande atração que alguns minerais, como a magnetita, têm um pelo outro. Os estudos destes fenômenos representam respectivamente as ciências do Geomagnetismo e Magnetismo.

Deste campo, 99% do seu total é conhecido com Campo Principal do Campo Geomagnético, e supostamente é originado por correntes elétricas que circulam na parte líquida do núcleo da Terra. O resto do Campo Geomagnético é considerado como fruto de correntes elétricas presentes nas regiões ionizadas ao redor do planeta.

2.2 Elementos do Campo Geomagnético

Podemos dizer que o Campo Geomagnético é um campo vetorial, já que provoca a orientação da agulha de uma bússola a uma determinada direção, com magnitude, direção e sentido. A intensidade total do vetor magnético representado pela letra (F) é independente do sistema de coordenadas, mas é comum representá-lo alinhado com as direções geográficas no sistema.

A Figura 2.1 mostra o vetor total do Campo Geomagnético (F) e suas três componentes X, Y e Z.

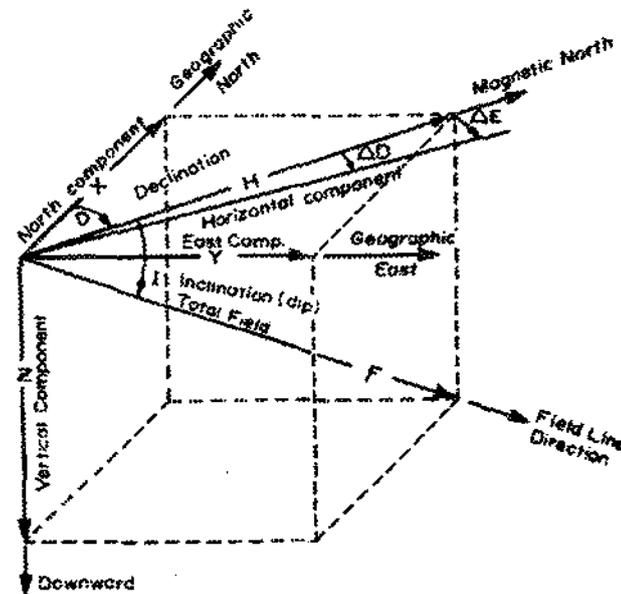


Figura 2.1 – Elementos do vetor magnético

Fonte: Campbell, 1997.

Elementos lineares:

X – componente magnética norte (positiva no sentido do norte geográfico);

Y – componente magnética leste (positiva para leste);

Z – componente magnética vertical (positiva quando aponta para baixo);

H – componente magnética horizontal (define o norte magnético local);

F – intensidade total do campo magnético num determinado ponto.

Elementos angulares:

D – declinação magnética. É o ângulo entre o norte geográfico (X) e a componente horizontal do campo magnético (H), positivo quando medido do norte para o leste;

I – inclinação magnética. É o ângulo entre a componente magnética horizontal (H) e o vetor intensidade total do campo magnético (F), positivo quando medido do plano horizontal para baixo.



A função de um observatório magnético é monitorar o Campo Geomagnético e suas variações nas suas três direções, componentes X , Y e Z embora em muitas estações sejam feitas medidas das componentes H , D , e Z .

2.3 Vento Solar

Dá-se o nome de Vento Solar ao plasma eletricamente neutro e magnetizado que preenche o espaço interplanetário formado basicamente de hidrogênio ionizado (prótons) e elétrons. O Sol emite constantemente esse gás ionizado que percorre cerca de 150 milhões de quilômetros até chegar próximo a Terra com uma velocidade típica de 450 km/s e uma densidade de prótons e elétrons de 6,6 e 7,1 partículas/cm³ respectivamente e com uma magnitude de campo magnético da ordem de 7nT. A existência do campo magnético no vento solar origina importantes efeitos hidromagnéticos, inclusive aqueles relacionados com a interação Sol-Terra.

2.4 Magnetosfera

Quando um fluxo de plasma encontra uma região com campo magnetizado, há uma tendência entre eles de confinarem-se um ao outro, e assim o fluxo delimita o campo magnético ao redor do objeto ao qual ele é criado. A região em torno do campo tende a excluir o plasma, criando assim um buraco ou cavidade que é determinado pela densidade de energia do fluxo de plasma e o grau de magnetização do objeto. Assim acontece com o Planeta Terra, originando dentro da cavidade criada a Magnetosfera e na superfície externa dessa região a Magnetopausa. Tipicamente, na parte frontal, lado diurno, a Magnetopausa alcança uma distância aproximada de 11 raios terrestres ($1 RT \cong 6371$ km) do centro da Terra; na lateral, chega em torno de 12 e 15 RT ; e no lado noturno, ela se estende até 500 RT ou mais.

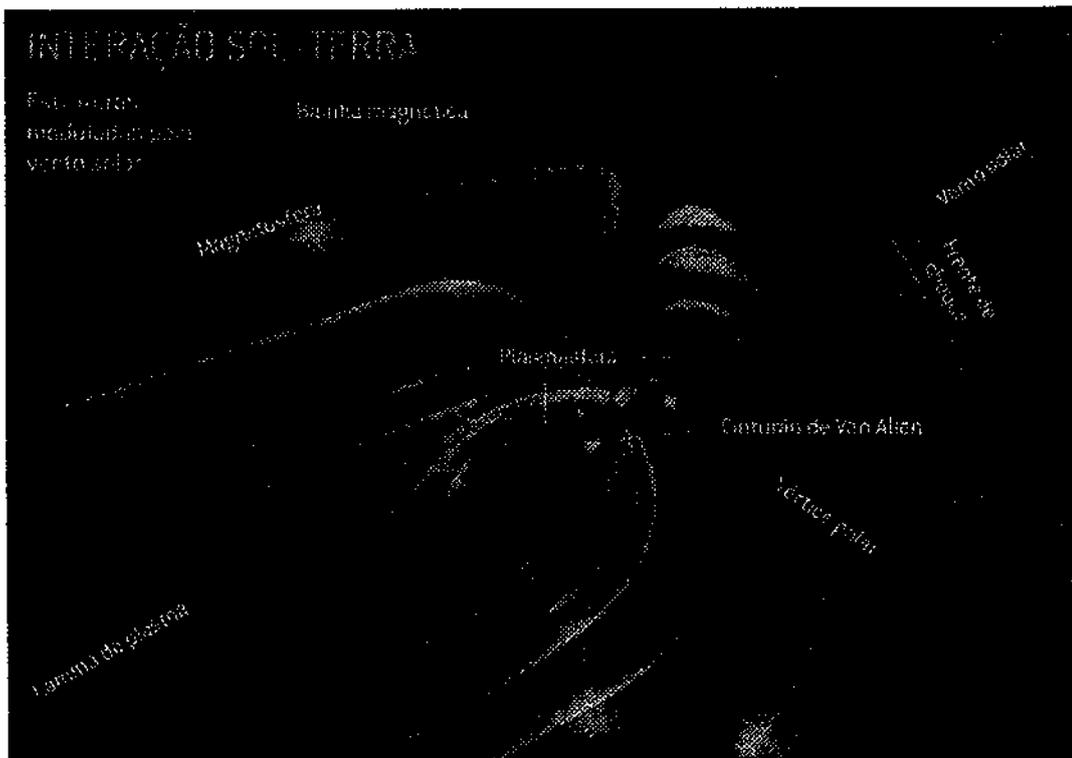


Figura 2.2 – Interação Sol Terra

Fonte: Scientific American Brasil – Ano 2, nº 23

A Magnetosfera assemelha-se a cauda longa de um cometa. A dimensão da cavidade depende da intensidade do vento solar, embora grandes variações nessa intensidade, produzam, comparativamente, pequenas mudanças no tamanho da Magnetosfera. Na Magnetosfera, próximo a Terra, muitos processos naturais importantes são dominados pelo Campo Geomagnético, fora da Magnetopausa o controle é exercido pelo campo magnético interplanetário. O Campo Geomagnético influencia fortemente a dinâmica do gás ionizado e das partículas eletricamente carregadas. Na parte mais interna da Magnetosfera, acima de 50 e até uns poucos milhares de quilômetros, existe a região chamada Ionosfera. Até pontos afastados de aproximadamente 4 RT o plasma terrestre gira junto com as linhas de campo geomagnético e essa região é a Plasmasfera, cuja superfície que a delimita é chamada de Plasmapausa.



2.5 Cinturão de Van Allen

Os cinturões de radiação ou de Van Allen que envolvem a Terra na região equatorial são formados por partículas de alta energia como elétrons, prótons e íons atômicos, atraídos pelo Campo Magnético Terrestre. Esses cinturões foram descobertos por James Van Allen ao analisar dados fornecidos pelo satélite Explorer 1 em 1958. São dois cinturões, um interno, cuja fonte é o Vento Solar e a Ionosfera, que se estende de cerca de 400 km até 12 mil km acima da superfície terrestre, e outro externo, cuja fonte são as partículas energéticas solares e as reações da atmosfera com os raios cósmicos galácticos, que vai de 12 mil até cerca de 60 mil km. Raios cósmicos são íons positivos rápidos, provenientes de todas as direções do espaço, provavelmente preenchendo toda a Galáxia, e que bombardeiam a Terra constantemente.

2.6 Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS

Quando a AMAS foi descoberta, no final da década de 1950, sua localização se dava principalmente sobre o Atlântico Sul, por isso foi denominada Anomalia Magnética do Atlântico Sul.



Figura 2.3 – Identificação da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS.

Fonte: Scientific American Brasil – Ano 2, nº 23

Está região com uma forma oval se caracteriza pela diminuição da intensidade do Campo Magnético Terrestre. O menor valor do campo atualmente está sobre o Sudeste brasileiro, cerca de 700 km da costa. As linhas geomagnéticas dessa região podem ser vistas ilustrativamente como uma superfície de borracha deformada pela ação de uma esfera pesada sobre ela. Essa anomalia no Campo Magnético é causada pelo fato do seu centro magnético não estar localizado no centro do núcleo terrestre, gerando um campo mais fraco na região do Atlântico Sul. Assim, de forma semelhante à região auroral, as partículas eletricamente carregadas penetram com mais facilidade na região da AMA, atingindo camadas mais profundas da atmosfera, tornando essa região uma das mais vulneráveis do planeta aos efeitos das partículas energéticas e radiações.

Fazer previsões precisas do campo geomagnético, com o passar do tempo é praticamente impossível. Porém, analisando as mudanças que estão ocorrendo no Campo Geomagnético é possível estimar o comportamento mais provável do campo geomagnético no futuro.

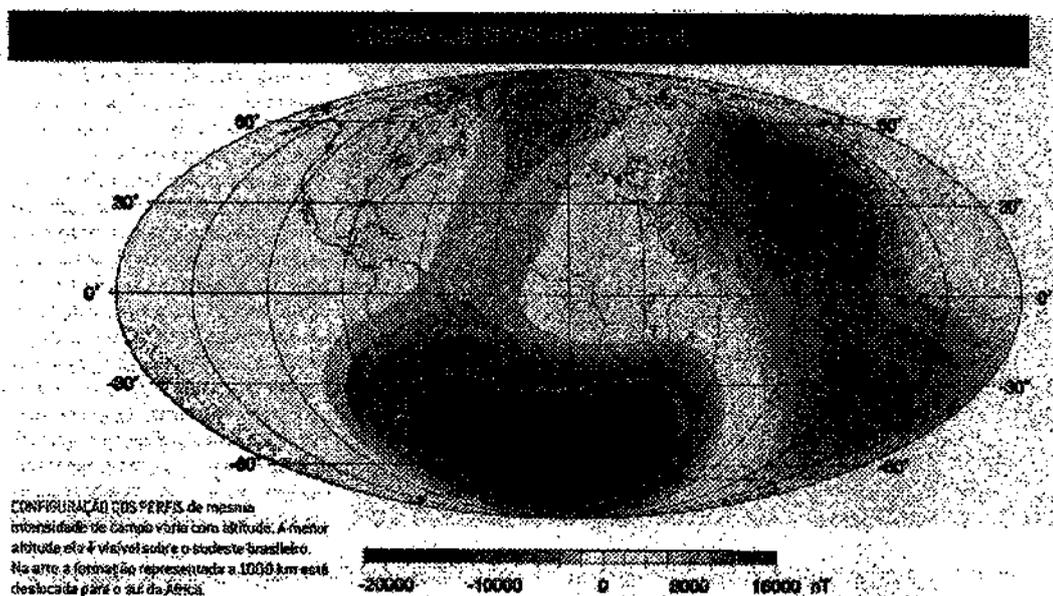


Figura 2.4 – Configurações dos perfis de mesma intensidade de campo.

Fonte: Scientific American Brasil – Ano 2, nº 23



2.7 Variações do Campo Geomagnético

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.

As variações geomagnéticas são classificadas em:

- ✓ Seculares, para períodos maiores que de um ano;
- ✓ Diurnas, para período de 24 horas;
- ✓ Distúrbios, quando associados a tempestades magnéticas e com períodos bastante variáveis;
- ✓ Pulsações, para períodos entre 0,2 e 1000s;
- ✓ Atmosféricas, quando períodos inferiores a 1 s;
- ✓ Produzidas pelo homem.

Sendo que as variações seculares são as únicas com origem interna a Terra.

2.8 Variações Seculares

A mudança lenta e contínua no campo principal do Campo Geomagnético é chamada de variação Secular. É associada com as correntes elétricas que fluem no núcleo externo da Terra e tem uma escala temporal que chega a mil anos, dada pela mudança anual no valor do campo. É determinada pela variação nos elementos magnéticos X , Y e Z ou H , D e Z .

2.9 Variações Diurnas

A variação diária é causada principalmente pelas correntes fluindo na ionosfera, onde o movimento devido aos ventos e marés na atmosfera resulta na ação do dínamo, gerando campos e correntes na ionosfera. Estas variações apresentam dependência com

a latitude, estação e com o ciclo solar (período de 11 anos). Em dias de pouca atividade solar (Sol calmo) ela é chamada de variação diurna do campo geomagnético (ou variação S_q , *solar quiet*), que apresenta uma magnitude para o campo magnético na faixa desde algumas dezenas até várias centenas de nanoteslas.

2.10 Pulsações Geomagnéticas

As pulsações geomagnéticas, bem como os chamados eventos transientes relacionam-se, com interações complexas entre o vento solar (plasma solar) e o campo geomagnético que ocorrem na fronteira da região que constitui a magnetosfera terrestre.

Pulsações geomagnéticas são manifestações de ondas de plasma de frequência ultra-baixa (ULF) na Magnetosfera terrestre. Essas pulsações têm 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.

2.10.1 Pulsações de Baixa Frequência (1 – 10mHz)

As Pulsações Geomagnéticas na banda de baixa frequência são ondas de plasma com comprimentos de onda comparáveis às dimensões da Magnetosfera. As pulsações de baixa frequência tendem a ter amplitudes máximas nas zonas aurorais. As regiões de máxima intensidade ocorrem principalmente na oval auroral, exceto próximo ao meio dia local onde os picos de amplitude podem ser ligeiramente deslocados na direção dos pólos em relação à média do oval auroral. Em médias latitudes não são evidentes e podem ocorrer com igual probabilidade na maior parte do dia.

