

ESTUDO DE VARIAÇÕES DIURNAS E PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS COM
PERÍODOS ENTRE 10 E 1000s NAS REGIÕES DO ELETROJATO EQUATORIAL
E ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLANTICO SUL

Alexsander Costa

Aluno da Universidade de Taubaté – Bolsa PIBIC/CNPq

Orientadores

Dr. José Marques da Costa

Universidade de Taubaté-UNITAU

Departamento de Matemática e Física

Rua Daniel Danelli, s/n

Taubaté - SP

e

Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE

Divisão de Geofísica Espacial

Av. dos Astronautas, 1758 – Caixa Postal 515

São José dos Campos – SP

O campo magnético terrestre apresenta variações de longo e curto períodos. As primeiras com períodos $T > 1$ ano são associadas aos processos dinâmicos em ocorrência no interior da Terra; as segundas com períodos $T < 1$ ano são intimamente relacionadas a fenômenos físicos externos decorrentes da interação Sol-Terra. Essas variações são classificadas, segundo o período, em: secular (> 1 ano), diurna (24 horas), distúrbios associados as tempestades magnéticas (com períodos bastante variáveis), micropulsões (0,2-1000 s) e atmosféricas (< 1 s). Somam-se a estas o ruído produzido pelas atividades do homem, na mesma faixa de frequência das variações atmosféricas. A variação secular tem, primariamente, origem interna. A variação diurna é atribuída à existência de um sistema de correntes elétricas (Sq) na região E da ionosfera, com dois vórtices localizados respectivamente nas proximidades das latitudes de 30°S e 30°N . Os distúrbios resultam da entrada violenta de grandes quantidades de plasma solar na magnetosfera, por ocasião das tempestades geomagnéticas. As micropulsões resultam de interações complexas entre as partículas carregadas do vento solar e o plasma da magnetosfera e ionosfera terrestres. As variações atmosféricas originam-se de descargas elétricas em ocorrência na atmosfera terrestre; essas descargas atuam como antenas transmissoras gerando campos eletromagnéticos na atmosfera. As variações produzidas pelo homem são provenientes, geralmente, das redes de distribuição de energia elétrica. Os resultados apresentados neste estudo restringem-se a variação diurna e as variações geomagnéticas observadas na faixa de 10 a 1000s em algumas estações, situadas nas regiões do Eletrojato Equatorial e Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Nos estudos referentes a AMAS, utilizou-se dados da estação magnética de Santa Maria, RS, (27°S , 53°W) e, também, de Darwin, na Austrália, situada fora da região da Anomalia, na mesma faixa de latitude sul. Nos estudos sobre o Eletrojato Equatorial fez-se uso dos dados geomagnéticos coletados nas cadeias de estações que o INPE vem operando, já há vários anos, no noroeste, norte e nordeste do território brasileiro. Utilizou-se dados das seguintes estações: Cuiabá ($15,35^{\circ}\text{S}$, 56°W), Colibri ($13,7^{\circ}\text{S}$, $59,8^{\circ}$), Vilhena ($12,7^{\circ}\text{S}$, 60°W), Presidente Médici ($11,3^{\circ}\text{S}$, $61,8^{\circ}\text{W}$), Ariquemes ($9,6^{\circ}\text{S}$, 63°W), Porto Velho ($8,8^{\circ}\text{S}$, $69,9^{\circ}\text{W}$), Belém / Tatuoca ($1,4^{\circ}\text{S}$, $48,4^{\circ}\text{W}$), São Luiz/Alcantara ($2,3^{\circ}\text{S}$, $44,2^{\circ}\text{W}$), Eusébio/Fortaleza ($3,9^{\circ}\text{S}$, $38,5^{\circ}\text{W}$).

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

**ESTUDO DE VARIAÇÕES DIURNAS E PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS
COM PERÍODOS ENTRE 10 E 1000 S NAS REGIÕES DO ELETROJATO
EQUATORIAL E ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL**

**Alexsander Costa
UNITAU**

**Relatório final do trabalho de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq), orientado
pelos Drs. José Marques da Costa e Severino Luiz Guimarães Dutra.**

**INPE
São José dos Campos, Junho de 1997**

A meus pais Sr. Costa
e Sra. Costa
com Carinho e
Amor

AGRADECIMENTOS

Desejo, antes de mais nada, externar os meus sinceros agradecimentos aos meus orientadores Drs. José Marques da Costa e Severino Luiz Guimarães Dutra que abriram e continuam abrindo, a represa do rio do conhecimento, deixando, assim, fluir em mim, o gozo do aprender, onde a cada dia deixo-me guiar pela forte correnteza, rumo ao saber. Quero aproveitar a oportunidade para agradecer também ao CNPq, por ter-me incentivado com uma bolsa para a marcha dos meus estudos, além de todo apoio necessário dado pelo INPE, que se inicia com este trabalho. Agradeço ainda à Universidade de Taubaté (UNITAU), onde curso o terceiro ano de Engenharia Mecânica. Diga-se de passagem que a cordialidade do serviço prestado pelas Secretarias da Divisão de Geofísica Espacial (DGE) e do Curso de Pós-Graduação em Geofísica Espacial (GES), contribuíram muito no resultado deste relatório.

Alexsander Costa

SUMÁRIO

Resumo	2
1. Introdução	3
2. Análise do Material Bibliográfico	5
3. Procedimentos Metodológicos.....	5
4. Resultados	5
5. Discussão dos Resultados	6
6. Conclusão	6
7. Referência Bibliográfica	6
Legenda A	10
Apêndice A	69
Apêndice B	87

**ESTUDO DE VARIAÇÕES DIURNAS E PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS
COM PERÍODOS ENTRE 10 E 1000 S NAS REGIÕES DO ELETROJATO
EQUATORIAL E ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL**

ESTUDO DE VARIAÇÕES DIURNAS E PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS
COM PERÍODOS ENTRE 10 E 1000s NAS REGIÕES DO ELETROJATO
EQUATORIAL E ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLANTICO SUL

Alexsander Costa

Aluno da Universidade de Taubaté – Bolsa PIBIC/CNPq

Orientadores

Dr. José Marques da Costa

Universidade de Taubaté-UNITAU

Departamento de Matemática e Física

Rua Daniel Danelli, s/n

Taubaté - SP

e

Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE

Divisão de Geofísica Espacial

Av. dos Astronautas, 1758 – Caixa Postal 515

São José dos Campos – SP

O campo magnético terrestre apresenta variações de longo e curto períodos. As primeiras com períodos $T > 1$ ano são associadas aos processos dinâmicos em ocorrência no interior da Terra; as segundas com períodos $T < 1$ ano são intimamente relacionadas a fenômenos físicos externos decorrentes da interação Sol-Terra. Essas variações são classificadas, segundo o período, em: secular (>1 ano), diurna (24 horas), distúrbios associados as tempestades magnéticas (com períodos bastante variáveis), micropulsões (0,2-1000 s) e atmosféricas (<1 s). Somam-se a estas o ruído produzido pelas atividades do homem, na mesma faixa de frequência das variações atmosféricas. A variação secular tem, primariamente, origem interna. A variação diurna é atribuída à existência de um sistema de correntes elétricas (S_q) na região E da ionosfera, com dois vórtices localizados respectivamente nas proximidades das latitudes de 30°S e 30°N . Os distúrbios resultam da entrada violenta de grandes quantidades de plasma solar na magnetosfera, por ocasião das tempestades geomagnéticas. As micropulsões resultam de interações complexas entre as partículas carregadas do vento solar e o plasma da magnetosfera e ionosfera terrestres. As variações atmosféricas originam-se de descargas elétricas em ocorrência na atmosfera terrestre; essas descargas atuam como antenas transmissoras gerando campos eletromagnéticos na atmosfera. As variações produzidas pelo homem são provenientes, geralmente, das redes de distribuição de energia elétrica. Os resultados apresentados neste estudo restringem-se a variação diurna e as variações geomagnéticas observadas na faixa de 10 a 1000s em algumas estações, situadas nas regiões do Eletrojato Equatorial e Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Nos estudos referentes a AMAS, utilizou-se dados da estação magnética de Cachoeira Paulista, ($22,7^\circ\text{S}$; 45°W) e, também, de Darwin ($12,4^\circ\text{S}$; $130,8^\circ\text{W}$) na Austrália, situada fora da região da Anomalia. Nos estudos sobre o Eletrojato Equatorial fez-se uso dos dados geomagnéticos coletados nas cadeias de estações que o INPE vem operando, já há vários anos, no noroeste, norte e nordeste do território brasileiro. Utilizou-se dados das seguintes estações: Cuiabá ($15,35^\circ\text{S}$; 56°W), Porto Velho ($8,8^\circ\text{S}$; $69,9^\circ\text{W}$) e Belém / Tatuoca ($1,4^\circ\text{S}$; $48,4^\circ\text{W}$).

ESTUDO DE VARIAÇÕES DIURNAS E PULSAÇÕES GEOMAGNÉTICAS COM PERÍODOS ENTRE 10 E 1000 s NAS REGIÕES DO ELETROJATO EQUATORIAL E ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL

1. INTRODUÇÃO

O campo magnético terrestre apresenta variações de longo e curto períodos. As primeiras com períodos $T > 1$ ano são associadas aos processos dinâmicos em ocorrência no interior da Terra (Langel, 1987); as segundas com períodos $T < 1$ ano são intimamente relacionadas a fenômenos físicos externos decorrentes da interação Sol-Terra (Chapman & Bartels, 1940; Rangajaran, 1989). Essas variações são classificadas, segundo o período, em: secular (1 ano), diurna (24 horas), distúrbios associados as tempestades magnéticas (com períodos bastante variáveis), micropulsações (0,2-1000 s) e atmosféricas (< 1 s). Somam-se a estas o ruído produzido pelas atividades do homem, na mesma faixa de frequência das variações atmosféricas.

As variações seculares têm, primariamente, origem interna. As variações diurnas são atribuídas à existência de um sistema de correntes elétricas (Sq) na região E da ionosfera, com dois vórtices localizados respectivamente nas proximidades das latitudes de 30°S e 30°N . Os distúrbios resultam da entrada violenta de grandes quantidades de plasma solar na magnetosfera, por ocasião das tempestades geomagnéticas. As micropulsações resultam de interações complexas entre as partículas carregadas do vento solar e o plasma da magnetosfera e ionosfera terrestres. As variações atmosféricas originam-se de descargas elétricas em ocorrência na atmosfera terrestre; essas descargas atuam como antenas transmissoras gerando campos eletromagnéticos na atmosfera. As variações produzidas pelo homem são provenientes, geralmente, das redes de distribuição de energia elétrica.

O estudo das variações do campo geomagnético, tanto com instrumentação na superfície da Terra como no espaço a bordo de satélites, tem contribuído significativamente para a estimação da intensidade e a dinâmica dos sistemas de correntes elétricas da ionosfera e magnetosfera. A interpretação dos parâmetros das micropulsações, por exemplo, tem permitido inferir os processos físicos envolvidos em sua geração/transmissão na magnetosfera/ionosfera terrestres, assim como determinar a distribuição da condutividade elétrica na crosta e manto superior (e.g. Birkeland, 1908; Alfvén, 1939, 1940; Olson & Rostoker, 1978; Olson et al., 1980; Rostoker et al., 1979; Jones, 1980; Green, 1982; Kamide et al., 1982; Baumjohann, 1982; Baransky et al 1989,1990; Fraser, 1986, Jacobs, 1987; Samson, 1991; Dutra et al, 1994; Korotova & Sibeck, 1994; Odera et al. 1994, Pilipenko & Federov, 1994).

O estágio do conhecimento sobre micropulsações geomagnéticas na faixa de (0,01-10 Hz) 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 (Fraser, 1986; Yumoto, 1986; Takahashi, 1991; Engebretson et al. 1994).

A realização de uma pesquisa sobre variação diurna e micropulsações geomagnéticas, observadas nas regiões da Anomalia Magnética do Atlântico Sul e Eletrojato Equatorial, é o objeto deste trabalho. Nos estudos referentes a AMAS, utilizou-se dados da estação magnética de Cachoeira Paulista, SP, e de Darwin, na Austrália, sendo esta última situada fora da região da Anomalia. Nos estudos sobre o Eletrojato Equatorial fez-se uso dos dados geomagnéticos coletados nas cadeias de estações que o INPE vem operando, já há vários anos, no noroeste, norte e nordeste do território brasileiro. Estas cadeias incluem as seguintes estações: Cuiabá, Colibri, Vilhena, Presidente Médici, Ariquemes, Porto Velho, Belém (Tatuoca), São Luiz/Alcântara, Eusébio/Fortaleza.

No caso da região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), a precipitação de partículas carregadas dos cinturões de radiação de Van Allen modifica a densidade eletrônica e os campos elétricos da ionosfera local, resultando numa outra possível fonte de geração de micropulsações. Esta região, que abrange a parte sul do território brasileiro, caracteriza-se por apresentar o menor valor para a intensidade total do campo magnético terrestre em todo o globo. Trivedi et al. (1973), Abdu et al. (1973) e Pinto & Gonzalez (1986) mostram evidências de efeitos nas intensidades e na propagação de micropulsações na região da AMAS. Medidas do espectro de micropulsações, na faixa de Pc 1-2, realizadas em Cachoeira Paulista, SP, indicam também uma provável associação com o fenômeno de precipitação de partículas na atmosfera da AMAS (Padilha et al., 1993). Para a faixa de Pc 3-4, estudos preliminares (Zanandrea, 1994; Zanandrea et al. 1996) mostram um máximo próximo ao meio dia local para a Santa Maria.

Estudos teóricos, desenvolvidos para latitudes altas, sugerem que as micropulsações geomagnéticas podem ser geradas por processos de ressonância das linhas do campo geomagnético (Hasegawa, 1969) e instabilidades do plasma espacial do tipo Kelvin-Helmholtz (Southwood, 1974; Chen & Hasegawa, 1974). Várias evidências experimentais, relatadas por Engebretson et al. (1994), parecem confirmar os resultados sugeridos pelos estudos teóricos.

Para baixas latitudes, os processos de geração e transmissão de micropulsações não têm sido muito estudados. Resultados de Saito (1983), sobre a variação da atividade das micropulsações geomagnéticas em latitudes inferiores a 22°; revelam um máximo de ocorrência no intervalo entre 17 e 19 horas no local da estação. Este máximo foi explicado pelo efeito chafariz, no qual a ionosfera equatorial sobe até a região F da ionosfera (300-500 Km) e transfere elétrons e íons para as regiões entre 5° e 10° de latitude, de ambos os lados do equador magnético da Terra.

Para este relatório, optou-se pela apresentação de resultados referentes aos processamentos dos dados coletados no dia 24 de setembro de 1994, nas estações de Belém/Tatuoca, Porto Velho, Cuiabá e Cachoeira Paulista. Mostra-se também resultados da estação de Darwin para o dia 17 de outubro de 1991.

2. ANÁLISE DO MATERIAL BIBLIOGRÁFICO

Nesta primeira fase da pesquisa foi feita uma leitura do capítulo 7, "The Earth as a Magnet", do livro "The Earth Sciences", cujo autor é Strahler A. N., referido no final deste relatório, e preparação de um texto introdutório sobre Geomagnetismo (**Apêndice A**).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho foi desenvolvido na seguinte seqüência: a) familiarização com os fenômenos geomagnéticos através da leitura da literatura básica; b) familiarização com as ferramentas/programas computacionais, já existentes no INPE, para o estudo de variações geomagnéticas; c) processamento de dados geomagnéticos medidos na estação de Cuiabá, próxima da região do Eletrojato Equatorial, nos dias 24 e 25 de setembro de 1994; d) após estas três fases preliminares seguiu-se com os processamentos, apenas para os dados coletados no dia 24 de setembro de 1994, referentes a variação diurna e procura das frequências dominantes nas faixas das micropulsações Pc-3 (10-45 s), Pc-4 (45-150 s), Pc-5 (150-600 s) e, também, entre 600-1000 s, nas estações de Belém, Porto Velho e Cuiabá, situadas na região do Eletrojato Equatorial, e na estação de Cachoeira Paulista, situada na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Processou-se também dados da estação de Darwin, na Austrália, situada fora da região da Anomalia, para o dia 17 de outubro de 1991.

O programas utilizados no processamento dos dados geomagnéticos estão listados no **Apêndice B**.

4. RESULTADOS

Apenas resultados preliminares podem ser apresentados nesta fase da pesquisa. As Figuras 1a,e e 2a,e apresentam a variação diurna e as filtragens dos dados geomagnéticos medidos em Cuiabá, nas faixas de 10 a 100, 100 a 600, 600 a 1000 e 1000 a 10000 s, para os dias 24 e 25 de setembro de 1994, respectivamente. As Figuras 3a,i , 4a,i , 5a,i , 6a,i apresentam, para o dia 24 de setembro de 1994, a variação diurna, a filtragem e os espectros calculados para as faixas de frequência das micropulsações dos tipos Pc-3 (10-45 s), Pc-4 (45-150 s), Pc-5 (150-600 s) e, também, entre 600 e 1000 s, medidos, respectivamente, nas estações de Belém, Porto Velho, Cuiabá e Cachoeira Paulista. As

Figuras 7a,i mostram os resultados obtidos para a estação de Darwin, na Austrália, situada fora da região da Anomalia, para o dia 17 de outubro de 1991.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados preliminares conseguidos, até o momento, do processamento dos dados das estações de Belém, Porto Velho, Cuiabá e Cachoeira Paulista, confirmam a ocorrência de micropulsações dos tipos Pc-3 (10-45 s), Pc-4 (45-150 s), Pc-5 (150-600 s) e, também, de variações entre 600 e 1000 s nas regiões do Eletrojato Equatorial e Anomalia Magnética do Atlântico Sul. A estação de Darwin, na Austrália, mostra também variações nas mesmas faixas de frequência. Estes estudos incluirão também uma comparação da atividade geomagnética observada em dias magneticamente calmos e perturbados.

Os passos seguintes desta pesquisa incluirão o processamento dos dados das outras estações geomagnéticas (Colibrí, Vilhena, Presidente Médici, Ariquemes, São Luiz/Alcântara, Eusébio/Fortaleza). Faz-se-á também o processamento dos dados da estação de Santa Maria e de Darwin para um mesmo período. Ambas estações estão na mesma faixa de latitude.

6. CONCLUSÃO

O processamento dos dados geomagnéticos medidos nos dias 24 e 25 de setembro de 1994, na estação de Cuiabá, mostra a ocorrência de variações geomagnéticas na faixa de 10 a 1000 s, próxima da região do Eletrojato Equatorial. Um processamento mais específico, utilizando os dados do dia 24 de setembro de 1994, mostra a ocorrência de micropulsações nas faixas Pc-3 (10-45 s), Pc-4 (45-150 s), Pc-5 (150-600 s) e, também, de variações entre 600 e 1000 s, nas estações de Belém, Porto Velho, Cuiabá, Cachoeira Paulista e Darwin.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ABDU, M.A., ANANTHAKRIHNNAN, S., COUTINHO, E.F., KRISHNAN, B.A., REIS, E.M.S., Azimutal drift and precipitation of electrons into the South Atlantic Geomagnetic Anomaly during S.C. geomagnetic storm, *Journal Geophysical Research*, 78, 5830-5839, 1973.
- ALFVÉN, H., A theory of geomagnetic storms and of the aurorae, 1. *Roy. Swed. Acad. Sci. Proc. Ser. 3*, 18(3), 1939.
- ALFVÉN, H., A theory of geomagnetic storms and of the aurorae, 2 and 3. *Roy. Swed. Acad. Sci. Proc. Ser. 3*, 18(9), 1940.

- BARANSKY, L.N.; BELOKRIS, S.P.; BOROVKOV, YU.E.; GROKHBERG, M.B.; FEDOROV, V.E.N.; GREEN, C.A. - Restoration of the meridional structure of geomagnetic pulsation fields from gradient measurements. *Planet. Space Sci.* 37, 859, 1989.
- BARANSKY, L.N., BELOKRIS, S.P.; BOROVKOV, YU.E.; GREEN, C.A. - Two simple methods for the determination of the resonance frequencies of magnetic field lines. *Planet. Space Sci.* 38, 1573, 1990.
- BAUMJOHANN, W. - 1982 - Magnetometer networks in Northern Europe. *IMS Source Book, Am. Geophys. Un.*, pp. 134-140.
- BIRKELAND, K. - 1908 - On the cause of magnetic storms and the origin of terrestrial magnetism. In: *The Norwegian Aurora Polaris Expedition 1902-1903, Vol. 1*, H. Aschehoug, Oslo.
- CHAPMAN, S. & BARTELS, J. - 1940 - *Geomagnetism*. Oxford University Press, Vol. 1, 2.
- CHEN, L., AND HASEGAWA, A. A theory of long-period magnetic pulsation, 1, Steady state excitation of field line resonance, *J. Geophys. Res.*, 79, 1024, 1974.
- DUTRA, S.L.G.; DA COSTA, J.M.; TRIVEDI, N.B.; PADILHA, A. L.; VITORELLO, I. - Long and short period geomagnetic variations at Antarctic station Comandante Ferraz, *Conferência Latinoamericana sobre Ciências Espaciais e Atmosféricas na Antártica, Serra Negra, São Paulo, 20 a 25 de novembro de 1994*.
- ENGBRETSON, M. J., TAKAHASHI, K. AND SCHOLER, M. (editors), *Solar Wind Sources of Magnetospheric Ultra-Low Frequency Waves*, 424p., American Geophysical Union, Washington, DC, USA, 1994.
- FRASER, B.J. FRASER, B.J., *Hydromagnetic waves at low latitudes: a symposium review from the fifth IAGA assembly*, *J. Geophys.*, 60, 71, 1986.
- GREEN, C.A. - 1982 - The role of ground arrays of magnetometers in the study of pulsation resonance regions. *Planet. Space Sci.* 40, 1199-1209.
- HASEGAWA, A., Drift mirror instability in the magnetosphere, *Physics of Fluids*, 12, 2642-2650, 1969.
- JACOBS, J.A. *Geomagnetism*, v.1-3, Academic Press, London, 1987.
- JONES, A.G. - 1980 - Geomagnetic induction studies in Scandinavia. *J. Geophys.*, 48, 181-194.

- KAMIDE, Y.; AHN, B.H.; AKASOFU, S.I.; BAUMJOHANN, W.; FRIIS-CHRISTENSEN, E.; KHOEHL, H.W.; MAURER, H.; RICHMOND, A.D.; ROSTOCKER, G.; SPIRO, R.W.; WALKER, J.F. & ZAITZER, H.N. - 1982 - Global distribution of ionospheric and field-aligned currents during substorms as determined from six IMS meridian chains of magnetometers. *J. Geophys. Res.*, 4, 8228-8240.
- KOROTOVA, G.I.; SIBECK, -1994- Generation of ULF pulsations in response to sudden variations in the solar wind dynamic pressure. In: Engebretson, M.J., Takahashi, K. and Scholer, M.(Ed.), *Solar Wind Sources of Magnetospheric Ultra-Low-Frequency Waves*, AGU Geophysical Monograph 81, 265-271.
- LANGEL, R. A. The Main Field, in *Geomagnetism*, vol.1, p. 249-512, ed.J.A. Jacobs, academic Press, 1987.
- D.G.ODERA, T.J.; VAN SWOL, D.; RUSSEL, C.T. -1994- Simultaneous observation of Pc 3,4 pulsations in the magnetosphere and at multiple ground stations. In Engebretson, M.J., Takahashi, K. and Scholer, M.(Ed.), *Solar Wind Sources of Magnetospheric Ultra-Low-Frequency Waves*, AGU Geophysical Monograph 81, 311-323.
- OLSON, J.V. & ROSTOKER, G. - 1978 - Longitudinal phase variations of PC4-5 micropulsations. *J. Geophys. Res.*, 83, 2481-2488.
- OLSON, J.V.; ROSTOKER, G. & OLCHOWY, G. - 1980 - A study of concurrent riometer and magnetometer variations in the PC4-5 pulsation band. *J. Geophys. Res.*, 85, 1695-1702.
- PADILHA, A. L., TRIVEDI, N. B., DUTRA, S. L. G., DA COSTA, J. M., Characteristics of ULF waves observed at Cachoeira Paulista(L=1.5), Brazil. 7th Scientific Assembly of IAGA, , Buenos Aires, Argentina, 8-20 August 1993.
- PILIPENKO, V. A. AND FEDEROV, E. N., Magnetotelluric Sounding of the Crust and Hydrodynamic Monitoring of the Magnetosphere With the Use of ULF Waves, , in Engebretson, M. J., Takahashi, K. and Scholer, M.(editors), *Solar Wind Sources of Magnetospheric Ultra-Low Frequency Waves* (424p), p. 283-292, American Geophysical Union, Washington, DC, USA, 1994.
- PINTO, O., JR. AND GONZALEZ, W. D., X ray measurements at the South Atlantic Magnetic Anomaly, *Journal of Geophysical Research*, 91, 7072-7079, 1986.
- RANGAJARAN, G. K., Indices of Geomagnetic Activity”, in *Geomagnetism*, V.3, p. 323-384, ed. J. A. Jacobs, Academic Press, 1989.

- ROSTOKER, G.; LAM, H.L. & OLSON, J.V. - 1979 - PC4 giant pulsations in the morning sector. *J. Geophys. Res.*, 84, 5153-5166.
- SAITO, T., Resonance model on Pc-3 in subtropical regions. in: Cardus, J.O. and Roquetes, S.I.(editores), *Contribuciones para comemorar el 75 aniversario del Observatorio del Ebro*, 175-180, 1983.
- SAMSON, J. C. - 1991 - Geomagnetic pulsations and plasma waves in the earth's magnetosphere. In: Jacobs, J. A. *Geomagnetism*, London, Academic Press.
- SOUTHWOOD, D.J., Some features of field line resonance in the magnetosphere. *Planetary and Space Science*, 22, 639-642, 1974.
- STRAHLER, A. N. (1971), *The Earth Sciences*, 2nd. ed., New York, Harper & Row, 824 pp.
- TAKAHASHI, K., SIBECK, D.G., NEWELL, P.T., and Spence, H.E., ULF waves in the low-latitude boundary layer and their relationship to magnetospheric pulsations: a multisatellite observation, *Journal Geophysics Research*, 96, 9503-9519, 1991.
- TRIVEDI, N.B., RAI, D.B., MARTIN, I.M., AND DA COSTA, J.M., Particle precipitation in Brazilian Geomagnetic Anomaly, *Planetary and Space Science*, 21, 1699-1704, 1973.
- YUMOTO, K., Generation and propagation mechanisms of low-latitude magnetic pulsations - A review, *Journal of Geophysics*, 60, 79-105, 1986.
- ZANANDREA, Micropulsações geomagnéticas em Santa Maria - RS, Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, SP, 1994.
- ZANANDREA, A., PADILHA, A.L., TRIVEDI, N.B., DA COSTA, J.M., DUTRA, S.L.G., SCHUCH, N.J., KITAMURA, T., TACHIHARA, H., SHINOHARA, M., AND AKAKI, H., Geomagnetic Micropulsations at Santa Maria, a ser apresentado na 4a. Conferência Latinoamericana sobre Geofísica Espacial, Tucuman, Argentina, 22 -26 de abril de 1996

LEGENDA A:

Figura 1a: Variação diurna da componente horizontal H do campo geomagnético no dia 24/09/94, em Cuiabá.

Figura 1b: Filtragem da componente horizontal H do campo geomagnético, na faixa de 10 a 100 s, no dia 24/09/94, em Cuiabá.

Figura 1c: Filtragem da componente horizontal H do campo geomagnético, na faixa de 100 a 600 s, no dia 24/09/94, em Cuiabá.

Figura 1d: Filtragem da componente horizontal H do campo geomagnético, na faixa de 600-1000 s, no dia 24/09/94, em Cuiabá.

Figura 1e: Filtragem da componente horizontal H do campo geomagnético, na faixa de 1000 a 10000 s, no dia 24/09/94, em Cuiabá.

Figura 2a. Variação diurna da componente horizontal H do campo geomagnético no dia 25/09/94, em Cuiabá.

Figura 2b: Filtragem da componente horizontal H do campo geomagnético, na faixa de 10 a 100 s, no dia 25/09/94, em Cuiabá.

Figura 2c: Filtragem da componente horizontal H do campo geomagnético, na faixa de 100 a 600 s, no dia 25/09/94, em Cuiabá.

Figura 2d: Filtragem da componente horizontal H do campo geomagnético, na faixa de 100 a 1000 s, no dia 25/09/94, em Cuiabá.

Figura 2e: Filtragem da componente horizontal H do campo geomagnético, na faixa de 1000 a 10000 s, no dia 25/09/94, em Cuiabá.

Figura 3a: Variação diurna da componente H do campo geomagnético no dia 24/09/94, em Belém.

Figura 3b: Filtragem da componente H do campo geomagnético, na faixa de Pc-3, no dia 24/09/94, em Belém

Figura 3c: Espectro de Potência, na faixa de Pc-3, da componente H do campo geomagnético, do dia 24/09/94, em Belém.

Figura 3d: Filtragem da componente H do campo geomagnético, na faixa de Pc-4, no dia 24/09/94, em Belém

Figura 3e: Espectro de Potência, na faixa de Pc-4, da componente H do campo geomagnético, do dia 24/09/94, em Belém.

Figura 3f: Filtragem da componente H do campo geomagnético, na faixa de Pc-5, no dia 24/09/94, em Belém

Figura 3g: Espectro de Potência, na faixa de Pc-5, da componente H do campo geomagnético, do dia 24/09/94, em Belém.

Figura 3h: Filtragem da componente H do campo geomagnético, na faixa de 600-1000s, no dia 24/09/94, em Belém

Figura 3i: Espectro de Potência, na faixa de 600-1000s, da componente H do campo geomagnético, do dia 24/09/94, em Belém.

Figura 4a: Variação diurna da componente H do campo geomagnético no dia 24/09/94, em Porto Velho.

Figura 4b: Filtragem da componente H do campo geomagnético, na faixa de Pc-3, no dia 24/09/94, em Porto Velho.

Figura 4c: Espectro de Potência, na faixa de Pc-3, da componente H do campo geomagnético, do dia 24/09/94, em Porto Velho.

Figura 4d: Filtragem da componente H do campo geomagnético, na faixa de Pc-4, no dia 24/09/94, em Porto Velho.

Figura 4e: Espectro de Potência, na faixa de Pc-4, da componente H do campo geomagnético, do dia 24/09/94, em Porto Velho.

Figura 4f: Filtragem da componente H do campo geomagnético, na faixa de Pc-5, no dia 24/09/94, em Porto Velho.

Figura 4g: Espectro de Potência, na faixa de Pc-5, da componente H do campo geomagnético, do dia 24/09/94, em Porto Velho.

Figura 4h: Filtragem da componente H do campo geomagnético, na faixa de 600-1000s, no dia 24/09/94, em Porto Velho.

Figura 4i: Espectro de Potência, na faixa de 600-1000s, da componente H do campo geomagnético, do dia 24/09/94, em Porto Velho.

Figura 5a: Variação diurna da componente H do campo geomagnético no dia 24/09/94, em Cuiabá.

Figura 5b: Filtragem da componente H do campo geomagnético, na faixa de Pc-3, no dia 24/09/94, em Cuiabá.

Figura 5c: Espectro de Potência, na faixa de Pc-3, da componente H do campo geomagnético, do dia 24/09/94, em Cuiabá.

Figura 5d: Filtragem da componente H do campo geomagnético, na faixa de Pc-4, no dia 24/09/94, em Cuiabá.

Figura 5e: Espectro de Potência, na faixa de Pc-4, da componente H do campo geomagnético, do dia 24/09/94, em Cuiabá.

Figura 5f: Filtragem da componente H do campo geomagnético, na faixa de Pc-5, no dia 24/09/94, em Cuiabá.

Figura 5g: Espectro de Potência, na faixa de Pc-5, da componente H do campo geomagnético, do dia 24/09/94, em Cuiabá.

Figura 5h: Filtragem da componente H do campo geomagnético, na faixa de 600-1000s, no dia 24/09/94, em Cuiabá.

Figura 5i: Espectro de Potência, na faixa de 600-1000s, da componente H do campo geomagnético, do dia 24/09/94, em Cuiabá.

Figura 6a: Variação diurna da componente H do campo geomagnético no dia 24/09/94, em Cachoeira Paulista.

Figura 6b: Filtragem da componente H do campo geomagnético, na faixa de Pc-3, no dia 24/09/94, em Cachoeira Paulista.

Figura 6c: Espectro de Potência, na faixa de Pc-3, da componente H do campo geomagnético, do dia 24/09/94, em Cachoeira Paulista.

Figura 6d: Filtragem da componente H do campo geomagnético, na faixa de Pc-4, no dia 24/09/94, em Cachoeira Paulista.

Figura 6e: Espectro de Potência, na faixa de Pc-4, da componente H do campo geomagnético, do dia 24/09/94, em Cachoeira Paulista.

Figura 6f: Filtragem da componente H do campo geomagnético, na faixa de Pc-5, no dia 24/09/94, em Cachoeira Paulista.

Figura 6g: Espectro de Potência, na faixa de Pc-5, da componente H do campo geomagnético, do dia 24/09/94, em Cachoeira Paulista.

Figura 6h: Filtragem da componente H do campo geomagnético, na faixa de 600-1000s, no dia 24/09/94, em Cachoeira Paulista.

Figura 6i: Espectro de Potência, na faixa de 600-1000s, da componente H do campo geomagnético, do dia 24/09/94, em Cachoeira Paulista.

Figura 7a: Variação diurna da componente H do campo geomagnético no dia 17/10/91, em Darwin.

Figura 7b: Filtragem da componente H do campo geomagnético, na faixa de Pc-3, no dia 17/10/91, em Darwin.

Figura 7c: Espectro de Potência, na faixa de Pc-3, da componente H do campo geomagnético, do dia 17/10/91, em Darwin.

Figura 7d: Filtragem da componente H do campo geomagnético, na faixa de Pc-4, no dia 17/10/91, em Darwin.

Figura 7e: Espectro de Potência, na faixa de Pc4, da componente H do campo geomagnético, do dia 17/10/91, em Darwin.

Figura 7f: Filtragem da componente H do campo geomagnético, na faixa de Pc-5, no dia 17/10/91, em Darwin.

Figura 7g: Espectro de Potência, na faixa de Pc-5, da componente H do campo geomagnético, do dia 17/10/91, em Darwin.

Figura 7h: Filtragem da componente H do campo geomagnético, na faixa de 600-1000s, no dia 17/10/91, em Darwin.

Figura 7i: Espectro de Potência, na faixa de 600-1000s, da componente H do campo geomagnético, do dia 17/10/91, em Darwin.

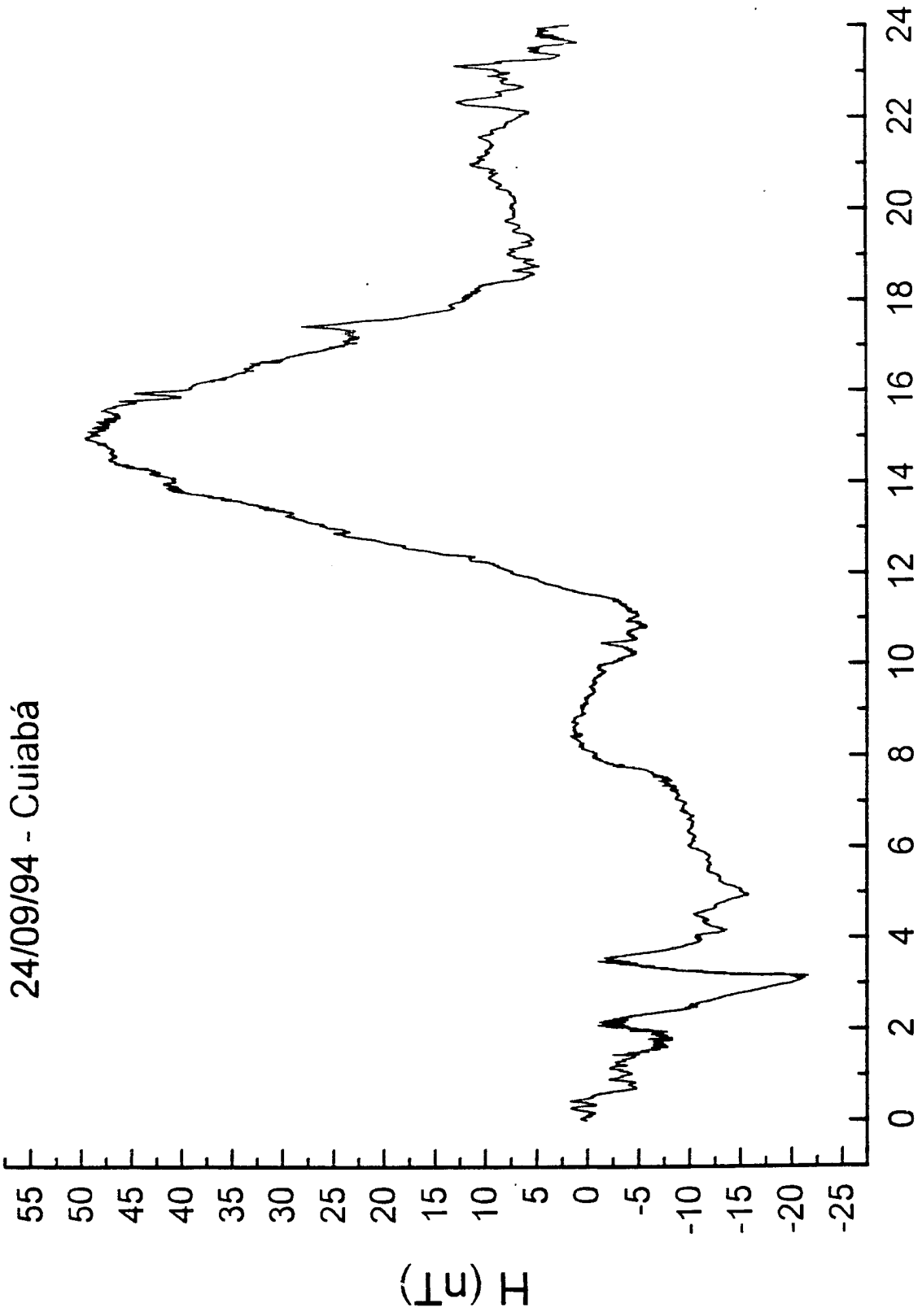


FIGURA 1a

24/09/94-Cuiabá.

