



Modelo 2D da litosfera na Porção SW da Província Borborema: Interpretação Preliminar.

Andrea Cristina Lima Santos, IG/UnB

Marcelo Banik de Pádua, DGE/INPE

Ícaro Vitorello, DGE/INPE

Augusto Cesar Bittencourt Pires, IG/UnB

Copyright 2010, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Brasília, 14 a 17 de novembro de 2010. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IV SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Abstract

In the present work we show the preliminary results from magnetotelluric (MT) data (modelamento) processing and the preliminary analysis of a linear profile deployed perpendicularly to the tectonic structures along the states of Sergipe, Alagoas and Pernambuco, Brazil. To obtain an uniform distribution of the electrical conductivity of the crust and upper mantle in the SW portion of the Province Borborema, MT data were collected at 25 stations along a 260 km profile in the NW-SE direction. The data were processed using robust techniques, which generated MT transfer functions. For the preliminary quantitative analysis of these responses, model 2D were constructed resistivity and phase data into the two orthogonal directions (TE and TM). Preliminary interpretation suggests that the lithosphere under the Pernambuco Alagoas (SE portion of the profile) geological terrain and the Alto Motoxó terrain (NW portion) are geoelectrically different within the middle and lower crust with a well marked discontinuity in the region of the Jatobá sedimentary basin and the Pernambuco lineament.

Introdução

A província estrutural de Borborema é uma entidade tectônica que teve sua configuração atual definida durante o Ciclo Brasileiro (Almeida et al., 1981). Tal ciclo foi composto por uma série de eventos tectono-orogênicos, desencadeados no final do Proterozóico Superior, resultando na formação de unidades litoestruturais de rochas magmáticas consolidadas na parte superior da crosta. Ao longo dos anos, diversos autores vêm contribuindo para um melhor reconhecimento do arcabouço geológico e estrutural da província, sobretudo com base em dados geoquímicos e geocronológicos. No entanto, são escassas as informações geofísicas disponíveis sobre suas estruturas profundas. O Magnetotelúrico (MT) é um método geofísico utilizado para determinar um modelo geoeletrico da subsuperfície terrestre dentro de um intervalo de frequências que variam de 0,0001 a 1000 Hz (Hertz), para a aquisição de MT banda larga. Nesta metodologia,

utilizaram-se de medidas simultâneas das variações dos sinais do campo elétrico (**E**) e do campo magnético (**H**) naturais, na superfície da terra.

O escopo deste trabalho consistiu na inversão 2D e interpretação preliminar de dados magnetotelúricos em um perfil linear que corta, transversalmente, parte dos estados de Sergipe, Alagoas e Pernambuco (Figura 1). Com o objetivo de obter um modelo da distribuição de condutividade elétrica da crosta e manto superior na porção SW da Província Borborema, foram coletados dados em 25 estações ao longo de um perfil com direção SE-NW, com extensão aproximada de 260 km. Os dados foram processados utilizando técnicas robustas, gerando-se respostas das funções de transferência dos sinais MT.

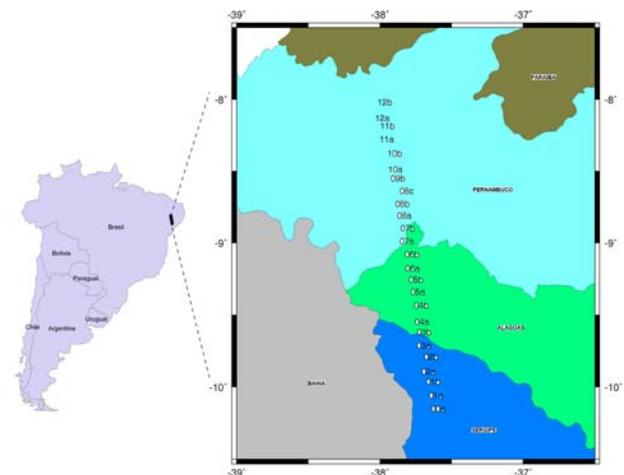


Fig.1 – Perfil com as estações de sondagem MT na região da Província Borborema, NE do Brasil.