2.10.2 Pulsações de Média Frequência (10 – 100mHz)

A maioria das ondas de plasma, na banda de frequência média, são geradas pelo Vento Solar na Magnetopausa, ou originadas por instabilidades íon-ciclotônicas na região de fluxo contrário “upstream” ao Vento Solar. As ondas de plasma geradas por estas instabilidades são convectadas para baixo, na direção da curva de choque e se acoplam à Magnetopausa propagando-se para o seu interior. Elas são mais frequentes no lado diurno e têm amplitudes desde frações a vários nanotesla na superfície da Terra.

2.10.3 Pulsações de Alta Frequência (0,1 – 10Hz)

As pulsações na banda de alta frequência (0,1 – 10 Hz) incluem as classes Pc1 e Pc2. Na superfície da Terra, as amplitudes máximas destas pulsações são tipicamente de 0,1 – 10 nT nas zonas aurorais, com amplitudes menores no equador. Registros obtidos no solo mostram dois grupos distintos: um grupo de pulsações com amplitudes periodicamente moduladas e outro que mostram mudanças graduais e algumas por acaso. As pulsações do primeiro grupo são as chamadas pérolas, devido a similaridade entre a aparência de suas séries temporais com um cordão de pérolas. Por outro lado, as pulsações do segundo grupo são pulsações desestruturadas, devido a falta de qualquer periodicidade na modulação e na amplitude.

2.11 Classificação das Pulsações Geomagnéticas

As pulsações tem sido classificadas segundo suas características morfológicas e podem ser divididas em duas classes principais:

- ✓ Pulsações contínuas, que são oscilações regulares com uma faixa de período variando de 0,2 a 600 segundos e podem ser divididas em subgrupos dependendo do período;



- ✓ Pulsações irregulares, que são oscilações irregulares de curto período e que variam na faixa de 1 a 150 segundos.

2.11.1 Pulsações Contínuas

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

2.11.1.1 Pulsações Contínuas Pc1

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

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

2.11.1.2 Pulsações Contínuas Pc2/3

As amplitudes de sinais observadas das Pc2-3 são, usualmente, menores de 0,5nT e os períodos típicos são em torno de 5 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.



2.11.1.3 Pulsações Contínuas Pc4

As pulsações Pc4 apresentam amplitudes da ordem de 5 a 20 nT nas altas latitudes e 1nT nas baixas latitudes. Os sinais normalmente duram de 10 minutos a várias horas. Estes sinais freqüentemente aumentam lentamente, aí se sustentando por um longo tempo e em seguida decaindo bruscamente. Em médias e baixas latitudes o modelo de ocorrência diária apresenta um máximo ao meio dia.

A freqüência 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 solares.

2.11.1.4 Pulsações Contínuas Pc5

Esta classe de pulsações, com períodos mais longos (tipicamente 3 a 9 minutos), podem ter amplitudes extremamente grandes, chegando a algumas centenas de nT, e apresentam uma forma senoidal, freqüentemente amortecidas, com algumas distorções aparecendo com o aumento da atividade magnética.

2.11.2 Pulsações Irregulares

Apresentando uma faixa de freqüência de 1Hz a 25 mHz (1 a 40 s), essas pulsações são caracterizadas por sua forma irregular. Apresentam uma conexão com os distúrbios do campo geomagnético e estão correlacionadas com os distúrbios da magnetosfera superior. As Pi's são divididas em dois grupos



2.11.2.1 Pulsações Irregulares Pi1

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

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

2.11.2.2 Pulsações Irregulares Pi2

As pulsações Pi2 apresentam formas irregulares com períodos na faixa de (40–150s) e amplitudes da ordem de 1 a 5nT. Sua principal característica é o seu pequeno tempo de duração e a sua superposição com as pulsações Pi1, que ainda em certas ocasiões podem ser seguidas pelas pulsações contínuas Pcl.

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.



CAPÍTULO 3

MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DOS DADOS

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

O equipamento utilizado para medir o Campo Geomagnético é chamado magnetômetro. Devido a grande variedade de fenômenos que respondem a Campos Magnéticos, existe uma grande variedade de magnetômetros, cada um com suas vantagens distintas.

3.1 Magnetômetro tipo Fluxgate

3.1.1 Princípio de Funcionamento

O aparecimento de uma força eletromotriz induzida gerada pela variação do fluxo magnético é largamente usada na detecção de campos magnéticos. Seja um campo magnético H_{ext} que se queira medir:

Colocando uma bobina com um núcleo ferromagnético imerso nesse campo, as linhas de campo se concentram ao passarem pelo núcleo devido a sua alta permeabilidade magnética. No entanto, nenhuma força eletromotriz é gerada, devido ao fluxo magnético ser constante. Nota-se, portanto, a necessidade de se ter variações nesse fluxo para se conseguir alguma medida.

A variação do fluxo magnético pode ser espontânea, se o campo que se queira medir for variável no tempo, ou provocada, onde pode ser feita a variação do fluxo indiretamente, ou pela variação da permeabilidade magnética do meio, ou pela variação da área por onde atravessam as linhas de campo. Pode-se, por exemplo, rodar uma espira num campo estático que se queira medir, a tensão induzida será proporcional ao campo, área da espira e frequência de rotação. Esse tipo de magnetômetros são conhecidos como rotativos de indução, e não são usados hoje em dia, para medidas do campo magnético.

Outra possibilidade de termos variações do fluxo magnético consiste em variar a permeabilidade do meio que é circundado pela bobina (núcleo), em outras palavras, variar a permeabilidade do núcleo da bobina.

Os magnetômetros de núcleo saturado ou magnetômetros fluxgate, são dispositivos que medem a magnitude e direção de campos magnéticos. São capazes de medir campos estáticos ou alternados e tem seu funcionamento baseado nas propriedades de saturação de ligas magnéticas moles, que possibilitam o chaveamento do fluxo magnético, devido a variação da permeabilidade magnética do material usado como núcleo. Se o núcleo tiver alta permeabilidade, o campo externo será canalizado para dentro dele e o fluxo que atravessa a espira será muito grande, o campo externo será canalizado para dentro dele e o fluxo que atravessa a espira será muito grande. Se por alguma razão a permeabilidade do meio diminuir repentinamente, o campo deixará de se concentrar dentro da espira e o fluxo total diminuirá. Nesse instante, a variação de fluxo provoca uma tensão induzida, proporcional ao campo externo a que se quer medir.

O controle da permeabilidade do material é possível através de um campo magnético adicional, denominado campo magnético de excitação, gerado a partir de um enrolamento de excitação ou simplesmente enrolamento primário. Acontece que, quando não há corrente passando no primário, a permeabilidade do núcleo é a própria

permeabilidade do material, que pode atingir valores altíssimos para materiais ferromagnéticos.

Se uma corrente suficientemente alta é aplicada no primário de tal forma a gerar um campo magnético H maior que o campo magnético de saturação do material H_s , então a permeabilidade do núcleo decresce para valores próximos ao da permeabilidade do vácuo, como se o núcleo tivesse desaparecido do interior da bobina.

Envolvendo todo o conjunto (bobina de excitação e núcleo), existe um enrolamento denominado “bobina detectora” ou simplesmente enrolamento secundário. Ela é a responsável pela detecção da variação do fluxo magnético. Cada vez que o núcleo passa da condição de saturado para não saturado ou vice versa, as linhas de campo magnético que cortam as espiras da bobina detectora induzem pulsos. Desta forma, dois pulsos são gerados a cada ciclo, obtendo-se um sinal com frequência duas vezes maior que a frequência de excitação. A amplitude e fase de cada um dos harmônicos do sinal presentes nos secundário são proporcionais à magnitude e à polaridade do campo magnético externo presente ao longo do eixo do enrolamento secundário.

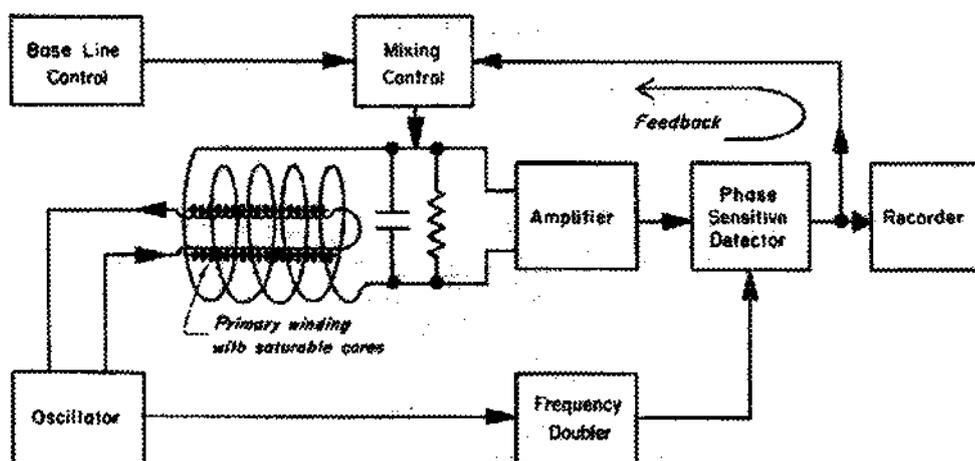


Figura 3-1 – Magnetômetro Fluxgate para medida direcional do Campo Geomagnético.

Fonte: Campbell, 1997.



3.1.2 Métodos de Detecção

Um dos métodos de detecção do campo magnético consiste em usar a diferença entre os valores de pulso positivo e negativo (Acuña and Pellerin, 1969). Pellen (Pellen, 1966) usa o pulso negativo e positivo de corrente saturando o núcleo, para achar a componente de campo axial. Na detecção por pico usa-se o fato da tensão de saída do sensor na presença de um campo magnético ter o valor de pico aumentado numa polaridade e diminuído na outra. A diferença entre os picos é zero para um sensor imerso num campo nulo. Dentro de uma banda estreita escolhida para a operação, essa diferença entre picos depende linearmente do campo medido.\

O magnetômetro usando a excitação de pulsos curtos mostrou que há determinados intervalos onde a tensão de saída é altamente sensível a presença do campo magnético axial.

Usa-se também o método de atraso de fase partindo do princípio da mudança na curva de magnetização por um campo magnético externo, fazendo com que a fase dos picos de tensão na saída do sensor sejam alteradas. Assim mede-se o atraso de fase de cada pico (em relação a excitação), e a diferença entre os atrasos nos instantes de magnetização positiva e negativa, é proporcional ao campo magnético externo medido.

Os magnetômetros auto oscilantes são considerados de um grupo separado. O multivibrador magnético construído por Takeuchi e Harada consiste de um capacitor e amplificador operacional, formando um circuito de oscilação. O seu ciclo de trabalho depende da amplitude do campo medido. Outro tipo de magnetômetro auto-oscilante tem a frequência de oscilação como variável de saída. Esses métodos têm sido usados em magnetômetros de direção a bordo de foguetes, satélites de sondagem e aplicações no chão.



O instrumento de loop aberto baseado no princípio da diferença de fase de pico, é usado onde necessita-se de baixa potência e simplicidade.

3.1.3 Magnetômetro de Segundo Harmônico Realimentado

Nestes magnetômetros, o sensor é usado como um detector de campo nulo colocado dentro de uma bobina de cancelamento de campo. A vantagem de se usar esta técnica de balanceamento é que o nulo é muito mais estável do que o sensor com uma saída qualquer para algum campo axial diferente de zero.

Como em sensores reais o desacoplamento entre a bobina de excitação e a bobina sensora não é ideal, aparecem grandes componentes da frequência fundamental e seus harmônicos ímpares da corrente de excitação realimentada. Também ocorre um alto ripple na saída do detector de fase, podendo os harmônicos ímpares causarem, para altos ganhos, a saturação dos amplificadores e em outros casos gerar apenas uma tensão de offset. Por isso introduz-se um filtro banda passante sintonizado no segundo harmônico da frequência de excitação, antes do detector de fases. Dos harmônicos pares, o segundo harmônico dá a maior estabilidade.

3.1.4 O Sensor e a Bobina de Realimentação

Pode-se usar a bobina detectora (secundário) para gerar o campo de realimentação, porém há vantagens em se fazer a realimentação por uma bobina separada, porque:

- ✓ A bobina de realimentação deve gerar um campo de nulo homogêneo, o que é dificultado pelo acoplamento próximo ao fluxo do núcleo. Uma realimentação não homogênea faz um sinal cossenoidal fora de fase aparecer na saída (Felch and Potter, 1953).

- ✓ A impedância de saída da fonte de corrente de realimentação carregará a bobina detectora e atenuará o sinal de saída. Necessita-se uma bobina que de um campo de realimentação DC altamente uniforme e que tenha um coeficiente de acoplamento muito baixo com o fluxo do núcleo do sensor.

Ao usar uma bobina detectora também como realimentação, o eixo magnético dependeria do eixo da bobina de realimentação e do eixo do núcleo. Um mal alinhamento entre os eixos introduziria sensibilidade a campos perpendiculares ao eixo da bobina de realimentação. Fortes campos perpendiculares não compensados podem afetar a estabilidade de zero do sensor.

Uma das maneiras de solucionar esses problemas é colocar os sensores num campo nulo de três eixos constante para evitar os efeitos de magnetização de campos transversais de outros sistemas de nulo (outros eixos).

3.1.5 Magnetômetro Fluxgate Curto Circuitado

Nos magnetômetros fluxgate convencionais, a saída da bobina detectora (secundário) é conectada a um amplificador com uma alta impedância de entrada de tal forma que a tensão induzida nessa bobina seja a tensão de saída do detector. Prindahl et al. (1989) introduziram outro método de acoplamento. Eles curto circuitaram a bobina detectora com um conversor tensão-corrente de baixa impedância. A amplitude dos pulsos de corrente é linearmente dependente do campo medido e teoricamente independente dos parâmetros da excitação (assumindo que a corrente de excitação é grande o suficiente para saturar completamente o núcleo). A baixa impedância de entrada da eletrônica elimina problemas com as capacitâncias parasitas da bobina e cabos e o projeto de amplificador de entrada com baixo ruído é simplificado.

3.1.6 Magnetômetro de Segundo Harmônico Sintonizado

O senso fluxgate consiste de um fluxo ferromagnético, com uma bobina de excitação (chamada de primário) e uma bobina sensora (chamada de secundário). O núcleo é periodicamente levado à saturação magnética por uma corrente de excitação alternada, onde o núcleo perde a maior parte de sua permeabilidade magnética duas vezes a cada ciclo da excitação. A geometria núcleo/secundário é aberta aos campos magnéticos externos. Já o circuito primário de excitação é fechado e desacoplado do secundário. Uma tensão alternada com segundo harmônico e também harmônicos pares de ordem mais alta (4f, 6f, 8f, etc.) da frequência de excitação é induzida na bobina secundária, pelo efeito combinado da intensidade do campo magnético externo e da mudança periódica da permeabilidade do núcleo. As amplitudes dos harmônicos pares são proporcionais à magnitude do campo magnético externo e dependendo do sucesso no desacoplamento entre o campo de excitação e a bobina detectora (primário e secundário) respectivamente, uma pequena quantidade de excitação e seus harmônicos ímpares de ordem mais alta estarão presentes, pelo assim conhecido efeito de transformador.