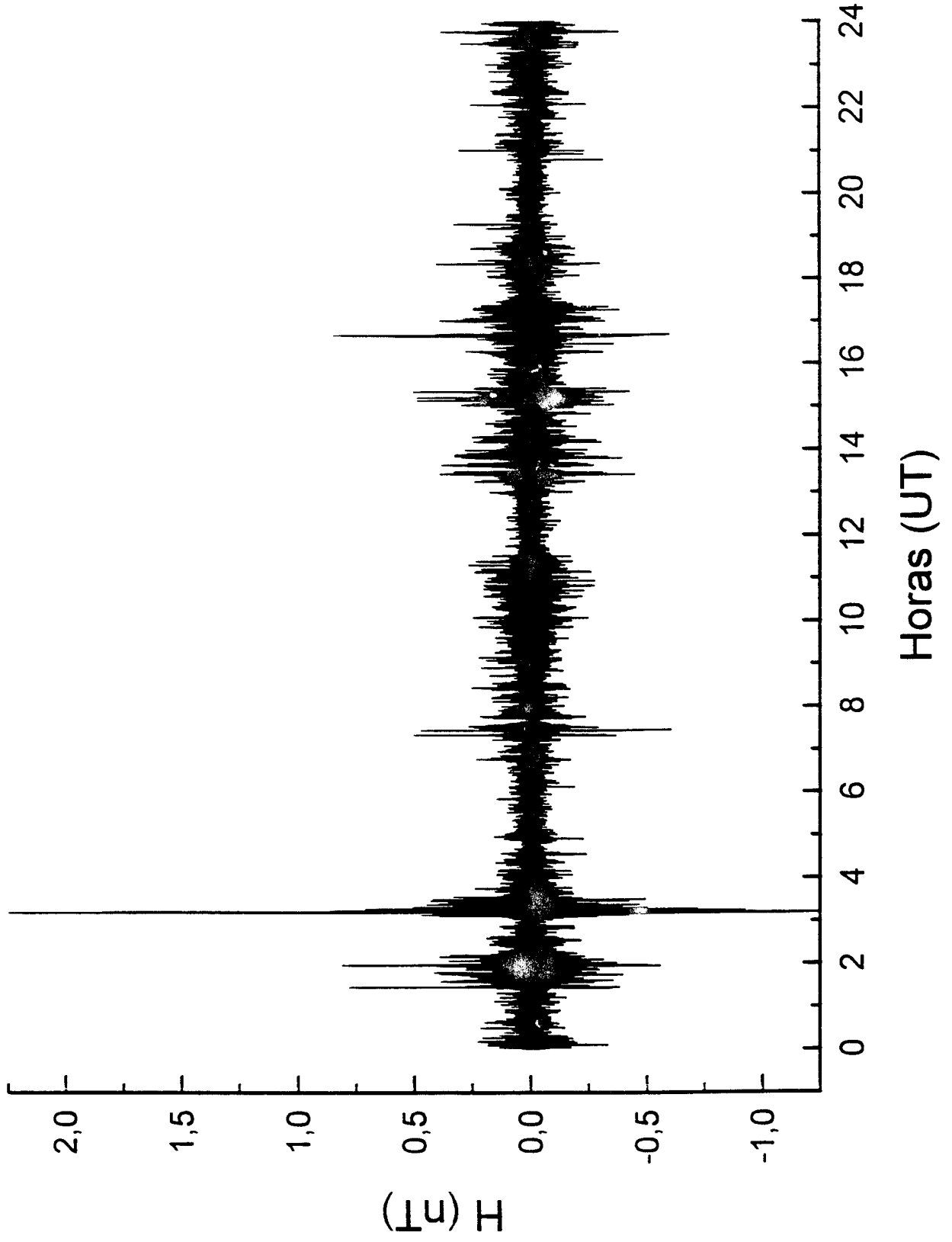


FIGURA 1b

24/09/94 - Cuiabá

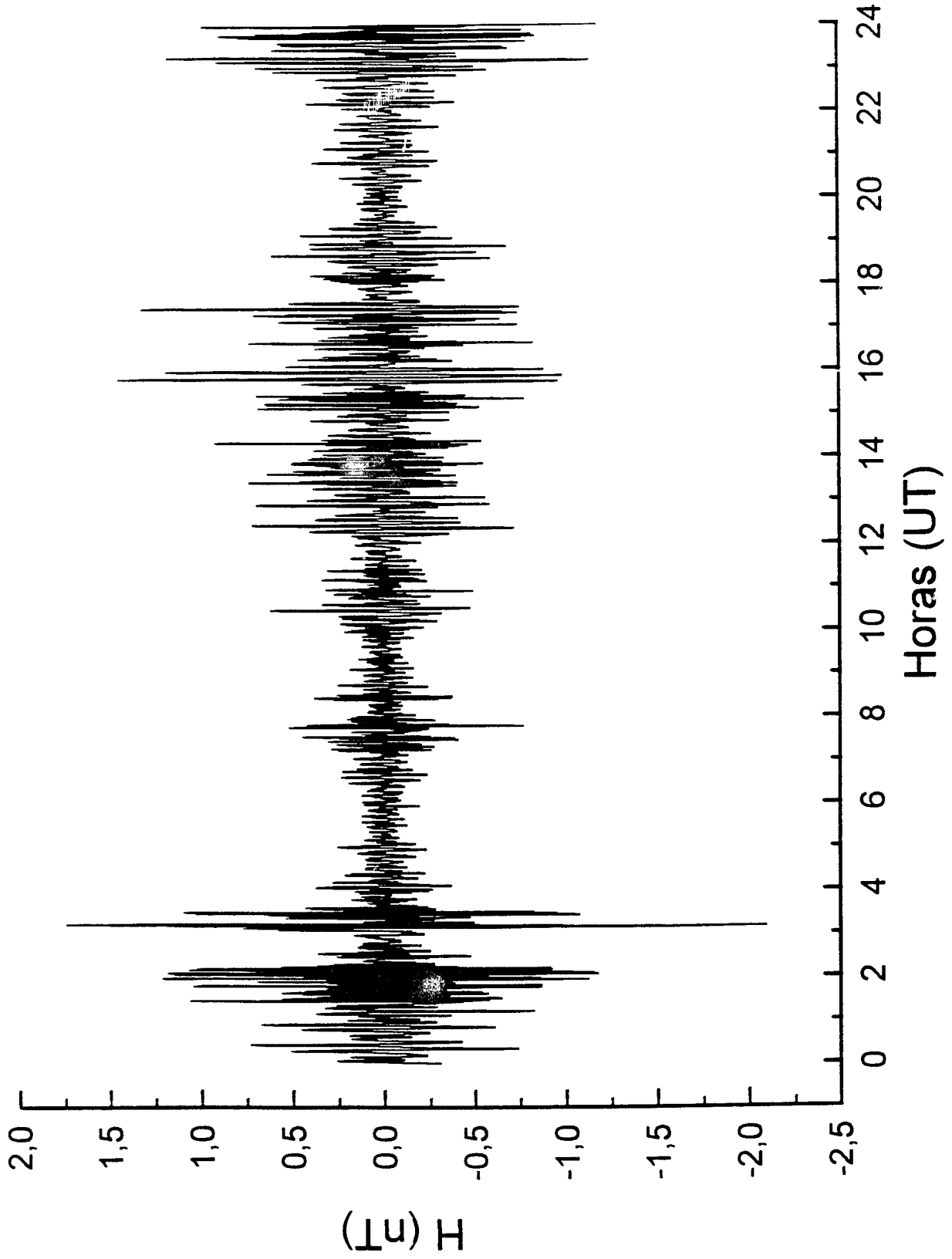


FIGURA 1c

24/09/94 - Cuiabá

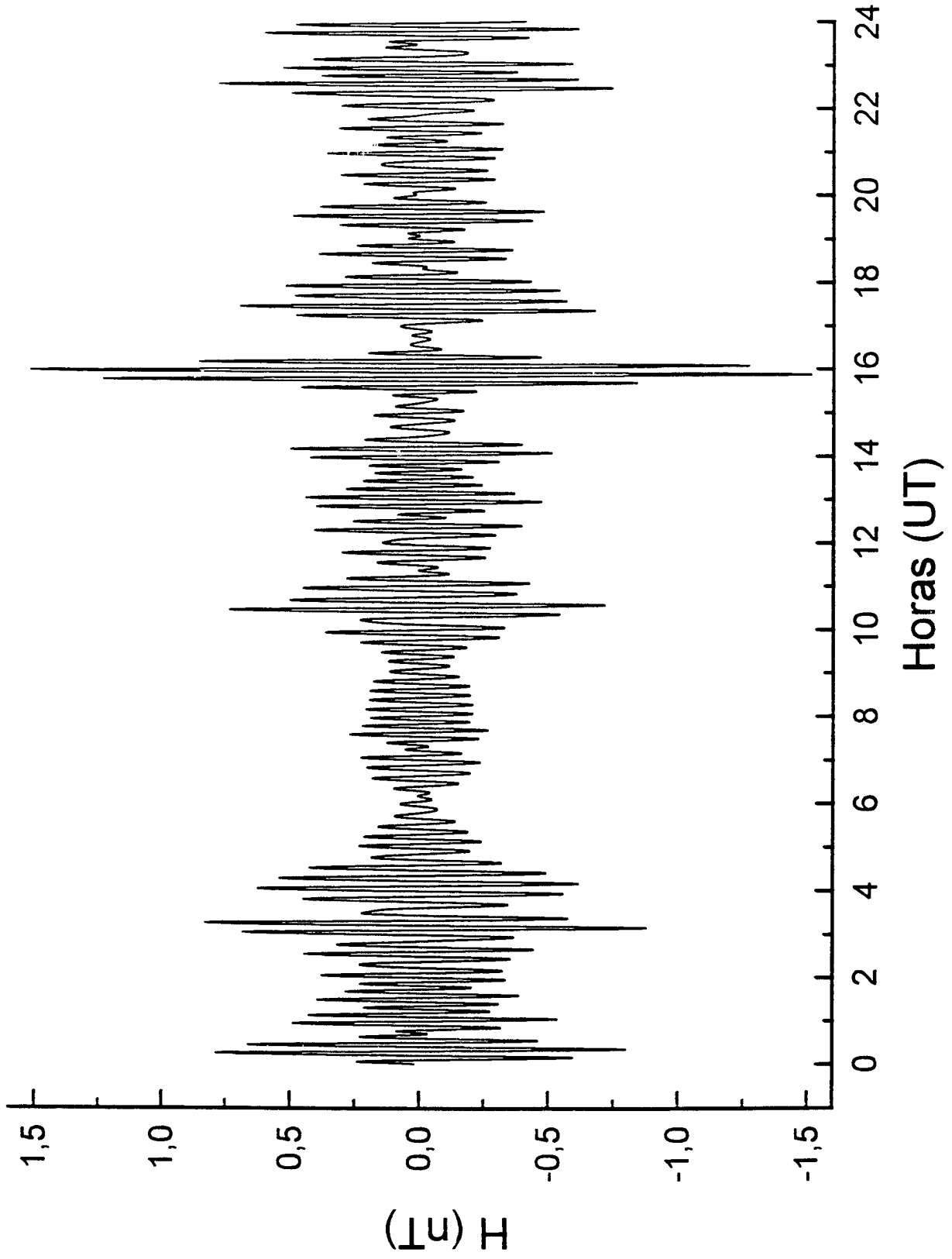


FIGURA 1d

24/09/94 - Cuiabá

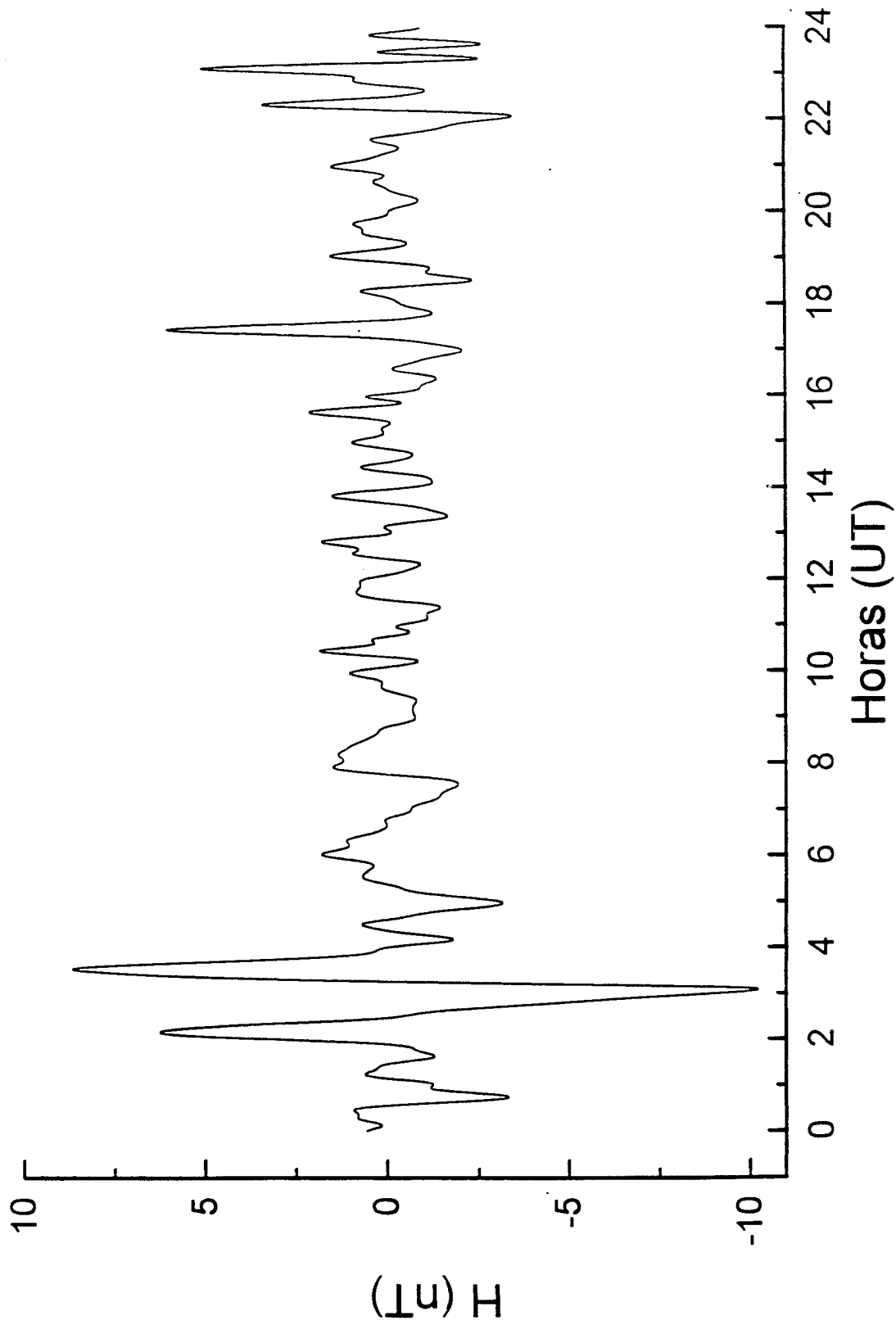


FIGURA 1e

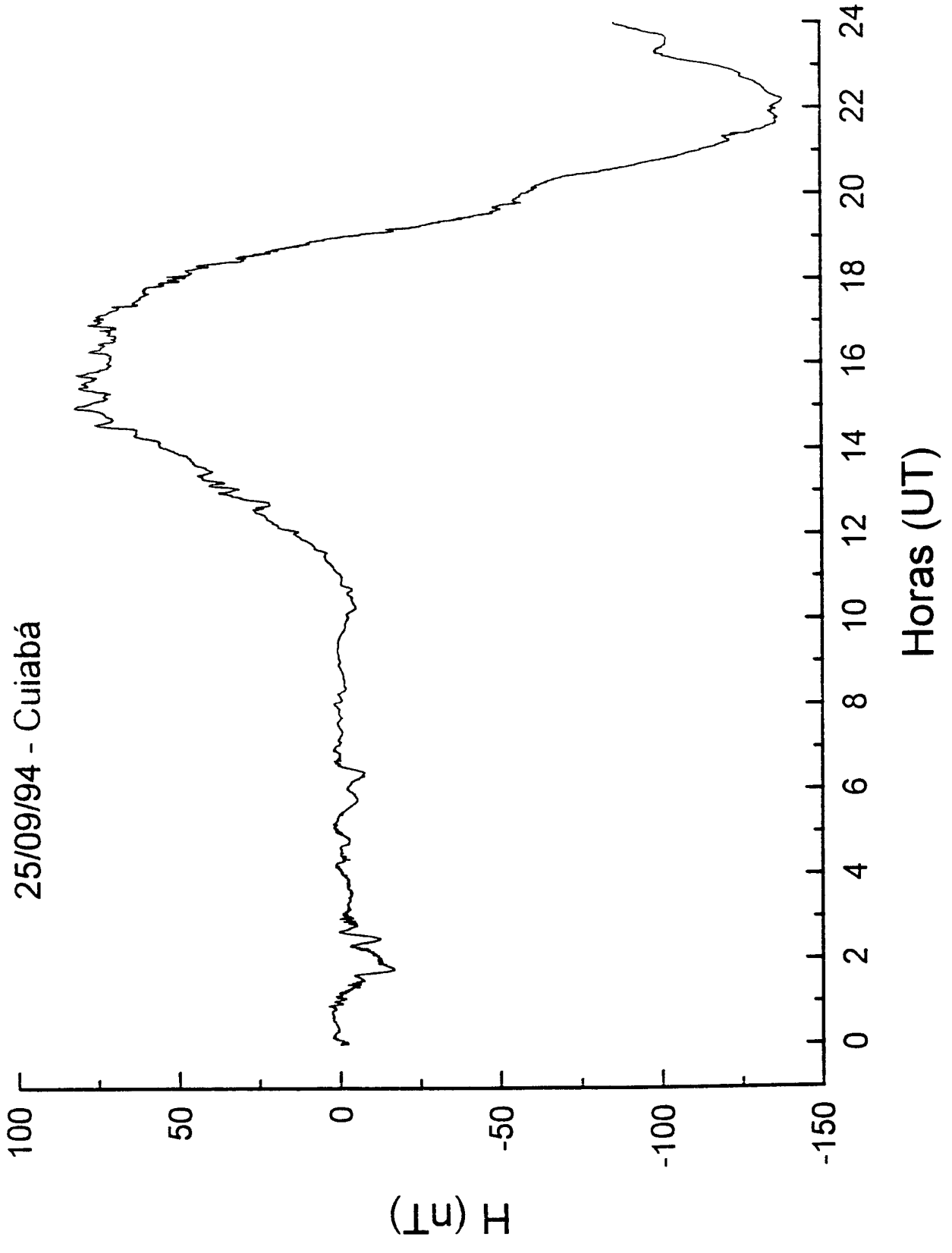


FIGURA 2a

25/09/94 - Cuiabá

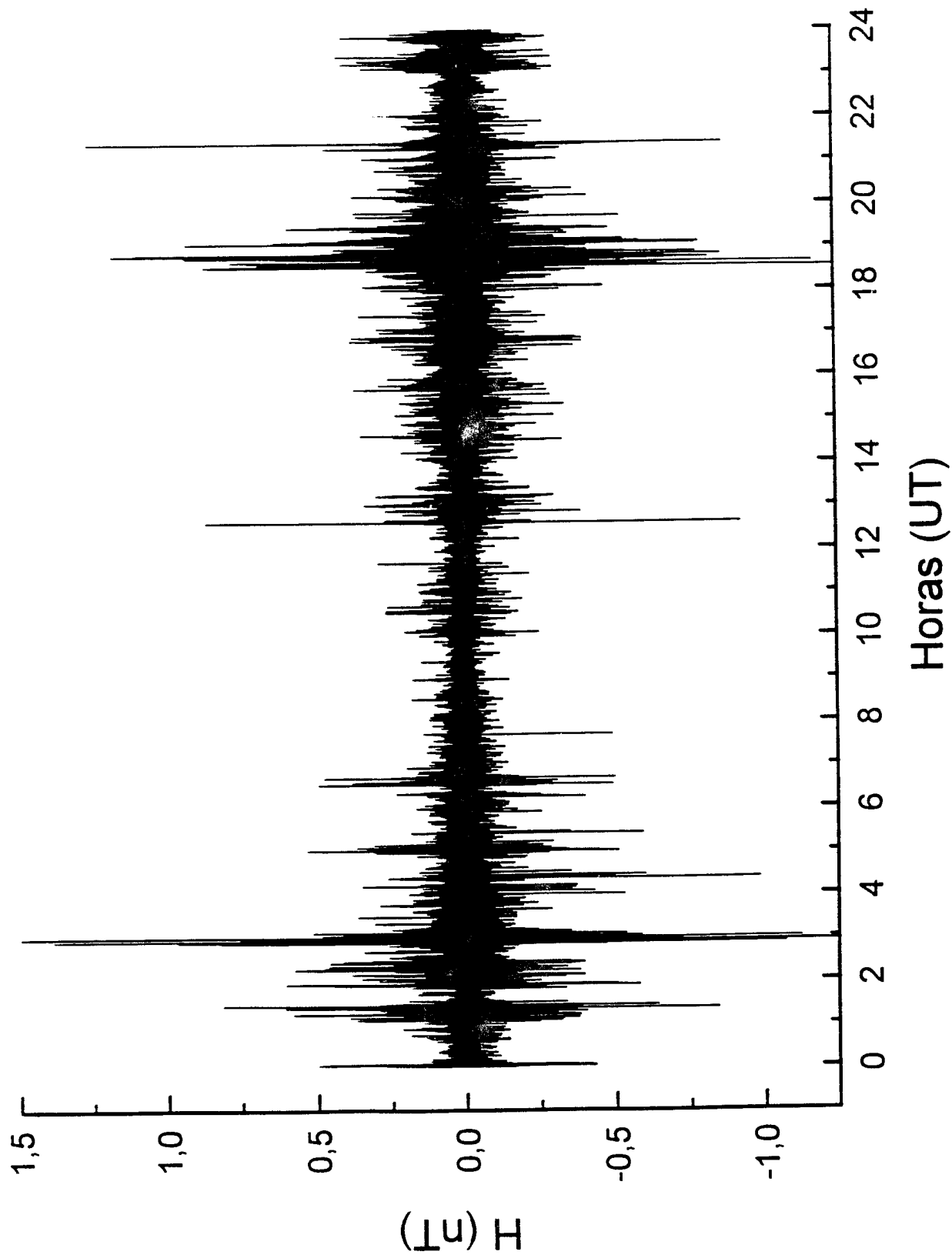


FIGURA 2b

25/09/94 - Cuiabá

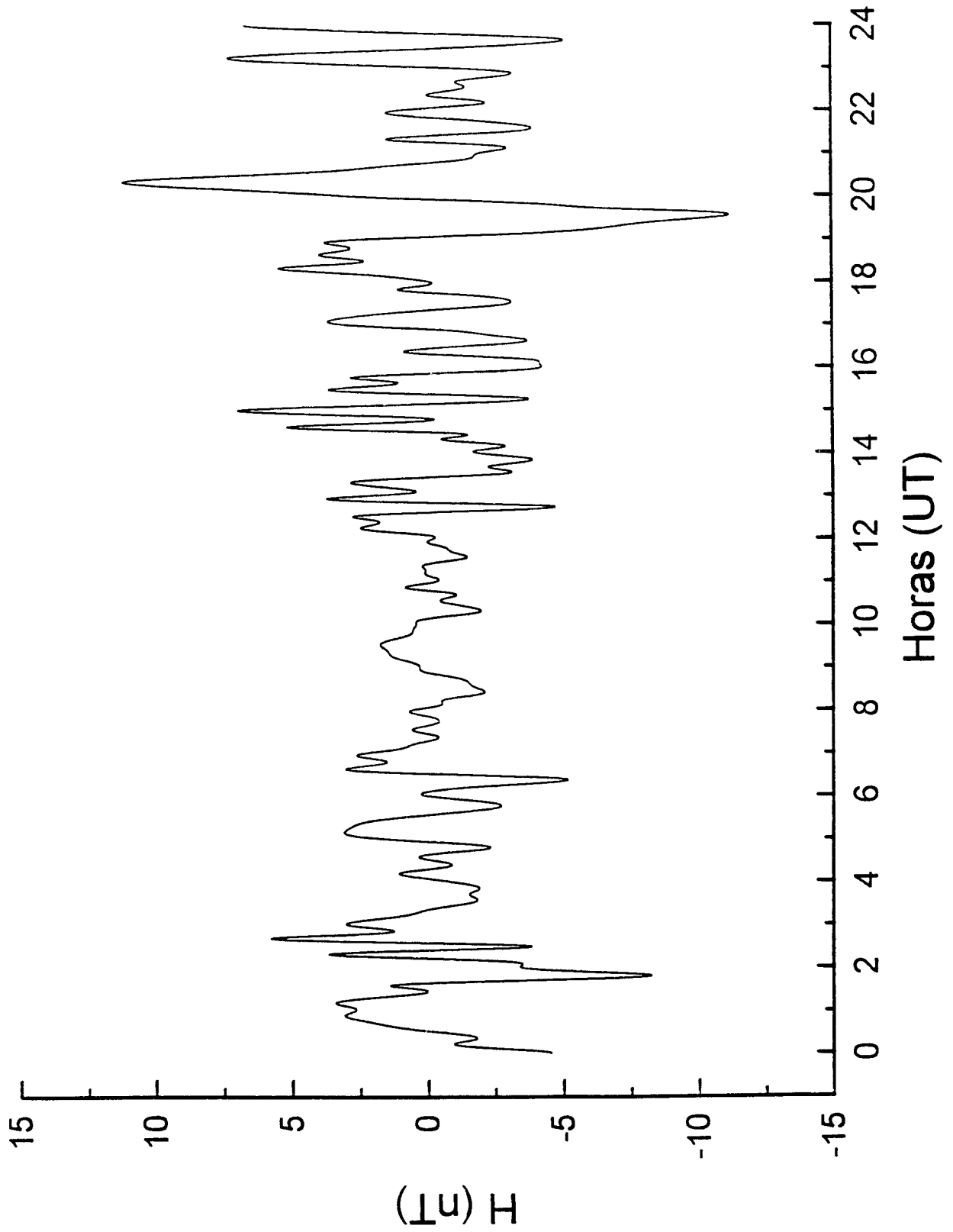


FIGURA 2e

25/09/94 - Cuiabá

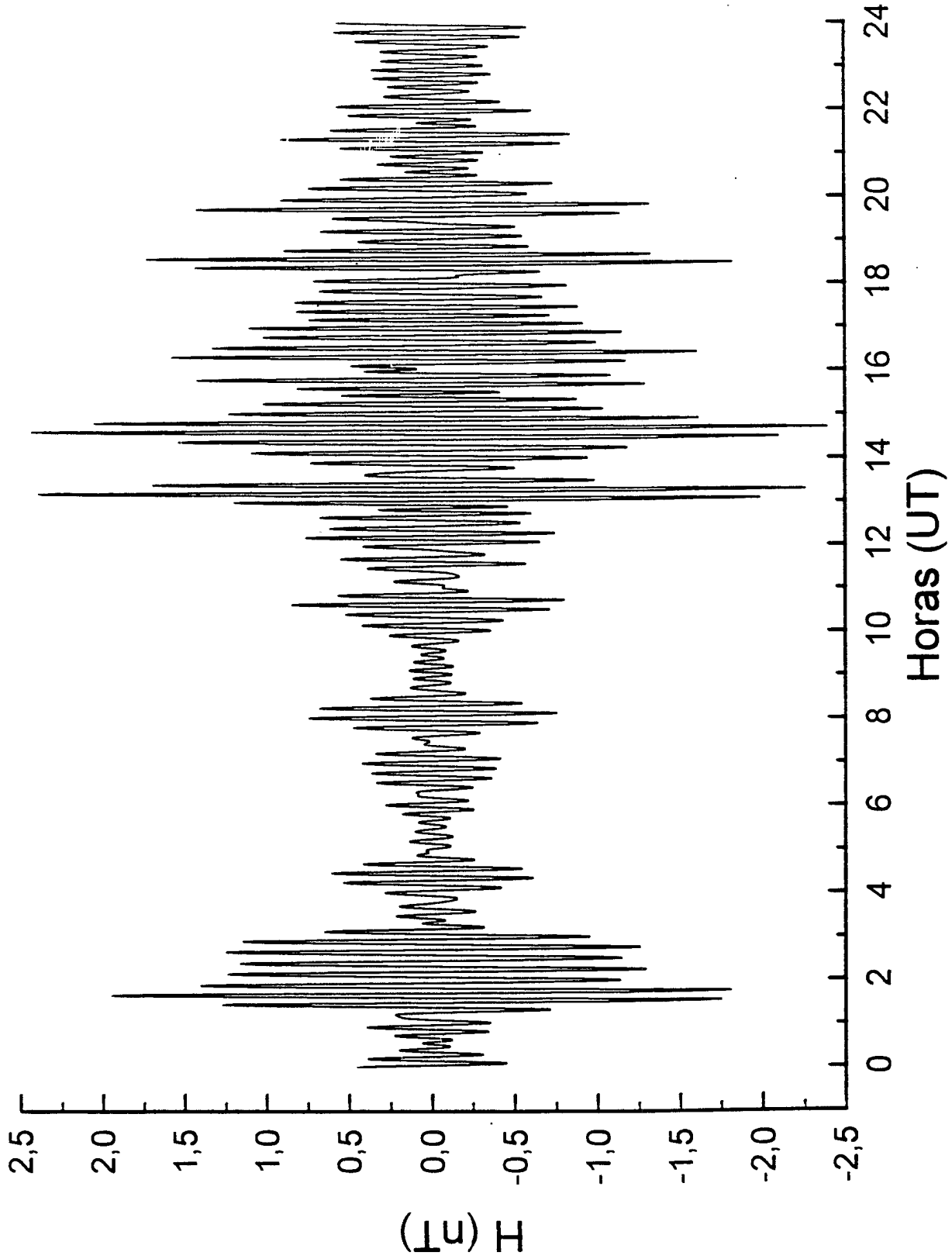


FIGURA 2d

25/09/94 - Cuiabá

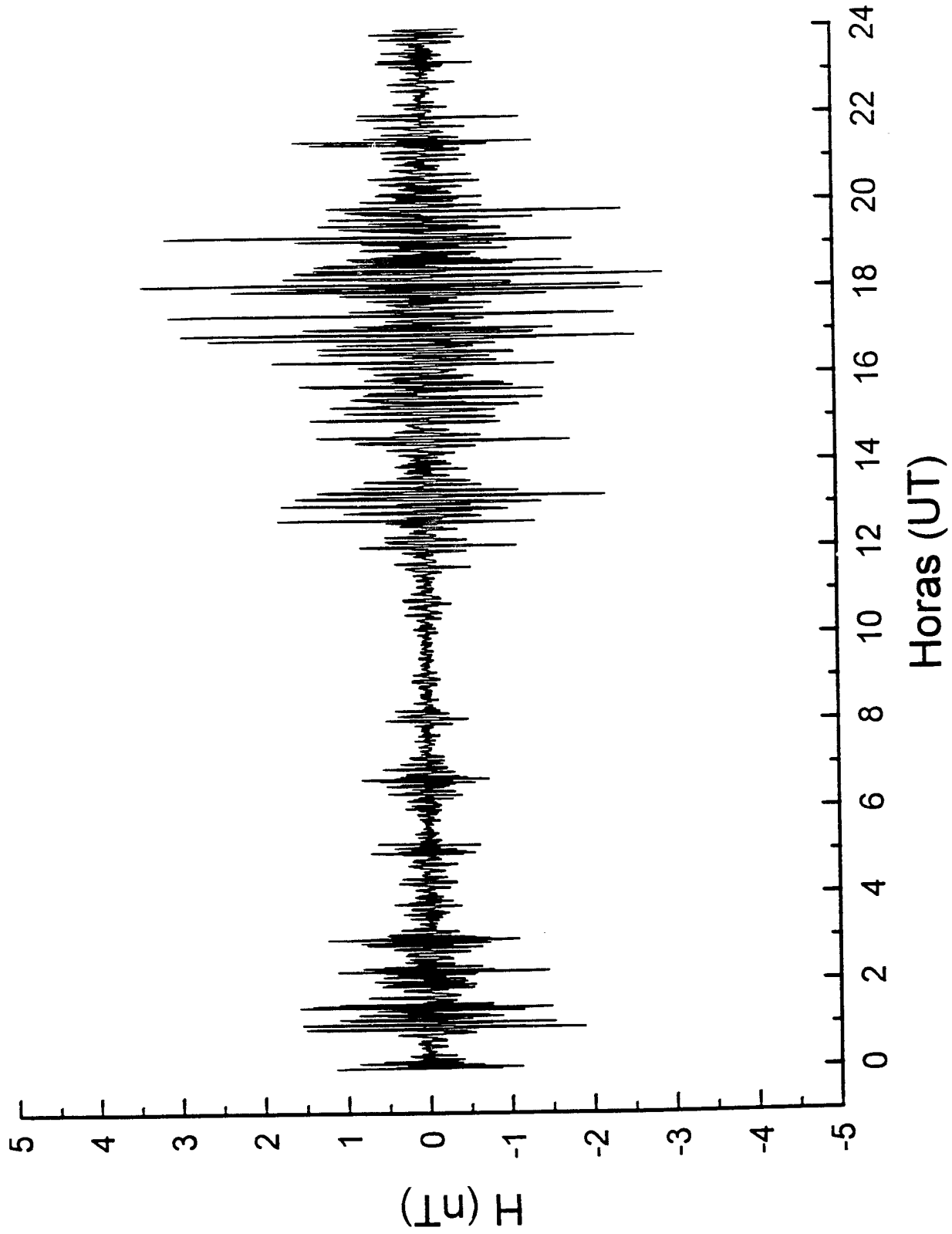
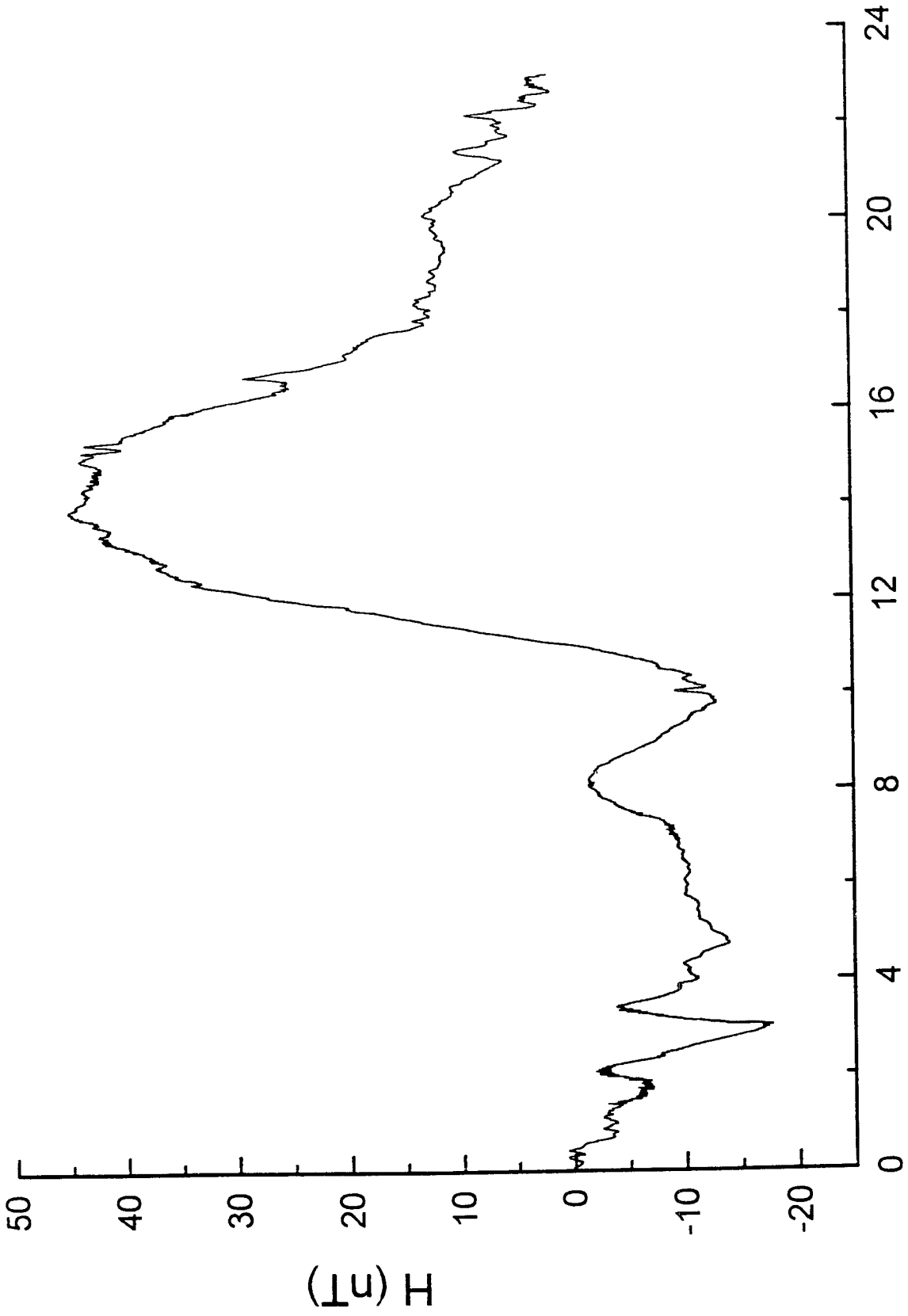


FIGURA 2c

24/09/94 - Belém

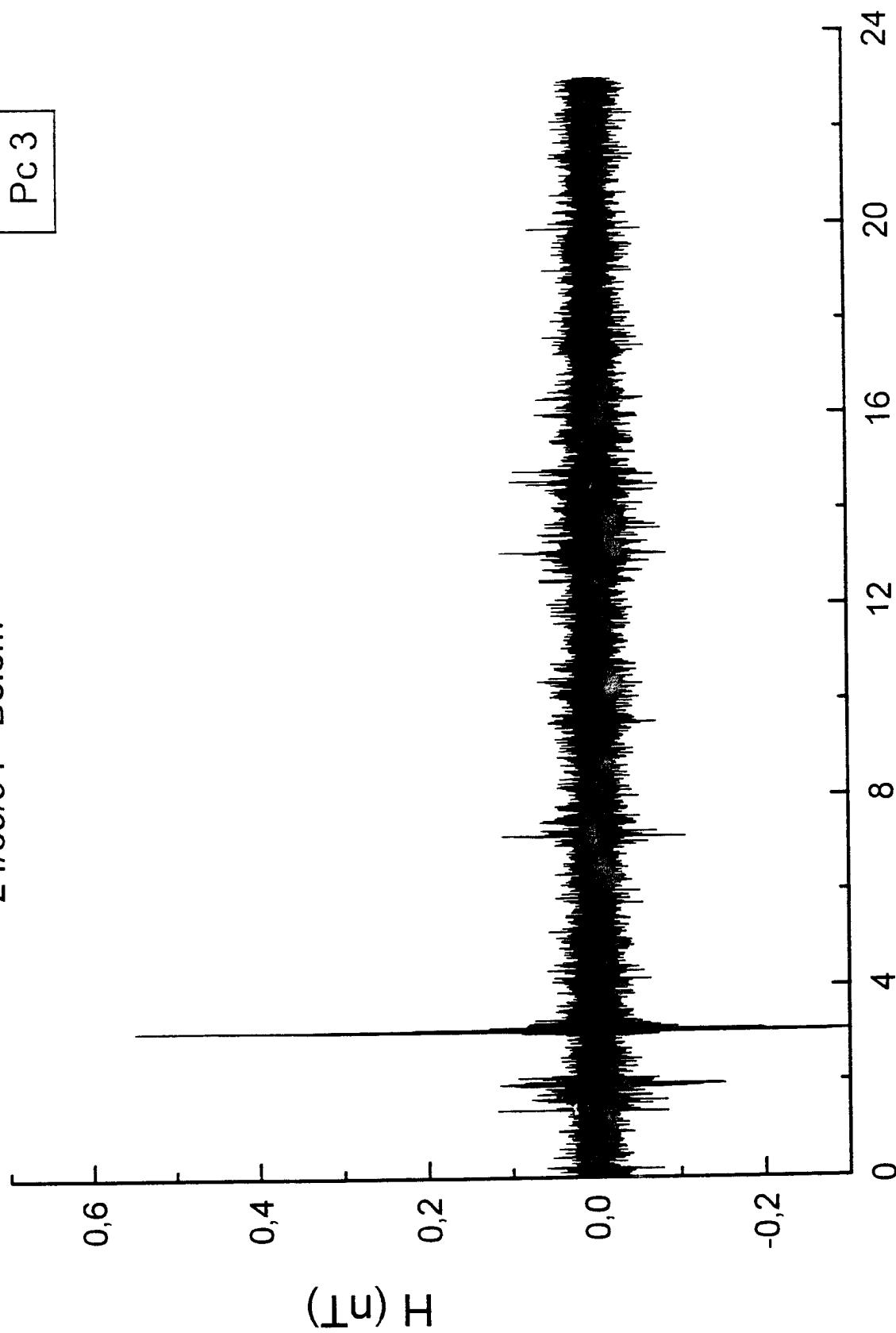


Horas (UT)

