



PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS
AUTORES/AUTHORS
BACIA DE TAUBATÉ
MEDIDAS MAGNETOTELÚRICAS
MEDIDAS AUDIOMAGNETOTELÚRICAS

AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY
Marco Antonio Haupp
Diretor Geral

AUTOR RESPONSÁVEL
RESPONSIBLE AUTHOR
N. B. Trivedi

DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION
 INTERNA / INTERNAL
 EXTERNA / EXTERNAL
 RESTRITA / RESTRICTED

REVISADA POR / REVISED BY
Enio B. Pereira

CDU/UDC
550.3

DATA / DATE
Julho, 1987

TÍTULO/TITLE	PUBLICAÇÃO Nº PUBLICACION NO INPE-4235-PRE/1110
	MEDIDAS MAGNETOTELÚRICAS E AUDIOMAGNETOTELÚRICAS EM DUAS ESTAÇÕES NA BACIA DE TAUBATÉ
AUTORES/AUTHORSHIP	N. B. Trivedi J. M. da Costa A. L. Padilha A. Dupis C. Cavoit

ORIGEM
ORIGIN
DGA

PROJETO
PROJECT
GEOMA

Nº DE PAG. NO OF PAGES 17	ULTIMA PAG. LAST PAGE 18
VERSÃO VERSION	Nº DE MAPAS NO OF MAPS

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

Sondagens magnetotelúricas (MT), em frequências de 0,1 a 5 Hz, e audiomagnetotelúricas (AMT), entre 4,1 e 2300 Hz, foram efetuadas em Caçapava e Pindamonhangaba, duas estações situadas na Bacia de Taubaté, Vale do Paraíba (SP). O objetivo deste estudo foi identificar a existência de possíveis camadas condutoras anômalas em profundidades de algumas dezenas de quilômetros, as quais parecem caracterizar as principais regiões de "rift" do mundo. Os resultados obtidos permitiram determinar, para as duas estações, as espessuras locais de uma primeira camada condutora, porém associada às rochas sedimentares do Grupo Taubaté, que alcançaram profundidades de 120 metros em Caçapava e 500 metros em Pindamonhangaba. Nenhuma outra camada condutora foi observada em profundidades crustais.

OBSERVAÇÕES / REMARKS
Este trabalho será apresentado no 2º Encontro Regional de Geofísica, 25 a 27 de novembro de 1987, Salvador-BA.

MEDIDAS MAGNETOTELÚRICAS E AUDIOMAGNETOTELÚRICAS
EM DUAS ESTAÇÕES NA BACIA DE TAUBATÉ

N.B. Trivedi*, J.M. da Costa*, A.L. Padilha*,
A. Dupis**, C. Cavoit**

*Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
12201 - São José dos Campos - SP - Brasil

**Centre de Recherches Géophysiques - Garchy
58150 - Pouilly sur Loire - France

RÉSUMO

Sondagens magnetotelúricas (MT), em frequências de 0,1 a 5 Hz, e audiomagnetotelúricas (AMT), entre 4,1 e 2300 Hz, foram efetuadas em Caçapava e Pindamonhangaba, duas estações situadas na Bacia de Taubaté, Vale do Paraíba (SP). O objetivo deste estudo foi identificar a existência de possíveis camadas condutoras anômalas em profundidades de algumas dezenas de quilômetros, as quais parecem caracterizar as principais regiões de "rift" do mundo. Os resultados obtidos permitiram determinar, para as duas estações, as espessuras locais de uma primeira camada condutora, porém associada às rochas sedimentares do Grupo Taubaté, que alcançaram profundidades de 120 metros em Caçapava e 500 metros em Pindamonhangaba. Nenhuma outra camada condutora foi observada em profundidades crustais.

ABSTRACT

Magnetotelluric (MT) soundings, in the frequency range 0.1 Hz to 5 Hz, and audiomagnetotelluric (AMT) soundings, in the range 4.1 Hz to 2300 Hz, were conducted at Caçapava (45°48'W, 23°06'S) and Pindamonhangaba (45°25'W, 22°53'S), two stations situated in the Taubaté Basin of the Paraíba Rift Valley. This study was aimed to identify the existence of possible anomalous conducting layers at depths of few tens of kilometers, a characterizing factor observed in the principal rifts of the world. The results obtained at these two stations permitted us to estimate the local thickness of the first conducting layer due to sedimentary rocks of Taubaté Group. The sedimentary conducting layer reached the depth of about 120 meters at Caçapava and about 500 meters at Pindamonhangaba. No other conducting layers were observed at crustal depths.

