

## O Estudo da estrutura da crosta no NE do Brasil, usando Função do Receptor.

George Sand França<sup>1</sup>, Marcelo Assumpção<sup>2</sup> & Joaquim Mendes Ferreira<sup>1</sup>, 1 - Departamento de Física, DFTE-UFRN, 2 – IAG/SUP.

Copyright 2006, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica  
Este texto foi preparado para a apresentação no II Simpósio de Geofísica da Sociedade Brasileira de Geofísica, Natal, 21-23 de setembro de 2006. Seu conteúdo foi revisado pela Comissão Técnico-científica do II SR-SBGf 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.

$$\frac{V_P}{V_S} = \sqrt{(1 - p^2 V_P^2) \left[ 2 \left( \frac{\Delta_{Ps}}{\Delta_{PpPms}} \right) + 1 \right]^2 + p^2 V_P^2} \quad (1)$$

$$H = \frac{\Delta_{Ps}}{\sqrt{V_S^{-2} - p^2} - \sqrt{V_P^{-2} - p^2}} \quad (2)$$

### Resumo

A espessura crustal e a razão  $V_p/V_s$  foram estimadas no Nordeste do Brasil usando a Função do Receptor para 3 estações banda-larga. As estações foram instaladas dentro da Província Borborema. Após o cálculo da Função do Receptor usamos o procedimento HK-stacking para calcular a razão  $V_p/V_s$  e espessura crustal. Nossa estimativa inicial mostra um afinamento crustal em direção a costa leste e razão  $V_p/V_s$  de 1.71 a 1.92. e espessura entre 28 a 33 km.

### Introdução

Diversos estudos da estrutura da crosta no Nordeste do Brasil foram realizados usando várias técnicas; reflexão sísmica (Matos, 1992), gravimetria (Castro *et al.*, 1998), ondas de superfícies (Vilar, 2004). A maioria destes estudos é de caráter regional.

Objetivando corroborar com esses estudos iremos obter valores de espessura crustal e razão  $V_p/V_s$  para três estações de banda-larga na região Nordeste. No ano de 2000, a UFRN e o IAG/USP instalaram duas estações; uma na cidade de Caruaru-PE (CAUB) e outra nas proximidades da barragem do castanhão no estado do Ceará (CS6B). Complementando esse trabalho adicionamos dados da estação RCBR (Riachuelo, Brasil) pertencente ao consórcio IRIS (Figura 1).

### Função do Receptor (FR)

A deconvolução da componente radial pela vertical é denominada FR (Langston, 1979, Ammon, 1990, 1991). A forma de onda da função do receptor é a resposta das heterogeneidades do interior da terra (p. e. Descontinuidade da Moho) sob cada estação, em que toda a energia da onda P é somada ao pico principal denominada de P direta seguida por picos menores, que são fases convertidas e reverberadas na descontinuidade. A Figura 2 mostra a FR radial para apenas uma descontinuidade de velocidade.

As diferenças temporais entre as chegadas das fases (p. e.,  $P_s$  e  $P$ ;  $PpPms$  e  $P_s$  – Figura 2) são usadas na estimativa da espessura crustal (H) e da razão de velocidades ( $V_p/V_s$ ), utilizando a equação 1 e 2 (Zandt *et al.*, 1995)

Em que  $\Delta_{Ps}$  é a diferença temporal entre as chegadas  $P_s$  e P direta e  $\Delta_{PpPms}$  é a diferença temporal entre as chegadas  $PpPms$  e  $P_s$ , p é parâmetro de raio,  $V_P$  é velocidade da onda P e  $V_S$  é a velocidade da onda S.

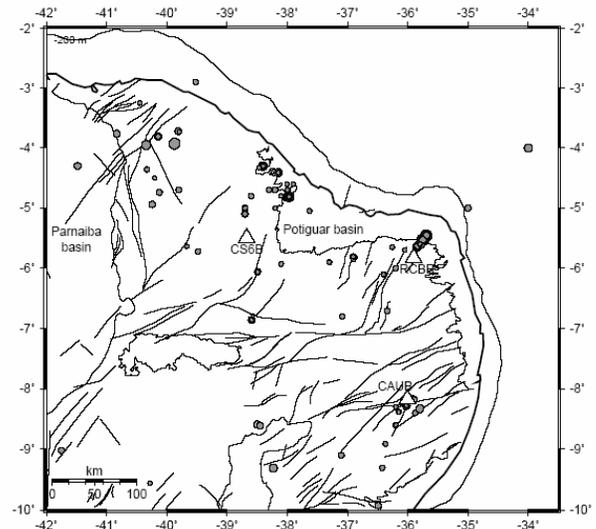


Figura 1 – Estações na província Borborema. Triângulos são estações usadas nesse estudo. Linhas sólidas são limites das bacias sedimentares e falhas mapeadas (DNPM, 1984). Círculos são epicentros.

