

ESTUDO DE VARIAÇÕES DIURNAS E PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS NAS REGIÕES DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL, ELETROJATO EQUATORIAL E ANTÁRTICA

Herbert Ricardo Gonzales Lopes

Aluno da Universidade Estadual Paulista – UNESP - Bolsista PIBIC/CNPq

Orientadores: Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra, Pesquisador, DGE

Dr. José Marques da Costa, Pesquisador DGE

Universidade de Taubaté - UNITAU

O campo geomagnético apresenta um grande espectro de variações, estendendo-se desde frações de segundo até mais de milhões de anos. As causas das variações de longo período, tais como reversão dipolar e variação secular, são associadas aos processos dinâmicos que ocorrem no interior da Terra. Já as flutuações com períodos menores do que alguns dias têm origens externas decorrentes da interação Sol-Terra, sendo o campo geomagnético responsável pelo controle de partículas carregadas no espaço ambiental da Terra, protegendo da incidência direta do vento solar.

Este projeto teve o objetivo de um estudo sobre as variações diurnas e micropulsões geomagnéticas nas regiões da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), Eletrojato Equatorial e Antártica. A Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) é uma região que apresenta o valor mínimo da intensidade total do campo magnético terrestre. O Eletrojato Equatorial é uma corrente elétrica na altura de 110–150Km que circunda o globo terrestre na região do equador magnético e Antártica na estação comandante Ferraz.

Faz-se uso dos dados das estações geomagnéticas do INPE, equipadas com magnetômetros de três componentes do tipo núcleo saturado em forma de anel (*fluxgate*). Este magnetômetro mede as três componentes H, D e Z do campo geomagnético com precisão melhor que um nT. Os dados são registrados e digitalizados num intervalo de amostragem de três segundos, para cada uma das três componentes medidas nas estações de Santa Maria-RS (29,7°S;53,9°W) na região da AMAS, Alcântara-MA (2,4°S;44,4°W) e São Luiz-MA (2,5°S;44,3°W) na região do Eletrojato Equatorial. Nos estudos referentes a Antártica fez-se uso dos dados geomagnéticos coletados na Estação Antártica Comandante Ferraz-EACF (62°S;58,4°W) com bobinas magnéticas de alta sensibilidade.

No processamento dos dados utilizou-se ferramentas/programas computacionais que possibilitam o estudo da variação temporal do campo geomagnético e a procura das frequências dominantes nas faixas Pc-3 (10-45s), Pc-4 (45-150s) e Pc-5 (150-600s). Os sinais filtrados foram analisados, usando o método da Transformada Rápida de Fourier (FFT), para períodos magneticamente calmos com $\Sigma Kp \leq 10$ e períodos perturbados com $\Sigma Kp \geq 29$.

Na Figura 1a podemos observar a variação diurna do campo geomagnético em um dia perturbado, na componente H e na região do Eletrojato Equatorial, com $\Sigma Kp=44+$. Pode-se notar que a variação do sinal não possui um padrão diurno. A Figura 1b mostra o sinal anterior filtrado na faixa de períodos 45-150s (Pc-4), onde se percebe os eventos de micropulsões em diversos instantes do dia. Na Figura 1c é mostrado o espectro dinâmico para essa componente geomagnética H na mesma faixa de período, que representa de modo claro a variação na amplitude das micropulsões.

Nos espectros obtidos para as faixas de frequência e nos espectros dinâmicos, pode-se visualizar a variação da amplitude do sinal ao longo do dia e, também, localizar os períodos de ocorrência dos pacotes de onda de micropulsões. A amplitude da variação diurna é maior para os períodos magneticamente perturbados. Durante os períodos perturbados há também uma maior ocorrência de micropulsões geomagnéticas



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**Estudo de Variações Diurnas e Pulsações Geomagnéticas nas Regiões
da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, Eletrojato Equatorial e
Antártica.**

Relatório de Iniciação Científica

HERBERT RICARDO GONZALES LOPES
BOLSISTA PIBIC/CNPq

ORIENTADORES:

Dr. JOSÉ MARQUES DA COSTA
UNITAU/INPE

Dr. SEVERINO LUIZ GUIMARÃES DUTRA
INPE

São José dos Campos
Fevereiro de 1999

**Estudo de Variações Diurnas e Pulsações Geomagnéticas nas
Regiões da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, Eletrojato
Equatorial e Antártica.**

Aos meus orientadores:

Dr. José Marques da Costa , Dr. Severino Guimarães Dutra
e amigos e colegas do DGE/CEA/INPE, pelo desempenho que obtive
com a ajuda de todos.

RESUMO

O campo magnético da Terra apresenta um grande espectro de variações, estendendo-se desde frações de segundo até mais de milhões de anos. As causas das variações de longo período, tais como reversão dipolar e variação secular, são associadas aos processos dinâmicos que ocorrem no interior da Terra. Já as flutuações com períodos menores do que alguns dias têm origens externas decorrentes da interação Sol-Terra (Figura 1).

Este projeto visa a realização de um estudo sobre variações diurnas e micropulsões geomagnéticas, nas regiões da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), Eletrojato Equatorial e Antártica. A Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) é uma região que apresenta o valor mínimo da intensidade total do campo magnético terrestre. O Eletrojato Equatorial é uma corrente elétrica na altura de 110–150Km que circunda o globo terrestre na região do equador magnético (Figura 2).

Faz-se uso dos dados das estações geomagnéticas do INPE, equipadas com magnetômetros de três componentes do tipo núcleo saturado em forma de anel (*fluxgate*). Estes magnetômetros medem as três componentes H, D e Z do campo geomagnético com precisão melhor que um nT. Os dados são registrados e digitalizados num intervalo de amostragem de três segundos, para cada uma das três componentes medidas nas estações de Santa Maria (29.7°S,53.9°W), RS, na região da AMAS, Alcântara (2.4°S,44.4°W) e São Luiz (2.5°S,44.3°W), MA, na região do Eletrojato Equatorial. Nos estudos referentes a Antártica faz-se uso dos dados geomagnéticos coletados na Estação Antártica Comandante Ferraz - EACF (62°S 58.4°W), com bobinas magnéticas de alta sensibilidade.

No processamento dos dados utilizou-se ferramentas/programas computacionais, já existentes no INPE/DGE, que possibilitam o estudo da variação temporal a procura das frequências dominantes nas faixas Pc-3 (10-45s), Pc-4 (45-150s), Pc-5 (150-600s) e, também, de variações entre 600 e 1000s. Os sinais filtrados foram analisados usando o método da Transformada Rápida de Fourier (FFT), durante períodos magneticamente calmos, com $\Sigma Kp \leq 10$, e períodos perturbados, com $\Sigma Kp \geq 29$. Através das filtragens e dos espectros dinâmicos, nas faixas de períodos de oscilação

10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5), pode-se visualizar a variação da amplitude do sinal ao longo do dia e localizar os períodos de ocorrência dos pacotes de onda com micropulsações.

SUMÁRIO

1.1)	Introdução e Justificativa	7
1.2)	Objetivos Específicos	8
1.3)	Material a ser utilizado no processamento dos dados	8
1.4)	Métodos e forma de análise dos resultados	9
1.5)	Nomenclatura	10
2.0)	Variação temporal do campo geomagnético	13
2.1)	Descrição geral da variação temporal	13
2.2)	Variações geomagnéticas	15
2.3)	Índices de atividade magnética	16
2.4)	Variações perturbadas, tempestades	17
2.5)	Variações temporais do campo principal	19
2.6)	Campos externos - Tempestade geomagnética	20
2.6.1)	Descrição básica de um evento de tempestade geomagnética	21
3.0)	Descrição do método de análise dos dados	22
3.1)	O filtro passa banda	22
3.2)	O método da análise de fourier	23
3.3)	Transformada discreta de fourier	23
3.4)	A transformada rápida de fourier	25
3.5)	Espectro de potência	26
3.6)	Suavização do espectro	29
4.0)	A Análise dos dados	30
5.0)	Conclusões	63
6.0)	Referências Bibliográficas	64
Apêndice Programas utilizados para análise dos dados geomagnéticos		66
PROGRAMA -	KANFILT.FOR	66
PROGRAMA -	STEANSDB.FOR	71

1.1 - INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O campo magnético da Terra é produzido pelo movimento do fluido em alta temperatura existente no seu núcleo. O movimento deste fluido, ionizado devido as altas temperaturas, provoca o aparecimento de correntes elétricas que induzem o campo magnético. Fora da Terra, este campo seria dipolar se não fosse a influência de fontes secundárias que o distorcem e perturbam. A faixa de variação temporal do campo magnético terrestre estende-se desde frações de segundos até mais de milhões de anos. As causas das variações de longo período, como a variação secular, são internas, enquanto que as variações com períodos menores do que alguns dias são de origens externas à Terra. As variações de curto período, são associadas as tempestades geomagnéticas; a variação diurna e as variações de períodos mais curto, chamadas de micropulsações geomagnéticas, estão ligadas direta ou indiretamente à atividades solar.

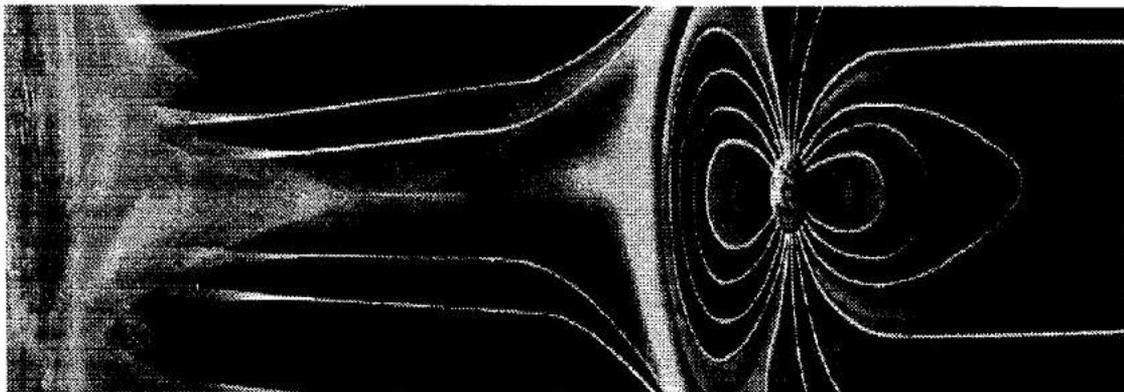


Fig. 1 Interação do Vento Solar com a magnetosfera da Terra.

As micropulsações são flutuações de curto período (usualmente da ordem de segundos a minutos) do campo magnético terrestre. A faixa de período na qual se considera micropulsações está entre 0,2 segundos e 17 minutos, com amplitudes desde frações até centenas de nanotesla.

A interação do vento solar com o campo magnético da Terra é o principal processo de geração das micropulsações, detectadas em toda a magnetosfera, ionosfera e na superfície terrestre. O primeiro estudos levaram a classificar as pulsações geomagnéticas em duas categorias de acordo com a regularidade e o período das variações. As pulsações com pico espectral muito bem definido foram classificadas como

pulsações contínuas (Pc), enquanto as que envolvem grande faixa espectral foram classificadas como pulsações irregulares(Pi).

O estágio do conhecimento sobre micropulsações geomagnéticas na faixa de (0,01-5Hz) indica que as fontes de energia destas ondas podem ser de origem interna ou externa à magnetosfera. As fontes internas incluem, principalmente, as instabilidades associadas à dinâmica das partículas carregadas; entre as fontes externas estão a magnitude e a orientação do campo magnético interplanetário associado ao vento solar.

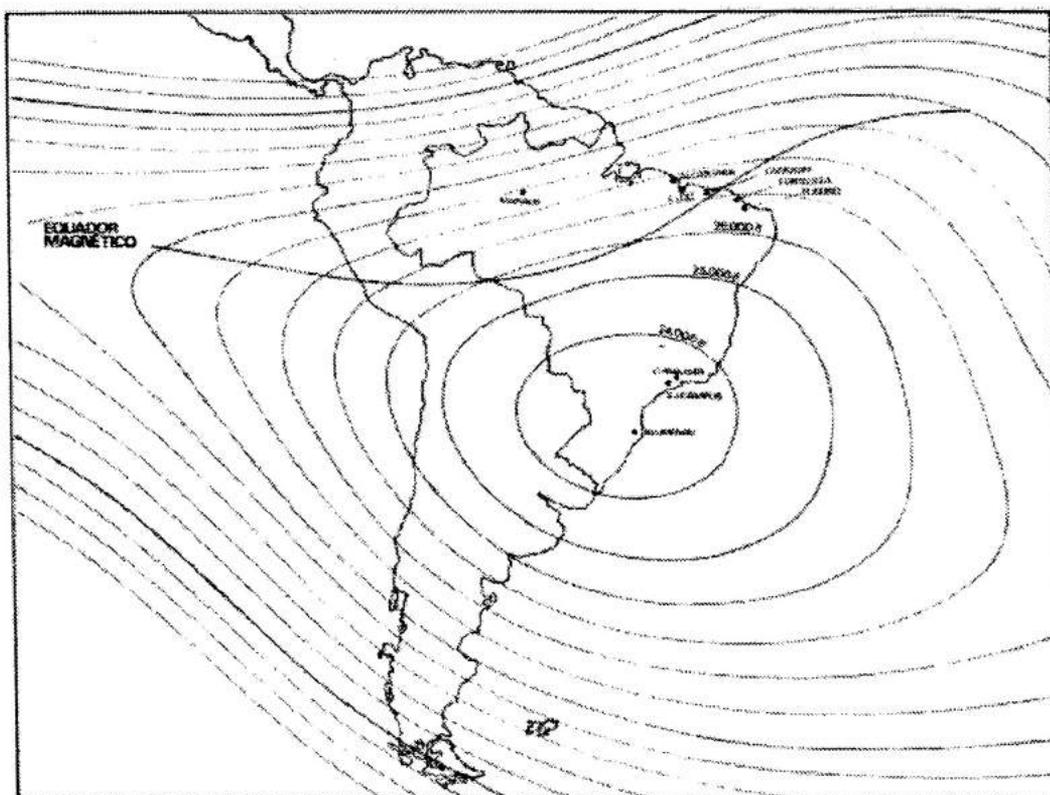


Fig. 2. Regiões da Anomalia Magnética do Atlântico Sul e Eletrojato Equatorial

1.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Através deste estudo pretende-se:

- 1) Determinar as características das variações geomagnéticas tais como: período, amplitude, duração, fase, os horários de maior ocorrência, observadas nas regiões da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, Eletrojato Equatorial e Antártica;

2) Processamento de dados geomagnéticos com os programas e ferramentas computacionais, já existente no INPE/DGE, para estudos de variações diurnas e pulsações geomagnéticas nas regiões da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, Eletrojato Equatorial e Antártica;

3) Correlacionar as variações geomagnéticas de baixas latitudes/equatoriais com os parâmetros físicos associados a atividades geomagnéticas terrestre e interplanetária;

4) Comparação entre os resultados obtidos da análise das variações geomagnéticas.

1.3 - MATERIAL A SER UTILIZADO NO PROCESSAMENTO DOS DADOS.

O material utilizado nesta pesquisa consta dos dados geomagnéticos, referentes às variações nas componentes H, D e Z medidas nas estações de Santa Maria, São Luiz/Alcântara, a cada 3 segundos, com magnetômetros do tipo *fluxgate* de alta precisão, no período de 1993-1995. Nos estudos referentes a Antártica faz-se-á uso dos dados geomagnéticos coletados na Estação Antártica Comandante Ferraz – EACF, com bobinas magnéticas de alta sensibilidade. Este conjunto de dados geomagnéticos está disponível junto a Linha de Pesquisa e Desenvolvimento Geomagnetismo, da Divisão de Geofísica Espacial, da Coordenação Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas, do INPE, na forma digital. Os dados são processados com o auxílio de um computador Pentium e uma estação de trabalho Sun, adquiridos com recursos da FAPESP (Geociências: Proc. 92/2766-2; Programa de Infra - Estrutura - Informática: Proc. 94/4703-3).

Faz-se-á também uso de dados sobre os parâmetros físicos do vento solar, medidos com instrumentação a bordo de satélites, no período 1993-1995, que serão obtidos junto ao Centro Mundial de Dados Geomagnéticos, de Boulder, Colorado. O acesso a estes dados será feito via INTERNET.

1.4 - MÉTODOS E FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

1) Processamento e análise preliminar dos dados geomagnéticos de cada estação, para a seleção de espectros medidos durante períodos de atividade geomagnética calma e perturbada. O grau de perturbação da atividade geomagnética será aferida através de consulta aos índices Kp fornecidos pelo Centro Mundial de Dados Geomagnéticos de Boulder.

2) Processamento e análise de espectros selecionados para um mesmo intervalo de tempo. O método de análise incluirá a procura de frequências dominantes e a determinação de suas amplitudes, através da utilização da transformada rápida de Fourier.

3) A forma de análise envolverá a comparação das características dos espectros, bem como a correlação dos resultados com os parâmetros do vento solar.

4) A interpretação dos resultados e as conclusões da pesquisa serão feitas a luz das teorias existentes sobre variações geomagnéticas em latitudes baixas e equatoriais.

1.5 - NOMENCLATURA

As sete grandezas F , Z , H , I , D , X , e Y (fig. 3) são chamadas de elementos magnéticos, e quaisquer dos três elementos independentes por exemplos (H, D, Z ; H, D, I ; X, Y, Z) especificam o campo geomagnético:

1 - F representa o (vetor) do campo magnético da terra (normalmente chamado de intensidade total do campo) em qualquer ponto. O campo magnético também pode aparecer com a nomenclatura B ;

2 - Z indica a intensidade da componente vertical do campo (considerada positiva no sentido do interior da Terra);

3 - H indica a intensidade da componente horizontal do campo;

4 - I (inclinação ou *dip*), é o ângulo que o campo total, F , faz com a sua componente horizontal, H ; a inclinação é considerada positiva quando a componente Z está no sentido do interior da Terra;

5 - D (denota declinação ou variação magnética), é o ângulo que a componente horizontal do campo faz com o norte geográfico, se D for positivo, significa que a componente horizontal do campo está à leste do norte, e se D for um ângulo negativo, significa que a componente horizontal do campo está a oeste do norte;

6 - X denota a intensidade da componente do campo horizontal na direção norte – sul geográfica;

7 - Y denota a intensidade da componente do campo horizontal na direção leste – oeste geográfica.

Medições ou registros do campo magnético da Terra utilizam três componentes, pois é o suficiente para definir um vetor, Das setes possíveis em geral são utilizadas as componentes H , D e Z . No caso da Antártica será utilizado apenas duas componentes magnéticas X e Y .

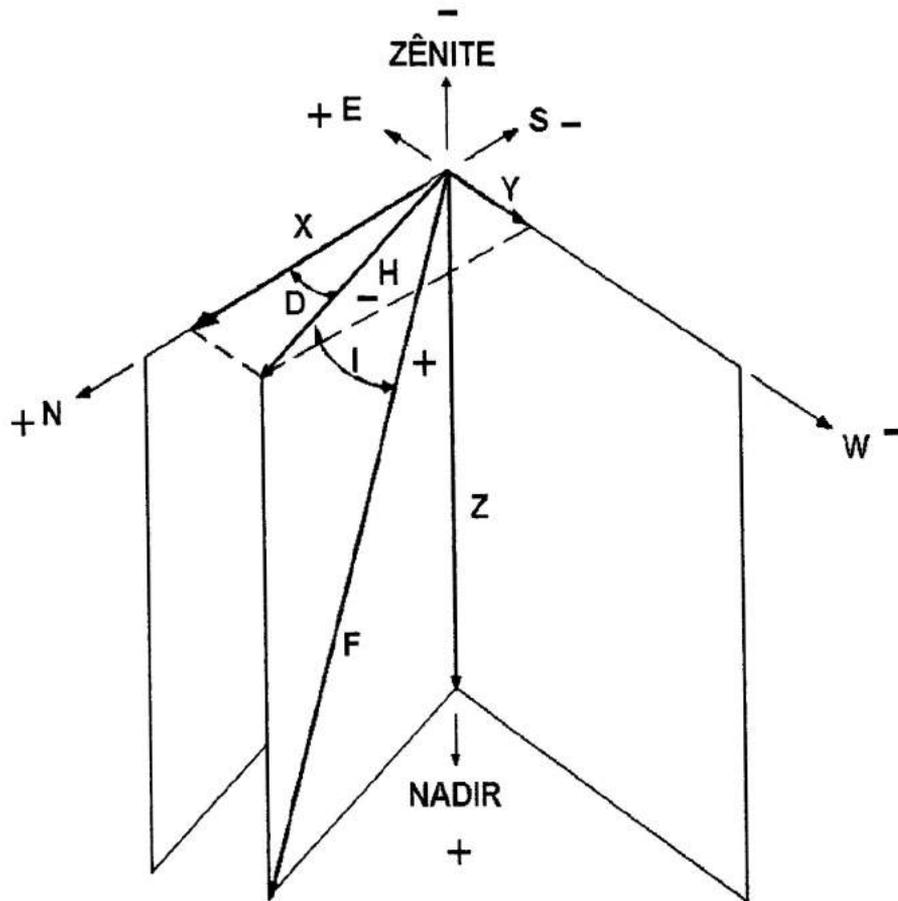


Fig. 3 – As Componentes do Campo Magnético da Terra

F = Intensidade Total

H = Componente Horizontal

Z = Componente Vertical

D = Declinação

I = Inclinação

X = Componente Norte - sul

Y = Componente Leste - Oeste

2 - VARIAÇÃO TEMPORAL DO CAMPO MAGNÉTICO DA TERRA

2.1 - DESCRIÇÃO GERAL DA VARIAÇÃO TEMPORAL

As variações temporais do campo magnético da Terra são as mudanças com o tempo da intensidade ou direção do vetor do campo (ou suas componentes) em um determinado local. No momento são de importância prática por causa dos efeitos que causam em bússola magnética de navegação e por causa das perturbações associadas a propagação de onda de rádio (inclusive “blecautes” de rádio) afetando a comunicação e sistemas de navegação. É preciso o conhecimento da natureza e causas destas variações para entender estes efeitos, aumentar a precisão da previsão sob condições desfavoráveis, e entender outros efeitos que podem dar importância na prática do futuro.

Atualmente vários observatórios permanentes localizados em vários lugares ao redor da Terra, fazem registros contínuos (magnetogramas) da variação da intensidade ou direção de três componentes do campo geomagnético. A precisão por volta de alguns nanoTeslas ($1\text{nT} = 10^{-5}\text{G}$), ou alguns décimo de um minuto de arcos é obtida para as variações mais lentas que têm durações de um minuto ou mais. As flutuações que têm durações de segundos ou menos requerem técnicas de gravação diferentes e não são regularmente medidas.

As variações temporais são, em geral, irregulares em caráter, mas podem ser discutidas convenientemente em termos do espectro de frequência e do seu conteúdo de energia. As variações a serem consideradas aqui se originam fora da Terra, principalmente na ionosfera, e são atribuídas à causas solares. O espectro de energia destas variações cobre períodos que variam de uma fração de um segundo até vários dias, sendo que o espectro de frequência equivalente é de aproximadamente 50 Hz até aproximadamente 10^{-5} Hz. Este espectro exclui a maioria dos efeitos da variação secular, como também de descargas de raio, quais causam flutuações rápidas na faixa de rádio-frequência.

Um dia magneticamente ativo, ou perturbado, é caracterizado pela existência de muitas e grandes variações que têm durações de duas a três horas. Um dia calmo ou não perturbado tem pequena ou nenhuma variação; os magnetogramas durante dias muito calmos mostram uma variação lenta do campo. As tempestades magnéticas são intervalos de atividade magnética pronunciada que acontece concorrentemente em todas as partes do globo terrestre. Uma das características principais das tempestades magnéticas é a diminuição marcada em H, que alcança seu ponto mínimo dentro de algumas horas após o início súbito e gradualmente retorna ao nível normal durante os dias seguintes

Para durações menores que aproximadamente 10 minutos, as amplitude das variações são aproximadamente proporcionais às durações. As variações temporais do campo são maiores nas zonas aurorais, que estão aproximadamente a ± 67 graus latitude geomagnética (aproximadamente ± 23 graus do polo geomagnético).

Os efeitos das variações temporais na navegação com bússola magnética aumentam rapidamente com latitude crescente por causa da diminuição na componente horizontal do campo principal e o aumento na amplitude das variações. Uma variação 10% em H pode ser esperada duas a três vezes por mês nas zonas aurorais. Embora a longo prazo (vários dias) o efeito da perturbação magnética geralmente é uma diminuição na magnitude de H, as variações na declinação, D, como também as variações de pequena duração em H, é de uma natureza mais forte.

As perturbações na comunicações de rádio, que são freqüentemente associadas as perturbações magnéticas e que são causadas por absorção na baixa ionosfera, também têm o efeito máximo nas zonas aurorais.

2.2 - VARIAÇÕES GEOMAGNÉTICAS

Basicamente há dois tipos de variação magnética: as que correspondem a períodos magneticamente calmos, e as variações mais intensas associadas a tempestades magnéticas. As variações diurnas do primeiro tipo, são de dois tipos principais, a variação Sq, e uma mais fraca chamada variação L. A primeira é influenciada pela ação do Sol (S), em tempo calmo quieto, e a segunda pela Lua (L). As variações mais intensas, associadas às tempestades, são as variações perturbadas.

As variações Sq, por serem variações pequenas em torno de um valor médio, são expressas na unidade gama (γ) sendo $1\gamma = 10^{-9}T$. As variações Sq, nas componentes X, Y e Z, estão representadas na Figura 04 para o hemisfério Norte, equador e hemisfério Sul.

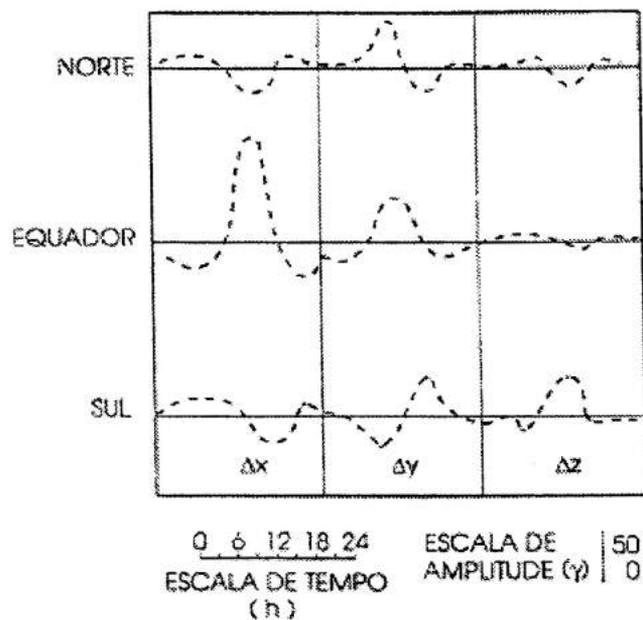


Fig. 04 Representação das variações geomagnéticas Sq.

2.3 - ÍNDICES DE ATIVIDADE MAGNÉTICA

É importante ter-se uma medida quantitativa da intensidade do distúrbio magnético em um dado período. Achou-se mais prático expressá-la por intermédio de índices magnéticos. A fim de definir rapidamente o estado de atividade do campo magnético, foram criados vários índices, baseados nas variações de F, medidas pelos magnetômetros. Em cada estação, o dia é dividido em oito períodos de 3 horas (horário de Greenwich) e, das três componentes de F, aquela variação que for a maior, em cada período, é chamada a amplitude α (em gamas). As variações Sq e L são previamente subtraídas de cada componente. Estas amplitudes, medidas em uma série de estações para cada período, produzem o *índice planetário Ap*. O índice K está relacionado às amplitudes α , através de uma escala semi - logarítmica própria para cada estação. Os valores numéricos de K variam de 0 (atividade muito calma) a 9 (atividade muito intensa), com frações intermediárias de 1/3, representados, por exemplo, pelos valores 8^+ , 2^- , 3, etc. À média entre várias estações corresponde ao índice planetário Kp , talvez o mais usado na literatura. O índice Kp , sendo um índice planetário, deveria exprimir o estado médio de atividade magnética no globo terrestre mas, para isso, a rede de magnetômetros deveria ser uniformemente distribuída, o que não ocorre na realidade, havendo muito mais observatórios no hemisfério norte. A soma, $\sum Kp$, para um determinado dia, é freqüentemente usada.

Recentemente fez-se uma separação (entre hemisférios) do índice Kp havendo, portanto, um para o norte e outro para o sul. Além dos índices citados, há outros mais adequados para certas regiões, ou mais convenientes para certas aplicações.

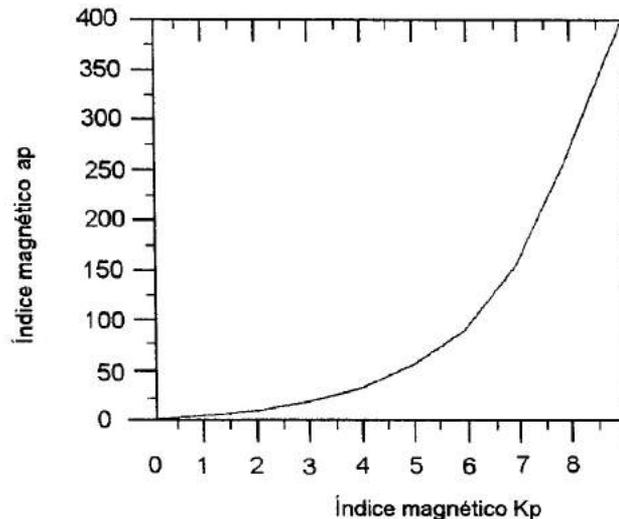


Figura 05 – Relação entre os índices magnéticos Kp e ap.

O índice magnético diário A_p , obtido através do mesmo conjunto de dados, mas convertido a uma escala linear e tomando-se a média sobre 24 horas UT, é também empregado para caracterizar um período de distúrbio magnético. O índice ap é definido a cada 3 horas. A *Figura 05* mostra a relação entre os índices K_p e ap .