INTRODUÇÃO

A Bacia de Taubaté, que cobre uma área de aproximadamente 2400 km² no eixo São Paulo-Rio de Janeiro, encontra-se embutida no complexo cristalino pré-cambriano do "rift" do Vale do Paraíba, entre as serras da Mantiqueira, ao norte, e da Bocaina (nome local da Serra do Mar), ao sul. É parcialmente preenchida por sedimentos continentais terciários, com espessura máxima estimada em pelo menos 520 metros em sua parte central (Hasui et al., 1978). Estudos geofísicos são ainda escassos na região. Davino e Haralyi (1973) apresentam resultados apenas qualitativos de observações gravimétricas e magnetométricas, enquanto Berrocal et al. (1985) incluem esta região, em torno da Bacia de Santos, entre as áreas sismotectônicas do País.

A importância deste estudo vem do fato de que estudos de indução eletromagnética de períodos longos nos principais "rifts" do mundo (Jiracek et al., 1979; Hermance, 1983) caracterizam a existência de uma anomalia geofísica intracrustal em profundidades de 10-20 km, marcada por baixas resistividades elétricas (10 ohm-m ou menos) e também por baixas velocidades sísmicas (decréscimo de 10% na velocidade das ondas P). Atribui-se esta zona anômala, que apresenta uma espessura da ordem de 5-10 km, à possibilidade de fusão parcial no embasamento cristalino. Visando verificar a presença desta mesma característica no "rift" do Vale do Paraíba e melhorar o conhecimento estrutural da região, começaram-se a efetuar medidas magnetotelúricas (MT) no interior da Bacia de Taubaté (Trivedi e Padilha, 1985). O estudo aqui apresentado dá sequência a este último trabalho, exibindo o resultado de duas outras sondagens, próximas às cidades de Caçapava e Pindamonhangaba. A Figura 1 mostra a localização destas estações dentro do contexto regional da Bacia de Taubaté.

FIGURA 1

O MÉTODO MAGNETOTELÚRICO

Magnetotelúrica (MT) é uma técnica de prospecção geofí-

Neste método a grandeza fundamental a ser determinada é o tensor de impedâncias, uma função de transferência que relaciona as componentes naturais do campo elétrico (E) às componentes naturais do campo magnético (H). Esta relação é melhor descrita através da equação:

$$\begin{vmatrix} E_x \\ E_y \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} H_x \\ H_y \end{vmatrix}, \quad (1)$$

onde Z_{ij} ($i=x,y$; $j=x,y$) são os elementos do tensor de impedâncias, com x e y denotando as projeções do sistema de coordenadas utilizado.

Em situações bidimensionais, os campos elétrico e magnético podem ser projetados em um novo sistema de eixos, paralelo e perpendicular ao "strike" da estrutura. Neste caso, as componentes tensoriais da diagonal principal tornam-se zero (ou pelo menos bastante próximas a zero) e a Equação 1 torna-se:

$$\begin{aligned} E_x &= Z_{xy} H_y, \\ E_y &= Z_{yx} H_x, \end{aligned} \quad (2)$$

a partir da qual se podem calcular as resistividades aparentes e suas respectivas fases:

$$\begin{aligned} \rho_{axy} &= \frac{|Z_{xy}|^2}{w\mu}, & \rho_{ayx} &= \frac{|Z_{yx}|^2}{w\mu}, \\ \phi_{xy} &= \text{Arg}(Z_{xy}), & \phi_{yx} &= \text{Arg}(Z_{yx}), \end{aligned} \quad (3)$$

As resistividades aparentes assim calculadas são, a seguir, invertidas para fornecer estimativas da resistividade verdadeira em função da profundidade de sondagem.