O sensor não distingue entre um verdadeiro campo externo, e campos originários de correntes fluindo no secundário. Assim pode-se anular o campo externo, realimentando esse campo com uma conveniente corrente de compensação no secundário, fazendo com que o sensor trabalhe em campo nulo. Se o sensor é sintonizado no segundo harmônico da frequência de excitação, por um capacitor em paralelo à saída do secundário, então a amplificação do sinal de segundo harmônico resulta em dependência das perdas do circuito e de cargas externas (Acuña and Pellerin, 1969).

O efeito atinge mais do que o ganho, bem conhecido num circuito de alto Q, isto é, uma amplificação paramétrica, como primeiramente analisada por Serson e Hannaford (Serson e Hannaford, 1956) e para circuitos de perdas suficientemente

pequenas, a saída do sensor torna-se instável. Eles explicam a amplificação paramétrica e instabilidade pela consideração do efeito de corrente no secundário no instante de saturação do núcleo, quando o sensor é mais sensível ao campo externo.

A performance do sensor fluxgate sintonizado no segundo harmônico é inferior a performance do sensor não sintonizado, exceto para tensão de saída que é maior para o sensor sintonizado, devido a:

- ✓ Mudanças nas curvas de magnetização do núcleo e no nível de excitação afetará a amplificação paramétrica do sensor sintonizado de segundo harmônico resultando em mudanças de fase e amplitude do sinal. O sensor não sintonizado mostrará menor variação de tensão de saída e consideravelmente menor variação de fase.
- ✓ A amplificação paramétrica no sensor sintonizado introduz ruídos adicionais na saída do sinal. Como o ruído do sensor não sintonizado é de uma a duas ordens de grandeza maior do que o ruído de entrada de um filtro/amplificador, então a relação sinal/ruído de um sensor não sintonizado será superior aquele do sensor sintonizado.
- ✓ Em aplicações onde o ruído e a estabilidade não são fatores tão importantes, a amplificação paramétrica num sensor fluxgate sintonizado no segundo harmônico, é um simples filtrar e deixar maior o sinal vindo do secundário.

3.1.7 Magnetômetro de Harmônicos Pares

Com uma configuração de um magnetômetro curto-circuitado, Prindahl (Prindahl et al.,1989) construiu e testou um magnetômetro usando como método de detecção todos os harmônicos pares. A justificativa parecia bastante razoável, já que



seria usada toda a informação contida no sinal sobre o campo magnético externo e não somente a informação contida no segundo harmônico. Isso abriria a possibilidade desse tipo de detecção apresentar uma melhor razão sinal/ruído que a detecção de segundo harmônico.

O método de detecção por todos os harmônicos deveria ser melhor que o método de detecção de segundo harmônico, se o ruído em cada harmônico fosse completamente aleatório. Se o ruído tiver alguma correlação de fase a contribuição de cada harmônico para o aumento do sinal detectado, deve crescer na mesma proporção que o ruído total. Mesmo que todos os componentes dos harmônicos pares carreguem mais informação sobre o campo medido, foi demonstrado que o método de detecção de segundo harmônico tem melhor relação sinal/ruído.

3.1.8 Ruído

Para construir um bom sensor fluxgate, deve-se levar em conta a importância e possíveis causas do ruído. Como fatores necessários temos a estabilidade, a precisão, grande faixa de medida, offset (nulo ou muito baixo) e certamente baixo ruído. Geralmente o que encontramos são alguns fatores que degradam o sinal de saída a ponto de se tornar impróprio o seu uso para certas aplicações. O ruído de um núcleo magnético provém de três fontes:

- ✓ Ruído de Nyquist, também conhecido como ruído térmico ou ruído de Johnson, para uma temperatura T e uma corrente de magnetização I constantes;
- ✓ Ruído devido a mudanças na temperatura, com I constante;
- ✓ Ruído de Barkhausen, devido a mudança da corrente de magnetização.



Deve-se ter muito cuidado na escolha do material magnético com que é feito o núcleo, pois imperfeições no material causam ruído no sensor devido a magnetostricção e a incerteza da magnetização. O nível de ruído pode ser reduzido, usando uma corrente de excitação de alto pico. Chegou-se a conclusão que existem regiões dentro do material que oferecem uma maior resistência à magnetização, e por isso, correntes de excitação maiores são necessárias para magnetizá-las.

Além do material com que é feito o núcleo, a geometria do sensor também influi no ruído através do fator de desmagnetização. Com relação a frequência de excitação o ruído diminui se esta for aumentada até um certo limite, após isso com o aumento da frequência de excitação há um aumento do ruído. Componentes ruidosos ou aterramentos mal feitos podem deteriorar a resposta do fluxgate. Cuidados especiais na construção deste tipo de aparelho deve ser aplicado. Um mal enrolamento feito pode causar um acoplamento magnético entre a bobina detectora (secundário) e a bobina de excitação (primário) elevando o ruído a níveis muito acima do ruído térmico. Esse acoplamento faz com que o sensor se comporte como um transformador e parte do sinal da excitação é passada para a bobina detectora. Como no sinal de excitação pode conter harmônicos pares, isso causará o aparecimento de um offset sobreposto ao valor do campo detectado. Caso haja flutuação no sinal de excitação ou no acoplamento entre as bobinas, isso será interpretado como uma variação do campo externo.

Outra fonte de ruído é a fuga da linha de campo para fora do núcleo, que também produz um offset na saída do sensor e aumenta o ruído total. Ajustes por rotação do núcleo podem minimizar os efeitos de borda e o acoplamento entre os enrolamentos primário e secundário. Um sinal de excitação com o mínimo de harmônicos pares ajuda muito a diminuir os efeitos do offset e do ruído total.



CAPÍTULO 4

RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Atividades Desenvolvidas

Durante o trabalho na área de Geomagnetismo foram realizadas visitas periódicas ao Observatório Espacial do Sul do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, – OES/CRSPE/INPE – MCT a fim de coletar dados e exercer a manutenção dos equipamentos de medição, atividades desenvolvidas no âmbito da Parceria: INPE – UFSM.

Com os dados coletados do magnetômetro instalado no observatório de São Martinho da Serra foram feitas filtragens através de software para facilitar a análise e catalogação dos dados na forma de gráficos das variações das componentes H, D e Z que estão descritas no capítulo 2 deste relatório.

Os dados obtidos com o magnetômetro foram convertidos e analisados através de gráficos com ajuda do software NAROD FLUXGATE – V1.0(WINDOWS) desenvolvido pelo Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA – INPE – MCT. A conversão é feita com um arquivo de 24 aquisições que corresponde a um dia de aquisição. O software gera um arquivo com valores numéricos dos dados e a partir dele traça o gráfico correspondente ao dia analisado.

De acordo com o modelo abaixo na Figura 4.1 podemos ver o gráfico gerado pelo software NAROD onde o título acima do gráfico representa o dia em que foram obtidos os dados e as curvas verde, azul e vermelha representam os elementos do campo geomagnético H, D e Z respectivamente.

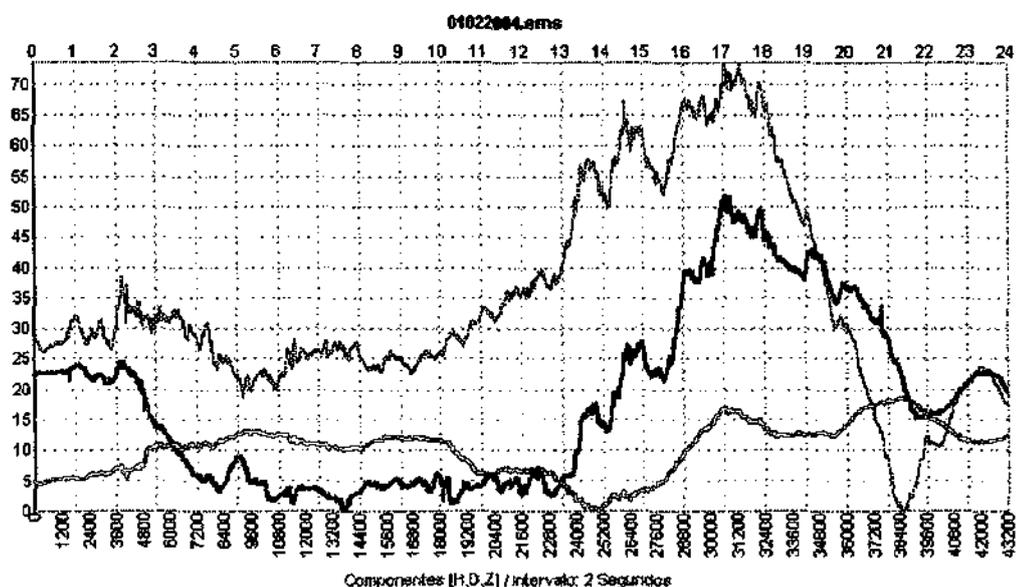


Figura 4.1 – Gráfico referente ao dia 01022004 das componentes H, D e Z do Campo Magnético Terrestre da Estação Magnética do Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, de São Martinho da Serra, gerado pelo software NAROD.

No eixo superior do gráfico nota-se a as horas do dia de aquisição percorrendo às 24 horas do dia. No eixo inferior está representada a taxa de aquisição dos dados que neste caso foram com intervalo de 2 segundos de modo que em uma hora de análise são coletados 1200 pontos na amostragem e ao final do dia são 43200 pontos coletados. No eixo lateral está relacionada à amplitude do campo magnético para as medições das componentes H, D e Z.

Os eventos geomagnéticos coletados no Observatório Espacial do Sul em São Martinho da Serra, RS são filtrados e convertidos em gráficos para futura comparação com outras estações espaciais espalhadas pelo Brasil a fim de se estudar os efeitos causados pela Anomalia Magnética do Atlântico Sul a qual a estação de São Martinho da Serra está submetida.



No anexo A deste Relatório estão expostos alguns dos gráficos recentemente catalogados no período do primeiro semestre de 2004. No anexo B encontram-se a comparação de gráficos catalogados na estação de São Martinho da Serra, RS com a estação de Vassouras, RJ.

Estudos de técnicas de análise de dados continuam sendo feitas pelo bolsista a fim de retirar o máximo de informações impressas na comparação dos dados coletados com outras estações magnéticas. Resultados encontrados até o momento estão descritos no próximo capítulo.

4.2 Perspectivas Futuras

- ✓ Aprofundar estudos sobre pulsações geomagnéticas contínuas e impulsivas. Estudar processos físicos responsáveis pela geração destas pulsações, estudando conjuntamente as pulsações Observadas no Observatório Espacial do Sul do Centro Regional de Pesquisas Espaciais, São Martinho da Serra, RS – SMS;
- ✓ Estudar novas técnicas de análise de dados para tirar o maior proveito dos dados coletados pelo magnetômetro;
- ✓ Estudar e elaborar apresentações de trabalhos na área de geomagnetismo para a apresentação em congressos e jornadas acadêmicas;
- ✓ Continuar realizando medidas das variações geomagnéticas que ocorrem na região da Anomalia Geomagnética do Atlântico Sul para levantar as características das pulsações geomagnéticas na região da Anomalia;
- ✓ Continuar realizando visitas técnicas ao Observatório Espacial de São Martinho da Serra para manutenção de equipamentos e coletas de dados;



- ✓ Aprofundar estudos sobre o magnetômetro fluxgate para uma futura implementação;



CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

Através de um magnetômetro de núcleo saturado “Fluxgate Magnetometer”, foram efetuadas medidas das componentes H, D e Z do Campo Geomagnético na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS, na Estação Magnética de São Martinho da Serra, RS.

Com o magnetômetro instalado, foi possível estudar as pulsações geomagnéticas causadas pela interação do Vento Solar com a Magnetosfera. Comparando os resultados obtidos na Estação Magnética do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional de Pesquisas Espaciais de São Martinho da Serra, RS – OES/CRSPE/INPE – MCT, com outras Estações Magnéticas, pôde-se verificar que em alguns eventos, as variações impulsivas na região da AMAS têm amplitudes maiores devido às precipitações de partículas carregadas como elétrons e prótons já que existe uma menor intensidade do Campo Geomagnético nessa região.

Porém, normalmente as medidas obtidas no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra durante o dia, são menores devido a altas correntes ionosféricas que ocorrem ao redor do Equador Magnético, entretanto durante a noite as amplitudes se assemelham mais.

Alguns gráficos comparando as Estações Magnéticas são apresentados em anexo a este Relatório.