FIGURA 3a

24/09/94 - Belém

PC3



Horas (UT)

FIGURA 3b

Pc 3

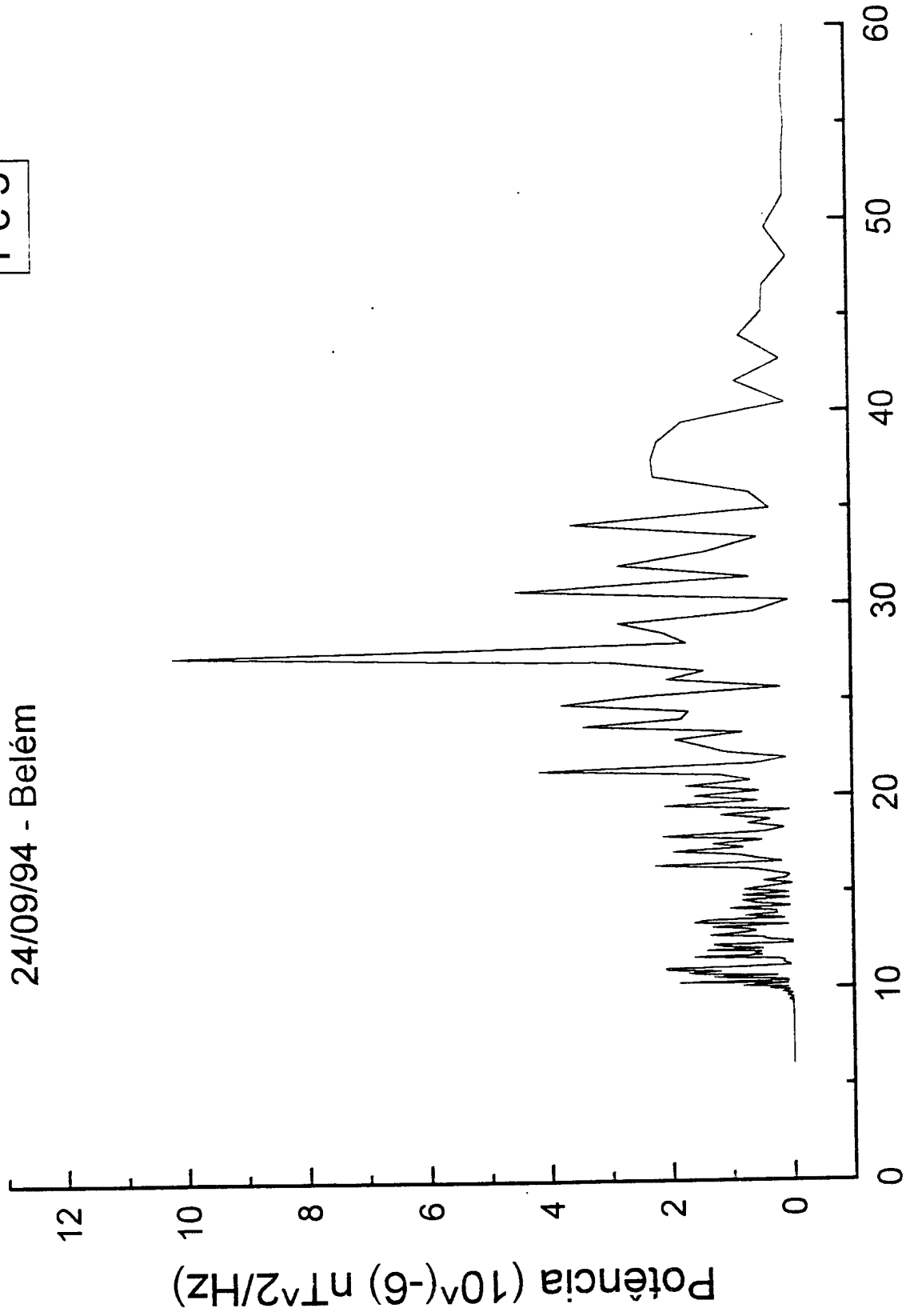
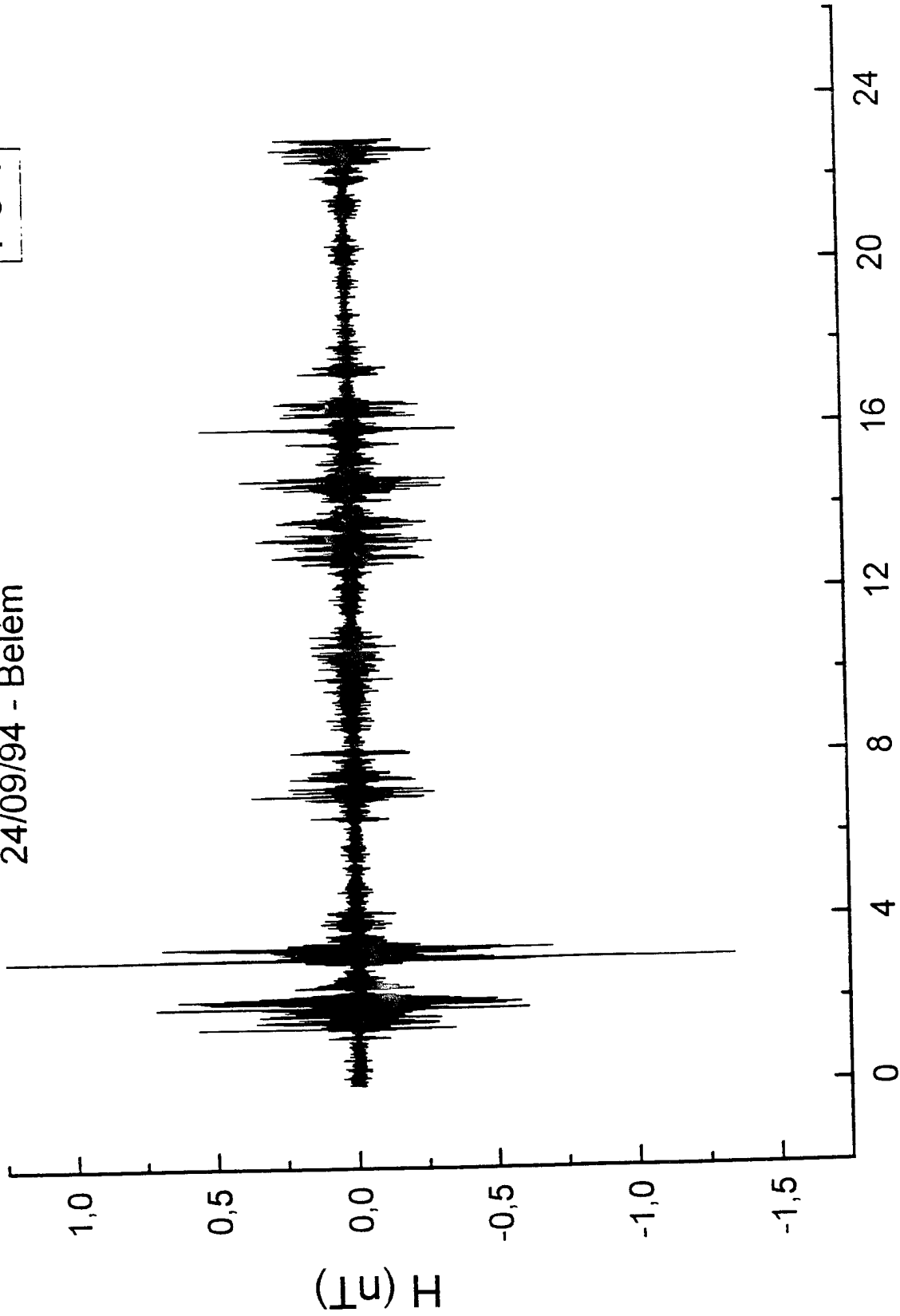


FIGURA 3c

PC 4

24/09/94 - Belém



Horas (UT)

FIGURA 3d

Pc 4

24/09/94 - Belém

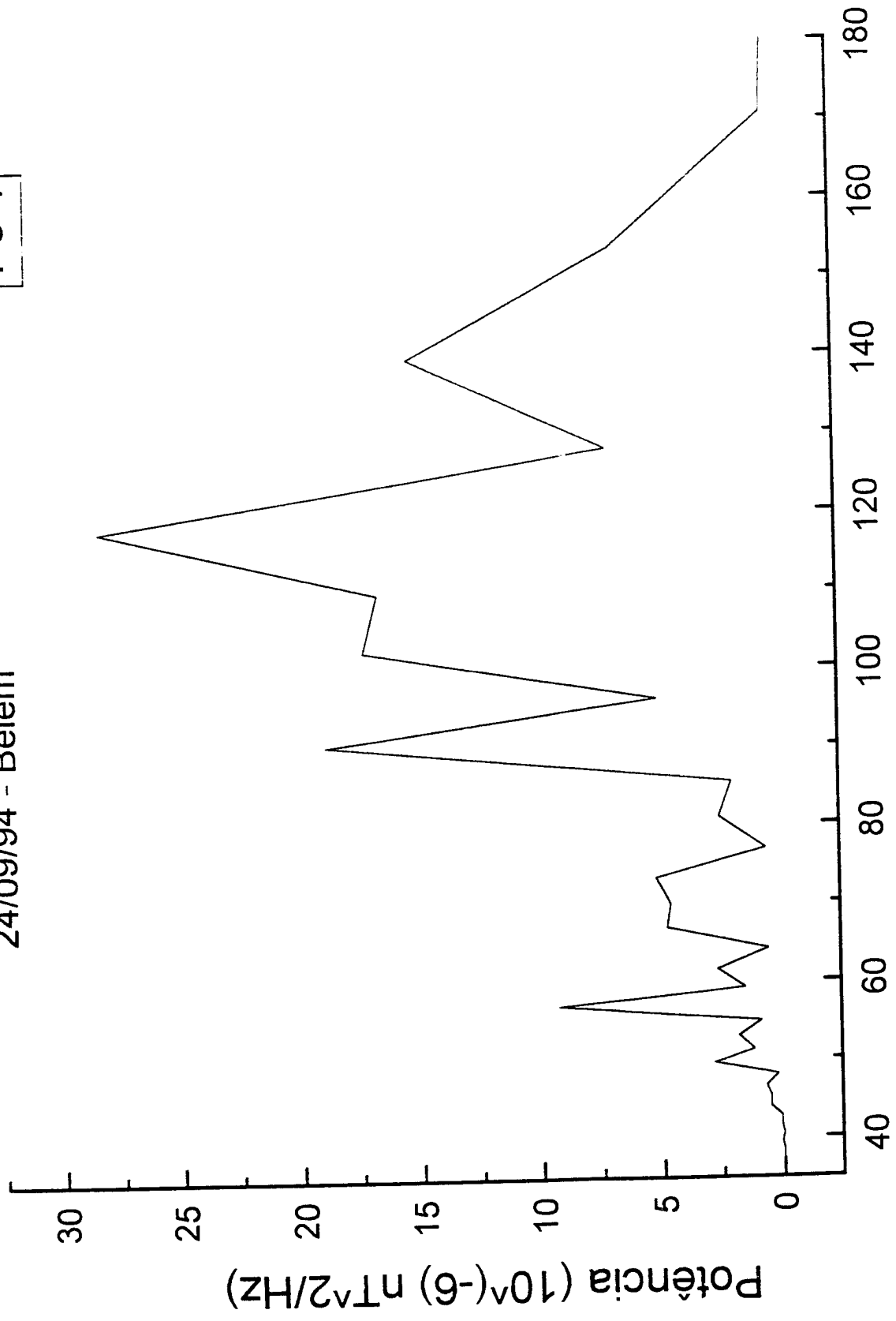


FIGURA 3e

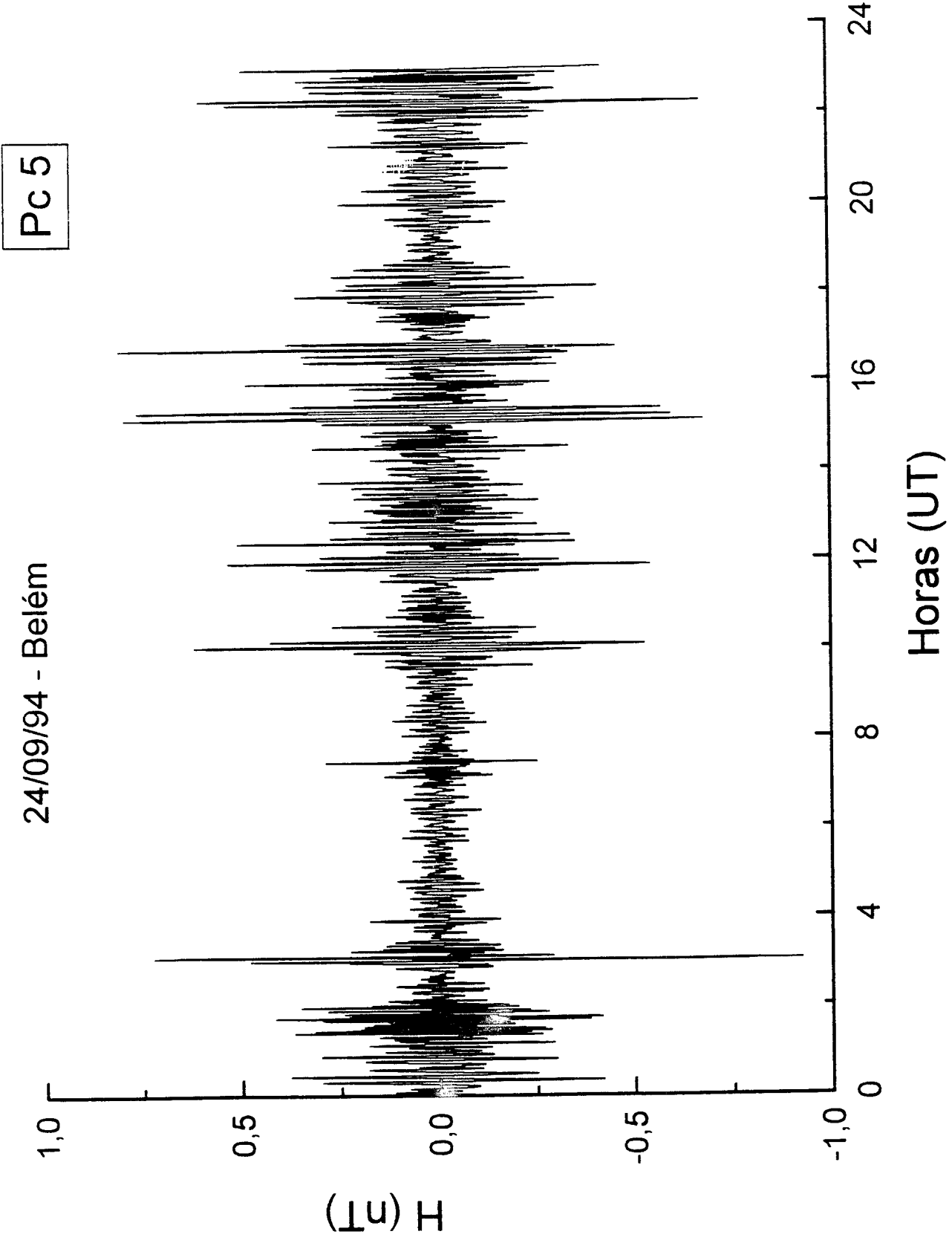


FIGURA 3f

Pc 5

24/09/94 - Belém

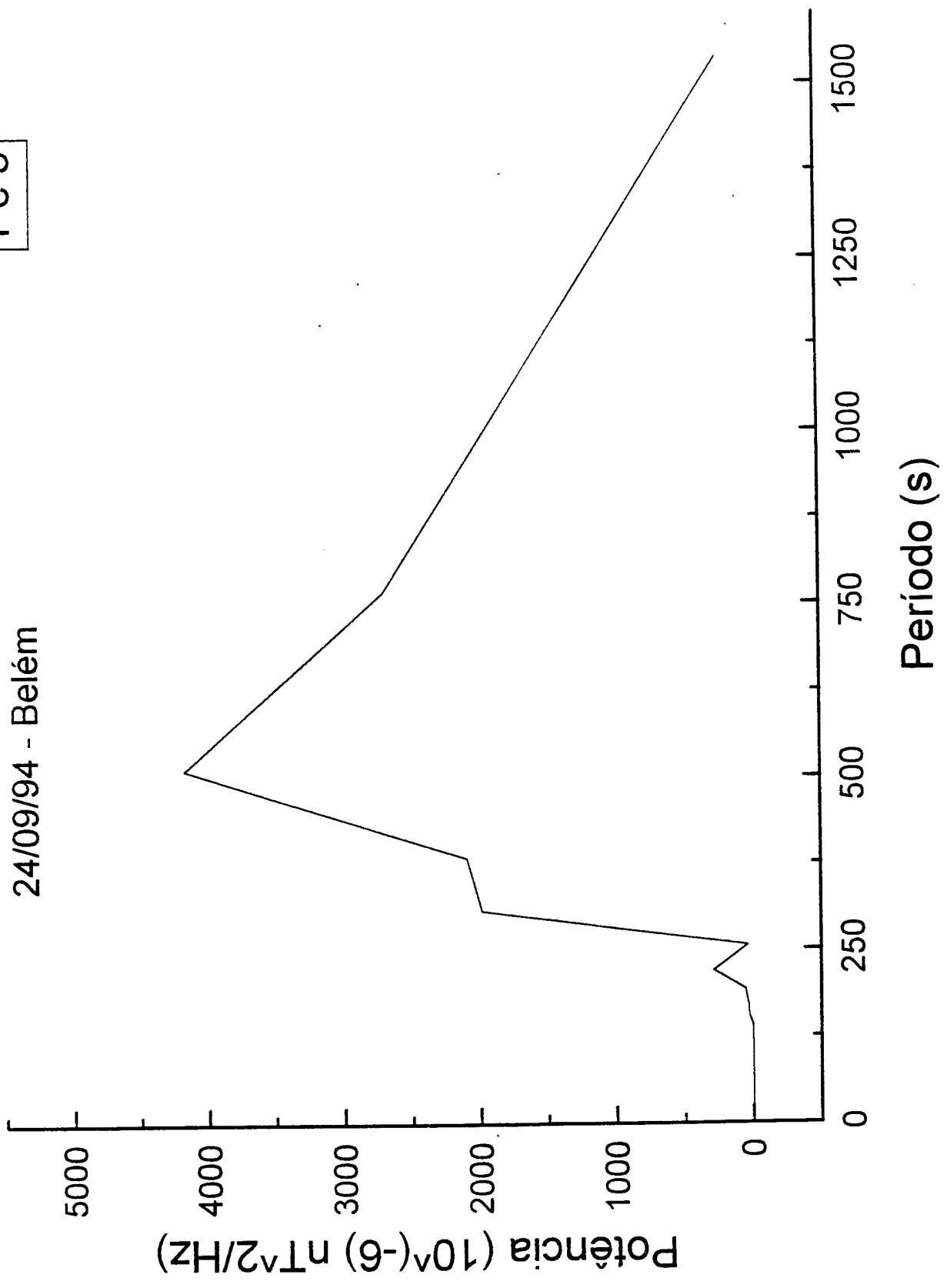


FIGURA 39

600-1000s

24/09/94 - Belém

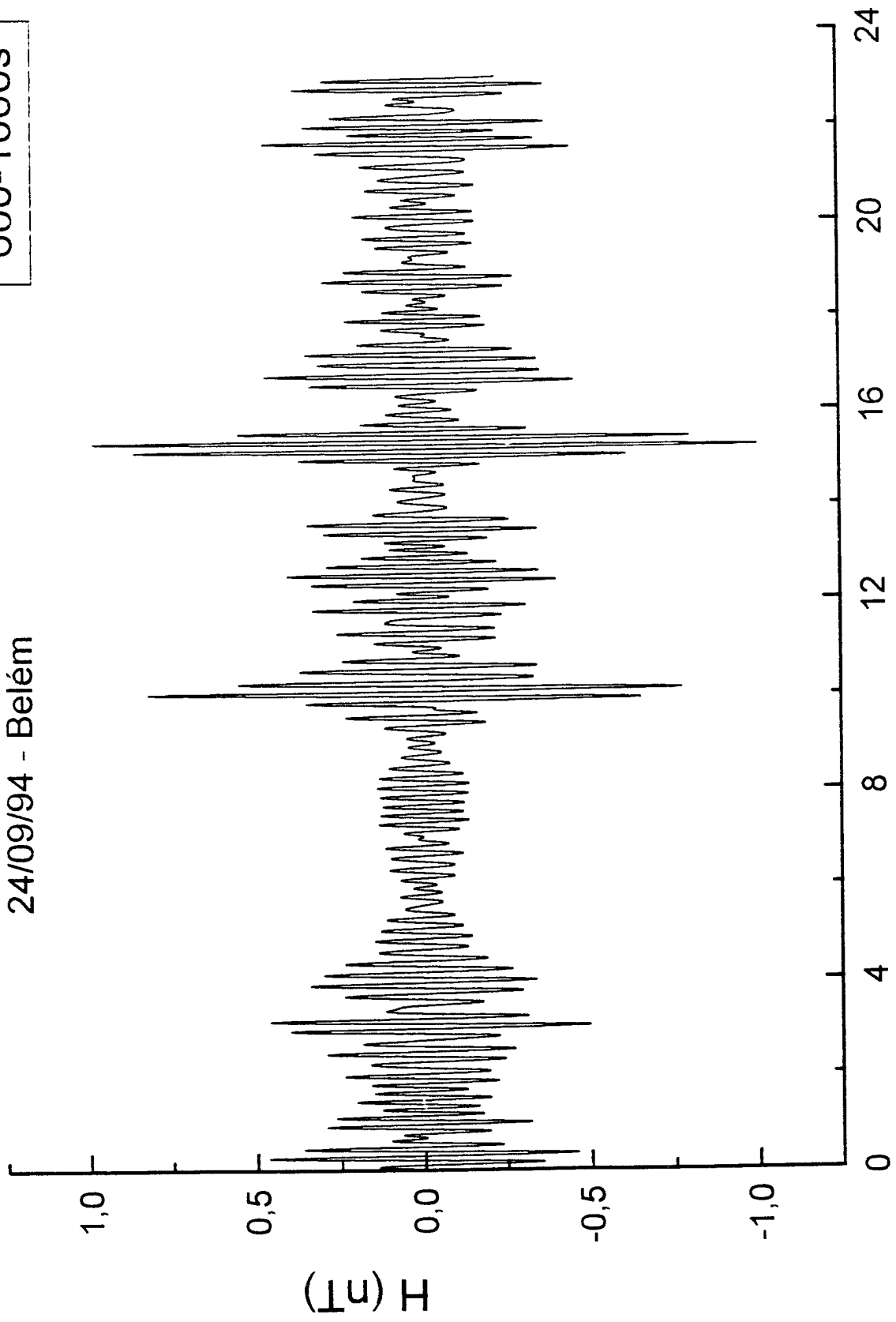


FIGURA 3 h

600-1000s

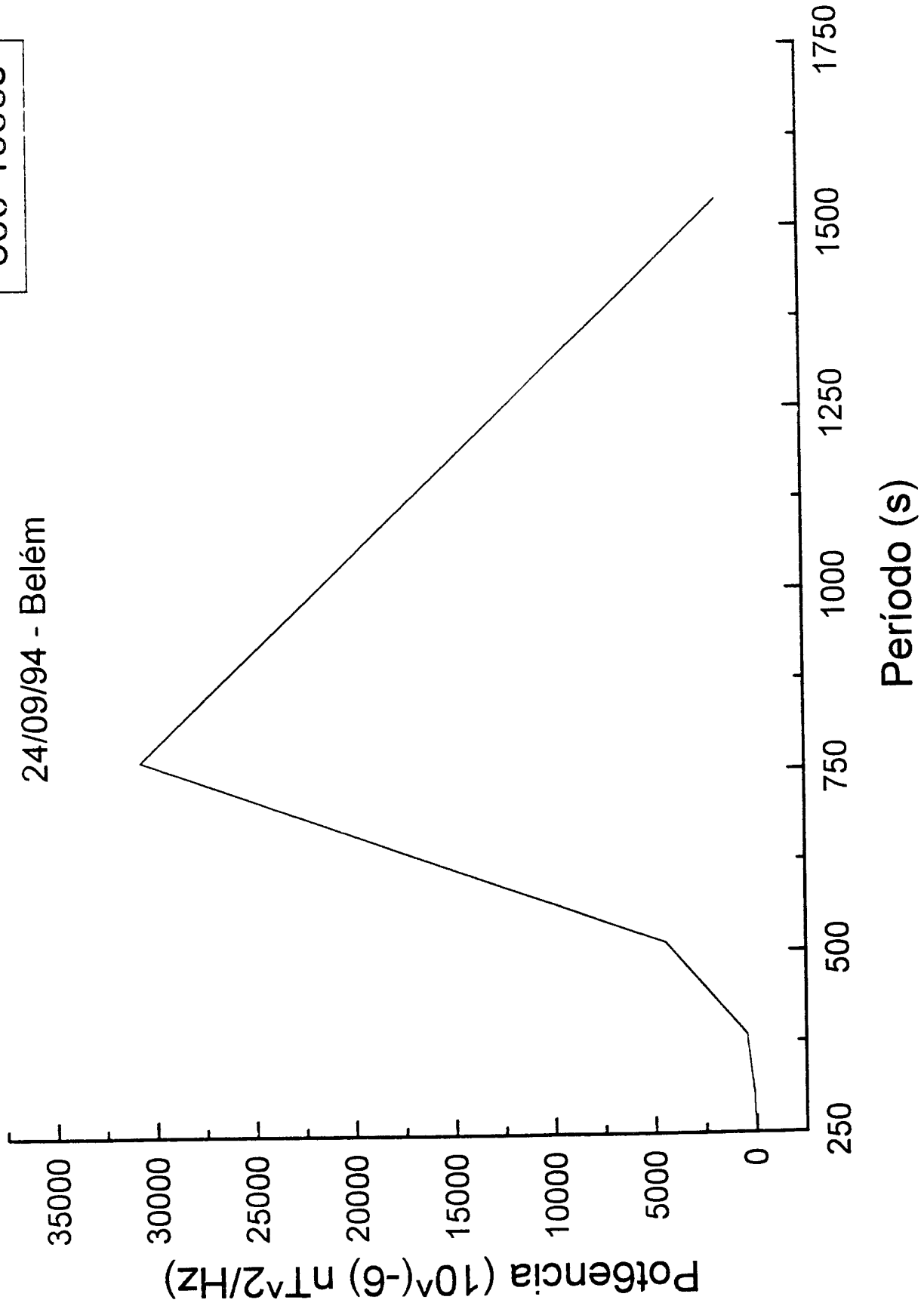
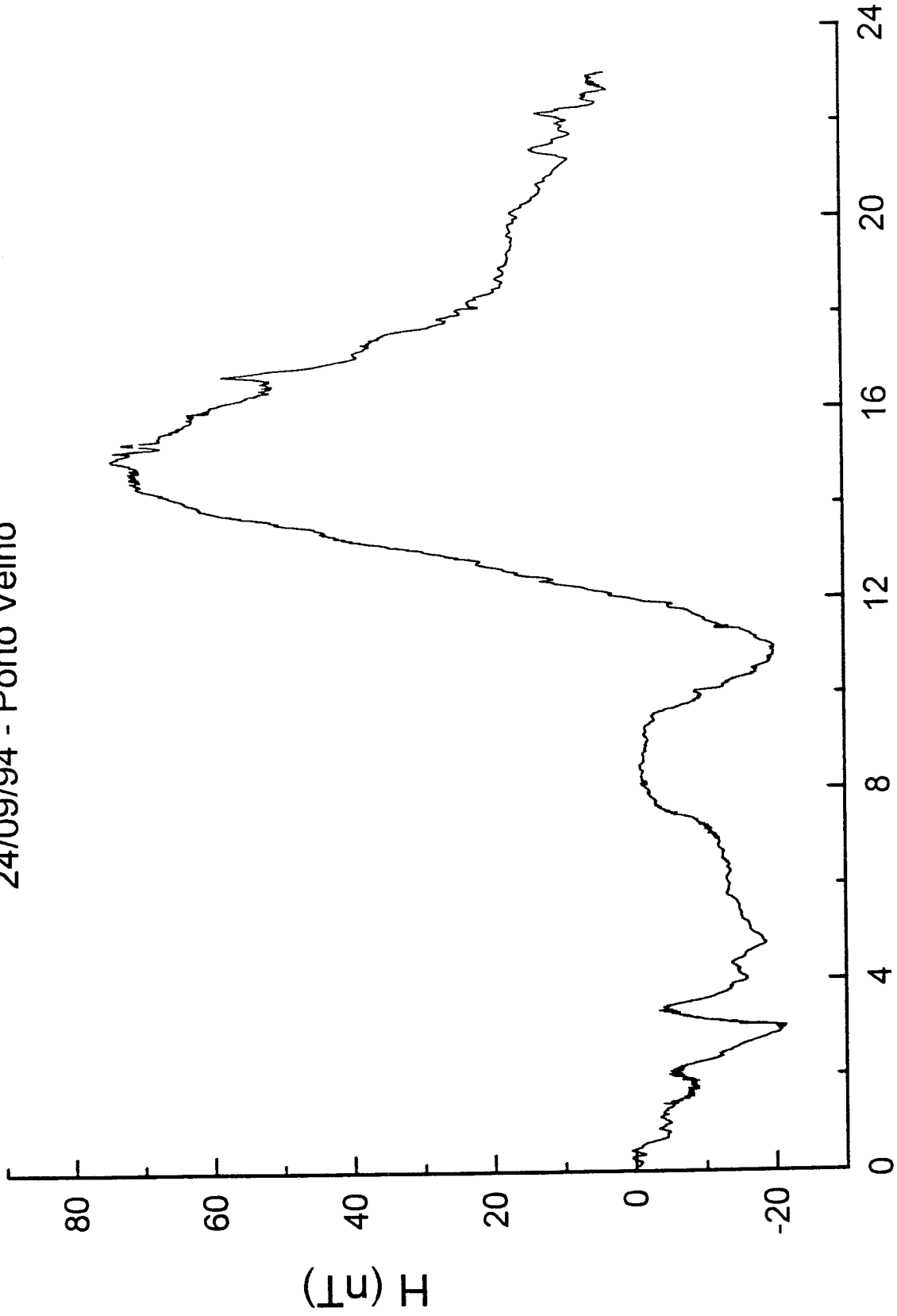


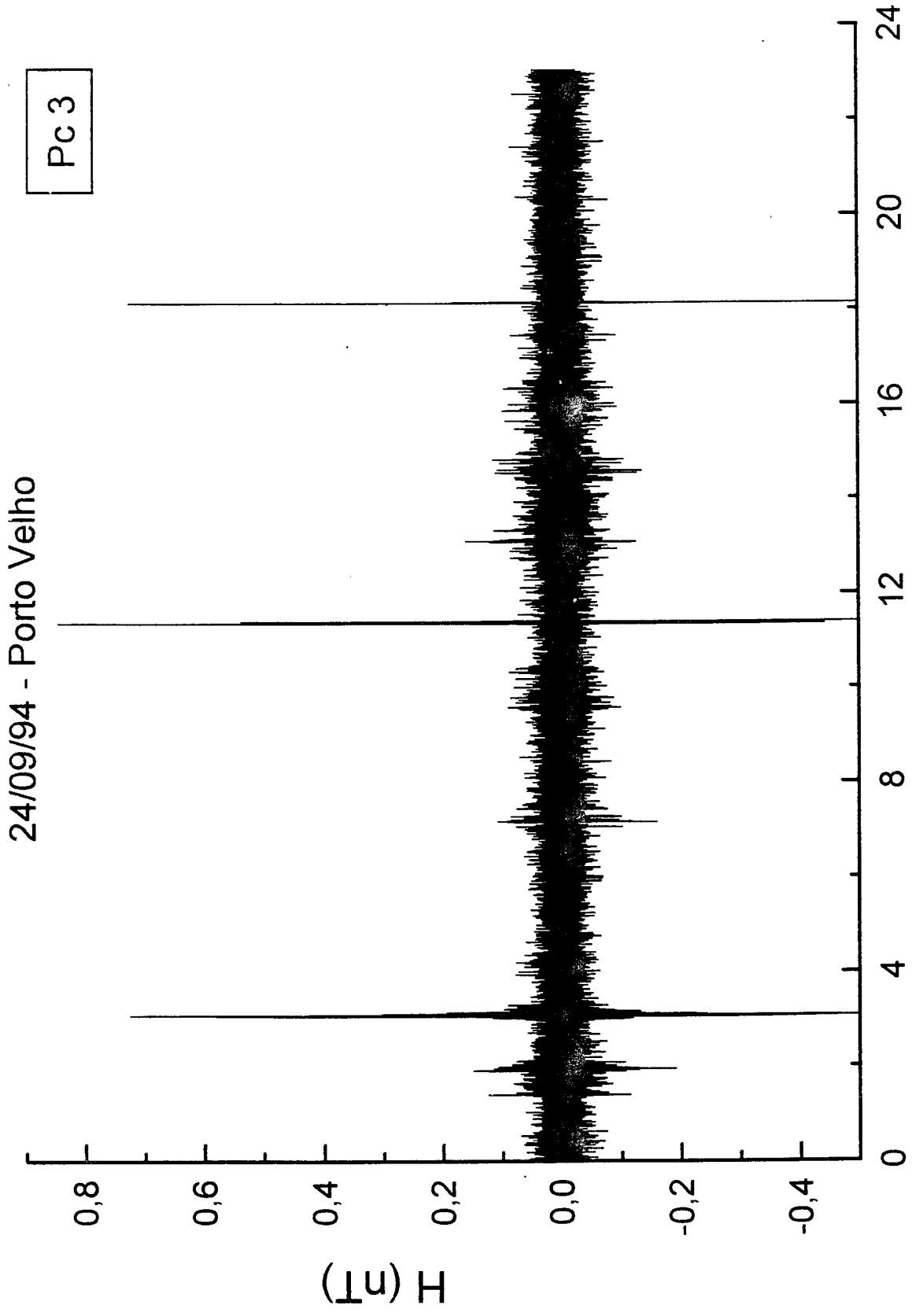
FIGURA 3i

24/09/94 - Porto Velho



Horas (UT)

FIGURA 4 a



Horas (UT)