AQUISIÇÃO DE DADOS MAGNETOTELÚRICOS

As sondagens MT podem ser efetuadas com dois tipos diferentes de equipamentos. O primeiro, adaptado para frequências mais baixas (entre 1,5 mHz e 10 Hz), registra sinais eletromagnéticos naturais, gerados por correntes ionosféricas, num intervalo amplo de frequências. Estes sinais são posteriormente analisados por métodos computacionais para obter seus espectros e, a partir destes, os valores de resistividade aparente em função da frequência. É o método magnetotelúrico convencional. O outro, similar em princípio ao anterior, utiliza sinais de frequência na faixa áudio (entre 1 Hz e 10 KHz) provenientes de tempestades elétricas naturais distantes. Estes sinais são medidos seletivamente em frequências discretas, e a razão do campo elétrico superficial pelo seu campo magnético ortogonal associado é determinada para calcular a resistividade aparente naquela frequência específica. Estas medidas, chamadas audiomagnetotelúricas (AMT), são do tipo escalar. Nos dois casos, a interpretação final consiste em ajustar as curvas obtidas de resistividade aparente e fase, se houver, em função da frequência aos valores calculados a partir de modelos simplificados.

Os dois tipos de medidas são normalmente complementares. Este fato é ainda mais evidente na exploração de bacias sedimentares, com as sondagens de alta frequência (AMT), as quais fornecem estimativas confiáveis a respeito da condutividade média dos sedimentos, facilitando a obtenção da profundidade do embasamento cristalino pelas medidas de baixa frequência. No caso específico destas sondagens, os dois equipamentos foram utilizados. Para as medidas MT convencionais fez-se uso de um equipamento construído no INPE (Dutra et al., 1983) para medidas entre 0,1 e 5Hz. Para as medidas AMT foi empregado um equipamento desenvolvido no Centre de Recherches Géophysiques de Garchy, França (Benderitter et al., 1973), para medidas entre 4,1 e 2300 Hz.

RESULTADOS OBTIDOS

Os dados MT e AMT aqui analisados foram coletados no período de setembro-outubro de 1986. Para as medidas MT operou-se o equipamento do INPE durante um período de aproximadamente uma semana, em cada sondagem, de forma a obter quantidades suficientes de dados para as análises. Nestas análises um dos primeiros passos consiste em obter, através de algoritmos numéricos, a direção, anteriormente citada, do "strike" da estrutura em estudo. Esta direção é definida em termos de duas polarizações, E e H, com o campo elétrico paralelo e perpendicular a ela, respectivamente; uma vez determinada, todo o processamento subsequente é efetuado ao longo dela (no caso das medidas AMT, estas já foram tomadas nas direções das duas polarizações, previamente determinadas pelas sondagens MT). O "strike" médio aqui verificado foi de 55° NE em relação ao norte geográfico, para ambos os casos, em excelente concordância com a direção geral das falhas da região.

No método MT, normalmente utilizam-se parâmetros para aferir a qualidade dos dados e determinar o procedimento a ser adotado posteriormente na sua inversão. A Figura 2 fornece os resultados obtidos da coerência múltipla (fator de qualidade) e do "skew" (fator de dimensionalidade) para as duas estações nas duas direções principais. Observam-se, para as coerências múltiplas, valores bastante altos, superiores a 0,9 para a maioria das frequências, que comprovam a boa qualidade dos dados coletados. Para o "skew", verifica-se que a quase totalidade dos valores encontra-se abaixo de 0,3 (exibido em tracejado nas Figuras 2c e 2d), considerado como limite para a existência de efeitos tridimensionais sobre os dados (Beamish, 1986).

FIGURA 2

A partir destes resultados resolveu-se efetuar a inversão unidimensional dos dados ao longo da direção principal de polarização E, que é mais confiável que a polarização H por ser menos sensível a inomogeneidades laterais. A Figura 3 mostra os valores das amplitudes das resistividades aparentes (através do intervalo de confiança de 95% de seus valores médios para as frequências MT e através da dispersão das leituras efetuadas para as frequências AMT) e os re-

das sondagens nestas inversões, pois não se dispunha de seus valores para as frequências áudio.

O resultado da inversão nas duas sondagens apresenta a existência de apenas duas camadas, uma superior extremamente condutiva e outra inferior altamente resistiva. Estas duas camadas são imediatamente associadas aos sedimentos condutores do Grupo Taubaté e ao embasamento cristalino resistivo. A alta condutividade dos sedimentos deve-se ao fato de eles estarem provavelmente saturados com água, o que ocasiona uma alta condução eletrolítica. As espessuras determinadas para o pacote sedimentar, por sua vez, concordam com aquelas previstas por Hasui et al. (1978), baseadas em furos de sondagem na região.