Para análise quantitativa dessas respostas foi realizado a inversão 2D das curvas de resistividade e fase nas duas direções ortogonais (TE e TM). A análise preliminar sugere que o Terreno Pernambuco Alagoas (porção SE do perfil) e o Terreno Alto Motoxó são geoeletricamente distintos na crosta intermediária e inferior com uma descontinuidade bem marcada na região da Bacia Sedimentar do Jatobá.

Contexto geológico

A complexidade tectônica do Nordeste, superimposta pela ruptura continental que separou América do Sul e África e levou à formação do Oceano Atlântico sul, tem sido motivo de estudo ao longo dos anos na tentativa de compreender a estruturação regional e o significado da compartimentação regional em termos de origem e evolução da crosta continental. Caracterizada inicialmente por Almeida et al. (1977, 1981), a Província Borborema (PB) foi definida como um complexo mosaico de blocos crustais, amalgamados, situado no Nordeste brasileiro, em consequência de processos geológicos que tiveram sua finalização no ciclo Brasiliano/Panafricano (700 a 450 Ma) como o último evento orogênico na região. Neste domínio, são característicos o volumoso plutonismo granitóide e as importantes zonas de cisalhamento de idade neoproterozóica/brasileira. Numa etapa pioneira, vários estudos foram relevantes para o conhecimento dessa província estrutural (Brito Neves, 1975; Almeida et al., 1976). Atualmente diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos para um melhor reconhecimento do arcabouço geológico e estrutural da província, sobretudo com base em dados geoquímicos e geocronológicos (Jardim de Sá, 1994; Brito Neves et al., 2000, 2003; Van Schmus et al., 2008). Esses autores subdividiram a PB em vários segmentos englobando faixas dobradas e faixas supracrustais e maciços medianos.

A Província Borborema se limita a oeste pela Bacia do Parnaíba e a sul pelo Cráton do São Francisco. As estruturas da província se estendem além de seus limites formais, encobertas a oeste pelos depósitos fanerozóicos da Bacia do Parnaíba e a norte e leste pelas bacias meso-cenozóicas costeiras e da margem continental. Do ponto de vista tectonoestratigráfico, a Província abrange 3 grandes domínios, denominados de Setentrional, Central e Meridional (Van Schmus et al., 1995), os quais correspondem a uma colagem de domínios litotectônicos menores (Jardim de Sá, 1994).

Na região setentrional da província observam-se os domínios Médio Coreau, Ceará Central, Orós-Jaguaribe e Faixa Seridó, separados uns dos outros por importantes zonas de cisalhamento. A região central, ou Domínio da Zona Transversal, é delimitada pelos lineamentos Patos e Pernambuco. Contém vários segmentos internos de direção NE-SW (Brito Neves et al., 1995), deformados e rotacionados no sentido horário, em consequência do par cisalhante destro. Do litoral para o interior, são discriminados os terrenos Rio Capibaribe, constituído por associações supracrustais neoproterozóicas e mais antigas (Santos et al., 2004), intrudidas por granitos brasileiros; Alto Moxotó, com predominância de embasamento paleoproterozóico re-trabalhado e poucas intrusões brasileiras (Brito Neves et al., 2000). A zona transversal mostra um complexo arranjo de terrenos paleoproterozóicos, eventualmente com núcleos arqueanos, mesoproterozóicos e neoproterozóicos. O domínio meridional é constituído pelo Maciço Pernambuco-Alagoas e as faixas Sergipana e Riacho do Pontal (Brito Neves et al., 1984).

