



## Imageamento de Estruturas Crustais na Porção SE da Província Borborema Utilizando o Método Magnetotelúrico

Andrea C. Lima Santos\* (UnB), Ícaro Vitorello (INPE), Antonio L. Padilha (INPE), Marcelo B. de Pádua (INPE), Augusto C. B. Pires (UnB).

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12 International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12 International Congress of the Brazilian Geophysical Society 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.

### Resumo

O escopo deste trabalho consiste no levantamento, processamento, inversão 2D e interpretação preliminar de dados magnetotelúricos em um perfil linear que corta, transversalmente, parte dos estados de Sergipe, Alagoas e Pernambuco. Com o objetivo de obter um modelo da distribuição de condutividade elétrica da crosta e manto superior na porção SE da Província Borborema, foram coletados dados em 25 estações ao longo de um perfil com direção SSE-NNW, com extensão aproximada de 260 km. Os dados foram processados utilizando técnicas robustas, gerando respostas das funções de transferência dos sinais magnetotelúricos. Para análise quantitativa dessas respostas foi realizada a inversão 2D das curvas de resistividade e fase nas duas direções ortogonais de propagação do sinal (TE e TM). A análise preliminar sugere a presença de dois blocos geoeletricamente distintos na crosta superior e intermediária com uma descontinuidade bem marcada na região da bacia sedimentar do Jatobá.

### Introdução

A província estrutural Borborema é uma entidade tectônica que teve sua configuração atual definida durante a Orogenia Brasileira. A orogenia compreende uma série de eventos tectono-orogênicos, desencadeados no final do Neoproterozóico, resultando na formação de unidades litoestruturais de rochas magmáticas e metamórficas consolidadas na parte superior da crosta. Ao longo dos anos, diversos autores vêm contribuindo para o 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 amplo intervalo de frequências

(tipicamente de 0,0001 a 1000 Hz). Por meio de medidas simultâneas na superfície da Terra das variações naturais dos campos elétrico (E) e magnético (H) em amplo intervalo de frequências, o método permite inferir a distribuição da condutividade elétrica desde os primeiros metros da crosta até centenas de quilômetros no manto superior (Simpson & Bahr, 2005). Discute-se neste trabalho a inversão 2D e interpretação preliminar de dados MT ao longo de perfil linear que corta transversalmente as principais estruturas e terrenos na porção SE da Província Borborema (Figura 1). Dados foram coletados em 25 estações em um perfil com direção S-N e extensão aproximada de 260 km. Esses dados foram processados com utilização de técnicas robustas, gerando respostas das funções de transferência dos sinais MT. Para análise quantitativa dessas respostas foi realizada a inversão 2D das curvas de resistividade e fase nas duas direções ortogonais de propagação das ondas eletromagnéticas (TE e TM). A análise do modelo de inversão 2D sugere que a porção Sul do perfil (onde se encontram os terrenos Pernambuco Alagoas, Canindé, Marancó, Macururé e Poço Redondo) é geoeletricamente distinta da porção Norte (terreno Alto Moxotó) na crosta intermediária e inferior, com segmentação bem marcada na região onde se situa a Bacia Sedimentar do Jatobá.

### Geologia

Caracterizada inicialmente por Almeida *et al.* (1977, 1981), a Província Borborema foi definida como um complexo mosaico de blocos crustais, amalgamados, situado no Nordeste brasileiro. Originou-se em consequência de processos geológicos que tiveram sua finalização na Orogenia Brasileira/Panafricana (700 a 450 Ma), definida como o último evento orogênico na região. A Orogenia Brasileira foi composta por uma série de eventos tectono-orogênicos, desencadeados no final do Neoproterozóico, resultando na formação de unidades litoestruturais de rochas magmáticas e metamórficas consolidadas na parte superior da crosta. Nesse domínio, são característicos o volumoso plutonismo granitóide e as importantes zonas de cisalhamento de idade neoproterozóica/brasileira (Medeiros, 2004). A área de estudo está localizada na porção SE da Província Borborema. O perfil analisado está sobreposto aos terrenos Alto Moxotó e Pernambuco-Alagoas, separados pela zona de cisalhamento de Pernambuco, domínios da Faixa Sergipana (Poço Redondo, Canindé, Marancó e Macururé) e, cortando perpendicularmente, a bacia sedimentar Jatobá (Figura 2). O Terreno Alto Moxotó, situado entre os terrenos Alto Pajeú e Rio Capibaribe, é caracterizado por embasamento constituído por