2.4 - VARIAÇÕES PERTURBADAS, TEMPESTADES

Há ocasiões em que se verifica um aumento apreciável na radiação solar do EUV, na velocidade ou concentração do vento solar, ou ambos, caracterizando uma *tempestade solar*. Quando a radiação e as partículas alcançam a Terra, ocorrem os fenômenos chamados *distúrbios ionosféricos súbitos (DIS)*, *tempestades ionosféricas*, e *tempestades magnéticas*.

O aumento que se verifica na radiação solar abaixo de 10Å , na faixa dos raios X, associa-se à *erupção solar* que produz um aumento na ionização em torno de 80km de altura. Este aumento na ionização dá origem a uma série de fenômenos que se

denominam de DIS. A propagação de ondas eletromagnéticas é bastante afetada, podendo ser muito atenuada. Note-se que os DIS ocorrem somente na face iluminada pelo Sol, e são mais intensos quando o Sol está no zênite.

O aumento do conteúdo eletrônico na região D, ocorre rapidamente (alguns minutos) após o que tende à recuperação, que dura da ordem de 1,5 horas. Pequenas variações no campo magnético também se verificam na ocorrência de DIS intensos e são chamados *crochets*.

Durante as tempestades, tanto o campo magnético, quanto a ionosfera, podem sofrer mudanças drásticas. No primeiro caso, fala-se em *tempestades magnéticas* e, no segundo, em *tempestades ionosféricas*. A perturbação solar causadora destes fenômenos é geralmente caracterizada por um aumento do vento solar. Sua densidade pode passar de 10^6 a 10^7 m^{-3} , e sua velocidade, de $300Km.s^{-1}$ pode atingir até 900 ou 1000 $km.s^{-1}$. Durante os períodos perturbados observa-se um aumento na luminosidade auroral.

O aumento de velocidade e concentração do vento solar tem o efeito de aumentar a compressão das linhas do campo geomagnético no lado voltado para o Sol. Como resultado da maior concentração de linhas de campo, há um aumento relativamente rápido na intensidade do campo magnético, e a magnetopausa, de 10 raios terrestres pode passar a 6 raios terrestre. O aumento em F, é o chamado início súbito (IS), mas que nem sempre se faz notar nos magnetogramas, ou porque sua variação é muito pequena, ou porque é muito lenta. A partir do IS, a variação do campo magnético tem uma forma característica de variação indicada esquematicamente na Figura 06. A variação é dividida em fases. O aumento inicial é a chamada *fase inicial* da variação perturbada, e é causada pela compressão das linhas magnéticas na magnetosfera pelo vento solar. A fase seguinte, chamada *fase principal*, corresponde a um decréscimo do campo magnético, devido ao aumento de correntes elétricas que fluem na magnetosfera, formando o sistema da corrente de anel. Esta é a fase mais longa, com duração de alguns dias, A parte final, quando o campo volta ao seu estado não perturbado, é a *fase de recuperação*. As variações menores superpostas à fase principal são devidas aos

sistemas secundários de correntes elétricas que circulam nas regiões polares. São os *distúrbios polares (DP)*, e estão associados às sub-tempestades polares.

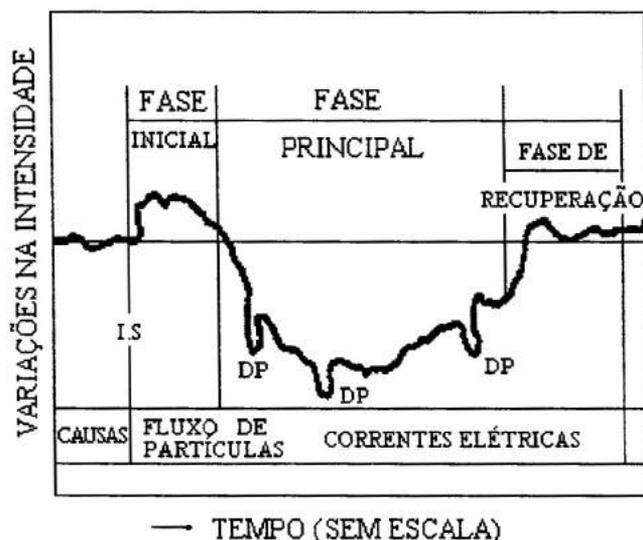


Figura 06 – Ilustração das fases de uma tempestade magnética

2.5 - VARIAÇÕES TEMPORAIS DO CAMPO PRINCIPAL

É conhecido que as componentes do campo magnético (elementos de campo) na superfície terrestre apresentam variações temporais. Estas variações operam em escalas de milisegundos a milhares de anos.

As variações de curto prazo surgem, principalmente, das correntes elétricas que fluem na parte inferior da ionosfera e das variações súbitas e intensas das tempestades magnéticas. Estas flutuações são superpostas às variações de longo prazo (*variação secular*) que, embora sejam muito lentas comparadas aos transientes de curto prazo, variam rapidamente sobre uma escala de tempo geológica (objeto de estudo da ciência Paleomagnetismo).

O espectro temporal da variação secular é muito variado. Variações nos campos não dipolares dão-se em escala de tempo de séculos; enquanto que variações dipolares

ocorrem em escala da ordem de milênios. Periodicidades entre 4 e 30 anos podem estar associadas às variações de campos externos. Dados paleomagnéticos indicam períodos de 450, 600, 1800 e 10000 anos. A causa da variação secular está conectada à origem do campo principal, caracterizando-se por um mero rearranjo das linhas de força.

Regredindo em escala de tempo geológica, por intermédio de investigações paleomagnéticas atualmente disponíveis, encontram-se indicações muito evidentes da realidade das reversões do campo magnético principal (mudanças de polaridade no modelo de campo dipolar). A natureza do campo durante uma reversão envolve duas questões importantes, ainda sem solução: Qual o tempo necessário para uma reversão efetuar-se? O campo magnético dipolar decai a zero, voltando a crescer em direção oposta; ou o dipolo simplesmente precipita-se em direção contrária?

2.6 - CAMPOS EXTERNOS - TEMPESTADE GEOMAGNÉTICA

Quando as três componentes de campo, medidas em uma certa estação magnética, apresentam variações regulares e suaves, é convencional designar o período analisado como *dias calmos*; em contraste, quando as variações são relativamente irregulares, ele é chamado de *dias perturbados*. No entanto, se o período apresentar intensos distúrbios magnéticos associados, tem-se uma tempestade *magnética*.

Excluindo-se os períodos de tempestades magnéticas, encontra-se uma variação diária regular nos elementos de campo, observados a partir dos magnetogramas. A contribuição principal é a *variação solar diária*, S_q , com uma periodicidade de 24 h, e uma mais fraca chamada de *variação diária lunar*, L , com uma periodicidade próxima a 25 h.

2.6.1 - DESCRIÇÃO BÁSICA DE UM EVENTO DE TEMPESTADE GEOMAGNÉTICA

Não existe um critério bem definido para especificar uma tempestade magnética, embora na maior parte estes eventos exibem certas características comuns. Tipicamente, um evento de tempestade pode ser dividido em quatro fases:

Início súbito da tempestade: a tempestade pode iniciar-se gradualmente ou através de uma mudança repentina na componente de campo H (usualmente atinge valores crescentes de algumas dezenas de γ). Algumas vezes, um pequeno aumento inicial em H é seguido, dentro de 2 a 3 min, de um acentuado decrescimento.

Fase inicial: dentro de 1h ou menos, a partir do possível início súbito da tempestade, H cresce e permanece de 30 a 50 γ superior ao seu valor pré - tempestade. Muitas tempestades não possuem fase inicial.

Fase principal: é caracterizada pela redução drástica na componente horizontal do campo (de 100 a 400 γ), ocupando algumas horas. A magnitude da redução varia com a latitude, atingindo um valor máximo próximo ao equador e decrescendo em direção aos pólos geográficos até, aproximadamente, $\pm 60^\circ$ de latitude. Em direção a zona auroral, a magnitude da redução de H volta a crescer rapidamente.

Fase de recuperação: Depois de H ter alcançado um valor mínimo, ele recupera o seu valor normal, de maneira suave e aproximadamente exponencial. Isto pode levar vários dias.

3 - DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DOS DADOS

Em análise matemática teórica a transformada de Fourier é, em geral, aplicada a uma função contínua, implicando uma extensão infinita do sinal. Entretanto, em análise de dados ou em matemática numérica a forma de onda é discreta, como por exemplo, uma série temporal, que é finita em extensão. Neste caso, é a versão discreta da transformada de Fourier (DFT) que deve ser utilizada.

A transformada rápida de Fourier (FFT) é um método computacional eficiente para o cálculo da DFT de uma série temporal. Sua eficiência está no fato de calcular os coeficientes da DFT iterativamente. O cálculo direto dos coeficientes de uma série com N amostra requer um esforço computacional de ordem de N^2 .

3.1 - O FILTRO PASSA BANDA

Os dados geomagnéticos adquiridos na Estação de Santa Maria, Alcântara e São Luiz foram digitalizados em arquivos separados, cada um contendo a série temporal de 24 horas de dados, com um intervalo de amostragem de 3 segundos. Estes arquivos são mostrados em gráficos de intensidade versus tempo, o que constitui a chamada variação diurna do campo geomagnético. Porém, como o objetivo deste trabalho reside em estudar as micropulsões do campo geomagnético, torna-se necessário filtrar o sinal da variação diurna de modo que “passem” somente os sinais de micropulsões.

Para fins de filtragem de sinais digitais, existem filtros que operam no domínio do tempo, deixando passar somente o sinal acima ou abaixo de uma determinada frequência. A esses filtros dá-se o nome de filtros passa alta e passa baixa, respectivamente. Para estudar as micropulsões necessita-se somente do sinal em uma banda de frequência que vai desde 1mHz até 0,1Hz (1000 - 10 seg). Para isso, usou-se um filtro tipo passa-faixa, que deixa passar apenas os sinais numa faixa de frequência.

Aplicando, então, esse filtro tipo passa-faixa, tem-se como saída o sinal das micropulsões para estudos posteriores.

3.2 - O MÉTODO DA ANÁLISE DE FOURIER

Um processo físico pode ser descrito no domínio do tempo, por uma quantidade h como função do tempo, $h(t)$, e também no domínio de frequência, $H(f)$, com $-\infty < f < \infty$. Para muitos propósitos é usual pensar que $h(t)$ e $H(f)$ são duas representações diferentes da mesma função. As relações entre $h(t)$ e $H(f)$ são dadas pelas relação de transformação de Fourier:

$$H(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)e^{+i\omega t} dt \quad (3.1)$$

$$h(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(\omega)e^{-i\omega t} d\omega \quad (3.2)$$

onde $\omega = 2\pi f$ é a frequência angular dada em radianos por segundo. Se t é medido em segundos, então f é dado em ciclos por segundos ou Hz (unidade de frequência). Entretanto, as equações 3.1 e 3.2 podem ser aplicadas com qualquer unidade.

3.3 - TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER

Suponhamos que temos N pontos consecutivos de uma amostra (N dados), ou seja:

$$h_k \equiv h(t_k), \quad t_k = k \cdot \Delta \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (3.3)$$

onde Δ é o intervalo de amostragem, t é o tempo (ou uma abscissa qualquer), h é a função (sinal) em análise.

O recíproco do intervalo de amostragem $1/\Delta$ é chamado de taxa de amostragem e se Δ é medido em segundos, a taxa de amostragem é o número de amostras por segundo.

Para qualquer intervalo de amostragem temos uma frequência especial f_c , chamada de frequência de Nyquist (ou frequência crítica de Nyquist) que é dada por:

$$f_c = \frac{1}{2\Delta} \quad (3.4)$$

O valor de f_c , representa a maior frequência de espectro a ser obtida, ou seja, o espectro estará na faixa de frequência de $-f_c < f < f_c$.

Desta maneira, estima-se a transformada discreta de Fourier na faixa de frequência de $-f_c < f < f_c$ nos valores discretos:

$$f_n = \frac{n}{N\Delta}, \quad n = \frac{-N}{2}, \dots, \frac{N}{2} \quad (3.5)$$

A transformada de Fourier

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) e^{+2\pi jft} dt \quad (3.6)$$

será aproximada para a soma discreta

$$H(f_n) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) e^{+2\pi jf_n t} dt \approx \sum_{k=0}^{N-1} h_k e^{+2\pi jf_n k} \Delta = \Delta \sum_{k=0}^{N-1} h_k e^{+2\pi jkn/N} \quad (3.7)$$

onde foi usado $t_k = k\Delta$ e $f_n = n/(N\Delta)$. A somatória da Equação 3.7 é chamada de *transformada discreta de Fourier*, dos N pontos h_k :

$$H_n \equiv \sum_{k=0}^{N-1} h_k e^{+2\pi kn/N} \quad (3.8)$$

A transformada discreta de Fourier mapeia N números complexos de h_k para H_n . Ela não depende de qualquer parâmetro dimensional, tal como o intervalo de amostragem Δ .

A transformada discreta inversa de Fourier, através da qual pode-se recuperar os dados da amostra, é dada por:

$$h_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} H_n e^{+2\pi kn/N} \quad (3.9)$$

3.4 - A TRANSFORMADA RAPIDA DE FOURIER

O tempo direto de computação da transformada de Fourier é muito grande. Definindo W como o número complexo:

$$W = e^{+2\pi/N} \quad (3.10)$$

nos leva a ter para a transformada discreta de Fourier 3.8:

$$H_n = \sum_{k=0}^{N-1} W^{nk} h_k \quad (3.11)$$

Então o vetor h_k é multiplicado por uma matriz cujos elementos (n,k) são as constantes W^{nk} para a potência $n \times k$. A multiplicação da matriz produz um vetor resultante cujas componentes é a função H_n . A matriz multiplicação requer N^2 multiplicações, mais um número menor de operações para gerar as potências de W . Desta forma, a transformada discreta de Fourier opera em N^2 processos. Este número pode ser reduzido para $N \log_2 N$ operações usando um algoritmo conhecido como transformada rápida de Fourier (FFT). Como a diferença entre N^2 e $N \log_2 N$ é imensa, o tempo de computação é bastante reduzido para valores grandes de N .

3.5 - ESPECTRO DE POTÊNCIA

Se $h(t)$ é uma função que representa um sinal obtido no tempo t , então pode-se fazer uma análise espectral deste sinal usando a transformada de Fourier:

$$F(\eta) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)e^{+i\eta t} dt \quad (3.12)$$

onde a função $F(\eta)$ representa o espectro correspondente a $h(t)$. Em muitos casos, entretanto, é mais apropriado considerar a potência de um sinal em vez de sua amplitude ou deslocamento. Neste sentido, define-se a potência como sendo proporcional ao quadrado da amplitude. O espectro correspondente, isto é potência para associada a cada frequência, designado por espectro de potência.

A potência média para uma função real $h(t)$ é definida pela expressão:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{\frac{-T}{2}}^{\frac{T}{2}} |h(t)|^2 dt \quad (3.13)$$

quando este limite existe.

O fator $|h(t)|^2$ é chamado de potência instantânea de $h(t)$, e a integral:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |h(t)|^2 dt \quad (3.14)$$

é a energia total de $h(t)$, quando a integral converge.

A potência de um sinal $f(t)$ está relacionada ao espectro de potência correspondente $H(\eta)$ através do teorema de Parseval:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |h(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |H(\eta)|^2 d\omega \quad (3.15)$$

A quantidade real $|H(\eta)|^2$ é chamada de espectro de potência ou espectro de energia, ou mais precisamente, densidade espectral de potência ou densidade espectral de energia. A densidade espectral de energia é expressa em unidades de energia por unidade ou intervalo de frequência. No teorema de Parseval o termo $|H(\eta)|^2$ não carrega a informação sobre a fase do espectro da função do tempo. Isto significa que é impossível recuperar o sinal original $h(t)$ se somente o espectro é dado. Significa também que os sinais com idênticas amplitudes de espectro, mas diferentes fases, teriam a mesma potência. Portanto o espectro de potência não carrega a informação completa do sinal original já que a fase é uma variável perdida.

Agora, supondo que $c(t)$ seja uma função que representa uma amostra de N pontos com valores c_0, c_1, \dots, c_{N-1} e estes pontos estejam dispostos em um tempo T , ou seja: $T = (N - 1)\Delta$, a potência total é expressa então por:

$$\frac{1}{T} \int_0^T |c(t)|^2 dt \cong \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N-1} |c_j|^2 \quad (3.16)$$

Quando se tem uma amostra com N pontos de uma função $c(t)$ em intervalos

iguais e usamos a FFT para calcular a transformada discreta de Fourier:

$$C_k = \sum_{j=0}^{N-1} c_j e^{+2\pi jk / N} \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (3.17)$$

o espectro de potência (periodograma) vai ser definido em $(N/2)+1$ frequências como:

$$P(0) = P(f_0) = \frac{1}{N^2} |C_0|^2 \quad (3.18a)$$

$$P(k) = p(f_k) = \frac{1}{N^2} \left[|C_k|^2 + |C_{N-k}|^2 \right] \quad k = 1, 2, \dots, \left(\frac{N}{2}-1\right) \quad (3.18b)$$

$$P(N/2) = p(f_{N/2}) = \frac{1}{N^2} |C_{N/2}|^2 \quad (3.18c)$$

onde f_k é definida somente para frequência positivas e zero:

$$f_k \equiv \frac{k}{N\Delta} = \frac{2f_c k}{N}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N/2 \quad (3.19)$$

onde $f_c = 1/2\Delta$ e o teorema de Parseval na forma discreta:

$$\sum_{j=0}^{N-1} |c_j|^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} |C_k|^2 \quad (3.20)$$

foi usado para relacionar a função C_k a c_j .

3.6 - SUAUIZAÇÃO DO ESPECTRO

Anteriormente, viu-se que quando se tem uma série temporal com N pontos, tomada em intervalos iguais de tempo (Δ), podemos o espectro de potência para $(N/2)+1$ harmônicos através da Equação 3.18. Os períodos que aparecem neste espectro, não estão igualmente espaçados. Para corrigir este problema, usa-se transformar a escala de período em logarítmica ($\log T$).

Na maioria dos casos o número de harmônicos $(N/2) + 1$ do espectro de potência é muito grande, o que dificulta a visualização dos resultados. Costuma-se, então, suavizar o espectro, dividindo-o em bandas de períodos linearmente espaçados na escala logarítmica.

A suavização do espectro é obtida dividindo o espectro de potência em bandas de frequência. O programa *KANFILT*, através do número de pontos N , do intervalo de amostragem Δ da série temporal, do logaritmo do período máximo e da largura e meia-largura da banda, calcula os parâmetros das bandas de suavização a frequência central, o número do primeiro e último harmônico, e o número de harmônicos em cada banda. Com estes valores, a rotina suaviza do programa *KANFILT* calcula o valor médio da potência de espectro (P_m) para cada banda, ou seja:

$$P_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (3.21)$$

onde P_i são as potências de espectro em cada banda do espectro não suavizado.

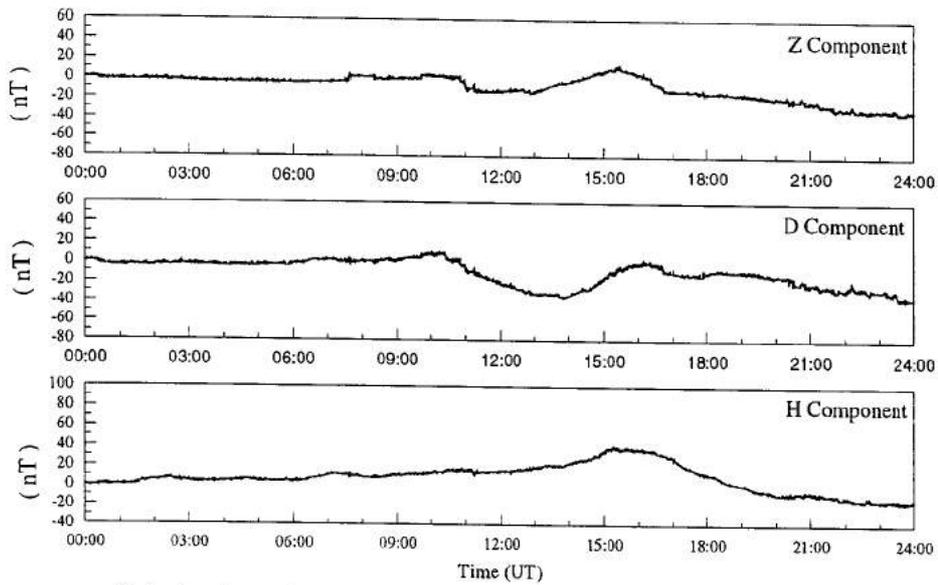
4 – A ANÁLISE DOS DADOS

A partir dos dados digitalizados disponíveis no computador na forma binária faz-se a conversão e descompressão para arquivos do tipo ASCII. Cada arquivo é composto de uma tabela de 4 colunas: uma para o tempo universal e as outras três para a variação das componentes do campo geomagnético H, D e Z. Os dados da Antártica possuem apenas duas colunas das componentes Norte-Sul e Leste-Oeste. Estando os arquivos convertidos segue-se o processamento e análise do comportamento do campo geomagnético ao longo do dia (variação diurna), fazendo a filtragem dos dados e o cálculo do espectro dinâmico.

As figuras mostram como o campo magnético permanece ao longo do dia mostrando que ele é dinâmico. Temos como exemplo a Figura 07, que mostra a variação diurna do campo geomagnético em um dia calmo na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, podemos notar que o índice de atividade magnética informa que $\Sigma Kp=8^0$, e na figura confirma este índice, podendo notar que a variação é suave mas possui flutuações. Filtrando-se a variação diurna, de modo que a saída contenha os sinais com períodos dentro da faixa que se deseja estudar, a Figura 08 mostra os pacotes de micropulsões, que se localiza na parte entre 9:00 e 16:00UT. Esses dados foram filtrados utilizando inicialmente e só após utilizou a DFT. Assim, os ruídos foram eliminados do sinal, ficando mais fácil o estudo.

As figuras subsequentes mostram um dia inteiro de variação diurna e o mesmo dia com o sinal filtrado, localizando assim o período, amplitude, duração e fase das micropulsões.

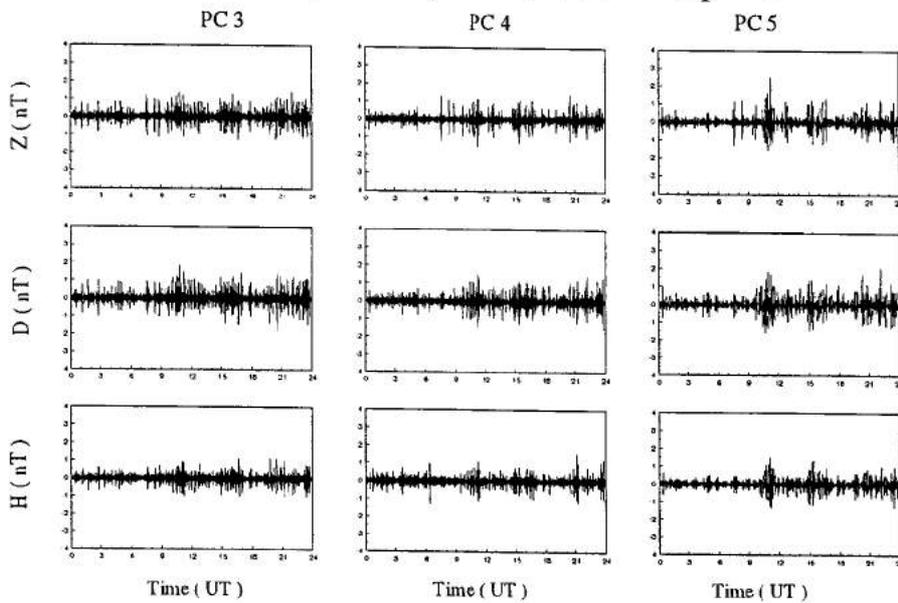
Santa Maria, RS - April 27, 1993 - $\Sigma Kp = 8^\circ$



Variação diurna do campo geomagnético em um dia calmo na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.

Figura 07

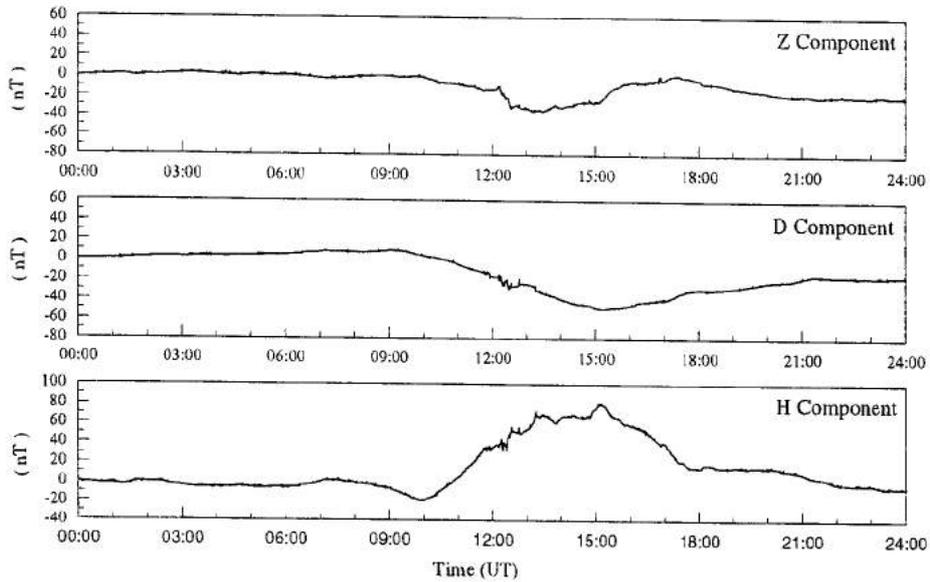
Santa Maria, RS - April 27, 1993 - $\Sigma Kp = 8^\circ$



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 08

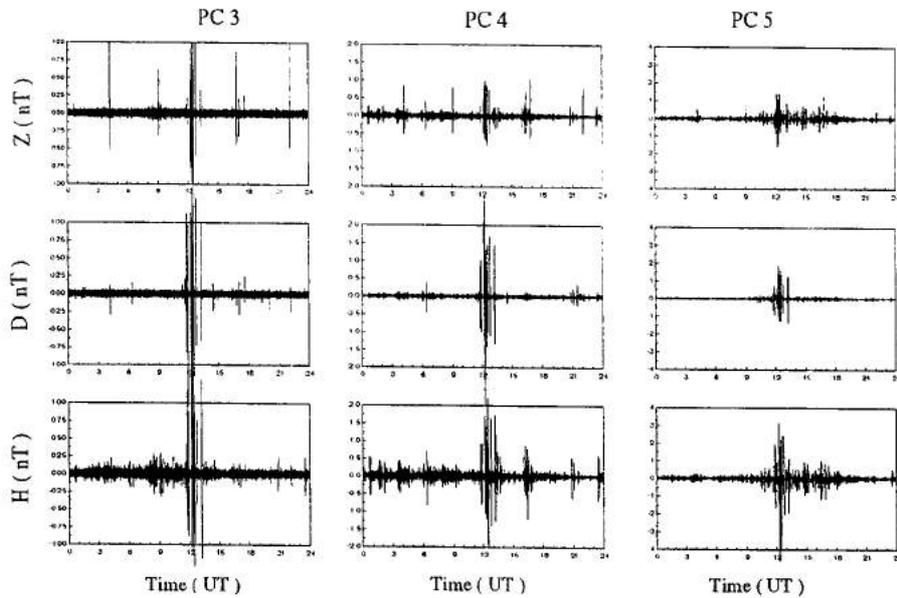
São Luiz, MA - April 27, 1993 - $\Sigma K_p = 8^\circ$



Varição diurna do campo geomagnético em um dia calmo na região do Eletrojato Equatorial - EJE.

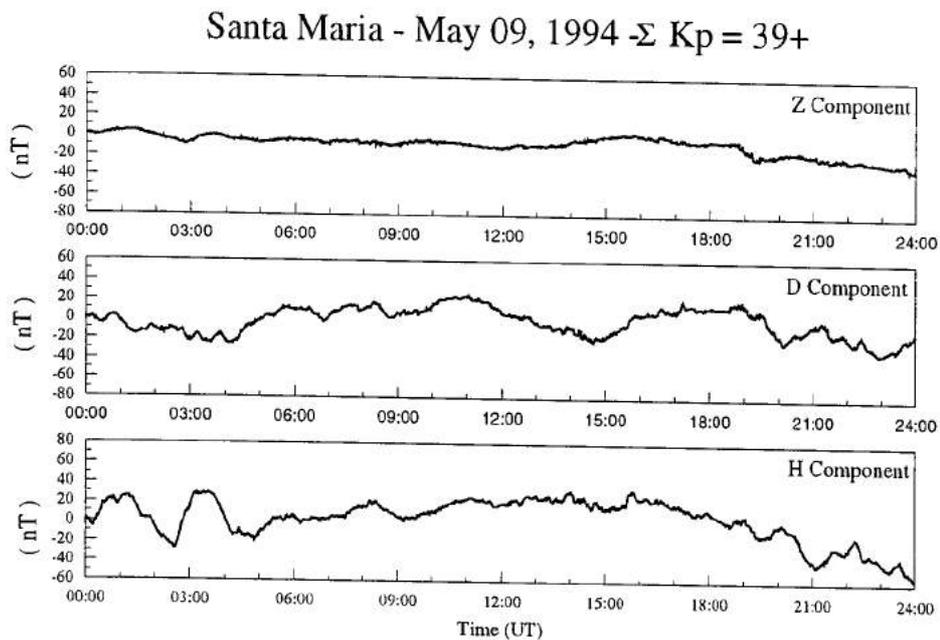
Figura 09

São Luiz, MA - April 27, 1993 - $\Sigma K_p = 8^\circ$



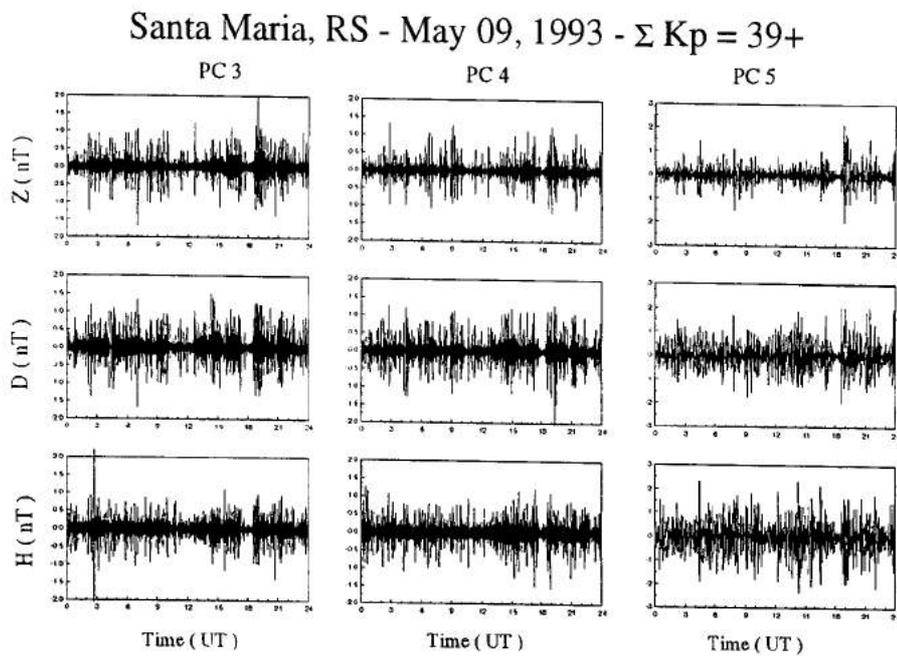
Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 10



Variação diurna do campo geomagnético em um dia perturbado na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.

