

Assinatura geoeétrica do Arco de São Francisco: encontro das bacias do São Francisco e Parnaíba

Flora Ferreira Solon*, LAGEMAR/UFF & ON-MCT, Brazil
Patrícia P. P. de Souza. Melgaço, LAGEMAR/UFF & ON-MCT, Brazil

Sergio L. Fontes, ON-MCT, Brazil
Jean Marie Flexor, ON-MCT, Brazil



*Copyright 2009, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica.

This paper was prepared for presentation at the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGF, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

Seventeen magnetotelluric (MT) soundings were undertaken along one profile located in the boundaries between the intracratonic basins of San Francisco and Parnaíba. This study aimed to map the geoelectrical structure of the basins, and analyze the electrical signature of subsurface in a situation of meeting basins. The survey was conducted in the northwest portion of the state of Bahia, near the town of Formosa. The MT soundings were irregularly spaced and covered the frequency range from 10^{-2} to 10^2 Hz, probing the electric structure from the surface to a maximum depth of 15 km. MT data were processed in the frequency domain using robust technique by Eisel & Egbert (2000). The data was rotated for the regional geological strike, eg, 45° NE direction. The limit in subsurface of the two basins was marked by a high-resistivity deep feature, known as the Arco de São Francisco structural high. The 2D inversion still needs to be improved through the choice of new parameters and the improvement by applying corrections for static shift and other superficial heterogeneities.

Resumo

Foram realizadas 17 sondagens magnetotelúricas ao longo de um perfil localizado no limites entre as bacias intracratônicas de São Francisco e Parnaíba. O objetivo deste estudo foi mapear a estrutura geoeétrica das bacias, além de analisar a assinatura elétrica de subsuperfície em uma situação de encontro de bacias. O levantamento foi realizado na porção noroeste do estado da Bahia, próximo à cidade de Formosa. O espaçamento entre as sondagens foi irregular e a frequência utilizada variou entre 10^{-2} a 10^2 Hz, permitindo uma investigação de até 15 km de profundidade. Os dados foram processados no domínio da frequência utilizando a metodologia usual de processamento robusto de Egbert & Eisel (2000). O *strike* geoeétrico foi estimado utilizando o *strike* regional. O limite subsuperficial das bacias foi assinalado por uma feição de alta resistividade, identificando um limite de natureza estrutural. A inversão 2D ainda precisa ser aperfeiçoada, através do aprimoramento de correção estática e de efeitos de heterogeneidades superficiais.

Introdução

As Bacias Sedimentares do Parnaíba e de São Francisco estão inseridas no contexto de bacias interiores

Paleozóicas e Meso-cenozóicas. Elas são classificadas de acordo com o Sistema Global de Classificação de Bacias de Kingston *et al.* (1983) onde existem diversos tipos básicos de tectônica formadora das bacias.

A bacia intracratônica de São Francisco é basicamente formada por rochas sedimentares neoproterozóicas clásticas e carbonáticas do Grupo Bambuí. A bacia é preenchida também por rochas vulcanosedimentares que formam quatro Grupos e uma formação, separados por discordâncias: Grupos Santa Fé (Carbonífero-Permiano), Areado (Valanginiano a Albiano) e Uruçuia-Mata da Corda (Cenomaniano a Maastrichtiano), interdigitados entre si, e a Formação Chapadão do Plio-Pleistoceno.

A Bacia do Parnaíba também intercratônica está disposta na Plataforma Sul-Americana, desenvolvida essencialmente sobre crosta continental bastante tectonizada, e preenchida por rochas sedimentares, vulcânicas e plutônicas básicas, cujas idades variam desde o Ordoviciano até o Cretáceo.

O levantamento magnetotelúrico (MT) foi realizado exatamente no limite norte/sul das Bacias de São Francisco e Parnaíba, onde foram adquiridas 17 sondagens MT ao longo de um perfil geoeétrico de direção NW/SE. Os dados foram processados no domínio da frequência utilizando o procedimento usual de processamento robusto de Egbert & Eisel (2000).