Buscando aperfeiçoar o modelo de evolução geotectônica da PB proposto por Almeida et al. (1976), Brito Neves (1975) utilizou a designação de Faixas de Dobramento Nordeste e a subdividiu em domínios estruturais. Dados de geocronologia (K-Ar e Rb-Sr) disponíveis na época levou Brito Neves (1975) a considerar que o evento Brasiliano/Panafricano estaria superposto a ciclos orogênicos mais antigos em alguns setores da PB. Acreditando em uma evolução orogênica bem mais complexa, Jardim de Sá (1994) discutiu a ocorrência, na região, de faixas supracrustais monocíclicas ou policíclicas. Os trabalhos de Santos et al. (1995) difundiram a análise de terreno propondo um modelo evolutivo para a porção sul da PB, envolvendo mecanismos de rifteamento, acreção, colisão, amalgamação e dispersão de terrenos.

O perfil MT está localizado na parte sul do Domínio Transversal e Norte do Domínio Meridional. A área de estudo corta perpendicularmente o Terreno Pernambuco-Alagoas, a Bacia Farenozóica do Jatobá, e parte do Terreno Alto Moxotó (Figura 2).

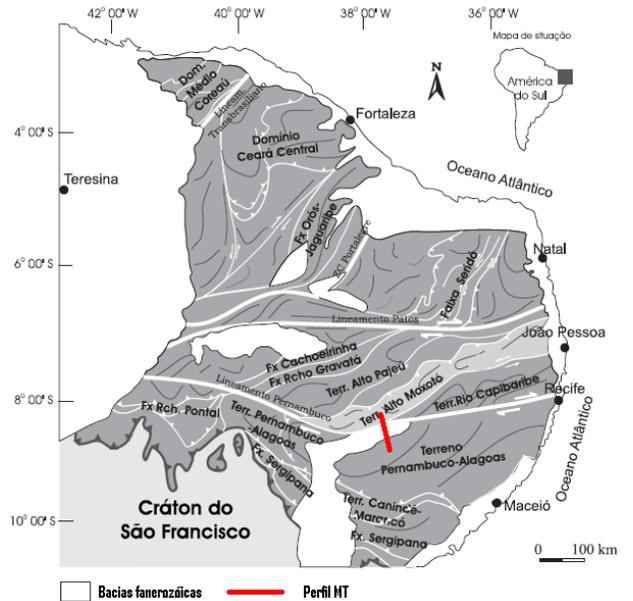


Figura 2. Mapa de Domínios Tectônicos para a província Borborema, com destaque para o perfil analisado. Modificado de Santos et al. (2004).

Princípios básicos do Método MT

O método magnetotelúrico é uma técnica utilizada para determinar um modelo geoeletrico da subsuperfície terrestre dentro de um intervalo de frequência que varia de 0,0001 a 1000 Hz (Hertz). Nesta metodologia, utilizam-se de medidas simultâneas, das variações dos sinais do campo elétrico (E) e do campo magnético (H) naturais, na superfície da terra (Vozoff, 1991; Simpson e Bahr, 2005). Tais variações são causadas por correntes elétricas presentes na ionosfera e magnetosfera terrestre, onde são geradas ondas eletromagnéticas que se propagam para a superfície. A propagação dessas ondas em um

meio condutor induz um campo elétrico, o qual vai conduzir uma corrente elétrica nesse meio. À medida que esse campo eletromagnético se difunde para o interior da terra, o mesmo atravessa regiões que apresentam mudanças de condutividade, as quais se correlacionam com variações litológicas, mineralógicas, conteúdo de fluido, propriedades dielétricas, permeabilidade, porosidade e salinidade. Quando o sinal eletromagnético encontra limites com diferentes condutividades, campos secundários são gerados e parte deles se propaga de volta para superfície trazendo informações de mudanças relativas de condutividade em subsuperfície. Esses sinais são obtidos no domínio do tempo e são processados no domínio da frequência com a finalidade de se chegar às impedâncias. Estas, por sua vez, são interpretadas em termos da resistividade elétrica, como função da posição e da profundidade através de modelos unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais. A definição do tensor de impedância eletromagnética (\mathbf{Z}) se dá através da relação entre as componentes horizontais complexas dos campos elétrico (\mathbf{E}) e magnético (\mathbf{H}) em direções mutuamente ortogonais. Para calcular resistividades aparentes (ρ_a) e fases (φ), se utiliza dos elementos do tensor de impedâncias. A penetração do sinal no interior terrestre depende do seu período de oscilação e da condutividade do meio.