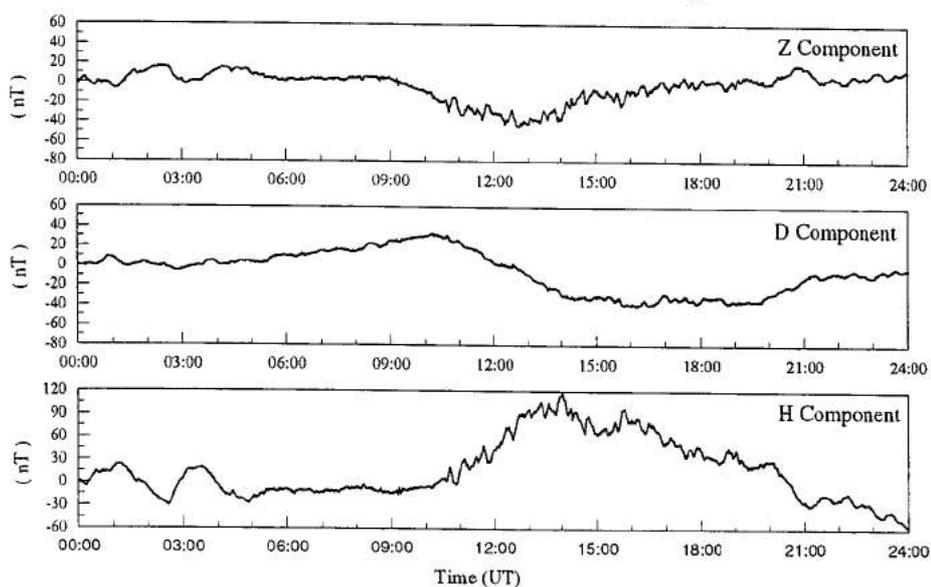
Figura 11



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 12

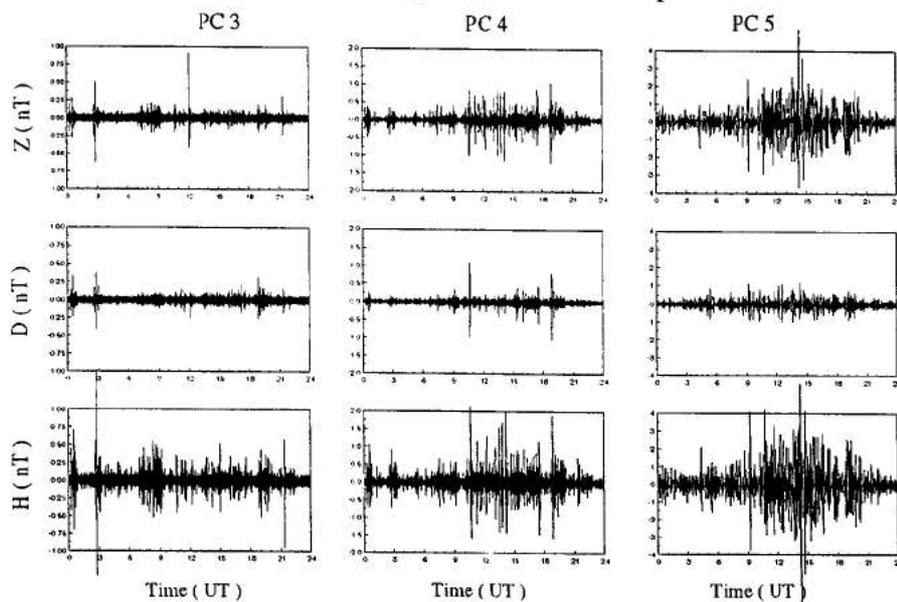
São Luiz, MA - May 09, 1993 - $\Sigma Kp = 39+$



Varição diurna do campo geomagnético em um dia perturbado na região do Eletrojato Equatorial - EJE.

Figura 13

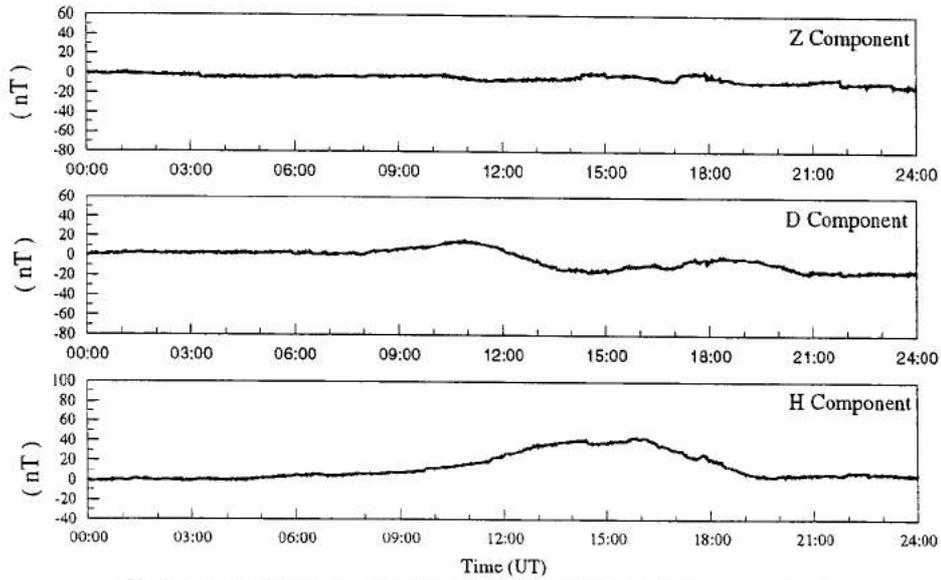
São Luiz, MA - May 09, 1993 - $\Sigma Kp = 39+$



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 14

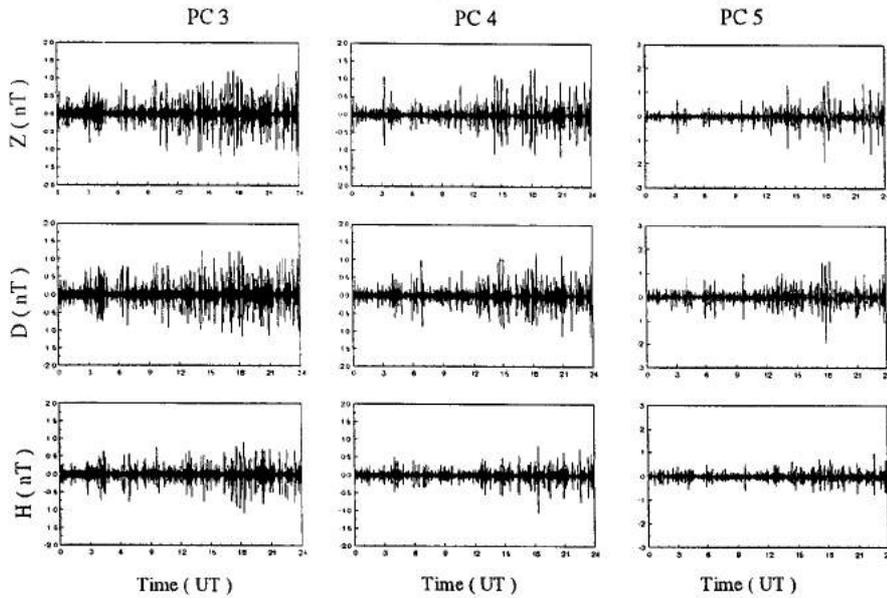
Santa Maria - August 14, 1993 - $\Sigma Kp = 3-$



Variação diurna do campo geomagnético em um dia calmo na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.

Figura 15

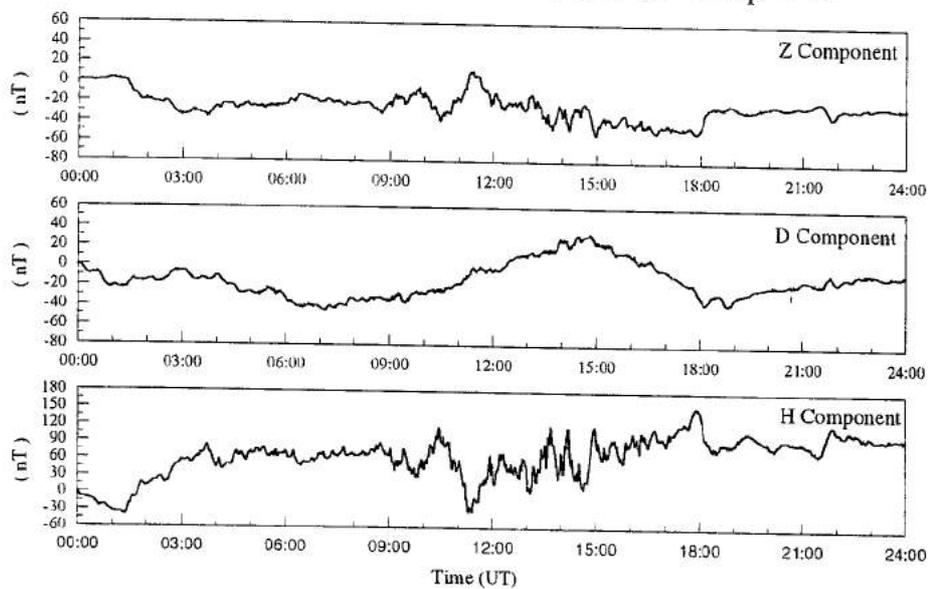
Santa Maria, RS - August 14, 1993 - $\Sigma Kp = 3-$



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 16

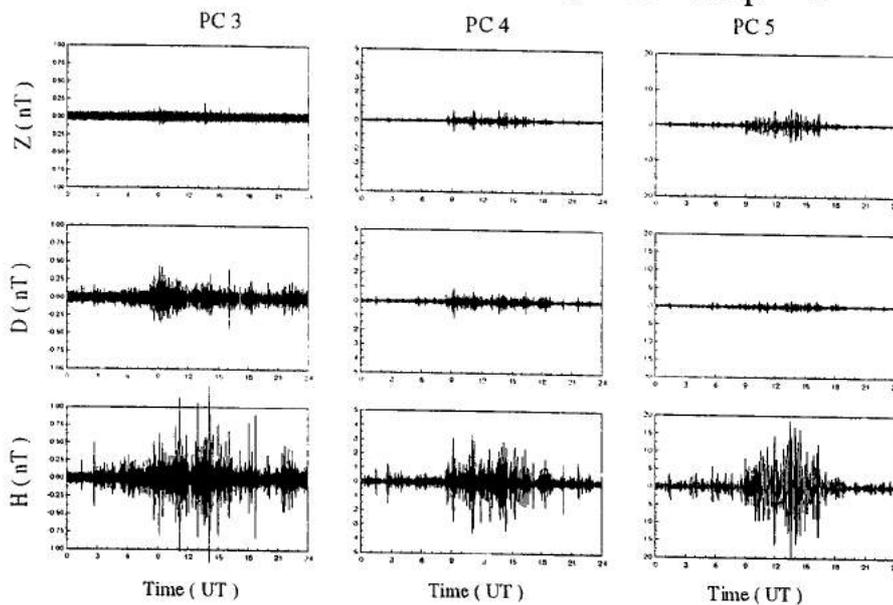
São Luiz, MA - November 04, 1993 - $\Sigma Kp = 47^\circ$



Varição diurna do campo geomagnético em um dia perturbado na região do Eletrojato Equatorial - EJE.

Figura 17

São Luiz, MA - November 04, 1993 - $\Sigma Kp = 47^\circ$



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 18

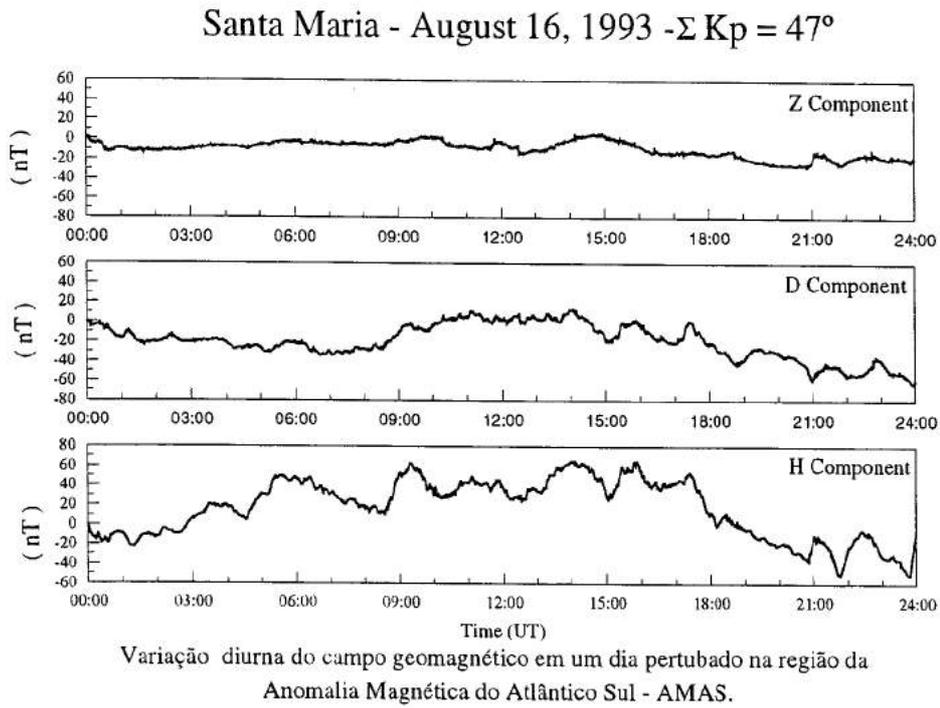


Figura 19

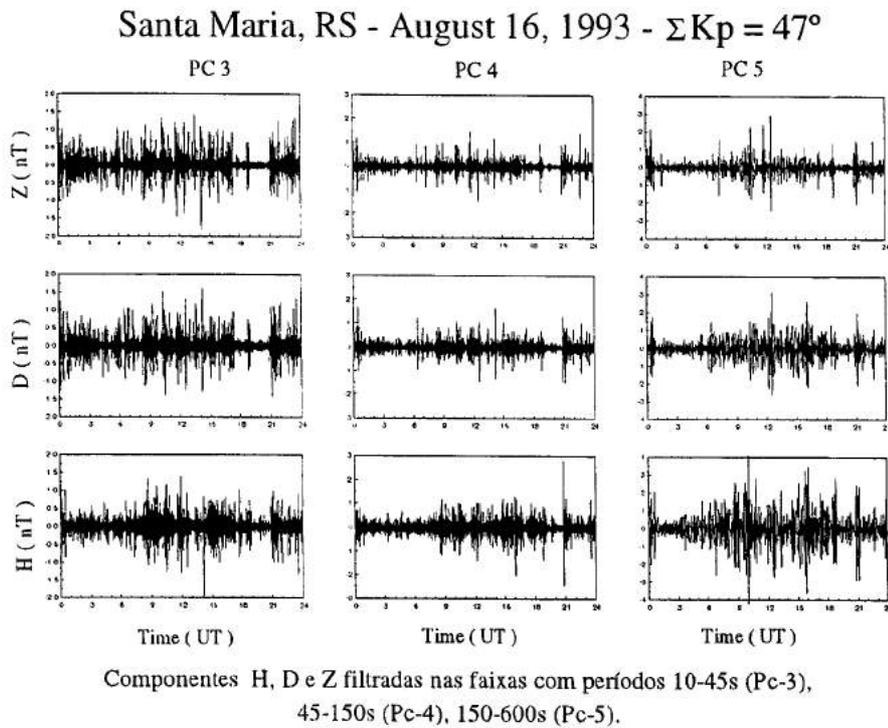
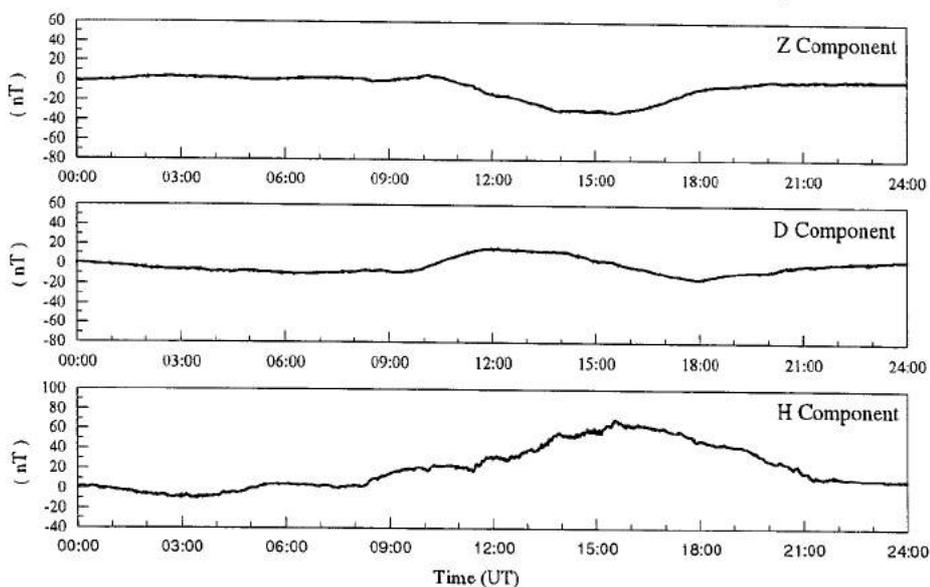


Figura 20

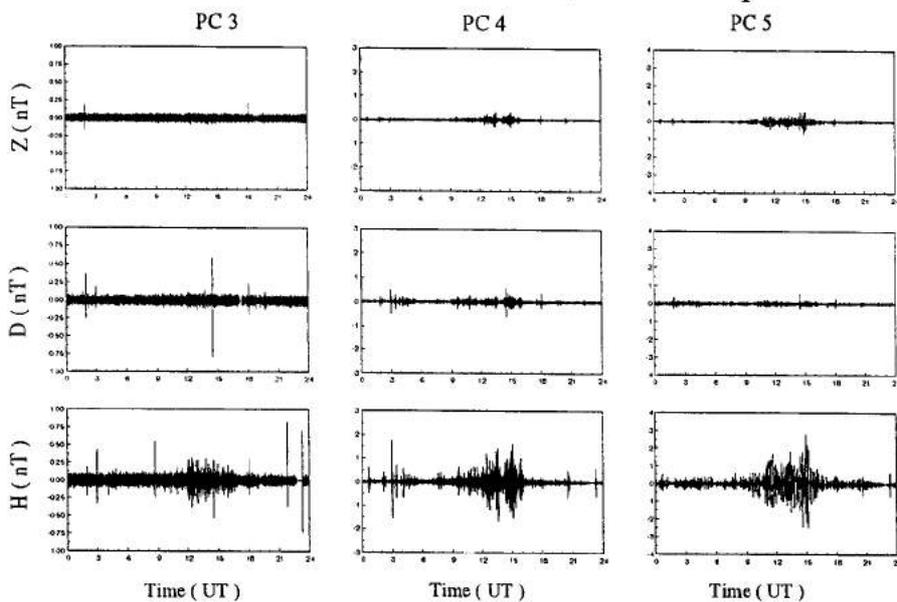
São Luiz, MA - November 12, 1993 - $\Sigma Kp = 7-$



Varição diurna do campo geomagnético em um dia calmo na região do Eletrojato Equatorial - EJE.

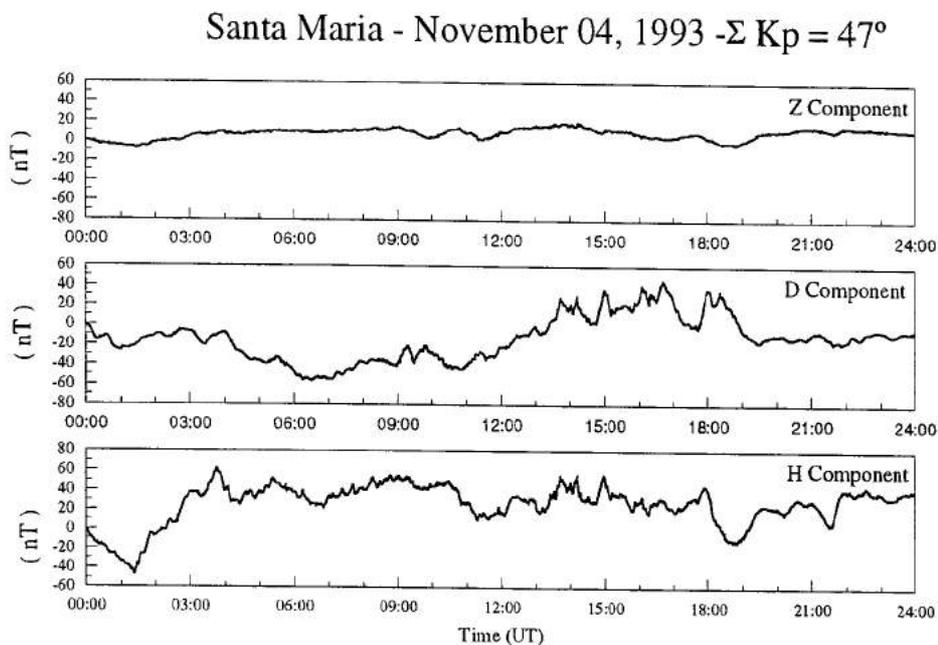
Figura 21

São Luiz, MA - November 12, 1993 - $\Sigma Kp = 7-$



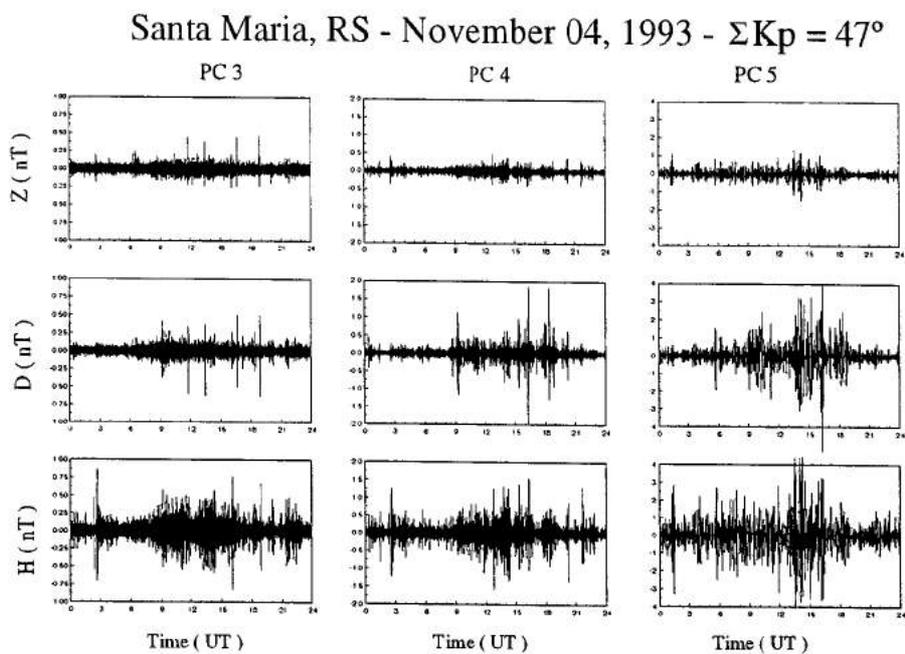
Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 22



Variação diurna do campo geomagnético em um dia perturbado na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.

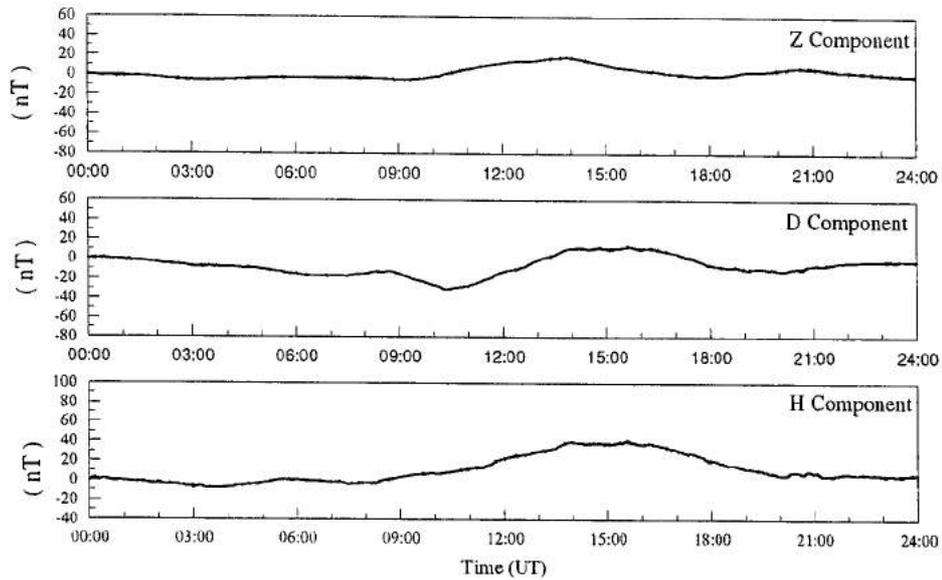
Figura 23



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 24

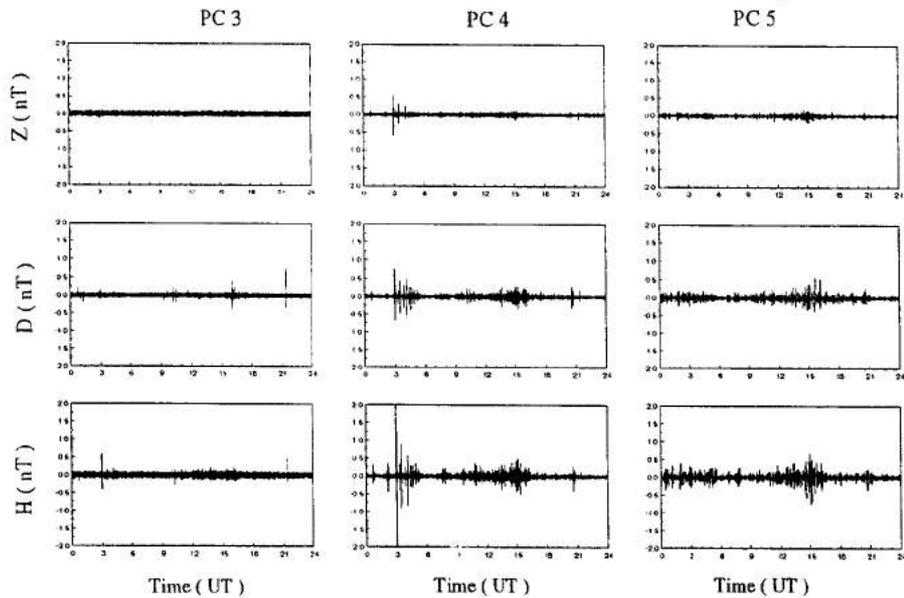
Santa Maria - November 12, 1993 - $\Sigma Kp = 7-$



Varição diurna do campo geomagnético em um dia calmo na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.