FIGURA 3

Quanto à possível existência de outra camada condutora em profundidades crustais referida anteriormente, esta não foi encontrada, em concordância com os resultados anteriormente obtidos (Trivedi e Padilha, 1985). Uma explicação possível para tal fato seria que os "rifts" continentais estudados internacionalmente (o Baikal na União Soviética, o Rio Grande nos Estados Unidos, a Islândia, o graben do Reno na Europa, o do leste Africano, e as inúmeras províncias no oeste da América do Norte) teriam sido formados bem mais recentemente que o do Vale do Paraíba. Neste último, o tectonismo (Almeida, 1976) teria se finalizado no Quaternário, sendo portanto uma região já estável.

A continuidade destes estudos na Bacia de Taubaté prevê a realização de novas sondagens, próximas às cidades de Quiririm e Jacareí, de forma a, conjugadas àquelas anteriormente efetuadas em Cachoeira Paulista e Guaratinguetá, obter um perfil de seis estações longitudinais à bacia, espaçadas cerca de 30 km entre si. Planeja-se também reocupar algumas das estações anteriormente estudadas para realizar medidas em frequências diferentes daquelas já feitas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos Srs. Selvo Pereira de Oliveira, administrador da Fazenda Santa Rita em Caçapava e Norberto Leite, chefe do campo de pesquisas do DAEE em Pindamonhangaba, as facilidades encontradas durante a realização de nossas sondagens nestes locais. Este trabalho foi parcialmente subvencionado pelo Contrato FINEP-537/CT.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F.F.M. - 1976 - The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais Acad. Bras. Ciênc.*, 48:15-26, Suplemento.
- BEAMISH, D. - 1986 - Geoelectric structural dimensions from magnetotelluric data: Methods of estimation, old and new. *Geophysics*, 51:1298-1309.
- BENDERITTER, Y.; NGOC THACH, H.; JOLIVET, A. - 1973 - Magnetotelluric method for mining exploration. *Geophys. Prospect.*, 21:598.
- BERROCAL, J.; ASSUMPCÃO, M.; ANTEZANA, R.; DIAS NETO, C.M.; ORTEGA, R.; FRANÇA, P.; VELOSO, J.A.V. - 1985 - Sismicidade do Brasil. São Paulo, IAG/UPS, EDUSP.
- DAVINO, A.; HARALYI, N.L.E. - 1973 - Levantamentos geofísicos no Vale do Paraíba. *Anais XVII Congr. Bras. Geol.*, 1:281-286, Aracaju, SE.
- DUTRA, L.S.V.; TRIVEDI, N.B.; NORDEMANN, D.J.R.; MENDES, R.A.; MALDONADO, J.C.; BIANCHI NETO, J. - 1983 - O sistema MT-INPE. São José dos Campos, INPE. (INPE-2705-NMTI-176).
- HASUI, Y.; GIMENEZ, A.F.; MELO, M.S. - 1978 - Sobre as bacias tafrogênicas continentais do sudeste brasileiro. *Anais XXX Congr. Bras. Geol.*, 1:382-392, Recife, PE.
- HERMANCE, J.F. - 1983 - Electromagnetic induction studies. *Rev. of Geophys. and Space Phys.*, 21:652-665.
- JIRACEK, G.R.; ANDER, M.E.; HOLCOMBE, H.T. - 1979 - Magnetotelluric soundings of crustal conductive zones in major continental rifts. *Geophys. Res. Lett.*, 6:101-104.

JUPP, D.L.B.; VOZOFF, K. - 1975 - Stable iterative methods for the inversion of geophysical data. Geophys. J.R. astr. Soc., 42:957-976.

TRIVEDI, N.B.; PADILHA, A.L. - 1985 - Sondagens magnetotolúricas no Vale do Paraíba. I Encontro Regional de Geofísica da SBGf - Divisão Regional Sul, São José dos Campos, SP. (INPE-3866-PRE/925).