FIGURA 4b

Pc 3

24/09/94 - Porto Velho

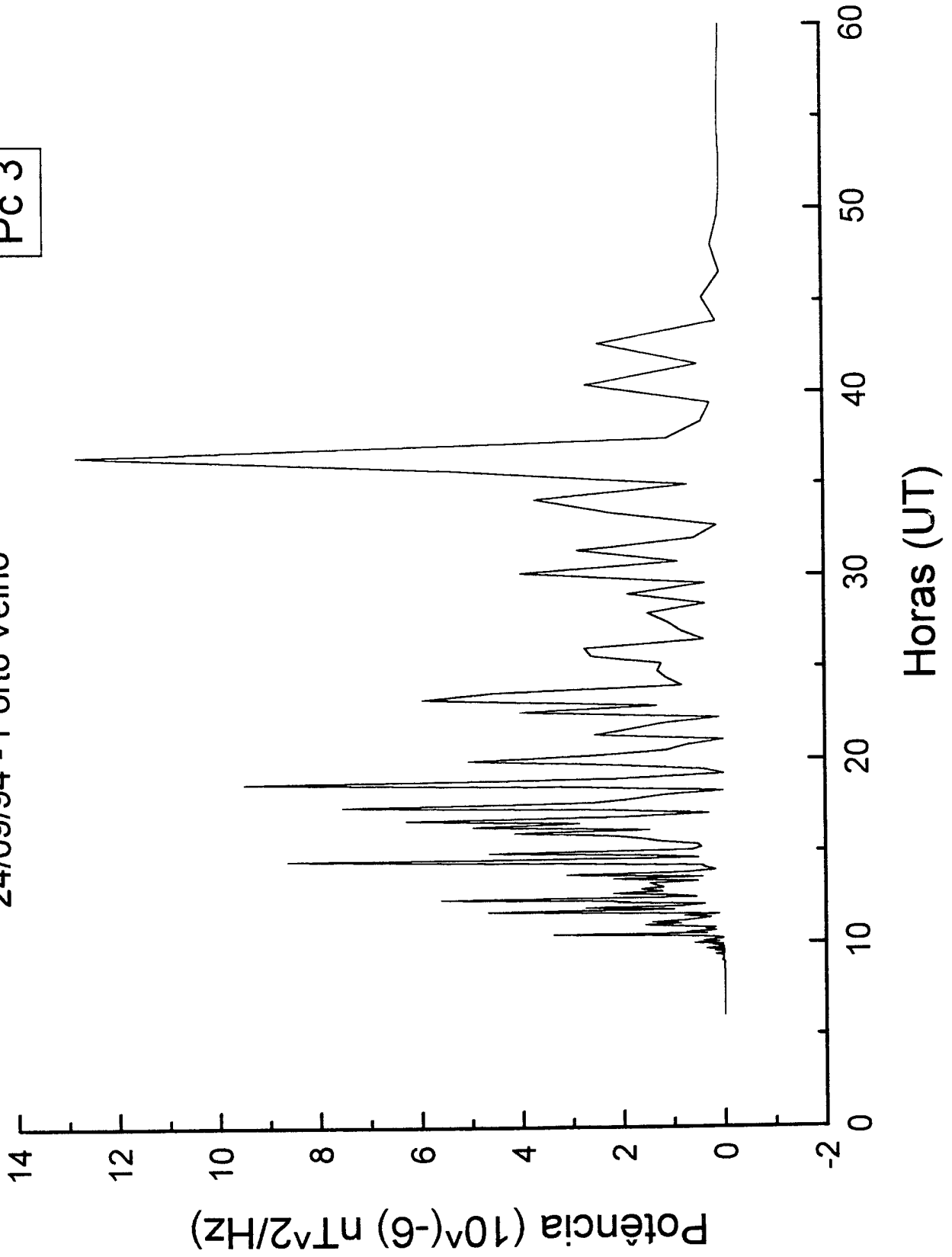


FIGURA 4c

Pc 4

24/09/94 - Porto Velho

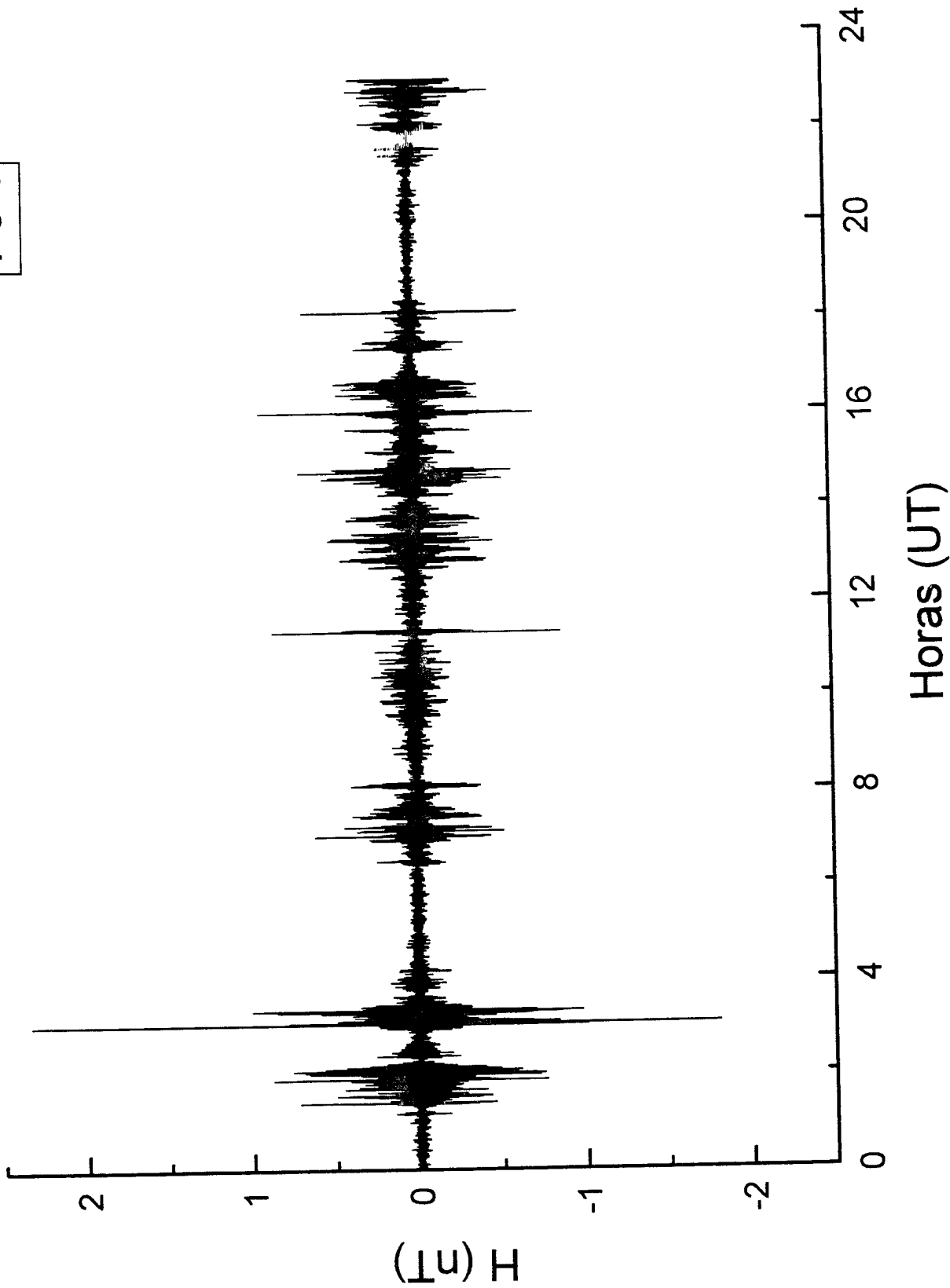


FIGURA 4 d

PC 4

24/09/94 - Porto Velho

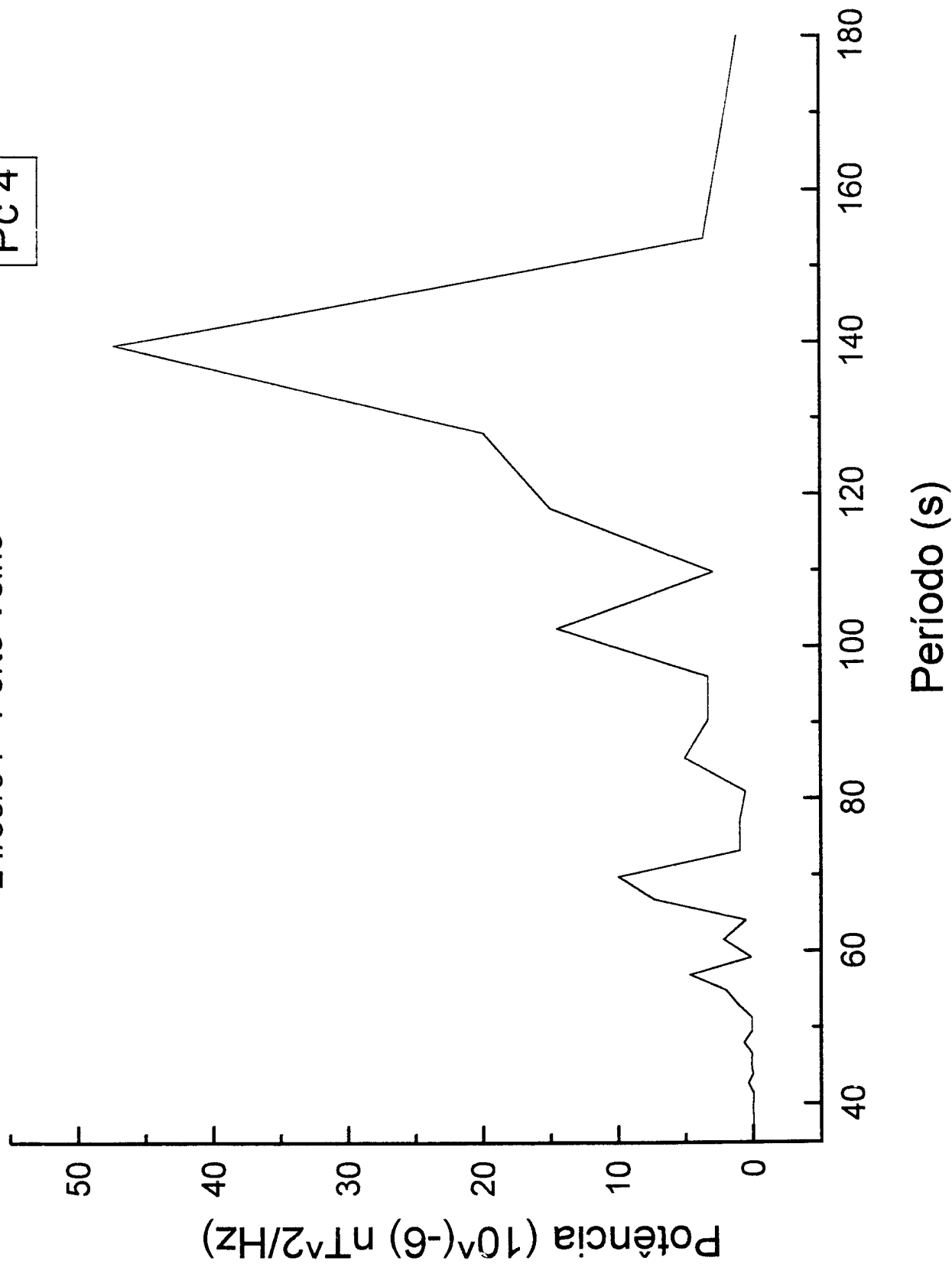
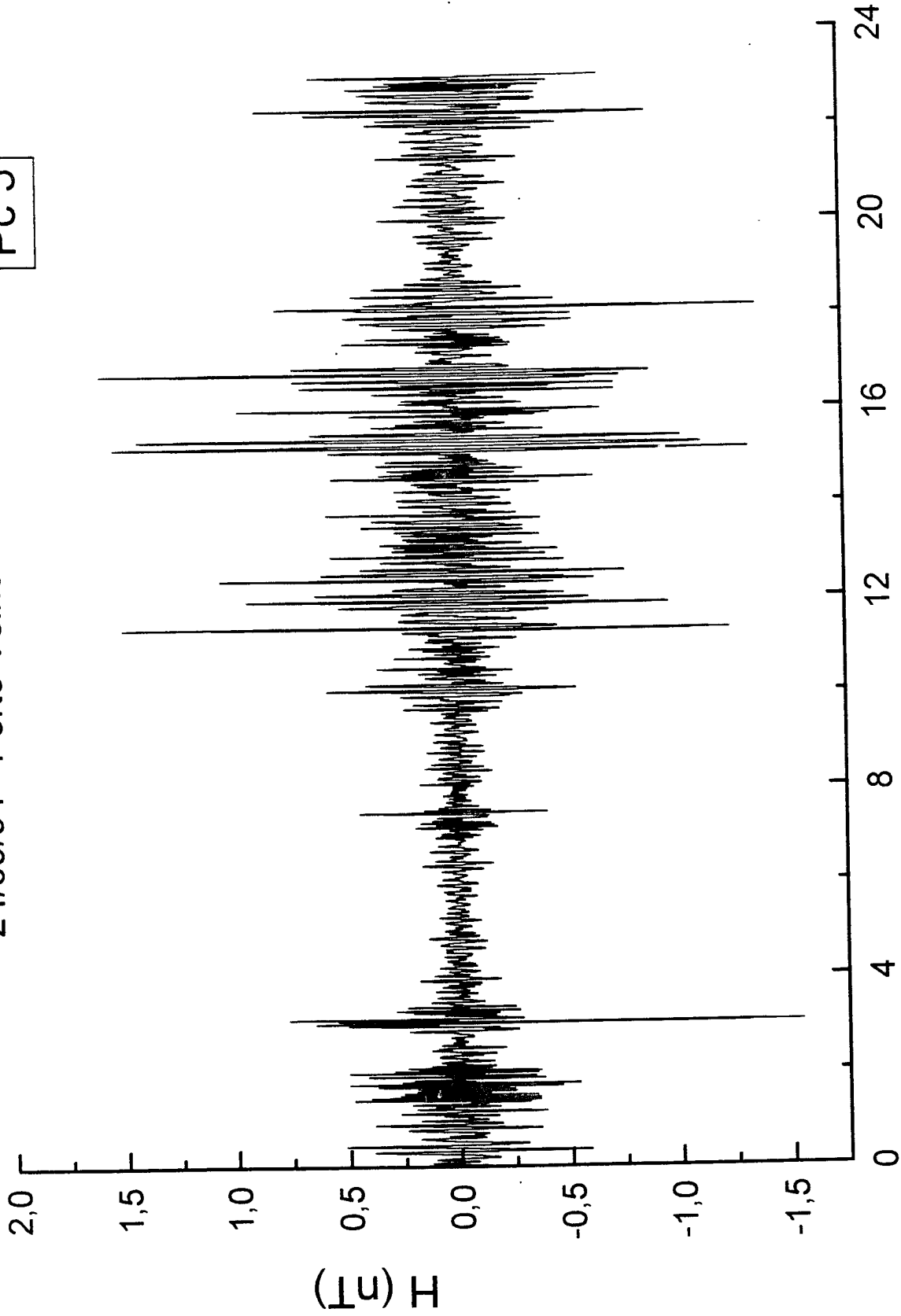


FIGURA 4e

24/09/94 - Porto Velho

Pc 5



Horas (UT)

FIGURA 4 f

Pc 5

24/09/94 - Porto Velho

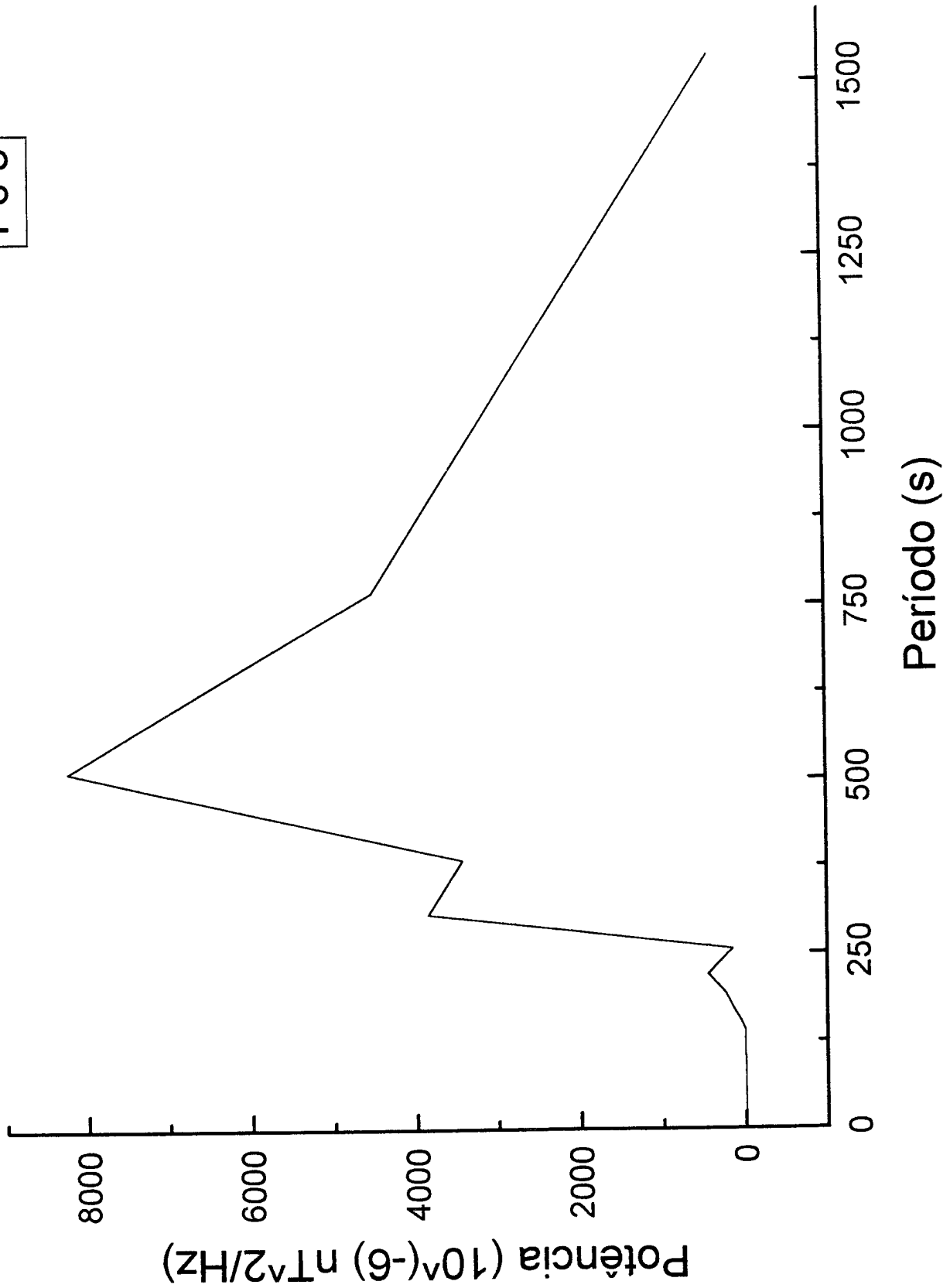
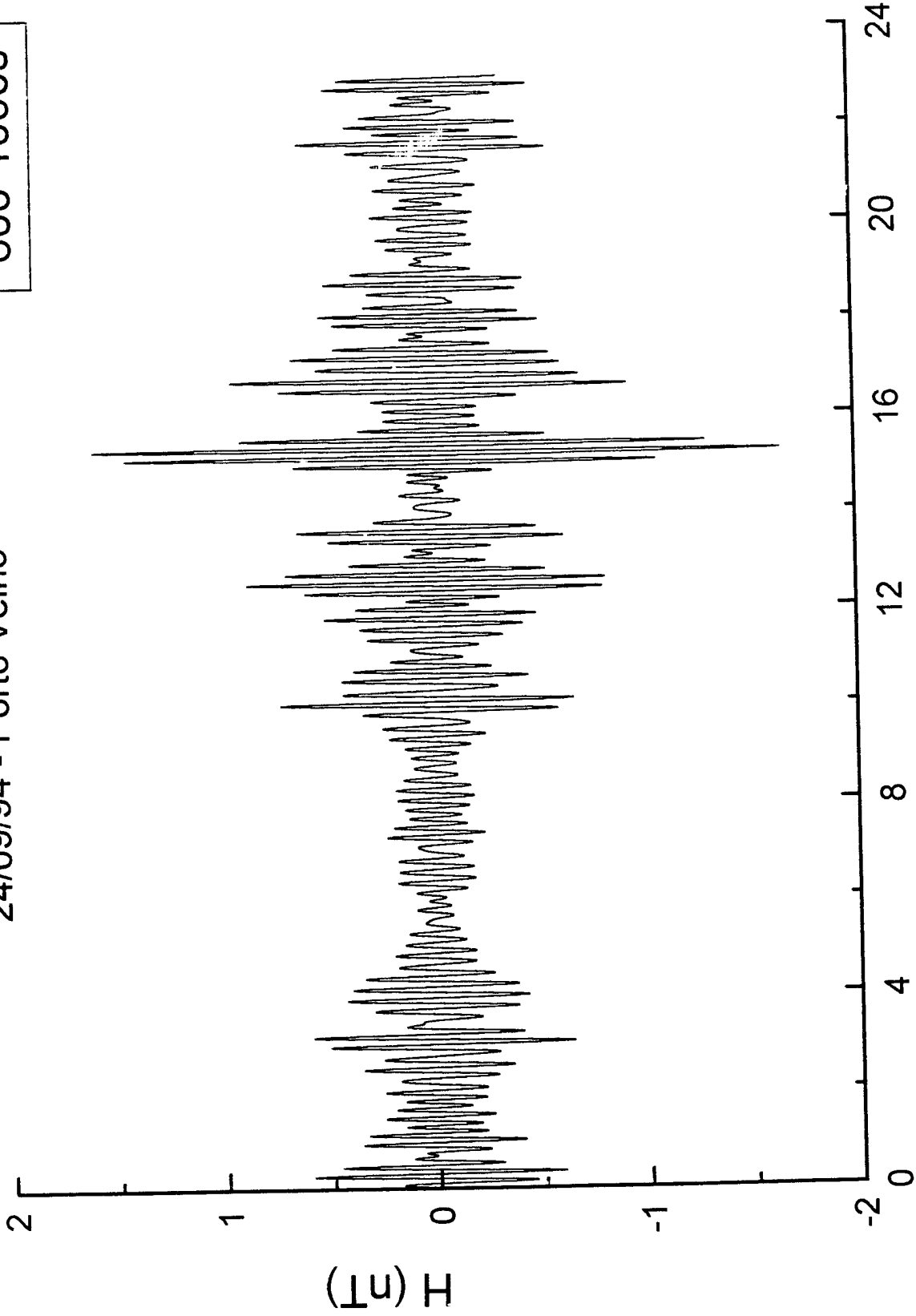


FIGURA 4g

600-1000s

24/09/94 - Porto Velho



Horas (UT)

FIGURA 4h

24/09/94 - Porto Velho

600-1000s

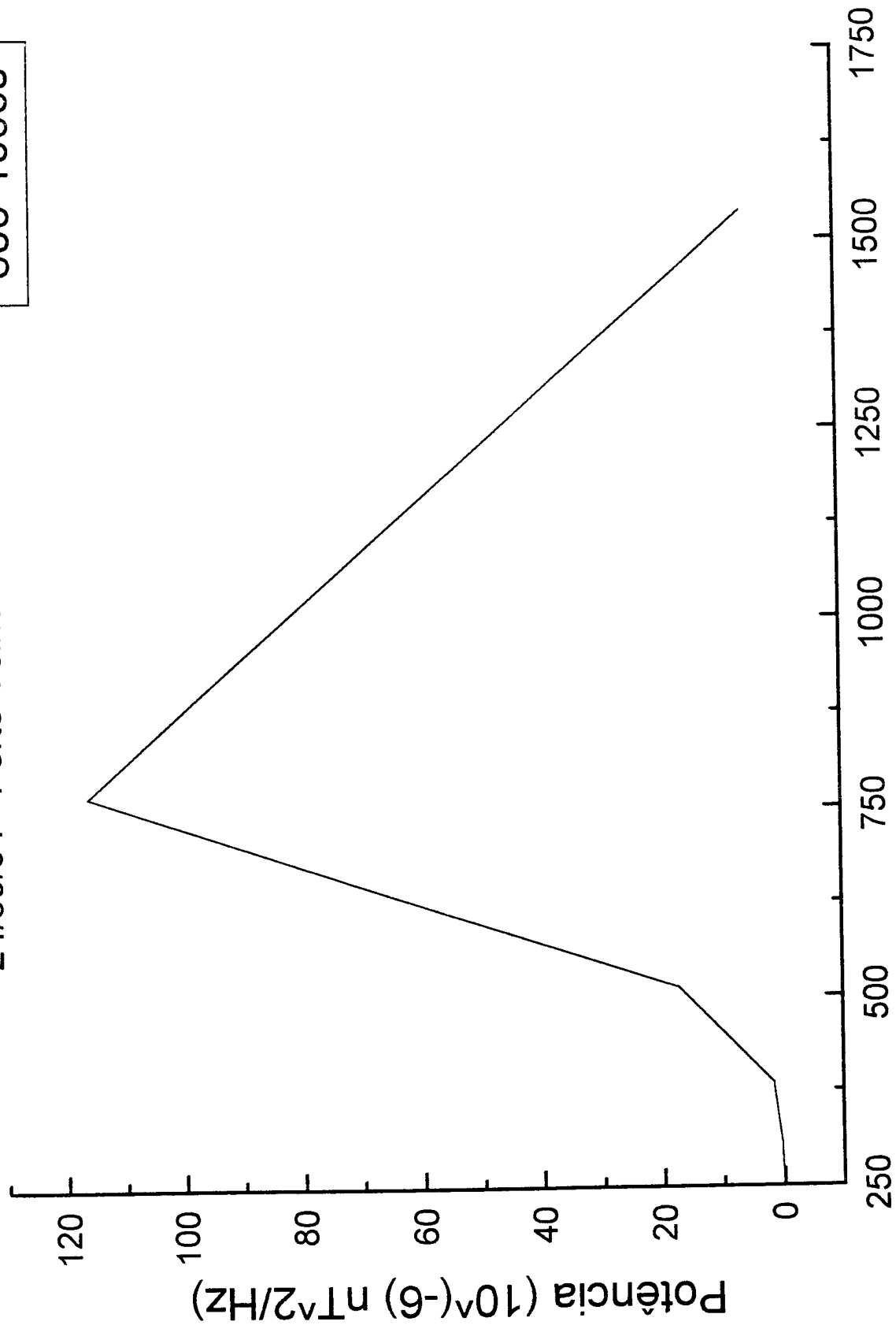


FIGURA 4i

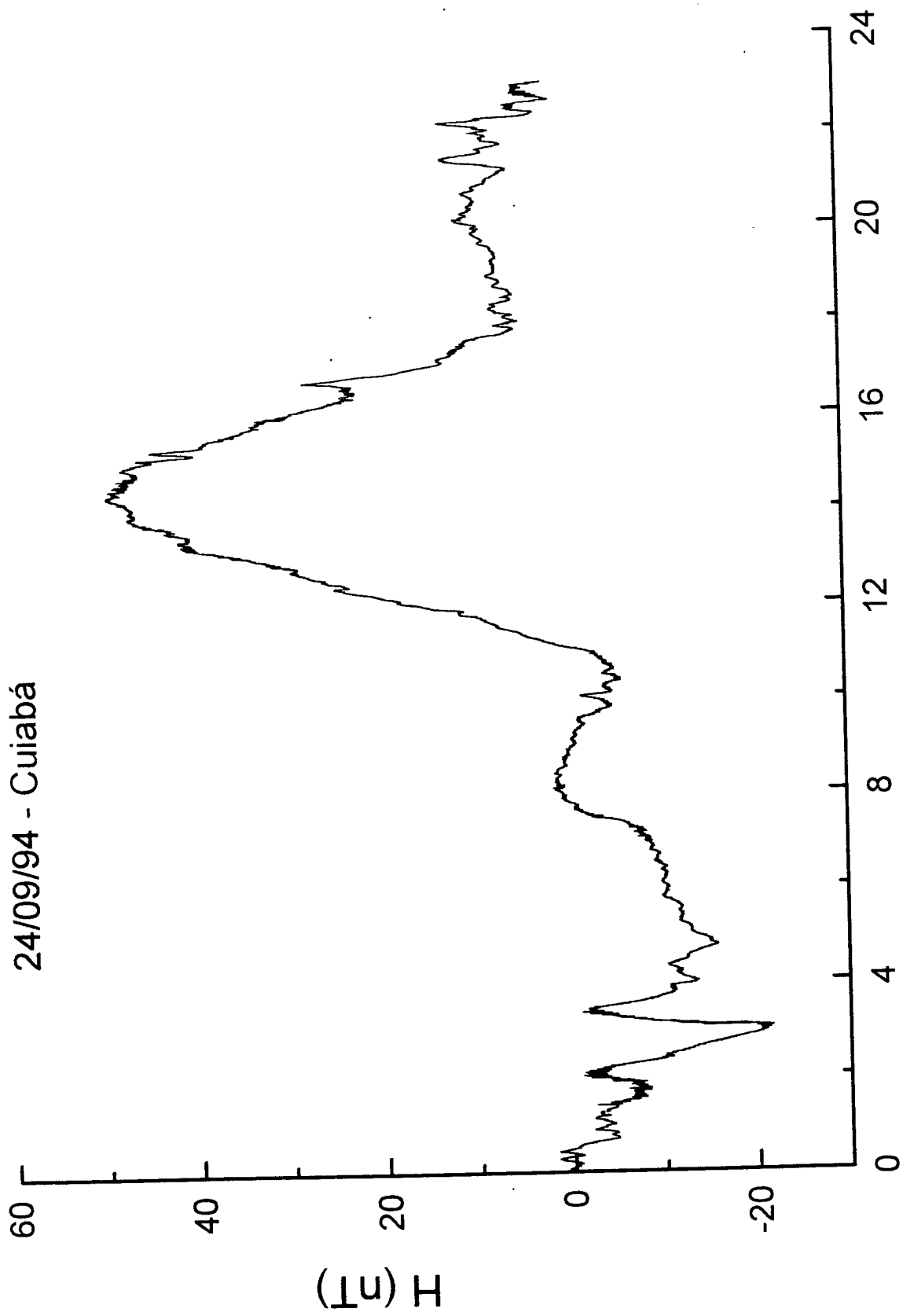
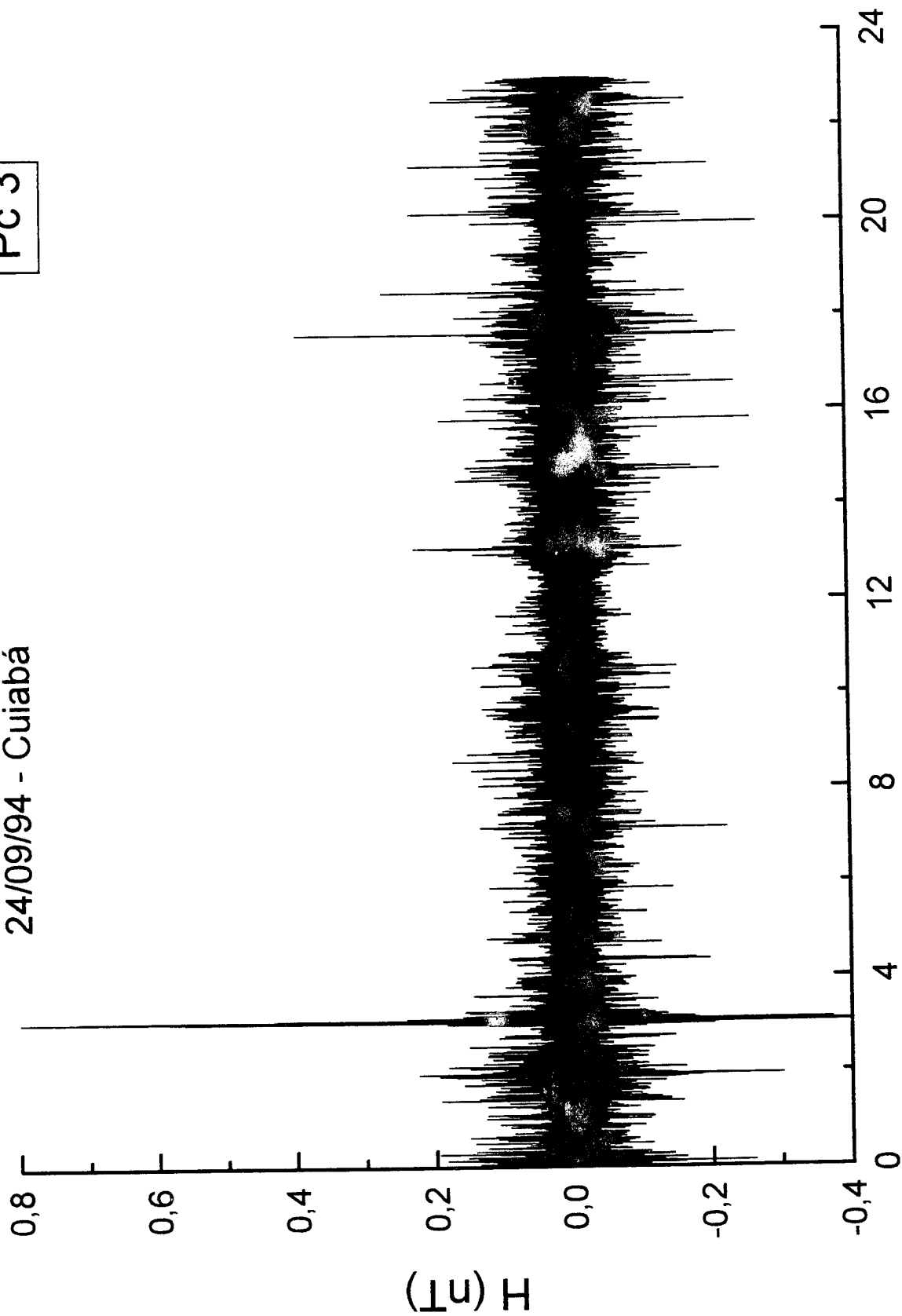


FIGURA 5 a

Pc 3

24/09/94 - Cuiabá



Horas (UT)

FIGURA 5b

24/09/94 - Cuiabá

Pc 3

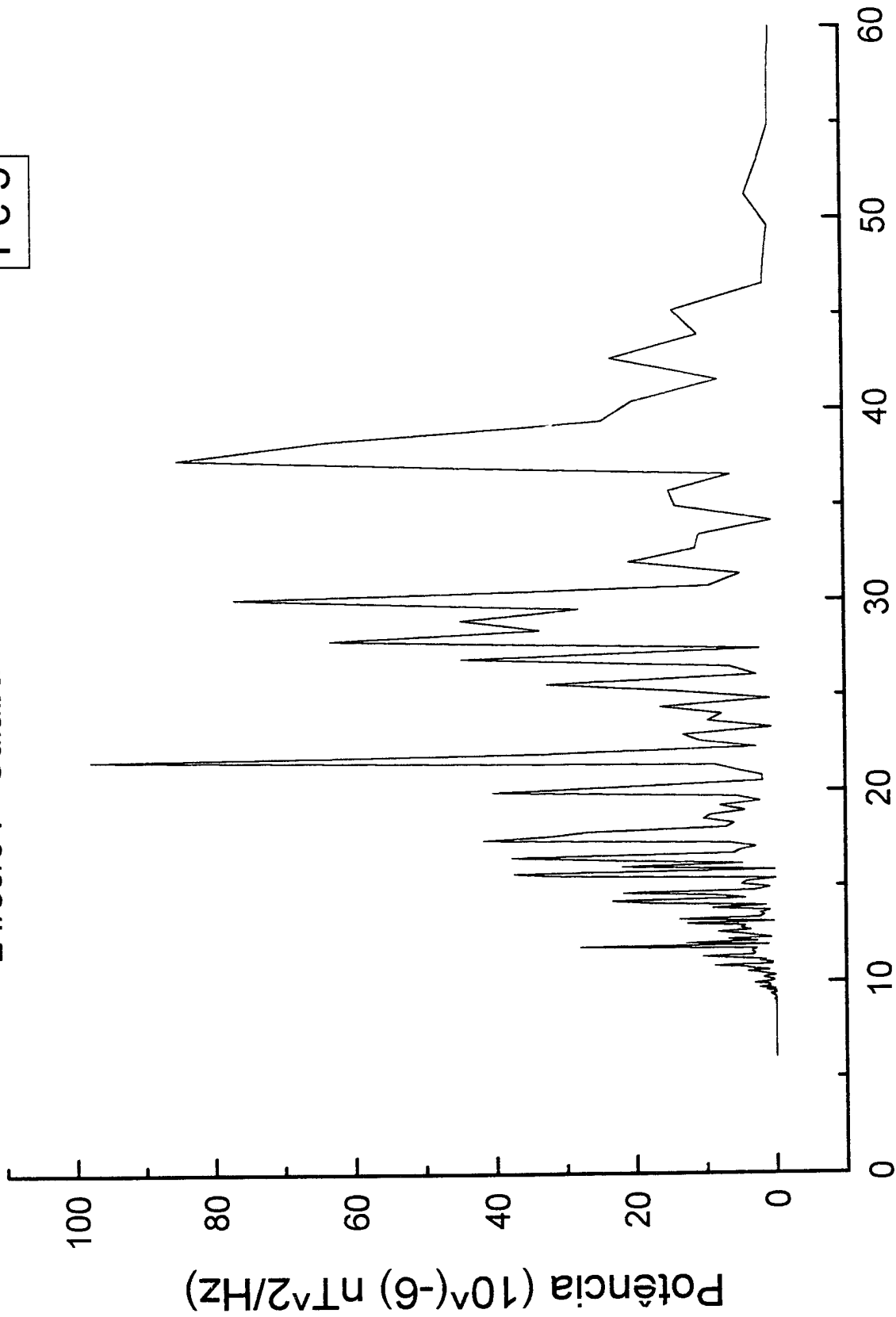


FIGURA 5c

+

PC 4

24/09/94 - Cuiabá

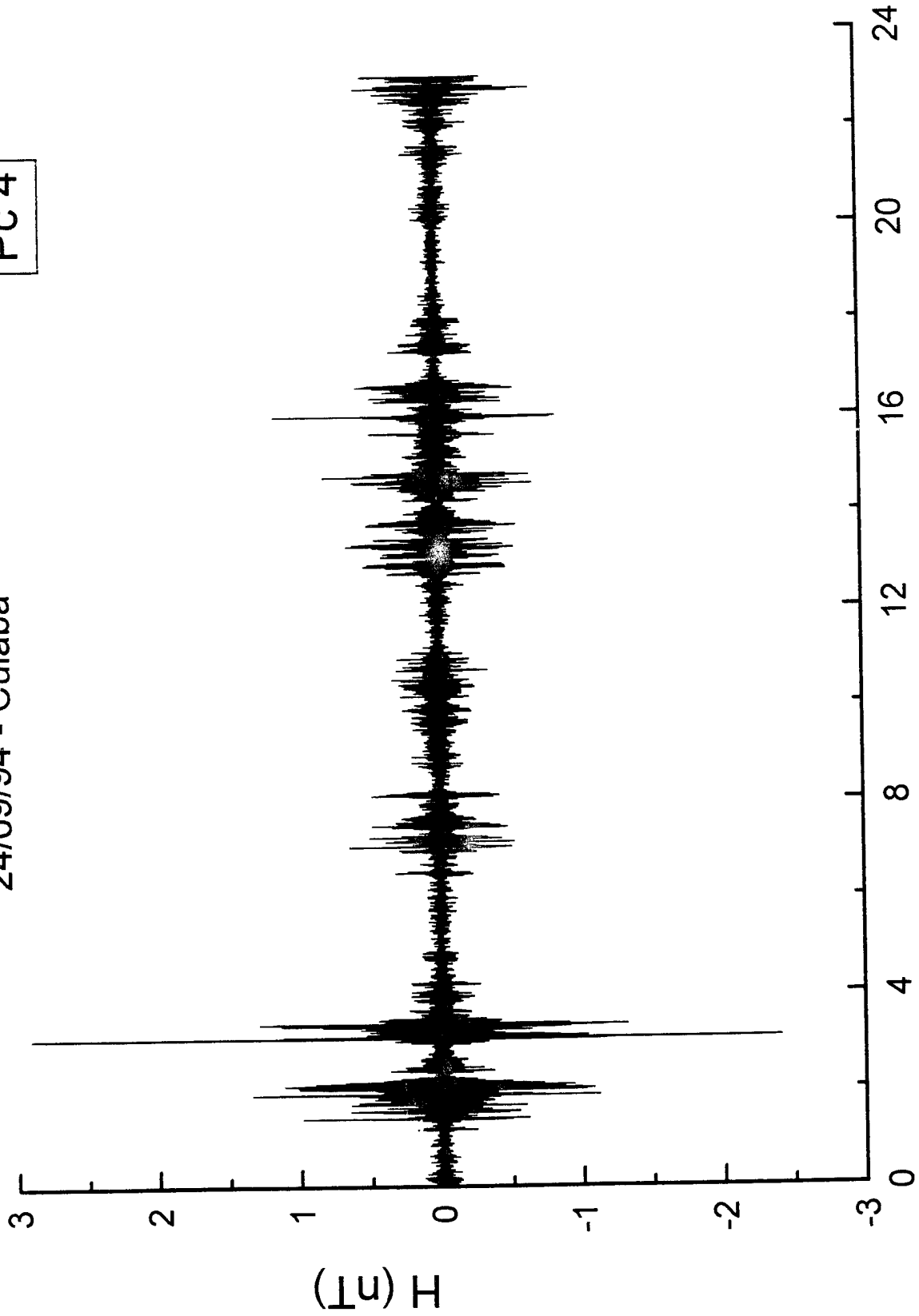


FIGURA 5d

Pc 4

24/09/94 - Cuiabá

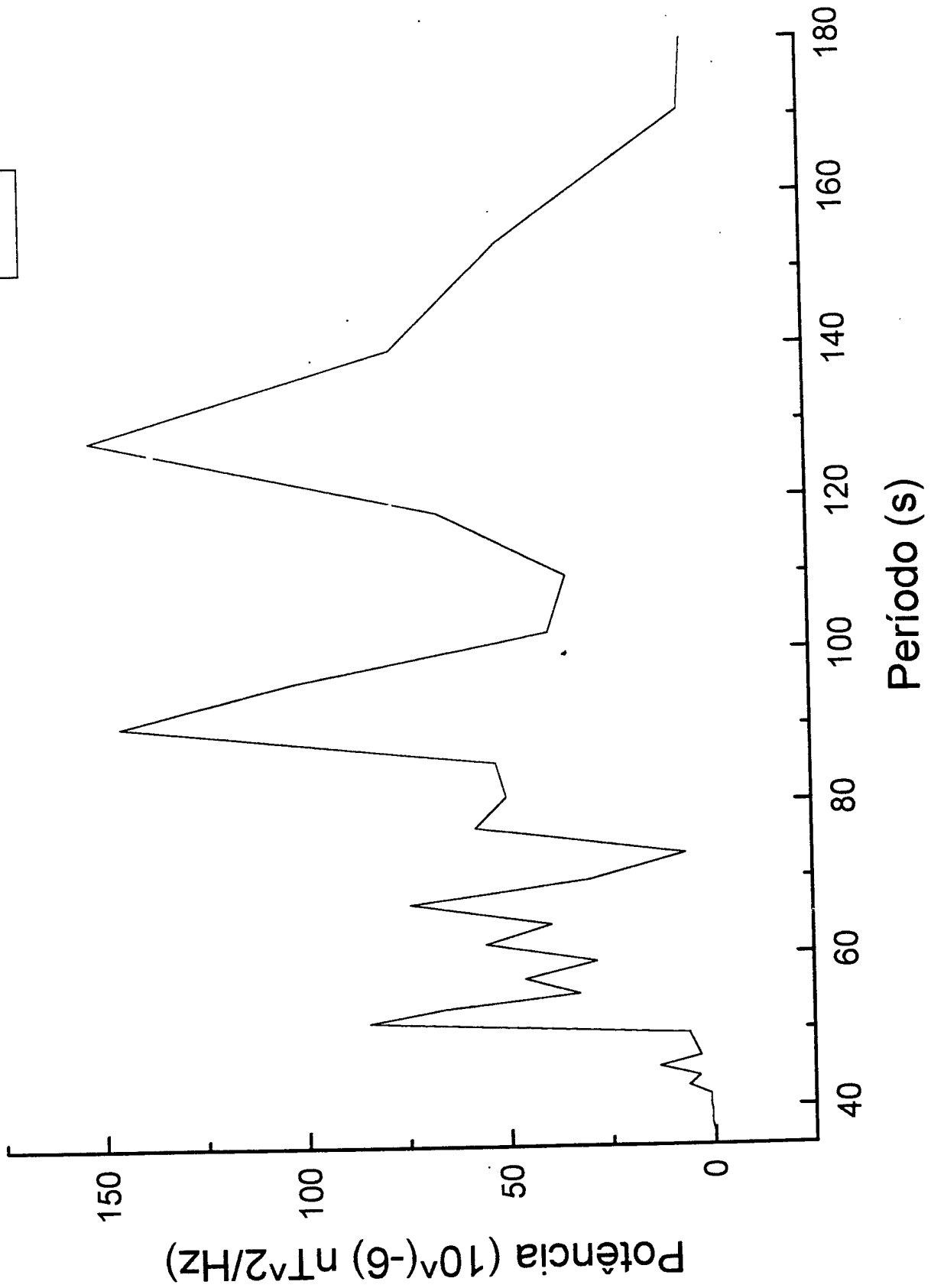
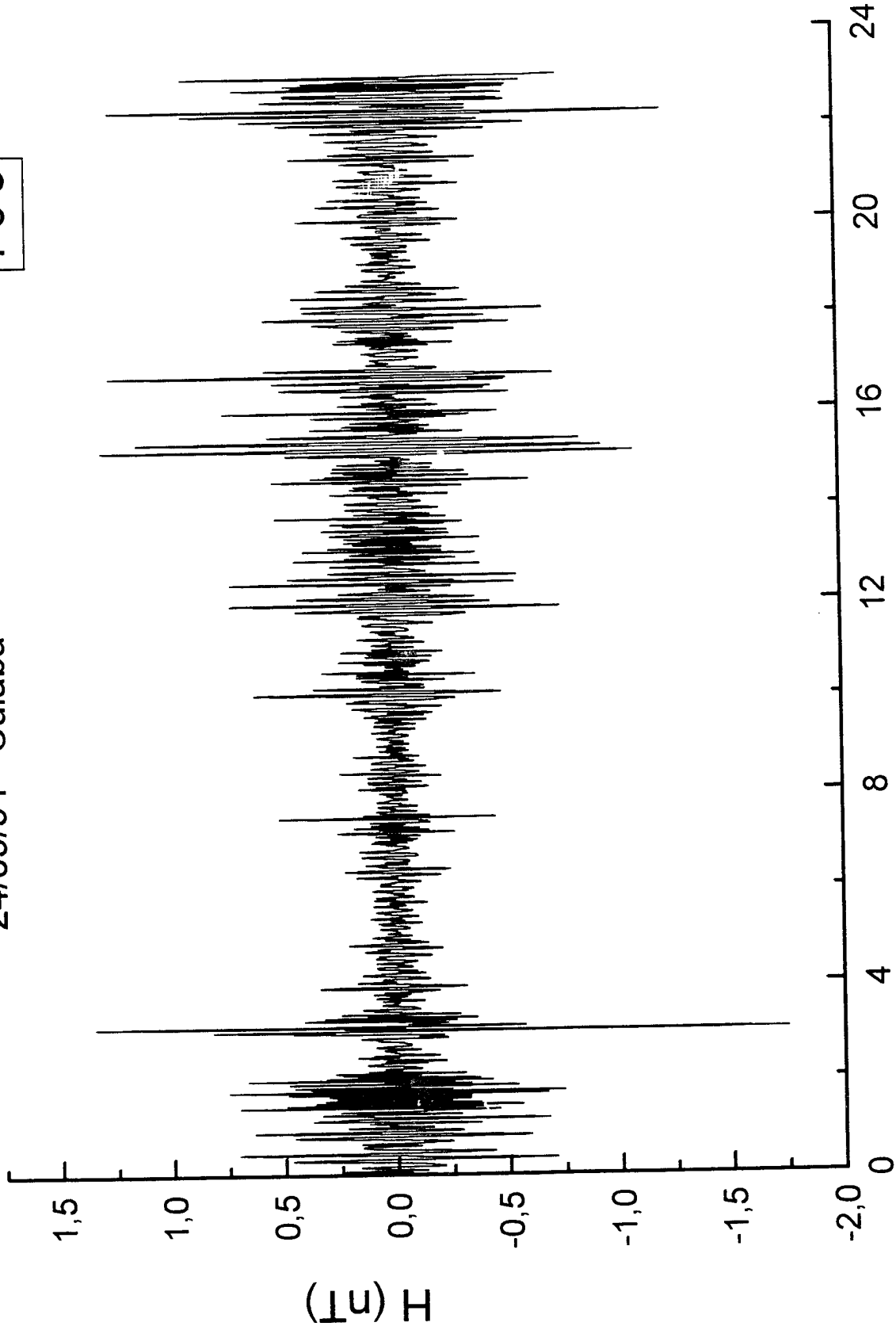


