

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE K NA ATIVIDADE GEOMAGNÉTICA ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE UM FILTRO DE FREQUÊNCIA

N.A.B. Seixas, I. Figueiredo e S.L. Fontes

CNPq - Observatório Nacional - Departamento de Geofísica
Rua General José Cristino, 77, São Cristóvão,
Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Neste trabalho propõe-se um procedimento de determinação computacional do índice K, em substituição ao procedimento clássico, realizado manualmente. Ele é baseado na aplicação de um filtro passa-baixa de Butterworth aos dados da atividade geomagnética registrada diariamente, sendo a frequência de corte do filtro variável e inversamente proporcional à amplitude pico-a-pico do campo. O procedimento foi testado nos observatórios magnéticos de Vassouras (VSS, lat = -22.4° , long = 316.3° , Brasil) e Sodankyla (SOD, lat = $+67.4^\circ$, long = 26.6° , Finlândia) em períodos correspondentes a dez meses e a um ano de registro contínuo, respectivamente. Sua eficiência é avaliada através da concordância existente entre as determinações computacional e manual do índice K ($K_{comp.} - K_{manual}$). A concordância absoluta ($K_{comp.} - K_{manual} = 0$) atinge, ao longo dos referidos períodos, a média de 90% em VSS e 83% em SOD. Dentro do intervalo de tolerância de ± 1 esta média é de 100% em VSS e 99.6% em SOD.

DETERMINATION OF THE K INDEX OF GEOMAGNETIC ACTIVITY THROUGH A FREQUENCY FILTERING TECHNIQUE *A method for computational estimation of the k-index as a replacement for the classical manual procedure is proposed. The method is based on the application of a low-pass Butterworth filter to the daily geomagnetic variation recorded in magnetic observatories. The filter cut-off frequency is made variable and inversely proportional to the peak-to-peak amplitude of the field. The method was applied to both Vassouras (VSS, lat = -22.4° , long = 316.3° , Brazil) and Sodankyla (SOD, lat = $+67.4^\circ$, long = 26.6° , Finland) observatories, for ten months and one year data periods, respectively. The method efficiency is evaluated by the agreement between the computational and hand estimations of K-index ($K_{comp.} - K_{hand}$). VSS observatory reached 90% of absolute agreement ($K_{comp.} - K_{hand} = 0$), while SOD observatory yielded 83%. When considering a tolerance interval of ± 1 ($:K_{comp.} - K_{hand}: \leq 1$), the agreement reached 100% in VSS and 99.6% in SOD.*

INTRODUÇÃO

O índice K é um parâmetro que tem por finalidade medir a atividade "irregular" do campo magnético terrestre. Introduzido por Bartels et al. (1939) e adotado pela IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy) no mesmo ano, atribui para cada intervalo de 3 horas de registro um valor adimensional entre 0 e 9 em função da amplitude da atividade geomagnética superposta à variação diurna regular S_R nas componentes horizontais (H e D ou X e Y) do campo. A componente vertical (Z) não é considerada por estar mais sujeita à perturbações locais. O índice K mede, essencialmente, as flutuações do campo que são irregulares em forma, duração (desde alguns minutos até horas) e amplitude. Poucas destas variações possuem qualquer classificação, com exceção das baías e começo súbito. A IAGA recomenda que todos os observatórios publiquem índices K, especialmente nas regiões onde a densidade de observatórios magnéticos é reduzida. Um estudo completo sobre o assunto pode ser encontrado em Mayaud (1967, 1980).

A importância deste índice deve-se principalmente ao fato de fornecer um meio rápido de avaliar a atividade geomagnética em um determinado local e período, sem a necessidade de consultar o registro. Isto permite a seleção de dias com características particulares do campo que são adequadas a diversos estudos geofísicos. Tais estudos envolvem basicamente a interação Sol-Terra, pesquisas ionosféricas, magnetosféricas e de indução magnética no interior da Terra.

Até bem recentemente o índice K era determinado a partir de registros analógicos (magnetogramas), utilizando-se escalas manuais e analistas experientes. A importância do analista é grande, pois cabe a ele definir a variação S_R utilizada como referência para a determinação do índice. Com a crescente automação dos instrumentos da medida tornou-se necessário introduzir um procedimento mais mo-

derno, que seja totalmente computacional e o menos subjetivo possível, de forma a permitir uma melhor comparação entre os diversos observatórios do mundo. Além disto, o procedimento computacional não deve inserir modificações nos fundamentos da determinação do índice K para a não comprometer a série histórica já existente. De fato, o tema é bastante atual e uma evidência do interesse despertado pelo assunto é o expressivo número de publicações recentes. Dentre elas podem ser citadas Jankowski et al. (1988), que abordam dois métodos: um em que a variação S_R é obtida pela combinação de dois filtros passa-baixa e outro em que utiliza uma variação S_R padrão. Hatting et al. (1989) descrevem o método de suavização robusta não-linear de fase linear baseado em um filtro adaptativo. Pirjola et al. (1989) apresentam o método de eliminação linear baseado em médias do campo registrado. Golovkov et al. (1989) aplicam o método das componentes ortogonalmente naturais para determinar S_R . Nowozynski et al. (1991) propõem o método suavização adaptativa no qual a variação S_R é obtida através da aplicação de mínimos quadrados. Todos estes métodos pretendem eliminar a subjetividade na determinação de K, utilizando por vezes artifícios sofisticados, porém não se preocupando em considerar como o analista define S_R .

O procedimento computacional aqui apresentado foi inicialmente desenvolvido para ser aplicado aos dados do Observatório Magnético de Vassouras (VSS, Vassouras-RJ). Neste observatório o procedimento manual restringia-se ao chamado índice K simplificado, que consistia em classificar cada intervalo de 3 horas de registro como magneticamente calmo (Q), cujos valores na escala estavam compreendidos entre 0 e 2, magneticamente moderado (M), com valores 3 e 4, e magneticamente perturbado (P), maior ou igual a 5. Julgou-se conveniente testá-lo também em dados de outro observatório, particularmente em algum situado numa latitude bem distinta de VSS. Foi escolhido o observatório de Sodankyla (SOD), na

Finlândia, onde o índice K é determinado diretamente pelo seu valor na escala de 0 a 9 em cada intervalo de 3 horas.

METODOLOGIA

Para cada componente, em cada intervalo de 3 horas, determina-se o valor máximo da atividade geomagnética superposta à variação S_R . A Fig. 1 exemplifica a estimativa manual do índice K para uma componente H hipotética. A amplitude a_H mostrada na figura é enquadrada na escala com o valor $K=3$.

A determinação computacional do índice K baseia-se nas etapas apresentadas no diagrama da Fig. 2.

A crítica dos dados consiste na rejeição dos dias onde H e D ou X e Y contenham picos anômalos, geralmente resultantes da digitalização dos dados. Quando a diferença entre dois valores consecutivos do campo excede o dobro do valor da escala associado ao índice $K=9$ para o observatório estudado, o dia não é processado. No caso de Vassouras, o valor da escala para $K=9$ é 600 nT. Logo, o intervalo de tolerância para consideração (ou não) de picos anômalos é 1200 nT. Com este critério, o aproveitamento dos dados representa, em média, 90% do total existente.

O nível de base (nível DC) é removido através da subtração da média de cada dia, realizando-se em seguida a Transformada de Fourier (FFT). Existem inúmeras rotinas computacionais de FFT na literatura. Neste trabalho foi utilizada a descrita em Claerbout (1976).