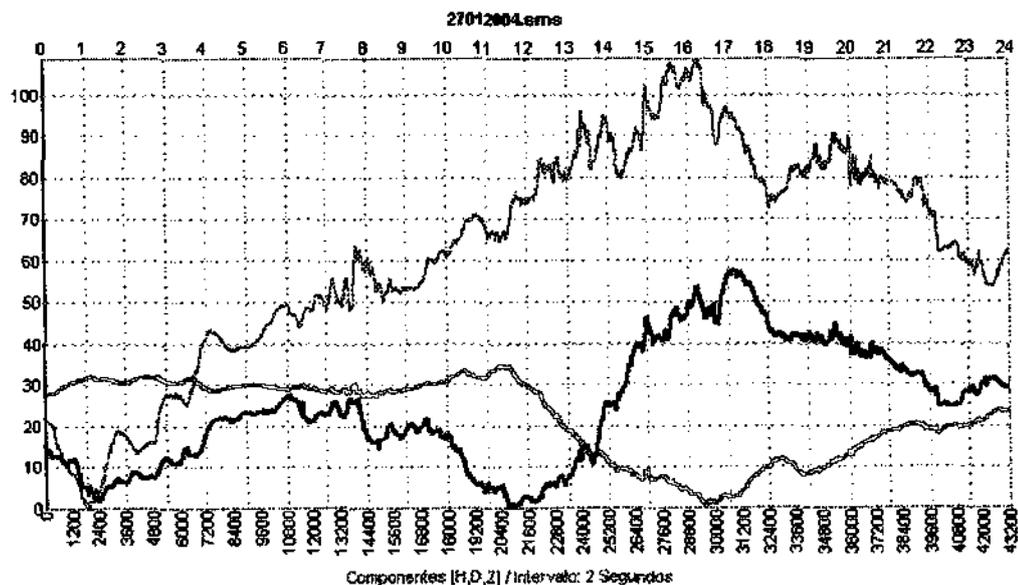


BIBLIOGRAFIA

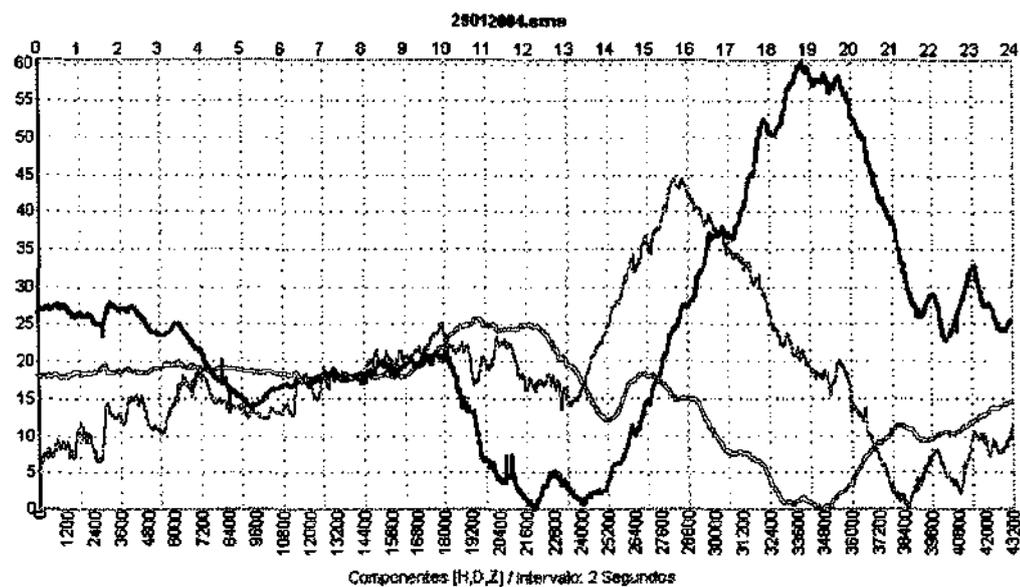
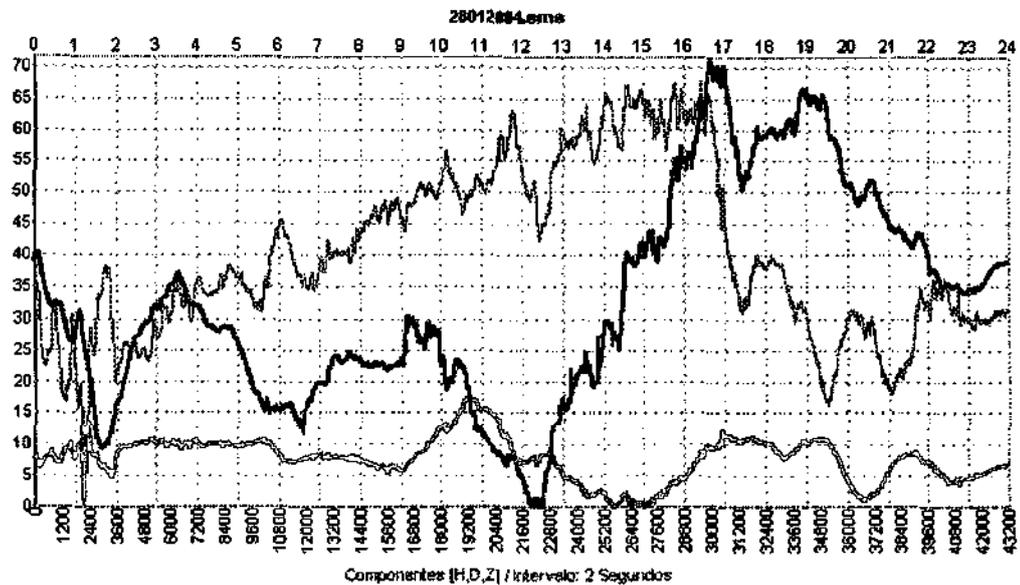
- Amarante, J. A. A.** General Topics on Geomagnetism and Studies of the Occurrence of Micropulsations in São José dos Campos. Relatório interno do INPE / LAPE – 48, 1966.
- Barbosa, Maria José Faria.** Sistema de Medidas de Pulsações Geomagnéticas. São José dos Campos, SP – 2003.
- Campbell, W. H.** 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.
- Kabata, Wanderlí.** Magnetômetro Fluxgate para Satélites Científicos. São José dos Campos, SP – 2000.
- 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^o 09, 1986.
- Schuch, N. J.; Adame, 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.
- Scientific American Brasil** – Ano 2, n^o 23.

ANEXOS A

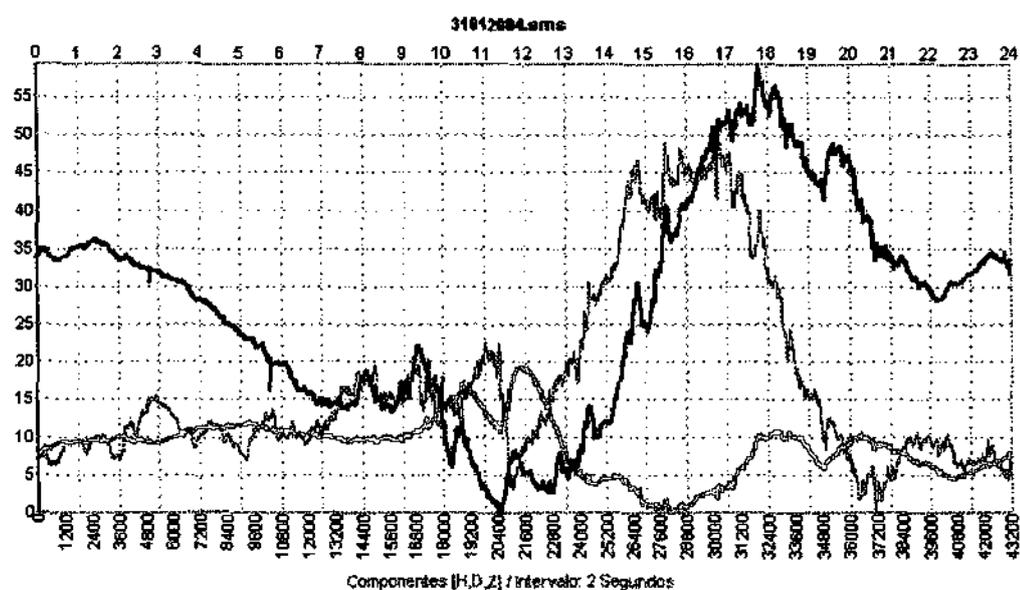
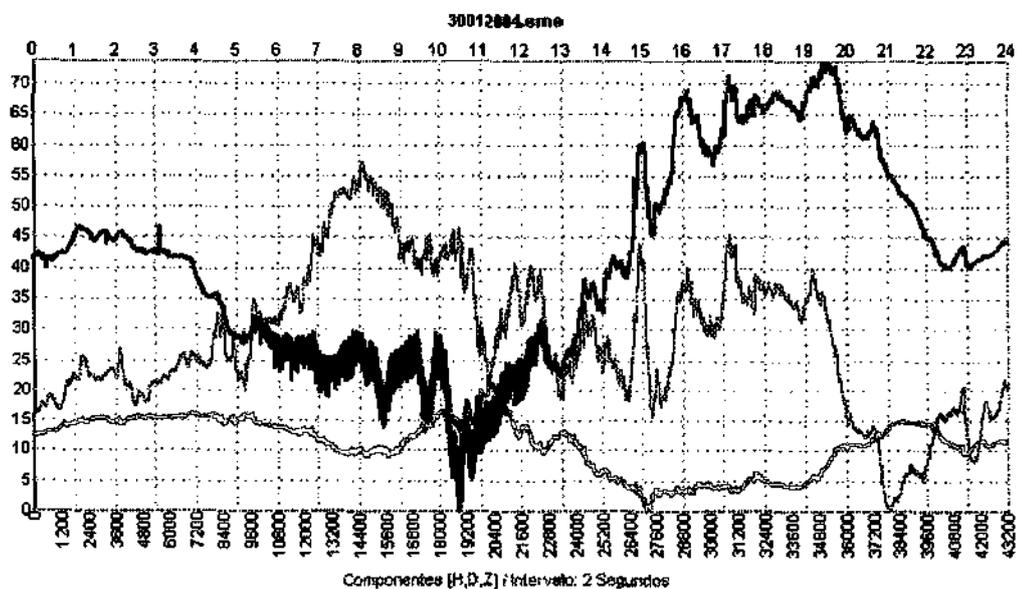
A análise dos dados obtidos no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS, 29°S, 53°W, através de um magnetômetro fluxgate são apresentados nas Figuras A1 a A7. Os dados obtidos com o magnetômetro foram convertidos e analisados através de gráficos com ajuda do software NAROD FLUXGATE – V1.0(WINDOWS), desenvolvido pela Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE – MCT, onde o título acima do gráfico representa o dia em que foram obtidos e as curvas verde, azul e vermelha representam os elementos do campo geomagnético H, D e Z respectivamente.



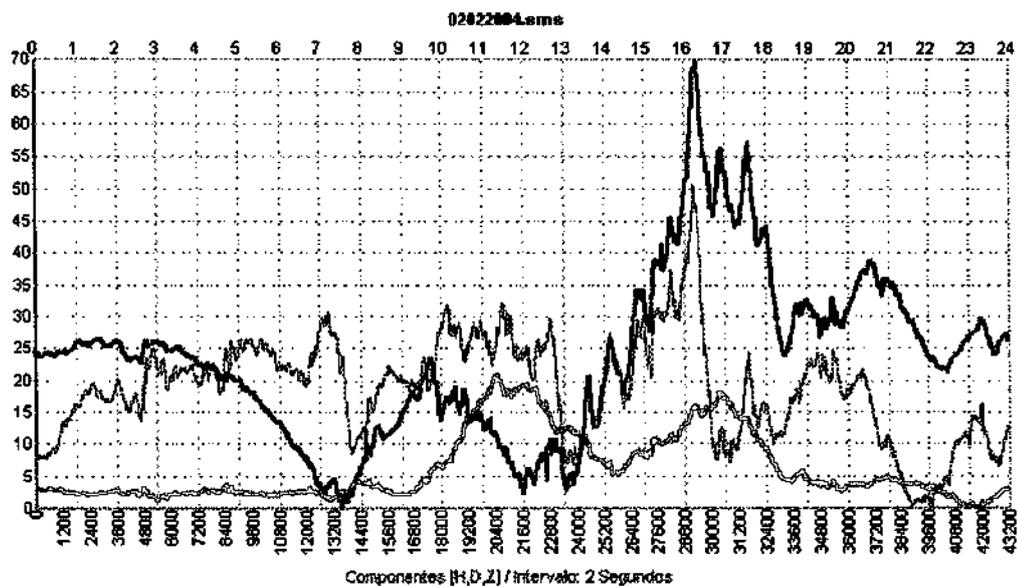
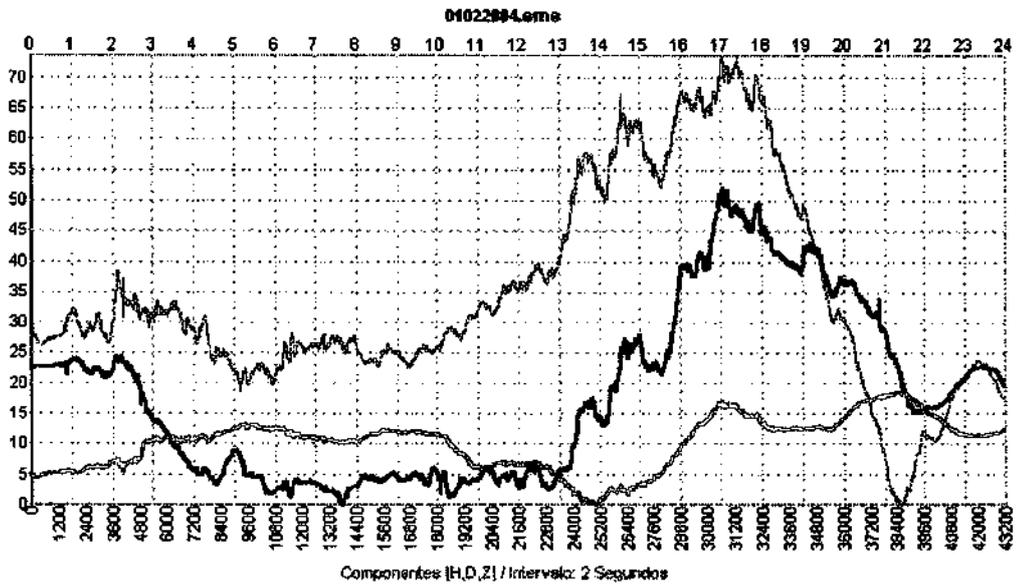
Anexo A 1 – Gráfico referente ao dia 27012004 das componentes H, D e Z do Campo Magnético Terrestre da Estação Magnética do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional de Pesquisas Espaciais, em São Martinho da Serra.



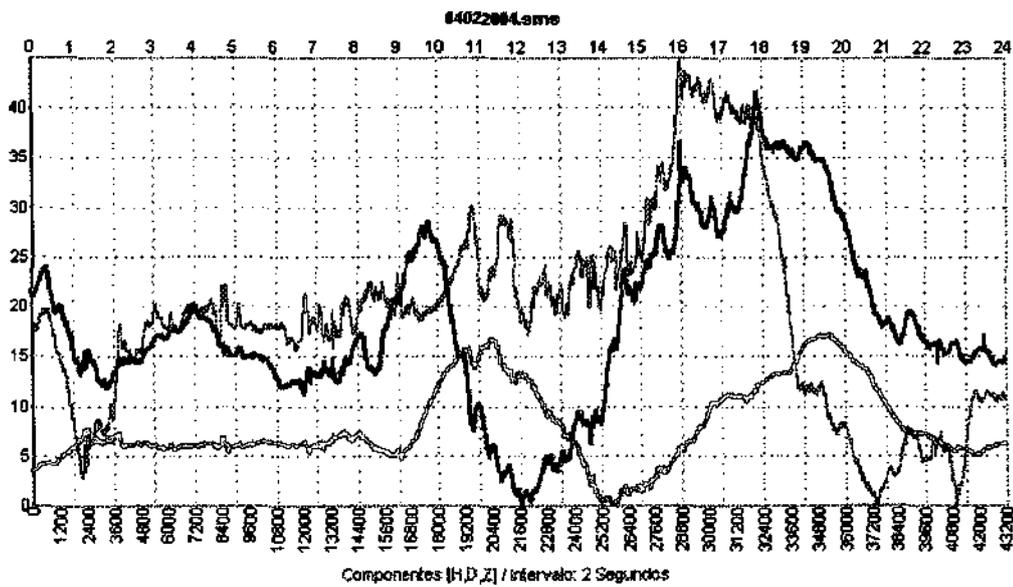
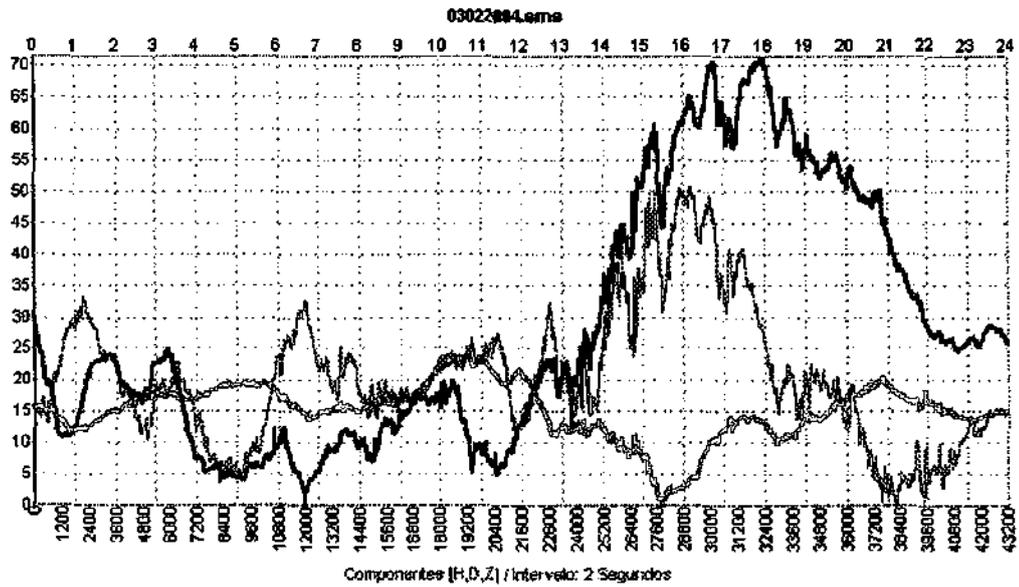
Anexo A 2 – Gráficos referentes aos dias 28012004 e 29012004 das componentes H, D e Z do Campo Magnético Terrestre da Estação Magnética do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional de Pesquisas Espaciais, em São Martinho da Serra.