FIGURA 5 e

Pc 5

24/09/94 - Cuiabá



Horas (UT)

FIGURA 5 f

Pc 5

24/09/94 - Cuiabá

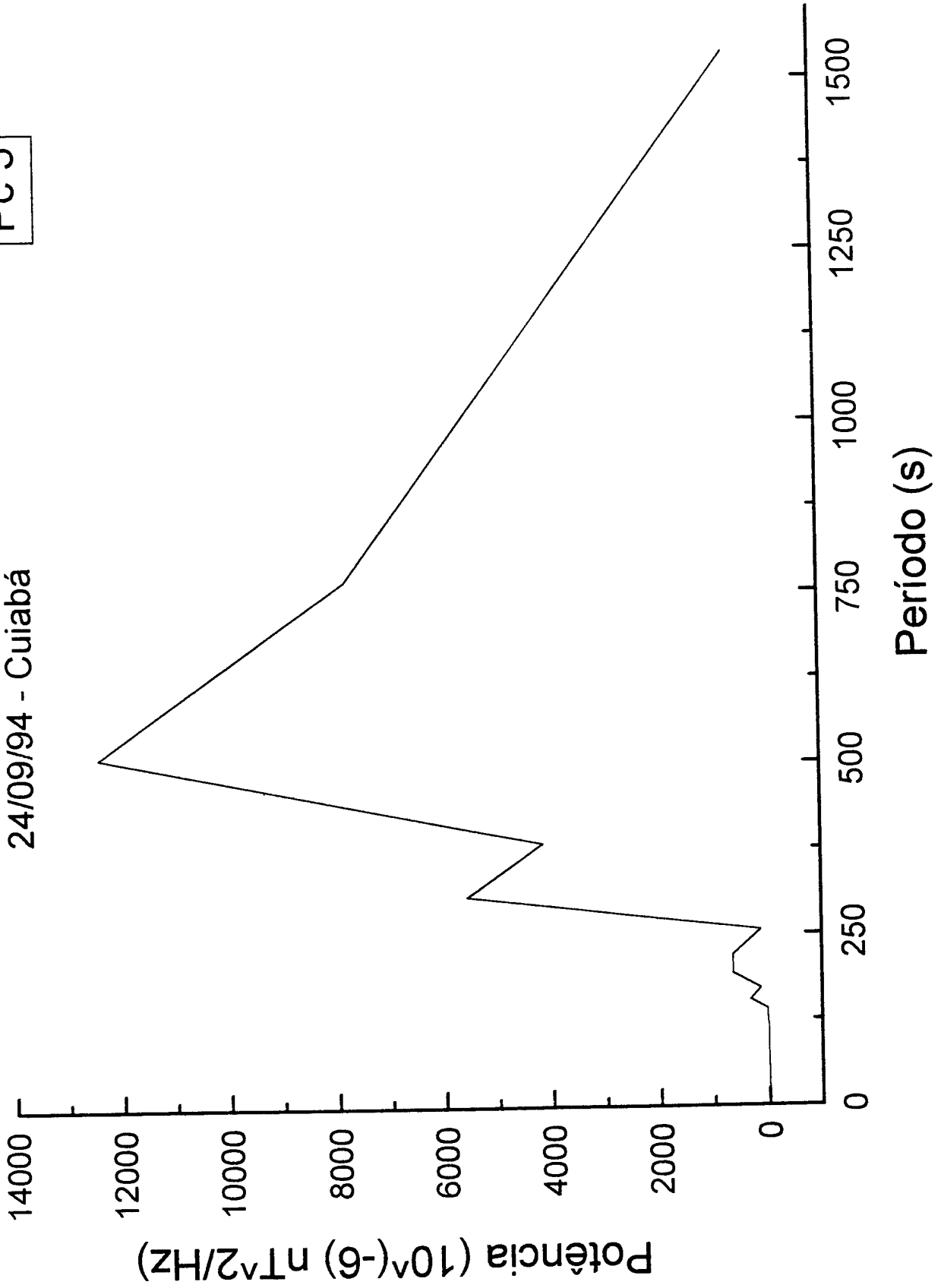
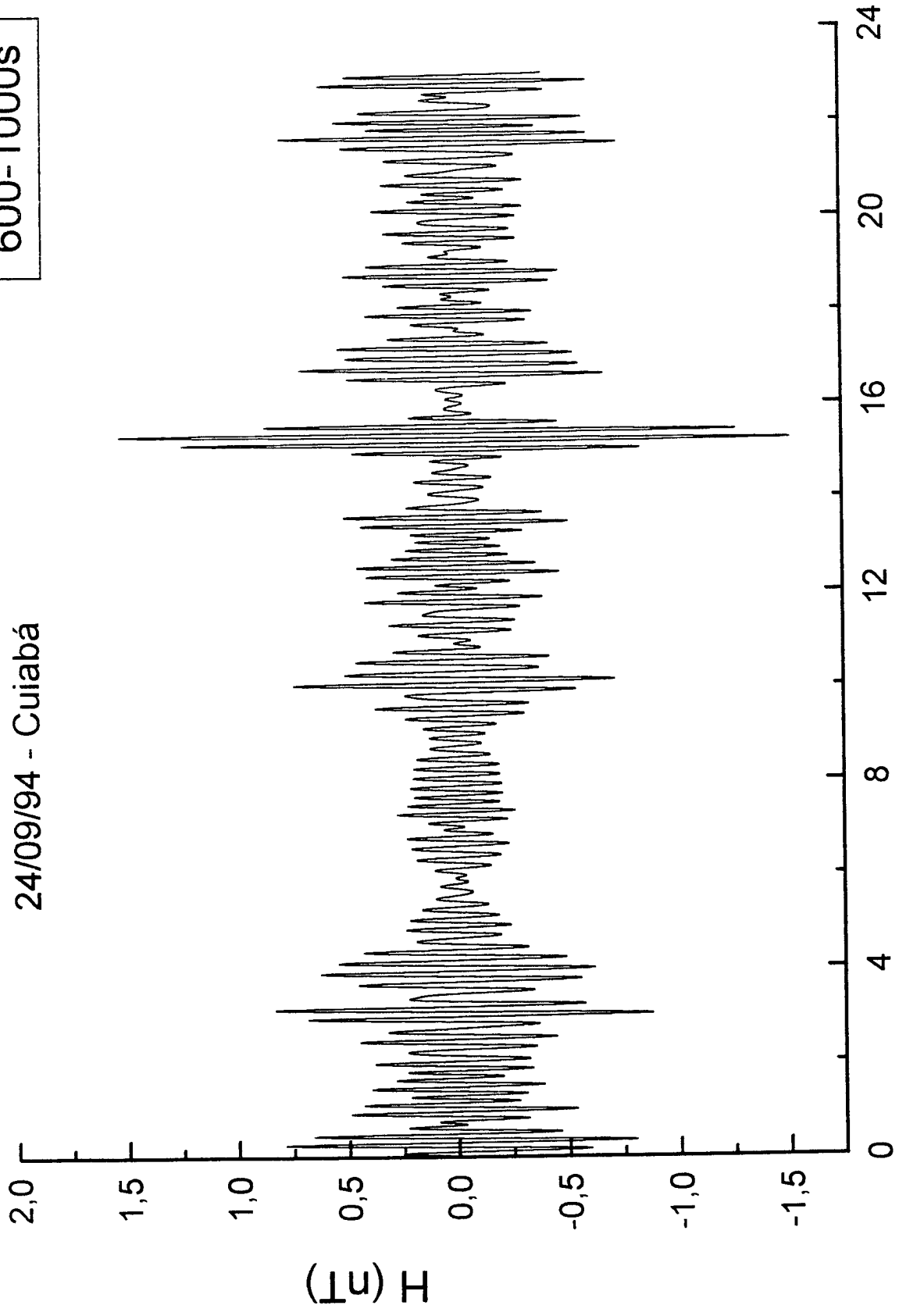


FIGURA 5g

600-1000s

24/09/94 - Cuiabá



Horas (UT)

FIGURA 5 h

600-1000s

24/09/94 - Cuiabá

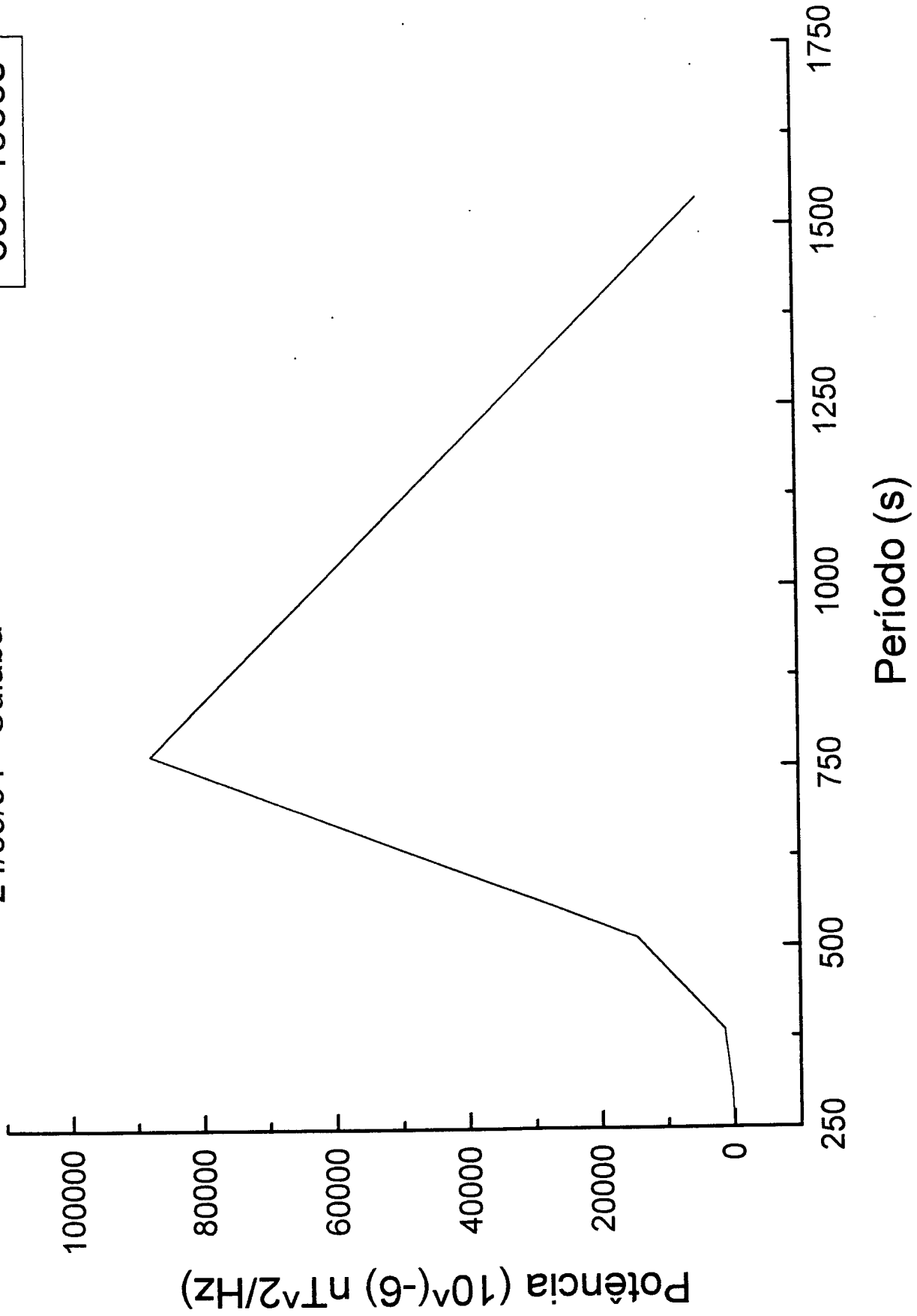


FIGURA 5 i

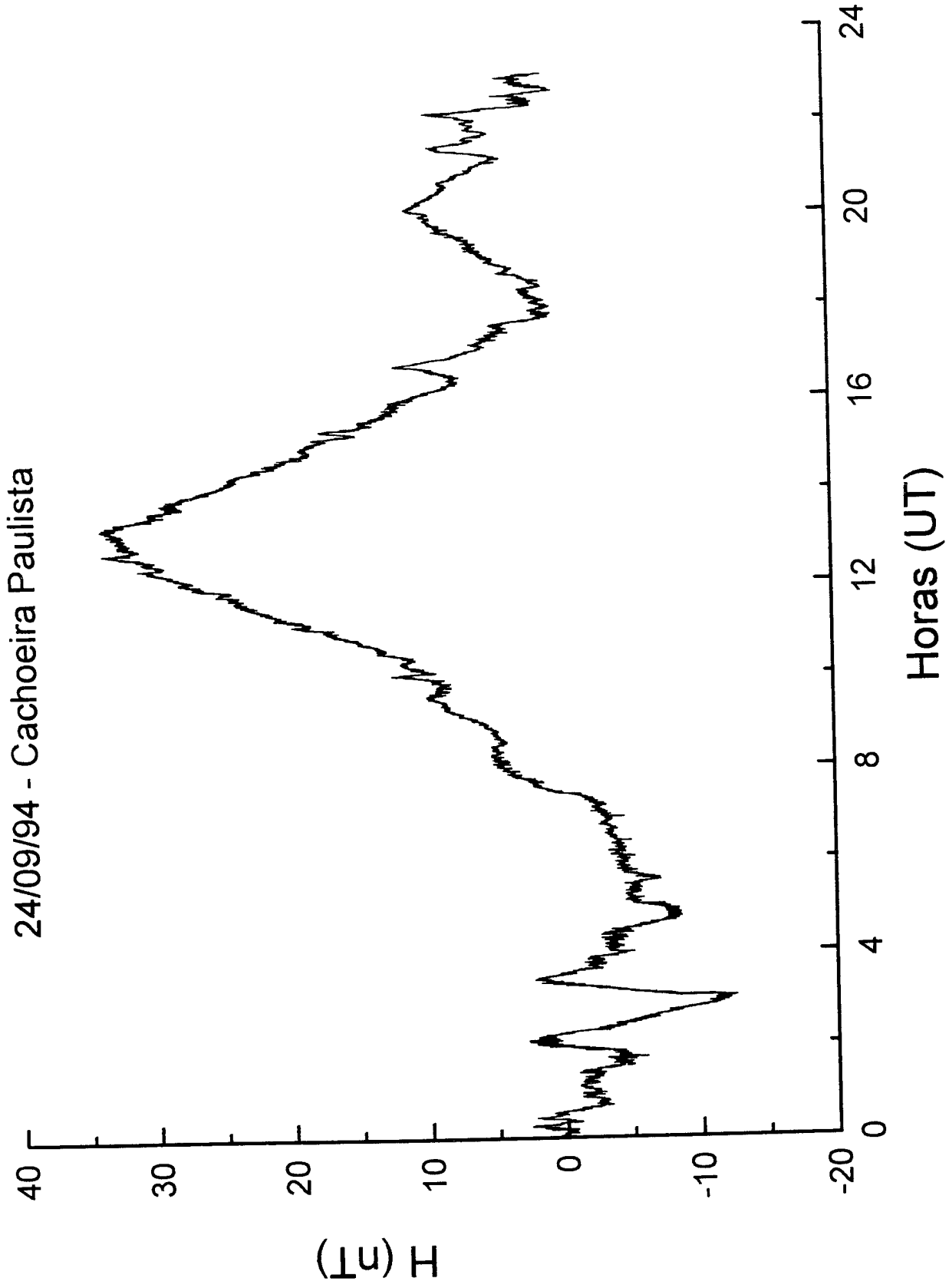
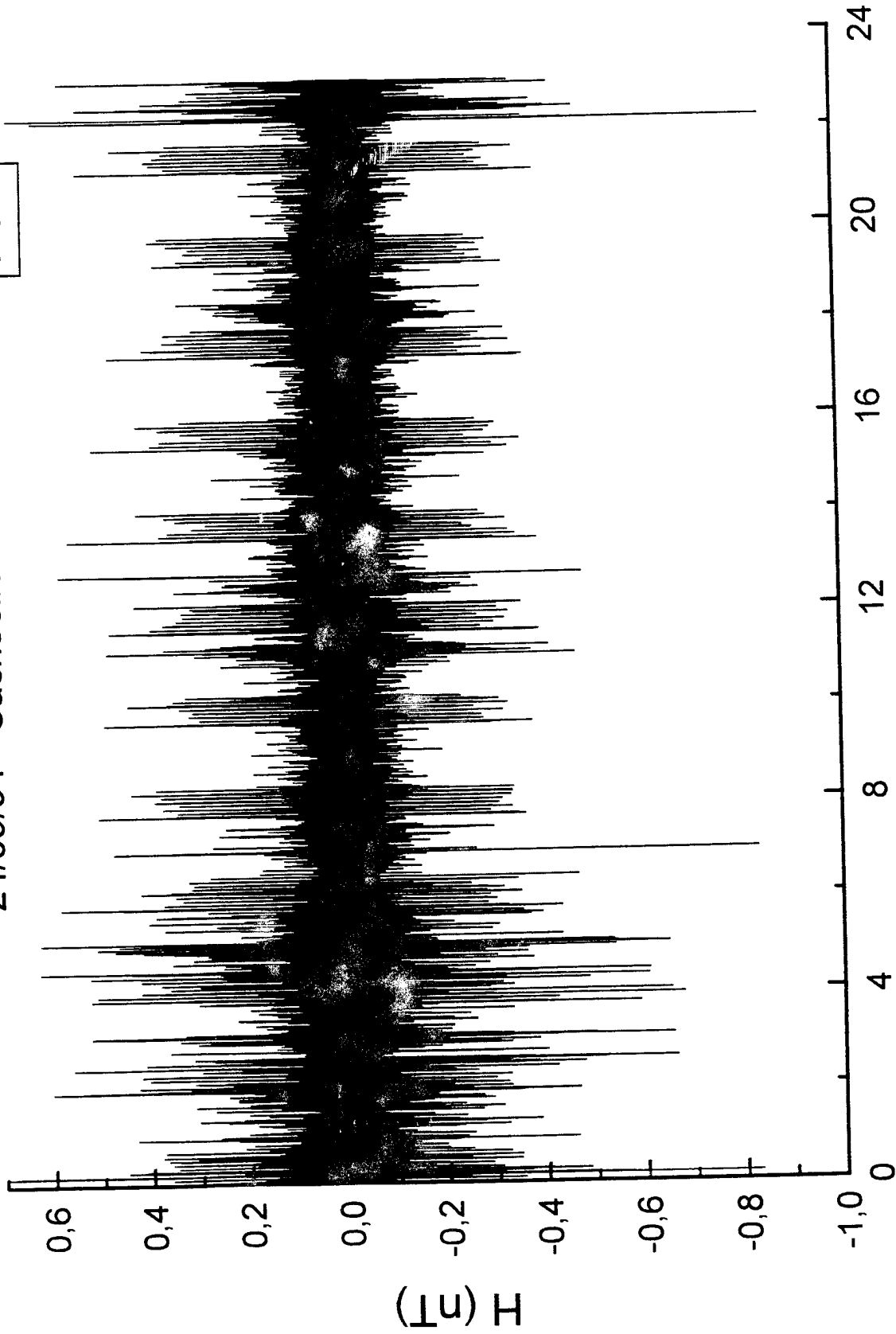


FIGURA 6a

Pc 3

24/09/94 - Cachoeira Paulista



Horas (UT)