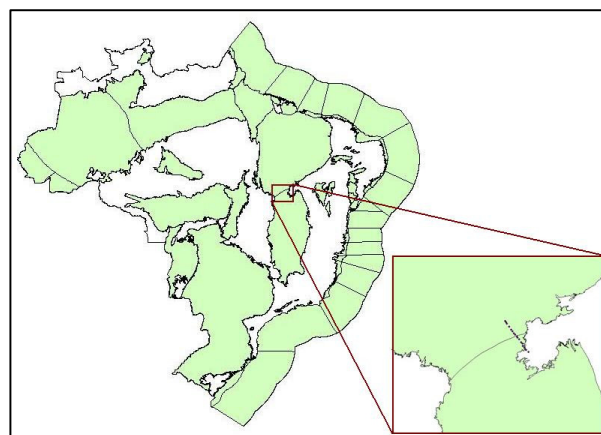


Figura 1: Área do levantamento e localização das sondagens.

Figure 1: Área of survey and localization of MT soundings.

Contexto Geológico

As bacias do Parnaíba e de São Francisco são limitadas pela sub-bacia Espigão Mestre. Esta bacia é preenchida por arenitos de origem eólica, discordante sobre a Bacia

do Parnaíba. Corresponde à extremidade norte da Sub-bacia Uruçuia, domínio setentrional da Bacia Sanfranciscana. As duas bacias são separadas entre si pelo Arco de São Francisco.

Bacia do Parnaíba

Seguindo o modelo de classificação de Milani e Thomaz Filho (2000), a Bacia do Parnaíba é classificada como Província Parnaíba ou Província Sedimentar do Meio-norte (Góes, 1995). É uma bacia intracratônica disposta na Plataforma Sul-Americana e ocupa uma área de 600.000 km². É limitada a leste pela Falha de Tauá, a sudeste pelo lineamento Senador Pompeu, a oeste pelo Lineamento Tocantis-Araguaia, a noroeste pelo Arco Tocantins e a norte pelo Arco Ferrer (Góes, 1995). A província em questão é subdividida em quatro sítios deposicionais separados por discordâncias. São essas sub-bacias a Bacia do Parnaíba propriamente dita, Bacia das Alpercatas, Bacia do Grajaú e Bacia do Espigão Mestre.

A Bacia Parnaíba representa uma área de 400.000Km² e 3000 m de espessura formada principalmente por rochas siliciclásticas e carbonáticas. É representada pelos grupos Serra Grande, Canindé e Balsas. A Bacia das Alpercatas com espessura de 200m está relacionada a eventos de abertura do Atlântico Sul. É formada principalmente por rochas sedimentares flúvio-lacustres das formações Pastos Bons e Corda, e rochas vulcânicas das formações Mosquito e Sardinha. A bacia do Grajaú é caracterizada por sedimentação eólico-lacustre das formações Codó, Grajaú e Itapecurú, atingindo 800m de espessura. Por fim, a Bacia Espigão Mestre possui depósitos predominantemente flúvioeólicos do Grupo Areado e Formação Uruçuia com cerca de 400m de espessura (Figueiredo & Gabaglia, 1986), (Góes & Feijó, 1994).

A Província do Parnaíba é formada sobre crosta continental bastante tectonizada, e preenchida por rochas sedimentares, e vulcânicas e plutônicas básicas, cujas idades variam desde o Ordoviciano até o Cretáceo, com uma espessura em torno de 3 000 m (Góes *et al.*, 1994).

A principal feição morfo-estrutural da Província do Parnaíba é a Zona de Falha Transbrasiliiana (NE/SO), que atravessa toda a porção nordeste e sul-sudeste da província. Este lineamento controlou os eixos deposicionais até o Eocarbonífero. A partir do Neocarbonífero até o Jurássico, os depocentros deslocaram-se para a parte central da bacia, conferindo um padrão concêntrico típico de uma sinéclise interior à bacia. Ao norte, o Arco Ferrer, feição relacionada com a abertura do Oceano Atlântico Equatorial define o limite norte da Província do Parnaíba, onde o rifteamento Atlântico quebrou a conexão então existente dessa sinéclise com bacias análogas atualmente assentadas no noroeste da África (Milani e Thomaz Filho, 2000).