## Imageamento de Estruturas Crustais na Província Borborema

ortognaisses migmatíticos dioríticos-granodioríticos a tonalíticos, de idade paleoproterozóica, com núcleos e evidências de protólitos arqueanos (Brito Neves *et al.*, 2001). Ele está sobreposto pelas seqüências metavulcanossedimentares do Complexo Sertânia, com idade em torno de 2.0 Ga. Ambos são intrudidos por rochas félsicas e máficas, também deformadas. Sobreposto a esse conjunto de rochas ocorre seqüência metassedimentar de idade neoproterozóica. O Terreno Pernambuco-Alagoas constitui um segmento infracrustal situado ao sul do Lineamento Pernambuco, formado principalmente por ortognaisses e migmatitos com intercalações de quartzitos, do Complexo Belém do São Francisco, incluindo rochas supracrustais do Complexo Cabrobó (Santos, 1995). A bacia sedimentar Jatobá, implantada sobre o terreno Pernambuco-Alagoas, tem sua origem relacionada a uma série de eventos termomecânicos. Representa a porção mais setentrional do rift Recôncavo-Tucano-Jatoba que constituiu um ramo abortado do riftingamento sul Atlântico. Estruturalmente é caracterizada por *hemigraben* com o substrato constituído, predominantemente, por blocos rotacionados e progressivamente mais baixos em direção a NW (Peraro, 1995). A Faixa Segipana, separada por importantes zonas de cisalhamento, está localizada entre o Maciço Pernambuco-Alagoas e o Cráton do São Francisco. Na literatura é interpretada como a continuação, na América do Sul, da Faixa Oubangides, na África, com idade neoproterozóica (Orogenia Brasileira/Pan-Africana). O quadro lito-estratigráfico da região está individualizado em diversos domínios: Canindé, Poço Redondo, Marancó, Macururé, Vaza Barris e Estância (Davison e Santos 1989; Silva Filho, 1998). Os três primeiros domínios são compostos de rochas plutônicas, vulcânicas e sedimentares e os três últimos por rochas sedimentares (Oliveira *et al.*, 2010). Os domínios Macururé, Marancó, Poço Redondo e Canindé são caracterizados por metamorfismo mais elevado, e abundantes intrusões de granitos neoproterozóicos (Oliveira *et al.*, 2010). O domínio Canindé é constituído principalmente por rochas metavulcânicas, diques máficos e félsicos metamorfisados, intercalações de rochas metassedimentares, intrusões graníticas diversas e um complexo gabróico (Suíte Gabróica Canindé). O domínio Poço Redondo consiste em migmatitos, gnaisses e intrusões graníticas, cujas idades e assinaturas isotópicas Sm-Nd são similares às do evento Cariris Velhos na Zona Transversal (Van Schmus *et al.*, 2008), enquanto o domínio Marancó contém seqüência metavulcano-sedimentar. O Complexo Macururé expõe associação litológica dominada por quartzitos, xistos pelíticos, metarrilitos e outras rochas metassedimentares clásticas menos expressivas. Os domínios Vaza Barris e Estância compreendem principalmente rochas de origem sedimentar pouco ou não metamórficas. (Van Schmus *et al.*, 2008).