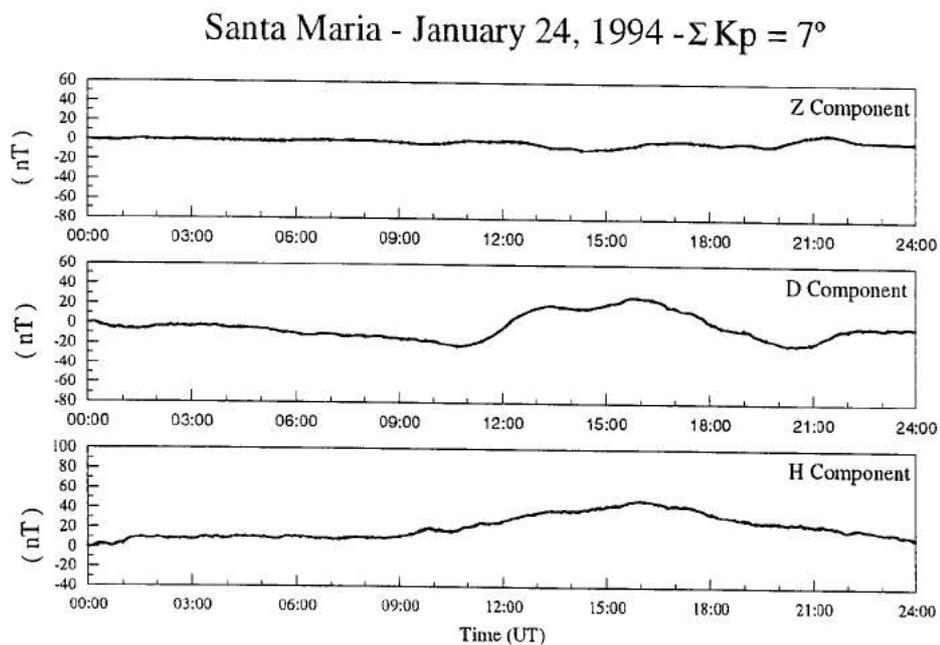
Figura 25

Santa Maria, RS - November 12, 1994 - $\Sigma Kp = 7-$



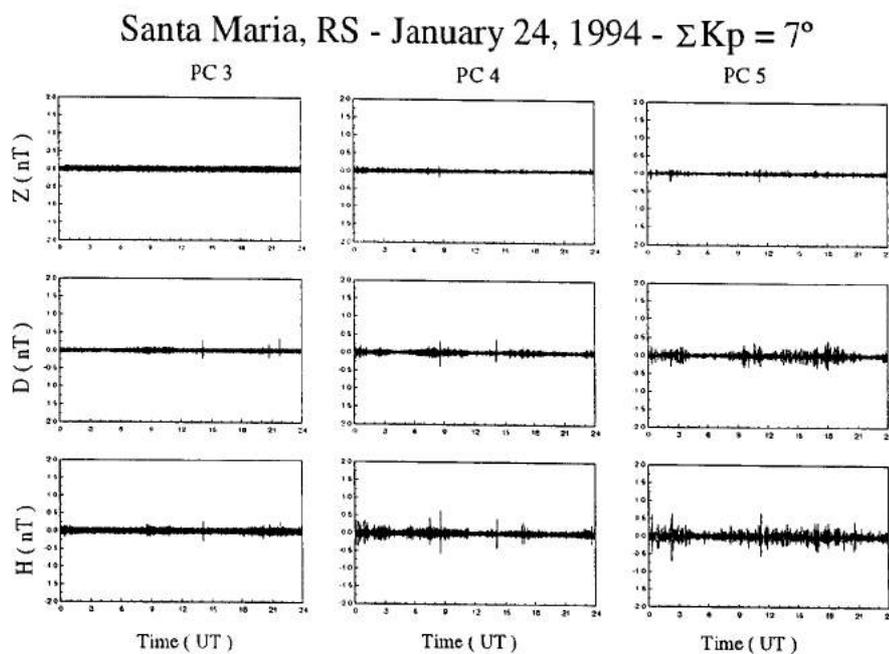
Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 26



Variação diurna do campo geomagnético em um dia calmo na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.

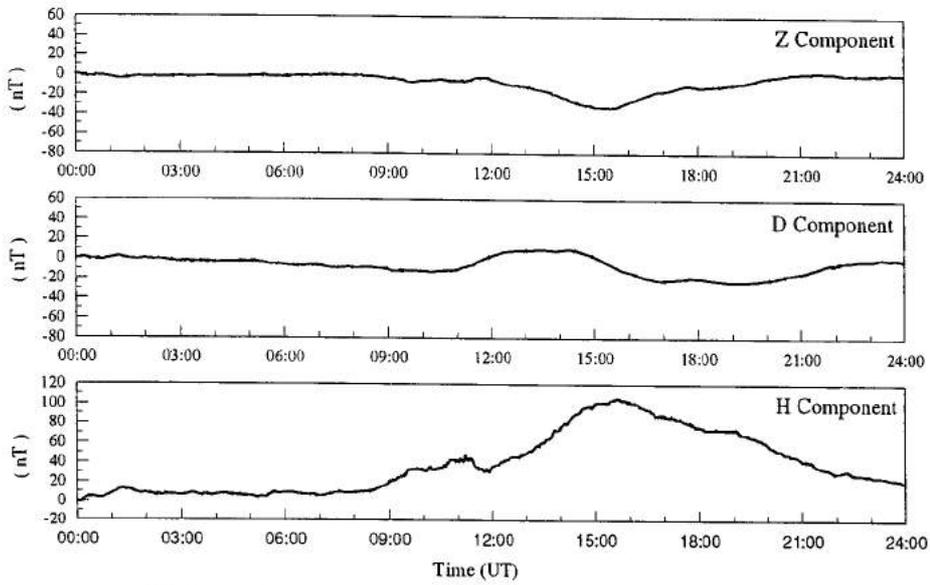
Figura 27



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 28

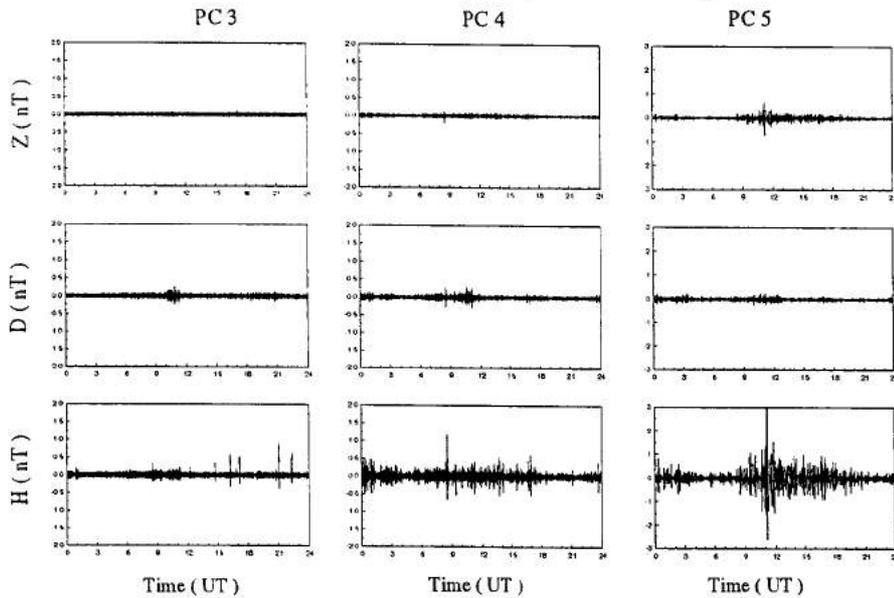
São Luiz, MA - January 24, 1994 - $\Sigma Kp = 7^\circ$



Varição diurna do campo geomagnético em um dia calmo na região do Eletrojato Equatorial - EJE.

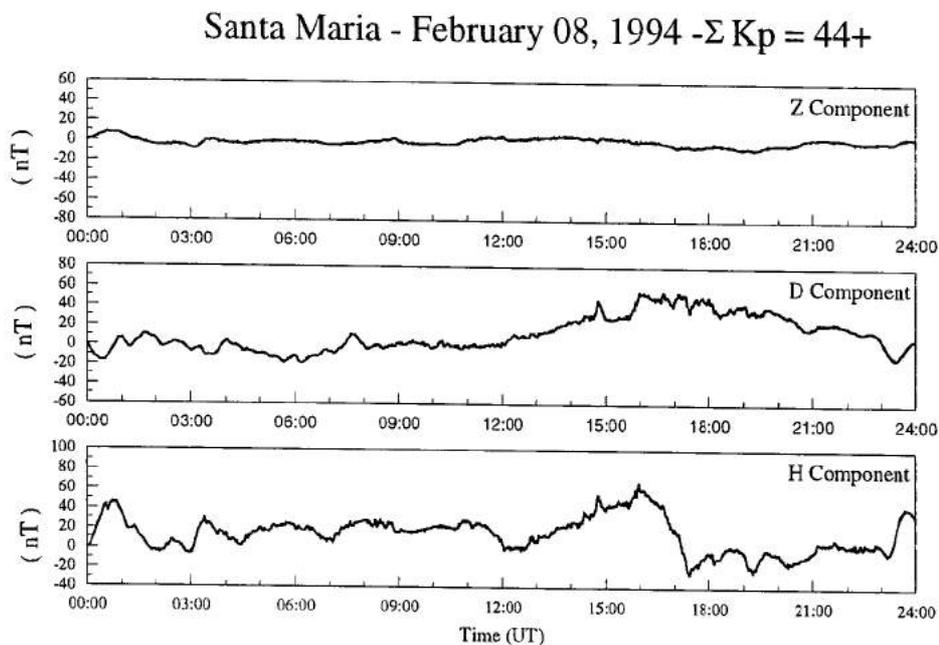
Figura 29

São Luiz, MA - January 24, 1994 - $\Sigma Kp = 7^\circ$



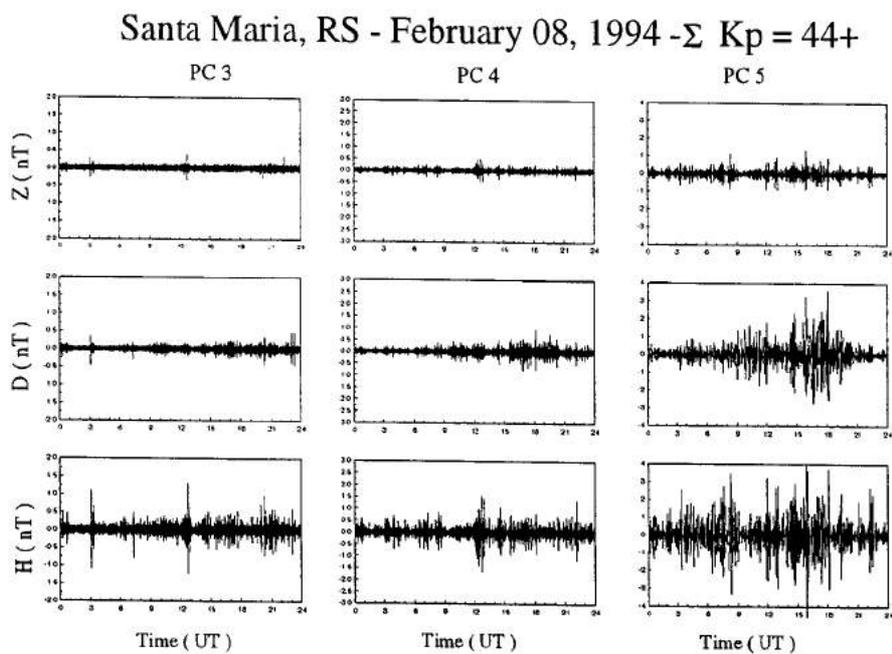
Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 30



Variação diurna do campo geomagnético em um dia perturbado na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.

Figura 31



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 32

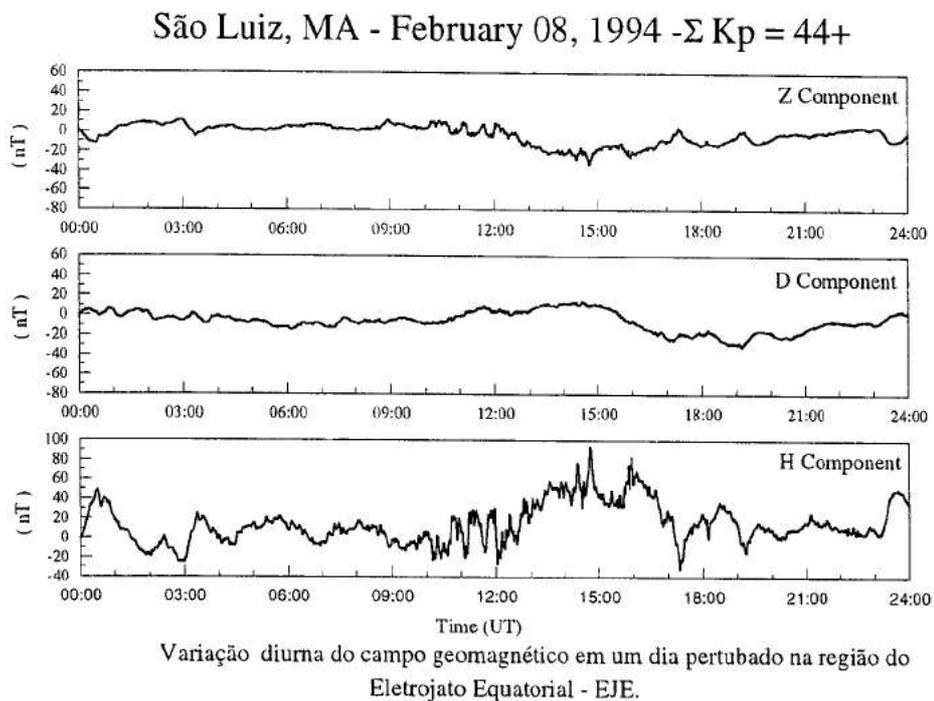


Figura 33

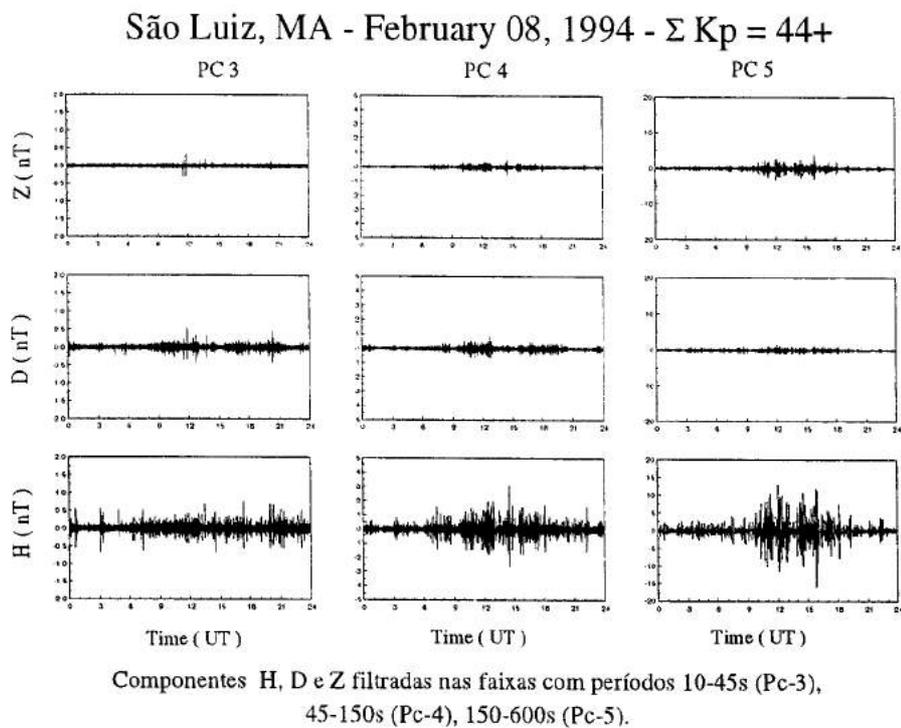
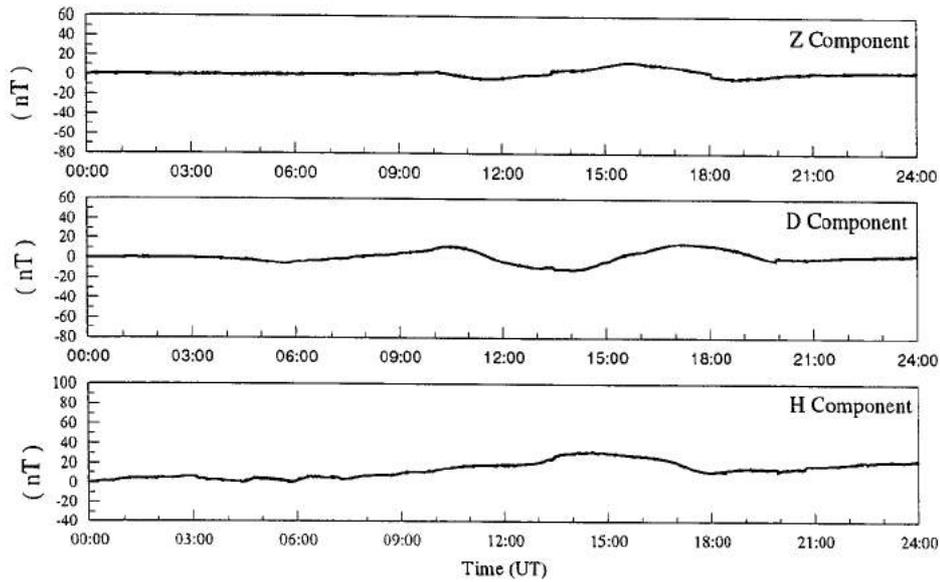


Figura 34

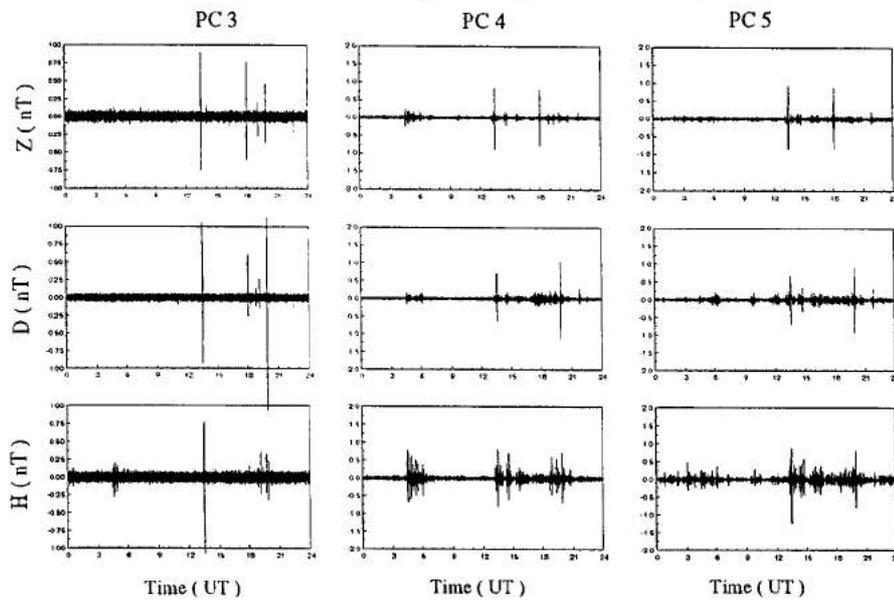
Santa Maria - April 30, 1994 - $\Sigma Kp = 4-$



Varição diurna do campo geomagnético em um dia calmo na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.

Figura 34

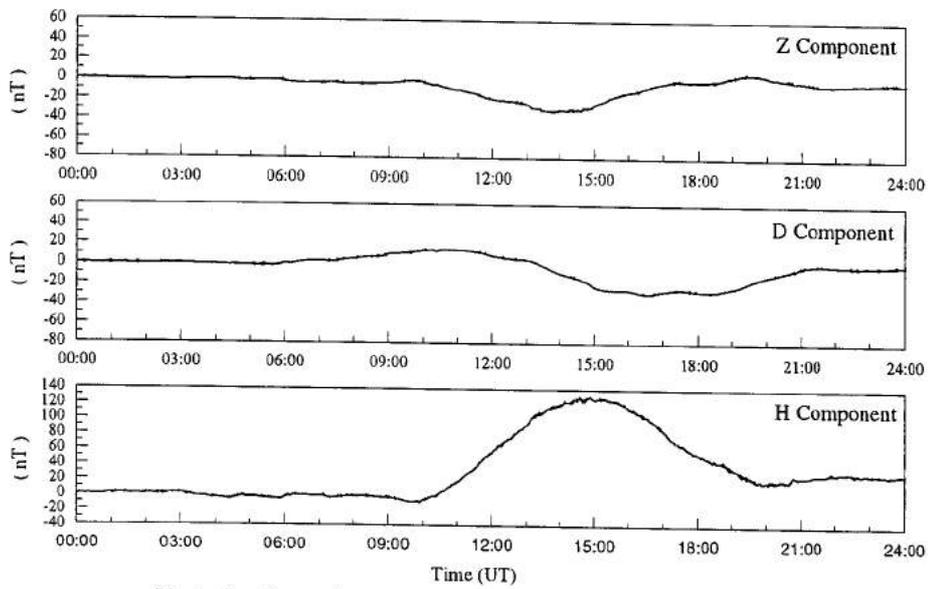
Santa Maria, RS - April 30, 1994 - $\Sigma Kp = 4-$



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 35

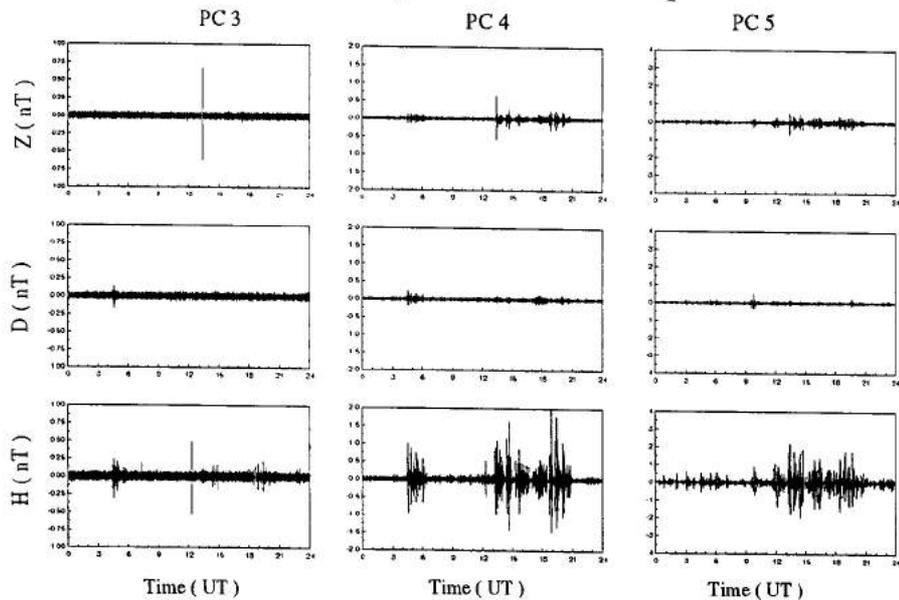
São Luiz, MA - April 30, 1994 - $\Sigma Kp = 4-$



Varição diurna do campo geomagnético em um dia calmo na região do Eletrojato Equatorial - EJE.

Figura 36

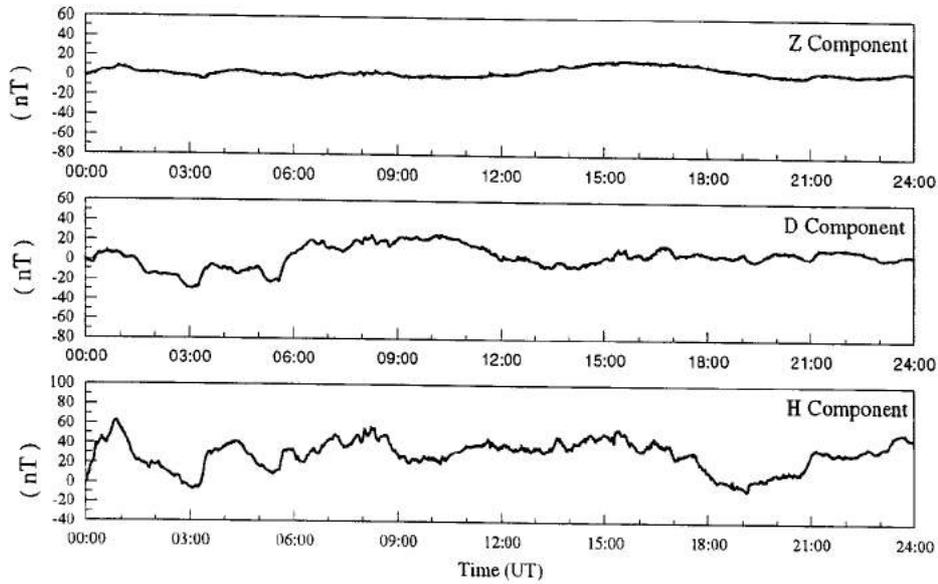
São Luiz, MA - April 30, 1994 - $\Sigma Kp = 4-$



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 37

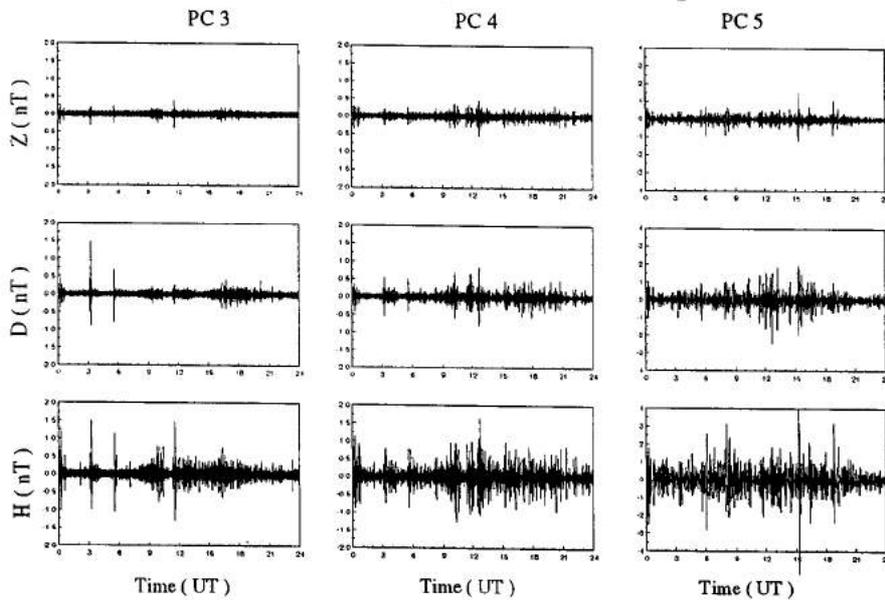
Santa Maria - May 03, 1994 - $\Sigma Kp = 37+$



Variação diurna do campo geomagnético em um dia perturbado na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.

Figura 38

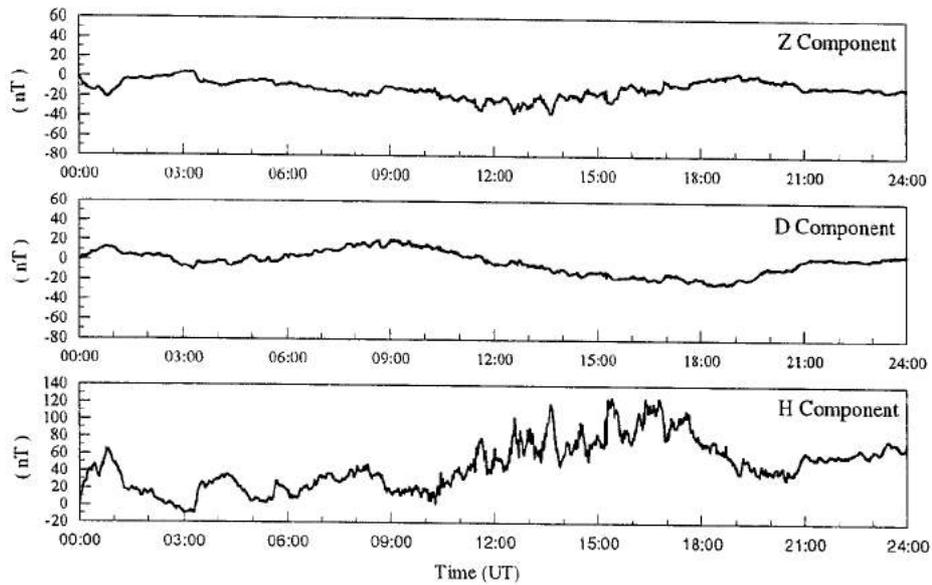
Santa Maria, RS - May 03, 1994 - $\Sigma Kp = 37+$



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 39

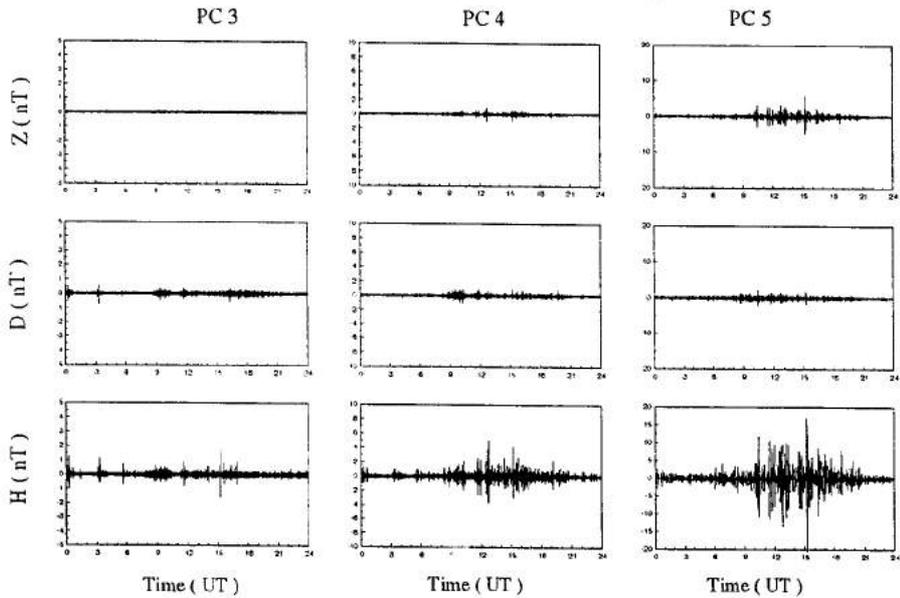
São Luiz, MA - May 03, 1994 - $\Sigma Kp = 37+$



Varição diurna do campo geomagnético em um dia perturbado na região do Eletrojato Equatorial - EJE.