Bacia de São Francisco

A bacia de São Francisco é classificada como uma bacia intracratônica policíclica pouco deformada na parte central e mais deformada em suas bordas. É rodeada pela Faixa Brasília a oeste e pela Faixa Araçuaí a leste, ambas faixas móveis compressionais. Apresenta uma área de 350.000 Km² sobre o Cráton de São Francisco

englobando áreas dos estados de Minas Gerais e Bahia e Goiás.

Assim como a Bacia do Parnaíba, a Bacia do São Francisco é dividida em sub-bacias Abaeté, a sul, e Uruçuia, no centro-norte. A separação entre as duas sub-bacias se faz na região do Alto do Paracatu, na porção meridional da bacia. A Bacia Sanfranciscana, como um todo, é limitada a sul com a Bacia do Paraná pela Flexura de Goiânia/Soerguimento do Alto Parnaíba. A norte limita-se com a Bacia do Parnaíba através do Arco do São Francisco. Os limites ocidental e oriental são respectivamente marcados pelas bordas externas das faixas Brasília e Araçuaí/Espinhaço Setentrional.

O Arco de São Francisco Identificado por Martins *et al.* (1993), representa um divisor entre a porção sul da Bacia do Parnaíba e o segmento norte da Bacia Sanfranciscana. Os estudos feitos por Hasui *et al.* (1991), fazem referência a esta estrutura como um bloco alto que separa as duas bacias.

A bacia é caracterizada principalmente por sedimentos pelítico-carbonáticos do Grupo Bambuí (Braun *et al.*, 1990) e por quartzitos, metassiltitos e filitos do Super-Grupo Araí.

O Grupo Bambuí (Proterozoico Superior) é constituído pelo Sub-Grupo Paraopeba e pela Formação Três Marias. O Sub-Grupo Paraopeba se subdivide em 4 Formações: Formação Serra da Saudade, Formação Lagoa do Jacaré, Formação Serra de Santa Helena e Formação Sete Lagoas. Essas Formações são caracterizadas pela presença de siltitos e folhelhos intercalados com calcários e dolomito, já a base da Formação Sete Lagoas é marcada pela presença de conglomerados e diamictitos (Formação Jequitaiá). A Formação Três Marias é caracterizada por intercalações de arcósios e siltitos (Braun *et al.*, 1990).

Nesta bacia a geologia estrutural foi investigada com maior detalhe por Souza Filho (1995), segundo o autor a estruturação da região é constituída por grandes culminações antiformais e depressões sinformais desenvolvidas nos dois supergrupos, com formas abertas e cônicas, exibindo vergência para oeste. Sendo assim as charneiras das dobras apresentam um duplo caimento, aproximadamente nas direções N15E e S15W, desviando-se para NNW e SSE.

Alguns estudos magnetotélúricos já realizados nestas bacias incluem Porsani, J.L., 1993; Porsani, J.L. & Fontes, S.L., 1992; Porsani, J.L. & Travassos, J.M., 1995; Rodrigues, A.L., Ulugergerli, E., Fontes, S.L. & Porsani, J.L., 2000 na Bacia de São Francisco e Dias., G. A. N. 2001; Meju, M. A., Fontes, S. L., Oliveira, M. F. B., Lima, J. P. R., Ulugergerli, E. U. & Carrasquilla A. A. 1999; Meju, M. A. & Fontes, S. L. 1993.

Metodologia e Processamento dos Dados

O objetivo do método magnetotélúrico (MT) é mapear a distribuição da resistividade elétrica das rochas em subsuperfície utilizando medidas de variações temporais naturais das componentes horizontais dos campos elétrico e magnético observadas na superfície (Vozoff, 1972; 1991). A distribuição da resistividade elétrica das

rochas na subsuperfície está relacionada com vários parâmetros físicos e estruturais, tais como: porosidade, permeabilidade, salinidade, pressão e temperatura (Keller & Frischknecht, 1970; Kaufman & Keller, 1981).