FIGURA 6b

Pc 3

24/09/94 - Cachoeira Paulista

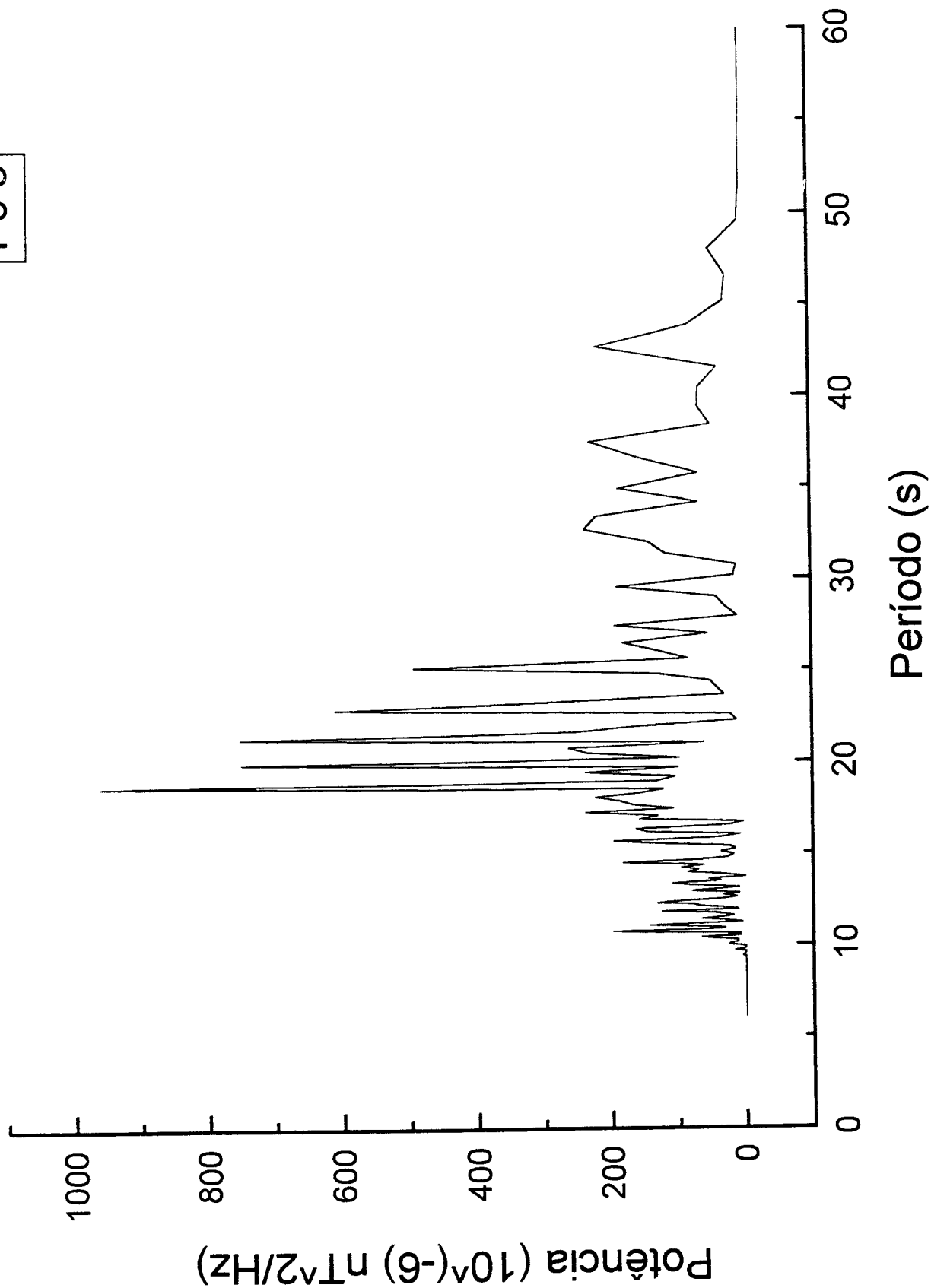


FIGURA 6c

Pc 4

24/09/94 - Cachoeira Paulista

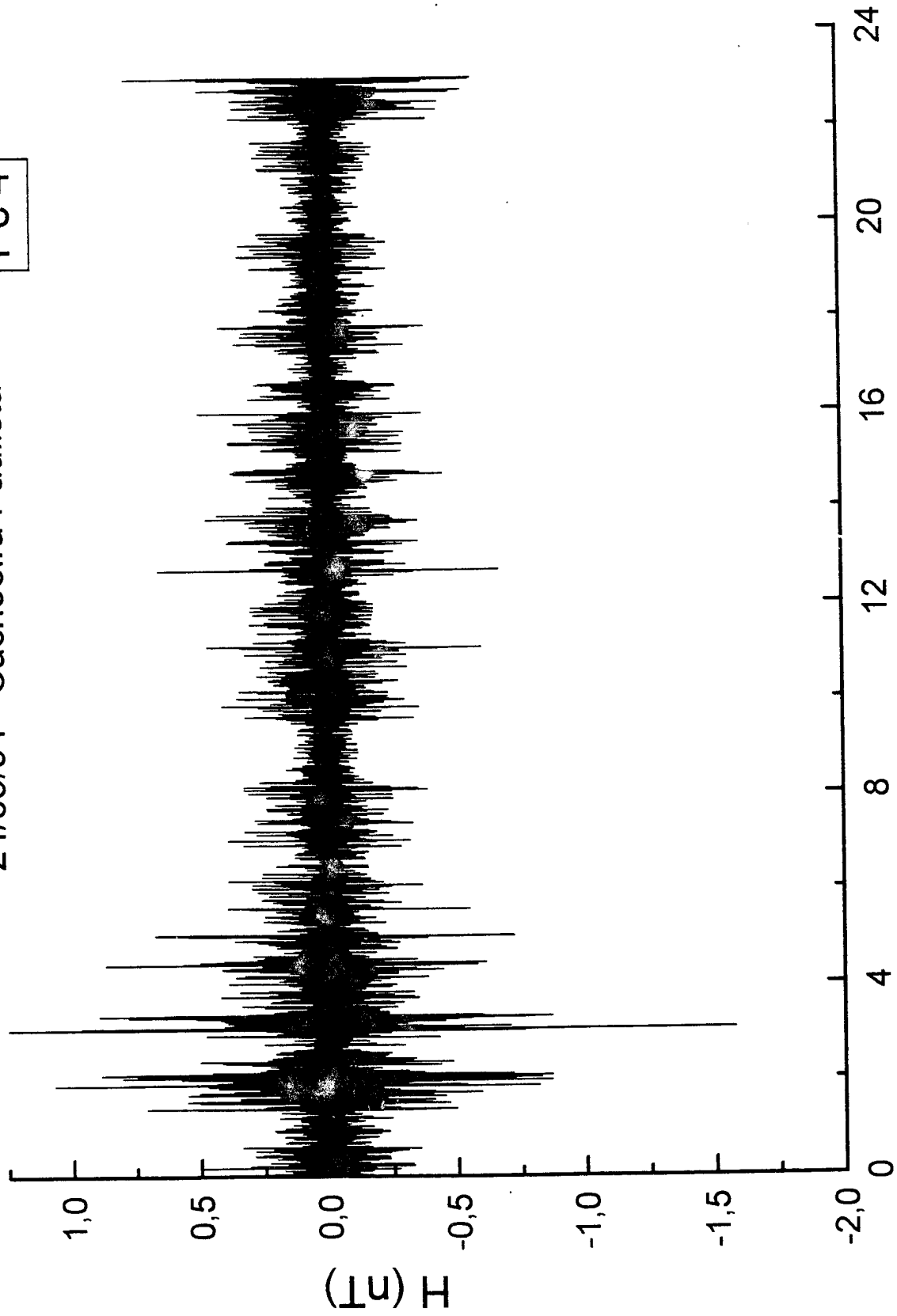


FIGURA 6d

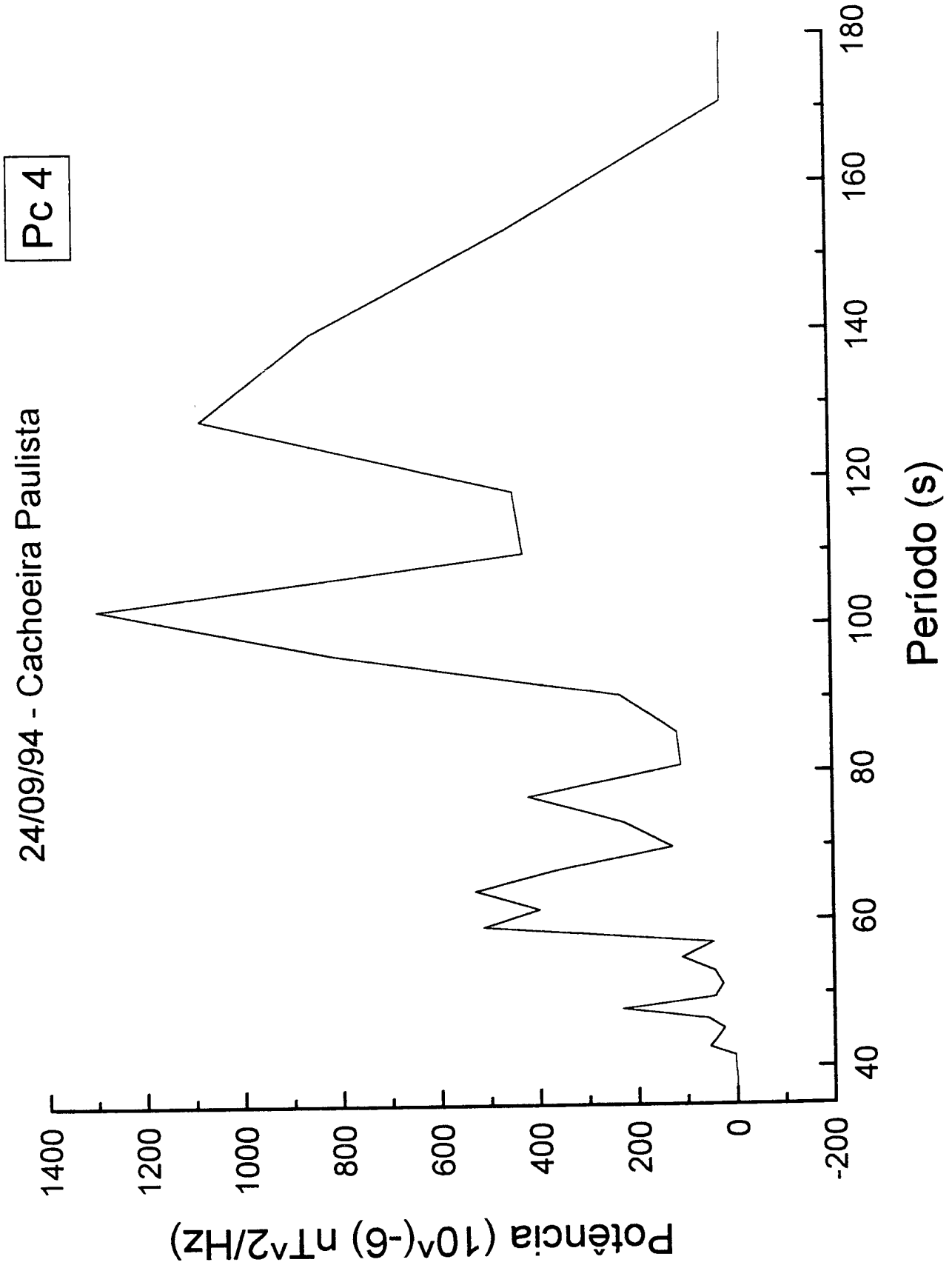


FIGURA 6 e

24/09/94 - Cachoeira Paulista

Pc 5

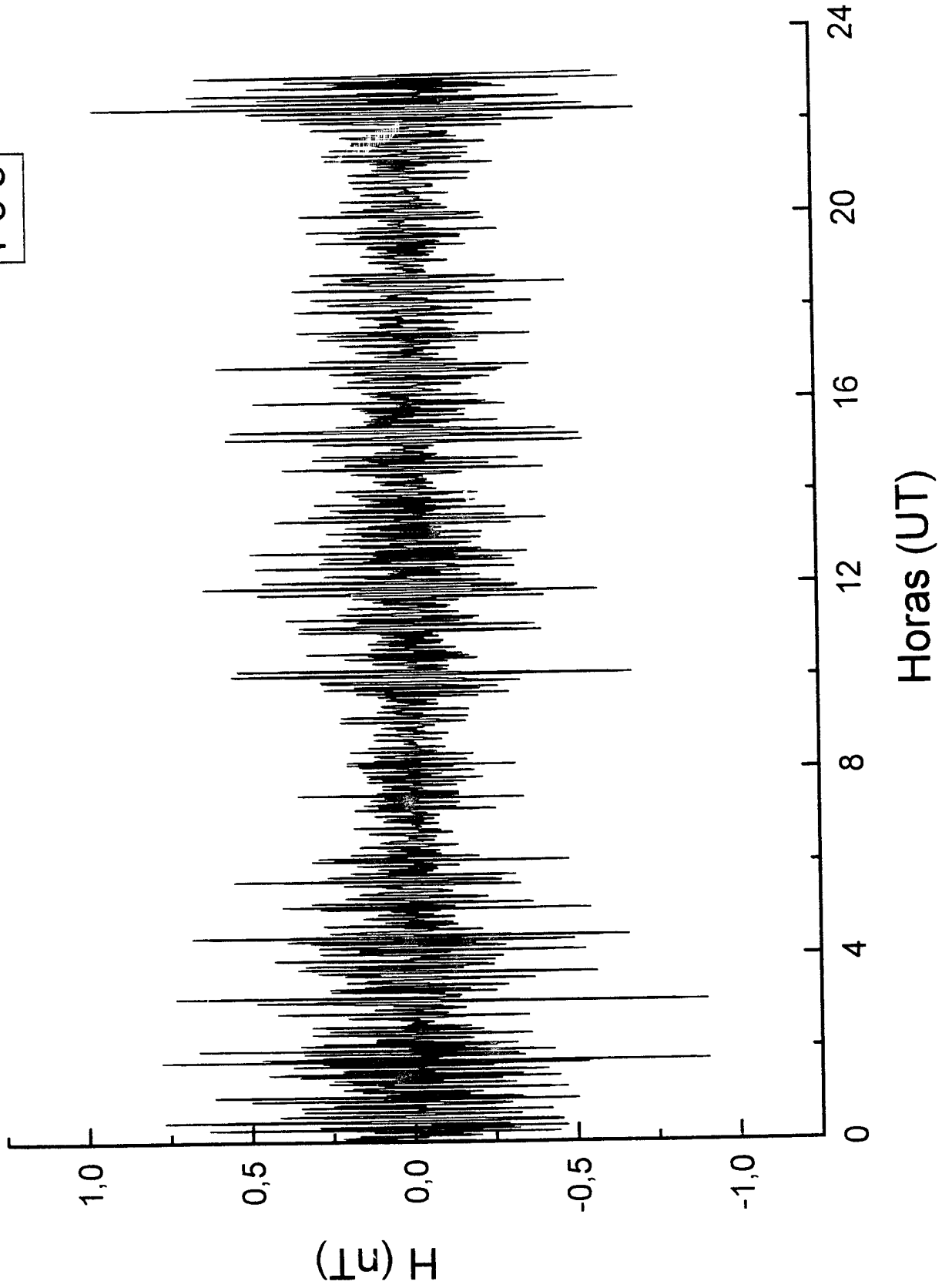


FIGURA 6 f

Pc 5

24/09/94 - Cachoeira Paulista

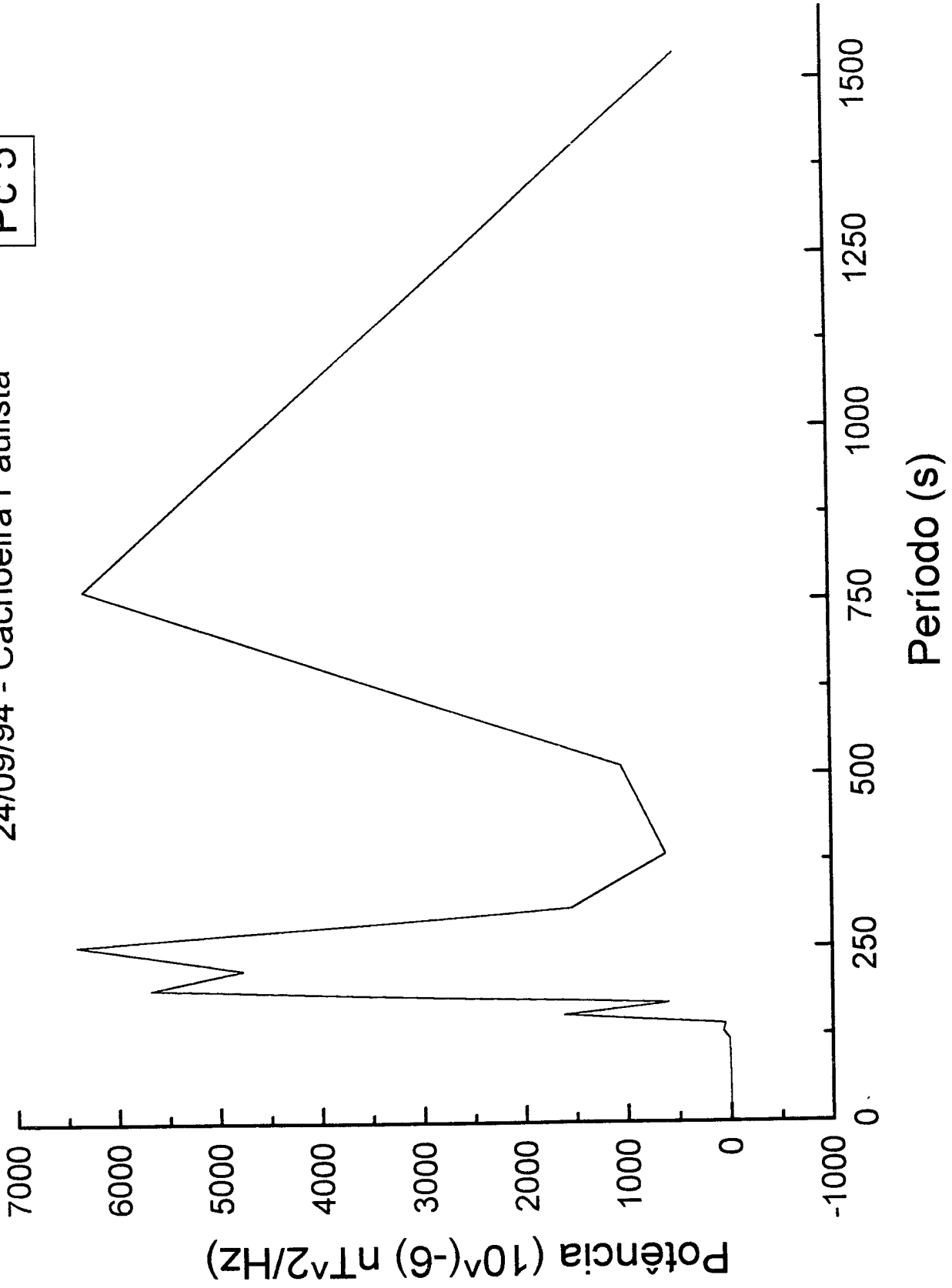


FIGURA 6 g

600-1000s

24/09/94 - Cachoeira Paulista

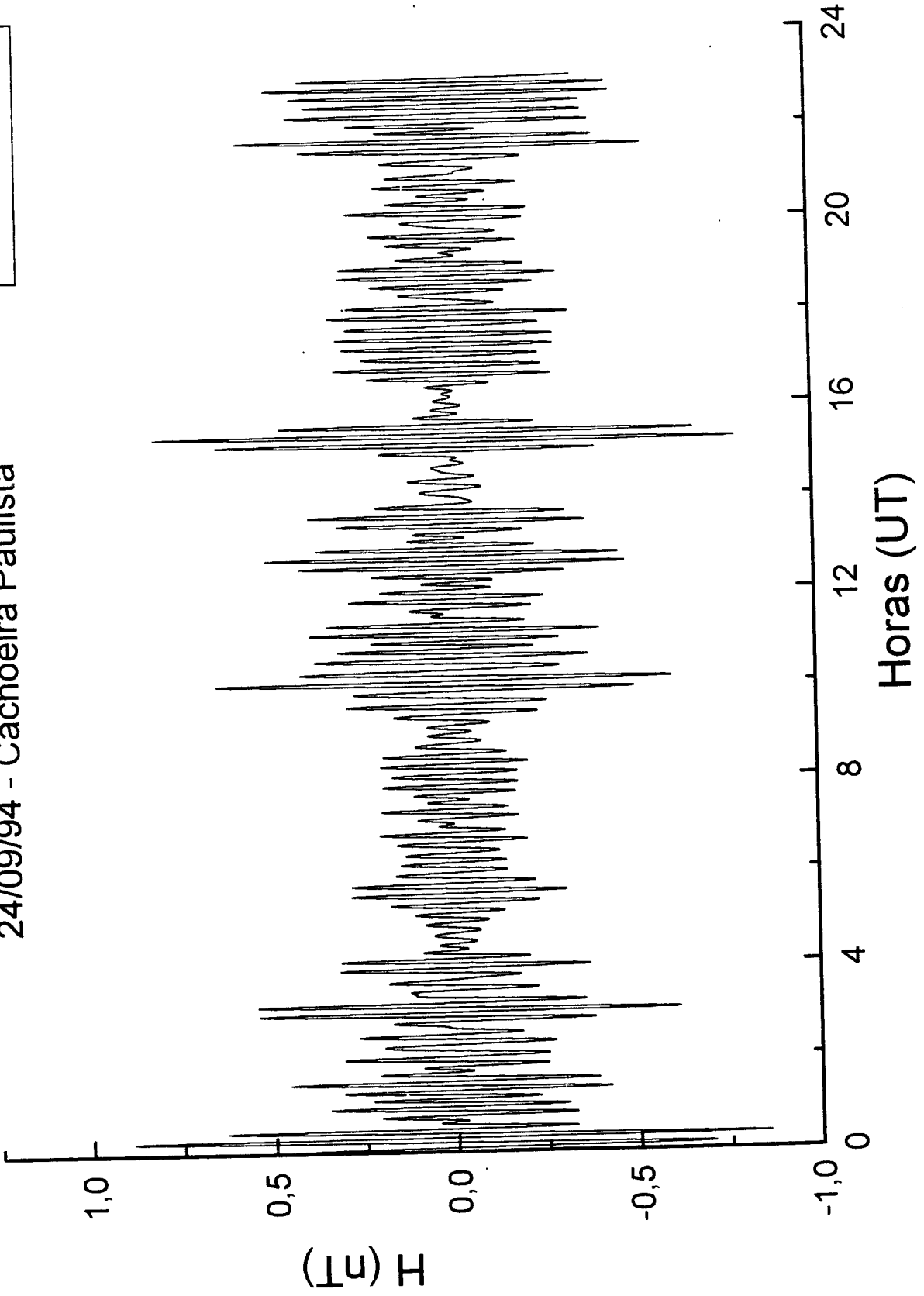


FIGURA 6 h

600-1000s

24/09/94 - Cachoeira Pulista

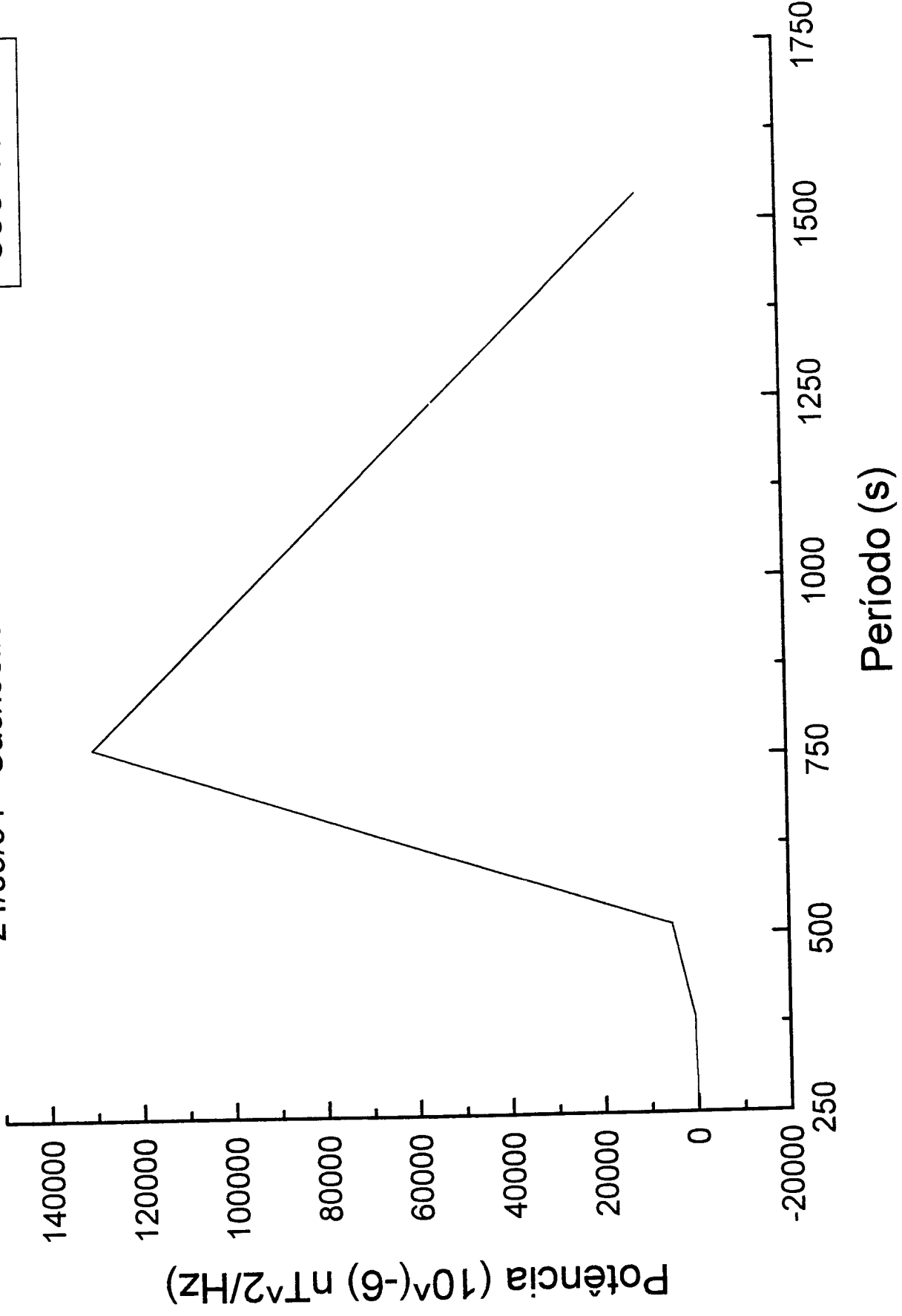


FIGURA 6 i

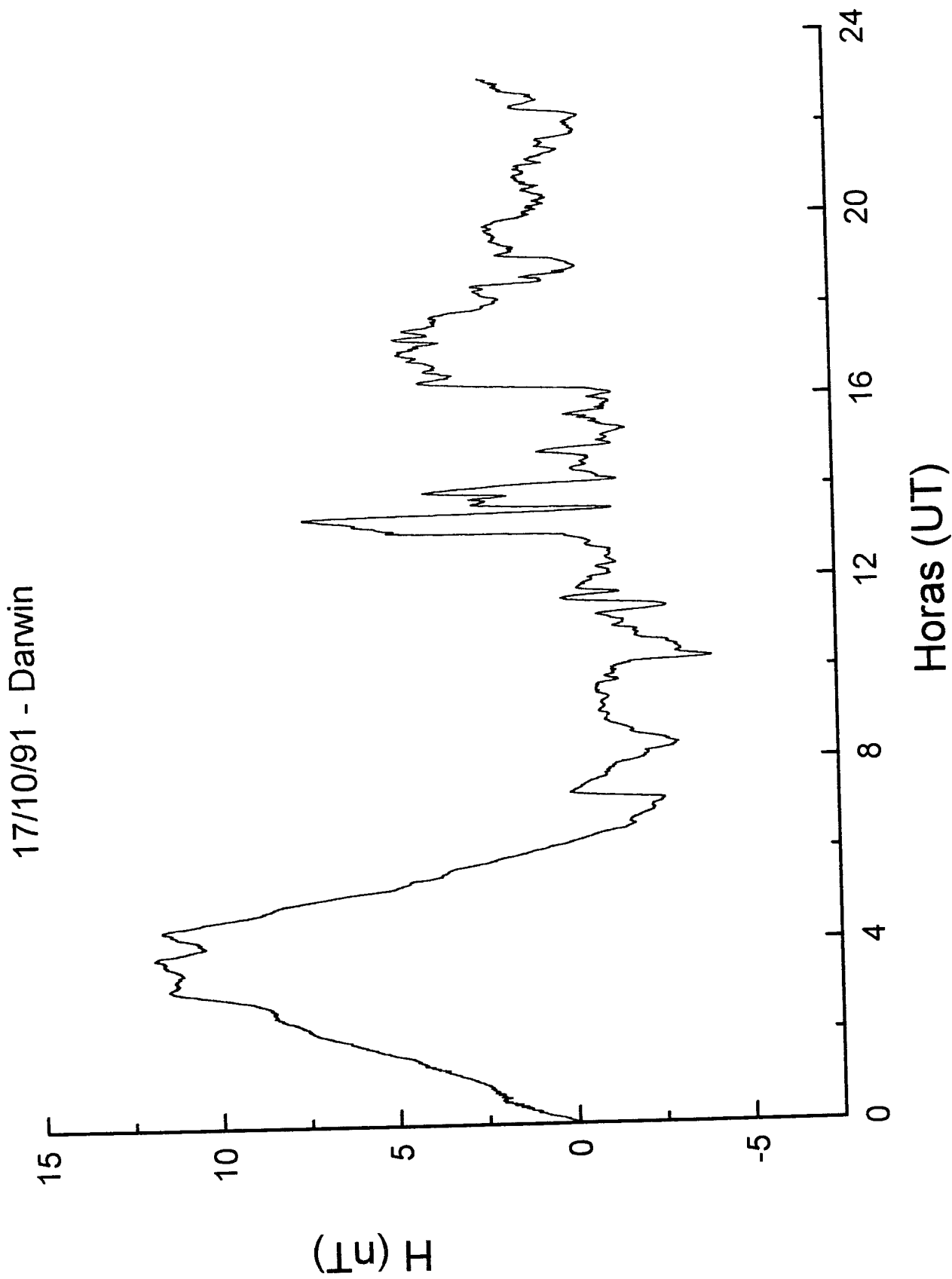


FIGURA 7 a

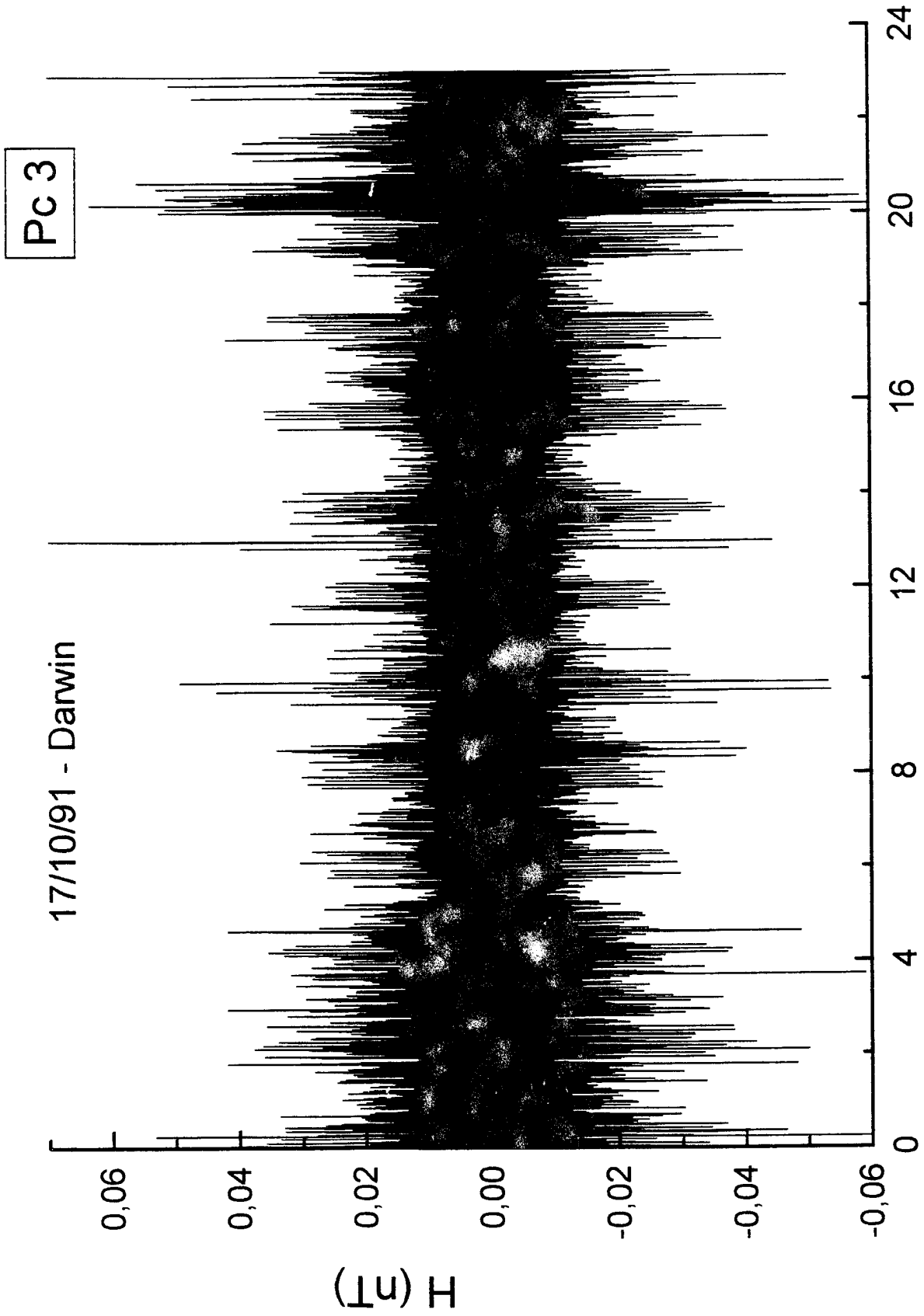


FIGURA 7 b

Pc 3

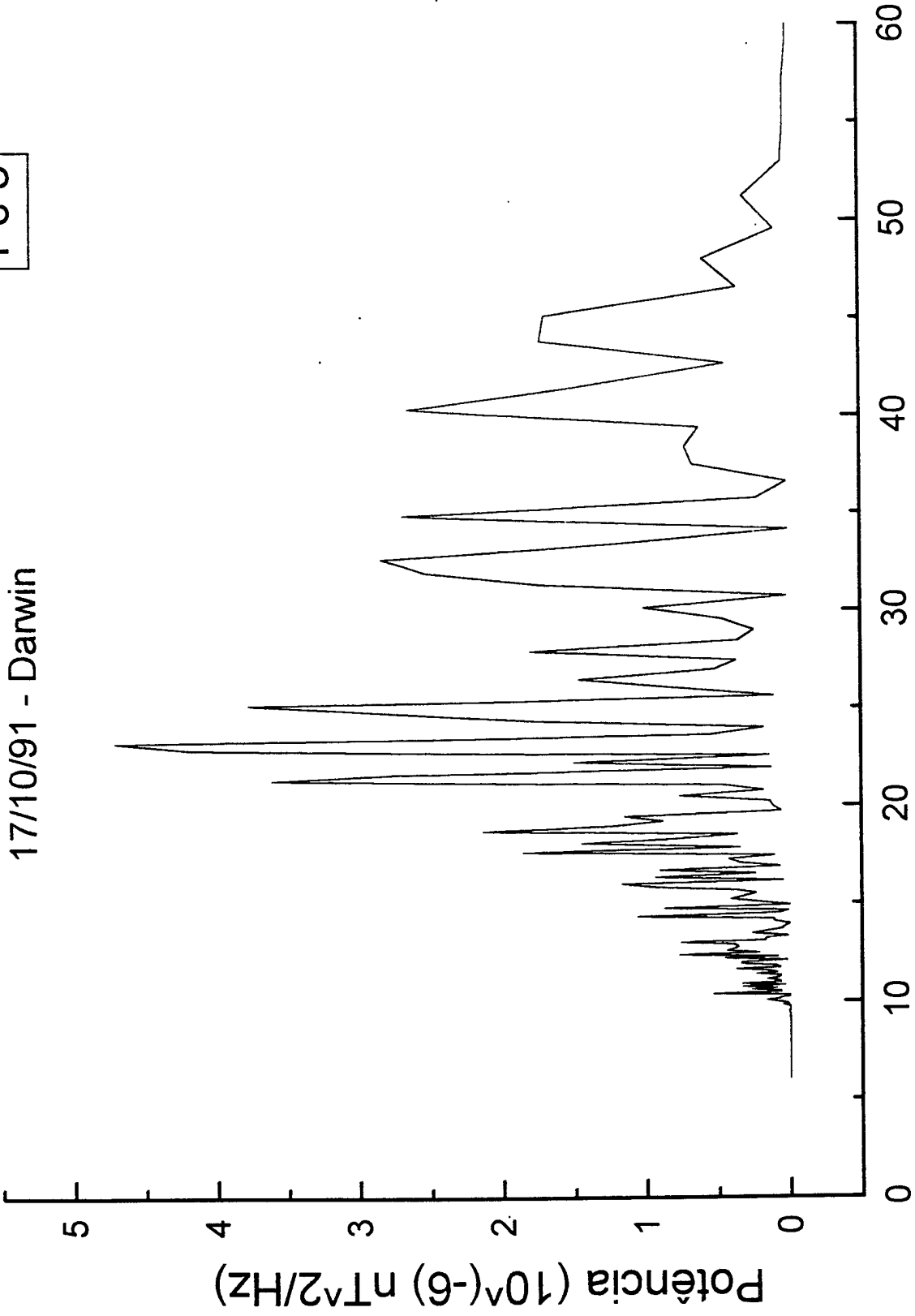


FIGURA 7.C

PC 4

17/10/91 - Darwin

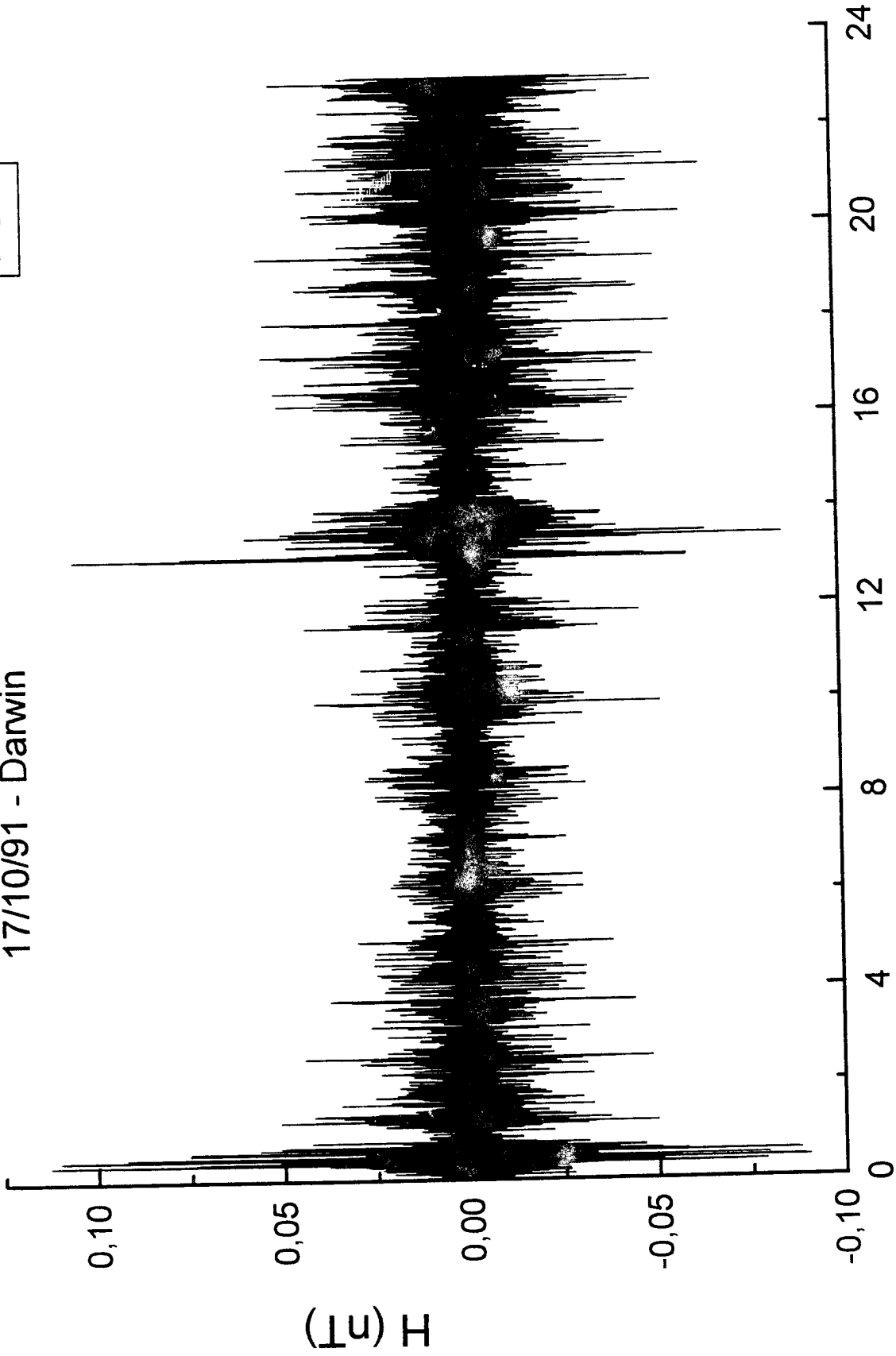


FIGURA 7 d

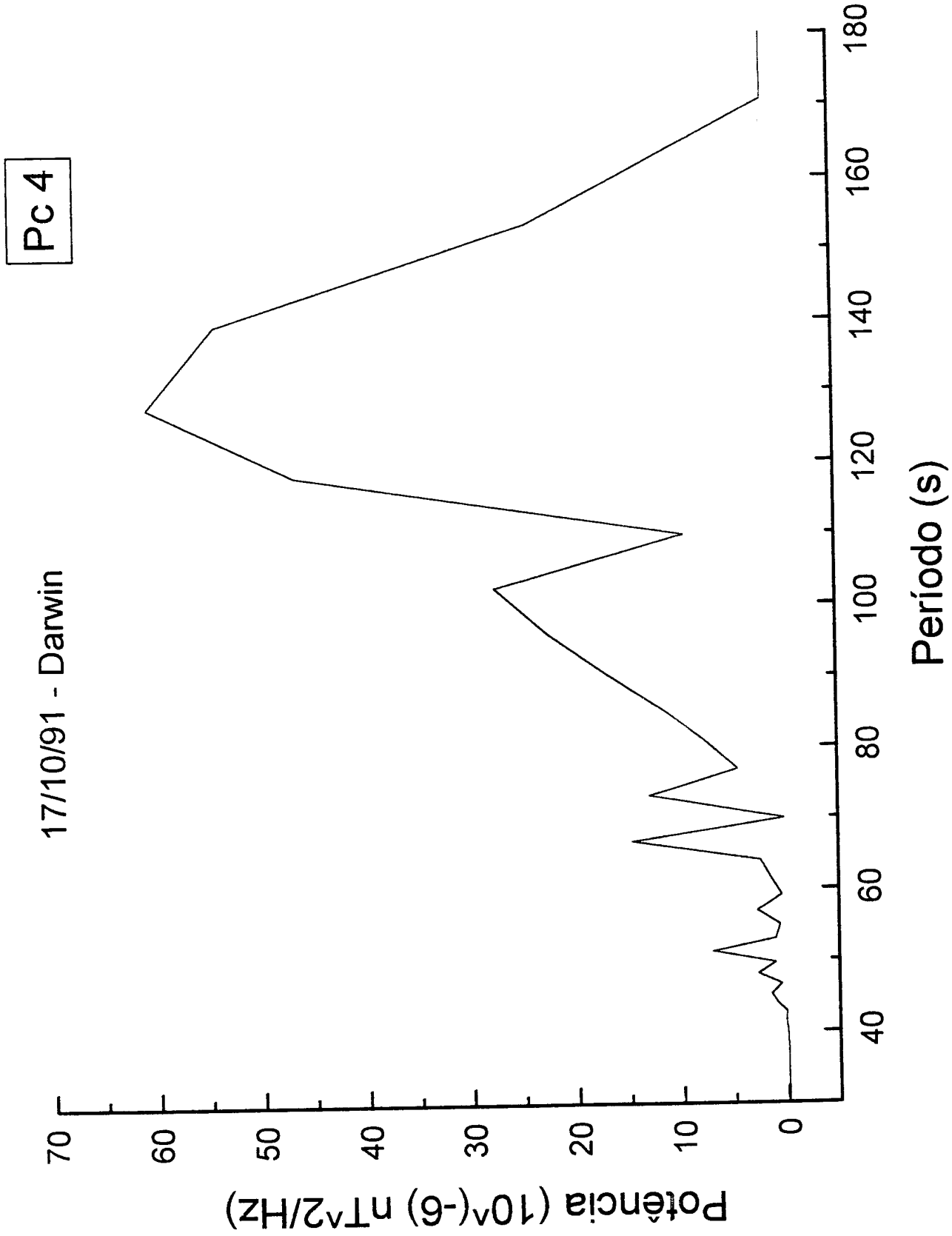
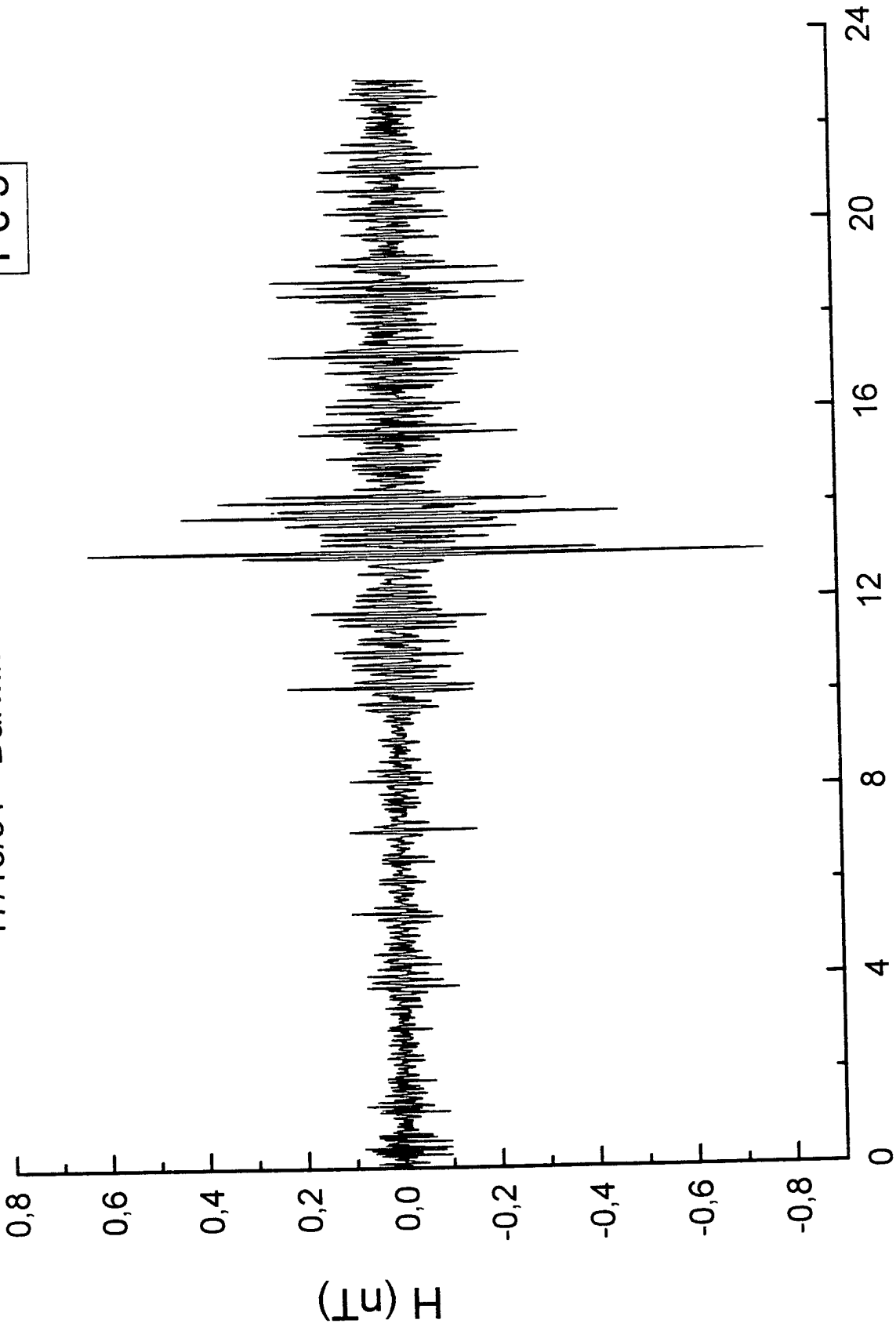


FIGURA 7 e

PC 5

17/10/91 - Darwin

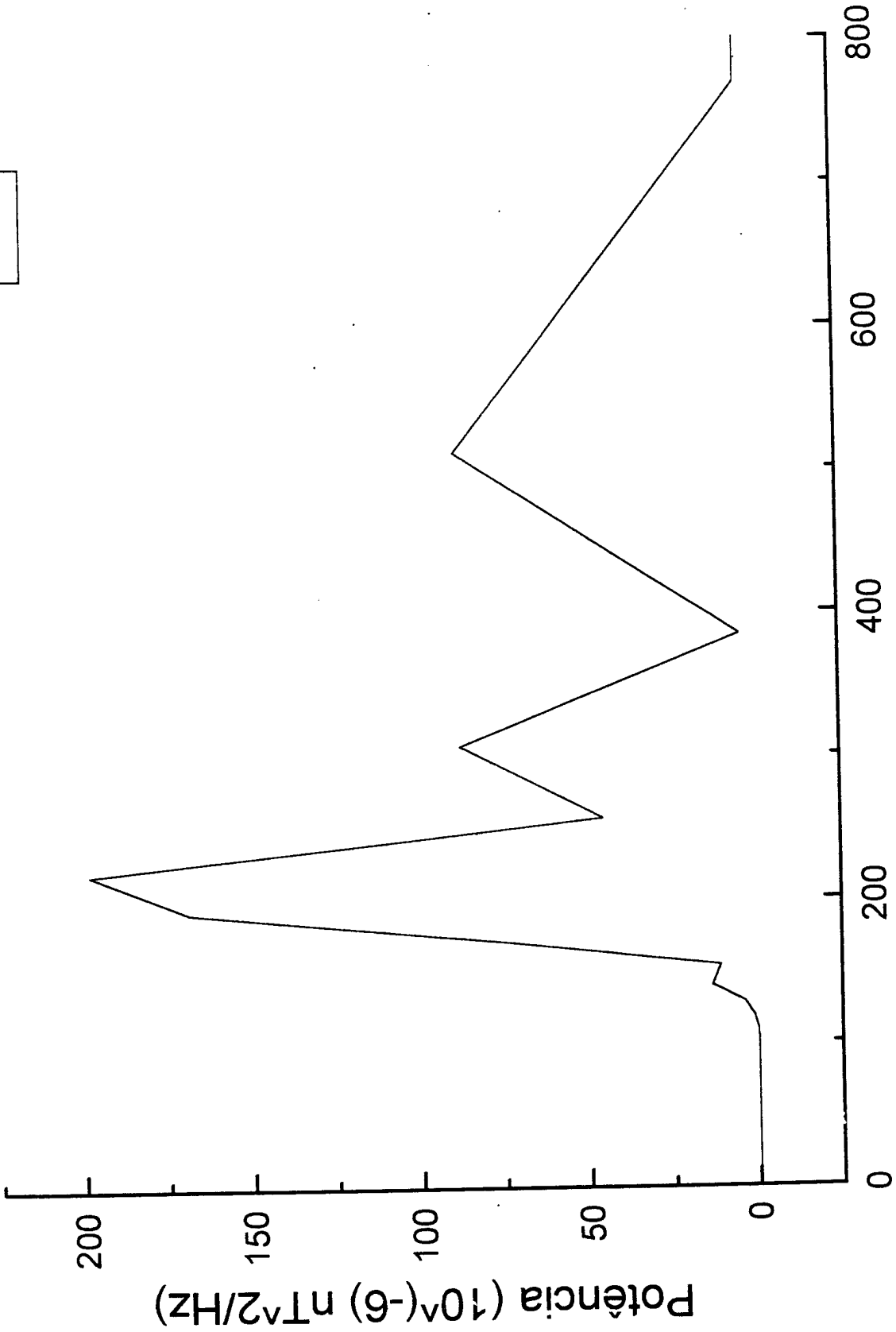


Horas (UT)