Figura 40

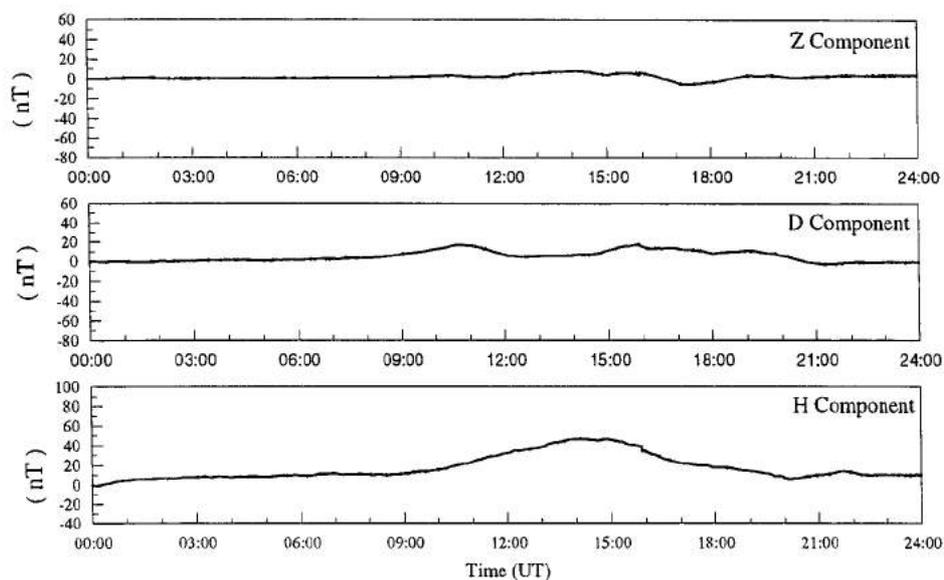
São Luiz, MA - May 03, 1994 - $\Sigma Kp = 37+$



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 41

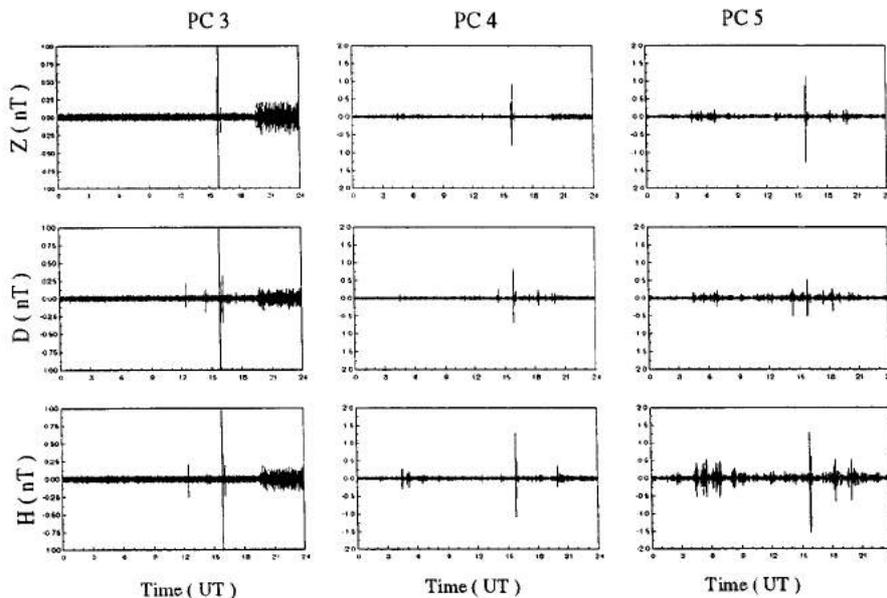
Santa Maria - August 08, 1994 - $\Sigma Kp = 3+$



Varição diurna do campo geomagnético em um dia calmo na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.

Figura 42

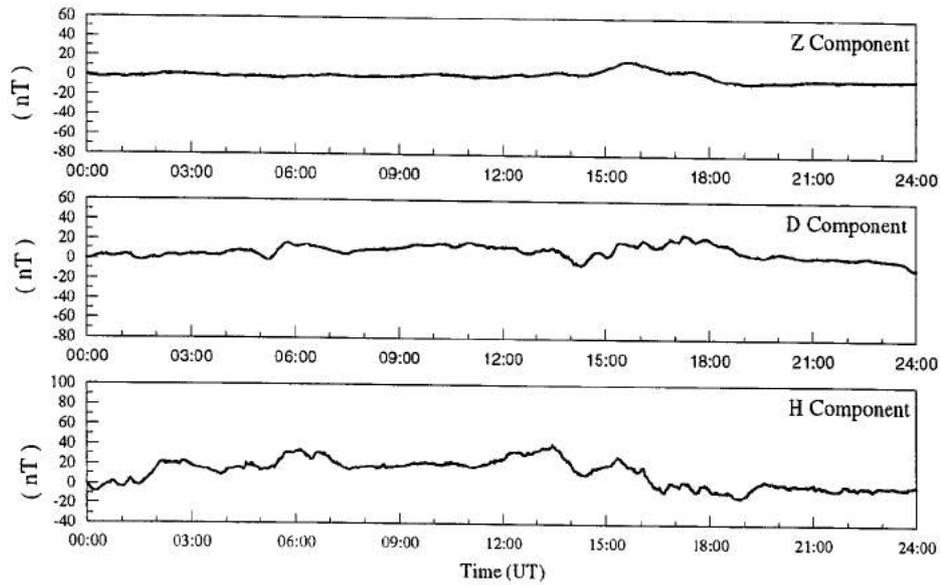
Santa Maria, RS - August 08, 1994 - $\Sigma Kp = 3+$



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 43

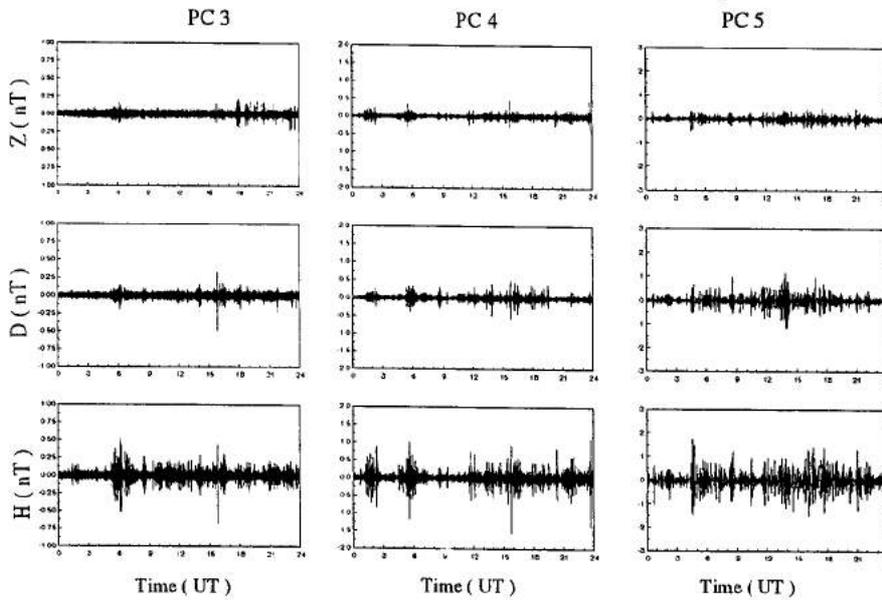
Santa Maria - August 13, 1994 - $\Sigma Kp = 31+$



Varição diurna do campo geomagnético em um dia perturbado na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.

Figura 44

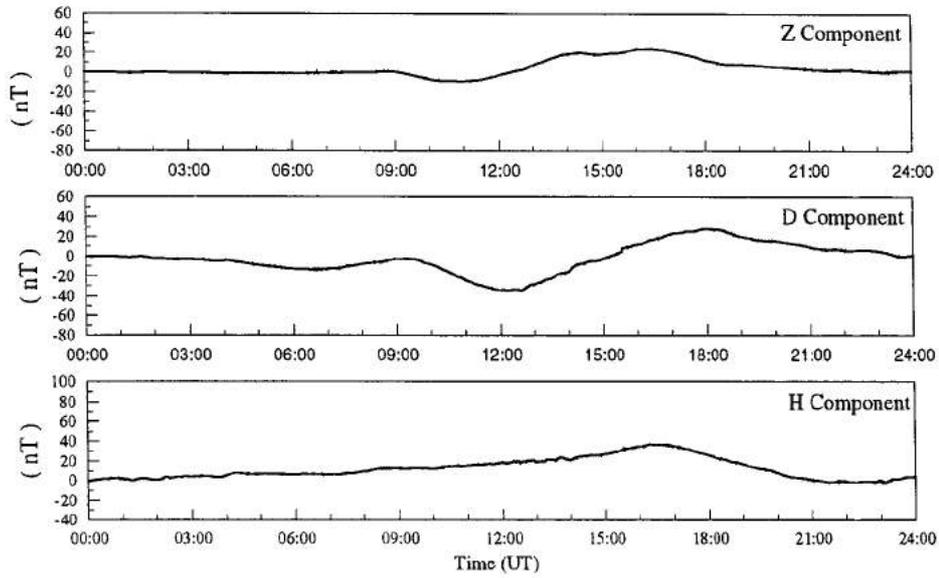
Santa Maria, RS - August 13, 1994 - $\Sigma Kp = 31+$



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 45

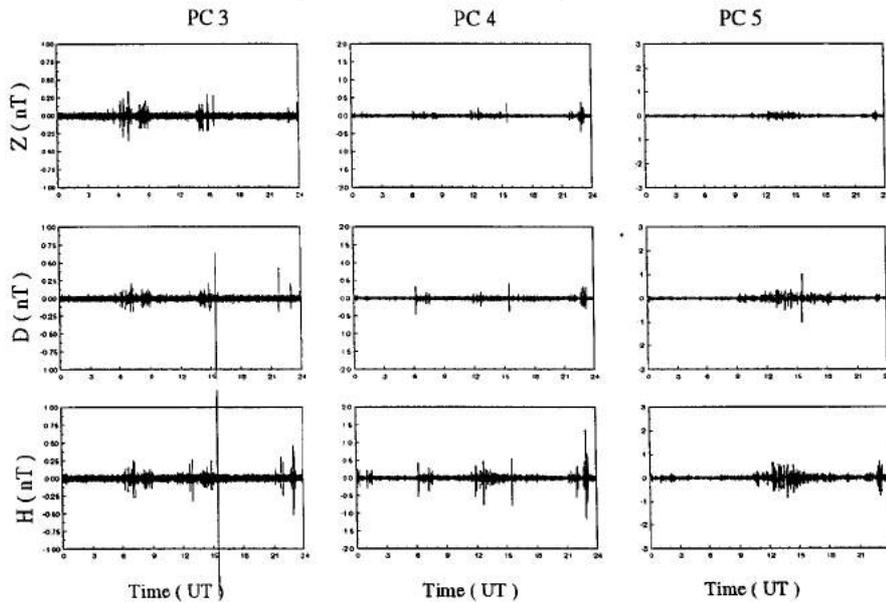
Santa Maria, MA - October 28, 1994 - $\Sigma K_p = 9+$



Varição diurna do campo geomagnético em um dia calmo na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.

Figura 46

Santa Maria, RS - October 28, 1994 - $\Sigma K_p = 9+$



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 47

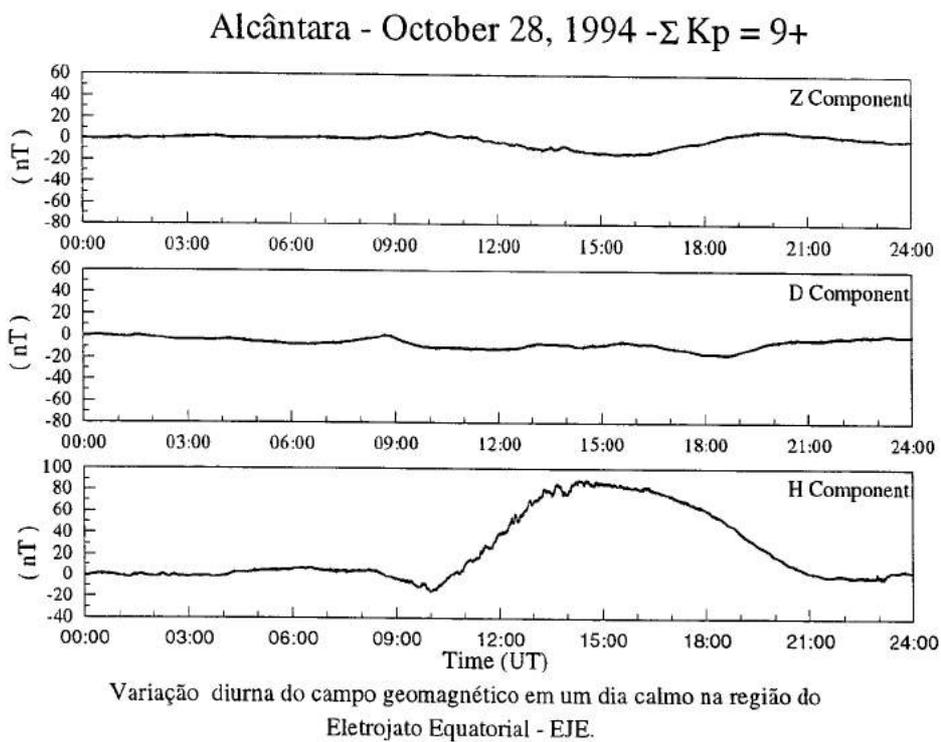


Figura 48

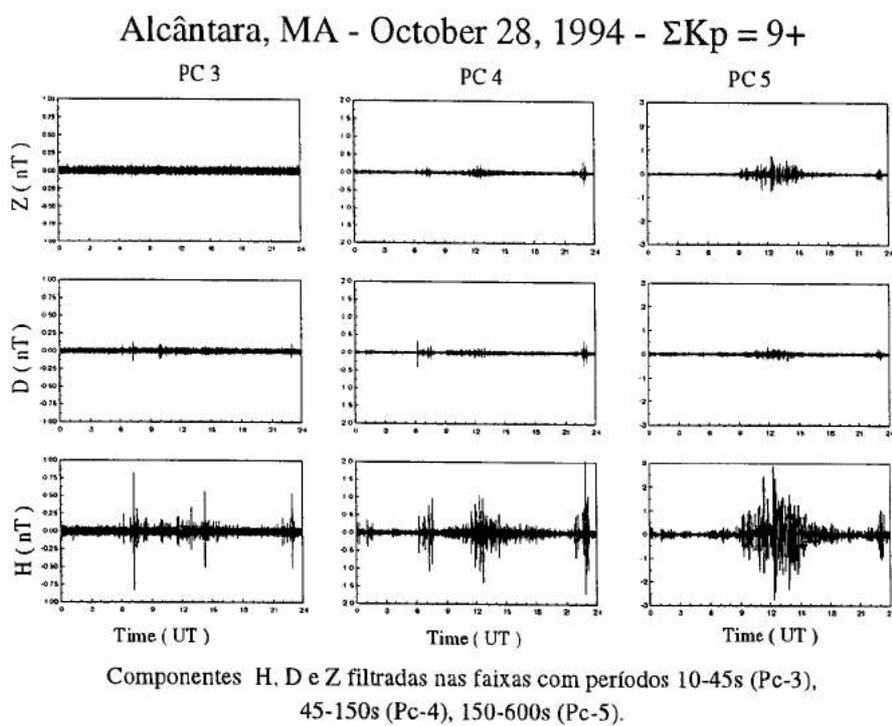
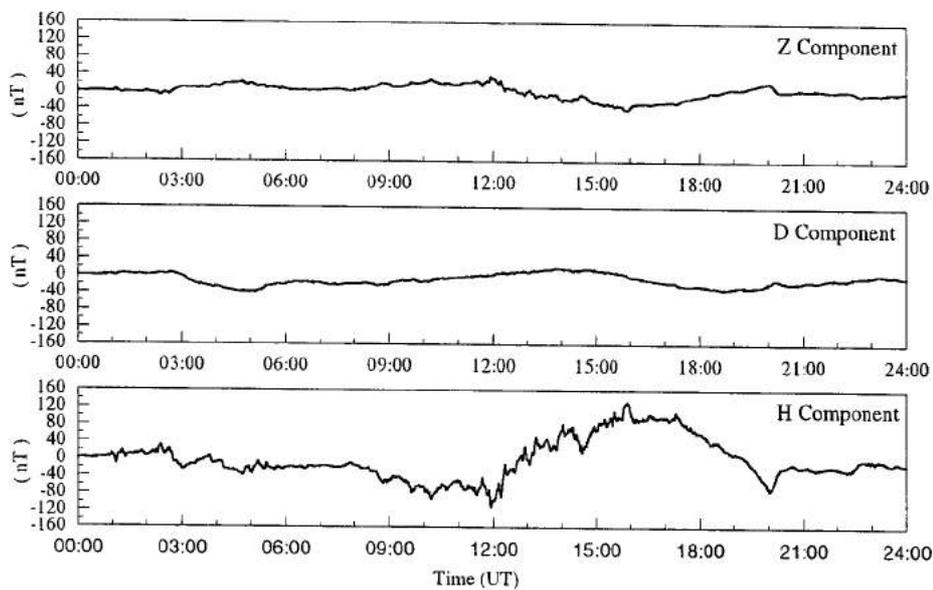


Figura 49

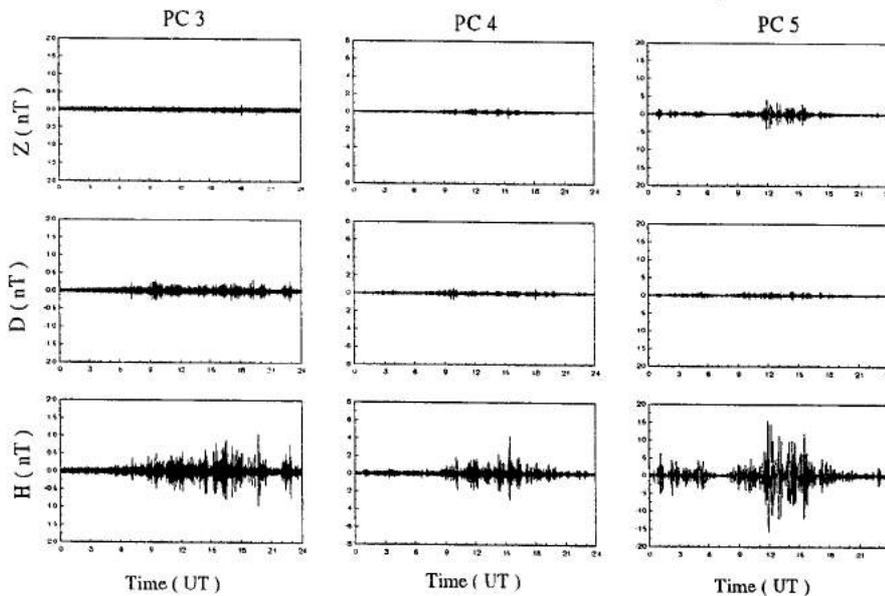
Alcântara - October 30, 1994 - $\Sigma Kp = 41$ -



Varição diurna do campo geomagnético em um dia perturbado na região do Eletrojato Equatorial - EJE.

Figura 50

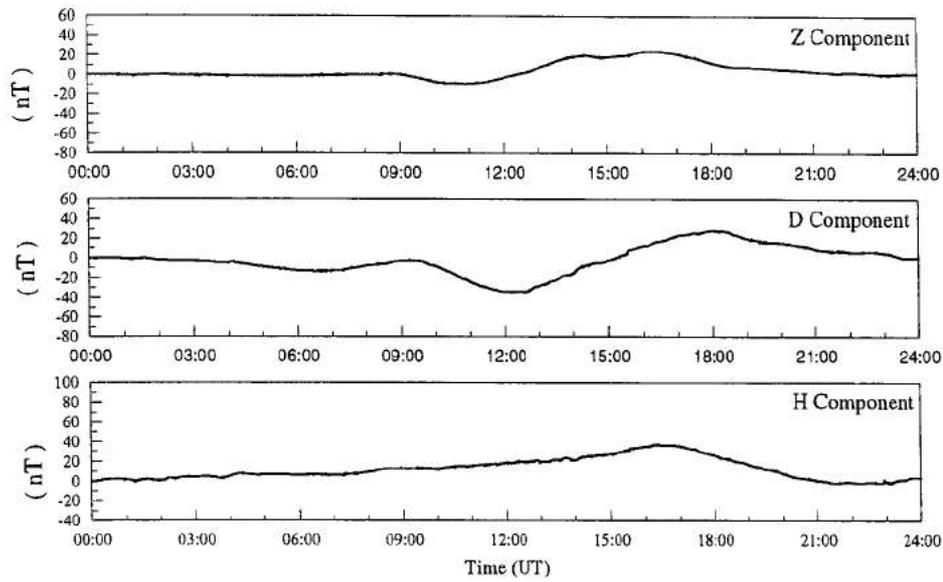
Alcântara, MA - October 30, 1994 - $\Sigma Kp = 41$ -



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 51

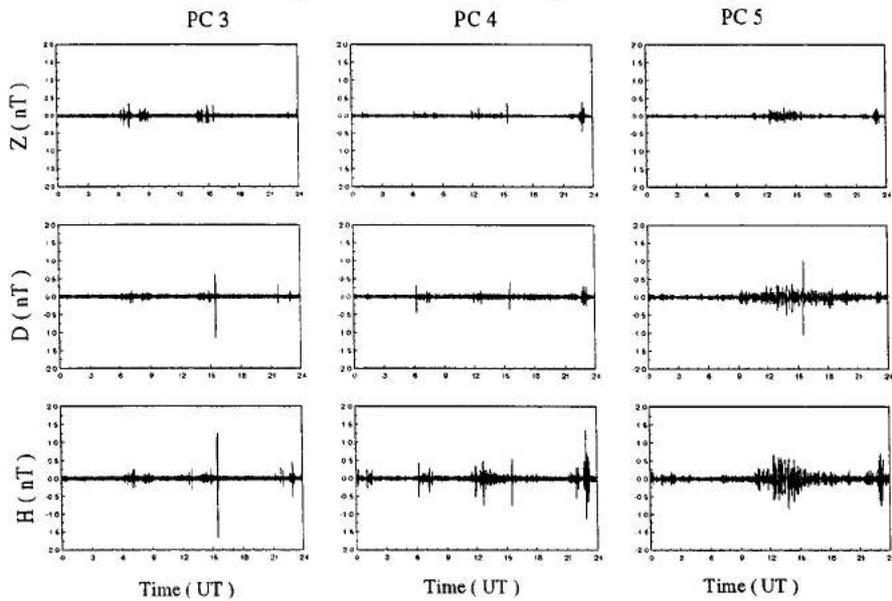
Santa Maria - October 30, 1994 - $\Sigma Kp = 41$ -



Varição diurna do campo geomagnético em um dia perturbado na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.

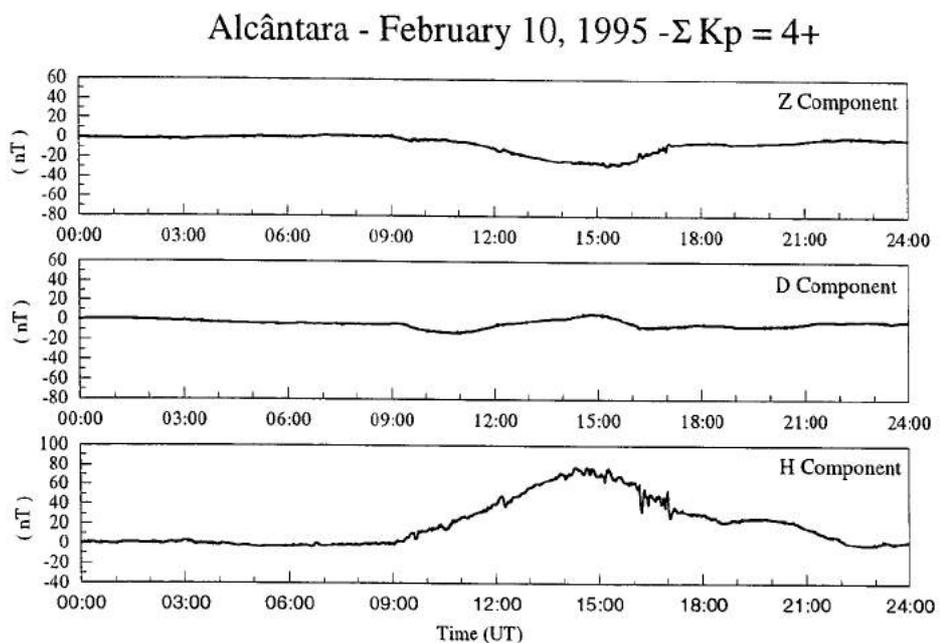
Figura 52

Santa Maria, RS - October 30, 1994 - $\Sigma Kp = 41$ -



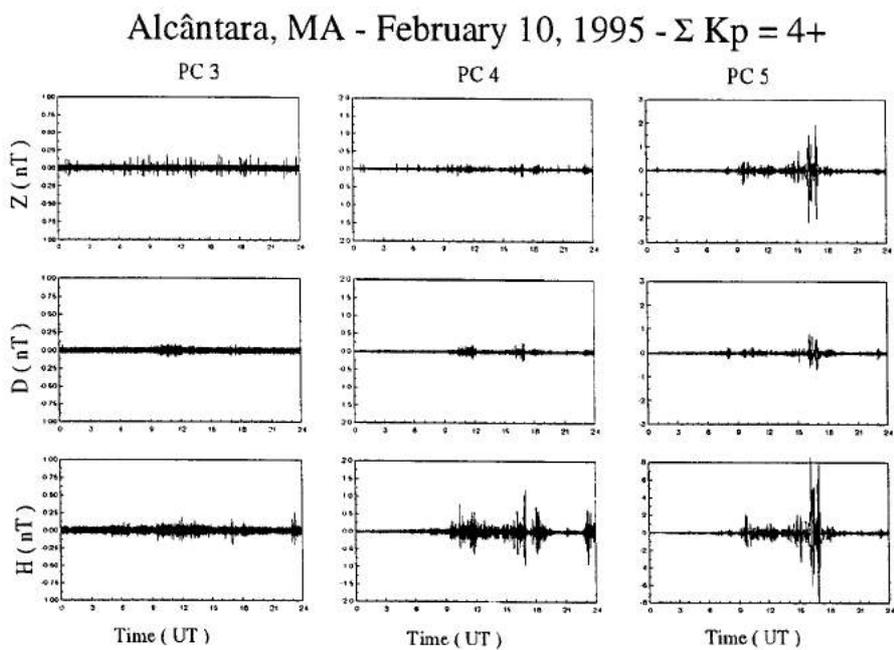
Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 53



Variação diurna do campo geomagnético em um dia calmo na região do Eletrojato Equatorial - EJE.

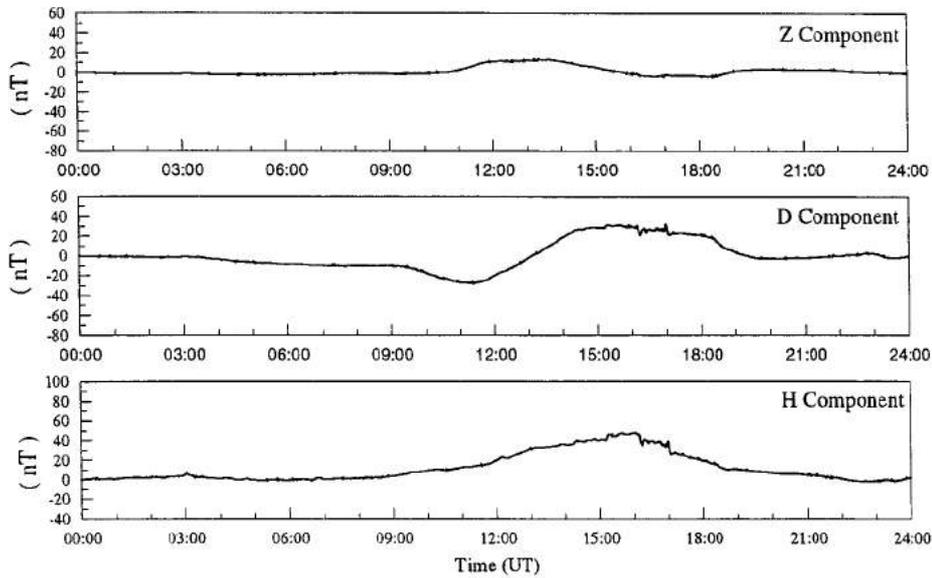
Figura 54



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 55

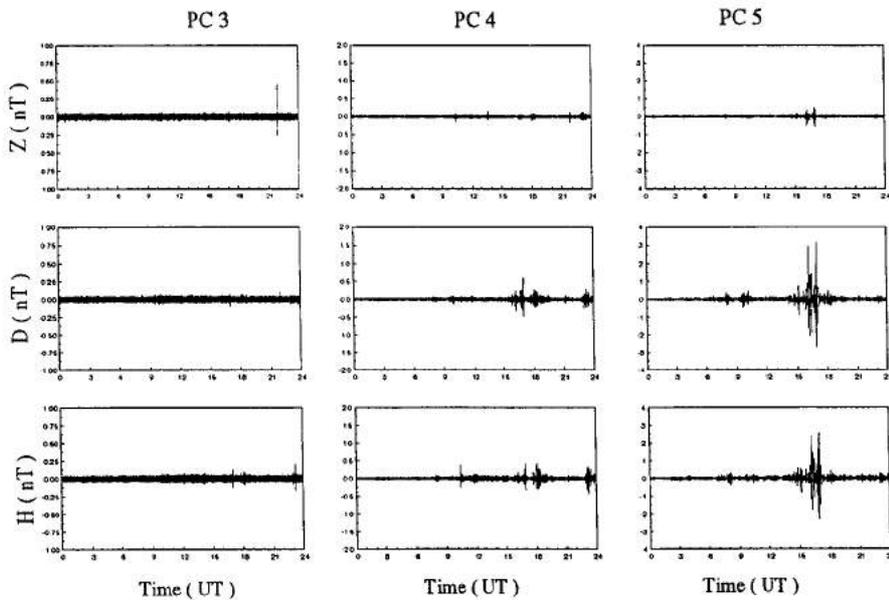
Santa Maria, RS - February 10, 1994 - $\Sigma Kp = 4+$



Varição diurna do campo geomagnético em um dia calmo na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.