### Processamento de Dados

Depois de obter as diferentes funções de transferência MT (o tensor de impedâncias **Z**, na forma de resistividade aparente e fase), foi realizada a decomposição dos dados por meio do método proposto por Groom & Bailey (1989). Nesse método o tensor de impedância é parametrizado

de modo a se formar um conjunto de equações não lineares simultâneas para os parâmetros de distorção telúrica e funções respostas regionais 2D (3D/2D). Por meio do método Groom e Bailey é possível recuperar o *strike* geoeletrico, bem como as duas principais impedâncias regionais (XY e YX). Para verificar a dimensionalidade da estrutura regional (ou seja, se ela pode efetivamente ser considerada 2D), foi utilizada a técnica proposta por Bahr (1988), que se utiliza de uma série de invariantes para propor uma dimensionalidade regional. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que a maioria das estações obedece ao modelo do tipo 3D/2D na descrição de Bahr (1988), ou seja, as distorções superficiais 3D encontram-se sobrepostas a um modelo que pode ser regionalmente considerado 2D. 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. A inversão de dados, de uma forma geral, é uma maneira rápida de se obter um modelo a partir dos dados observados. A inversão foi feita com os dados decompostos, portanto dados 2D rotacionados para a direção do *strike* obtido (N70E). O modelo final desse trabalho foi derivado, utilizando o programa de inversão de dados MT 2-D REBOCC (Reduced Basis Occam's Inversion) (Siripunvaraporn e Egbert, 2000).

### Resultados Preliminares

Como os resultados das inversões TE e TM trazem informações complementares fez-se a inversão simultânea de ambos os modos. O modelo final escolhido foi aquele que apresentou menor erro entre dados experimentais e aqueles gerados pelo modelo. Com o objetivo de ressaltar estruturas da crosta superior e média, será apresentado aqui apenas uma seção geoeletrica para profundidades de 0 a 10Km (Figura 3). O modelo 2D de inversão apresenta para todo o perfil blocos muito resistivos (aproximadamente 10000 ohm.m), com espessura média em torno de 3 km na porção Sul do perfil e da ordem de 10 km na porção Norte, coincidente com o terreno Alto Moxotó, segmentado por significativa anomalia condutora, da ordem de 3 ohm.m. Essa anomalia de alta condutividade (entre as sondagens 07b, 08a, 08b, 08c e 09b na Figura 3) coincide com os depósitos sedimentares da bacia Jatobá, apresentando espessura em torno de 4 km na região onde estaria localizado o depocentro da bacia (estação 08c). Na figura é também possível inferir a estrutura de *hemigraben* descrito na literatura (Peraro, 1995). Imediatamente abaixo da bacia do Jatobá observa-se ainda uma outra anomalia de alta condutividade. Em profundidades abaixo de 3 km, na porção Sul do perfil, é possível observar que a seção geoeletrica é dividida em diferentes estruturas. Fazendo uma correlação com o mapa de domínios geológicos (Figura 4), observa-se na porção Norte do perfil, um terreno de alta resistividade, aproximadamente 10000 ohm.m, corresponderia ao embasamento do terreno Alto Moxotó. A bacia sedimentar Jatobá, como citado acima, é bem marcada no modelo (estações 07b a 09b). O bloco Pernambuco-Alagoas (estações 07a a 04a), apresenta-se como uma estrutura resistiva (resistividade superior a 1000 ohm.m). Nesse terreno são

observados blocos altamente resistivos (10000 ohm.m) que podem estar associados aos corpos graníticos mapeados na região. O modelo apresentado mostra, ainda, na região do bloco Pernambuco-Alagoas, outra estrutura de alta condutividade (estação 05b), com valores da ordem de 3 ohm.m. Já na região da Faixa Sergipana o domínio Canindé (estações 03b e 03a) também é marcado por embasamento resistivo (superior a 10000 ohm.m), com uma estrutura pouco mais profunda condutora (3 ohm.m). Essa anomalia de alta condutividade na litosfera abaixo da estação 03b pode estar associada a uma possível zona de sutura, já sugerida por Jardim de Sá *et al.* (1992) e Jardim de Sá (1994). No domínio Marancó-Poço Redondo observam-se características diferentes para as duas unidades que compõem esse domínio. A unidade Poço Redondo se apresenta mais resistiva (10000 ohm.m) que a unidade Marancó (1000 ohm.m). O domínio Macururé também é marcado por embasamento de alta resistividade, nos três primeiros quilômetros, e logo abaixo apresenta estruturas mais condutoras (30 ohm.m). A análise preliminar do modelo de inversão 2D sugere, portanto, dois terrenos geoeletricamente distintos para o perfil analisado, separados pela região onde se situa a bacia do Jatobá.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade de Brasília e ao CNPq (INCT-ET 57.3713/2008-1), que possibilitaram os meios acadêmicos e financeiros para a conclusão do trabalho, e às equipes de campo e processamento de dados do grupo de Geomagnetismo do INPE.