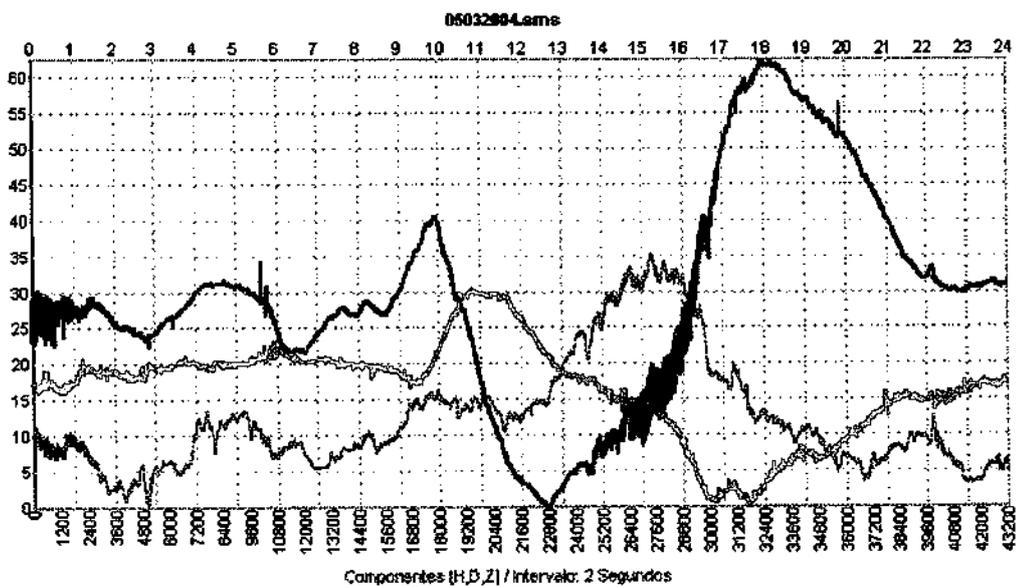
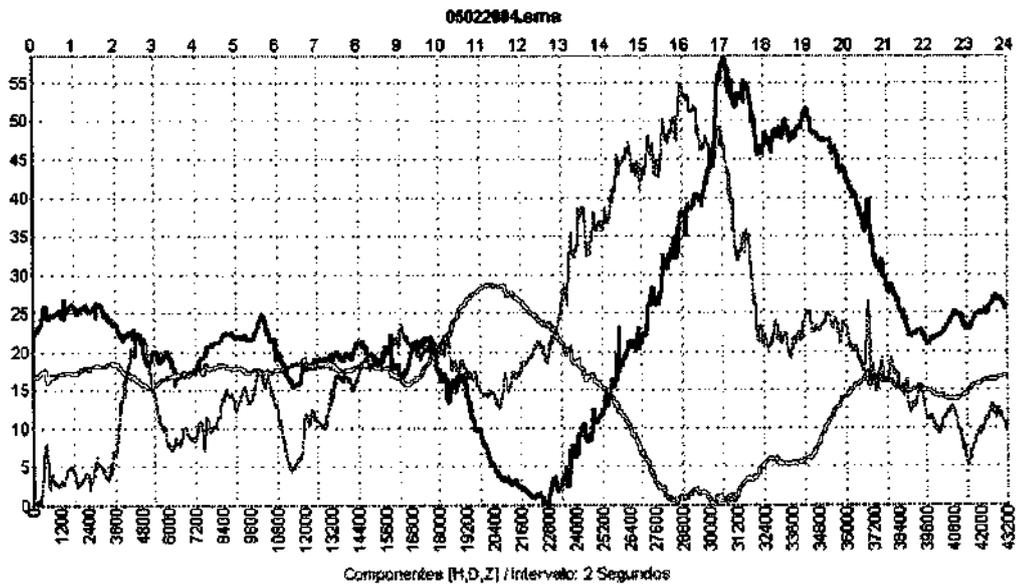
Anexo A 3 – Gráficos referentes aos dias 30012004 e 31012004 das componentes H, D e Z do Campo Magnético Terrestre da Estação Magnética do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional de Pesquisas Espaciais, em São Martinho da Serra.



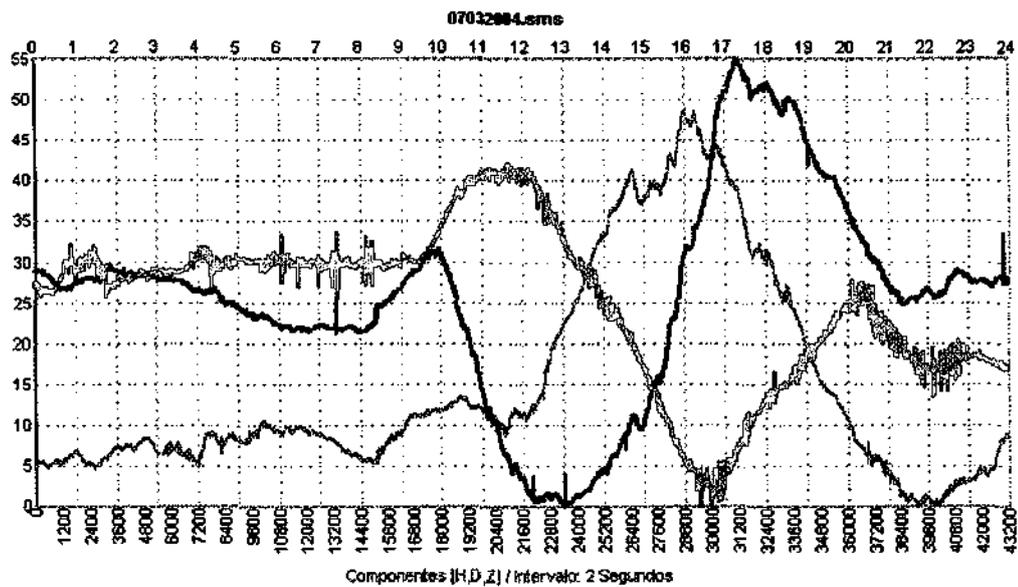
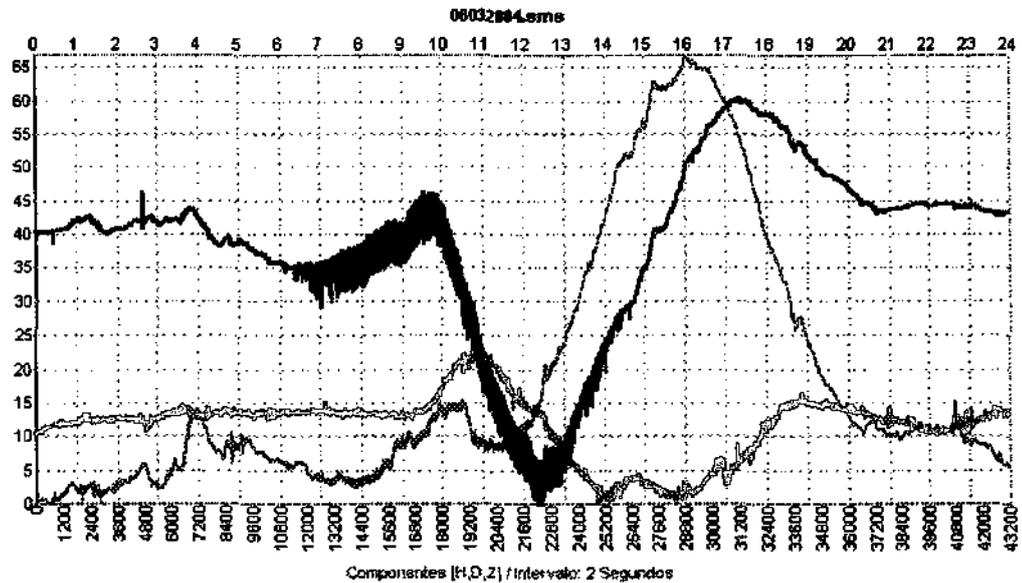
Anexo A 3 – Gráficos referentes aos dias 01022004 e 02022004 das componentes H, D e Z do Campo Magnético Terrestre da Estação Magnética do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional de Pesquisas Espaciais, em São Martinho da Serra.



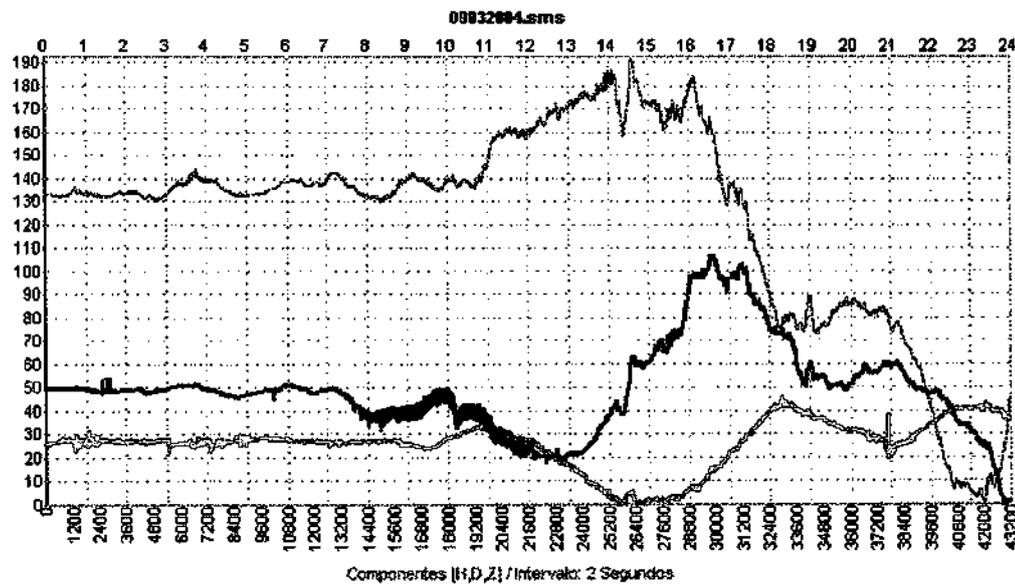
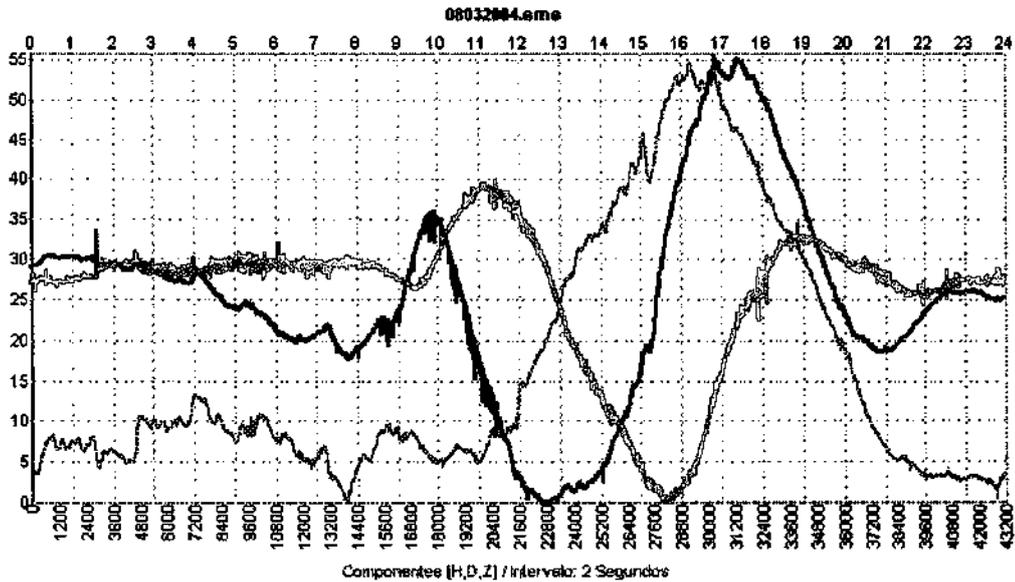
Anexo A 4 – Gráficos referentes aos dias 03022004 e 04022004 das componentes H, D e Z do Campo Magnético Terrestre da Estação Magnética do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional de Pesquisas Espaciais, em São Martinho da Serra.



Anexo A 5 – Gráficos referentes aos dias 05022004 e 05032004 das componentes H, D e Z do Campo Magnético Terrestre da Estação Magnética do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional de Pesquisas Espaciais, em São Martinho da Serra.



Anexo A 6 – Gráficos referentes aos dias 06032004 e 07032004 das componentes H, D e Z do Campo Magnético Terrestre da Estação Magnética do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional de Pesquisas Espaciais, em São Martinho da Serra.