Figura 56

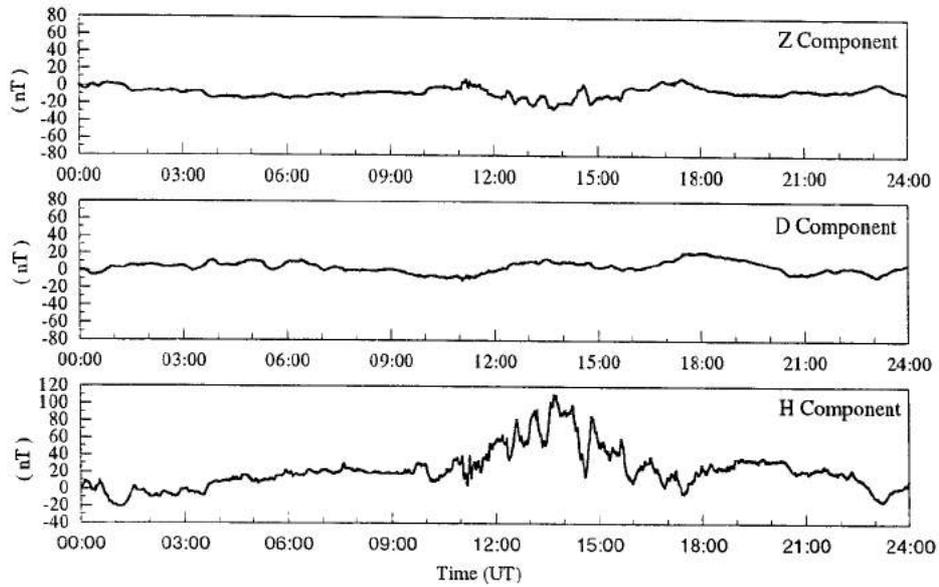
Santa Maria, RS - February 10, 1995 - $\Sigma Kp = 4+$



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 57

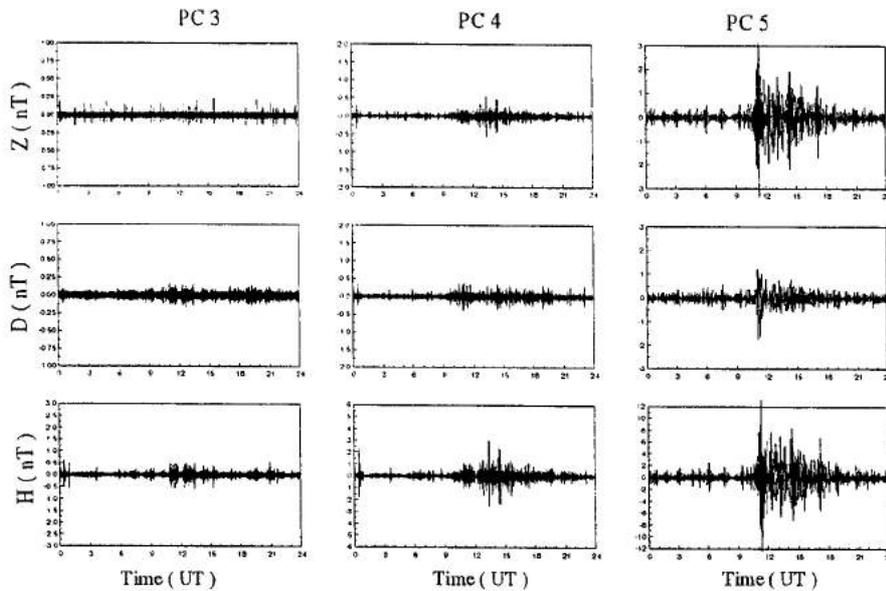
Alcântara - February 13, 1995 - $\Sigma Kp = 37^\circ$



Varição diurna do campo geomagnético em um dia perturbado na região do Eletrojato Equatorial - EJE.

Figura 58

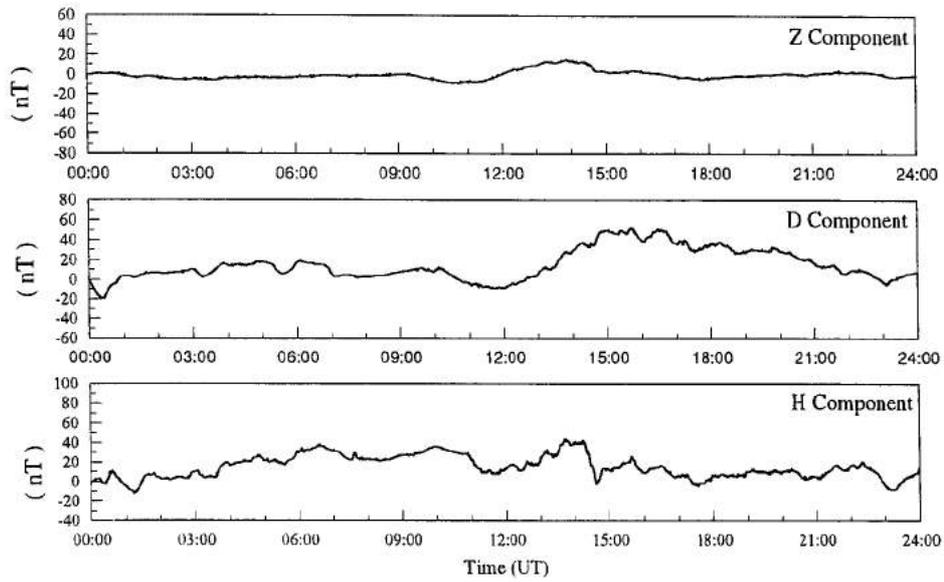
Alcântara, MA - February 13, 1995 - $\Sigma Kp = 37^\circ$



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 59

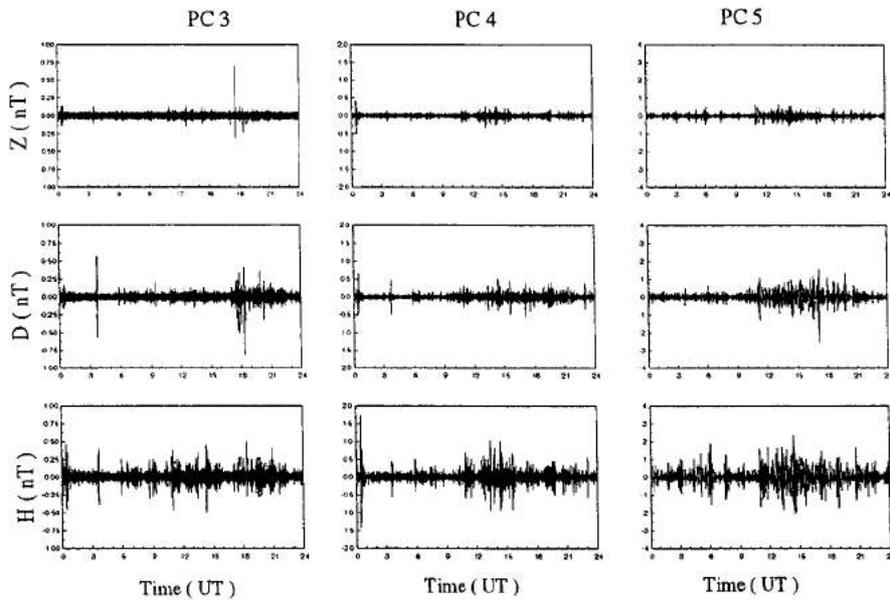
Santa Maria, RS - February 13, 1995 - $\Sigma Kp = 37^\circ$



Variação diurna do campo geomagnético em um dia perturbado na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.

Figura 60

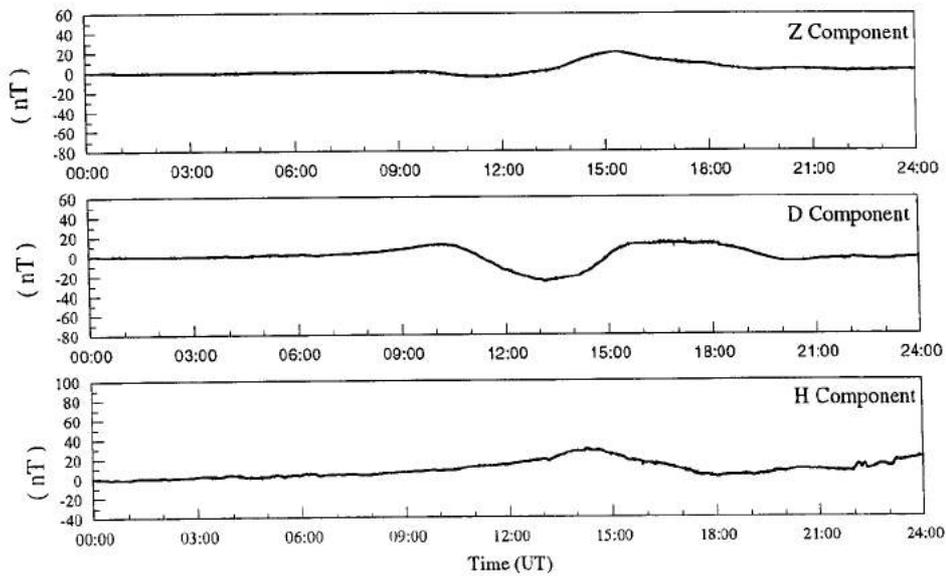
Santa Maria, RS - February 13, 1995 - $\Sigma Kp = 37^\circ$



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 61

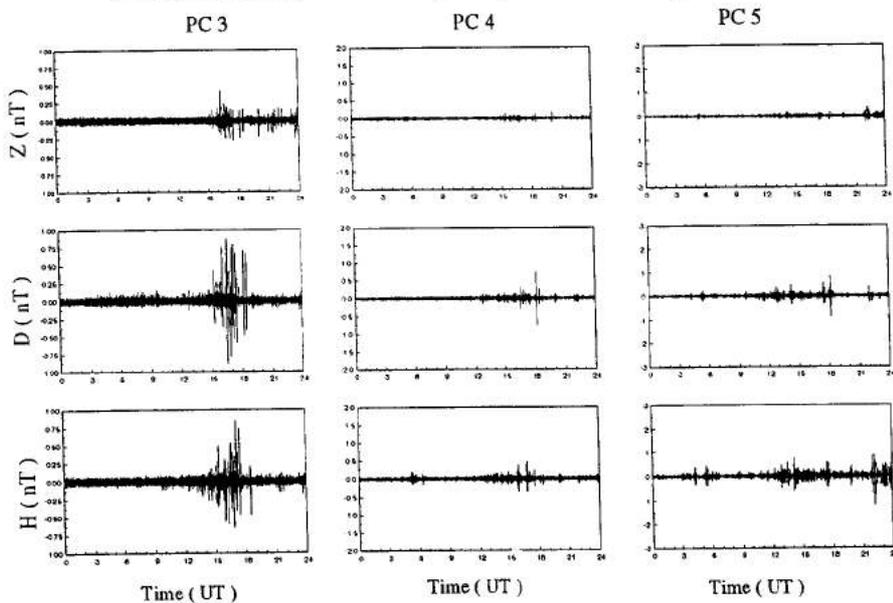
Santa Maria - May 01, 1995 - $\Sigma K_p = 5+$



Variação diurna do campo geomagnético em um dia calmo na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.

Figura 62

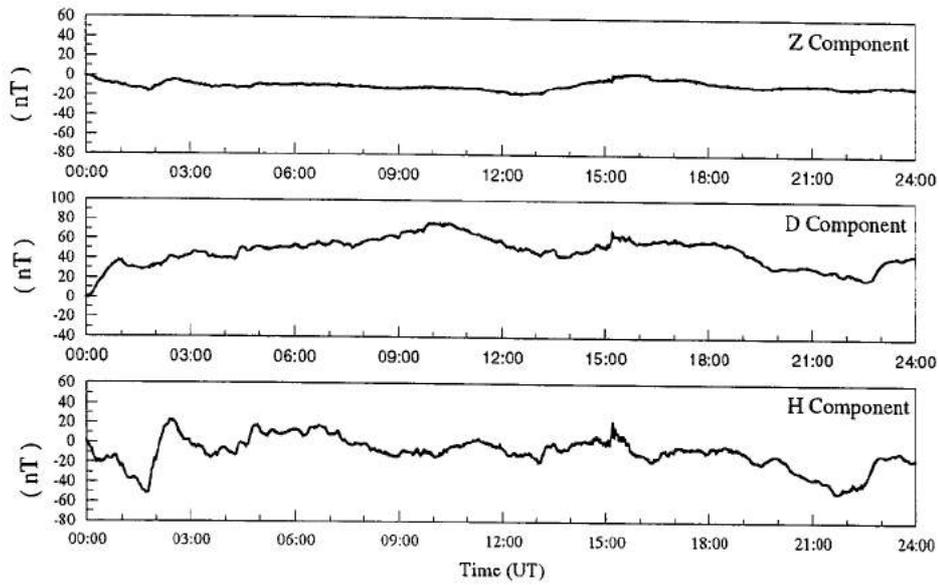
Santa Maria, RS - May 01, 1995 - $\Sigma K_p = 5+$



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 63

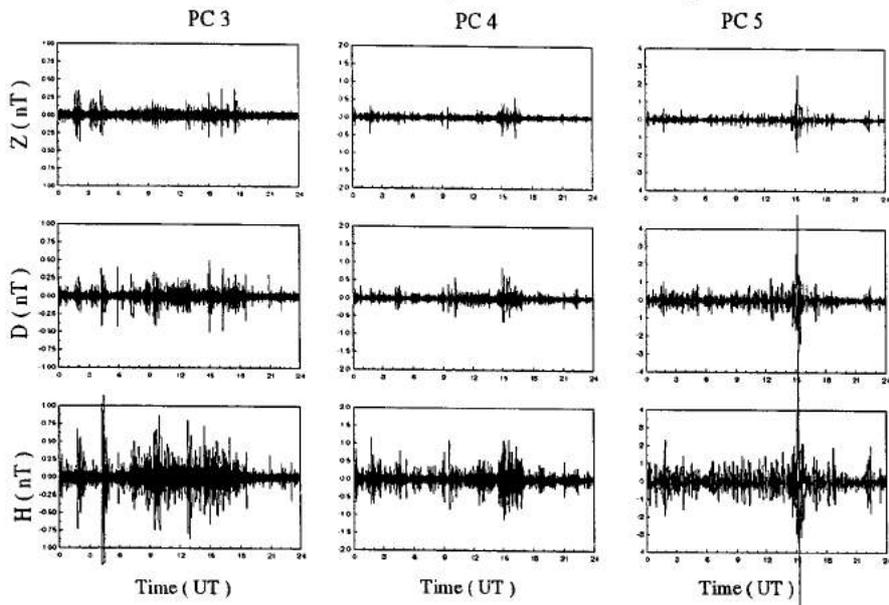
Santa Maria - May 03, 1995 - $\Sigma K_p = 40$ -



Variação diurna do campo geomagnético em um dia perturbado na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.

Figura 64

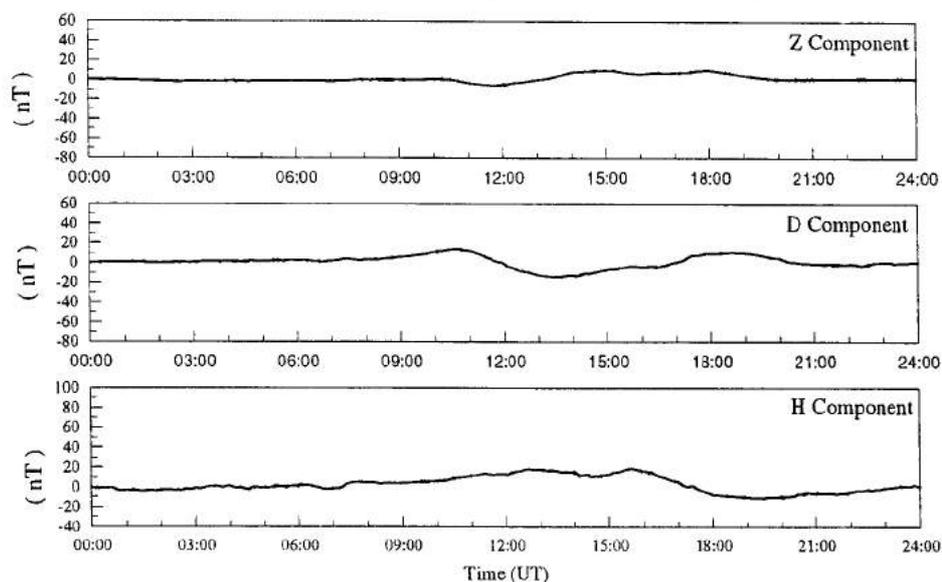
Santa Maria, RS - May 05, 1995 - $\Sigma K_p = 40$ -



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 65

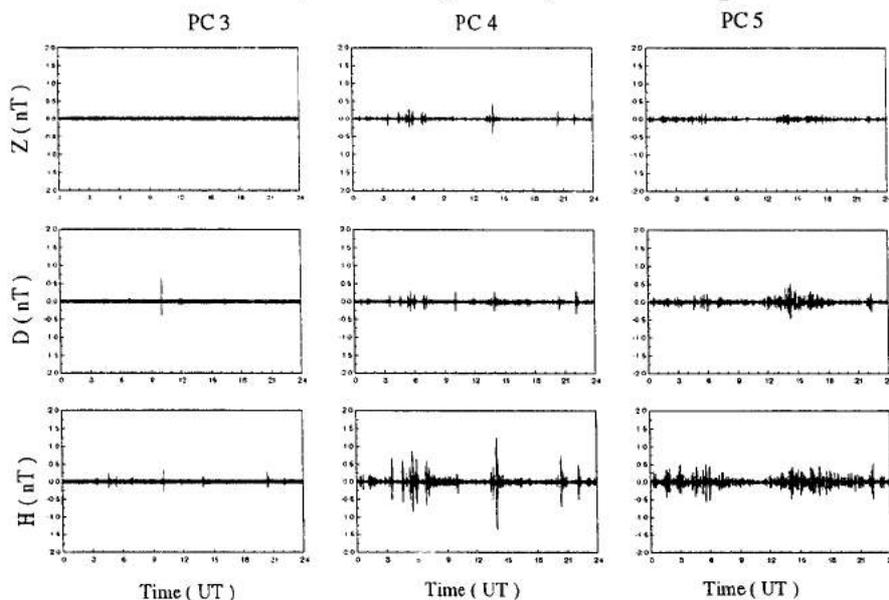
Santa Maria, RS - August 06, 1995 - $\Sigma Kp = 8$ -



Varição diurna do campo geomagnético em um dia calmo na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.

Figura 66

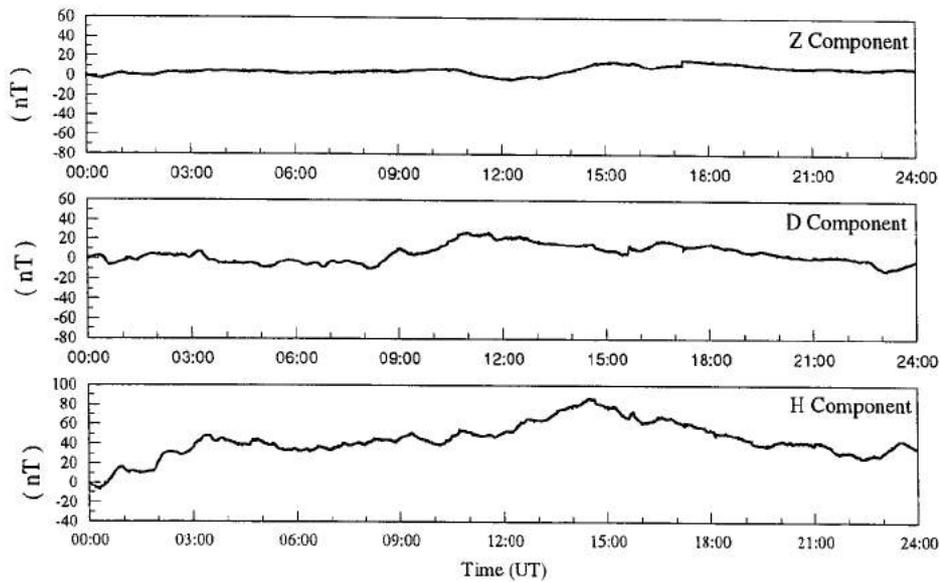
Santa Maria, RS - August 06, 1995 - $\Sigma Kp = 8$ -



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 67

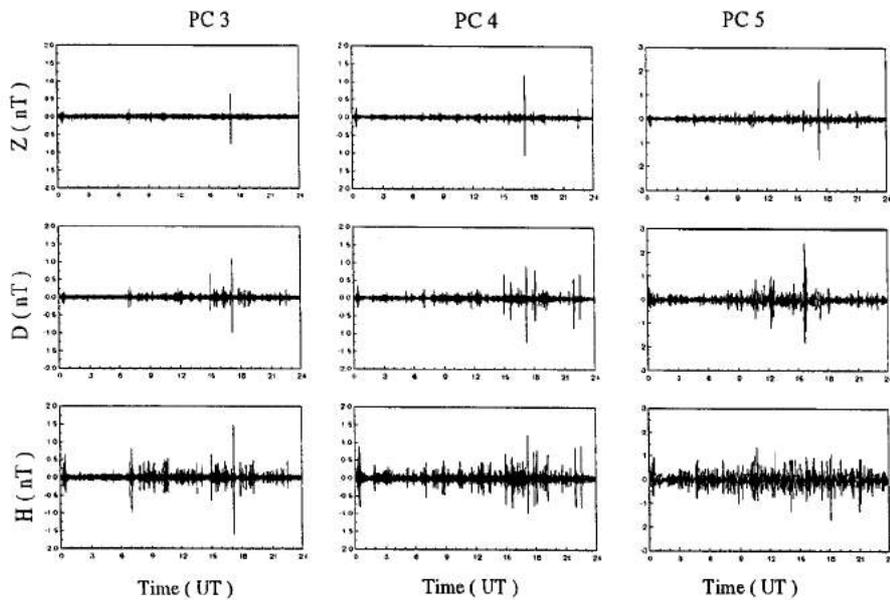
Santa Maria, RS - August 14, 1995 - $\Sigma Kp = 29^\circ$



Varição diurna do campo geomagnético em um dia perturbado na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS.

Figura 68

Santa Maria, RS - August 14, 1995 - $\Sigma Kp = 29^\circ$



Componentes H, D e Z filtradas nas faixas com períodos 10-45s (Pc-3), 45-150s (Pc-4), 150-600s (Pc-5).

Figura 69

5 - CONCLUSÕES

Neste trabalho teve como objetivo o estudo sobre as características e os mecanismos de geração de micropulsões na faixa de Pc 3-5(10 600s), observadas em estações geomagnéticas na regiões da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), no Eletrojato Equatorial e na Antártica.

Foram efetuadas filtragem digitais e análises espectrais dinâmicas, utilizando o método da transformada rápida de Fourier (FFT), para os dados coletados nas seguintes estações: Santa Maria (29.7°S,53.9°W) RS, na região da AMAS; Alcântara (2.4°S,44.4°W) MA e São Luiz (2.5°S,44,3°W) MA, na região Eletrojato Equatorial; Na região da Antártica faz –se uso dos dados geomagnéticos coletados na Estação Antártica Comandante Ferraz –EACF (62°S, 58°W). As filtragem digitais e a análise espectral dinâmica determinarão as características das micropulsões geomagnéticas como período, amplitude, duração e fase.

Foi observado na Anomalia Magnética do Atlântico Sul e no Eletrojato Equatorial, que picos com amplitude máxima ocorrem predominantemente entre 09:00 e 16UT, e os picos secundários entre 00:00 e 09:00UT e das 21:00 até 24:00UT, em ambas estações. O valor máximo da amplitude da componente H observado em São Luiz e Alcântara, por volta das 12:00 horas local, é devido a corrente do Eletrojato Equatorial que tem sua intensidade maior quando o Sol está em zênite. Os dados de Santa Maria, para períodos geomagneticamente perturbados, mostram o efeito do fenômeno de precipitação de partículas dos cinturões de radiações de Van Allen na atmosfera da Terra.

As variações temporais do campo magnético da Terra têm uma relação direta com o vento solar, sendo este um dos grandes responsáveis por estas variações, provocando o surgimento das pulsações geomagnéticas. Estas pulsações são responsáveis por vários fenômenos que ocorrem na natureza, alterando instrumentação magnética, do tipo sistema de navegação, causando perturbações associados a propagação de onda de rádio, fazendo com que a comunicação fique alterada.

A continuação deste trabalho envolverá o processamento e análise de dados geomagnéticos observados na Estação Antártica Comandante Ferraz – EACF, no qual o INPE, opera também magnetômetros de indução.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chernsky, E. J.; Fougere, P. F.; Hutchinson, R. O. The geomagnetic Field In: Valley, S.L ed **Handbook of Geophysics and Space Environment**. Cambridge: Air Force Cambridge Research Laboratories, 1965, cap.11, pag. 11-1 – 11-61.

Chernosky, E. J.; Maple, E Geomagnetism. In: **Handbook of Geophysics**. Rev ed New York, Macmillan, 1961. cap. 10, pag. 10-1 – 10-7.

Clark Jr., S.P **Estrutura da Terra**. São Paulo, Edgard Blucher, EDUSP, 1973. (serie de textos Básicos de Geociência)

Dungey, J. W., **Interplanetary Magnetic Field and the Auroral Zones**, Phys. Rev Lett., 6:47, 1991.

Kirchhoff, V. W. J. H., **Introdução à Geofísica Espacial**, Nova Stella, EDUSP, São Paulo, 1991.

Jursa, A S. (ed) **Handbook of Geophysics and The Space Environment** (chapters 10), Air Force Geophysics Laboratory, Air Force System Command, U. S. Air Force, Springfield, Virginia, 1985

Langel, R. A. International Geomagnetic Reference Field, The Sixth Generation. **Journal of Geomagnetism and Geoelectricity**. V. 44, n.º. 9, pag. 679-707, 1992.

Langel, R. A The Main Field, In: Jacobs, J A ed **Geomagnetism**. London: Academic Press, 1987. V 1, cap.4, pag. 249-492.

Forbes, A. J. General Instrumentation In: Jacobs, J A ed **Geomagnetism**. London: Academic Press, 1987. V 1, cap. 2, pag. 51-136.

Malin, S. Historical Introduction to Geomagnetism In: Jacobs, J A ed **Geomagnetism** London: Academic Press, 1987. V. 1, cap.1, pag. 01-49.

Press, N. H.; Flannery, B. P.; Teukolsky, S. A.; Vetterling, W. T. **Numerical Recipes**. Cambridge, Cambridge University Press, 1986.

Tipler , A P, **Física** para cientista e engenheiro ,ed. LTC ,1991. V. 3, cap 26

Trivedi, N. B.; Ogura, F. X. K.; de Andrade. J. C.; da Costa, J. M.; Barreto, L. **M. A ring core fluxgate magnetometer for IEEY program in Brazil**. Revista Brasileira de Geofísica, 13(1): pag. 37-43,1995.

Zanandrea, A, **Micropulsões geomagnéticas em Santa Maria - RS**, Dissertação de Mestrado, São José dos Campos, SP, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 1994.

Apêndice

Programas utilizados para análise dos dados geomagnéticos.