#### Referências

- Almeida FFM, Hasui Y, Brito Neves BB & Fuck R. 1977. Províncias Estruturais Brasileiras. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 8: 363-391.
- Almeida FFM, Hasui Y, Brito Neves BB & Fuck R. 1981. Brazilian Structural provinces: an introduction. *Earth Science Reviews.*, 17: 1-29.
- Bahr, K. 1988. Interpretation of the magnetotelluric impedance tensor: regional induction and local telluric distortion. *Journal of Geophysics*, 62(2): 119-127.
- Brito Neves BB, Van Schmus WR & Santos EJ. 2001. O Sistema Pajeú-Paraíba e o Maciço São José do Campestre no Leste da Borborema. *Revista Brasileira de Geociências*, 31: 173-184.
- CPRM, 2004. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Companhia de pesquisa de Recursos Minerais. Sistema de Informação Geográfica, Etapa:1:1000.000.
- Davison I & Santos RA. 1989. Tectonic evolution of the Sergipano Fold Belt, NE Brazil. During the Brasiliano Orogeny. *Precambrian Research*, 45: 319-342.
- Groom RW & Bailey RC. 1989. Decomposition of magnetotelluric impedance tensor in the presence of local three-dimensional galvanic distortions. *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, Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, 803p.
- Jardim de Sá, E.F., Macedo, M.H.F., Fuck, R.A. and Kawashita, K. 1992. Terreno proterozóicos na Província Borborema e a margem norte do Cráton São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*. 22:472-480.
- Medeiros VC. 2004. Evolução geodinâmica e condicionamento estrutural dos Terrenos Piancó-Alto Brígida e Alto Pajeú, domínio estrutural da zona transversal, NE do Brasil. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 199 p.
- Oliveira EP, Windley BF & Araújo MN. 2010. The Neoproterozoic Sergipano orogenic belt, NE Brazil: A complete plate tectonic cycle in western Gondwana. *Precambrian Research, Elsevier*, 181: 64-84.
- Peraro AA. 1995. Caracterização sísmica do tectonismo transcorrente na Bacia do Jatobá. In: Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro. Resumos Expandidos, 2(1): 1-3.
- Santos EJ. 1995. O Complexo granítico Lagoa das Pedras: Acresção Colisão na Região Floresta (Pernambuco), Província Borborema. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 219 p.
- Silva Filho AF DA. 1989. Shoshonitic and ultrapotassic intrusive suites in the Piancó-Alto Erigida belt, Pernambuco state, Brazil.. Tese de doutoramento. Universidade de Londres, Londres, 422 p.
- Simpson F & Bahr K. 2005, *Practical Magnetotellurics*. Cambridge University Press, Cambridge, 270 p.
- Siripunvaraporn W & Egbert G. 2000. Software documentation and user manual a Reduced Basis Occam (REBOCC) Inversion, version 1.0 for two-dimensional magnetotelluric data, 2-18.
- Van Schmus WR, Oliveira EP, Silva Filho AF, Toteu SF, Penaye J & Guimarães IP. 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, Precambrian Correlations Across the South Atlantic Region*. Geological Society, London, Special Publications, 294: 69-99.