A determinação da frequência de corte do filtro é a etapa mais importante de todo o procedimento computacional e será tratada em detalhe nos resultados. O processo de filtragem consiste na aplicação de um filtro passa-baixa de Butterworth ao espectro de amplitude do sinal registrado. O filtro é gerado a partir de sua função de transferência.

$$H_1(iw) = \frac{w_c^2}{(w_c^2 - w^2) + i(w w_c d)}, \quad (1)$$

sendo $w = 2 \pi f$, $w_c = 2 \pi f_c$, $d =$ amortecimento e $i = \sqrt{-1}$, com a frequência de corte f_c correspondendo ao nível de -3dB de atenuação. O gradiente do filtro foi escolhido após alguns testes para avaliar a influência deste parâmetro no resultado final. Foram testados valores entre 6 e 36 dB/oitava e o gradiente de 12 dB/oitava, associado à $d=1.414$, mostrou-se o mais eficiente. A Fig. 3 apresenta o espectro de amplitude de $H_1(iw)$ para uma frequência de corte hipotética de 1/200 ciclos por minuto.

As etapas finais consistem na aplicação da FFT inversa, na soma da média retirada anteriormente (nível DC) e na obtenção do resultado que se considera ser a variação S_R da componente naquele dia. Em cada componente e em cada intervalo de 3 horas, o índice K é determinado tomando-se a maior variação a_H da atividade geomagnética superposta à variação S_R . Os resultados são comparados com os determinados manualmente e histogramas desta comparação são então gerados.

RESULTADOS

Determinação da frequência de corte f_c

A primeira abordagem para a escolha de uma frequência de corte do filtro constituiu na utilização de um valor fixo para f_c em cada observatório, correspondente a um dos harmônicos de ordem superior da variação S_R (12h, 8h, 6h, etc.). O resultado obtido foi insatisfatório quando comparado com o índice K manual, com concordância em torno de 60%. Efetivamente, a grande variabilidade do comportamento da atividade geomagnética, até mesmo no decorrer de um dia, sugere que a adoção de uma frequência de corte fixa não é muito conveniente. Tentou-se então a utilização de uma frequência de corte variável, associada ao conteúdo espectral de cada dia de registro, como por exemplo sua energia ou o compor-

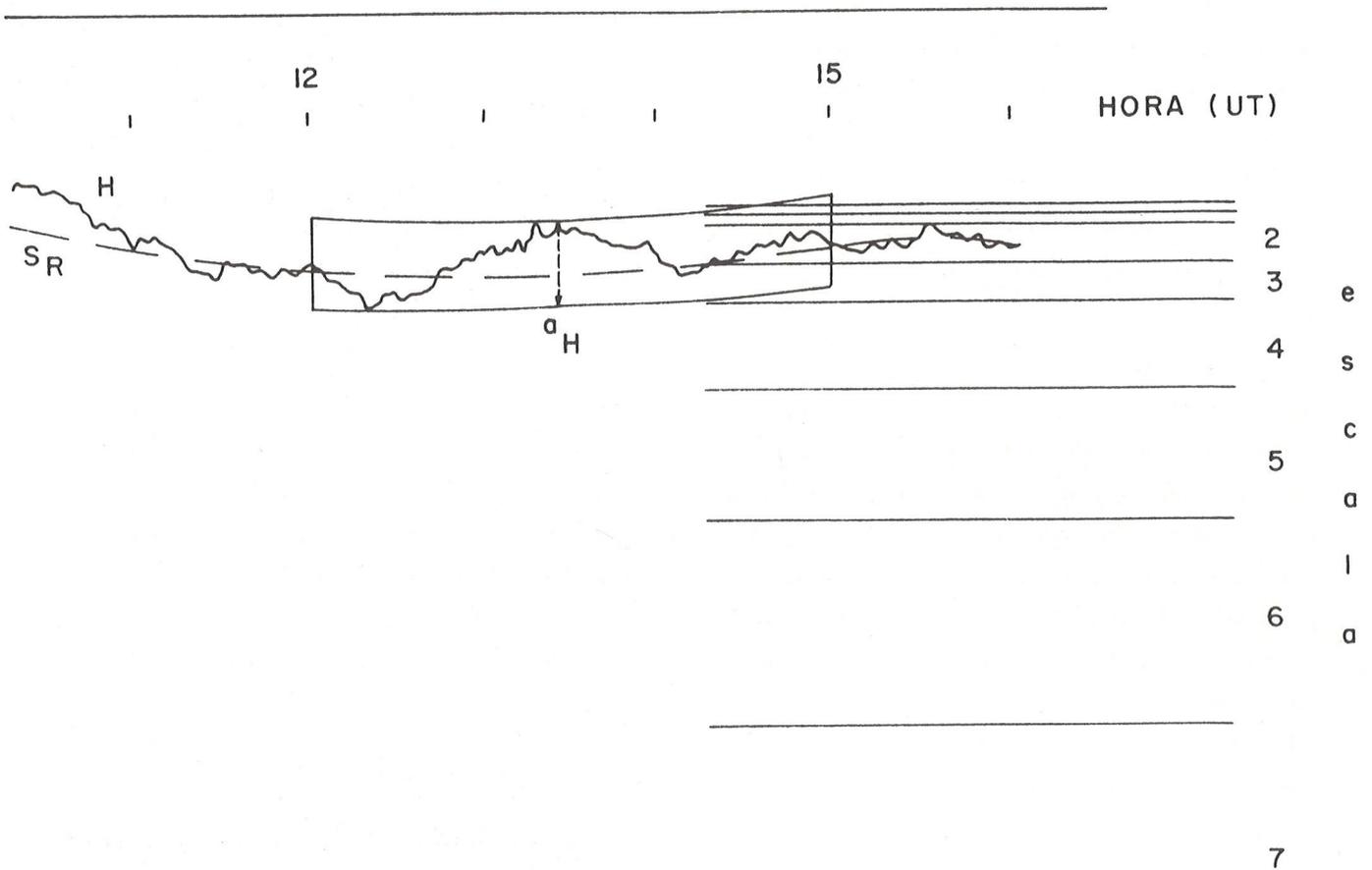


Figura 1. Uso da escala para estimativa manual do índice k em um registro hipotético da componente H. a_H é a amplitude máxima da atividade geomagnética (nT) superposta à variação S_R num dado intervalo de 3 horas.

Manual scaling of K index on a hypothetical record of H component. a_H is the maximum amplitude of the geomagnetic activity at some 3 hours interval.