O levantamento MT foi realizado na porção noroeste do estado da Bahia, no limite entre as bacias de São Francisco e Parnaíba. Foram realizadas 17 sondagens MT ao longo de um perfil geoeletrico de 87 km. A faixa de frequências utilizada variou de 10^{-2} a 10^2 Hz e o espaçamento entre as sondagens foi irregular, variando entre 5 e 10km.

Para determinação dos parâmetros MT (resistividade aparente e fase), foram utilizados os procedimentos usuais de processamento robusto de Egbert & Eisel (2000).

A estimativa do *strike* geoeletrico (N45S) foi obtida utilizando o *strike* regional disponibilizado na literatura.

Interpretação Preliminar

A partir do processamento descrito anteriormente, foram observadas algumas curvas típicas de resistividade aparente e fase (figura 2).

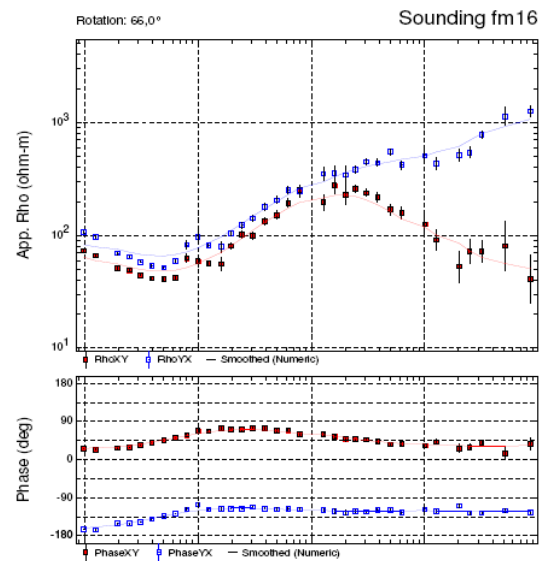
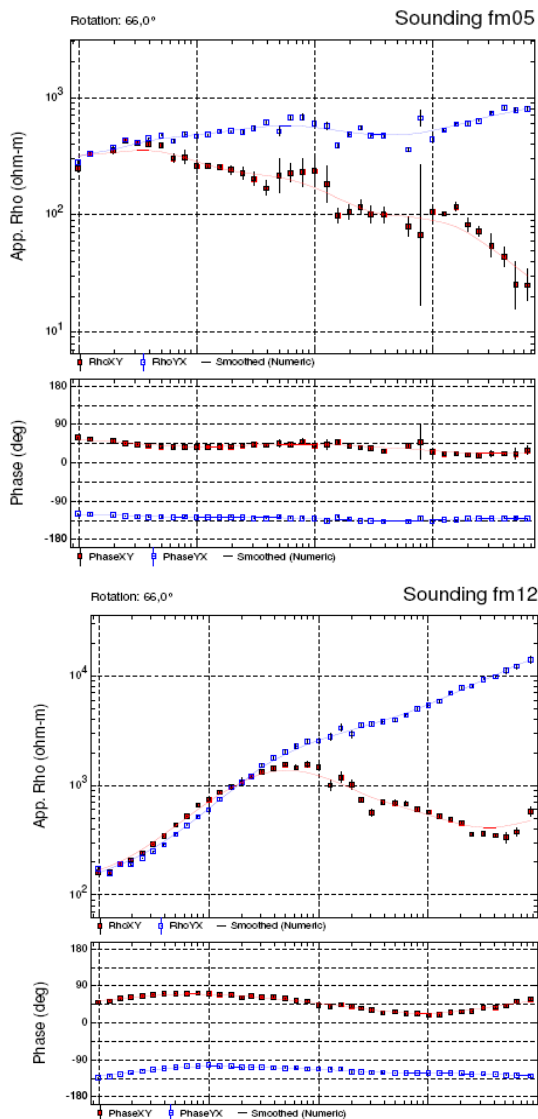


Figura 2: Curvas típicas de resistividade aparente e fase, referentes às estações 05, 12 e 16. As estações estão respectivamente posicionadas na bacia de São Francisco, no limite entre as bacias e na bacia do Parnaíba.