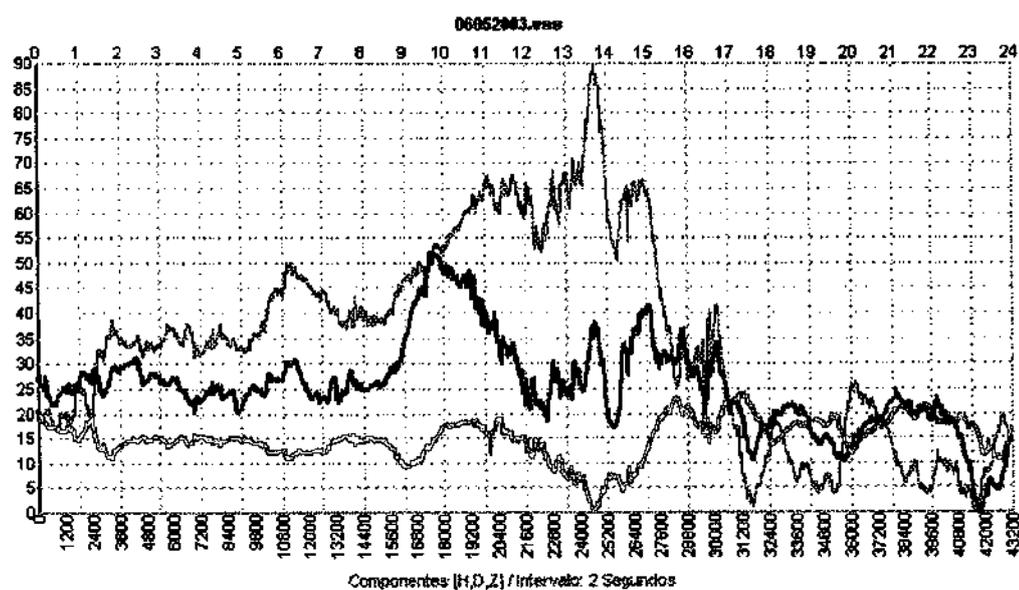
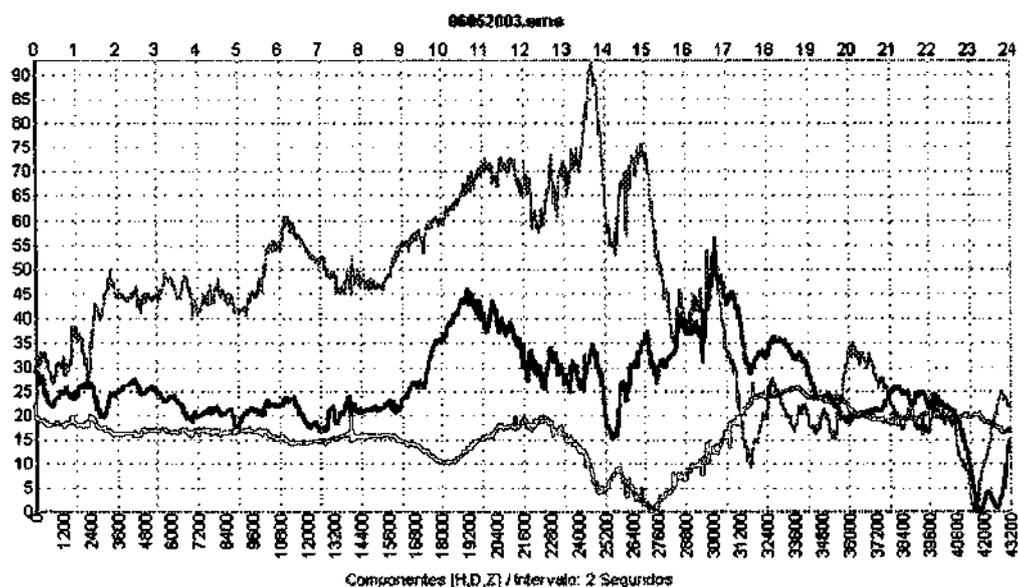


Anexo A 7 – Gráficos referentes aos dias 08032004 e 09032004 das componentes H, D e Z do Campo Magnético Terrestre da Estação Magnética do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional de Pesquisas Espaciais, em São Martinho da Serra.

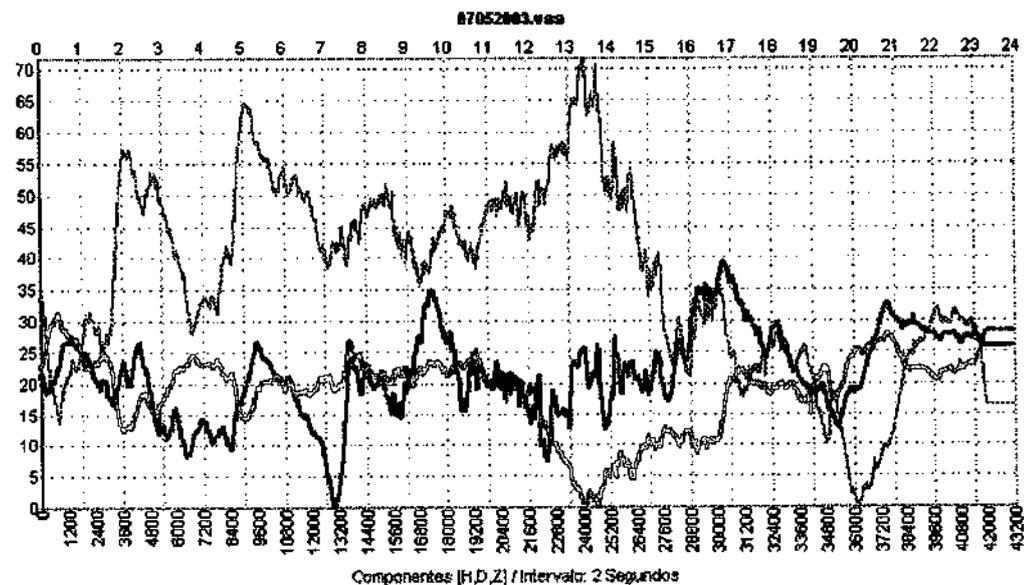
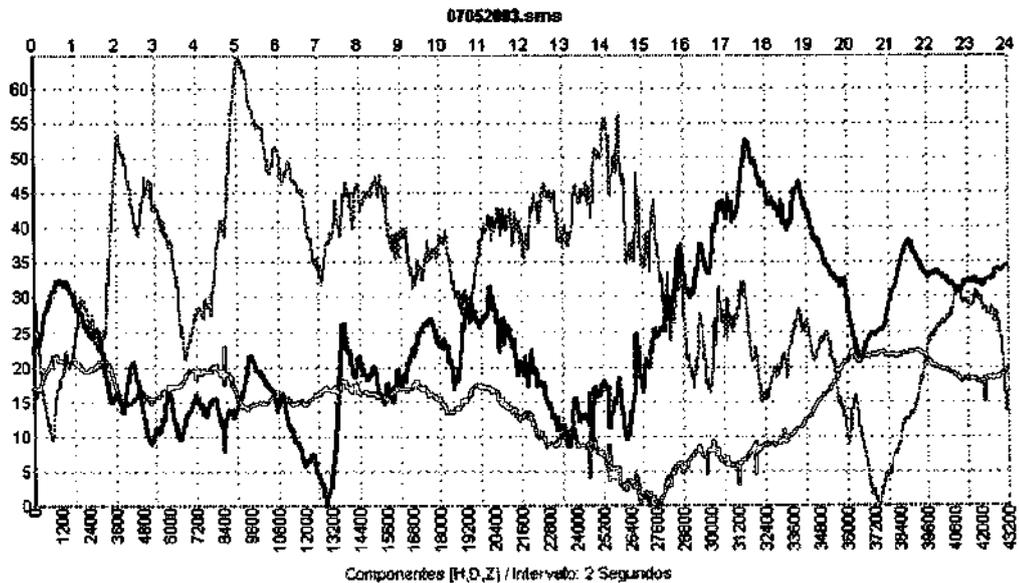


ANEXOS B

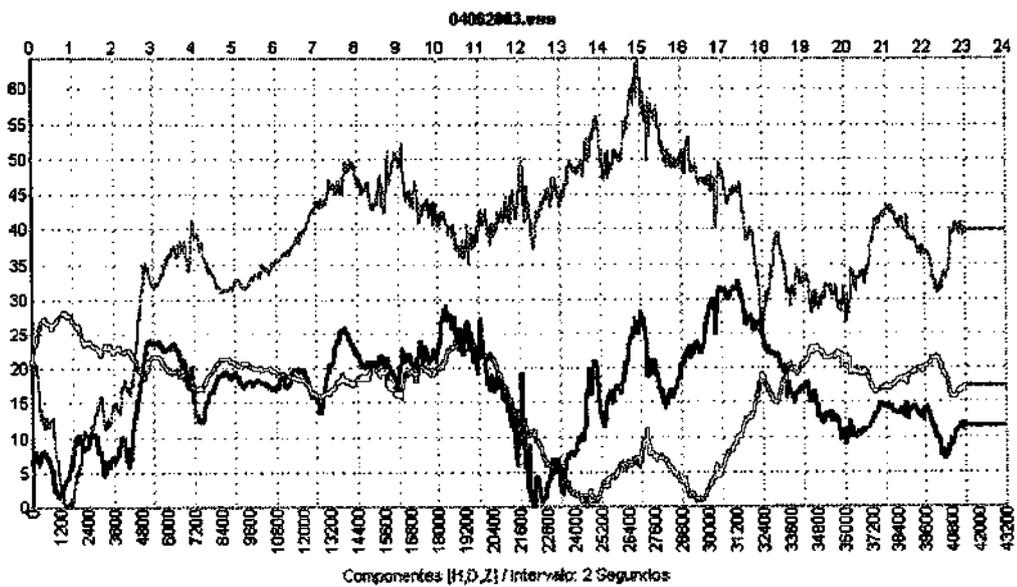
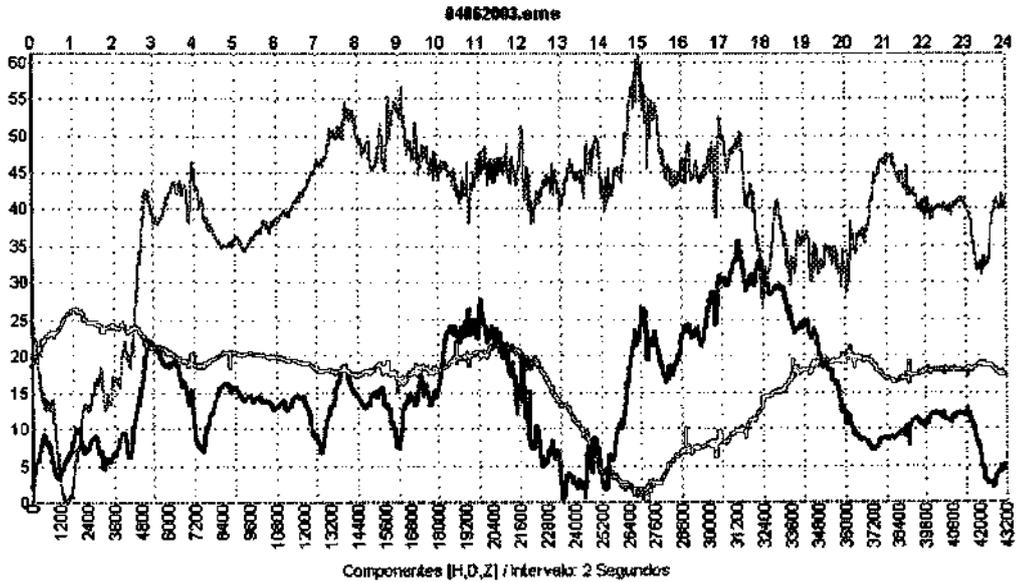
A análise dos dados de meses anteriores no ano de 2003, comparando a Estação Geomagnética do Observatório Espacial do Sul do Centro Regional de Pesquisas Espaciais em São Martinho da Serra, RS à outra Estação Geomagnética do Observatório Magnético de Vassouras, RJ, gerados através do software NAROD são apresentados nas Figuras B1 a B11.



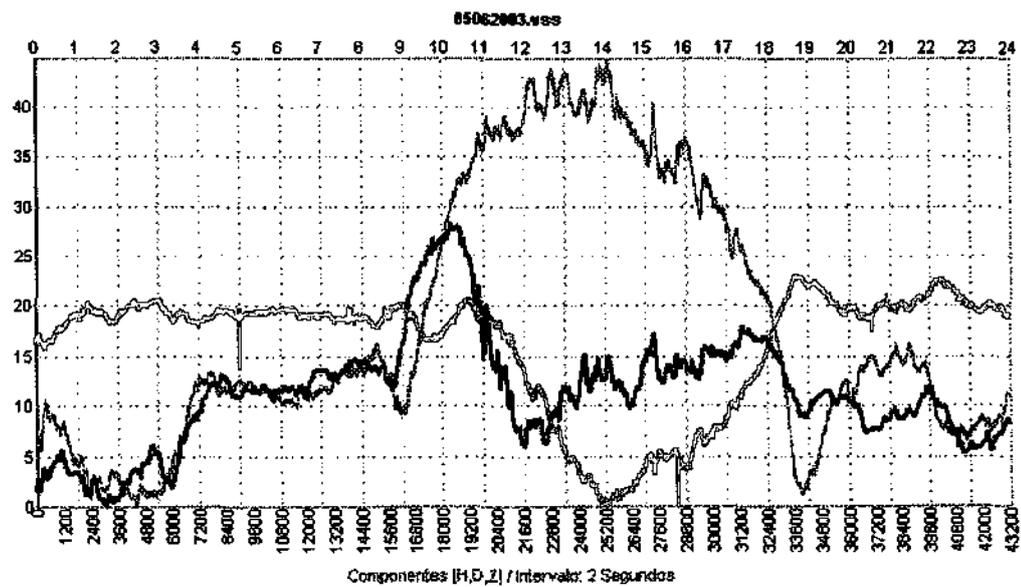
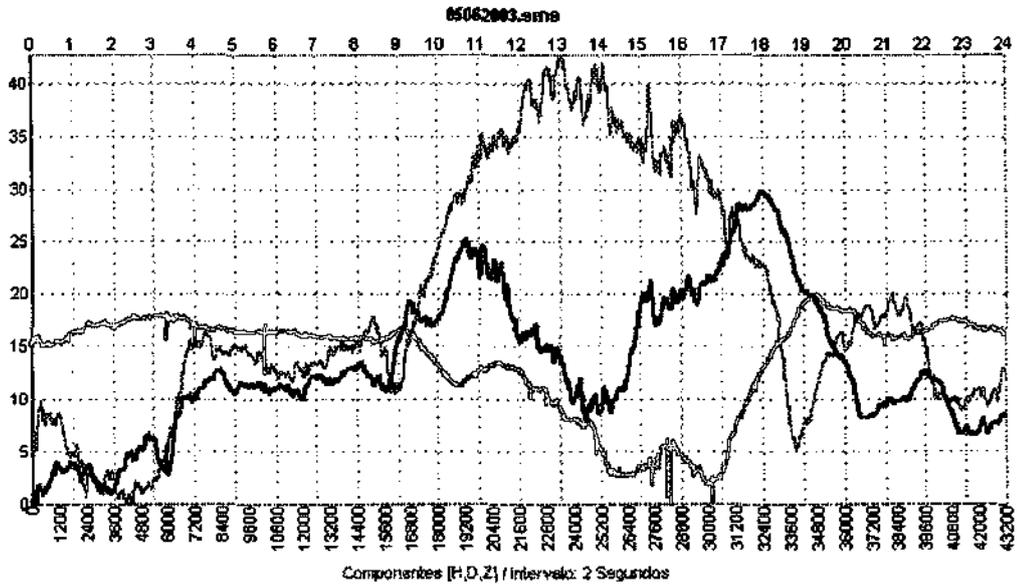
Anexo B 1 – Flutuações do Campo Geomagnético, referentes ao dia 06052003, das componentes H, D e Z nas Estações Magnéticas, do Observatório Espacial do Sul, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em São Martinho da Serra, RS, SMS, e do Observatório Magnético de Vassouras, do Observatório Nacional, em Vassouras, RJ, VSS.