MEDIDAS MAGNETOTELÚRICAS E AUDIOMAGNETOTELÚRICAS
EM DUAS ESTAÇÕES NA BACIA DE TAUBATÉ

N.B. Trivedi*, J.M. da Costa*, A.L. Padilha*,
A. Dupis**, C. Cavoit**

*Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
12201 - São José dos Campos - SP - Brasil

**Centre de Recherches Géophysiques - Garchy
58150 - Pouilly sur Loire - France

3 FIGURAS

LEGENDA DAS FIGURAS

Figura 1 - Localização das sondagens magnetotelúricas dentro da Bacia de Taubaté.

Figura 2 - Resultados dos parâmetros de qualidade e de dimensionalidade: a) coerência múltipla para Pindamonhangaba; b) coerência múltipla para Caçapava; c) "skew" para Pindamonhangaba; d) "skew" para Caçapava.

Figura 3 - Inversão dos dados magnetotelúricos do Vale do Paraíba: a) Pindamonhangaba; b) Caçapava.

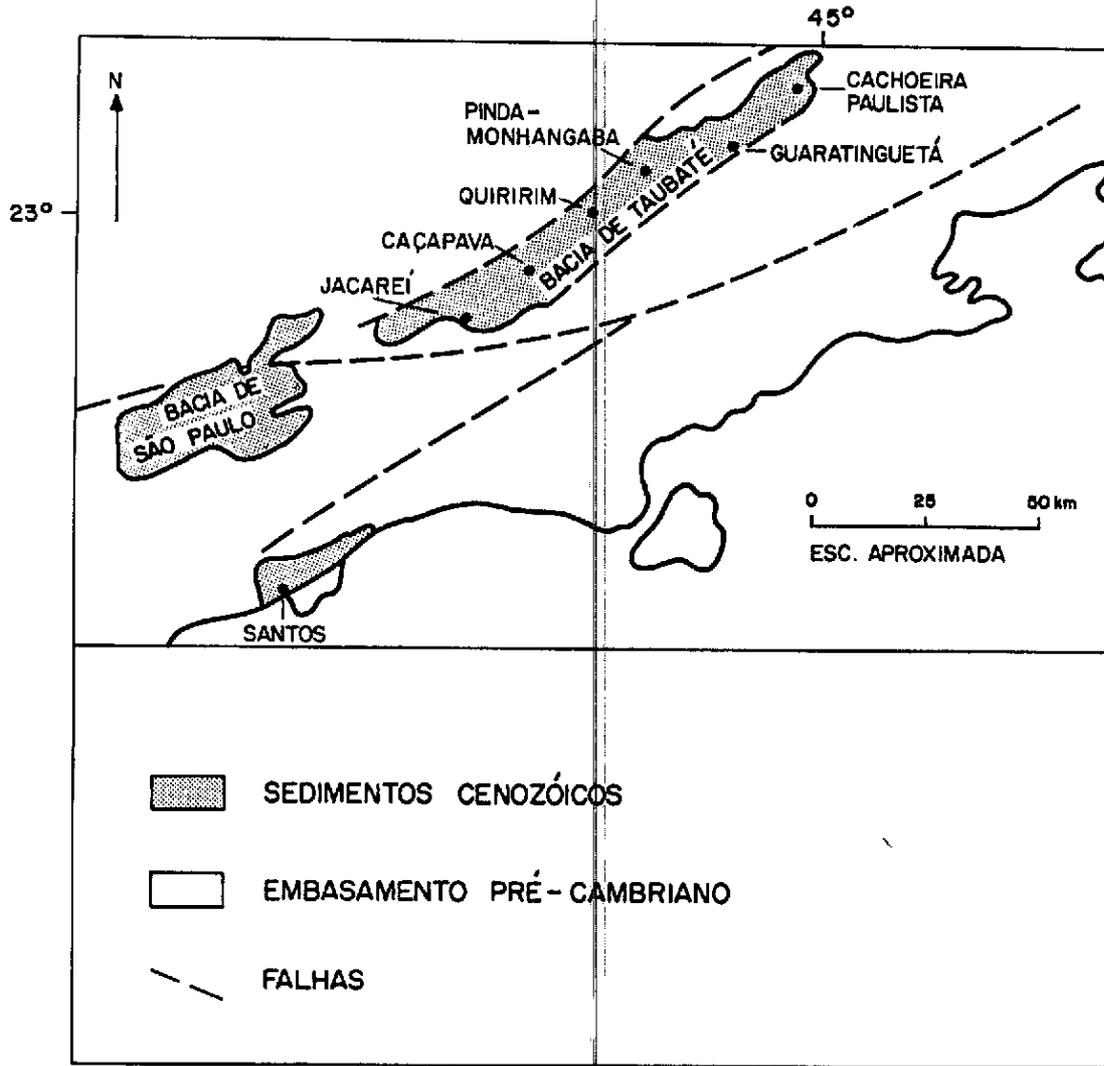


Fig. 1

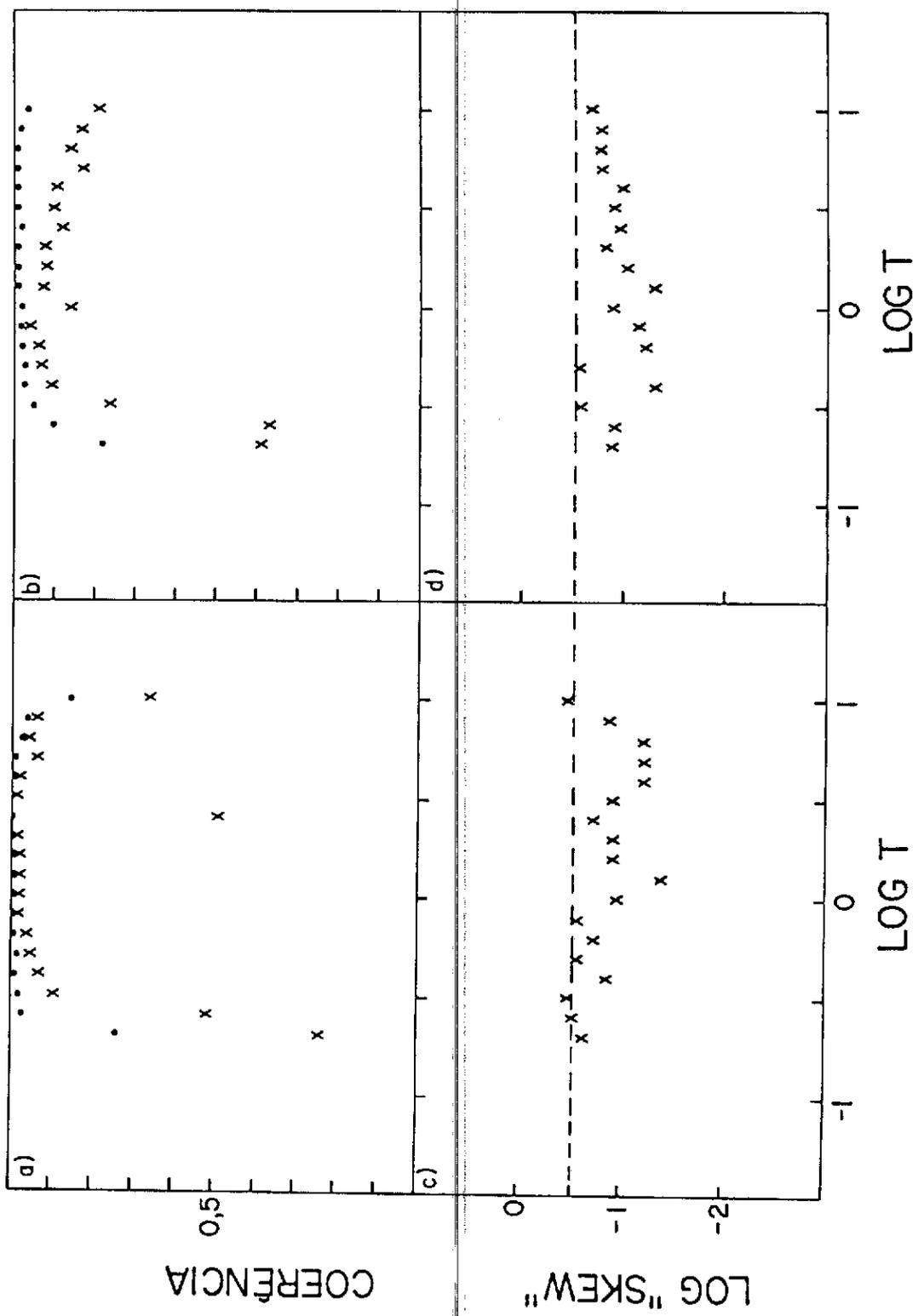


Fig. 2

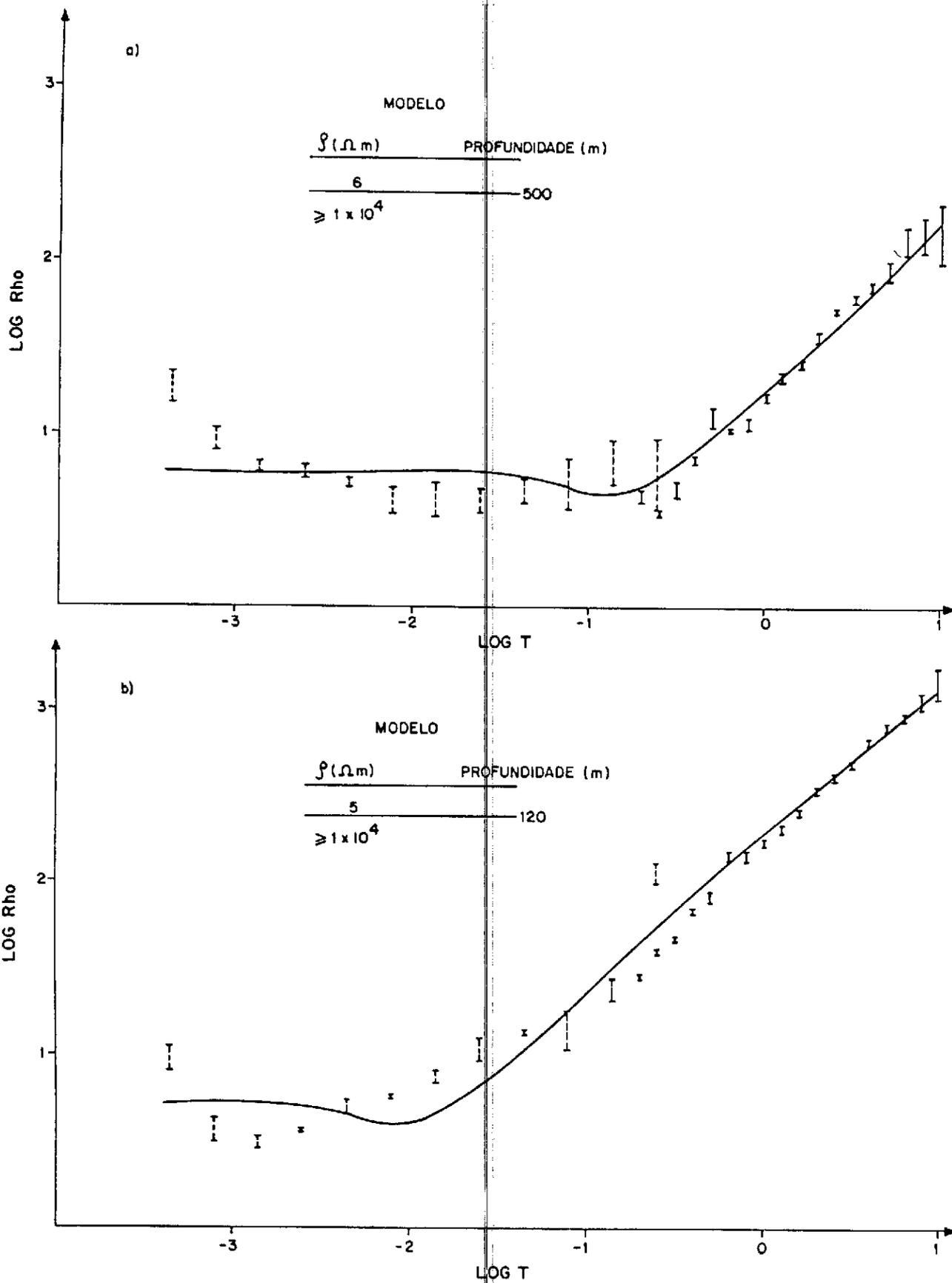


Fig. 3