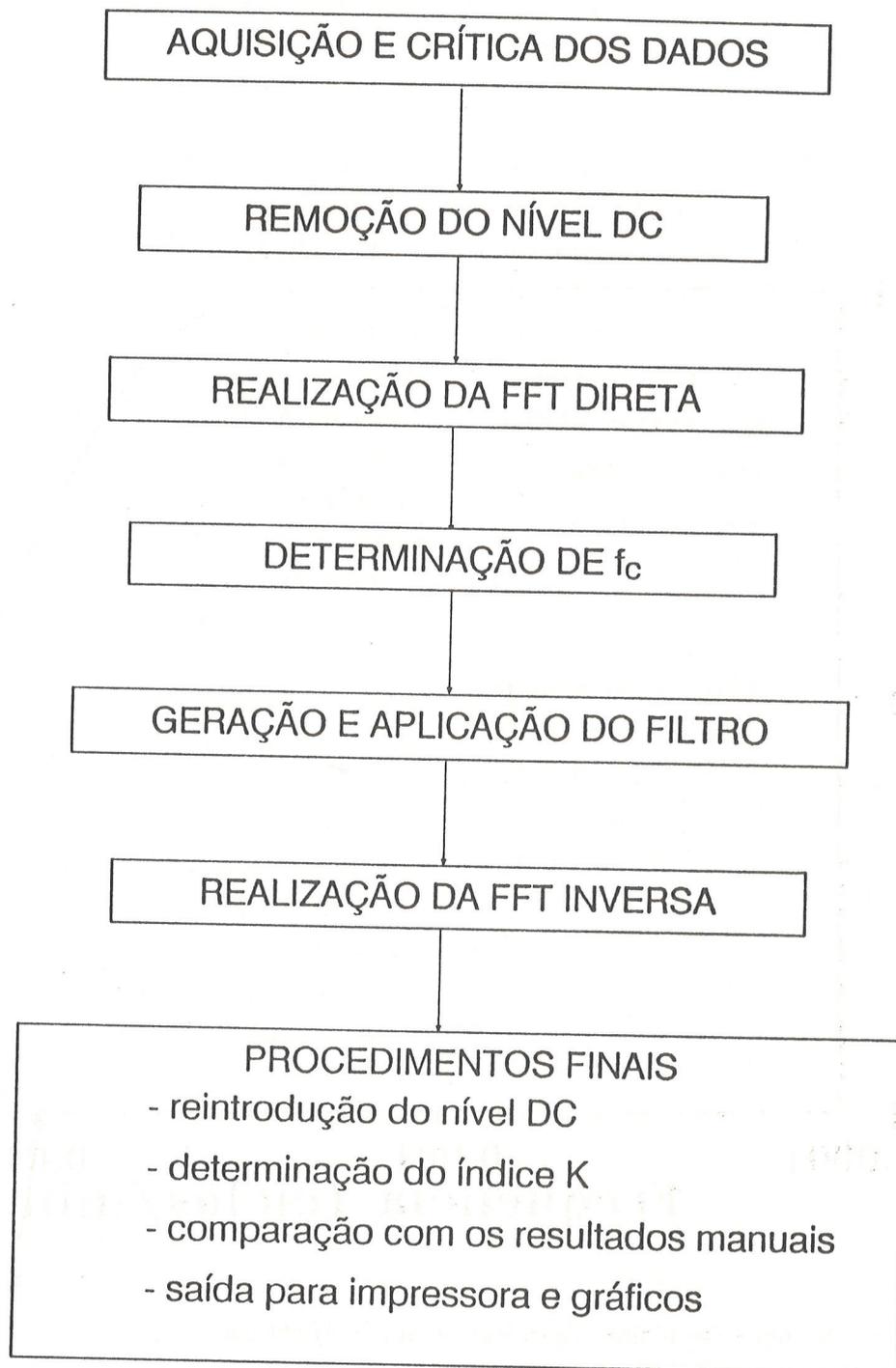


Figura 2. Diagrama de blocos das etapas básicas do processamento dos dados.

Block diagram of basic steps of data processing.

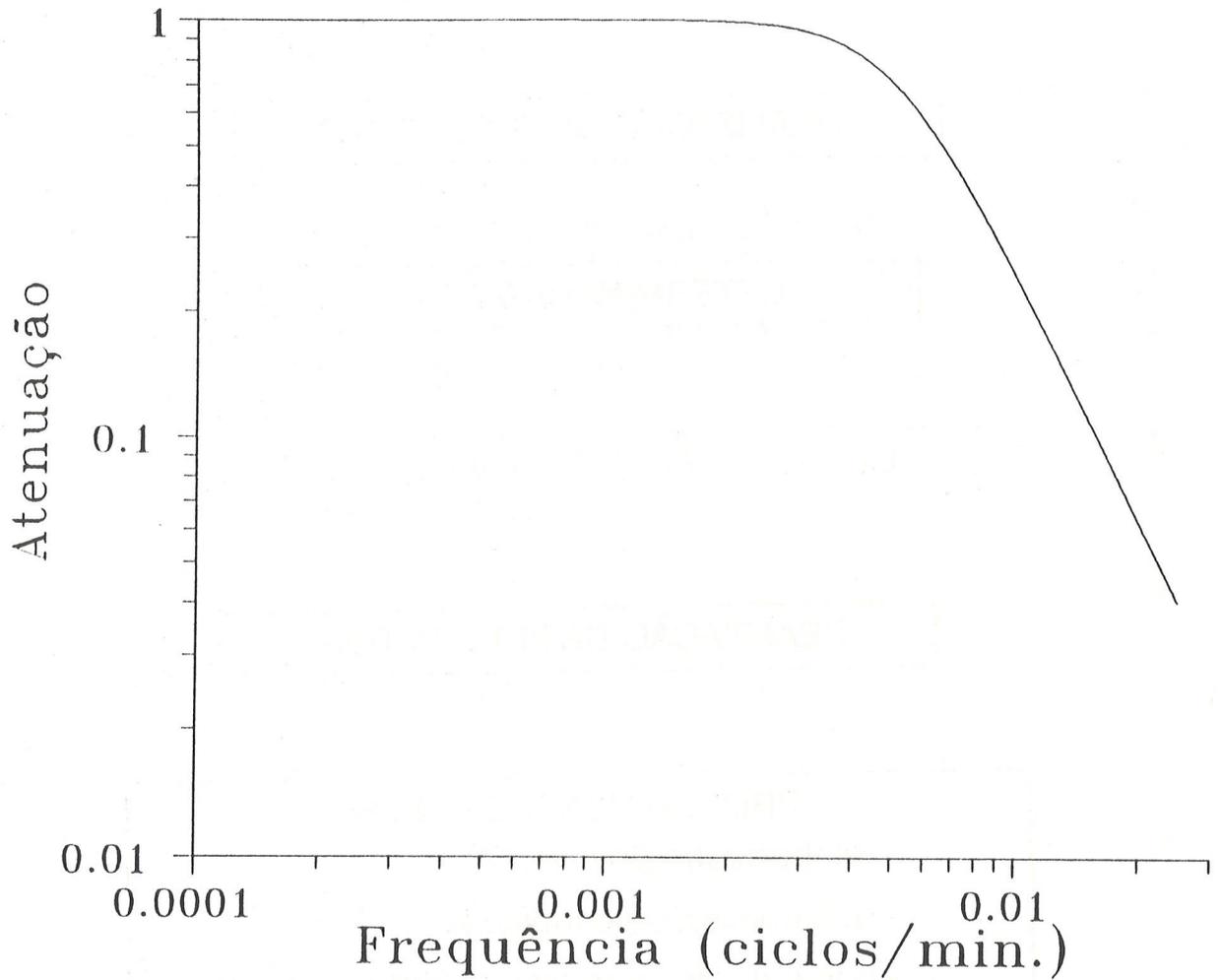


Figura 3. Espectro de amplitude do filtro passa-baixa com $f_c = 1/200$ cpm.

Amplitude spectrum of the low-pass filter using $f_c = 1/200$ cpm.

tamento de seus máximos e mínimos, esperando-se correlacionar tais parâmetros com um possível valor ótimo para f_c . Novamente a confrontação dos resultados mostrou ainda não ser este o procedimento mais adequado, pois o percentual de concordância era apenas um pouco melhor que o obtido com f_c fixa. Estava claro, contudo, que f_c deveria ser variável, atendendo porém ao requisito de reproduzir o mais próximo possível o traçado de S_R feito pelo analista. Verificou-se então que em dias geomagneticamente calmos, o analista, trabalhando manualmente, considera S_R muito próxima do sinal registrado no magnetograma. À medida que há um crescimento na perturbação do campo, sua tendência é suavizar cada vez mais S_R , tornando-se praticamente linear em períodos de tempestades magnéticas. Este procedimento implica que o filtro, atuando no domínio da frequência, deve preservar mais harmônicos do sinal nos dias calmos e menos harmônicos nos dias perturbados. Como os dias de tempestade magnética apresentam amplitudes do campo bem maiores que os dias calmos, é razoável admitir alguma dependência entre a frequência de corte e o inverso da amplitude pico-a-pico da atividade geomagnética, isto é, a frequência de corte do filtro deve ser inversamente proporcional à amplitude pico-a-pico do campo registrado ao longo de um dia. Este procedimento forneceu bons resultados, permitindo assim estabelecer uma constante de proporcionalidade entre ambas as grandezas. A partir da busca de valores ótimos para cada observatório chegou-se, por tentativa e erro, a uma concordância máxima entre o índice K determinado computacionalmente e manualmente. Foi então estabelecida a seguinte relação:

$$f_c = \frac{\delta_{OBS}}{A_{PP}}, \quad (2)$$

sendo δ_{OBS} uma constante de proporcionalidade característica de cada observatório e expressa em unidades de nT/minuto. Seus valores para VSS e SOD são 0.38 e 0.15, respectivamente. A_{PP} é a am-

plitude pico-a-pico da atividade geomagnética registrada ao longo de um dia, expressa em nT. Assim, ficou evidenciado que o comportamento diário da atividade geomagnética é o fator que prioritariamente determina o valor de f_c , cujos períodos associados podem variar desde alguns minutos nos dias calmos, até muitas horas nos dias perturbados. As Figs. 4 e 5 apresentam, respectivamente, o resultado qualitativo da determinação de S_R em VSS obtida com o procedimento computacional em duas situações: um dia considerado calmo e outro considerado perturbado.

