

## Modelagem de onda P e razão Vp/Vs da crosta sob a linha de refração sísmica profunda NW-SE da Província Borborema

Edson J. Tavares<sup>1</sup>, José Eduardo P. Soares\*<sup>1</sup>, Reinhardt A. Fuck<sup>1</sup>, Marcus Vinicius A. G. de Lima<sup>2</sup>  
 (1-Lablitos/IG/UnB, 2-IAG/USP)

Copyright 2012, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no V Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador, 27 a 29 de novembro de 2012. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do V 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

Deep seismic refraction experiment carried out in Borborema Province in November 2008 (INCT-ET/CNPq) permits to determine the seismic structure of the lithosphere along a profile 880 km long, crossing the main tectonic domains. It reveals a very thin crust probably reworked and thinned by recent tectonic process. Vp/Vs results for the upper and lower crust are being determined to better constrain crustal composition and better understand the crustal deformation process, particularly in the Borborema Province.

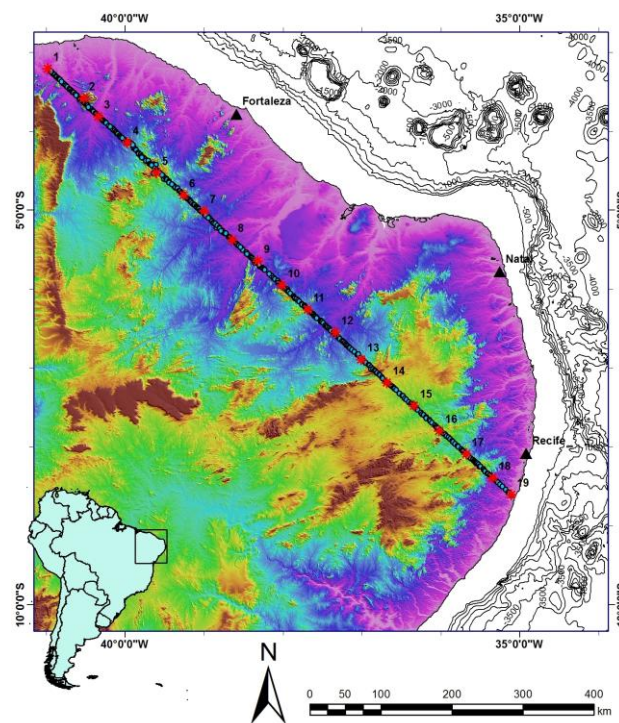
### Introdução

Estudos geofísicos integrados de gravimetria, magnetotélurico, sismologia e refração sísmica profunda vêm sendo realizados pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Estudos Tectônicos (INCT-ET) na Província Borborema e norte do Cráton São Francisco com a finalidade de determinar a estrutura da litosfera e aprofundar o conhecimento sobre a história tectônica da região (Almeida *et al.*, 1981).

Dessa forma, em novembro de 2008 foi realizado experimento de refração sísmica profunda na Província Borborema, nordeste do Brasil, ao longo de perfil de 880 km de extensão na direção NW-SE, desde Granja-CE até Serinhaém-PE (**Figura 1**). A linha de refração sísmica foi realizada com 400 sensores, um a cada 2,2 km, e 19 pontos de tiro, um a cada 50 km ao longo do perfil. Os tiros foram realizados em furos de 10 polegadas de diâmetro e 45 m de profundidade com o explosivo, em forma de gel, acomodado nos dois terços inferiores do furo e a porção superior tamponada com brita. Os tiros extremos foram detonados com carga de 4,0 toneladas de explosivo e os tiros intermediários com carga de 1,4 toneladas.

Os dados obtidos possibilitaram a análise de ondas P que, consideradas junto com as ondas S, permitiram a determinação da razão Vp/Vs para a crosta como um todo (Vpmp/Vsms) e para a crosta superior (Vpg/Vsg). A partir desses valores foi inferida a razão Vp/Vs para a crosta inferior. Razão Vp/Vs é um adimensional particularmente sensível ao conteúdo de sílica das rochas. Pode identificar diferenças entre terrenos não

perceptíveis pelas ondas P ou S separadamente. Permite inferir também se a composição das rochas é máfica, félsica ou intermediárias (Zandt & Ammon, 1995; Mussachio *et al.*, 1997).