Figure 2 Typical curves of apparent resistivity and phase, for the stations 05, 12 and 16. The stations are respectively located in the, the boundary between the basins of San Francisco and Parnaiba.

Para estimar a estrutura geoeletrica ao longo do perfil (figura 3) foi realizada a inversão 2D através do *software* WingLink. Para o execução da inversão 2D alguns parâmetros foram estabelecidos:

- Como parâmetro de regularização τ que controla o compromisso entre ajuste aos dados e aderência ao modelo foi utilizado o valor 3, típico de inversão 2D;
- O fator *damping* igual a 0,3 usado para amortecer o algoritmo de inversão Gauss-Newton no início do estágio não linear da inversão;
- O número de iterações variou entre 50 e 100 para o perfil, considerando os sucessivos ajustes do modelo inicial;
- Os modos TE e TM foram invertidos simultaneamente;
- Para inversão foram utilizadas as curvas suavizadas ao invés das curvas editadas;

A partir dos parâmetros definidos acima, a inversão 2D gerou um perfil geoeletrico, no qual a distribuição de resistividade mostra alguns resultados interessantes. Observa-se entre 45 e 55km altos valores de resistividades a partir de 1500m de profundidade. Essa feição está relacionada ao limite entre as bacias de São Francisco e Parnaíba, que é caracterizada por um alto estrutural chamado Arco de São Francisco. À direita deste arco localiza-se a bacia de São Francisco, e à esquerda, a bacia do Parnaíba.

Discussões

A inversão 2D revelou a estrutura geolétrica do encontro das bacias de São Francisco e Parnaíba até 15 Km de profundidade.

Os resultados MT permitiram identificar alguns horizontes geolétricos, associados a estruturas do embasamento ou sedimentares.

Associado ao embasamento, é possível identificar algumas feições bastante resistivas, principalmente na distância entre 45 e 55Km. Este embasamento geolétrico alongado pode estar associado ao Arco de São Francisco, estrutura que limita as bacias em questão.

Associado à sedimentação, identifica-se alguns horizontes geolétricos que apresentam resistividades variando entre 10 e 200 Ohm.m. De acordo com a tabelas apresentadas por Blaricom (1988) e Griffiths & King (1972), esta faixa de resistividade é caracterizada por arenitos e rochas sedimentares. Esses horizontes no perfil geolétrico estão localizados até uma profundidade de aproximadamente 1000 m. São estruturas geolétricas que se encaixam e podem estar relacionadas ao encontro dos depósitos sedimentares das bacias de São Francisco e Parnaíba.

O método MT tem se mostrado eficaz no mapeamento de seqüências condutivas e resistivas e na modelagem da seção estrutural para o estudo de reconhecimentos regionais de bacias sedimentares.