Metodologia

Aquisição dos dados MT

Dados de banda larga foram coletados em 25 sondagens num perfil de aproximadamente 260 km. As sondagens foram realizadas em duas etapas, nos anos de 2007 e 2008, ao longo de um perfil linear que corta perpendicularmente, parte dos estados de Sergipe, Alagoas e Pernambuco. Os dados foram obtidos através do equipamento GMS06 (Metronix GmbH), que utiliza eletrodos não polarizáveis a base de cloreto de chumbo e sensores magnéticos do tipo bobina de indução para as medidas das componentes eletromagnéticas. O instrumento adquiriu dados numa faixa espectral entre 0,0008 s – 1024 s. Para esta faixa espectral, os valores de resistividade observados na região permitiram atingir profundidades entre algumas dezenas de metros até dezenas de quilômetros. A duração típica de cada sondagem foi de 24 h.

O arranjo para medidas em campo seguiu o padrão para a aquisição de cinco componentes ortogonais do campo eletromagnético. Cada componente do campo elétrico (E_x e E_y) é calculada de forma indireta, medindo-se a diferença de potencial entre pares de sensores elétricos e dividindo-se pela separação entre eles. A separação entre esses sensores, utilizada para esse estudo, foi de 150 m. O alinhamento, efetuado com o auxílio de bússolas, foi ao longo das direções norte-sul e leste-oeste geomagnéticas. Para os registros das variações das componentes do campo magnético (B_x , B_y e B_z), foram utilizadas bobinas de indução posicionadas ao

longo das direções norte-sul, leste-oeste geomagnéticas e vertical.

Processamento dos dados MT

Os dados foram processados seguindo procedimento adotado pelo grupo de pesquisa em Geomagnetismo da Divisão de Geofísica Espacial – GEOMA/DGE/INPE (Santos *et. al*, 2009). Para o cálculo da função de transferência (impedâncias), o programa utilizado foi o de Egbert. Após a obtenção das funções de transferências entre as componentes eletromagnéticas ao longo dos eixos de medidas, o passo seguinte no processamento dos dados experimentais foi a remoção de efeitos não indutivos, galvânicos, gerados por pequenos corpos 3D próximos a superfície no local de medidas. Para verificar a dimensionalidade da estrutura regional (ou seja, se ela pode efetivamente ser considerada 2D), foi utilizada a técnica proposta por Bahr (1991), e seguindo-se com o procedimento de Groom e Bailey (1989), para eliminar as distorções geradas pelos corpos superficiais e obter as impedâncias já projetadas em um eixo de coordenadas definido pelo strike geoeletrico regional (calculado durante o processo). Na fase da determinação dos parâmetros de Groom e Bailey, utilizou-se do programa Strike, desenvolvido por McNeice e Jones (2001). Com objetivo de estimar o strike geoeletrico de forma estatisticamente mais consistente com a direção da estrutura geológica. O resultado do processamento descrito nos itens anteriores é a obtenção das diferentes funções de transferência MT (resistividades aparentes, fases e funções de transferência magnética) ao longo das direções paralelas e ortogonais do strike geoeletrico (modos TE e TM de propagação do sinal eletromagnético) para todas as estações de medida. Posteriormente foi realizada a inversão de dados MT, que consiste na obtenção de um modelo de distribuição de condutividades sob o perfil de medidas que ajuste, dentro de certos limites pré-estabelecidos (erros), os diferentes parâmetros obtidos nos levantamentos de campo. O programa utilizado para a realização da inversão, neste trabalho foi o proposto por Rodi e Mackie (2001).