FIGURA 7 f

Pc 5

17/10/91 - Darwin

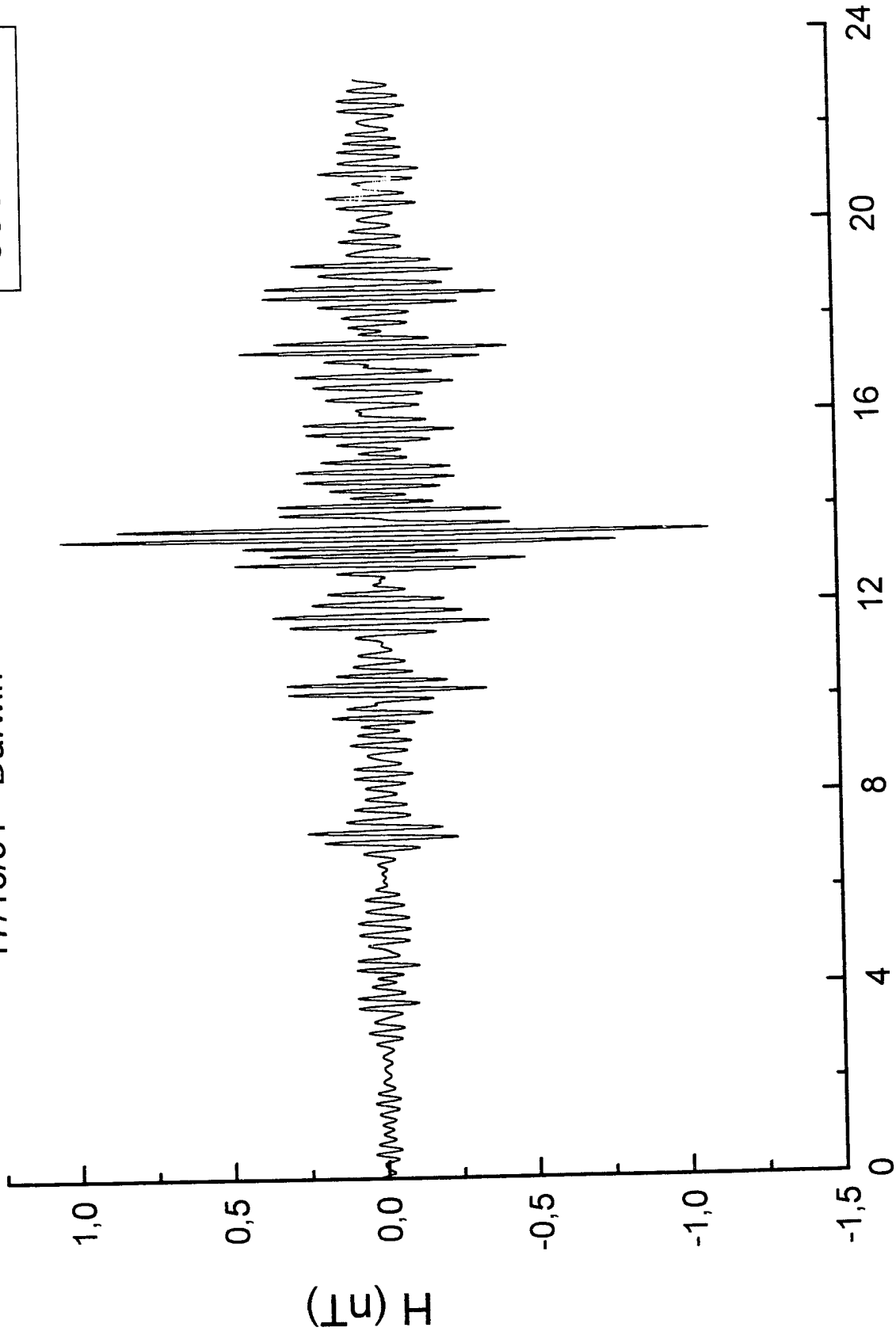


Período (s)

FIGURA 7g

600-1000s

17/10/91 - Darwin



Horas (UT)

FIGURA 7h

600-1000s

17/10/91 - Darwin

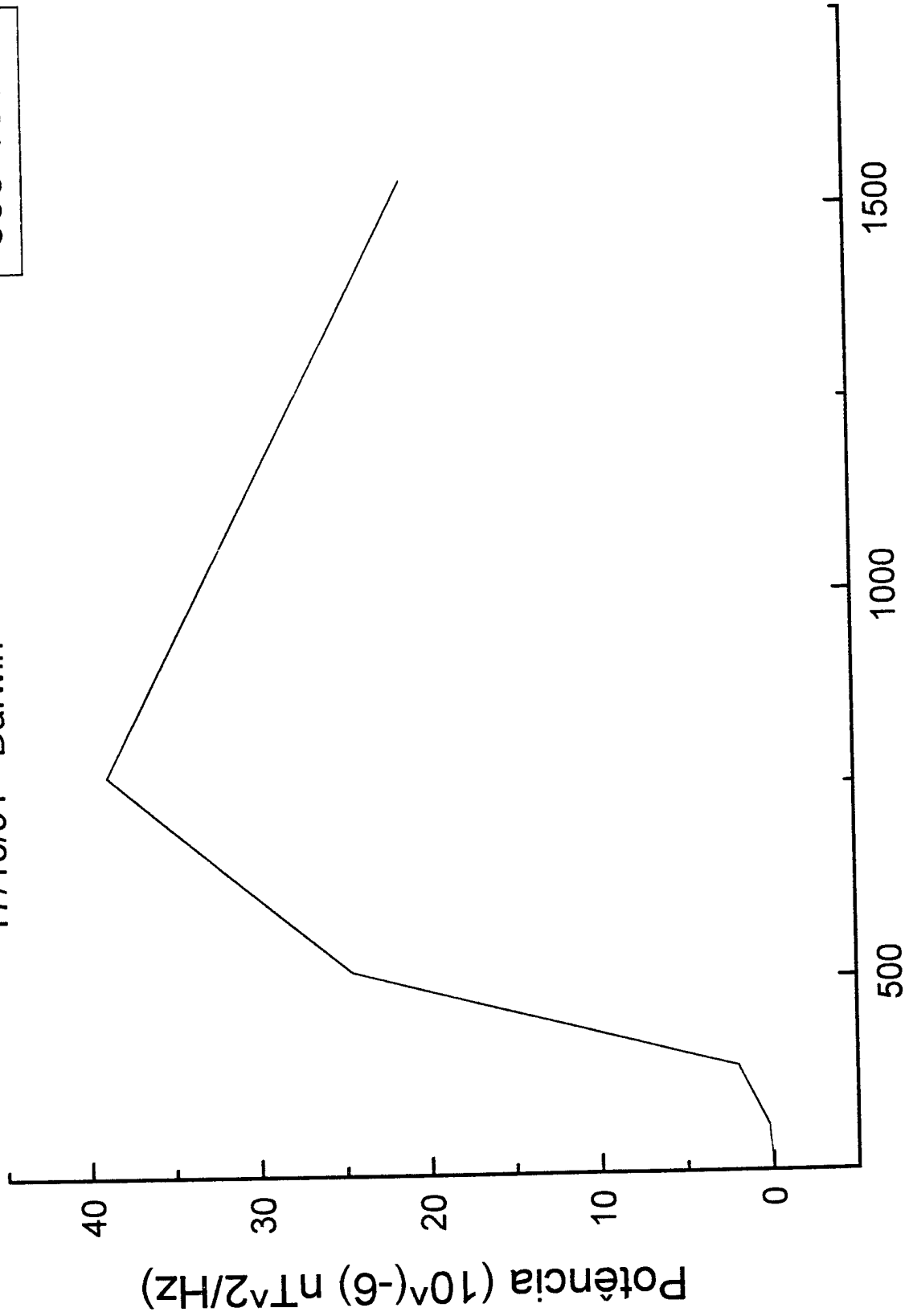


FIGURA 7 i

APÊNDICE A

A TERRA COMO UM IMÃ

A percepção de que a Terra age como um grande imã, pode ter sido inferida durante o séc. XI D.C., quando uma bússola marinha, usando pedra magnetizada, foi colocada em uso pelos Persas e Árabes. A pedra, uma variação magnética natural do ferro mineral magnetita (Fe_3O_4), flutuava sobre uma peça de madeira, ou cortiça, funcionando como uma bússola magnética (Fig. 1). De forma similar, uma agulha de ferro podia ser magnetizada por contato com esse tipo de pedra e flutuar na água. Esta pedra possuía a propriedade de atrair o ferro, já conhecida pelos gregos no início do séc.VII A.C através dos escritos de Tales (640 a 546 A.C.)

O uso da bússola magnética na Europa é primeiro mencionado num tratado em latim escrito em 1187 D.C. por Alexander Neckham, um monge inglês. Ele se refere a magnetização de uma agulha por contato com uma pedra magnetizada. Em meados do séc.XIII Petrus Peregrinus, um francês, investigou experimentalmente as propriedades desse tipo de pedra. Descobriu que quando uma peça é quebrada em vários pequenos fragmentos, cada um torna-se um imã isoladamente. Usando uma pequena agulha magnetizada, foi capaz de demonstrar a existência de um eixo magnético dentro de uma pedra magnetizada esférica, achando que a agulha era orientada perpendicularmente à superfície sobre a posição polar. Peregrinus improvisou uma bússola magnética substituindo a pedra flutuante, por uma agulha magnética girando sobre dois apoios e apontando para uma borda graduada.

Pelo séc. XIV a bússola era usada como uma ferramenta essencial de navegação nos navios britânicos e, também, tornou possível as grandes viagens descobridoras iniciadas pelos portugueses. Como a bússola magnética era usada em conjunção com métodos de navegação celestial, tornou-se aparente que a bússola não apontava exatamente na direção do norte verdadeiro e que a discrepância nas duas direções variava de acordo com as posições no globo. Diz-se que a razão por que os homens que velejaram com Colombo ameaçaram um motim durante sua viagem descobridora histórica através do Atlântico em 1492, foi porque estavam perturbados por ter notado que a bússola mudou de direção, de apontamento do norte geográfico, enquanto prosseguiram para oeste.

A primeira análise científica do magnetismo da Terra está contido no tratado intitulado *De Magnete*, publicado em 1600 por Sir William Gilbert, médico da rainha Elizabeth. Tentando explicar porque a ponta norte da agulha da bússola, livre para girar sobre um eixo vertical, aponta "para baixo" no hemisfério norte, mas "para cima" no hemisfério sul, Gilbert fez um dos primeiros verdadeiros

experimentos científicos já registrados. Construiu uma esfera de pedra magnetizada e observou a orientação da agulha magnética, quando mantida em várias posições em relação à esfera (Fig.2). Os resultados deste experimento permitiram que ele inferisse a existência de linhas de força magnéticas. Gilbert descobriu que a agulha magnetizada assumia uma orientação com respeito a esfera, muito semelhante a que a agulha da bússola mostrava em relação ao globo terrestre. A partir desses resultados concluiu que a Terra age como um grande imã. Supôs que o interior da Terra consistia de uma substância magnética, possivelmente semelhante a pedra magnetizada.

Desde o tempo de Gilbert o campo magnético da Terra tem sido mapeado com grande detalhe e a ciência do geomagnetismo, ou magnetismo terrestre, tornou-se uma parte importante da geofísica.

A TERRA COMO UMA SIMPLES BARRA DE IMÃ

Como uma simplificação, o campo magnético é semelhante a uma pequena barra de imã imaginada no centro da Terra (Fig. 3). O eixo mais longo da barra de imã é conhecido como o eixo magnético da Terra, estendendo-se indefinidamente no espaço através dos polos magnéticos (Fig. 4). O polo sobre o hemisfério norte geográfico é denominado polo norte magnético, e o do hemisfério sul, polo sul magnético. O eixo magnético é inclinado alguns graus com respeito ao eixo geográfico da Terra, assim o polo norte magnético fica próximo à lat. 70° N, long. 100° O e o polo sul magnético à lat. 68° S, long. 143° L.

Se nós imaginarmos estes dois pontos no globo, percebe-se que eles não são pontos antipodais e que o eixo magnético por isso não atravessa o centro da Terra (Fig. 4). O eixo magnético passa próximo do centro da Terra em um ponto diretamente abaixo do meio do oceano Pacífico. O equador magnético forma ângulo reto com o eixo magnético, podendo ser estendido indefinidamente no espaço.

Como é bem conhecido, polos diferentes de dois imãs se atraem e os iguais repelem-se. Se o polo magnético da Terra no Ártico é para ser designado como 'norte', o da agulha da bússola no qual aponta na direção deste, deveria ser o 'sul' da agulha magnética, enquanto que por convenção o denominamos como o 'norte' da agulha. Para ser estritamente correto, a ponta da agulha da bússola que aponta na direção do polo norte magnético, deveria ser designada de "polo indicador da direção norte".

CAMPO MAGNÉTICO

Para compreensão da análise, o campo magnético é imaginado consistindo de linhas de força, representando os caminhos que poderiam ser seguidos pelo "polo indicador da direção norte" de um minúsculo imã livre para mover-se no espaço. A existência das linhas de força pode ser demonstrada espalhando-se pequenas partículas (limalhas) de ferro numa folha de papel e colocando-se o papel sobre uma barra de imã. As partículas de ferro agrupam-se mostrando as posições das linhas de força (Fig. 3). Os agrupamentos ficam somente no plano, enquanto que as linhas de força ocupam todas as três dimensões do espaço, ao redor do imã. Conseqüentemente, deve-se visualizar o campo magnético da Terra, imaginando a secção reta rotacionada sobre o eixo magnético para ocupar todas posições possíveis.

Dois aspectos do campo magnético são de grande interesse: (1) as direções das linhas de força, (2) a magnitude do campo magnético. Na Fig. 4, as direções das linhas de força são mostradas por pequenas setas nos pontos onde elas interceptam a superfície da Terra. Uma agulha magnetizada, perfeitamente balanceada em peso para eliminar o efeito da gravidade, entra em repouso com uma orientação no espaço paralelamente à linha de força neste ponto. Nos polos magnéticos, as linhas de força são perpendiculares à superfície da Terra; no equador magnético elas são paralelas à superfície. Setas similares podem ser imaginadas em vários pontos do campo magnético, dentro, na superfície e no espaço ao redor da Terra. Em três dimensões o campo magnético toma a forma de um "anel de rosca" (pneu) ao redor de uma região central, que pode ser chamada de núcleo magnético.

O campo magnético na superfície da Terra é completamente descrito por três quantidades, conhecidas como os elementos magnéticos – inclinação, declinação e intensidade. Destes elementos, inclinação e declinação são quantidades angulares, medidas em graus, enquanto a intensidade é uma grandeza vetorial (uma força), requerendo portanto para sua definição de direção e módulo. A Fig. 5 mostra o relacionamento geométrico entre estes elementos magnéticos. As coordenadas espaciais do diagrama, consiste dum eixo **X** direcionado para o norte geográfico, um eixo **Y** para o leste geográfico e um **Z** para baixo, o nadir astronômico. Neste diagrama, a intensidade total é representada por uma seta **F**, que é paralela as linhas de força magnéticas. A intensidade vertical é representada por uma seta vertical **Z** e a intensidade horizontal por **H**.

A unidade de medida da intensidade do campo magnético é o *oersted*. Um polo unitário do campo magnético de 1 oersted estaria sujeito a uma força de 1 dina. Um polo unitário do campo magnético é definido como um polo que repele um semelhante, distante 1 cm, com uma força de 1 dina. A Fig. 6 mostra o mapa mundial da intensidade total do campo magnético terrestre para o ano de 1955.

As linhas no mapa são linhas isodinâmicas, desenhadas sobre pontos que possuem valores iguais. A intensidade total atinge seu valor máximo, acima de 0.7 oersted no polo sul magnético. Um segundo centro de valor máximo, acima de 0.6 oersted, fica no polo norte magnético. Ao redor do equador magnético há um cinturão de intensidade mínima, com valores menores que 0.25 oersted.

Para detalhar os mapas de intensidade magnética, utiliza-se a unidade de nanoTesla (nT). Um oersted é igual a 100 000 nanoTeslas.

INCLINAÇÃO MAGNÉTICA

No equador magnético a agulha magnetizada, livremente suspensa, fica paralela com a superfície da Terra; nos polos aponta verticalmente para cima (sul) ou para baixo (norte) e nas outras latitudes apresenta ângulos intermediários (Fig. 4). O ângulo entre as linhas de força e a superfície da Terra é conhecido como inclinação magnética. Na Fig. 5, a inclinação é representada pelo ângulo I .

A inclinação magnética pode ser medida por meio de um inclinômetro, uma agulha de bússola montada sobre um apoio horizontal e livre para girar no plano vertical (Fig. 7). A agulha, perfeitamente balanceada, permanece na posição horizontal se não estiver magnetizada. O "polo indicador da direção norte" da agulha indica para o interior da Terra, nas regiões localizadas ao norte do equador magnético e na direção contrária nas regiões ao sul do equador magnético.

A distribuição da inclinação magnética pode ser vista por um mapa, em que são desenhadas linhas de mesma inclinação. Nas Fig. 8 e 9, são mostradas linhas de mesma inclinação na vizinhança dos polos norte e sul magnéticos.

DECLINAÇÃO (VARIAÇÃO) MAGNÉTICA

Porque o eixo magnético é inclinado com respeito ao eixo de rotação (geográfico) da Terra e os polos magnéticos não se superpoem com os geográficos, o "polo indicador da direção norte" da agulha da bússola indica uma direção diferente do norte geográfico. O ângulo horizontal entre o meridiano geográfico e a componente horizontal da linha de força magnética, medido pela agulha da bússola, é denominado de declinação do campo magnético.

Declinação é dada em graus, a leste ou a oeste do norte geográfico. Na Fig. 10, no ponto A a bússola aponta alguns graus para a esquerda (oeste) do meridiano geográfico, imaginando-se a posição A com o norte geográfico a

frente. No ponto B a agulha da bússola aponta para a direita (leste) do norte verdadeiro. Na posição C a direção da bússola coincide com o meridiano geográfico, que significa que não há declinação. Em D a bússola aponta para o sul ao longo do meridiano, e a declinação é 180° .

Por causa das irregularidades no campo magnético da Terra, a declinação da bússola não se comporta conforme a geometria ideal mostrada na Fig. 10. Por meio de linhas isogônicas, linhas desenhadas através de todos os pontos que tem a mesma declinação, a distribuição da declinação pode ser mostrada num mapa (Fig. 11). A linha de declinação zero, chamada linha agônica, segue aproximadamente um meridiano no Hemisfério Ocidental, mas toma um circuito curvo no Hemisfério Oriental.

A agulha de uma bússola magnética é usualmente equipada com um pequeno peso deslizante que pode ser então ajustado para compensar a inclinação local, permitindo que a agulha fique em balanço horizontal perfeito sobre o pino de apoio. Nenhum ajuste é necessário no equador magnético, onde a inclinação é zero. Nos polos magnéticos a agulha oscila desorientadamente, visto que nestes pontos a componente horizontal é nula.

Várias bússolas magnéticas utilizadas com o propósito de pesquisa, confecção de mapas, ou navegação, dispõem de um círculo azimutal ajustável que pode ser rotacionado, para permitir a concordância com a declinação existente na região. Com o ajustamento corretamente feito, a linha de visão formada pelo telescópio no qual a bússola é fixada, será a linha do norte geográfico verdadeiro, quando o "polo indicador da direção norte" ficar no ponto zero da escala azimutal (Fig. 13).

Quando mapas são usados no campo, eles devem ser orientados corretamente com respeito ao norte verdadeiro. Quando a orientação é feita por meio de uma bússola magnética, o valor da declinação local deve ser levado em conta. Os mapas topográficos de larga-escala mostram na margem, um símbolo consistindo de duas setas e uma informação numérica da declinação em graus e minutos. A relação da seta representando o norte verdadeiro, para aquela do norte magnético informa ao usuário se a declinação é a leste ou a oeste.

Como podemos constatar da leitura das seções subsequentes, o campo magnético da Terra modifica-se constantemente, isto implica que a declinação da bússola apresenta uma pequena variação anual. Um mapa isogônico é preparado para um dado ano do calendário, assim o seu uso em anos subsequentes pode requerer uma correção. Por esta razão, em muitos mapas isogônicos como os usados em navegação são desenhadas também linhas de igual variação anual (Fig. 12). Em mapas topográficos de larga-escala, a informação marginal usualmente contém o valor, a direção e o sentido da variação anual da declinação. Em geral o valor é pequeno, porém acumulado

por muitos anos representa um número suficientemente grande que afeta a pesquisa das linhas fronteiriças com uma bússola magnética.

MEDINDO O CAMPO MAGNÉTICO

Medidas precisas da direção e da intensidade do campo magnético são feitas de forma contínua em alguns observatórios magnéticos fixos, distribuídos amplamente, mas de maneira não uniforme sobre a Terra. Também são conduzidas observações em outros locais a fim de complementar os dados dos observatórios permanentes.

Entre os elementos magnéticos medidos estão a declinação (D), a inclinação (I), a intensidade total do campo (F), as intensidades nas direções horizontal (H) e vertical (Z), e as intensidades nas direções norte-sul (X) e leste-oeste (Y).

Em geral, um instrumento que mede a intensidade do campo magnético da Terra é chamado de magnetômetro. Um tipo básico é o de oscilação, o qual usa uma barra de imã suspensa por um fio numa posição horizontal. Do período de oscilação do imã pode-se calcular a intensidade da componente horizontal, ou vertical. Um instrumento de elevada precisão é o magnetômetro de próton vetorial (Fig. 14), que faz uso do princípio da precessão de prótons é colocados em movimento, por um campo magnético polarizante. A fonte de prótons é um recipiente central de água. O sinal de saída das bobinas sensoras alimenta o equipamento de análise e processamento automático de dados.

Magnetômetros portáteis têm sido desenvolvidos para uso externo, para fazer mapas detalhados da intensidade do campo que permitam inferir a presença de corpos rochosos sob a superfície. O magnetômetro aéreo, um instrumento conduzido por avião, é capaz de dar uma leitura contínua da intensidade do campo ao longo da linha de travessia (Fig. 15). Magnetômetros são também rebocados por navios, para fornecer dados magnéticos sobre as bacias oceânicas (Fig. 16).

BIBLIOGRAFIA: Strahler A. N. (1971), *The Earth Sciences*, 2nd. ed., New York, Harper & Row, 824 pp.

Obs: Foram também preparados textos sobre: *Variações do Campo Magnético; Campo Magnético Dipolar; Causas do Magnetismo Terrestre; Tempestades Magnéticas e Erupções Solares; Eletrojato Equatorial; Auroras e Luminescência Noturna; Cinturões de Radiação Van Allen; Anomalia Magnética do Atlântico Sul; Magnetosfera Terrestre; Vento Solar; Raios Cósmicos.* Estes textos estão ainda numa forma preliminares, necessitando de melhoramentos.

LEGENDA B:

Fig. 1: Bússola flutuante da Idade Média.

Fig. 2: Diagrama de Gilbert com pequenos ímãs mostrando a variação da inclinação magnética.

Fig. 3: Ilustração da semelhança entre o campo magnético da Terra e de um ímã, onde a existência das linhas de força é demonstrada por limalhas de ferro ao redor do ímã.

Fig. 4: Secção reta das linhas de força do campo magnético da Terra.

Fig. 5: Componentes vetoriais do campo magnético da Terra.

Fig. 6: Mapa mundial da intensidade total do campo magnético terrestre para o ano de 1955. Os valores são dados em oersted.

Fig. 7: Inclinômetro.

Fig. 8: Mapa da inclinação magnética na região do Ártico para o ano de 1955. Linhas de mesma inclinação são dadas em graus.

Fig. 9: Mapa da inclinação magnética na região da Antártica.

Fig. 10: Apontamento da direção da declinação magnética por uma bússola em várias partes do globo terrestre.

Fig. 11: Mapa isogônico (declinação) mundial para o ano de 1955.

Fig. 12: Mapa isogônico dos Estados Unidos para o ano de 1965.

Fig. 13: Bússola magnética com a declinação magnética local ajustada para 15° O.

Fig. 14: Fotografia de um magnetômetro a precessão de próton vetorial.

Fig. 15: Magnetômetro aéreo rebocado por avião.

Fig. 16: Magnetômetro sendo preparado para realização de medidas no mar.