### Imagem de Estruturas Crustais na Província Borborema

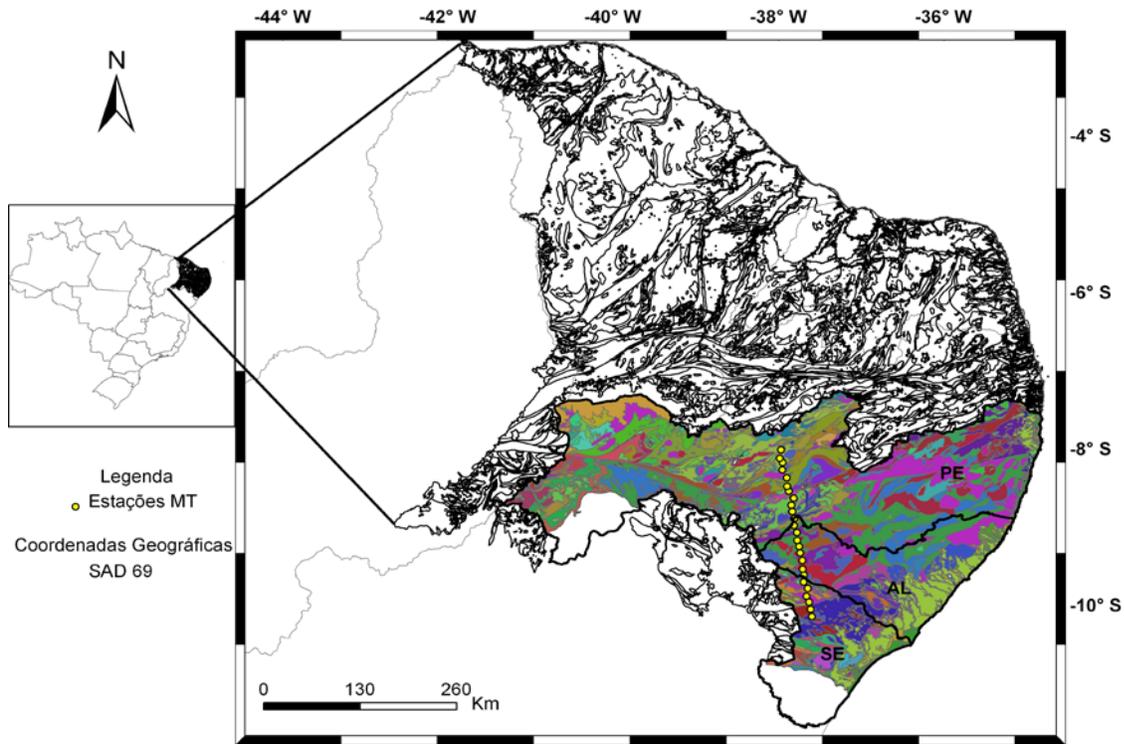


Figura 1 – Mapa de localização da Província Borborema com destaque para área de estudo. Modificado de rovinícia CPRM (2004).