Resultados para Vassouras e Sodankylä

Conforme já mencionado, o procedimento computacional não visa alterar os fundamentos do procedimento manual de determinação do índice K. Apenas o substitui. Desta forma, a eficiência do método é avaliada através da simples comparação dos resultados obtidos com ambos os procedimentos em cada intervalo de 3 horas de um dia de registro. Os dados de VSS foram digitalizados numa taxa de 1 ponto/3 minutos, gerando 480 amostras. Como em VSS as variações observadas em H são sempre muito maiores que em D, somente a componente H é considerada para fins de determinação de K. Em SOD a taxa de amostragem foi de 1 ponto/minuto, resultando em 1440 amostras em cada componente por dia.

A maneira de avaliar as concordâncias e discrepâncias entre os resultados merece atenção especialmente em VSS. No procedimento manual deste observatório, cada intervalo é classificado como Q, M ou P. Portanto, tornou-se necessário elaborar o critério apresentado na Tab. 1 para realizar a operação $K_{comp} - K_{manual}$, através da qual são realizadas as comparações. A diferença $K_{comp} - K_{manual}$ varia entre -2 e 2 em VSS, onde $K_{comp} - K_{manual} = 0$ representa a concordância absoluta entre ambos. Neste observatório o resultado atingiu a média de 90% de concordância no período utilizado para teste (janeiro-outubro/79). Na Fig. 6 são apresentados, na forma de histogramas, os resultados para cada mês

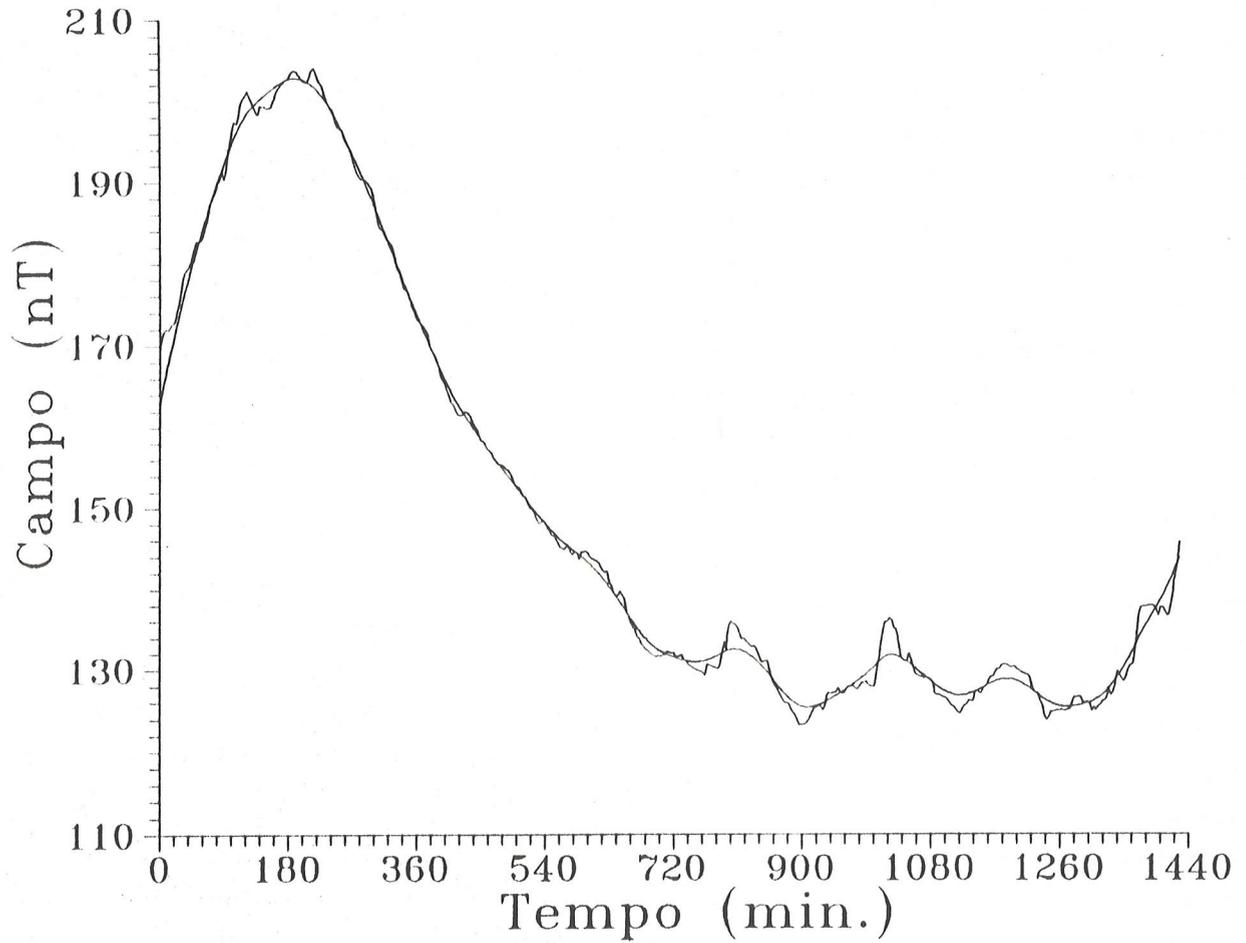


Figura 4. Componente H do sinal registrado e da variação S_R (curva suave) em um dia calmo (01/02/79) no observatório VSS.

H-component of recorded signal and S_R variation (smooth curve) for a geomagnetically quiet day (01/02/79) at VSS observatory.