Resultados Preliminares

A inversão 2D (Figura 3) obtida para os dados MT ao longo do perfil indica características geoeletricas relativamente distintas na porção NW (entre as estações 09b e 12b), mais resistiva que a estrutura observada a SE (entre as estações 00a e 07b), separada pela anomalia resistiva de baixo valor, na ordem de 10 Ohm.m. Exceto para a porção mais superficial, de algumas centenas de metros, a crosta superior se apresenta muito resistiva, até a profundidades ao redor de aproximadamente 5 km para a porção SE e 20 Km para a porção SW. Somente na parte mais SW do perfil, entre as sondagens 08a, 08b e 08c, ocorre na crosta superior uma camada estreita de baixo valor de resistividade, semelhante ao descrito anteriormente, que coincide com os depósitos sedimentares da bacia do Jatobá.

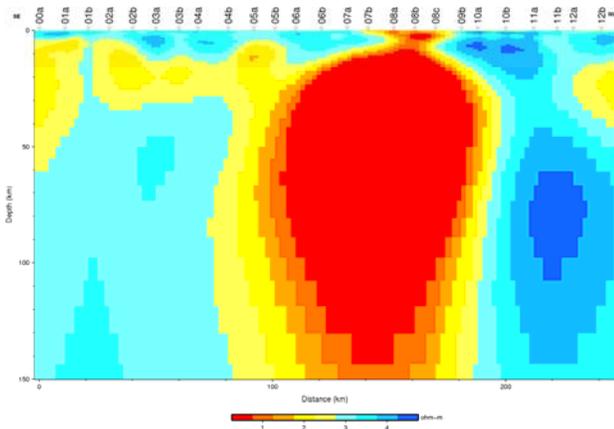


Figura 3. Modelo 2D, preliminar, para o perfil estudado.

Abaixo da crosta resistiva, parte mais ao sul do perfil, ocorre uma camada subhorizontal de menor resistividade, na ordem de 100 ohms.m com profundidade de aproximadamente de 5 a 20 km, e extensão lateral de aproximadamente 130 m, segmentada ainda na crosta superior-intermediária e uma estrutura com geometria ovalada com baixa resistividade, na ordem de 4 ohms.m, localizada particularmente na região próxima do cruzamento do perfil com a bacia do Jatobá e o Lineamento Pernambuco. A interpretação preliminar dos dados MT pode estar apontando para uma correlação com uma possível falha de grande profundidade, que pode estar associada a uma zona de sutura, na região próxima a bacia do jatobá, onde se encontram os menores valores de resistividade.

Conclusões

A interpretação preliminar dos dados de indução eletromagnética, indica para toda a região de estudo, características geofísicas de alta resistividade elétrica. Entretanto, a litosfera abaixo do Terreno Pernambuco alagoas apresenta uma maior condutância. Essa zona anômala de baixa resistividade pode estar associada a alguma deformação térmica na base da crosta.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade de Brasília e ao CNPq, que possibilitaram os meios acadêmicos e econômicos; e às equipes de campo e processamento de dados do grupo de Geomagnetismo do INPE.

Referências

Almeida, F. F. M. 1977. O Cráton do São Francisco. Revista Brasileira de Geociências, 7, 349-364.

Almeida, F.F.M., Hasui, Y. and Brito Neves, B.B. 1976. The Upper Precambrian of South América. Boletim IG/Universidade de São Paulo, 7, 45-80.

Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R. 1977. Províncias Estruturais Brasileiras. In: simpósio de Geologia do Nordeste, 8, 363-391.

Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B. and Fuck, R. 1981. Brazilian Structural provinces: na intrudicion. Earth Sci. Ver., 17, 1-29.

Bahr, K. 1991. Geological Noise in Magnetotelluric Data: A Classification of Distortion Types. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 66, 24-38.

Brito Neves, B.B. 1975. Regionalização Geotectônica do Precambriano Nordestino. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 198p.

Brito Neves, B. B., Fuck, R. A., Cordani, U. G. and Thomaz Filho, A. 1984. Influence of Basement Structures in the Evolution of the Major Sedimentary Basins of Brazil. Journal of Geodynamics, 1, 495-510.