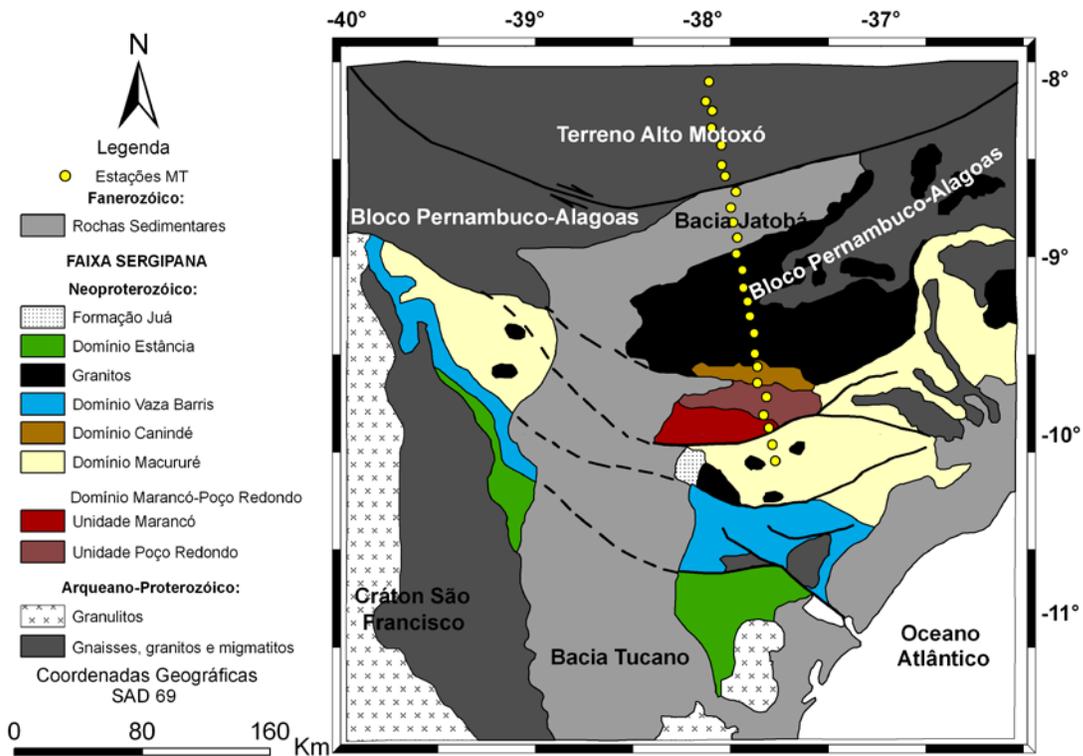


Figura 2 – Mapa de domínios tectônicos para a região estudada. Modificado de Oliveira *et al.* (2010)..

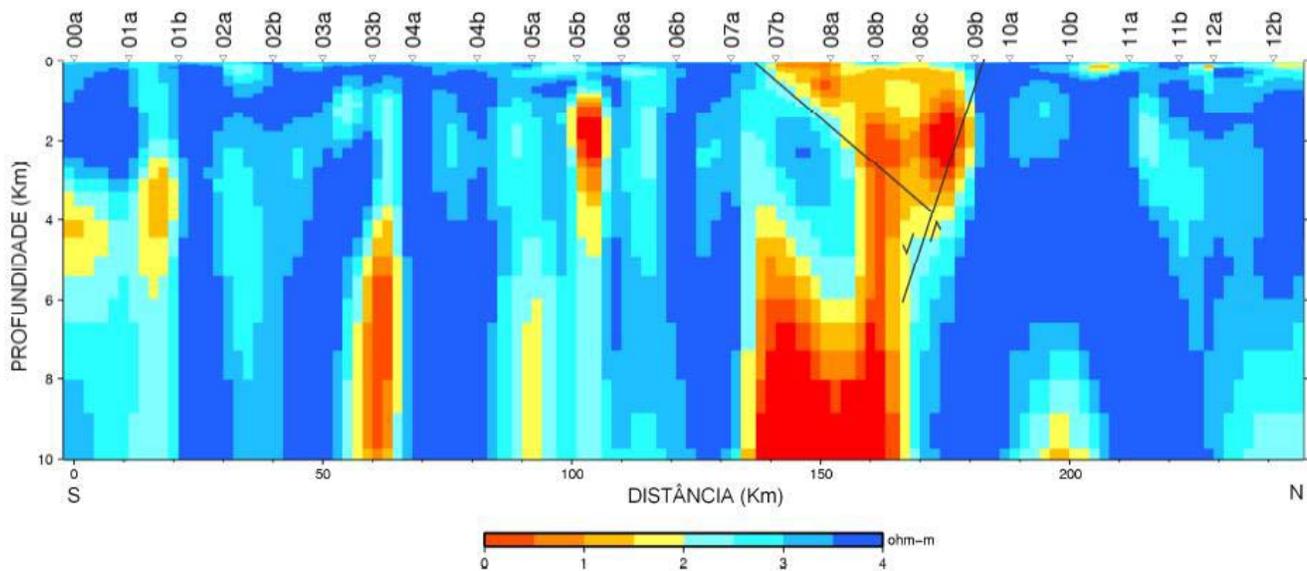


Figura 3 – Modelo de inversão 2D para a porção SE da Província Borborema – até 10 km de profundidade. As cores frias (azuladas) são características de alta resistividade, enquanto as cores quentes (avermelhadas) são características de baixa resistividade. A linha contínua representa o *hemigraben* da bacia do Jatobá, sugerido por Peraro (1995).