### Análise dos Dados e Resultados

As estações RCBR, CAUB e CS6B estão localizadas sob a província Borborema. A Província Borborema, atualmente, vem sendo entendida como uma complexa faixa colisional, produto da movimentação convergente de placas, envolvendo possíveis processos de amalgamação e acreção de microplacas e terrenos, consolidados ao final do evento Brasileiro. Podemos

destacar um extenso cisalhamento brasileiro. Durante o Fanerozóico, a reativação das zonas de cisalhamento brasileiras moldou o arcabouço estrutural das bacias mesozóicas costeiras e interiores (Matos, 1992, Jardim de Sá, 1994). A Província Borborema é limitada ao norte e leste pela margem continental e ao Sul pelo craton São Francisco e oeste pela bacia Parnaíba.

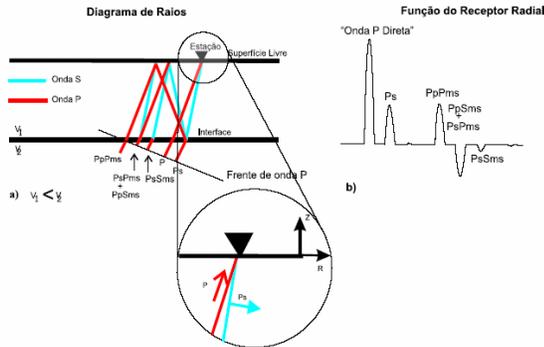


Figura 2 - Diagrama de raio da Função do Receptor. a) Diagrama de raio simplificado mostrando as principais conversões da onda P em onda S que compreende a FR radial para um semi-espaco. b) Registro da FR radial correspondente às reflexões do diagrama em (a). Com exceção da primeira chegada, as letras maiúsculas denotam o percurso para baixo, as letras minúsculas denotam o percurso para cima, m denota a interface de reflexão, por exemplo, a Moho. (Figura adaptada de Ammon, 1991.)

As FRs foram calculadas usando o filtro gaussiano  $[\exp(-\omega^2/4\alpha^2)]$ , com parâmetro  $\alpha$  igual a 3, o que representa um filtro passa baixo com frequência de corte igual a 1,5 Hz e para cada traço, o melhor valor de nível de água foi escolhido entre 0,01 e 0,001. A janela da FR difere para cada evento, buscando-se a duração que apresente a maior razão pré-sinal-ruído. As FRs foram calculadas usando as rotinas fornecidas por C. J. Ammon.

Os telessismos foram selecionados com magnitudes maiores 4.5 e distancia epicentral entre 18 a 99°. Embora, sófremos efeitos da triplicação do manto entre 17 e 30°, decidimos selecionar esses eventos que mostram melhor razão sinal-ruído, a Figura 3 mostra os epicentros usados como referência na FR para as estações. As FRs foram empilhadas de acordo com os azimutes e as distâncias. A Figura 4 mostra as FRs radial e tangencial para as estações CAUB ordenadas por vagarosidade. O número de traços empilhados está indicado entre parêntese, ao lado do intervalo de distância. A seta na figura 4 indica a leitura da chegada da onda Ps. A componente transversal indica o grau de variabilidade lateral. Para estruturas puramente homogêneas, a componente transversal seria zero.

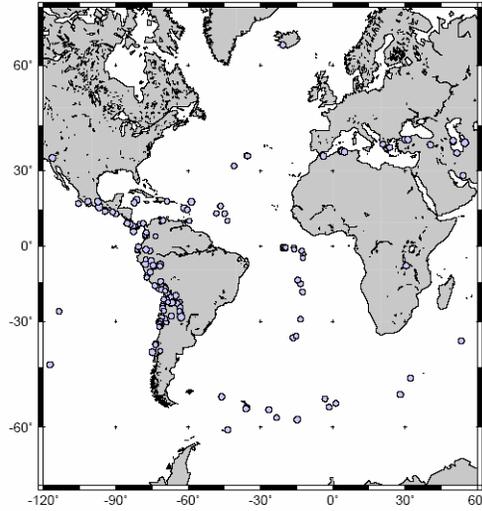


Figura 3 – Mapa dos epicentros dos eventos usados na FR.