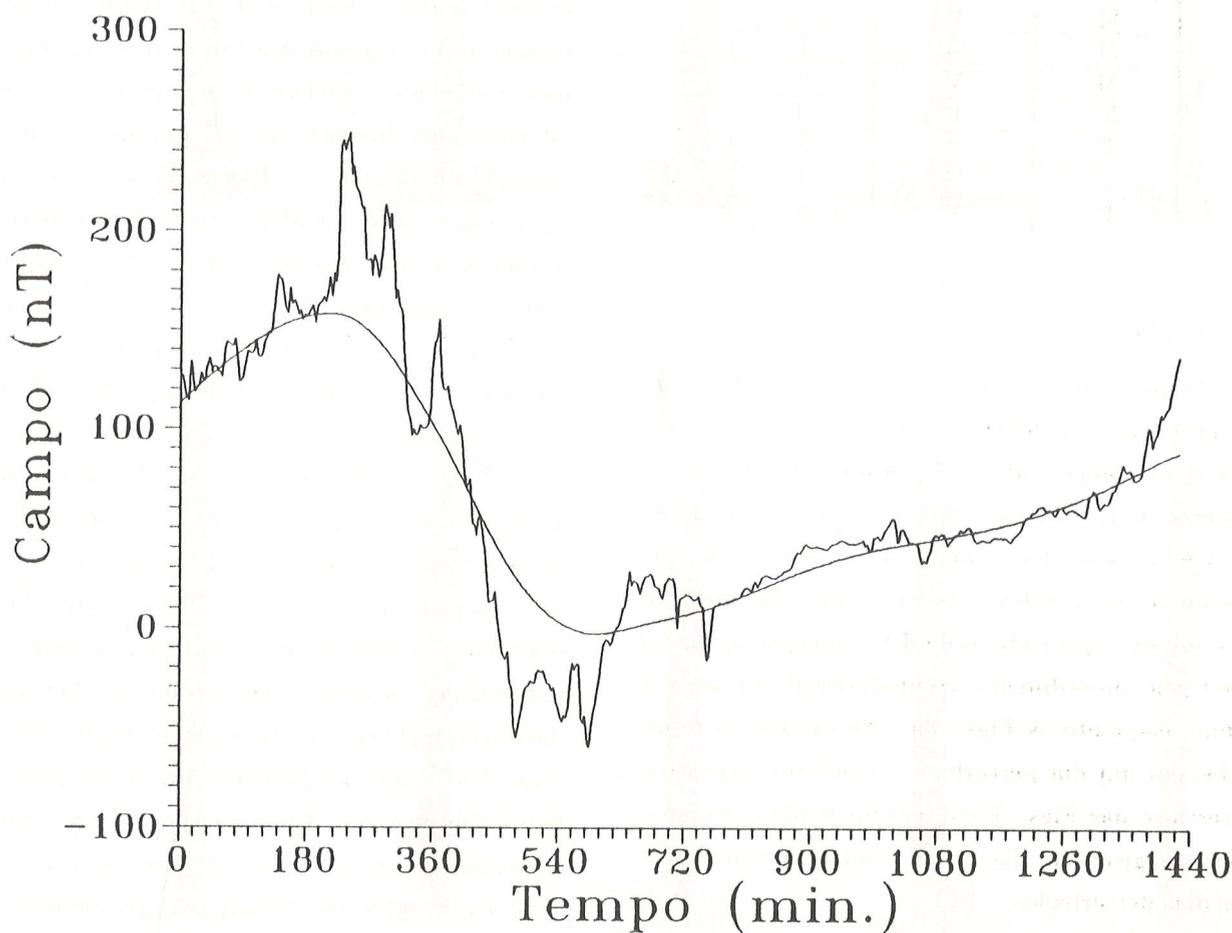


Figura 5. Componente H do sinal registrado e da variação S_R (curva suave) em um dia perturbado (21/02/79) no observatório VSS.

H-component of recorded signal and S_R variation (smooth curve) for a geomagnetically disturbed day (21/02/79) at VSS observatory.

Tabela 1. Critério de comparação dos resultados computacional e manual para o observatório VSS.

Criterion for comparison of automatic and manual procedures at VSS observatory.

K(comp.)	K(manual)	Diferença
Q	Q	0
Q	M	-1
Q	P	-2
M	Q	1
M	M	0
M	P	-1
P	Q	2
P	M	1
P	P	0

do referido período.

O procedimento aplicado em VSS é repetido integralmente em SOD. Neste observatório, porém, ambas as componentes são consideradas na determinação de K. Seu valor final em um dado intervalo de 3 horas será determinado pela componente que possuir o maior índice. As Figs. 7a e 7b mostram os resultados qualitativos da determinação de S_R em SOD pelo procedimento computacional em um dia calmo, enquanto as Figs. 8a e 8b exibem os resultados em um dia perturbado. Conforme esperado, observa-se nas Figs. 7 e 8 que S_R tende a acompanhar o registro no dia calmo e torna-se mais linear nos dias perturbados.

Em SOD, o índice K manual é classificado diretamente pelo seu valor absoluto de escala (0, 1, 2, ... 9), sendo conseqüentemente mais preciso que VSS e mais facilmente comparável com os resultados da determinação computacional. No período de 12 meses utilizados para teste (março/85-fevereiro/86) foi obtida a média de 83% de concordância ($K_{comp.} - K_{manual} = 0$). A Fig. 9 apresenta os histogramas dos resultados para cada mês deste período.

CONCLUSÕES

Na Tab. 2 são apresentados os valores da escala de K para VSS e SOD. Em VSS, por exemplo, quando o analista determina uma diferença de, por exemplo, 11 nT entre as amplitudes da atividade geomagnética registrada e da variação S_R , atribui para aquele intervalo de 3 horas o valor $K=1$. Um outro analista poderia determinar a variação diurna do mesmo magnetograma, ajustando uma curva ligeiramente diferente e poderia encontrar para o mesmo intervalo uma diferença de, por exemplo, 13 nT, resultando no valor $K=2$. Isto pode, inclusive, acontecer com o mesmo analista repetindo a experiência sucessivas vezes. Assim, para fins de confrontação entre os resultados obtidos com os procedimentos computacional e manual, diferenças de até ± 1 são toleráveis na determinação de $K_{comp.} - K_{manual}$ (Pirjola et al., 1989; Jankowski et al., 1988). Sucksdorff et al. (1991) verificaram que em 8.5% dos casos, as amplitudes do campo encontravam-se no limite entre dois valores consecutivos da escala, de tal forma que uma pequena inclinação ou deslocamento durante seu manuseio poderia ser decisivo na escolha de um índice maior ou menor. Este problema é certamente mais acentuado em observatórios de baixas latitudes como VSS, onde os intervalos da escala para cada índice são menores. Esses mesmos autores também avaliaram a concordância existente entre três analistas experientes que escalonaram os mesmos magnetogramas, constatando uma concordância absoluta máxima possível de cerca de 91.5%. Com base nisto, pode-se considerar que as concordâncias aqui obtidas são significativas.