**Figura 1.** Mapa topográfico do nordeste do Brasil com a linha de refração sísmica profunda NW-SE da Província Borborema. Os pontos verdes representam os registradores e as estrelas vermelhas os pontos de tiro.

### Geologia Regional

O perfil sísmico corta de NW para SE os domínios Médio Coreaú, Ceará Central, Orós-Jaguaribe, Rio Grande do Norte e Zona Transversal.

O domínio Médio Coreaú consiste em rochas de alto grau metamórfico e segmentos vulcano-sedimentares e rochas pelito-carbonatadas. O limite com o domínio Ceará Central é marcado pela zona de cisalhamento Sobral-Pedro II. O domínio Ceará Central consiste em ortognaisses paleoproterozóicos envolvendo núcleos arqueano, em parte recobertos por supracrustais (nappes) do Grupo Ceará. Na porção NW ocorre domínio de rochas neoproterozóicas do arco magmático de Santa

Quitéria. A zona de cisalhamento Senador Pompeu marca o limite com o domínio Orós-Jaguaribe. O domínio Orós-Jaguaribe compreende ortognaisses do paleoproterozóico, localmente recoberto por seqüência de rochas supracrustais de diferentes idades do proterozóico, intrudido por granitos do final do Neoproterozóico. A zona de cisalhamento Portalegre marca o limite com o domínio Rio Grande do Norte. O domínio Rio Grande do Norte é formado por gnaisses paleoproterozóicos com núcleo arqueano e seqüência supracrustal neoproterozóica com granitos neoproterozóicos. A zona de cisalhamento Patos marca o limite com o domínio da Zona Transversal. A Zona Transversal é composta por arranjo de terrenos paleoproterozóicos, eventualmente com núcleos arqueanos, mesoproterozóicos e neoproterozóicos. O limite sul da Zona Transversal é a zona de cisalhamento Pernambuco (Brito Neves et al., 2000, Santos et al., 2008).

### Metodologia

Os dados de refração foram submetidos a etapas de pré-processamento e processamento, que podem ser resumidas em:

- I. conversão dos dados do formato original do equipamento para o formato SAC, do programa Seismic Analysis Code (Tapley e Tull, 1991);
- II. correção da deriva de tempo dos registradores;
- III. edição dos cabeçalhos dos traços incluindo posição do sensor e ponto de tiro (distância com o tiro) e hora origem do evento;
- IV. corte dos registros em janelas de 150 s com início na hora origem do evento;
- V. construção das seções sísmicas de refração das ondas P e S reduzidas com velocidade de 8.0 km/s e 4.62 km/s, respectivamente e filtradas na banda passante de 1-10 Hz para onda P e de 2-6 Hz para onda S;
- VI. identificação e classificação dos alinhamentos de fases, primários e secundários, nos sismogramas;
- VII. leitura do tempo de chegada das fases;
- VIII. aplicação da linearização  $X^2-T^2$  para as reflexões na Moho das ondas P (PmP) e S (SmS);
- IX. Modelagem 2D do tempo de chegada das fases para os diferentes domínios utilizando traçado de raio (programa rayinvr);

### Resultados

Considerando o modelo sísmico sob o perfil (**Figura 2**) e resultados preliminares de razão Vp/Vs, obtidos por análise do tempo de trânsito das fases P e S, foi possível subdividir a crosta em cinco compartimentos sísmicamente distintos relacionados aos terrenos/domínios: i) Médio Coreaú, ii) Arco Magmático

Santa Quitéria, iii) sudeste do Ceará Central e Orós-Jaguaribe, iv) Rio Grande do Norte e v) Zona Transversal.