PROGRAMA - KANFILT.FOR

```
C
C PROGRMA DE ANALISE DE DADOS DE MICROPULSACOES (PADM)
C
  IMPLICIT REAL(A-H,O-Z)
  CHARACTER ARQUIVO*80(1000),FONTE*80
  INTEGER INP,OUT,OPCAO
  REAL *8 F1,F2
  PARAMETER(NTOT=28900)
  DIMENSION X(NTOT),Y(NTOT),Z(NTOT),TEMPO(NTOT)
  OPEN(2,FILE='filter.out')
6  PRINT *,'    CONTROLE DO PROGRAMA:'
  PRINT *,'(1) VIA TECLADO;'
  PRINT *,'(2) VIA ARQUIVO.'
  PRINT *,'OPCAO:'
  READ(5,*) OPCA0
  IF (OPCAO.EQ.1) THEN
    INP=5
    OUT=6
  END IF
  IF (OPCAO.EQ.2) THEN
    INP=1
    OUT=2
    WRITE(*,*) 'Entre com o nome do arquivo fonte:'
    READ(5, '(A)') FONTE
    OPEN(1,FILE=FONTE)
  END IF
  PRINT *,'QUANTOS DIAS SERAO ANALIZADOS:'
  READ(5,*) NDIAS
  DO I=1,NDIAS
    WRITE(OUT,*) 'LER O ARQUIVO:'
    READ(INP, '(A)') ARQUIVO(I)
  END DO
  WRITE(*,*) 'O numero de amostras no arquivo e:'
  read(5,*) NA
  WRITE(*,*) 'Entre com o intervalo de amostragem (seg.):'
  read(5,*) DELTA
  WRITE(*,*) 'Entre com T1 e T2 (T1<T2) da banda de filtragem:'
  READ(5,*) T1,T2
  DO NN=1,NDIAS
    WRITE(6,21) ARQUIVO(NN)
21  FORMAT(1X,FILTRAMNDO: '\,A11)
```

```

OPEN(3,FILE="\users\HERBERT\DATA\//ARQUIVO(NN))
OPEN(7,file="\users\HERBERT\FIL\//ARQUIVO(NN))
DO I=1,NA
  READ(3,*) TEMPO(I),X(I),Y(I),Z(I)
END DO
C
C FILTRAGEM DOS DADOS
C
  F1=1/T2
  F2=1/T1
  CALL FILTRA(X,NA,F1,F2,DELTA)
  CALL FILTRA(Y,NA,F1,F2,DELTA)
  CALL FILTRA(Z,NA,F1,F2,DELTA)
  DO I=1,NA
    WRITE(7,2002) (I-1)*DELTA/3600.0,X(I),Y(I),Z(I)
  END DO
2002  FORMAT(1X,F9.3,1X,F15.6,1X,F15.6,1X,F15.6)
  END DO
  STOP
  END
C-
C-----
C-
  SUBROUTINE FILTRA(X,N,F1,F2,DELTA)
  DIMENSION X(N),DATA(40000)
  REAL *8 F1,F2,G,D(8)
  DELT=DELTA*1000.0
  G=1.0
  CALL Bndpas(F1,F2,DELT,D,G)
  M=N/10
  CALL ADICIONA(X,DATA,N,M)
  NN=N+2*M
  CALL FILTER(DATA,NN,D,G,1)
c  IG=0 is used.if ig=1 gain of filter is removed.
  DO I=1,N
    X(I)=DATA(I+M-1)
  END DO
  RETURN
  END
C-
C-*****
C-
  SUBROUTINE ADICIONA(X,Y,N,M)
  DIMENSION X(N),Y(N+2*M)
  DO I=1,M
    Y((M+1)-I)=X(I)
  END DO

```

```

DO I=M,N+M-1
  Y(I)=X((I+1)-M)
END DO
II=1
DO I=N+M,N+2*M
  Y(I)=X(N-II)
  II=II+1
END DO
RETURN
END

```

C-

C-*****

C-

```

SUBROUTINE Bndpas(F1,F2,DELT,D,G)
COMPLEX P(4),S(8),Z1,Z2
DIMENSION X(1),XC(3),XD(3),XE(3)
REAL *8 F1,F2,G,D(8)
DATA ISW/0/,TWOPI/6.2831853/
c  WRITE(6,1) F1,F2,DELT
c 1  FORMAT(' BANDPASS FILTER DESIGN FOR A BAND FROM ',F8.5,' TO ',
c 1  F8.5,' HERTZ ',/' SAMPLE INTERVAL IS ',F10.2,' MILLISECONDS.')
DT=DELT/1000.
TDT=2.0/DT
FDT=4.0/DT
ISW=1
P(1)=CMPLX(-0.3826834,0.9238795)
P(2)=CMPLX(-0.3826834,-0.9238795)
P(3)=CMPLX(-0.9238795,0.3826834)
P(4)=CMPLX(-0.9238795,-0.3826834)
W1=TWOPI*F1
W2=TWOPI*F2
W1=TDT*TAN(W1/TDT)
W2=TDT*TAN(W2/TDT)
HWID=(W2-W1)/2.0
WW=W1*W2
DO 19 I=1,4
  Z1=P(I)*HWID
  Z2=Z1*Z1-WW
  Z2=CSQRT(Z2)
  S(I)=Z1+Z2
19  S(I+4)=Z1-Z2
C  WRITE(6,2)S
2  FORMAT('-S PLANE POLES ARE AT:',/ ' ',8(/ ' ',E12.6,'+',E12.6))
G=0.5/HWID
G=G*G
G=G*G
DO 29 I=1,7,2

```

```

B=-2.0*REAL(S(I))
Z1=S(I)*S(I+1)
C=REAL(Z1)
A=TDT+B+C/TDT
G=G*A
D(I)=(C*DT-FDT)/A
29 D(I+1)=(A-2.0*B)/A
G=G*G
C WRITE(6,3)
c 3 FORMAT(' FILTER IS (1-Z**2)**4/B1*B2*B3*B4')
c WRITE(6,*) (D(i),i=1,8)
c 4 FORMAT(4(/'B(I)=1+',E12.6,'Z+',E12.6,'Z**2'))
c WRITE(6,5)G
5 FORMAT('-FILTER GAIN IS',E12.6)
RETURN
C
C
ENTRY FILTER(X,N,D,G,IG)
C X=DATAVECTOR OF LENGTH N CONTAINING DATA TO BE FILTERED
C D=FILTER COEFFICIENTS CALCULATED BY BNDPAS
C G=FILTER GAIN
C IG=1 MEANS TO REMOVE THE FILTER GAIN/G=1
IF(ISW .EQ. 1) GO TO 31
WRITE(6,6)
6 FORMAT('1BNDPAS MUST BE CALLED BEFORE FILTER')
STOP
C APPLY FILTER IN FORWARD DIRECTION
31 XM2=X(1)
XM1=X(2)
XM=X(3)
XC(1)=XM2
XC(2)=XM1-D(1)*XC(1)
XC(3)=XM-XM2-D(1)*XC(2)-D(2)*XC(1)
XD(1)=XC(1)
XD(2)=XC(2)-D(3)*XD(1)
XD(3)=XC(3)-XC(1)-D(3)*XD(2)-D(4)*XD(1)
XE(1)=XD(1)
XE(2)=XD(2)-D(5)*XE(1)
XE(3)=XD(3)-XD(1)-D(5)*XE(2)-D(6)*XE(1)
X(1)=XE(1)
X(2)=XE(2)-D(7)*X(1)
X(3)=XE(3)-XE(1)-D(7)*X(2)-D(8)*X(1)
DO 39 I=4,N
XM2=XM1
XM1=XM
XM=X(I)
K=I-((I-1)/3)*3

```

```

GO TO (34,35,36),K
34  M=1
    M1=3
    M2=2
    GO TO 37
35  M=2
    M1=1
    M2=3
    GO TO 37
36  M=3
    M1=2
    M2=1
37  XC(M)=XM-XM2-D(1)*XC(M1)-D(2)*XC(M2)
    XD(M)=XC(M)-XC(M2)-D(3)*XD(M1)-D(4)*XD(M2)
    XE(M)=XD(M)-XD(M2)-D(5)*XE(M1)-D(6)*XE(M2)
39  X(I)=XE(M)-XE(M2)-D(7)*X(I-1)-D(8)*X(I-2)

```

C

C

C FILTER IN REVERSE DIRECTION

```

    XM2=X(N)
    XM1=X(N-1)
    XM=X(N-2)
    XC(1)=XM2
    XC(2)=XM1-D(1)*XC(1)
    XC(3)=XM-XM2-D(1)*XC(2)-D(2)*XC(1)
    XD(1)=XC(1)
    XD(2)=XC(2)-D(3)*XD(1)
    XD(3)=XC(3)-XC(1)-D(3)*XD(2)-D(4)*XD(1)
    XE(1)=XD(1)
    XE(2)=XD(2)-D(5)*XE(1)
    XE(3)=XD(3)-XD(1)-D(5)*XE(2)-D(6)*XE(1)
    X(N)=XE(1)
    X(N-1)=XE(2)-D(7)*X(1)
    X(N-2)=XE(3)-XE(1)-D(7)*X(2)-D(8)*X(1)
    DO 49 I=4,N
    XM2=XM1
    XM1=XM
    J=N-I+1
    XM=X(J)
    K=I-((I-1)/3)*3
    GO TO (44,45,46),K
44  M=1
    M1=3
    M2=2
    GO TO 47
45  M=2
    M1=1

```

```

M2=3
GO TO 47
46 M=3
M1=2
M2=1
47 XC(M)=XM-XM2-D(1)*XC(M1)-D(2)*XC(M2)
XD(M)=XC(M)-XC(M2)-D(3)*XD(M1)-D(4)*XD(M2)
XE(M)=XD(M)-XD(M2)-D(5)*XE(M1)-D(6)*XE(M2)
49 X(J)=XE(M)-XE(M2)-D(7)*X(J+1)-D(8)*X(J+2)
IF(IG.NE. 1) RETURN
DO 59 I=1,N
59 X(I)=X(I)/G
RETURN
END

```

```

FUNCTION BIG(X,N)
DIMENSION X(1)
T=X(1)
DO 20 I=1,N
IF(T-X(I)) 10,20,20
10 T=X(I)
20 CONTINUE
BIG=T
RETURN
END

```

```

FUNCTION SMALL(X,N)
DIMENSION X(1)
T=X(1)
DO 20 I=1,N
IF(T-X(I)) 20,20,10
10 T=X(I)
20 CONTINUE
SMALL=T
RETURN
END

```

PROGRAMA - STEANSDB.FOR

```

IMPLICIT REAL(A-H,O-Z)
CHARACTER ARQUIVO*80(300)
INTEGER INP,OUT,OPCAO
PARAMETER(NTOT=28900,NCC=2000,NAR=1000,NESP=600,NBAN=600)
DIMENSION X(0:NTOT),Y(0:NTOT),Z(0:NTOT),TEMPO(0:NTOT)
DIMENSION PXX(0:NAR),PYY(0:NAR),PZZ(0:NAR),FREQ(0:NAR)
DIMENSION GXY(0:NAR),GYZ(0:NAR),GXZ(0:NAR)

```

```

DIMENSION FXY(0:NAR),FYZ(0:NAR),FXZ(0:NAR)
COMPLEX PXY(0:NAR),PXZ(0:NAR),PYZ(0:NAR)
COMPLEX WORKC(0:NCC)
DIMENSION WORKX(0:NCC,0:NESP),WORKY(0:NCC,0:NESP)
+   ,WORKZ(0:NCC,0:NESP)
DIMENSION
PXXM(0:NAR,0:NESP),PYYM(0:NAR,0:NESP),PZZM(0:NAR,0:NESP)
DIMENSION
DEGM(0:NAR,0:NESP),ANGM(0:NAR,0:NESP),ELPM(0:NAR,0:NESP)
DIMENSION
GXYM(0:NAR,0:NESP),GYZM(0:NAR,0:NESP),GXZM(0:NAR,0:NESP)
DIMENSION
FXYM(0:NAR,0:NESP),FYZM(0:NAR,0:NESP),FXZM(0:NAR,0:NESP)
DIMENSION PXXS(0:NAR,0:NESP),PYYS(0:NAR,0:NESP),PZZS(0:NAR,0:NESP)
DIMENSION DEGS(0:NAR,0:NESP),ANGS(0:NAR,0:NESP),ELPS(0:NAR,0:NESP)
DIMENSION
GXYS(0:NAR,0:NESP),GYZS(0:NAR,0:NESP),GXZS(0:NAR,0:NESP)
DIMENSION FXYS(0:NAR,0:NESP),FYZS(0:NAR,0:NESP),FXZS(0:NAR,0:NESP)
DIMENSION PSPM(0:NAR,0:NESP),PSPS(0:NAR,0:NESP)
DIMENSION PXYM(0:NAR,0:NESP),PXYS(0:NAR,0:NESP)
DIMENSION WORK(0:NCC),DEG(0:NAR),ANG(0:NAR),ELP(0:NAR)
DIMENSION SD(0:NAR),SD1(0:NAR),SD2(0:NAR),SD3(0:NAR),
+   SD4(0:NAR),SD5(NAR)
DIMENSION TSP(0:NAR),PSP(0:NAR)
REAL LARG,FM(NBAN),FL(NBAN),FU(NBAN)
REAL PREF
INTEGER NP(NBAN),FHU(NBAN),FHL(NBAN)
OPEN(1,FILE='users\HERBERT\geo\stearns.imp')
OPEN(2,FILE='users\HERBERT\geo\stearns.out')
OPEN(4,FILE='USERS\HERBERT\GEO\freqban.dat')
OPEN(25,FILE='USERS\HERBERT\GEO\freq.dat')
WRITE(*,*)'INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAIS - INPE'
WRITE(*,*)'  DIVISAO DE GEOFISICA ESPACIAL - DGE'
6  PRINT *,'  CONTROLE DO PROGRAMA:'
PRINT *,'(1) VIA TECLADO;'
PRINT *,'(2) VIA ARQUIVO.'
PRINT *,'OPCAO:'
READ(5,*)OPCAO
IF (OPCAO.EQ.1) THEN
  INP=5
  OUT=6
END IF
IF (OPCAO.EQ.2) THEN
  INP=1
  OUT=2
END IF
C-

```

C- INICIALIZAÇÃO: PARÂMETROS DE ENTRADA DO PROGRAMA

C-

```

    PREF=1.0E-12
    PRINT *,'QUANTOS DIAS SERAO ANALIZADOS:'
    READ(5,*) NDIAS
    DO I=1,NDIAS
        WRITE(OUT,*) 'LER O ARQUIVO:'
        READ(INP,'(A)') ARQUIVO(I)
    END DO
    WRITE(OUT,*) 'O numero de amostras no arquivo e:'
    read(INP,*) NA
    WRITE(OUT,*) 'Entre com o intervalo de amostragem (seg.):'
    read(INP,*) DELTA
    WRITE(OUT,*) 'Entre com T1 e T2 (T1<T2) da banda de filtragem:'
    READ(INP,*) T1,T2
    WRITE(OUT,*) 'Processar a filtragem "sim"=1, "nao"=2:'
    READ(INP,*) NFILOP
    WRITE(OUT,*) 'Entre com o tamanho do carro e a pot. de 2:'
    read(INP,*) NC,NT
    WRITE(OUT,*) 'Entre com a sobreposicao 1 e 2 (fft):'
    read(INP,*) OVRLAP1,OVRLAP
    write(OUT,10)
10  FORMAT(' TIPO DE JANELA A APLICAR: '//
+   ' 1 (RECTANGULAR);/'
+   ' 2 (PROLATE PI); /'
+   ' 3 (PROLATE 4PI);/'
+   ' 4 (BARTLETT);/'
+   ' 5 (WELCH);/'
+   ' 6 (SINOIDAL);/'
+   ' 7 (HANNING);/'
+   ' 8 (HAMMING);/'
+   ' 9 (BLACKMAN). //OPCAO: \')
    read(INP,*) IWINDO
    WRITE(OUT,*) 'ENTRE COM O PESO (DE 1% a 100%)'
    read(INP,*) PP
    write(OUT,20) DELTA*2,NT*DELTA
20  FORMAT('Intervalo de interesse do espectro: '//
+   '** deve estar entre ('F8.2,' - ',F8.2,');' //
+   '** digite T1 e T2 (T1<T2, em seg.):')
    READ(INP,*) NT1,NT2
    WRITE(OUT,*) 'ENTRE COM A LARGURA DE BANDA E O DESLIZAMENTO'
    READ(INP,*) LARG,DESL
    NAR1=NT*DELTA/NT1+1
    NAR2=NT*DELTA/NT2
    DO I=NAR2,NAR1
        FREQ(I)=I/(NT*DELTA)
        WRITE(25,*) I,REAL(1000.0*FREQ(I))

```

```

END DO
CALL FREBAN(NT,DELTA,LARG,DESL,NEST,FL,FU,FM,FHL,FHU,NP)
WRITE(4,14) (I,FL(I),FU(I),FM(I),FHL(I),FHU(I),NP(I),I=1,NEST)
14  FORMAT (3X,I3,3X,F12.7,3X,F12.7,3X,F12.7,3X,I4,3X,I4,3X,I4)
DO NN=1,NDIAS
  WRITE(6,21) ARQUIVO(NN)
21  FORMAT('ANALIZAMNDO: ',\,A11)
  OPEN(3,FILE=\USERS\HERBERT\DATA\//ARQUIVO(NN))
  OPEN(7,file=\USERS\HERBERT\FIL\//ARQUIVO(NN))
  OPEN(8,file=\USERS\HERBERT\EDI\//ARQUIVO(NN))
  OPEN(9,FILE=\USERS\HERBERT\EDIMAT\//ARQUIVO(NN))
  OPEN(11,file=\USERS\HERBERT\EDI\BAN\//ARQUIVO(NN))
C   OPEN(12,FILE=\USER\HERBERT\POLA\//ARQUIVO(NN))
C   OPEN(13,FILE=\USER\HERBERT\POLA\GRAU\//ARQUIVO(NN))
C   OPEN(14,FILE=\USER\HERBERT\POLA\GRAU\BAN\//ARQUIVO(NN))
C   OPEN(15,FILE=\USER\HERBERT\POLA\ANGULO\//ARQUIVO(NN))
C   OPEN(16,FILE=\USER\HERBERT\POLA\ANGULO\BAN\//ARQUIVO(NN))
C   OPEN(17,FILE=\USER\HERBERT\POLA\ELIPSE\//ARQUIVO(NN))
C   OPEN(18,FILE=\USER\HERBERT\POLA\ELIPSE\BAN\//ARQUIVO(NN))
C   OPEN(19,FILE=\USER\HERBERT\POLA\COERENCIA\//ARQUIVO(NN))
C   OPEN(20,FILE=\USER\HERBERT\POLA\COERENCIA\BAN\//ARQUIVO(NN))
C   OPEN(21,FILE=\USER\HERBERT\POLA\FASE\//ARQUIVO(NN))
C   OPEN(22,FILE=\USER\HERBERT\POLA\FASE\BAN\//ARQUIVO(NN))
C   OPEN(23,FILE=\USER\HERBERT\POLA\PSP\//ARQUIVO(NN))
C   OPEN(24,FILE=\USER\HERBERT\POLA\PSP\BAN\//ARQUIVO(NN))
C   OPEN(25,FILE=\USER\HERBERT\POLA\PXY\//ARQUIVO(NN))
C   OPEN(26,FILE=\USER\HERBERT\POLA\PXY\BAN\//ARQUIVO(NN))
C-
C- LEITURA DOS DADOS
C-
  DO I=0,NA-1
    READ(3,*) TEMPO(I),X(I),Y(I),Z(I)
  END DO
C-
C- FILTRAGEM DOS DADOS
C-
  IF (NFILOP.EQ.1) THEN
    PRINT *,'FILTRAGEM'
    F1=(1/T2)*DELTA
    F2=(1/T1)*DELTA
    CALL SPFIL2(X,NA,1,F1,F2,4,WORK)
    CALL SPFIL2(Y,NA,1,F1,F2,4,WORK)
    CALL SPFIL2(Z,NA,1,F1,F2,4,WORK)
    DO I=0,NA-1
      WRITE(7,200) I*DELTA/3600.0,X(I),Y(I),Z(I)
    END DO
  END IF

```

```

C
C ESPECTRO DINAMICO E POLARIZACAO
C
  NSHIFT=MIN0(NC,MAX0(1,INT(NC*(1.-OVLAP1)+.5)))
  NSGMTS=1+(NA-NC)/NSHIFT
  DO IS=0,NSGMTS-1
    DO NSAMP=0,NC-1
      WORKX(NSAMP,IS)=0.0
      WORKY(NSAMP,IS)=0.0
      WORKZ(NSAMP,IS)=0.0
      WORKX(NSAMP,IS)=X(NSHIFT*IS+NSAMP)
      WORKY(NSAMP,IS)=Y(NSHIFT*IS+NSAMP)
      WORKZ(NSAMP,IS)=Z(NSHIFT*IS+NSAMP)
    END DO
  END DO
  DO IS=0,NSGMTS-1

C
C ESPECTROS NAO SUAVIZADOS
C
  CALL SPPOWR(WORKX(1,IS),PXX,WORK,NC-1,NT/2,IWINDO,PP,OVLAP)
  CALL SPPOWR(WORKY(1,IS),PYY,WORK,NC-1,NT/2,IWINDO,PP,OVLAP)
  CALL SPPOWR(WORKZ(1,IS),PZZ,WORK,NC-1,NT/2,IWINDO,PP,OVLAP)
  DO I=NAR2,NAR1
C
  WRITE(8,322) IS,(NT*DELTA)/(I),PXX(I),PYY(I),PZZ(I)
    PXXM(I,IS)=PXX(I)
    PYYM(I,IS)=PYY(I)
    PZZM(I,IS)=PZZ(I)
  END DO
  CALL SPCROS(WORKX(1,IS),WORKY(1,IS),PXY,WORKC,NC-1,NT/2,
+   IWINDO,PP,OVLAP)
  CALL SPCROS(WORKY(1,IS),WORKZ(1,IS),PYZ,WORKC,NC-1,NT/2,
+   IWINDO,PP,OVLAP)
  CALL SPCROS(WORKX(1,IS),WORKZ(1,IS),PXZ,WORKC,NC-1,NT/2,
+   IWINDO,PP,OVLAP)
  PI=4.*ATAN(1.)
  DO I=NAR2,NAR1
    GXY(I)=ABS(PXY(I))**2/(PXX(I)*PYY(I))
    GYZ(I)=ABS(PYZ(I))**2/(PYY(I)*PZZ(I))
    GXZ(I)=ABS(PXZ(I))**2/(PXX(I)*PZZ(I))
    FXY(I)=ATAN2(AIMAG(PXY(I)),REAL(PXY(I)))*180./PI
    FYZ(I)=ATAN2(AIMAG(PYZ(I)),REAL(PYZ(I)))*180./PI
    FXZ(I)=ATAN2(AIMAG(PXZ(I)),REAL(PXZ(I)))*180./PI
C
  WRITE(8,322) IS,1./FREQ(I),GXY(I),GYZ(I),GXZ(I)
C
  WRITE(17,322) IS,(NT*DELTA)/(I),FGXY(I),FGYZ(I),FGXZ(I)
    GXYM(I,IS)=GXY(I)
    GYZM(I,IS)=GYZ(I)
    GXZM(I,IS)=GXZ(I)

```

```

FXYM(I,IS)=FXY(I)
FYZM(I,IS)=FYZ(I)
FXZM(I,IS)=FXZ(I)
END DO
CALL POLAR(NT/2,PXY,PXX,PYY,TSP,PSP,DEG,ANG,ELP)
DO I=NAR2,NAR1
  PXYM(I,IS)=ABS(PXY(I))
  PSPM(I,IS)=PSP(I)
  DEGM(I,IS)=DEG(I)
  ANGM(I,IS)=ANG(I)
  ELPM(I,IS)=ELP(I)
ENDDO

```

C

C ESPECTROS SUAVIZADOS

C

```

CALL SUAVIZA1D(PYY,NEST,FHL,FHU,NP)
CALL SUAVIZA1D(PXX,NEST,FHL,FHU,NP)
CALL SUAVIZA1D(PZZ,NEST,FHL,FHU,NP)
DO I=1,NEST

```

C

```

  WRITE(11,351) IS,FM(I),PXX(I),PYY(I),PZZ(I)
  PXXS(I,IS)=PXX(I)
  PYYs(I,IS)=PYY(I)
  PZZS(I,IS)=PZZ(I)
ENDDO

```

```

DO I=0,NT/2

```

```

  SD(I)=REAL(PXY(I))
  SD1(I)=AIMAG(PXY(I))
  SD2(I)=REAL(PXZ(I))
  SD3(I)=AIMAG(PXZ(I))
  SD4(I)=REAL(PYZ(I))
  SD5(I)=AIMAG(PYZ(I))

```

```

END DO

```

```

CALL SUAVIZA2D(SD,SD1,NEST,FHL,FHU,NP)
CALL SUAVIZA2D(SD2,SD3,NEST,FHL,FHU,NP)
CALL SUAVIZA2D(SD4,SD5,NEST,FHL,FHU,NP)

```

```

DO I=1,NEST

```

```

  PXY(I)=CMPLX(SD(I),SD1(I))
  PYZ(I)=CMPLX(SD4(I),SD5(I))
  PXZ(I)=CMPLX(SD2(I),SD3(I))

```

```

END DO

```

```

CALL POLAR(NEST,PXY,PXX,PYY,TSP,PSP,DEG,ANG,ELP)

```

c

```

  WRITE(12,370)(HORA,FM(JJ),DEGP(JJ),ANG(JJ),ELP(JJ),JJ=1,NEST)
c370  FORMAT(F10.3,1X,E12.7,1X,F15.8,1X,F15.8,1X,F15.8)

```

```

DO I=1,NEST

```

```

  PXYs(I,IS)=ABS(PXY(I))
  PSPS(I,IS)=PSP(I)
  DEGS(I,IS)=DEG(I)

```

```

    ANGS(I,IS)=ANG(I)
    ELPS(I,IS)=ELP(I)
ENDDO
DO I=1,NEST
    GXY(I)=SQRT(ABS(PXY(I))**2/(PXX(I)*PYY(I)))
    GYZ(I)=SQRT(ABS(PYZ(I))**2/(PYY(I)*PZZ(I)))
    GXZ(I)=SQRT(ABS(PXZ(I))**2/(PXX(I)*PZZ(I)))
    FXY(I)=ATAN2(AIMAG(PXY(I)),REAL(PXY(I)))*180./PI
    FYZ(I)=ATAN2(AIMAG(PYZ(I)),REAL(PYZ(I)))*180./PI
    FXZ(I)=ATAN2(AIMAG(PXZ(I)),REAL(PXZ(I)))*180./PI
C    WRITE(16,322) IS,(NT*DELTA)/(I),GXY(I),GYZ(I),GXZ(I)
C    WRITE(17,322) IS,(NT*DELTA)/(I),FGY(I),FYZ(I),FXZ(I)
    GXYS(I,IS)=GXY(I)
    GYZS(I,IS)=GYZ(I)
    GXZS(I,IS)=GXZ(I)
    FXYS(I,IS)=FGY(I)
    FYZS(I,IS)=FYZ(I)
    FXZS(I,IS)=FXZ(I)
END DO
END DO
DO I=NAR2,NAR1
    WRITE(9,'(200(F15.8,1X))') (10*LOG10(PXXM(I,IS)/PREF),
+    IS=0,NSGMTS-1)
C    WRITE(19,'(200(F15.8,1X))') (GXYS(I,IS),IS=0,NSGMTS-1)
C    WRITE(21,'(200(F15.8,1X))') (FXYS(I,IS),IS=0,NSGMTS-1)
C    WRITE(13,'(200(F15.8,1X))') (DEGM(I,IS),IS=0,NSGMTS-1)
C    WRITE(15,'(200(F15.8,1X))') (ANGM(I,IS),IS=0,NSGMTS-1)
C    WRITE(17,'(200(F15.8,1X))') (ELPM(I,IS),IS=0,NSGMTS-1)
C    WRITE(23,'(200(F15.8,1X))') (10*LOG10(PSPM(I,IS)/PREF),
C +    IS=0,NSGMTS-1)
C    WRITE(25,'(200(F15.8,1X))') (10*LOG10(PXYM(I,IS)/PREF),
C +    IS=0,NSGMTS-1)
END DO
DO I=1,NEST
C    IF ((FM(I).GE.(1./NT2)).AND.(FM(I).LE.(1./NT1))) THEN
    IF ((FHL(I).GE.NAR2).AND.(FHU(I).LE.NAR1)) THEN
        WRITE(11,'(200(F15.8,1X))') (10*LOG10(PXXS(I,IS)/PREF),
+        IS=0,NSGMTS-1)
C    WRITE(20,'(200(F15.8,1X))') (GXYS(I,IS),IS=0,NSGMTS-1)
C    WRITE(22,'(200(F15.8,1X))') (FXYS(I,IS),IS=0,NSGMTS-1)
C    WRITE(14,'(200(F15.8,1X))') (DEGS(I,IS),IS=0,NSGMTS-1)
C    WRITE(16,'(200(F15.8,1X))') (ANGS(I,IS),IS=0,NSGMTS-1)
C    WRITE(18,'(200(F15.8,1X))') (ELPS(I,IS),IS=0,NSGMTS-1)
C    WRITE(24,'(200(F15.8,1X))') (10*LOG10(PSPS(I,IS)/PREF),
C +    IS=0,NSGMTS-1)
C    WRITE(26,'(200(F15.8,1X))') (10*LOG10(PXYS(I,IS)/PREF),
C +    IS=0,NSGMTS-1)

```

```

        END IF
    END DO
END DO
322  FORMAT(I3,1X,F10.3,1X,3(F15.6,1X))
351  FORMAT(F10.3,F12.7,1X,3(F15.8,1X))
200  FORMAT(1X,F9.3,1X,F15.6,1X,F15.6,1X,F15.6)
    STOP
    END

```

```

C-----
C-----
C-----
C-----

```

```

    SUBROUTINE SPFIL2(X,N,ITYPE,F1,F2,NS,WORK)

```

c-Latest date: 03/08/88

c-Filter 2. Applies bandpass or bandstop Butterworth filter to data X.

c-X(0:N-1) =data array. Filtering is in place. Initial conditions=0.

c-N =length of data sequence.

c-ITYPE =1(bandpass) or 2(bandstop).

c-F1,F2 =corner (3-dB) frequencies in Hz-s. (Sampling freq. = 1.0.)

c-NS =even number of 2-pole sections; rolloff = 6 dB/octave/sect.

c-WORK =work array, dimensioned WORK(5*NS+6) or larger.

c-IERROR =0: no errors.

c- 1: ITYPE not 1 or 2. 3: NS not even & greater than 0.

c- 2: F1,F2 not valid. 3+I: SPCFIL error I.

c-

```

    REAL X(0:N-1),DATA(0:40000),WORK(5*NS+6)

```

c-Initialize filter coeff. and set initial signal values to zero.

```

    CALL SPBBBW(ITYPE,F1,F2,NS,WORK(1),WORK(3*NS+1),IERROR)

```

```

    IF(IERROR.NE.0) RETURN

```

c-Do the filtering using the SPCFIL routine.

```

    MM=N/10

```

```

    NTT=N+2*MM

```

```

    CALL ADICIONA(X,DATA,N,MM)

```

```

    DO I=1,2

```

```

        CALL SPCFIL(DATA,NTT,WORK(1),WORK(3*NS+1),2,NS,WORK(5*NS+1),

```

```

        + IERROR)

```

```

        IERROR=IERROR+3

```

```

        IF(IERROR.NE.3) RETURN

```

```

        IERROR=0

```

```

        CALL INVERTE(DATA,NTT)

```

```

    END DO

```

```

    II=0

```

```

    DO I=MM,(N-1)+MM

```

```

        X(II)=DATA(I)

```

```

        II=II+1

```

```

    END DO

```

```

    RETURN

```

END

C-

C-----

C-

SUBROUTINE SPBBBW(ITYPE,F1,F2,NS,B,A,IERROR)

c-Latest date: 03/09/88

c-Bandpass and bandstop Butterworth digital filter design routine.

c-ITYPE=1(bandpass) or 2(bandstop)

c-F1,F2 =3-dB cutoff frequencies in Hz-s; F2>F1. (Sampling freq.=1.0.)

c-NS =EVEN number of 2-pole filter sections. The nth section has

c-

c- $B(0,n) + B(1,n)*z^{*(-1)} + B(2,n)*z^{*(-2)}$

c- $H_n(z)=\frac{\quad}{\quad}$

c- $1.0 + A(1,n)*z^{*(-1)} + A(2,n)*z^{*(-2)}$

c-

c-B(0:2,NS) and A(2,NS) are where the routine stores the coefficients.

c-IERROR=0: no errors 2: 0.0<F1<F2<0.5 not true

c- 1: ITYPE not valid 3: NS not even or NS not >0

c-

REAL B(0:2,NS),A(2,NS)

COMPLEX SL,SB,ZB

PI=4.*ATAN(1.)