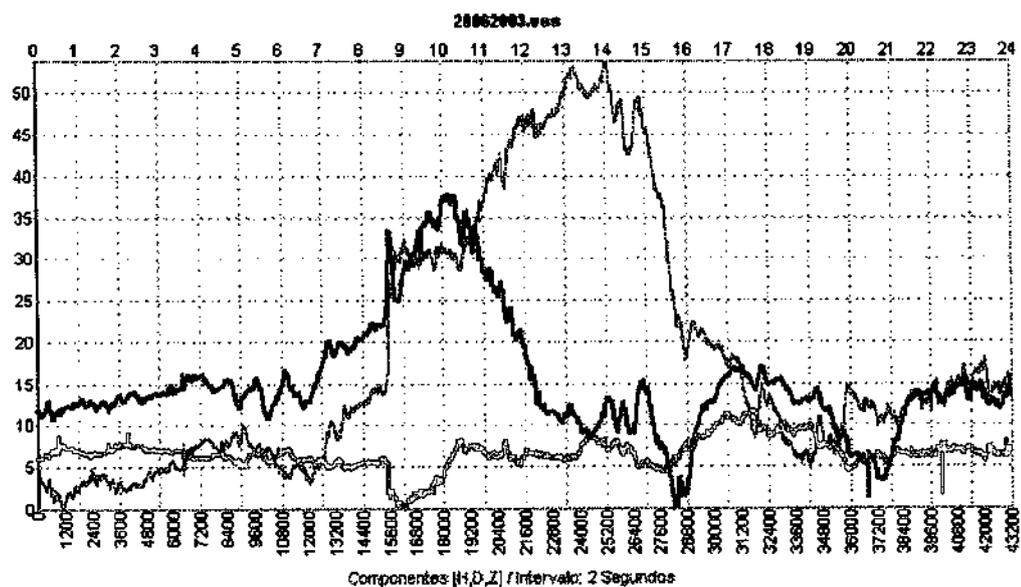
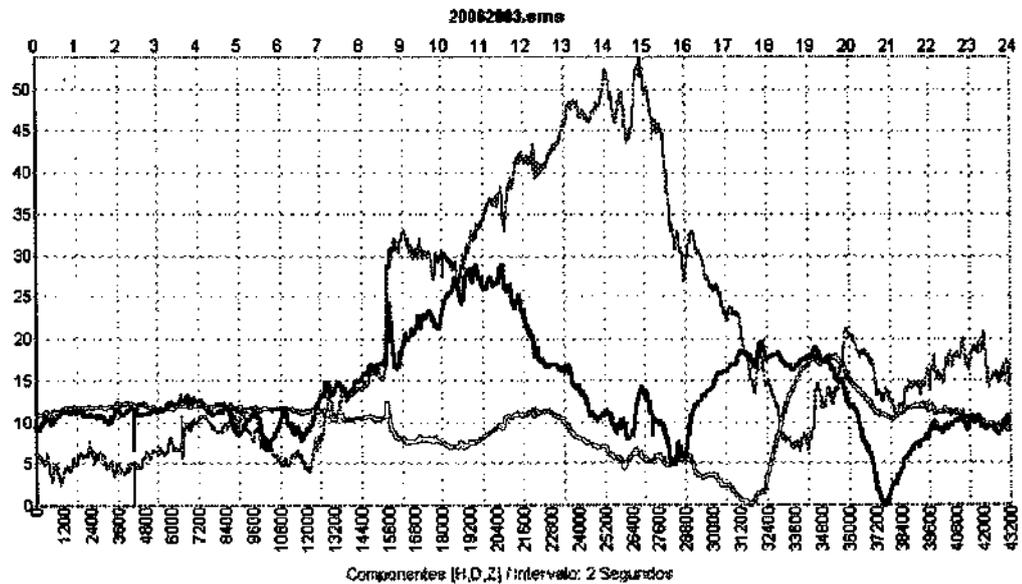
Anexo B 2 – Flutuações do Campo Geomagnético, referentes ao dia 07052003, das componentes H, D e Z nas Estações Magnéticas, do Observatório Espacial do Sul, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em São Martinho da Serra, RS, SMS, e do Observatório Magnético de Vassouras, do Observatório Nacional, em Vassouras, RJ, VSS.



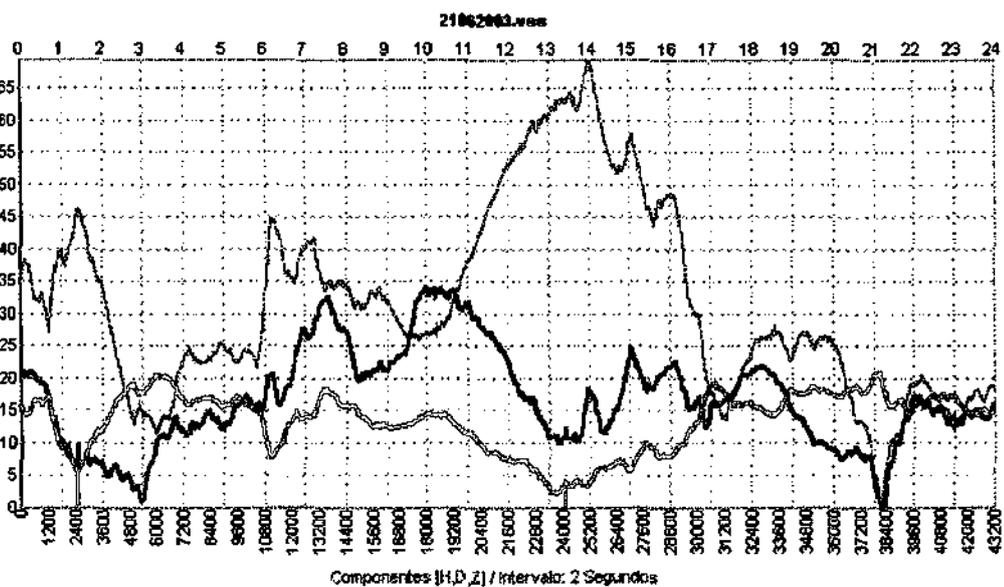
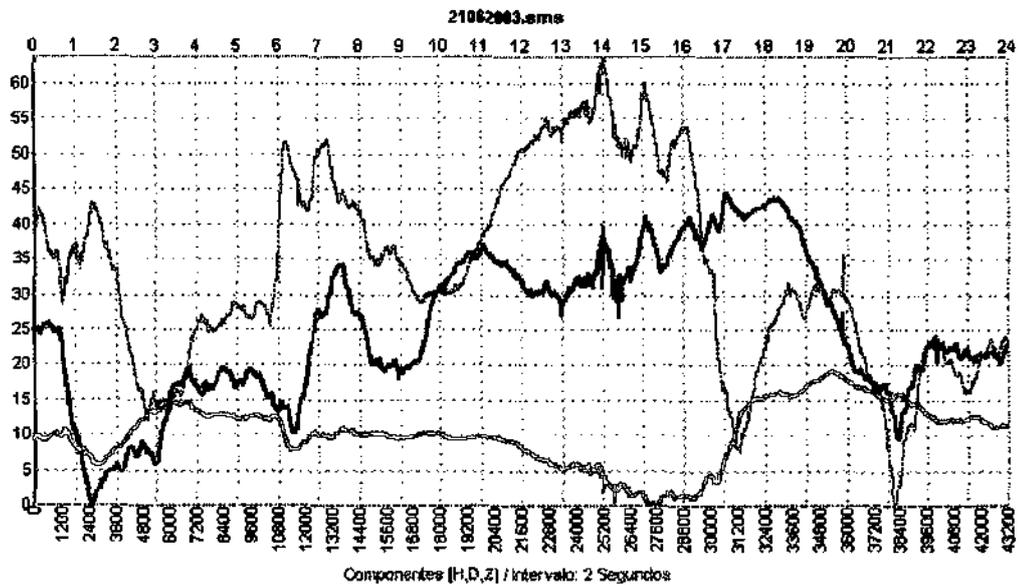
Anexo B 3 – Flutuações do Campo Geomagnético, referentes ao dia 04062003, das componentes H, D e Z nas Estações Magnéticas, do Observatório Espacial do Sul, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em São Martinho da Serra, RS, SMS, e do Observatório Magnético de Vassouras, do Observatório Nacional, em Vassouras, RJ, VSS.



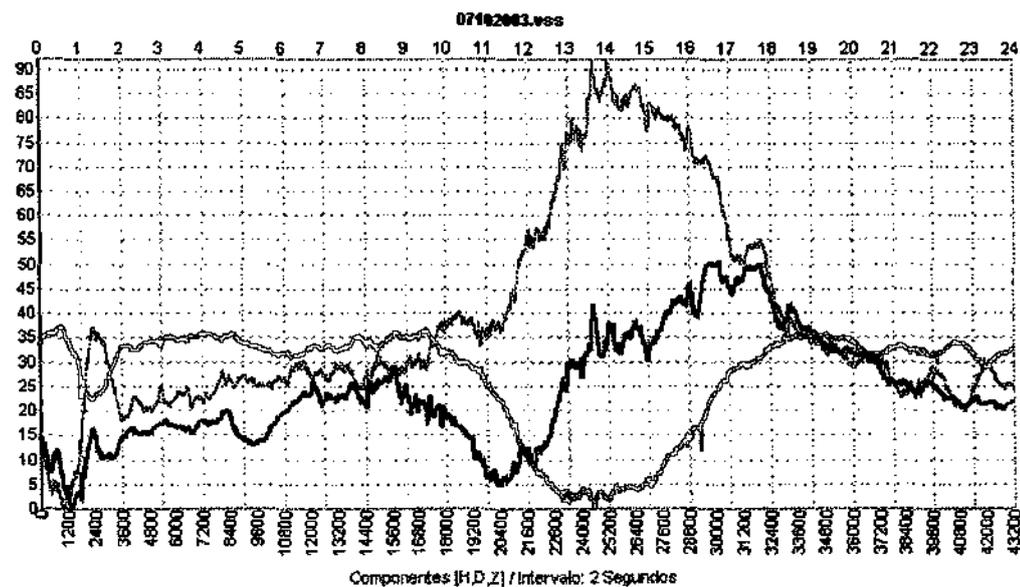
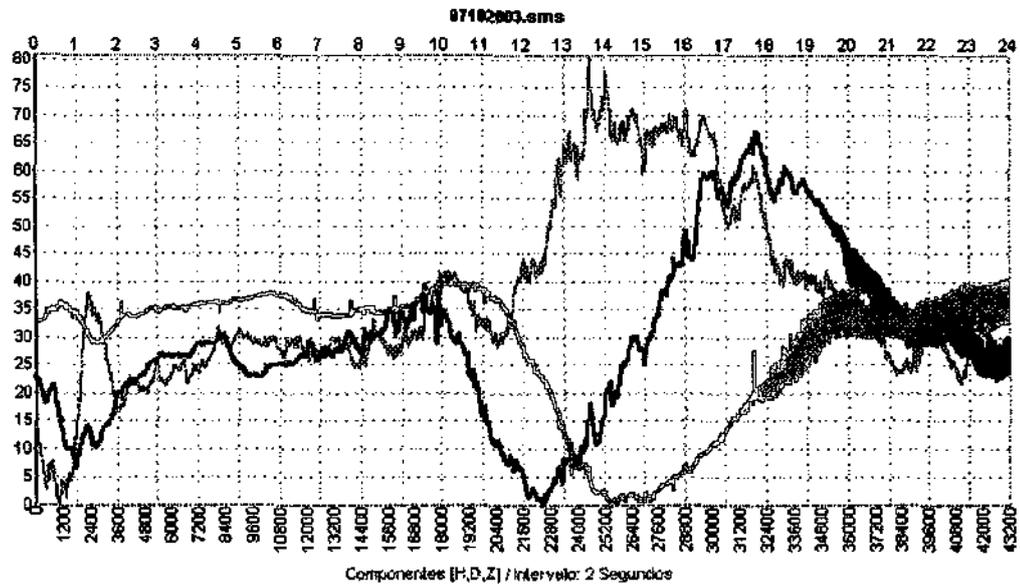
Anexo B 4 – Flutuações do Campo Geomagnético, referentes ao dia 05062003, das componentes H, D e Z nas Estações Magnéticas, do Observatório Espacial do Sul, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em São Martinho da Serra, RS, SMS, e do Observatório Magnético de Vassouras, do Observatório Nacional, em Vassouras, RJ, VSS.



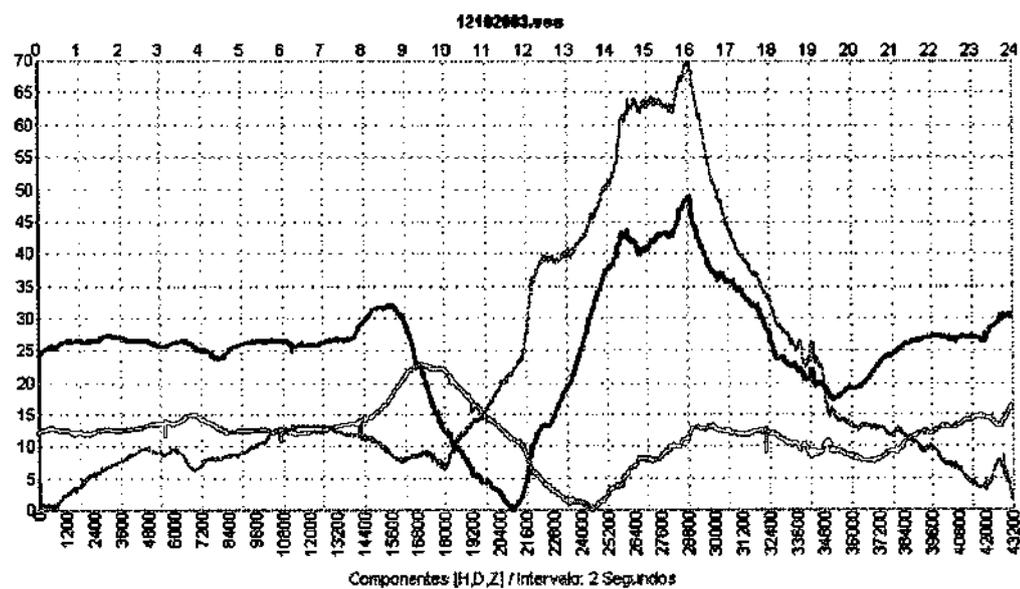
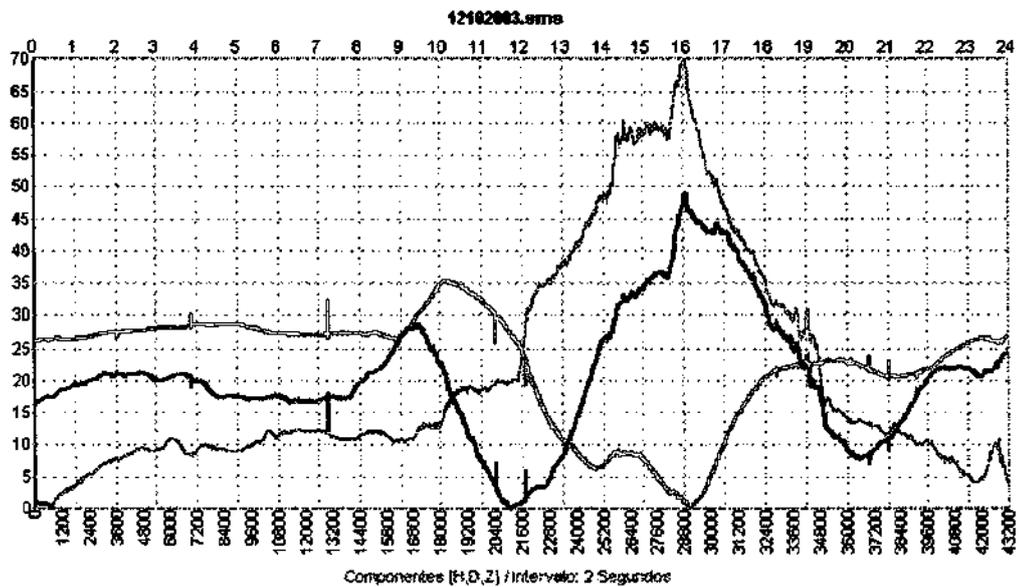
Anexo B 5 – Flutuações do Campo Geomagnético, referentes ao dia 20062003, das componentes H, D e Z nas Estações Magnéticas, do Observatório Espacial do Sul, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em São Martinho da Serra, RS, SMS, e do Observatório Magnético de Vassouras, do Observatório Nacional, em Vassouras, RJ, VSS.