O domínio Médio Coreaú ocupa os primeiros 100 km da porção NW do perfil. Apresenta crosta superior com espessura de 12 km, com Vp de 6,05 km/s para o topo da crosta e 6,15 km/s para a base e razão  $V_{Pg}/V_{Sg}$  de aproximadamente 1,71. A crosta inferior foi modelada com 20 km de espessura e velocidade de 6,4 km/s para o topo e 6,6 km/s para a base. A crosta total possui espessura de 32 km e razão  $V_{PmP}/V_{SmS}$  de 1,74, sugerindo composição de máfica a intermediária para a crosta inferior. Por ocupar extremo NW do perfil sísmico a crosta inferior do domínio Médio Coreaú não foi bem coberta pelos raios sísmicos.

A SE do lineamento Sobral-Pedro II, entre as distâncias 100-170 km do início do perfil, a crosta superior possui espessura média de 17,5 km, Vp de 6,15-6,4 km/s para topo e base da camada e razão Vp/Vs de 1,72. A crosta inferior possui espessura de aproximadamente 16,5 km e Vp de 6,5-6,7 km/s para topo e base da camada. A crosta total com espessura de 34 km e razão  $V_{PmP}/V_{SmS}$  de 1,73, sugere composição félsica para a crosta inferior do Arco de Santa Quitéria.

A sudeste do Arco de Santa Quitéria, domínios Ceará Central e Orós-Jaguaribe a crosta superior possui espessura em torno de 21 km com Vp entre 6,1-6,4 km/s e razão Vp/Vs com valores homogêneos e próximos de 1,73. A crosta inferior é fina, com espessuras em torno de 10 km e Vp de 6,6-6,7 km/s para topo e base. A crosta total possui espessura variando de 29-33 km e razão Vp/Vs ligeiramente menor que 1,73, sugerindo crosta inferior mais félsica que a superior.

A SE do lineamento Portalegre, domínio Rio Grande do Norte, as crostas superior e inferior possuem aproximadamente 16 km de espessura cada. A crosta superior possui Vp 6,05-6,5 km/s e razão  $V_{Pg}/V_{Sg}$  de 1,73. A crosta inferior possui Vp de 6,6-6,9 km/s. A crosta total com espessura variando de 30,6-32 km e razão  $V_{PmP}/V_{SmS}$  de 1,74, sugere crosta inferior máfica.

No domínio da Zona Transversal, a sudeste da zona de cisalhamento Patos, a crosta superior é mais fina que a inferior com alto tectônico expressivo na porção central. A crosta superior apresenta Vp de 6,05-6,15 km/s e razão  $V_{Pg}/V_{Sg}$  de 1,73. A crosta inferior possui Vp de 6,45-6,7 km/s. A crosta total possui espessura em torno de 31 km e razão  $V_{PmP}/V_{SmS}$  de 1,73, sugerindo composição félsica para a crosta inferior.

A sul da Zona de Cisalhamento Pernambuco a crosta espessa para 35 km.

A modelagem P e S utilizando o método do raio e os sismogramas serão apresentados durante o encontro.

### Discussão e Conclusões

A crosta sob o perfil sísmico é bastante fina, com espessura variando de 29-34 km, sugerindo crosta superior e inferior retrabalhada, e de forma geral crosta afinada por esforços distensivos. O grau de retrabalhamento da crosta e as diferenças nos processos

de afinamento crustal podem ser inferidos considerando a variação de espessura entre as crostas superior e inferior ao longo do perfil. Adicionalmente a determinação da razão  $V_p/V_s$  para as crostas superior e inferior objetiva associar composição a retrabalhamento, procurando entender o comportamento da crosta continental quando submetida a tração. Em particular visa entender a evolução crustal da Província Borborema.

As regiões de maior retrabalhamento crustal possuem crosta inferior mais fina e de composição mais félsica. Ao longo do perfil, a porção crustal situada entre o Arco de Santa Quitéria e a zona de cisalhamento Portalegre parece ter sido a porção mais retrabalhada. Grosso modo coincide com a região conhecida como Depressão Sertaneja.