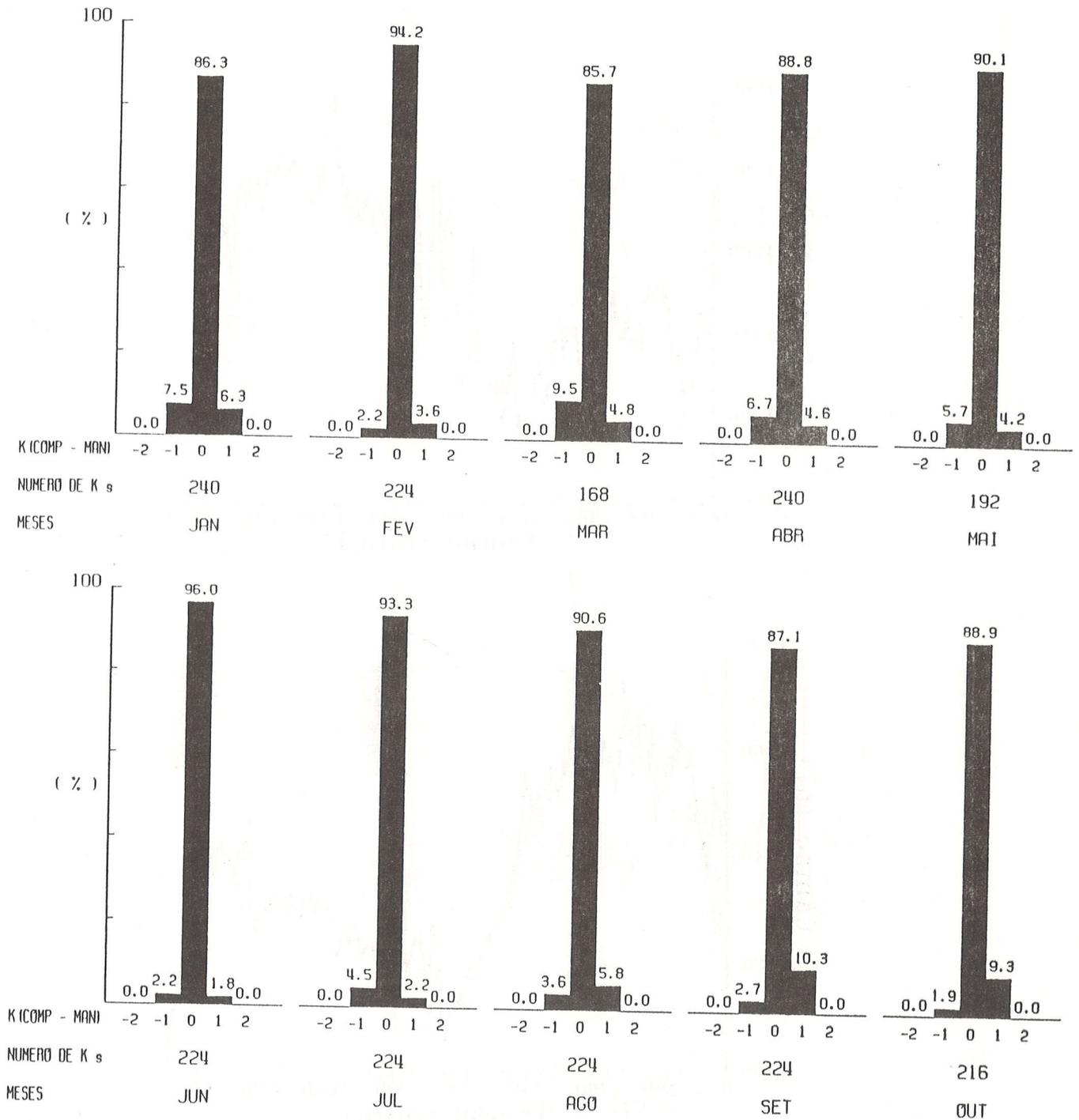


Figura 6. Histogramas para estimativa mensal da concordância entre as determinações computacional e manual do índice K no observatório VSS (jan-out/79).

Histograms for month estimation of automatic and manual accordance of K-index at VSS observatory (Jan-Oct/79).

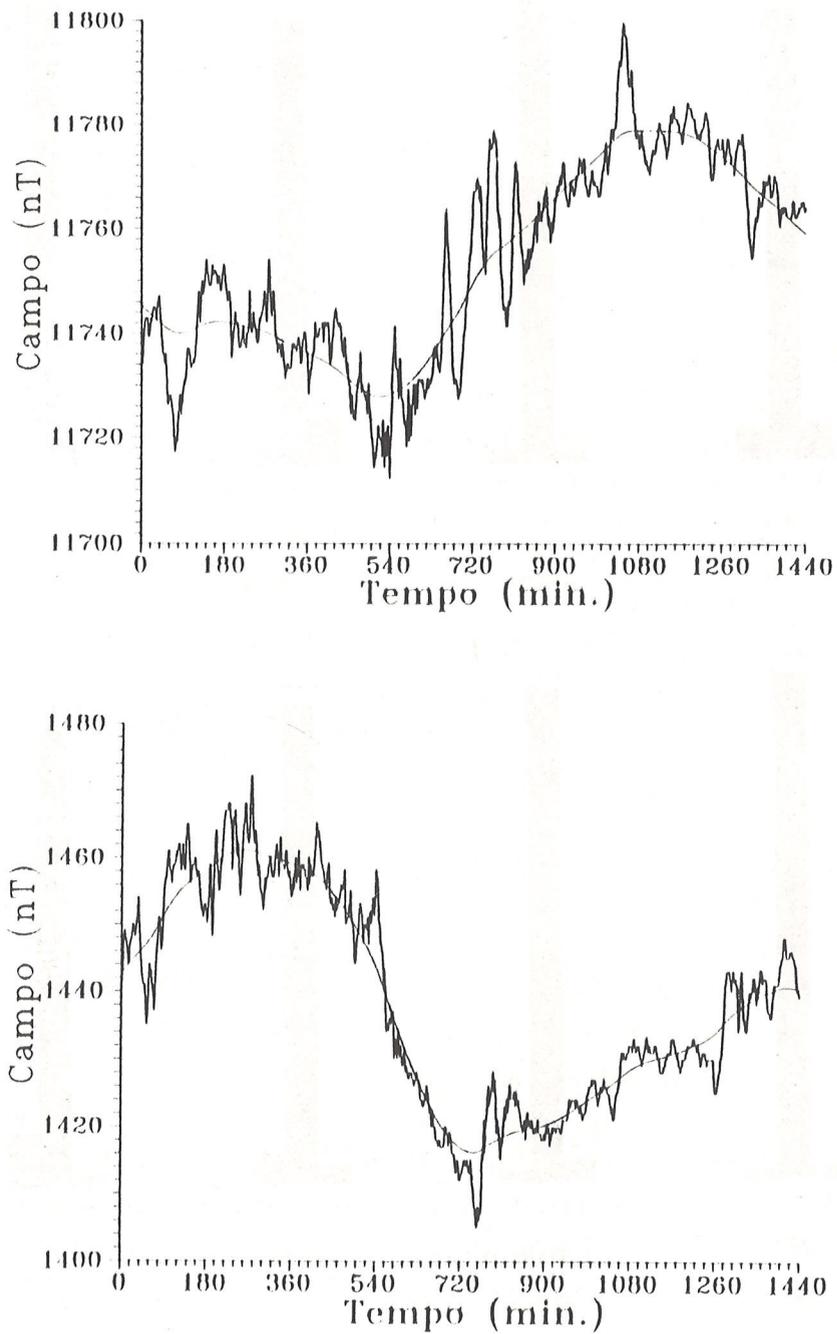


Figura 7. Sinal registrado e variação S_R (curva suave) em um dia calmo (21/06/85) no observatório SOD. (a) Componente X; (b) Componente Y.

Recorded signal and S_R variation (smooth curve) for a geomagnetically quiet day (21/06/85) at SOD observatory. (a) X-component; (b) Y-component.

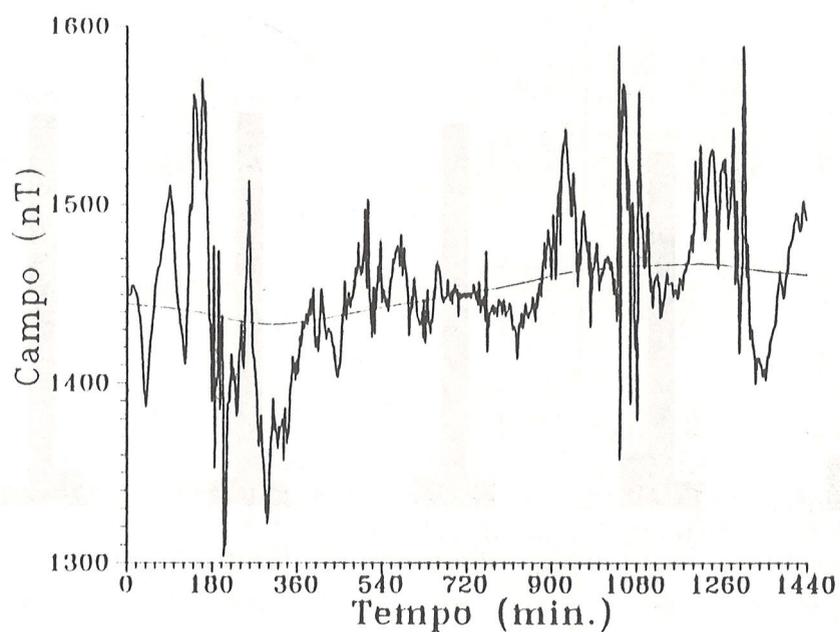
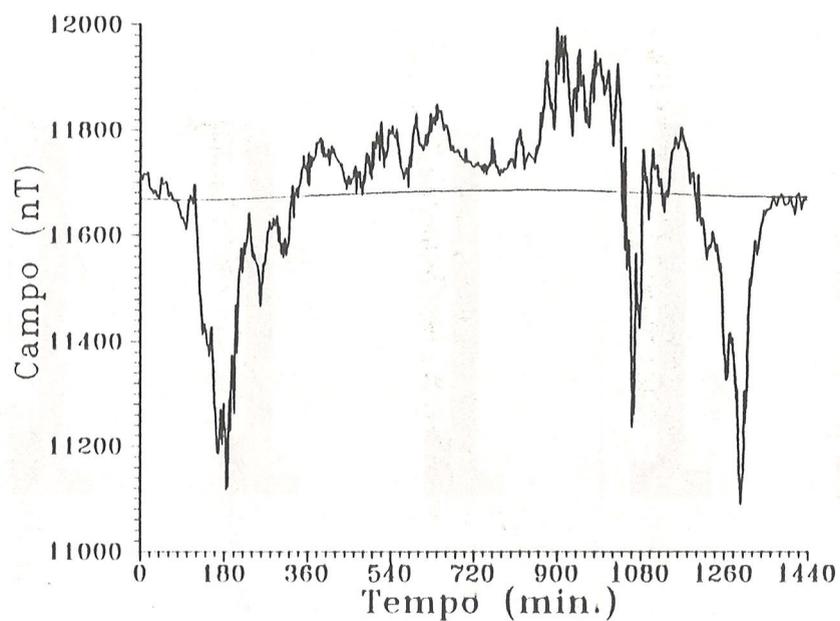