Brito Neves, B. B., Van Schmus, W. R., Santos, E. J., Campos Neto, C. and KOZUCH, M. 1995. O evento Cariris Velhos na Província Borborema : Integração de Dados, Implicações e Perspectivas. Revista Brasileira de Geociências, 25, 279-296.

Brito Neves, B. B., Santos, E. J., Van Schmus, W. R. 2000 - Tectonic history of the Borborema Province, northeastern Brazil. In Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (Eds.) Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro, 31 International Geological Congress, 151-182.

Brito Neves, B. B., Passarelli, C. R., Basei, M. A. S., Santos, E. J. 2003. Idades U-Pb em Zircão de alguns Granitos Clássicos da Província Borborema. Geologia USP, Série Científica, 3, 25-38.

Egbert, G.D., 1997, Robust Multiple Station Magnetotelluric Data Processing. Geophys. J. Int., 130, 475- 496.

Groom, R. W.; Bailey, R. C. 1989. Decomposition of Magnetotelluric Impedance Tensors in the Presence of Local Three-Dimensional Galvanic Distortion. Journal of Geophysical Research, 94, B2, 1913-1925.

Jardim de Sá, E. F. 1994. A Faixa Seridó (Província Borborema, NE Brasil) e o seu Significado Geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana, Brasília, Universidade de Brasília, unpublished Ph.D. Thesis, 803p.

Jones, A.G. 1988. Static Shift of Magnetotelluric Data and its Removal in a Sedimentary Basin Environment. Geophysics, 53, 967-978.

Larsen, J.C. 1977. Removal of local surface Conductivity Effects From Low Frequency Mantle Response Curves. *Acta Geodaet., Geophys. Et Montanist. Acad. Sci. Hungary*, 12, 183-186.

McNeice, G. W.; Jones, A. G. 2001. Multisite, Multifrequency Tensor Decomposition of Magnetotelluric Data. *Geophysics*, 66, 1, 158-173.

Paker, R. L., and Booker, J. R. 1996. Optimal One-dimensional inversion and Bounding of magnetotelluric apparent resistivity and phase measurements. *Physics of the earth and planetary interiors*, 98, 269-282.

Santos, A.C.L, Padua, M.B., Vitorello, I., Pires, A.C.B. 2009. Imageamento da estrutura geoeétrica da litosfera no SW da Província Borborema: Análise Preliminar. 11 Congresso Internacional de Geofísica.

Santos, E.J. 1995. O Complexo granítico Lagoa das Pedras: Acresção e Colisão na Região Floresta (Pernambuco), Província Borborema. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 219.

Santos, E. J., Nutman, A. P., Brito Neves, B. B. 2004. Idades SHRIMP U-Pb do Complexo Sertânia: implicações sobre a evolução tectônica da zona transversal, Província Borborema. *Geologia USP, Série Científica*, 4, 1-12.

Simpson, F., and Bahr, K., 2005, *Practical Magnetotellurics*. Cambridge University Press, Cambridge, 270p.

Rodi, W.; Mackie, R. L. 2001. Nonlinear Conjugate Gradients Algorithm for 2-D Magnetotelluric Inversion. *Geophysics*, 66,1, 174-187.

Van Schmus, W. R., Brito Neves, B. B., Hackspacher, P. C. and Barbinski, M. 1995. U-Pb and Sm-Nd Geochronologic Studies of the Eastern Borborema Province, Northeastern Brazil: initial conclusions. *Journal of South American Earth Sciences*, 8, 267-288.

Van Schmus, W. R., Oliveira, E.P., Silva Filho, A.F., Toteu, S.F., Penaye, J. and Guimarães, I.P. 2008. Proterozoic links Between the Borborema Province, NE Brazil, and the Central African Fold Belt. In Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., Brito Neves, B.B., de Witt, M.J. *West Gondwana, Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region*. Geological Society, London, Special Publications, 294, 69-99.

Vozoff, K. 1991. The magnetotelluric Method, in Nabighian, M.N. (ed.), *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, 3, 641-711.