### Referências

Almeida, F. F. M., Hasui, Y., Brito Neves, B. B., Fuck, R. A., 1981. Brazilian structural provinces: An Introduction. *Earth-Science Reviews*, 17, 1-29.

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. Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro, 31st International Geological Congress, 151-182.

Musacchio, G., Mooney, W.D., Luetgert, J.H., Christensen, N.I. 1997. Composition of the crust in the Grenville and Appalachian provinces of North America inferred from  $V_p/V_s$  ratios, *Journal of Geophysical Research*, 102, B7, July 10, 15,225-15, 241.

Santos, T.J.S., Fetter, A.H., Nogueira Neto, J.A. 2008. 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, pp.101-119.

Tapley, W. C., Tull, J. E., 1991. SAC – Seismic Analysis Code. Lawrence Livermore National Laboratory, CA, 423p

Zandt, G. & C.J. Ammon. 1995. Continental crust composition constrained by measurements of crustal Poisson's ratio, *Nature* 374, 152-154.

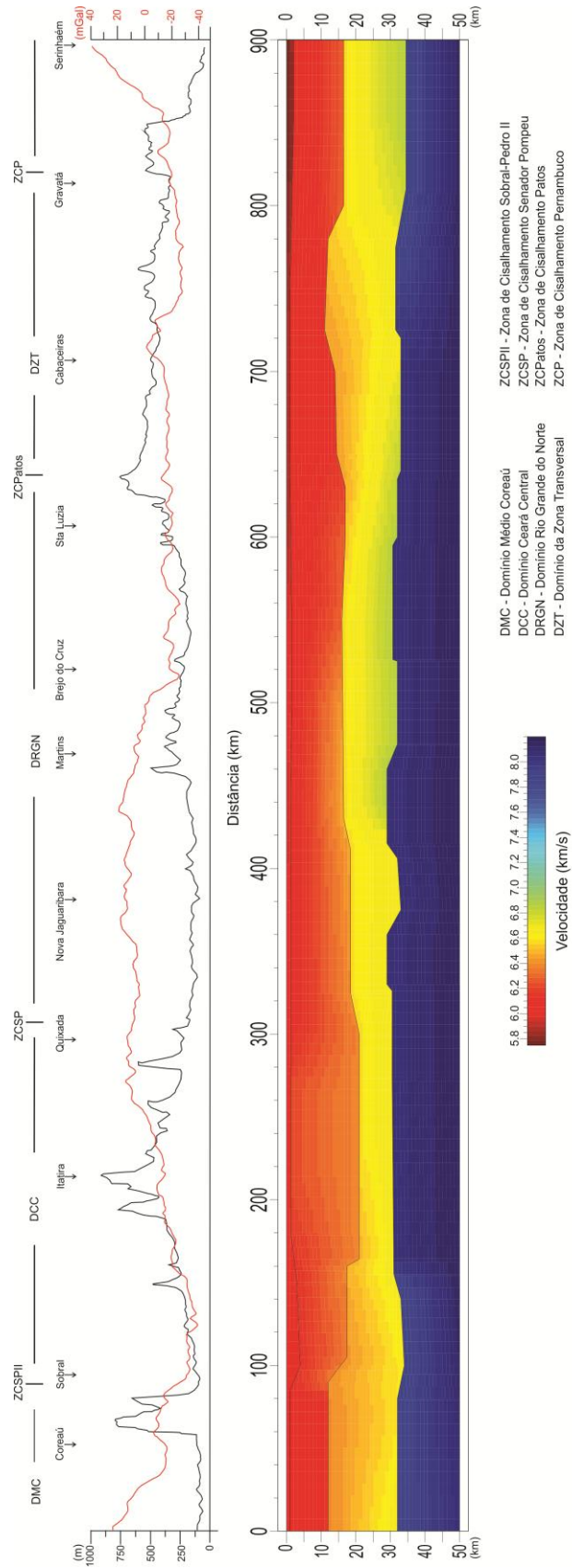


Figura 2 – Modelo P da linha de refração sísmica profunda NW-SE com perfil topográfico (linha preta) e gravimétrico (linha vermelha).