Figura 8. Sinal registrado e variação S_R (curva suave) em um dia perturbado (30/12/85) no observatório SOD. (a) componente X; (b) Componente Y.

Recorded signal and S_R variation (smooth curve) for a geomagnetically disturbed day (30/12/85) at SOD observatory. (a) X-component; (b) Y-component.

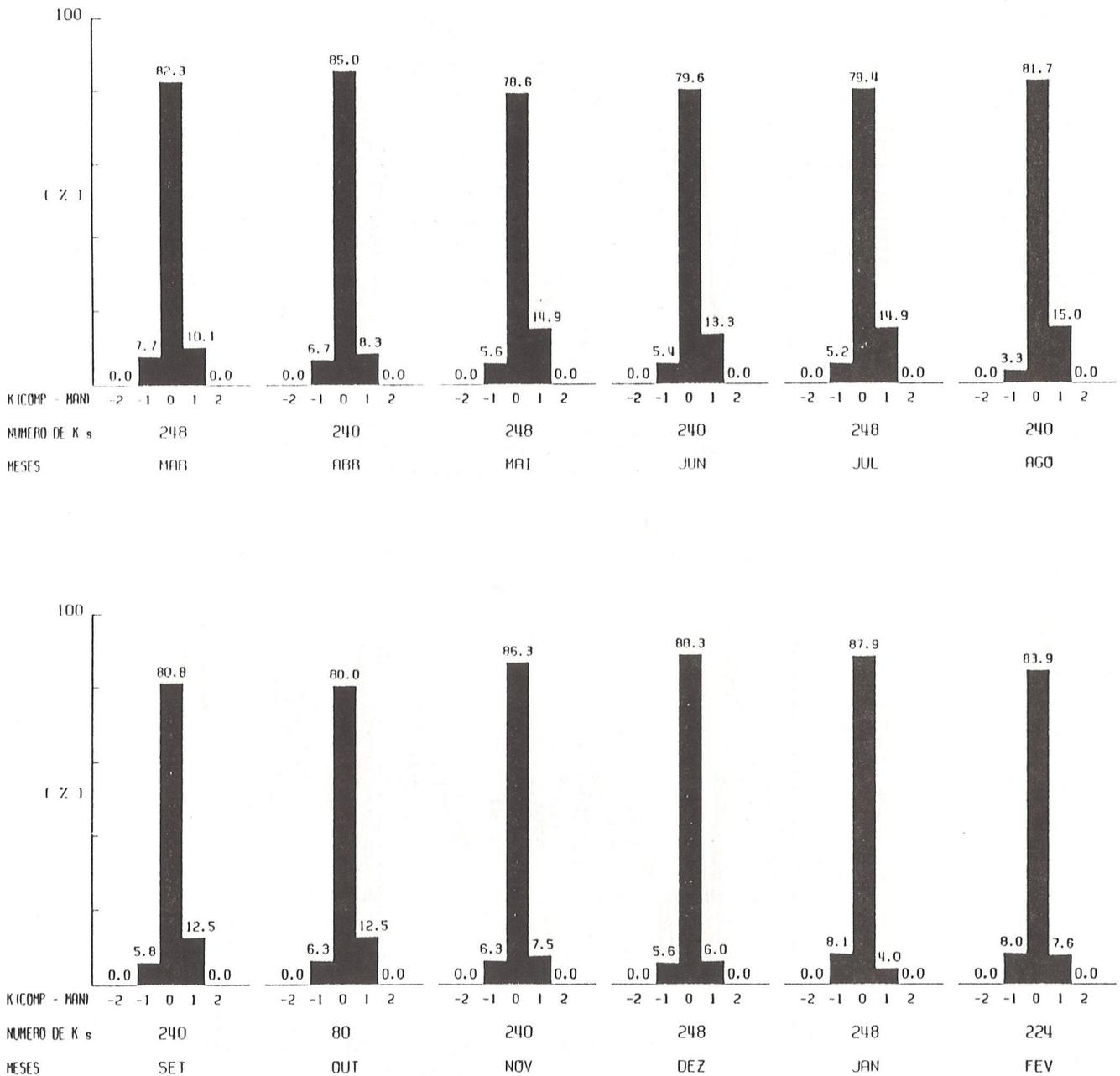


Figura 9. Histogramas para estimativa mensal da concordância entre as determinações computacional e manual do índice K no observatório SOD (mar/85-fev/86).

Histograms for month estimation of computational and manual accordance of K-index estimations at SOD observatory (Mar/85-Feb/86).