IERROR=1

IF(ITYPE.NE.1.AND.ITYPE.NE.2) RETURN

IERROR=2

IF(F1.LE.0.OR.F2.LE.F1.OR.F2.GE..5) RETURN

IERROR=3

IF(NS.LE.0.OR.MOD(NS,2).NE.0) RETURN

W1P=TAN(PI*F1)

W2P=TAN(PI*F2)

DO 2 NL=1,NS/2

SL=(W2P-W1P)*EXP(CMPLX(0.,PI*(2.*NL+NS-1.)/(2.*NS)))

DO 1 M=0,1

SB=(SL+(1-2*M)*SQRT(SL*SL-4.*W1P*W2P))/2.

ZB=(1.+SB)/(1.-SB)

FACTOR=1.-2.*REAL(SB)+ABS(SB)**2

IF(ITYPE.EQ.1) THEN

B(0,2*NL-M)=(W2P-W1P)/FACTOR

B(1,2*NL-M)=0.

B(2,2*NL-M)=-B(0,2*NL-M)

ELSEIF(ITYPE.EQ.2) THEN

B(0,2*NL-M)=(1.+W1P*W2P)/FACTOR

B(1,2*NL-M)=-2.*(1.-W1P*W2P)/FACTOR

B(2,2*NL-M)=B(0,2*NL-M)

ENDIF

A(1,2*NL-M)=-2.*REAL(ZB)

A(2,2*NL-M)=ABS(ZB)**2

```

1 CONTINUE
2 CONTINUE
  IERROR=0
  RETURN
  END
C-
C-----
C-
  SUBROUTINE SPCFIL(F,N,B,A,LI,NS,WORK,IERROR)
c-Latest date: 05/11/88
c-Cascade filtering of the sequence F(0:N-1).
c-Initial conditions are set to zero. Output replaces input.
c-F(0:N-1) =N-sample data sequence, replaced with filtered version.
c-B(0:LI,NS) =Numerator coefficients of H(z).
c-A(1:LI,NS) =Denominator " " " .
c-LI & NS =Last coef. index & number of filter sections in cascade.
c-The transfer function of the nth filter section is
c-
c- 
$$H_n(z) = \frac{B(0,n)+B(1,n)*z^{*(-1)}+ \dots +B(LI,n)*z^{*(-LI)}}{1+A(1,n)*z^{*(-1)}+ \dots +A(LI,n)*z^{*(-LI)}}$$

c-
c-WORK(2*LI+2) =Work array of size >=(2*LI+2). No need to initialize.
c-IERROR =0: no errors.
c- 1: NS<1 or LI<1.
c- 2: filter output is over 1.E10 times max. input.
c-
  REAL F(0:N-1),B(0:LI,NS),A(1:LI,NS),WORK(0:LI,0:1)
c-Check for error 1 and initialize.
  IERROR=1
  IF(NS.LT.1.OR.LI.LT.1) RETURN
  IERROR=2
  FMAX=1.E10*ABS(F(0))
  DO 1 I=1,N-1
    FMAX=MAX(FMAX,1.E10*ABS(F(I)))
  1 CONTINUE
c-Do the filtering. Outer loop is section; inner loop is sample nmb.
  DO 5 J=1,NS
    DO 2 I=1,LI
      WORK(I,0)=0.
      WORK(I,1)=0.
    2 CONTINUE
    DO 4 K=0,N-1
      WORK(0,0)=F(K)
      WORK(0,1)=B(0,J)*F(K)
      DO 3 I=LI,1,-1
        WORK(0,1)=WORK(0,1)+B(I,J)*WORK(I,0)-A(I,J)*WORK(I,1)

```

```

    WORK(I,0)=WORK(I-1,0)
    WORK(I,1)=WORK(I-1,1)
3  CONTINUE
    F(K)=WORK(0,1)
    IF(ABS(F(K)).GT.FMAX) RETURN
4  CONTINUE
5  CONTINUE
    IERROR=0
    RETURN
    END

```

C-

C-*****

C-

```

SUBROUTINE INVERTE(X,N)
DIMENSION X(0:N),Y(0:40000)
DO I=0,N-1
    Y(I)=X((N-1)-I)
END DO
DO I=0,N-1
    X(I)=Y(I)
END DO
RETURN
END

```

C-

C-

C-*****

C-

```

FUNCTION SPMEAN(X,N)
C-LATEST DATE: 05/16/90
C-COMPUTES MEAN VALUE OF N-POINT DATA VECTOR X(0:N-1)
DIMENSION X(0:N-1)
DOUBLE PRECISION DSUM
DSUM=0.D0
IF(N.LE.0) RETURN
DO 1 I=0,N-1
    DSUM=DSUM+X(I)
1 CONTINUE
SPMEAN=DSUM/N
RETURN
END

```

C-

C-*****

C-

```

SUBROUTINE ADICIONA(X,Y,N,M)
DIMENSION X(0:N),Y(0:40000)
DO I=0,M-1

```

```

    Y((M-1)-I)=X(I)
  END DO
  DO I=M,(N-1)+M
    Y(I)=X(I-M)
  END DO
  II=0
  DO I=N+M,(N-1)+2*M
    Y(I)=X((N-1)-II)
    II=II+1
  END DO
  RETURN
  END

```

C-
 C-*****
 C-

```

  SUBROUTINE SPFFTR(X,N)

```

C-LATEST DATE: 10/26/90

C-FFT ROUTINE FOR REAL TIME SERIES (X) WITH $N=2**K$ SAMPLES.

C-COMPUTATION IS IN PLACE, OUTPUT REPLACES INPUT.

C-INPUT: REAL VECTOR X(0:N+1) WITH REAL DATA SEQUENCE IN FIRST N

C- ELEMENTS; ANYTHING IN LAST 2. NOTE: X MAY BE DECLARED

C- REAL IN MAIN PROGRAM PROVIDED THIS ROUTINE IS COMPILED

C- SEPARATELY ... COMPLEX OUTPUT REPLACES REAL INPUT HERE.

C-OUTPUT: COMPLEX VECTOR XX(0:N/2), SUCH THAT $X(0)=\text{REAL}(XX(0))$, $X(1)=$

C- $\text{IMAG}(XX(0))$, $X(2)=\text{REAL}(XX(1))$, ..., $X(N+1)=\text{IMAG}(XX(N/2))$.

C-IMPORTANT: N MUST BE AT LEAST 4 AND MUST BE A POWER OF 2.

```

  COMPLEX X(0:N/2),U,TMP

```

```

  TPN=8.*ATAN(1.)/N

```

```

  CALL SPFFTC(X,N/2,-1)

```

```

  X(N/2)=X(0)

```

```

  DO 1 M=0,N/4

```

```

    U=CMPLX(SIN(M*TPN),COS(M*TPN))

```

```

    TMP=((1.+U)*X(M)+(1.-U)*CONJG(X(N/2-M)))/2.

```

```

    X(M)=((1.-U)*X(M)+(1.+U)*CONJG(X(N/2-M)))/2.

```

```

    X(N/2-M)=CONJG(TMP)

```

```

  1 CONTINUE

```

```

  RETURN

```

```

  END

```

C-
 C-*****
 C-

```

  SUBROUTINE SPFFTC(X,N,ISIGN)

```

C-LATEST DATE: 02/20/87

C-FAST FOURIER TRANSFORM OF $N=2**K$ COMPLEX DATA POINTS USING TIME

C-DECOMPOSITION WITH INPUT BIT REVERSAL. N MUST BE A POWER OF 2.

C-X MUST BE SPECIFIED COMPLEX X(0:N-1) OR LARGER.

C-INPUT IS N COMPLEX SAMPLES, X(0),X(1),...,X(N-1).
 C-COMPUTATION IS IN PLACE, OUTPUT REPLACES INPUT.
 C-ISIGN = -1 FOR FORWARD TRANSFORM, +1 FOR INVERSE.
 C-X(0) BECOMES THE ZERO TRANSFORM COMPONENT, X(1) THE FIRST,
 C-AND SO FORTH. X(N-1) BECOMES THE LAST COMPONENT.

```

    COMPLEX X(0:N-1),T
    PISIGN=4*ISIGN*ATAN(1.)
    MR=0
    DO 2 M=1,N-1
      L=N
1     L=L/2
      IF(MR+L.GE.N) GO TO 1
      MR=MOD(MR,L)+L
      IF(MR.LE.M) GO TO 2
      T=X(M)
      X(M)=X(MR)
      X(MR)=T
2    CONTINUE
      L=1
3    IF(L.GE.N) RETURN
      DO 5 M=0,L-1
        DO 4 I=M,N-1,2*L
          T=X(I+L)*EXP(CMPLX(0.,M*PISIGN/FLOAT(L)))
          X(I+L)=X(I)-T
          X(I)=X(I)+T
4     CONTINUE
5     CONTINUE
      L=2*L
      GO TO 3
    END
  
```

C-
 C-*****

C-
 SUBROUTINE SPMASK(X,LX,ITYPE,P,TSV,IERROR)

C-
 C-ROTINA CRIADA POR ADEMILSON ZANANDREA EM 17/09/96

C-

c

Calculates several data window function for Fourier Analysis.

c

Refs.: (1) D.J. Thomson, Bell Syst. Tech. J., 56:1769-1815,

c

1977; (2) W.H. Press, B.P. Flannery, S.A. Teukolsky & W.T.

c

Vetterling, " Numerical Recipes. The Art of Scientific

c

Computing", Cambridge University Press, 1986; and (3) J.C.

c

Hardin, "Introduction to Time Series Analysis", NASA RP-1145,

c

Mar. 1986, (4) Stearns, S. D. & David, R. A., "Signal Processing

c-

Algorithms in fortran and C", Prentice-Hall, 1993.

c Note: in the prolate spheroidal data window function all the
 c points in the time series will allways be affected, even in
 c the case we have percentual tapering P different from 100%
 c (this window has the maximum value different from 1).

C- THIS ROUTINE APLIES A DATA WINDOW TO THE DATA VECTOR X(0:LX)
 C- ITYPE=1 (RECTANGULAR),

- C- 2 (PROLATE PI),
- C- 3 (PROLATE 4PI),
- C- 4 (BARTLETT),
- C- 5 (WELCH),
- C- 6 (SINOIDAL),
- C- 7 (HANNING),
- C- 8 (HAMMING),
- C- 9 (BLACKMAN).

C- C-P=Percentual tapering, affecting time series start and end
 c points (100% means all the points will be affected by the
 c data window function. 50% means 25% start plus 25% end
 c points);

C- C-TSV=SUM OF SQUARED WINDOW VALUES.
 C- IERROR=0 IF NO ERROR, 1 IF ITYPE OUT OF RANGE.

```

DIMENSION X(0:LX)
c DIMENSION W(0:LX)
IERROR=1
IF(ITYPE.LT.1.OR.ITYPE.GT.9) RETURN
TSV=0.
DO 1 K=0,LX
  W=SPWENDO(ITYPE,LX+1,P,K)
  X(K)=X(K)*W
  TSV=TSV+W*W
1 CONTINUE
IERROR=0
RETURN
END
  
```

C-
 C-*****

C-
 C- FUNCTION SPWENDO(ITYPE,N,P,K)

C-
 C-ROTINA CRIADA POR ADEMILSON ZANANDREA EM 17/09/96

C-
 C-THIS FUNCTION GENERATES A SINGLE SAMPLE OF A DATA WINDOW.

C- ITYPE=1 (RECTANGULAR),
 C- 2 (PROLATE PI),

```

C- 3 (PROLATE 4PI),
C- 4 (BARTLETT),
C - 5 (WELCH),
C- 6 (SINOIDAL),
C- 7 (HANNING),
C- 8 (HAMMING),
C- 9 (BLACKMAN).
C-
C-N=SIZE (TOTAL NO. SAMPLES) OF WINDOW.
C-K=SAMPLE NUMBER WITHIN WINDOW, FROM 0 THROUGH N-1.
C- (IF K IS OUTSIDE THIS RANGE, SPWNDO IS SET TO 0.)
  PI=4.*ATAN(1.)
  SPWNDO=0.
  IF(ITYPE.LT.1.OR.ITYPE.GT.9) RETURN
  IF(K.LT.0.OR.K.GE.N) RETURN
  SPWNDO=1.
  L=INT((N-2)*((P/2)/100))
  IF(K.LE.L) KK=K
  IF(K.GT.N-L-2) KK=N-K-1
  LL=2*L+1
  GO TO (1,2,3,4,5,6,7,8,9), ITYPE
1 RETURN
2 D=1.414213467D0
  XN=DBLE(LL)
  XI=DBLE(KK)
  X=(2*XI-1)/XN-1
  U=(1.D0-X)*(1.D0+X)
  PROLPI=D*((((((((
a    5.3476939016920851D-11*U+2.2654256220146656D-9)*U+
b    7.8075102004229667D-8)*U+2.1373409644281953D-6)*U+
c    4.5094847544714943D-5)*U+7.0498957221483167D-4)*U+
d    7.7412693304064753D-3)*U+5.5280627452077586D-2)*U+
e    2.2753754228751827D-1)*U+4.3433904277546202D-1)*U+
f    2.2902051859068017D-1)
  IF(K.EQ.L) VMAX=PROLPI
  IF((K.GT.L).OR.(K.LE.(N-L-2))) SPWNDO=VMAX
  IF(K.LE.L) SPWNDO=PROLPI
  IF(K.GT.N-L-2) SPWNDO=PROLPI
  RETURN
3 D=1.983944333D0
  XN=DBLE(LL)
  XI=DBLE(KK)
  X=(2*XI-1)/XN-1
  U=(1.D0-X)*(1.D0+X)
  PROL4PI=D*((((((((((((((((
a    2.6197747176990866D-11*U+2.9812025862125737D-10)*U+
b    3.0793023552299688D-9)*U+2.8727486379692354D-8)*U+

```

```

c      2.4073904863499725D-7)*U+1.8011359410323110D-6)*U+
d      1.1948784162527709D-5)*U+6.9746276641509466D-5)*U+
e      3.5507361197109845D-4)*U+1.5607376779150113D-3)*U+
f      5.8542015072142441D-3)*U+1.8482388295519675D-2)*U+
g      4.8315671140720506D-2)*U+1.0252816895203814D-1)*U+
h      1.7233583271499150D-1)*U+2.2242525852102708D-1)*U+
i      2.1163435697968192D-1)*U+1.4041394473085307D-1)*U+
j      5.9923940532892353D-2)*U+1.4476509897632850D-2)*U+
k      1.5672417352380246D-3)*U+4.2904633140034110D-5)
IF(K.EQ.L) VMAX=PROL4PI
IF((K.GT.L).OR.(K.LE.(N-L-2))) SPWNDO=VMAX
IF(K.LE.L) SPWNDO=PROL4PI
IF(K.GT.N-L-2) SPWNDO=PROL4PI
RETURN
4 IF(K.LE.L) SPWNDO=1-ABS((K-0.5*(LL))/(0.5*(LL)))
IF(K.GT.N-L-2) SPWNDO=1-ABS((KK-0.5*(LL))/(0.5*(LL)))
RETURN
5 IF(K.LE.L) SPWNDO=1-((K-0.5*(LL))/(0.5*(LL)))**2
IF(K.GT.N-L-2) SPWNDO=1-((KK-0.5*(LL))/(0.5*(LL)))**2
RETURN
6 IF(K.LE.L) SPWNDO=SIN(2*PI*K/(2*(LL)))
IF(K.GT.N-L-2) SPWNDO=SIN(2*PI*KK/(2*(LL)))
RETURN
7 IF(K.LE.L) SPWNDO=0.5*(1.0-COS(2*K*PI/(LL)))
IF(K.GT.N-L-2) SPWNDO=0.5*(1.0-COS(2*KK*PI/(LL)))
RETURN
8 IF(K.LE.L) SPWNDO=0.54-0.46*COS(2*K*PI/(LL))
IF(K.GT.N-L-2) SPWNDO=0.54-0.46*COS(2*KK*PI/(LL))
RETURN
9 IF(K.LE.L) SPWNDO=.42-.5*COS(2*K*PI/(LL))+.08*COS(4*K*PI/(LL))
IF(K.GT.N-L-2) SPWNDO=0.42-.5*COS(2*KK*PI/(LL))+0.08*COS(4*KK*PI/
+      (LL))
RETURN
END

```

C-
C-*****
C-

SUBROUTINE SPPOWR(X,Y,WORK,LX,LY,IWINDO,PP,OVRLAP)
C-LATEST DATE: 02/20/87
C-COMPUTES RAW PERIODOGRAM, AVERAGED OVER SEGMENTS OF X(0:LX).
C-X(0),X(1),---,X(LX)=INPUT DATA SEQUENCE.
C-Y(0),Y(1),---,Y(LY)=OUTPUT PERIODOGRAM. LY MUST BE A POWER OF 2.
C-WORK=WORK ARRAY DIMENSIONED AT LEAST WORK(0:2*LY+1).
C-LX=LAST INDEX IN DATA SEQUENCE AS ABOVE.
C-LY=FREQUENCY INDEX CORRESPONDING TO HALF SAMPLING RATE.
POWER OF 2.

C-SEGMENT LENGTH IS $2*LY$. DATA LENGTH $(LX+1)$ MUST BE AT LEAST THIS BIG.

C-IWINDO=DATA WINDOW TYPE, 1(RECTANGULAR), 2(TAPERED RECTANGULAR),

C- 3(TRIANGULAR), 4(HANNING), 5(HAMMING), OR 6(BLACKMAN). SEE CH. 14.

C-OVRLAP=FRACTION THAT EACH DATA SEGMENT OF SIZE $2*LY$ OVERLAPS ITS

C- PREDECESSOR. MUST BE GREATER THAN OR EQUAL 0 AND LESS THAN 1.

C-NSGMTS=NO. OVERLAPPING SEGMENTS OF X AVERAGED TOGETHER. OUTPUT.

C-IERROR=0 NO ERROR DETECTED.

C- 1 IWINDO OUT OF RANGE (1-6).

C- 2 LX TOO SMALL, I.E., LESS THAN $2*LY-1$.

C- 3 LY NOT A POWER OF 2.

```
DIMENSION X(0:LX),Y(0:LY),WORK(0:2*LY+1)
```

```
IERROR=2
```

```
IF(LX+1.LT.2*LY) RETURN
```

```
IERROR=3
```

```
BASE=LY
```

```
1 BASE=BASE/2.
```

```
IF(BASE-2.) 7,2,1
```

```
2 DO 3 M=0,LY
```

```
Y(M)=0.
```

```
3 CONTINUE
```

```
NSHIFT=MIN0(2*LY,MAX0(1,INT(2*LY*(1.-OVRLAP)+.5)))
```

```
NSGMTS=1+(LX+1-2*LY)/NSHIFT
```

```
DO 6 ISEGMT=0,NSGMTS-1
```

```
DO 4 NSAMP=0,2*LY-1
```

```
WORK(NSAMP)=X(NSHIFT*ISEGMT+NSAMP)
```

```
4 CONTINUE
```

```
CALL SPMASK(WORK,2*LY-1,IWINDO,PP,TSV,IERROR)
```

C-

C- NORMALIZACAO DAS POTENCIAS

C- DA FFT --> FNORM=(1.0/NT)**2

C- DA WINDOW --> FATORW=(NT/S)

C- RESULTADO --> 1.0/(NT*S)

C-

```
IF(IERROR.NE.0) RETURN
```

```
CALL SPFFTR(WORK,2*LY)
```

```
DO 5 M=0,LY
```

```
Y(M)=Y(M)+(WORK(2*M)**2+WORK(2*M+1)**2)/((TSV*(2*LY))*NSGMTS)
```

```
5 CONTINUE
```

```
6 CONTINUE
```

```
7 RETURN
```

```
END
```

C-

```

C-*****
C-
SUBROUTINE SPCROS(X1,X2,Y,WORK,LX,LY,IWINDO,PP,OVRLAP)
C-LATEST DATE: 05/15/90
C-SIMILAR TO SPPOWR, BUT FOR THE AVG. CROSS-SPECTRUM OF 2
SEQUENCES.
C-X1(0) THRU X1(LX) AND X2(0) THRU X2(LX) ARE THE INPUT DATA
SEQUENCES.
C-COMPLEX Y(0),Y(1),---,Y(LY)=OUTPUT SPECTRUM. LY=POWER OF 2.
C-WORK=COMPLEX WORK ARRAY DIMENSIONED AT LEAST WORK(0:2*LY-1).
C-LX=LAST INDEX IN INPUT DATA SEQUENCES AS ABOVE.
C-LY=FREQUENCY INDEX CORRESP. TO HALF SAMPLING RATE=POWER OF 2.
C-SEGMENT LENGTH IS 2*LY. DATA LENGTH (LX+1) MUST BE AT LEAST THIS
BIG.
C-IWINDO=DATA WINDOW TYPE, 1(RECTANGULAR), 2(TAPERED
RECTANGULAR),
C- 3(TRIANGULAR), 4(HANNING), 5(HAMMING), OR 6(BLACKMAN). SEE CH.
14.
C-OVRLAP=FRACTION THAT EACH DATA SEGMENT OF SIZE 2*LY OVERLAPS
ITS
C- PREDECESSOR. MUST BE GREATER THAN OR EQUAL 0 AND LESS THAN 1.
C-NSGMTS=NO. OVERLAPPING SEGMENTS OF X AVERAGED TOGETHER.
OUTPUT.
C-IERROR=0 NO ERROR DETECTED.
C- 1 IWINDO OUT OF RANGE (1-6).
C- 2 LX TOO SMALL, I.E., LESS THAN 2*LY-1.
C- 3 LY NOT A POWER OF 2.
REAL X1(0:LX),X2(0:LX)
COMPLEX Y(0:LY),WORK(0:2*LY-1),P,Q,U,V
IERROR=1
IF(IWINDO.LT.1.OR.IWINDO.GT.6) RETURN
IERROR=2
IF(LX+1.LT.2*LY) RETURN
IERROR=3
BASE=LY
1 BASE=BASE/2.
IF(BASE-2.) 7,2,1
2 DO 3 M=0,LY
Y(M)=(0.,0.)
3 CONTINUE
NSHIFT=MIN0(2*LY,MAX0(1,INT(2*LY*(1.-OVRLAP)+.5)))
NSGMTS=1+(LX+1-2*LY)/NSHIFT
TSV=0.
DO 6 ISEGMT=0,NSGMTS-1
DO 4 NSAMP=0,2*LY-1
W=SPWINDO(IWINDO,2*LY,PP,NSAMP)
IF(ISEGMT.EQ.0) TSV=TSV+W*W

```

```

INDEX=NSHIFT*ISEGMT+NSAMP
WORK(NSAMP)=CMPLX(W*X1(INDEX),W*X2(INDEX))
4 CONTINUE
CALL SPFFTC(WORK,2*LY,-1)
Y(0)=Y(0)+REAL(WORK(0))*AIMAG(WORK(0))/(TSV*2*LY*NSGMTS)
DO 5 M=1,LY
P=WORK(M)+WORK(2*LY-M)
Q=WORK(M)-WORK(2*LY-M)
U=.5*CMPLX(REAL(P),AIMAG(Q))
V=.5*CMPLX(AIMAG(P),-REAL(Q))
Y(M)=Y(M)+CONJG(U)*V/(TSV*2*LY*NSGMTS)
5 CONTINUE
6 CONTINUE
IERROR=0
7 RETURN
END

```

C-

C-----

C-

```

SUBROUTINE APOLAR(M,AB,PA,PB,R,PHI,ELP)
COMPLEX AB
DOUBLE PRECISION A,B,AB2,DAB,XJ
DIMENSION AB(1),PA(1),PB(1),R(1),PHI(1),ELP(1)
DO 1 J=1,M
IF(PA(J).EQ.0.) GO TO 1
A=REAL(AB(J))
B=AIMAG(AB(J))
AB2=A*A+B*B
DAB=ABS(PA(J)-PB(J))
XJ=ABS((PA(J)*PB(J))-AB2)
R(J)=1.-((4.*XJ)/((PA(J)+PB(J))**2))
R(J)=SQRT(ABS(R(J)))
PHI(J)=0.5*(ATAN(2.*A/DAB))*57.296
IF(PA(J).LT.PB(J)) PHI(J)=90.-PHI(J)
IF(PHI(J).GT.90.) PHI(J)=PHI(J)-180.
SS=0.5*ASIN(2.*B/SQRT(DAB**2+4.*AB2))
ELP(J)=TAN(SS)

```

1 CONTINUE

RETURN

END

C-

C-----

C-

```

SUBROUTINE POLAR(M,AB,PA,PB,TSP,PSP,R,PHI,ELP)
COMPLEX AB
DOUBLE PRECISION A,B,AB2,DAB
DIMENSION AB(0:M),PA(0:M),PB(0:M),R(0:M),PHI(0:M),ELP(0:M)

```

```

DIMENSION PSP(0:M),TSP(0:M)
DO 1 J=0,M
  IF(PA(J) .EQ. 0.) GO TO 1
  A=REAL(AB(J))
  B=AIMAG(AB(J))
  AB2=A*A+B*B
  TSP(J)=PA(J)+PB(J)
  DAB=ABS(PA(J)-PB(J))
  SSS=DAB*DAB+4*AB2
  PSP(J)=SQRT(ABS(SSS))
  R(J)=PSP(J)/TSP(J)
  R(J)=R(J)*100
  PHI(J)=0.5*(ATAN(2.*A/DAB))*57.296
  IF(PA(J) .LT. PB(J)) PHI(J)=90.-PHI(J)
  IF(PHI(J) .GT. 90.) PHI(J)=PHI(J)-180.
  SS=0.5*ASIN(2.*B/SQRT(DAB**2+4.*AB2))
  ELP(J)=TAN(SS)
1  CONTINUE
  RETURN
  END
C-
C-----
C-

      SUBROUTINE FREBAN(N,DT,LARG,DESL,NEST,FL,FU,FM,FHL,FHU,NP)
C  PROGRAMA BANDA.FOR
C
C  CALCULA "NEST" BANDAS, DENTRO DAS QUAIS O ESPECTRO DE
C  POTENCIA
C  VAI SER SUAVIZADO
C
C  PARAMETER(NBAN=3000)
C  REAL NYQF,LARG,DESL,FL(NBAN),FM(NBAN),FU(NBAN)
C  INTEGER NP(NBAN),FHU(NBAN),FHL(NBAN)
C  FUNDF=1.0/(N*DT)
C  NYQF=1.0/(2.*DT)
C  I=0
11  CONTINUE
C  I=I+1
C  FL(I)=FUNDF+((I-1)*DESL)
C  FU(I)=FL(I)+(LARG)
C  FM(I)=FU(I)-(LARG/2.)
C  IF(FU(I) .LE. NYQF) GO TO 11
12  CONTINUE
C  NEST=I
C  DO 13 I=1,NEST
C    FHU(I)=FU(I)*(N*DT)

```

```

    FHL(I)=FL(I)*(N*DT)
    IF(I.EQ.NEST) THEN
      FHU(I)=(N/2)
      FU(I)=NYQF
    END IF
    NP(I)=FHU(I)-FHL(I)+1
13  CONTINUE
    RETURN
    END

C-
C-----
C-
    SUBROUTINE SUAVIZA1D(S,NEST,FHL,FHU,NP)
C
C  SUAVIZA O ESPECTRO DE POTENCIA NAS "NEST" BANDAS
DETERMINADAS
C  PELO PROGRAMA BANDA.FOR
C
    PARAMETER(NBAN=3000)
    INTEGER N,NP(NBAN),FHU(NBAN),FHL(NBAN)
    DIMENSION S(0:NBAN),SX(0:NBAN)

    DO 15 I=1,NEST
      SX(I)=0.
      LU=FHU(I)
      LL=FHL(I)
      DO 20 N=LL,LU
        SX(I)=SX(I)+S(N)
20  CONTINUE
      S(I)=SX(I)/NP(I)
15  CONTINUE
    RETURN
    END

C-
C-----
C-
    SUBROUTINE SUAVIZA2D(S,S1,NEST,FHL,FHU,NP)
C
C  SUAVIZA O ESPECTRO DE POTENCIA NAS "NEST" BANDAS
DETERMINADAS
C  PELO PROGRAMA BANDA.FOR
C
    PARAMETER(NBAN=3000)
    INTEGER N,NP(NBAN),FHU(NBAN),FHL(NBAN)
    DIMENSION S(0:NBAN),S1(0:NBAN),SX(0:NBAN),SY(0:NBAN)
    DO 15 I=1,NEST
      SX(I)=0.

```

```

    SY(I)=0.
    LU=FHU(I)
    LL=FHL(I)
    DO 20 N=LL,LU
        SX(I)=SX(I)+S(N)
        SY(I)=SY(I)+S1(N)
20    CONTINUE
    S(I)=SX(I)/NP(I)
    S1(I)=SY(I)/NP(I)
15    CONTINUE
    RETURN
    END

```

```

FUNCTION BIG(X,N)
DIMENSION X(0:N-1)
T=X(1)
DO 20 I=1,N
    IF(T-X(I)) 10,20,20
10 T=X(I)
20 CONTINUE
    BIG=T
    RETURN
    END

```

```

FUNCTION SMALL(X,N)
DIMENSION X(0:N-1)
T=X(1)
DO 20 I=1,N
    IF(T-X(I)) 20,20,10
10 T=X(I)
20 CONTINUE
    SMALL=T
    RETURN
    END

```

```

FUNCTION AVG(X,N)
DIMENSION X(0:N-1)
c    Calculo da media
    SUM=0.0
    DO 10 I=1,N
10    SUM=SUM+X(I)
    AVG=SUM/N
    RETURN
    END

```