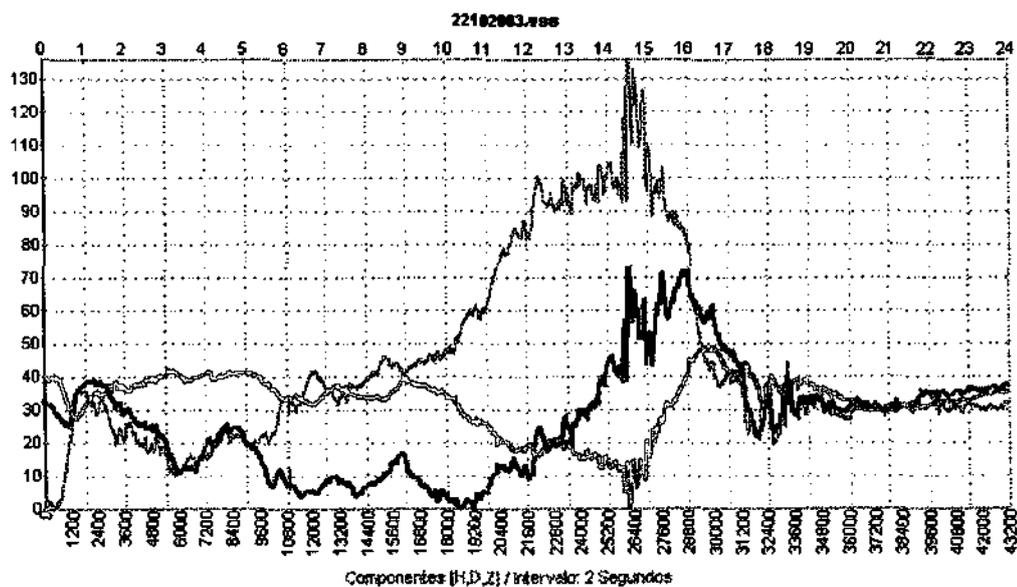
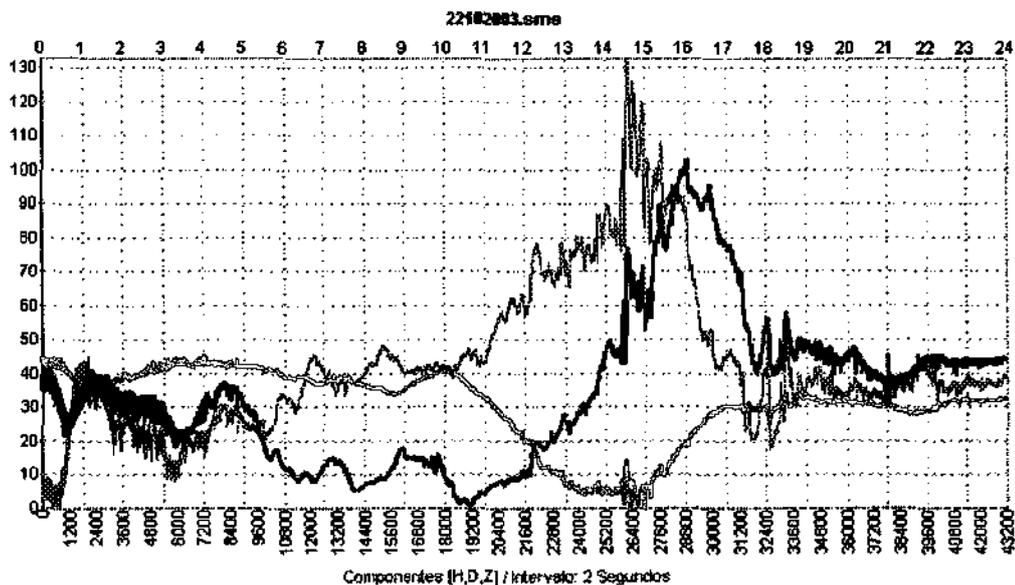
Anexo B 6 – Flutuações do Campo Geomagnético, referentes ao dia 21062003, das componentes H, D e Z nas Estações Magnéticas, do Observatório Espacial do Sul, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em São Martinho da Serra, RS, SMS, e do Observatório Magnético de Vassouras, do Observatório Nacional, em Vassouras, RJ, VSS.



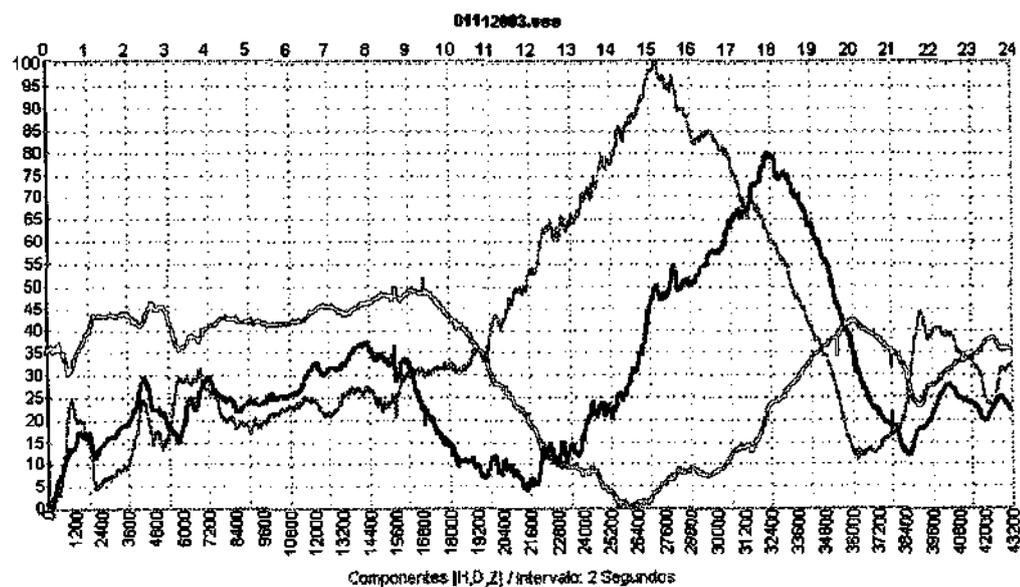
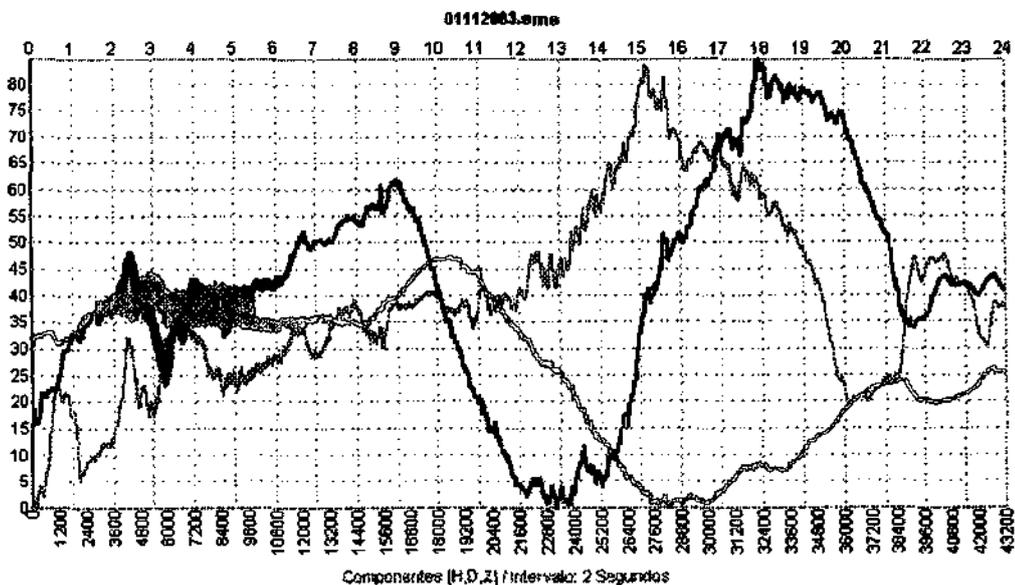
Anexo B 7 – Flutuações do Campo Geomagnético, referentes ao dia 07102003, das componentes H, D e Z nas Estações Magnéticas, do Observatório Espacial do Sul, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em São Martinho da Serra, RS, SMS, e do Observatório Magnético de Vassouras, do Observatório Nacional, em Vassouras, RJ, VSS.



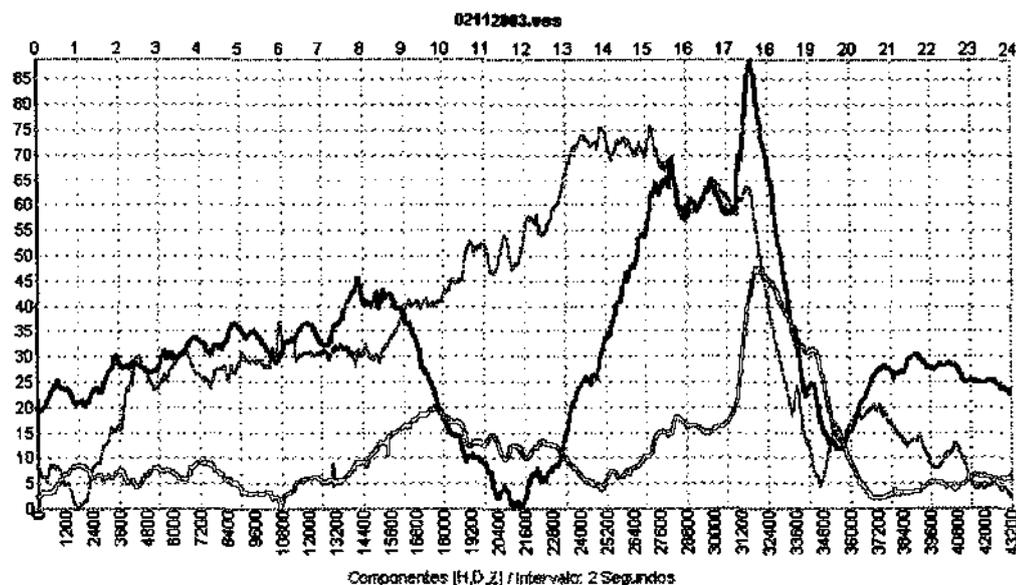
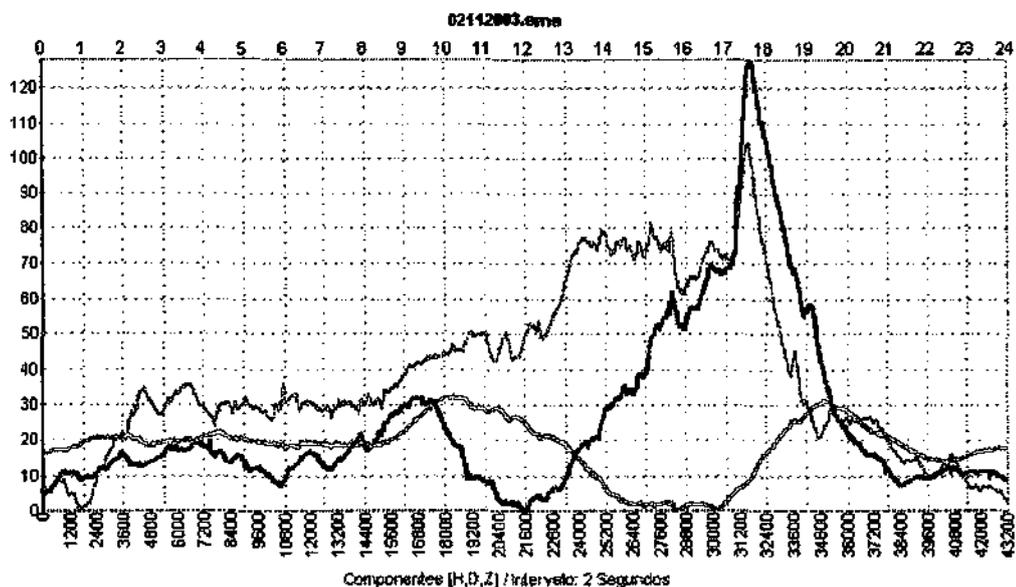
Anexo B 8 – Flutuações do Campo Geomagnético, referentes ao dia 12102003, das componentes H, D e Z nas Estações Magnéticas, do Observatório Espacial do Sul, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em São Martinho da Serra, RS, SMS, e do Observatório Magnético de Vassouras, do Observatório Nacional, em Vassouras, RJ, VSS.



Anexo B 9 – Flutuações do Campo Geomagnético, referentes ao dia 22102003, das componentes H, D e Z nas Estações Magnéticas, do Observatório Espacial do Sul, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em São Martinho da Serra, RS, SMS, e do Observatório Magnético de Vassouras, do Observatório Nacional, em Vassouras, RJ, VSS.



Anexo B 10 – Flutuações do Campo Geomagnético, referentes ao dia 01112003, das componentes H, D e Z nas Estações Magnéticas, do Observatório Espacial do Sul, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em São Martinho da Serra, RS, SMS, e do Observatório Magnético de Vassouras, do Observatório Nacional, em Vassouras, RJ, VSS.



Anexo B 11 – Flutuações do Campo Geomagnético, referentes ao dia 02112003, das componentes H, D e Z nas Estações Magnéticas, do Observatório Espacial do Sul, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, em São Martinho da Serra, RS, SMS, e do Observatório Magnético de Vassouras, do Observatório Nacional, em Vassouras, RJ, VSS.