Computed versus Hand-scaled K-indices Mar-85 to Feb-86, Original hand-scaling

Observatories included: BEL CAN CZT HAD HER KGL MMB NEW NUR OTT SOD

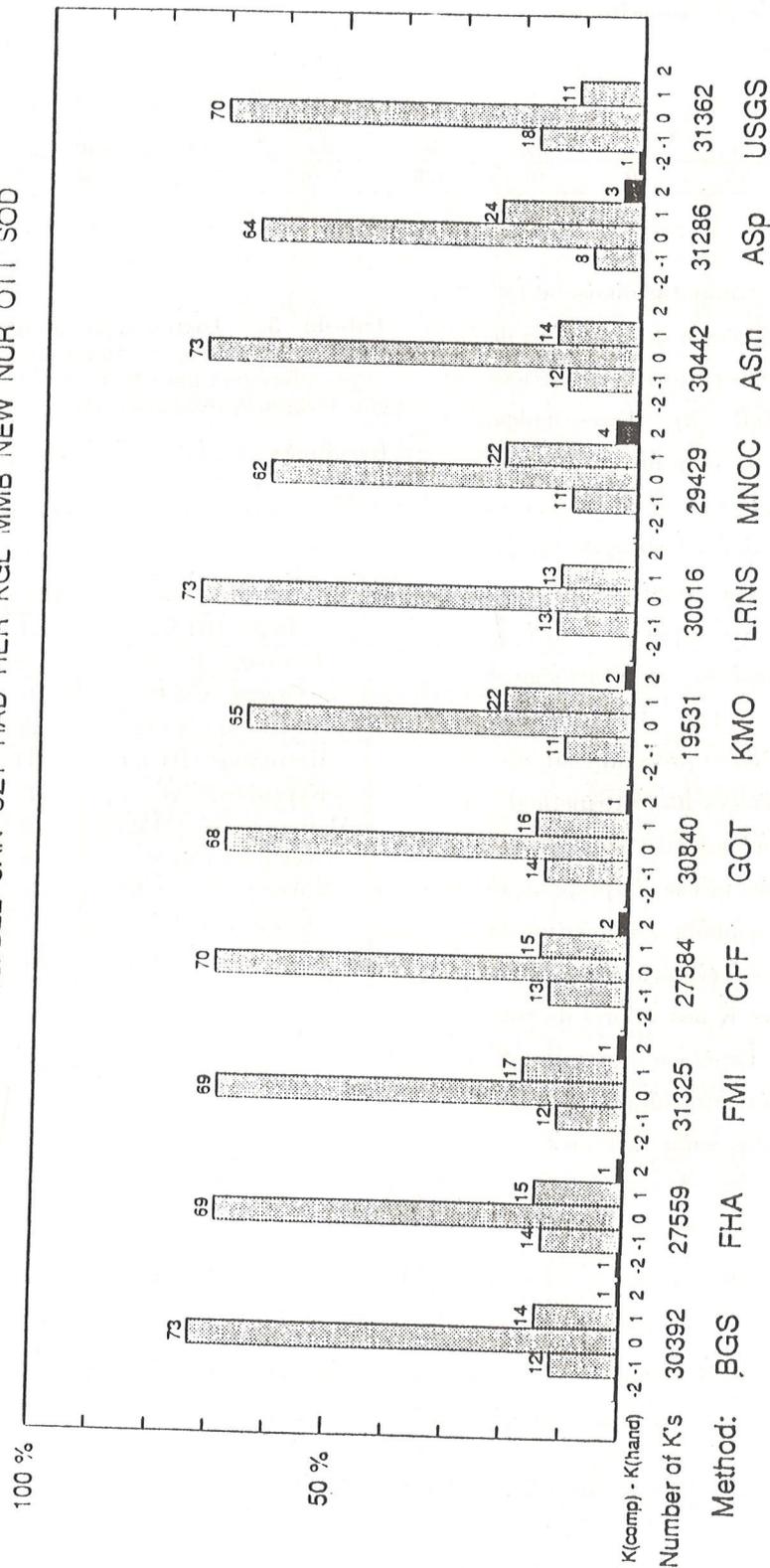


Figura 10. Histogramas com resultado global da comparação entre vários procedimentos computacionais aplicados ao conjunto de dados de referência da IAGA.

Histograms showing global results of several computational comparison applied to the IAGA reference data set.

Tabela 2. Escalas do índice K para os observatórios VSS e SOD.*K-index scales for VSS and SOD observatories.*

índice K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
escala de VSS (nT)	0	6	12	24	48	84	144	240	396	600
escala de SOD (nT)	0	15	30	60	120	210	360	600	990	1500

Vários procedimentos computacionais atualmente conhecidos foram aplicados a um conjunto de dados de referência em onze observatórios magnéticos distribuídos pelo mundo (Tab. 3). Esses dados, fornecidos pela IAGA (que visa num futuro próximo estabelecer um padrão internacional de determinação do índice K), consistem em valores digitais do campo geomagnético registrado a cada minuto no período março/1985-fevereiro/1986. A comparação entre os resultados de onze procedimentos computacionais é apresentada no histograma da Fig. 10 (L. Hakkinen, comunicação pessoal). Nosso procedimento, denominado CFF ("cut-off frequency filtering method", Tab. 4), obtém bom desempenho dentre os apresentados. No momento encontra-se em fase de preparação um outro trabalho onde é estudada a influência da distribuição geográfica dos observatórios e também dos limites de escala do índice K nos valores da constante δ_{OBS} da equação (2). Espera-se com isto refinar um pouco mais o procedimento computacional e, provavelmente, obter resultados ainda melhores.

Tabela 3. Distribuição geográfica de 11 observatórios magnéticos, cujos dados foram utilizados como referência para teste de 11 diferentes metodologias (comunicação pessoal).*Geographic distribution of the 11 magnetic observatories whose data was used to test the 11 different methods (from personal communication) methods.*

Observatory	Latitude	Longitude
Belsk (BEL)	51.83	20.80
Canberra (CAN)	-32.39	149.30
Crozet (CZT)	-46.26	51.52
Hartland (HAD)	50.59	355.31
Hermanus (HER)	-34.25	19.14
Kerguelen (KGL)	-49.35	70.20
Memambetsu (MMB)	43.54	114.12
Newport (NEW)	48.16	242.53
Nurmijarvi (NUR)	60.52	24.65
Ottawa (OTT)	45.24	284.27
Sodankyla (SOD)	67.37	26.63

Tabela 4. Onze diferentes metodologias de determinação computacional do índice K propostas atualmente (comunicação pessoal).*Eleven different methods to calculate the K index (from personal communication).*

Acronym	Meaning	Author(s)	Country
BGS	British Geological Survey	Toby Clark	Great Britain
FMI	Finnish Meteorological Institute	Chris Sucksdorff et al.	Finland
ASm	Adaptive Smoothing method	Jerzy Jankowski et al.	Poland
LRNs	Linear-phase Robust Nonlinear Smoothing	L. Loubser et al.	South Africa
GOT	Göttingen Universität	Jurgen Wendt et al.	Germany
FHA	Fractal and Harmonic Analysis	Angelo de Santis et al.	Italy
CFF	Cut-Off Frequency Filtering Method	Sergio Fontes et al.	Brazil
MNOC	Method of Natural Orthogonal Components	Vadim Golovkov et al.	Russia
KMO	Kakioka Magnetic Observatory	Shinji Kadokura	Japan
ASp	Adaptive Separation method	John Walker	Canada
USGS	United States Geological Survey	Lanny Wilson	USA

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos colegas do Observatório Nacional que contribuíram das mais variadas formas para a realização deste trabalho. Agradecemos também aos revisores da RBGf que, acreditamos, fizeram melhorar substancialmente a apresentação deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BARTELS, J., HECK, N.H. and JOHNSTON, H.F.** (1939) The Three-hour-range Index Measuring Geomagnetic Activity. *Terr. Magn.* 44, 411-454.
- CLAERBOUT, J.F.** (1976) Fundamentals of Geophysical Data Processing - With Applications to Petroleum Prospecting. McGraw-Hill International Series in the Earth and Planetary Sciences.
- GOLOVKOV, V.P., PAPITASHVILE, V.O. and PAPITASHVILE, N.E.** (1989) Automated Calculation of the K-indices Using the Method of Natural Orthogonal Components. *Geomagnetism and Aeronomy*, 29, 4, 514-517.
- HATTINGH, M., LOUBSTER, L. and NAGTEGALL, D.** (1989) Computer K-index Estimation by a New Linear-phase, Robust, Nonlinear Smoothing Method. *Geophys. J. Int.*, 99, 533-547.
- JANKOWSKI, J.A, ERNST, T., SUCKSDORFF, C., PIRJOLA, R. and RYNO, J.** (1988) Experiences of a Filter Method and a Standard Curve Method for Determining K-indices. *Annales Geophysicae*, 6, 589-594.
- MAYAUD, P.N.** (1967) Atlas of Indices K. IAGA Bulletin 21, IUGG Publications Office, Paris.
- MAYAUD, P.N.** (1980) Derivation, Meaning and Use of Geomagnetic Indices. Geophysical Monograph 22, American Geophysics Union, Washington, D.C., 154p.
- NOWOZYNSKI, K., ERNST, T. and JANKOWSKI, J.** (1991) Adaptive Smoothing Method for Computer Derivation of K-indices. *Geophys. J. Int.*, 104, 85-93.
- PIRJOLA, R., RYNO, J. and SUCKSDORFF, C.** (1989) Computer Production of K-indices by a Simple Method Based on Linear Elimination. *Proceeding of the International Workshop on Geomagnetic Observatory Data Acquisition and Processing*. 136-146.
- SUCKSDORFF, C., PIRJOLA, K. and HAKKINEN, L.** (1991) Computer Production of K-indices Based on Linear Elimination. *Geophysical Transactions*, 36, 3-4, 333-345.

Nota do Editor-Chefe: Esta versão contém importantes correções de uma publicação anterior com falhas editoriais.

Submetido em 09.04.92

Revisado em 10.08.93

Aceito em 10.09.93

Editor associado L. Rijo

Palavras chave
Índice K
Geomagnetismo
Atividade Geomagnética

Key words
K index
Geomagnetism
Geomagnetic Activity