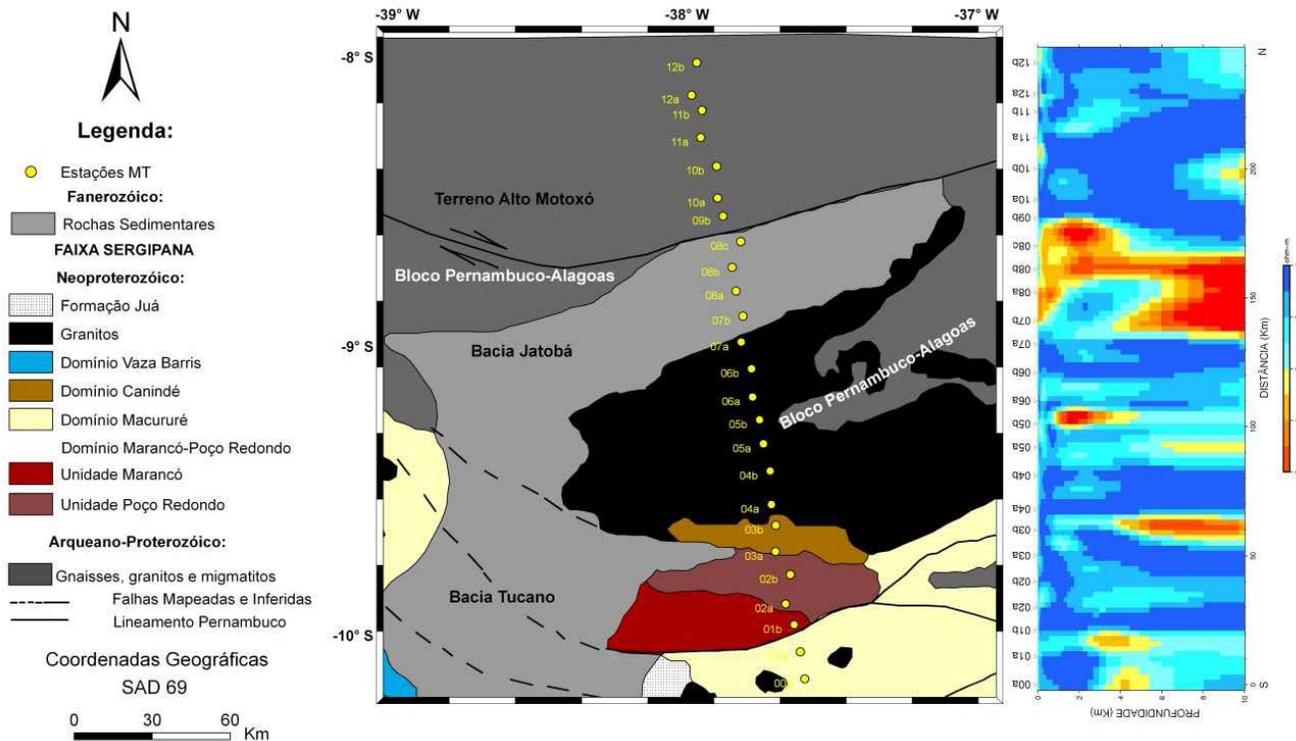


Figura 4 Modelo de inversão 2D para a porção SE da província Borborema – até 10 km de profundidade, relacionado com mapa de domínios geológicos (segundo Oliveira *et al.*, 2010).