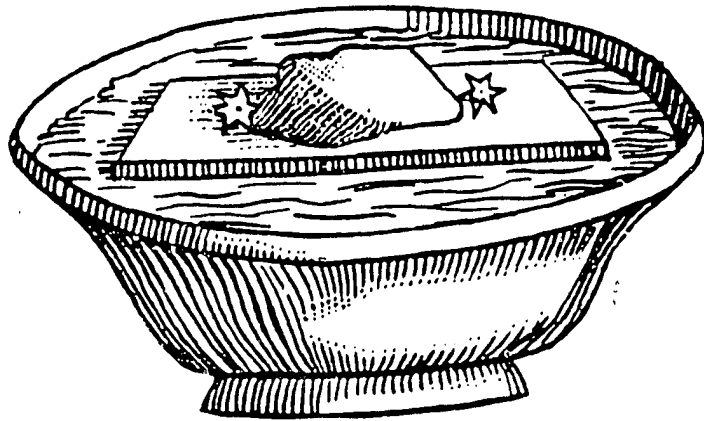


FIGURA 1

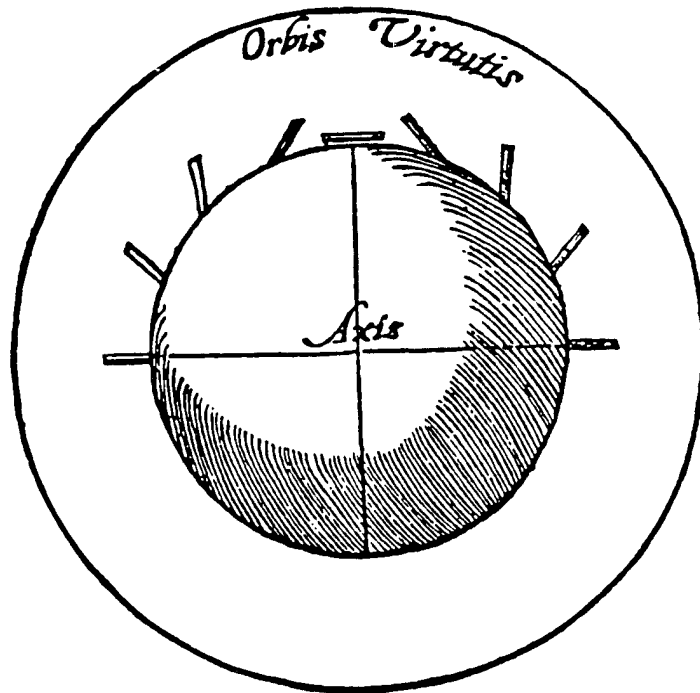


FIGURA 2

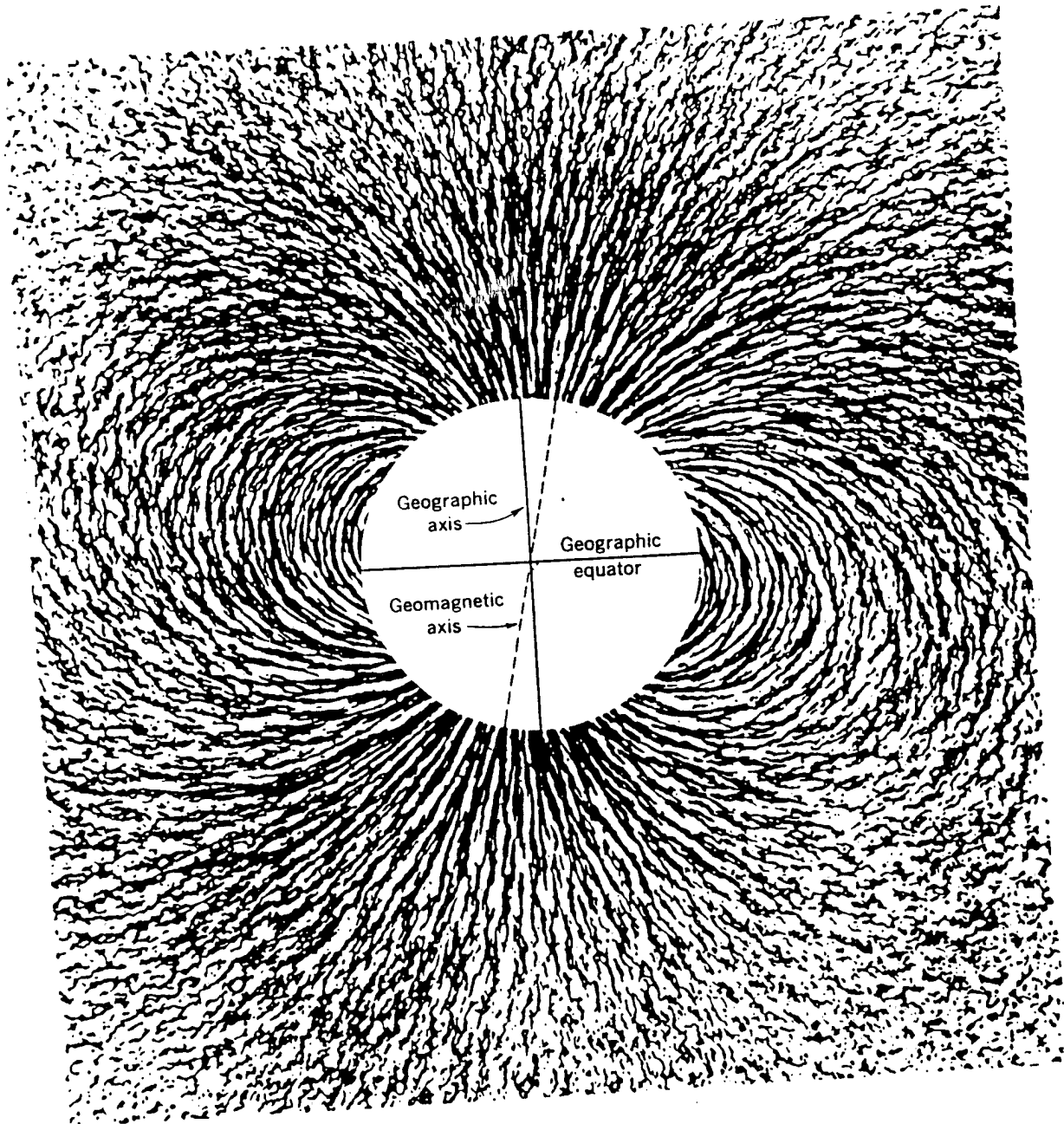


FIGURA 3

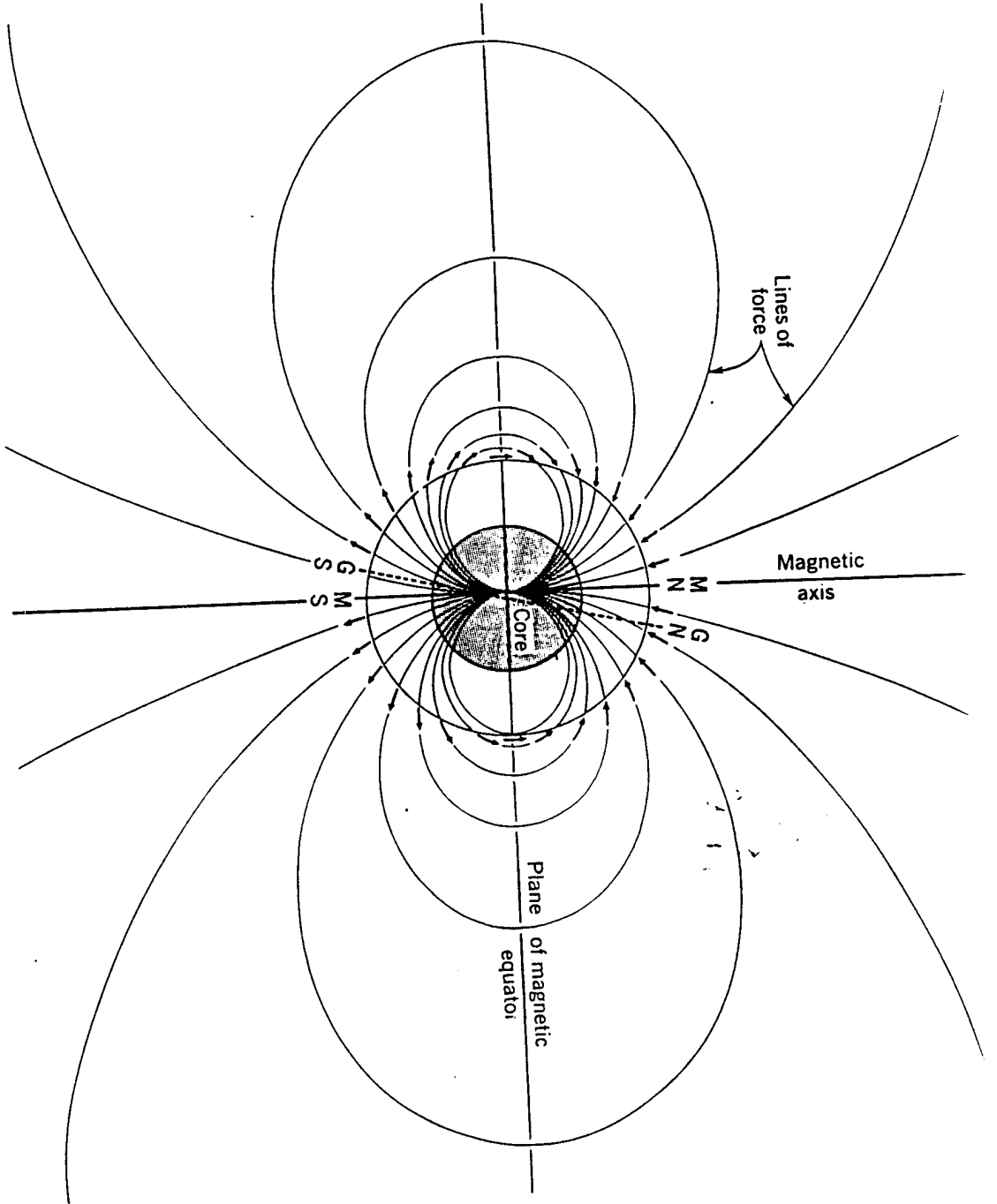


FIGURA 4

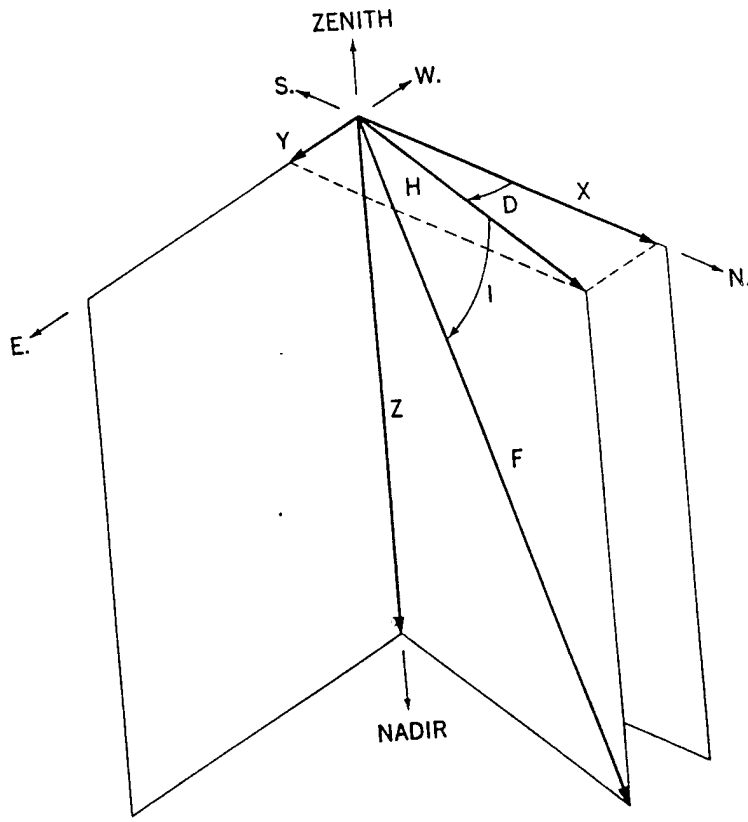


FIGURA 5

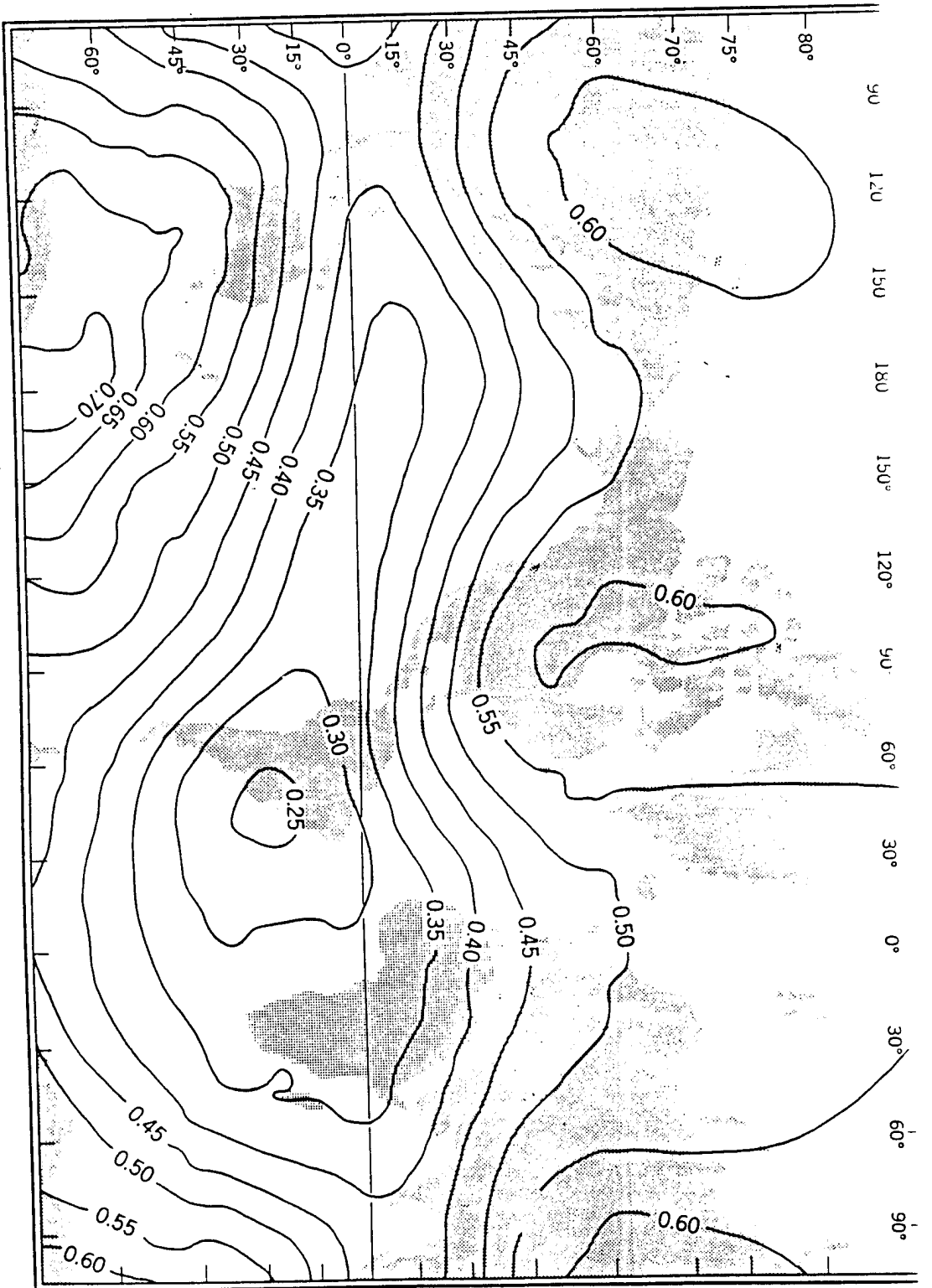


FIGURA 6

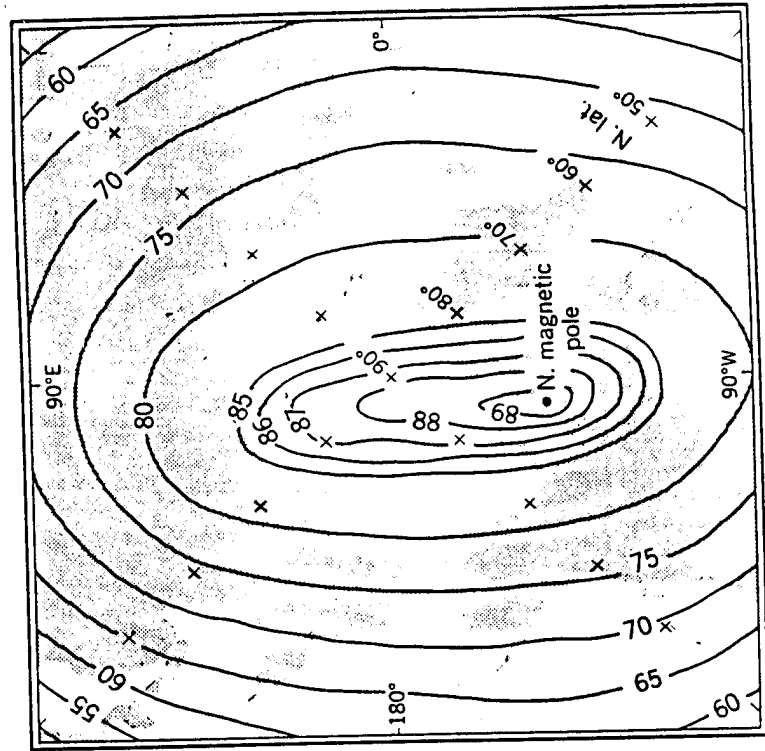


FIGURA 8

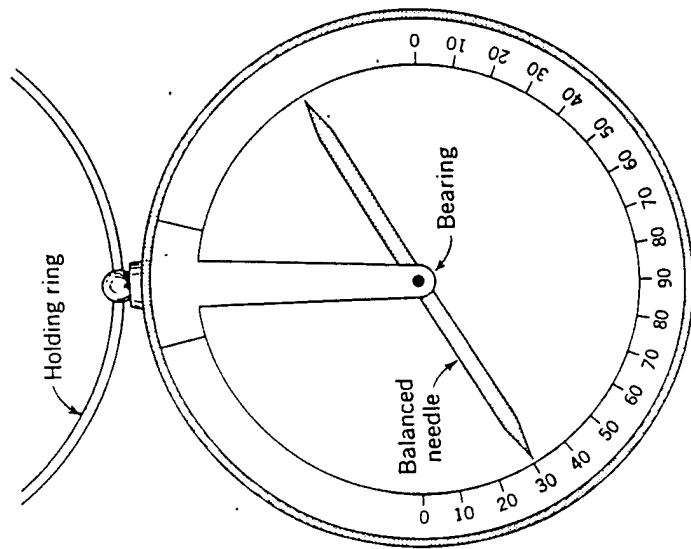


FIGURA 7

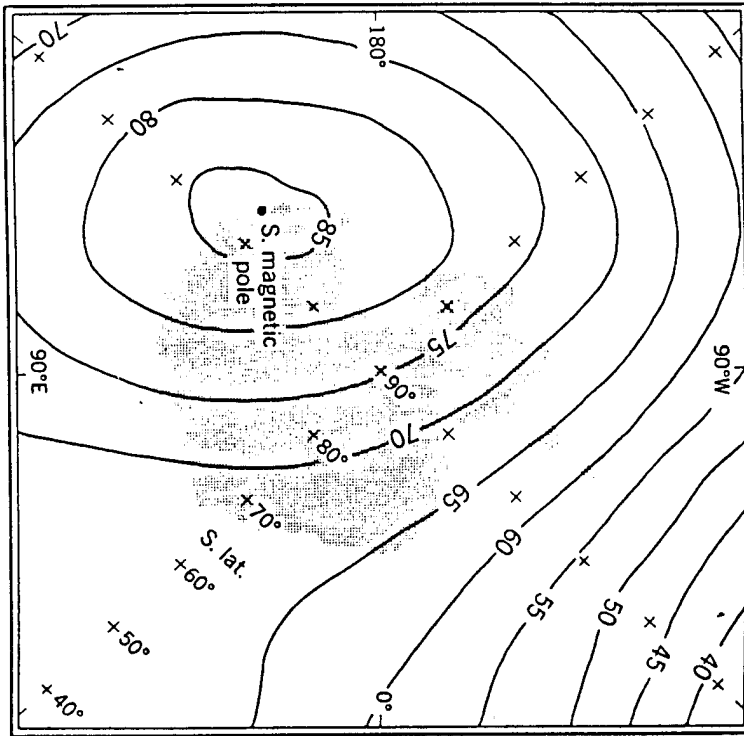


FIGURA 9

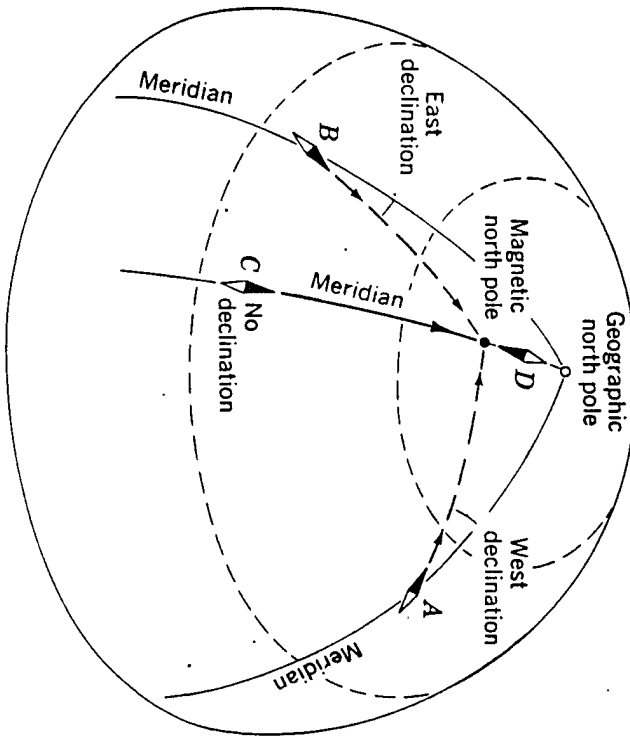


FIGURA 10

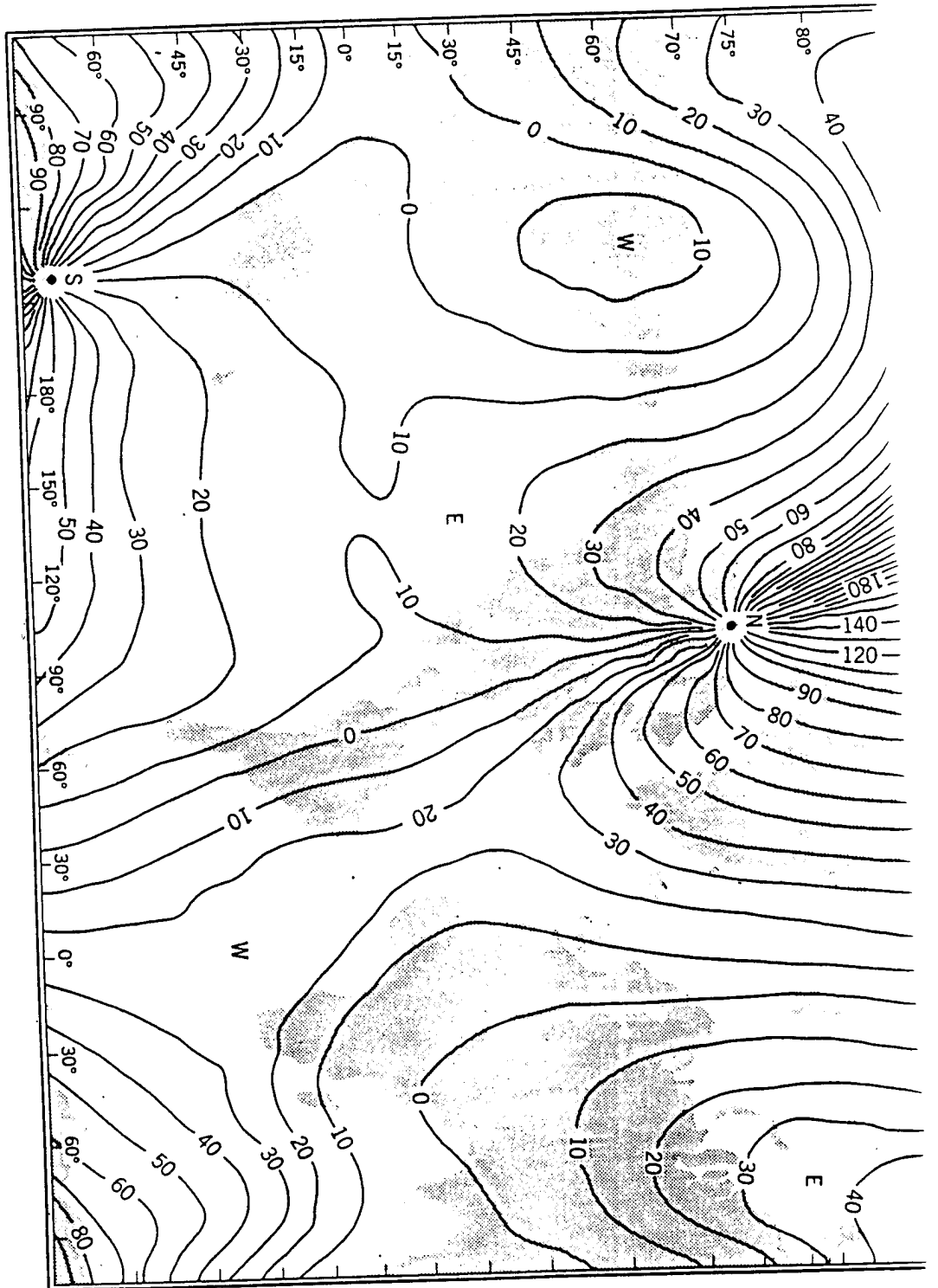


FIGURA 11

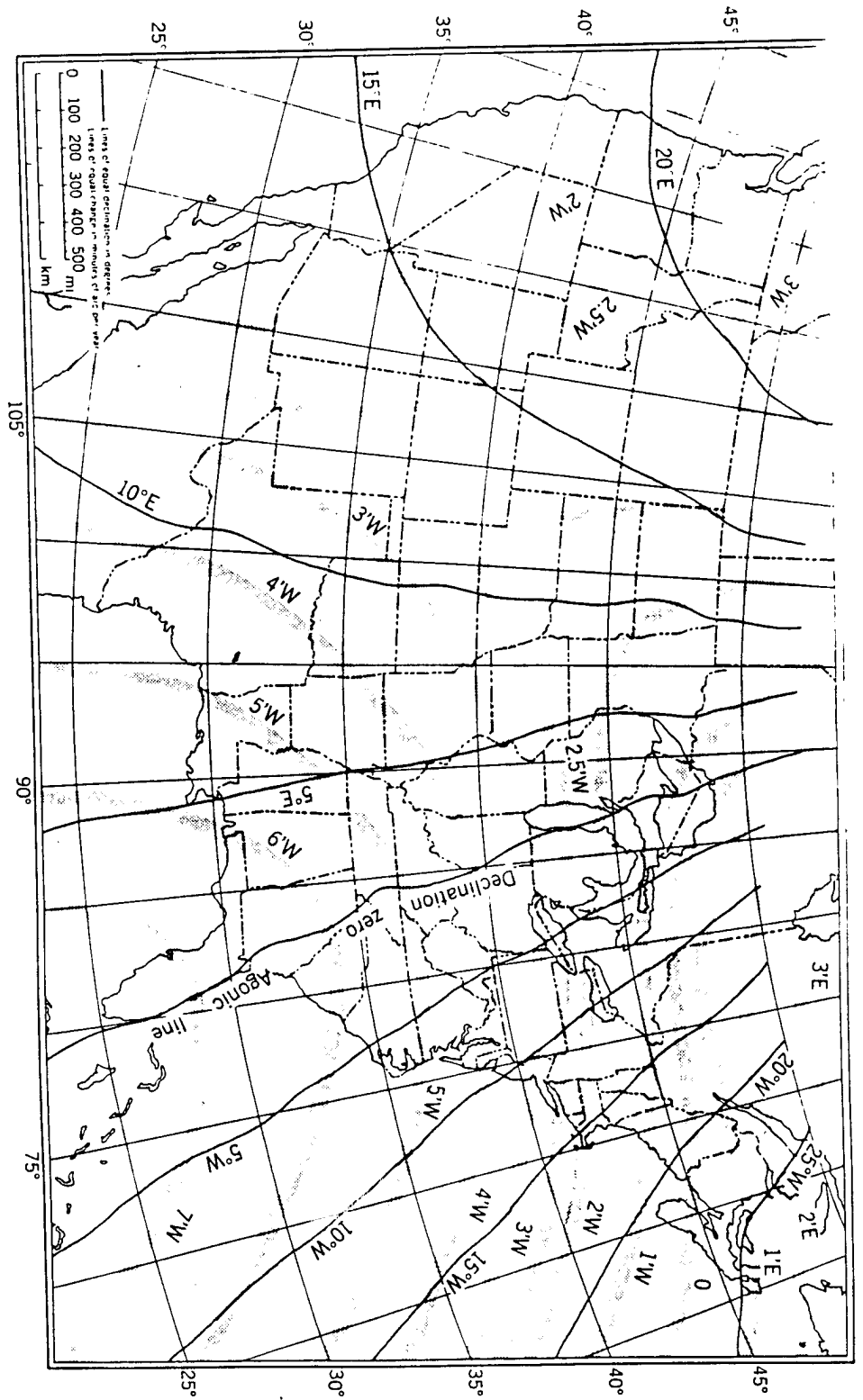


FIGURA 12

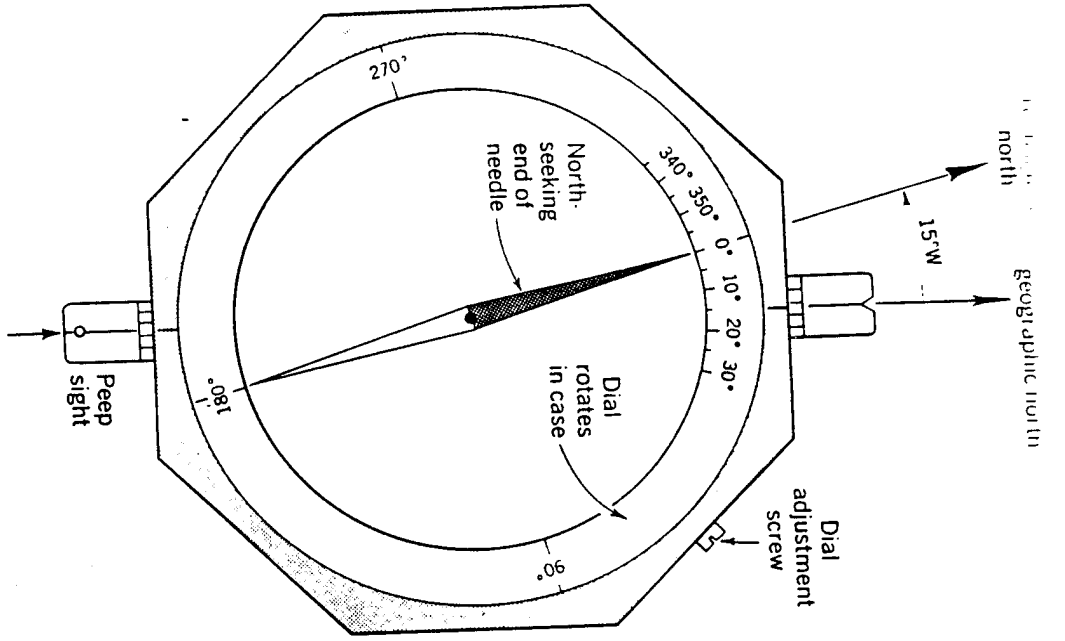


FIGURA 13

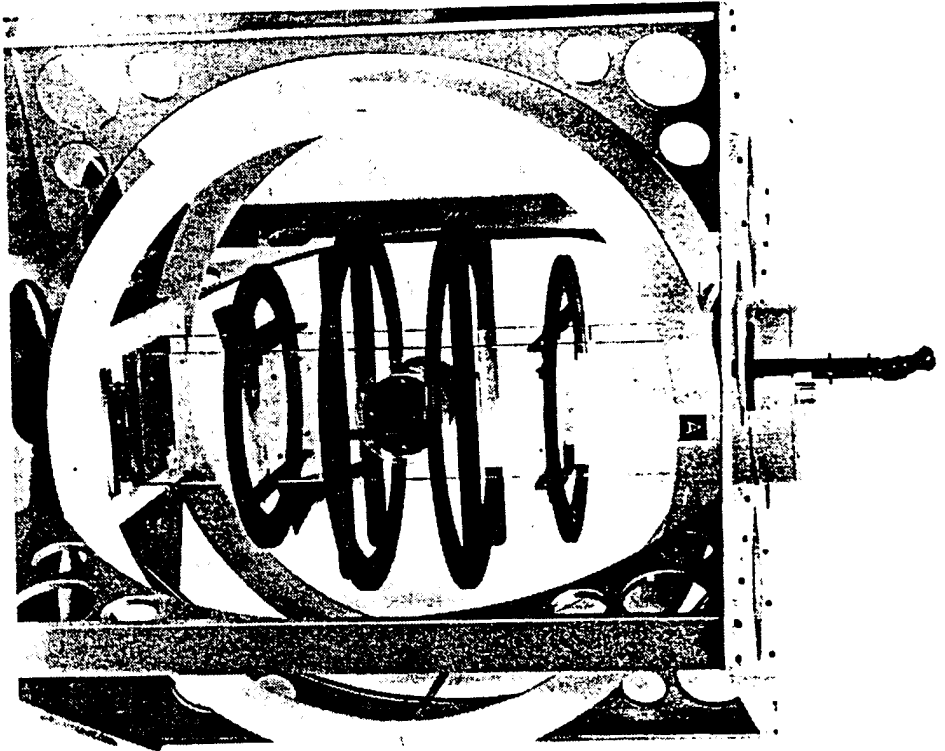


FIGURA 14

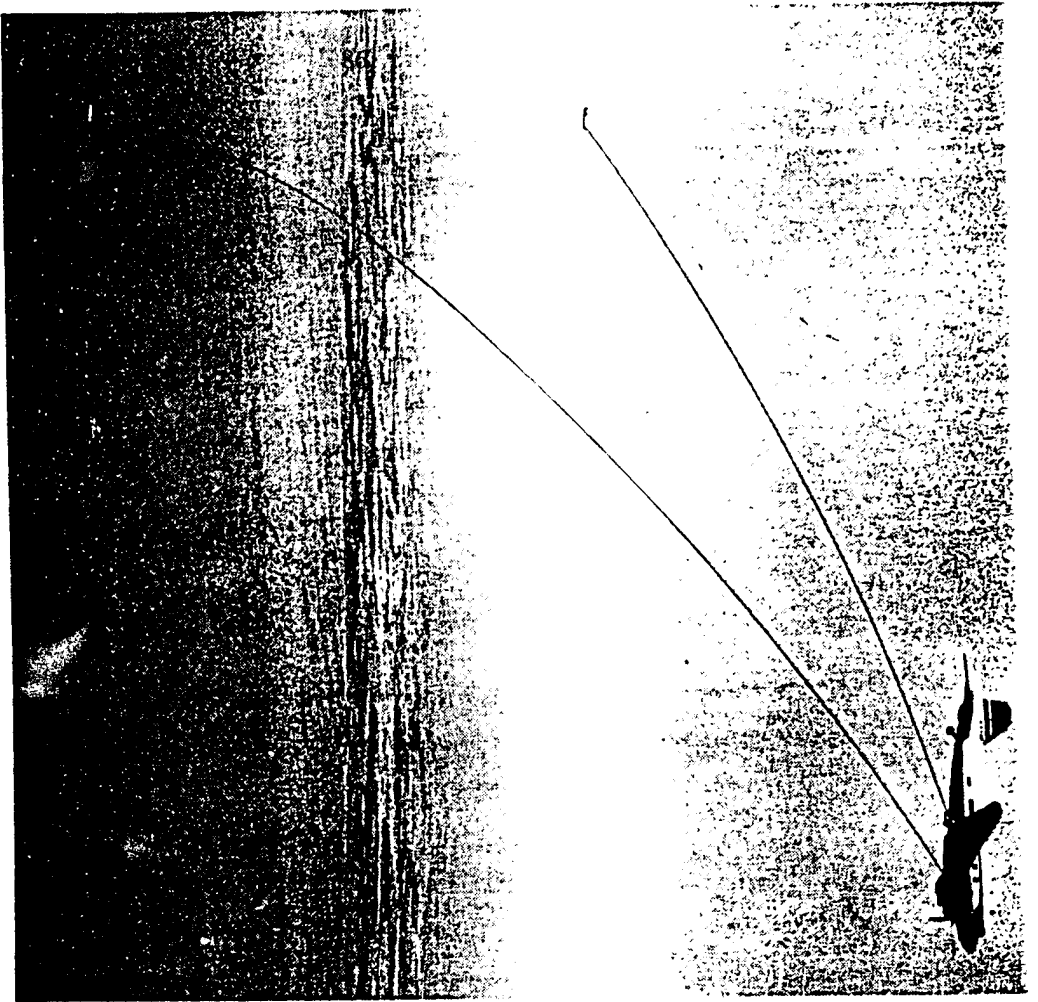


FIGURA 15

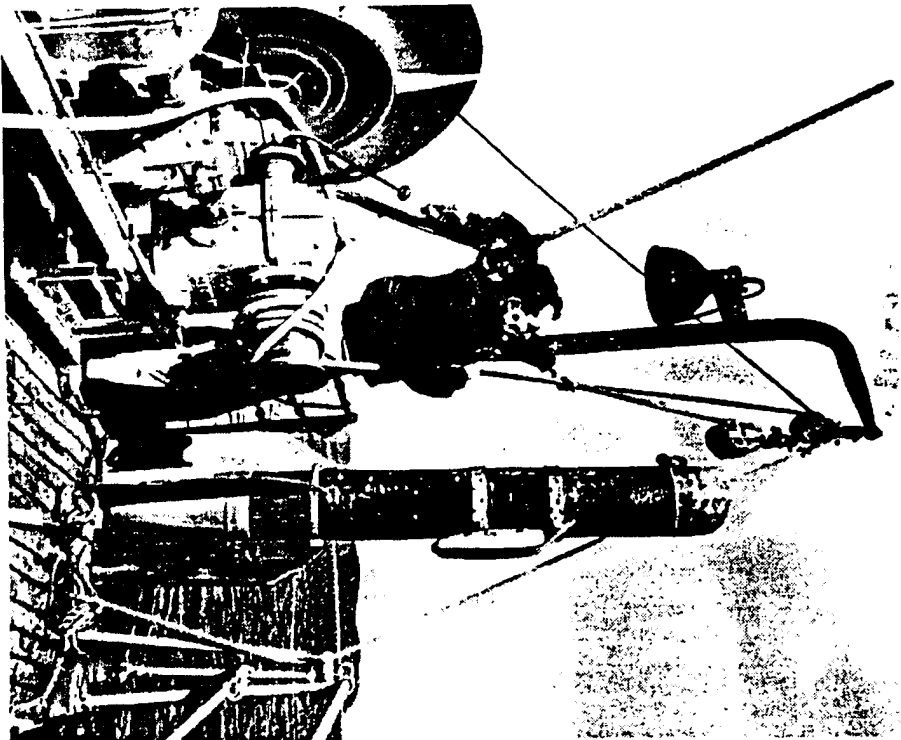


FIGURA 16

APÊNDICE B

FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

KANFILT.FOR

Este programa possui a função de filtrar os dados (em nanoTesla) numa faixa de frequência pré-determinada.

```

PARAMETER (NT=30000)
  DIMENSION TEMPO(NT), X(NT), Y(NT), Z(NT)
  REAL *8 F1, F2
  CHARACTER ARQUIVO*80
  WRITE(*,*) 'Entre com o nome do arquivo:'
  READ(5, '(A)') ARQUIVO
  OPEN(1, FILE='c:\user\costa\fil\'//ARQUIVO)
  OPEN(2, FILE='c:\user\costa\edi\'//ARQUIVO)
  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 I=1, NA
    READ(1,*) TEMPO(I), X(I), Y(I), Z(I)
  END DO
  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(2, '(F11.5, 1X, 3(F12.5, 1X))') TEMPO(I), X(I), Y(I), Z(I)
  END DO
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 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
C 2   FORMAT(' -S PLANE POLES ARE AT: ', '/' ', 8(/' ', E12.6, '+1', 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
C 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
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

      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

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


RFDSHINO.C

Este programa lê e transforma os dados binários (componentes H, D e Z magnéticas), coletados, em nanoTesla.

```

/* ----- Program rfdshino.c (version 1.10) ----- */

#include <stdio.h>
#include <process.h>

/* ----- Subroutines in this program ----- */

extern void displayinfo(char *readfile);
extern void readinfo(char *readfile, char *station, int *year, int *month,
                    int *day, int *lt, int *dt, double *sensitivity);
extern void readmagdata(char *readfile, int *h, int *d, int *z,
                       int *basevalue);
extern void findmagdataposition(FILE *fp);
extern void calcbasevalue(FILE *fp, int *basevalue);

/* ----- 1991/June/25, M. Shinohara ----- */

void main(void)
/*-----+-----*/
|
|   Sample program to read J-format magnetic data file.
|
|   This program reads up to 10 data files (10 days) and displays the
|   data in each 3 minutes. Data file name is written in the program.
|
|   This program is compiled by MS-C (MicroSoft C) version 5.10. The
|   standard functions of C language are used in the program so that
|   another C compiler may also be used. The "Large memory model"
|   should be used for compiling this program.
|
|   Sample program version 1.0, 1991/June/25, M. Shinohara.
|   Implementation: S.L.G. Dutra & N.B. Trivedi, 1991/Nov/1.
|
|   12-08-94 - Modified to read up to 10 generic data files.
|
|-----+-----*/

{ static int h[28800], d[28800], z[28800]; /* data area magnetic value */
  int basevalue[3]; /* basevalue */
  static char readfile[60]; /* 9 days file name */
  static char *FNum[]={"first", "second", "third", "fourth", "fifth",
                      "sixth", "seventh", "eighth", "ninth", "tenth"};
  int i, j, hour, min, NDias=10, sec;

  basevalue[0]=0; /* initialize basevalue */
  basevalue[1]=0;
  basevalue[2]=0;

  for(i=0; i<NDias; i++)
  { printf("\nEnter name of %s data file (CTRL-C to stop): ", FNum[i]);
    gets(readfile);
    displayinfo(readfile); /* display information part */
    readmagdata(readfile, h, d, z, basevalue); /* read magnetic data */

    for(j=0; j<28800; j=j+20) /* output example to magnetic data */
      /* this example display time and */
      /* magnetic data each 3 minutes */
      { hour=j/1200; /* hour */
        min=(j%1200)/20; /* minute */
      }
  }
}

```

```

        sec=((j%1200)%20)*3;
        printf("%2d:%2d:%2d -> H=%8d   D=%8d   Z=%8d\n",    /* second */
              hour,min,sec,h[j],d[j],z[j]);
        }
    }
    printf("\n");
}

void displayinfo(char *readfile)
/*-----+
|   Subroutine to display information part.
|   char *readfile ---> pointer of string of data file name
|
|   1991/June/25, M. Shinohara.
|   Implementation: S.L.G. Dutra & N.B. Trivedi, 1991/Nov/1.
|
|-----*/
{
    double sensitivity[3];
    char station[8];
    int year,month,day;
    int ltime,dt;

    readinfo(readfile,station,&year,&month,&day,    /* read information */
             &ltime,&dt,sensitivity);             /* part */
    printf("\n station = %8d \n",station);
    printf(" date      = %4d / %2d / %2d \n",year,month,day);
    printf(" local time    = %4d hour\n",ltime);
    printf(" sampling rate = %4d sec \n",dt);
    printf(" sensitivity  ");
    printf("      H=%8lf",sensitivity[0]);
    printf("      D=%8lf",sensitivity[1]);
    printf("      Z=%8lf\n",sensitivity[2]);
    return;
}

void readinfo(char *readfile,char *station,int *year,int *month,
              int *day,int *ltime,int *dt,double *sensitivity)
/*-----+
|   Subroutine to read information part.
|   Pointer parameter:
|   char *readfile      - string of data file name
|   char *station       - data area of station name
|   int *year           - data area of year
|   int *month          - data area of month
|   int *day            - data area of day
|   int *ltime          - data area of local time
|   int *dt             - data area of sampling rate
|   double *sensitivity - data array of sensitivity
|
|   1991/June/25, M. Shinohara.
|   Implementation: S.L.G. Dutra & N.B. Trivedi, 1991/Nov/1.
|
|-----*/
{
    FILE *fp;
    fp=fopen(readfile,"rt");
    if(fp==NULL)
    { printf(" I can't find data file '%s' !\n",readfile);
      exit(0);
    }
    fscanf(fp,"%s",station);
    fscanf(fp,"%d %d %d",year,month,day);
    fscanf(fp,"\r\n LT= %d DT= %d INT",ltime,dt);
}

```

```

fscanf(fp, "\r\n H= %le D= %le Z= %le",
        sensitivity+1, sensitivity+2);
fclose(fp);
return;
}

void readmagdata(char *readfile, int *h, int *d, int *z,
                 int *basevalue)
/*-----+
|
|   Subroutine to read magnetic data part.
|   Pointer parameter:
|   char *readfile - string of data file name
|   int *h         - data array of H component
|   int *d         - data array of D component
|   int *z         - data array of Z component
|   int *basevalue - data array of basevalue
|
|   1991/June/25, M. Shinohara.
|   Implementation: S.L.G. Dutra & N.B. Trivedi, 1991/Nov/1.
|
|-----+*/
{
    FILE *fp;
    static int databuffer[3600];
    int i, j, k;

    fp=fopen(readfile, "rb");                /* open data file */
    if(fp==NULL)                             /* when can't find data file */
    { printf(" I can't find data file '%s' !\n", readfile);
      exit(0);
    }
    findmagdataposition(fp);                 /* find start position of magnetic tape */
    calcbasevalue(fp, basevalue);           /* calculate today's basevalue */
    for(i=0; i<24; ++i)                     /* read and calculate magnetic */
        /* data of each component */
    { fread((char *)databuffer, 2, 3600, fp); /* read 1 hour data */
      for(j=0; j<3600; j=j+3)                /* calculate each component */
      { k=i*1200+j/3;
        h[k]=databuffer[j+0]+basevalue[0];
        d[k]=databuffer[j+1]+basevalue[1];
        z[k]=databuffer[j+2]+basevalue[2];
      }
    }
    fclose(fp);                             /* close data file */
    return;
}

void findmagdataposition(FILE *fp)
/*-----+
|
|   Subroutine to find start position of magnetic data part.
|   Parameter:
|   FILE *fp - file pointer of data file
|
|   1991/June/25, M. Shinohara.
|   Implementation: S.L.G. Dutra & N.B. Trivedi, 1991/Nov/1.
|
|-----+*/
{
    int data;

    rewind(fp);
    do /* find end code of information part (001a hex) */
    { fread((char *)&data, 2, 1, fp);

```

```

    } while(data!=(int)0x1a);
    return;
}

```

```

void calcbasevalue(FILE *fp,int *basevalue)

```

```

/*-----
|
| Subroutine to read linkdata and to calculate today's basevalue.
| Parameter:
| FILE *fp      - file pointer of data file
| (long magdatapos - start position of magnetic data part)
| int *basevalue - pointer of data array of basevalue
|
| 1991/June/25, M. Shinohara.
| Implementation: S.L.G. Dutra & N.B. Trivedi, 1991/Nov/1.
|
|-----*/

```

```

{ int linkdata[3];                                /* linking data */

  fread((char *)linkdata,2,3,fp);                 /* read linkdata */
  printf(" linkvalue  H=%8d  D=%8d  Z=%8d\n",      /* display */
         linkdata[0],linkdata[1],linkdata[2]);    /* linkdata */
  basevalue[0]=basevalue[0]+linkdata[0];          /* calculate today's */
  basevalue[1]=basevalue[1]+linkdata[1];          /* basevalue */
  basevalue[2]=basevalue[2]+linkdata[2];
  printf(" basevalue  H=%8d  D=%8d  Z=%8d\n",      /* display */
         basevalue[0],basevalue[1],basevalue[2]); /* basevalue */
  return;
}

```

JANELAS.FOR

Este programa aplica a FFT nos dados anteriormente filtrados, onde seu resultado é o Espectro de Potência.

```

parameter (NTOT=2000, NTOTH=NTOT/2)
  dimension W(0:NTOT)
  dimension XPOW(NTOTH)
  DIMENSION T(NTOT), X(NTOT), Y(NTOT), Z(NTOT)
  CHARACTER ARQUIVO*80
  WRITE(*,*) 'Entre com o nome do arquivo:'
  READ(5, '(A)') ARQUIVO
  OPEN(1, FILE='c:\user\costa\edi\ '//ARQUIVO)
  open(2, file='C:\user\costa\ '//ARQUIVO)
  write(6,30)
30  format(' O numero de amostras da serie:')
  read(5,*) NA
  write(6,35)
35  format(' Entre com o intervalo de amostragem (seg.):')
  read(5,*) delta
  write(6,50)
50  format(' Entre com o peso (de 1% a 100%)')
  read(5,*) P
  DO I=1,NA
    READ(1,*) T(I),X(I),Y(I),Z(I)
  END DO
  ISW=2
  CALL SPMASK(NA-1, ISW, P, W, S, IERROR)
  IF (IERROR.NE.0) PRINT *, 'ERROR IN PROGRAM'
  SW=0.
  DO I=1,NA
    X(I)=X(I)*W(I-1)
  END DO
  G=REAL(NA/S)
  NTH=NA/2
  FNORM=(1.0/NA)**2
  call REALFT(X,NA,+1)
  XPOW((NTH+1))=(FNORM/4)*G*(X(1)**2+X(2)**2)
  do 110 I=2,NTH
    J=2*I
    XPOW(I)=FNORM*G*(X(J-1)**2+X(J)**2)
110  continue
  DO I=2,NTH
    PER=NA*DELTA/(I-1)
    WRITE(2,*) PER,XPOW(I)
  END DO
  END

SUBROUTINE four1(data,nn,isign)
  INTEGER isign,nn
  REAL data(2*nn)
  INTEGER i,istep,j,m,mmax,n
  REAL tempi,tempr
  DOUBLE PRECISION theta,wi,wpi,wpr,wr,wtemp
  n=2*nn
  j=1
  do 11 i=1,n,2
    if(j.gt.i)then
      tempr=data(j)
      tempi=data(j+1)

```

```

        data(j)=data(i)
        data(j+1)=data(i+1)
        data(i)=tempr
        data(i+1)=temp1
    endif
    m=n/2
1   if ((m.ge.2).and.(j.gt.m)) then
        j=j-m
        m=m/2
        goto 1
    endif
    j=j+m
11  continue
    mmax=2
2   if (n.gt.mmax) then
        istep=2*mmax
        theta=6.28318530717959d0/(isign*mmax)
        wpr=-2.d0*sin(0.5d0*theta)**2
        wpi=sin(theta)
        wr=1.d0
        wi=0.d0
        do 13 m=1,mmax,2
            do 12 i=m,n,istep
                j=i+mmax
                tempr=sngl(wr)*data(j)-sngl(wi)*data(j+1)
                temp1=sngl(wr)*data(j+1)+sngl(wi)*data(j)
                data(j)=data(i)-tempr
                data(j+1)=data(i+1)-temp1
                data(i)=data(i)+tempr
                data(i+1)=data(i+1)+temp1
12         continue
                wtemp=wr
                wr=wr*wpr-wi*wpi+wr
                wi=wi*wpr+wtemp*wpi+wi
13         continue
            mmax=istep
        goto 2
    endif
    return
    END
C (C) Copr. 1986-92 Numerical Recipes Software !D-U31..

```

```

SUBROUTINE realft(data,n,isign)
INTEGER isign,n
REAL data(n)
CU  USES four1
    INTEGER i,i1,i2,i3,i4,n2p3
    REAL c1,c2,h1i,h1r,h2i,h2r,wis,wrs
    DOUBLE PRECISION theta,wi,wpi,wpr,wr,wtemp
    theta=3.141592653589793d0/dble(n/2)
    c1=0.5
    if (isign.eq.1) then
        c2=-0.5
        call four1(data,n/2,+1)
    else
        c2=0.5
        theta=-theta
    endif
    wpr=-2.0d0*sin(0.5d0*theta)**2
    wpi=sin(theta)

```

```

wr=1.0d0+wpr
wi=wpi
n2p3=n+3
do 11 i=2,n/4
  i1=2*i-1
  i2=i1+1
  i3=n2p3-i2
  i4=i3+1
  wrs=sngl(wr)
  wis=sngl(wi)
  hlr=c1*(data(i1)+data(i3))
  hli=c1*(data(i2)-data(i4))
  h2r=-c2*(data(i2)+data(i4))
  h2i=c2*(data(i1)-data(i3))
  data(i1)=hlr+wrs*h2r-wis*h2i
  data(i2)=hli+wrs*h2i+wis*h2r
  data(i3)=hlr-wrs*h2r+wis*h2i
  data(i4)=-hli+wrs*h2i+wis*h2r
  wtemp=wr
  wr=wr*wpr-wi*wpi+wr
  wi=wi*wpr+wtemp*wpi+wi
11 continue
if (isign.eq.1) then
  hlr=data(1)
  data(1)=hlr+data(2)
  data(2)=hlr-data(2)
else
  hlr=data(1)
  data(1)=c1*(hlr+data(2))
  data(2)=c1*(hlr-data(2))
  call four1(data,n/2,-1)
endif
return
END
C-
C-*****
C-
SUBROUTINE SPMASK(LX,ITYPE,P,W,TSV,IERROR)
C-
C-ROTINA CRIADA POR ADEMILSON ZANANDREA EM 17/09/96
C-
C
C    Calculates several data window function for Fourier Analysis.
C
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-
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.
C      DIMENSION X(0:LX),W(0:LX)
C      DIMENSION W(0:LX)
C      IERROR=1
C      IF(ITYPE.LT.1.OR.ITYPE.GT.9) RETURN
C      TSV=0.
C      DO 1 K=0,LX
C          W(K)=SPWND0(ITYPE,LX+1,P,K)
C      X(K)=X(K)*W(K)
C      TSV=TSV+W(K)*W(K)
1 CONTINUE
IERROR=0
RETURN
END

C-
C-*****
C-
C-      FUNCTION SPWND0(ITYPE,N,P,K)
C-
C-      C-ROTINA CRIADA POR ADEMILSON ZANANDREA EM 17/09/96
C-
C-      C-THIS FUNCTION GENERATES A SINGLE SAMPLE OF A DATA WINDOW.
C-      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-      C-N=SIZE (TOTAL NO. SAMPLES) OF WINDOW.
C-      C-K=SAMPLE NUMBER WITHIN WINDOW, FROM 0 THROUGH N-1.
C-      (IF K IS OUTSIDE THIS RANGE, SPWND0 IS SET TO 0.)
C-      PI=4.*ATAN(1.)
C-      SPWND0=0.
C-      IF(ITYPE.LT.1.OR.ITYPE.GT.9) RETURN
C-      IF(K.LT.0.OR.K.GE.N) RETURN
C-      SPWND0=1.
C-      L=INT((N-2)*((P/2)/100))
C-      IF(K.LE.L) KK=K
C-      IF(K.GT.N-L-2) KK=N-K-1
C-      LL=2*L+1
C-      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

```