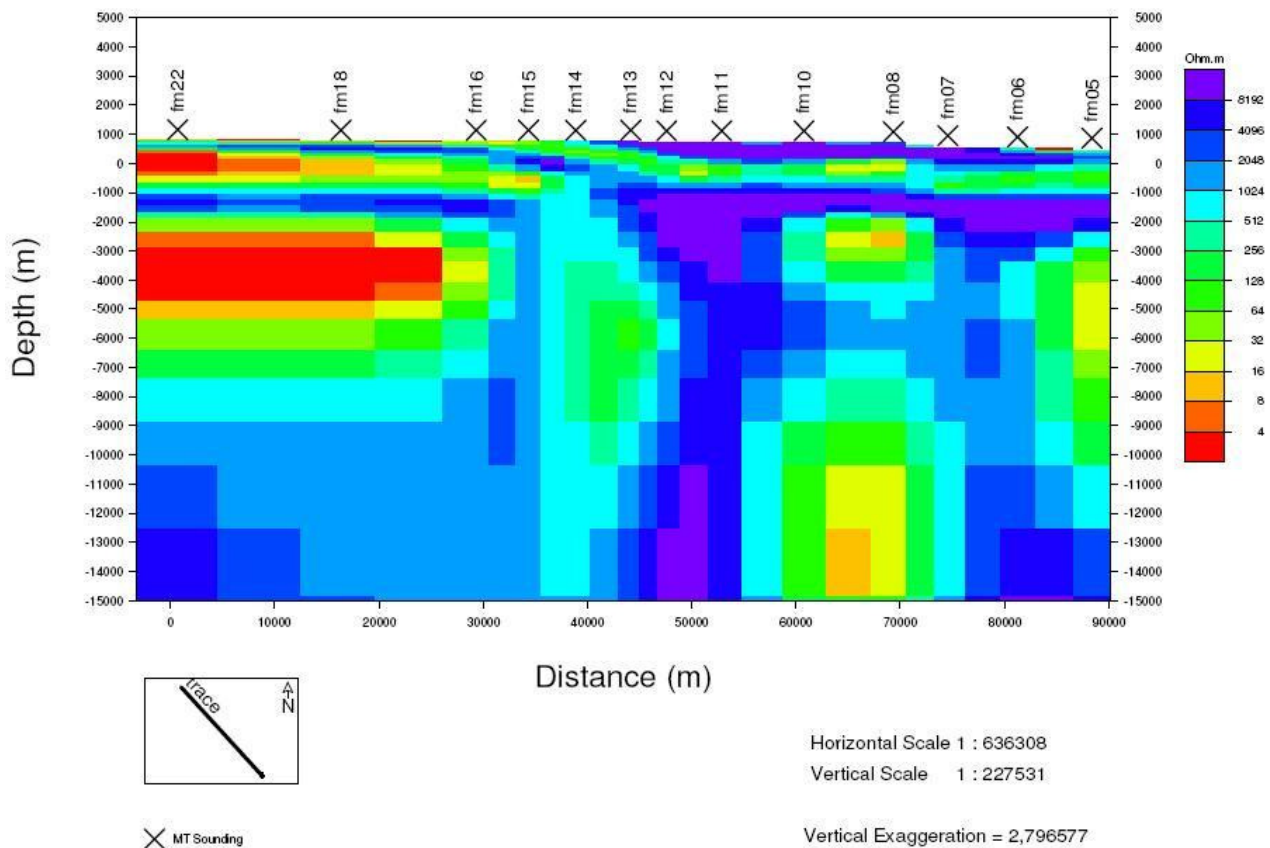


Figura 3: Perfil geolétrico gerado a partir da inversão 2D.

Figure 3: Geoelectric profile generated from the 2D inversion.

Referências

Abreu, P.M., 2002. Estudos geofísicos (magnetotelúrico e eletromagnético transiente) da porção leste da bacia do Parnaíba: contribuição ao conhecimento hidrogeológico. Dissertação de Mestrado, ON-MCT, 122p.

- Blaricom, R.V. (1988)** Practical geophysics for the exploration geologist. 303 pag.
- Braun, O.P.G., Mello, U. & Della Piazza, H., 1990.** Bacias proterozóicas brasileiras com perspectivas exploratórias para hidrocarbonetos. Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. Petrobrás-Rio de Janeiro.
- Campos, J.E.G., Dardenne, M.A., 1997.** Origem e evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana. Revista Brasileira de Geociências **27(3)**: 283-294
- Egbert, G.D., 1997.** Robust multiple-station magnetotelluric data processing. Geophys. J. Int. **130**: 475-496
- Egbert, G.D. & Eisel M. (2000)** – Programs for robust single station and remote reference analysis of magnetotelluric data: Unix (and PC) version: www.cg.NRCan.gc.ca/mtnet
- Góes, A.M.O. & Feijó, F.J. (1994).** Bacia do Parnaíba. B. Geoci. Petrobrás, 8, pag. 57-67.
- Góes, A.M.O, Travassos, W.A. & Nunes, K.C. (1992).** Projeto Parnaíba. Reavaliação da bacia e perspectivas exploratórias. Belém, Petrobras. Rel. Interno.
- Góes, A.M.O & Travassos, W.A. (1992).** Projeto Parnaíba Reavaliação e perspectivas exploratórias da bacia. Relatório Técnico, Petrobras (inédito).
- Griffiths, D.H. & King, R.F. (1972).** Geofísica Aplicada para Ingenieros y prospecting. Pergamon Press, Oxford.
- Hasui, Y. & Haralyi, N.L.E. 1991.** Aspectos lito-estruturais e geofísicos do soerguimento do Alto Paranaíba. Geociências, São Paulo, 10:57-77.
- Hercos, C.M., Martins-Neto, M.A., Filho, A.D. 2008.** Arcabouço estrutural da bacia do São Francisco nos arredores da Serra da Água Fria (MG), a partir da integração de dados de superfície e subsuperfície. Revista Brasileira de Geociências. **38(2-suplemento)**: 197-212
- Hermance, J.F., 1973.** Processing of magnetotelluric data. Physics of the Earth and Planetary Interiors, **7**: 349-364
- Jones, A.G., 1988.** Static shift of magnetotelluric data and its removal in a sedimentary basin environment. Geophysics, **53**: 967-978.
- Jones, A.G., Chave, A.D., Egbert, G., Auld, D., Bahr, K., 1989.** A comparison of techniques for magnetotelluric response function estimation, Journal of Geophysical Research, **94**: 14201-14213.
- Kaufman, A.A. & Keller, G.V., 1981.** The magnetotelluric sounding method. In Methods in Geochemistry and Geophysics, **15**, Elsevier Scientific Publ., Amsterdam, 583pp.
- Keller, G.V. & Frischknecht, F.C., 1970.** Electrical methods in geophysical prospecting. Pergamon Press, Oxford, 517pp.
- Kunetz, G. 1972.** Processing and Interpretation of Magnetotelluric soundings. Geophysics **37**: 1005-1021
- Martins, M.; Teixeira, L.B. & Braun, O.P.G. 1993.** Bacia do São Francisco: uma fronteira exploratória na pesquisa de petróleo do Brasil. In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 7. Anais... Ouro Preto, SBG. p. 55-57.
- Milani, E.J., Thomaz Filho, A. 2000.** Sedimentary Basins of South America. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A. Campos, D.A. (eds.). Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro, 31st. IGC, 389-449.
- Porsani, J.L., 1993.** Estudo Magnetotélúrico na Bacia do São Francisco. Relatório Final Nº 010528. Relatório Petrobrás/Cenpes/Supep/ Segef. Rio de Janeiro.
- Porsani, J.L. & Fontes, S.L., 1992.** Estudo Magnetotélúrico na Bacia do São Francisco. Relatório de Progresso Nº 010528. Relatório Petrobrás/Cenpes/Supep/ Segef-CNPq/ Observatório Nacional. Rio de Janeiro.
- Souza Fo R.G. 1995.** O arcabouço estrutural da porção externada Faixa Araçuaí na Serra do Cabral (MG) e o contraste de estilos deformacionais entre os supergrupos Espinhaço e São Francisco. Dissertação de mestrado, Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 148p.
- Teixeira, L.B., Martins, M., Braun, O.P.G., 1993.** Evolução Geológica da Bacia do São Francisco com base na Sísmica de Reflexão e Métodos Potenciais. 2º Simpósio sobre o Craton do São Francisco, Salvador, p.179-181.
- Vozoff, K., 1972.** The Magnetotelluric Method in Exploration of Sedimentary Basins. Geophysics, **37 (1)**: 98-141.
- Vozoff, K., 1991.** The Magnetotelluric Method, in Electromagnetic Methods in Applied Geophysics, edited by M.N. Nabighian, Society of Exploration Geophysicists.