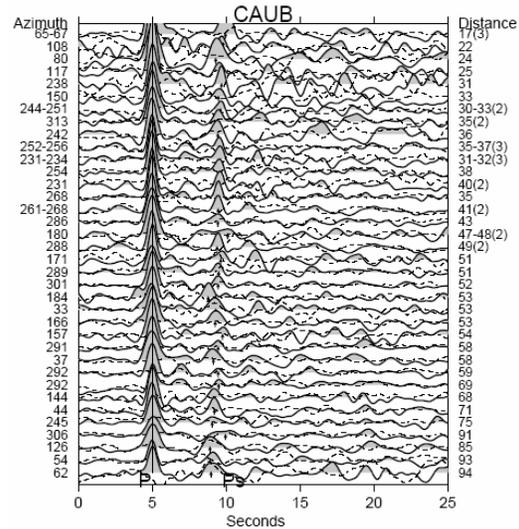


Figura 4 – RF para vários azimutes e distancias para estação CAUB. Linhas sólidas e tracejadas são as componentes radiais e transversais. As setas indicam a conversão da Ps da Moho. Números no lado esquerdo são os intervalos dos azimutes usados para cada empilhamento; os números a direita são os intervalos de distancia com o número de traços usados no empilhamento entre parêntese. Os traços empilhados são ordenados por vagarosidade.

As FRs mostraram a fase Ps clara para todos os traços. Em algumas estações, é possível visualizar a fase PpPms, entretanto não podemos estimar do mesmo modo que fizemos para fase Ps. Entretanto para usamos as equações 1 e 2 através do procedimento HK-stacking do Zhu & Kanamori (2000). Essa técnica usa a correção moveout relativo das chegadas secundárias geradas em uma descontinuidade sísmica abaixo da estação para

inferir a profundidade e a razão  $V_p/V_s$  acima da descontinuidade (Figura 5). De acordo com a equação, a única informação a priori necessária é a  $V_p$ . Desta forma, usamos 6,4 km/s, que é próximo do valor médio para crosta de acordo com Mooney *et al.*, (1998).

A Tabela 1 mostra as razões com suas respectivas qualidades para  $a=3$ . Com a razão para cada estação e a espessura crustal para cada estação corrigimos por NMO em cada estação as FRs em relação à fase Ps (Figura 6) obtendo assim a espessura descrita na tabela 1.

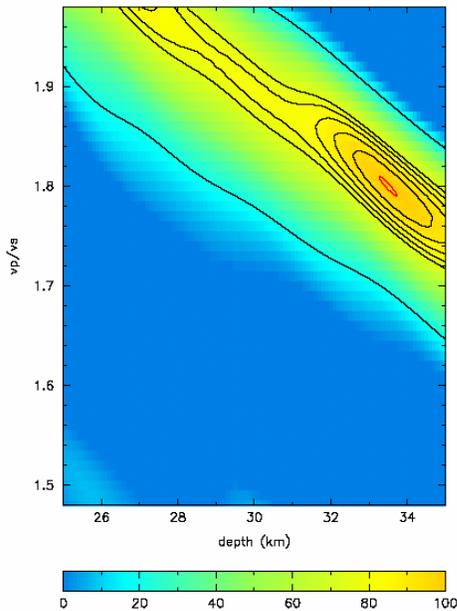


Figura 5 – HK-stacking analyses para estação CAUB, usamos a  $V_p$  igual a 6.4 km/s.

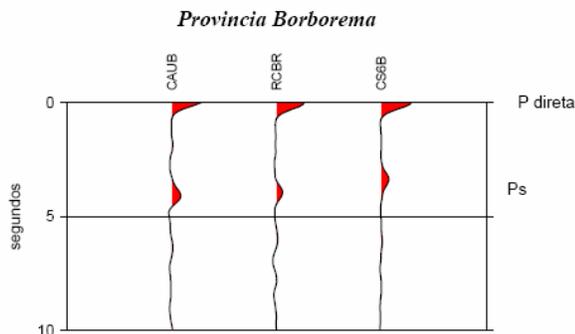


Figura 6 – Seção das funções do receptor empilhadas. Para cada estação, todos os traços.

Tabela 1- Valores de espessura crustal ( $h$ ) com função do receptor usando  $V_p$  para as estações. Moho Slant é a espessura para a extrapolação da diferença temporal  $Ps-P$  para incidência vertical. O parâmetro gaussiano usado nessa estimativa é igual a 3. Desvio padrão indica o grau de variação lateral na crosta sob cada estação (estrutura puramente horizontal teria desvio padrão igual a zero).

Estação	Moho_HK (km)	$V_p/V_s$	Moho NMO
CAUB	33.5±0.5	1.80±0.02	33.2±1.9
CS6B	30.7±0.5	1.71±0.02	30.3±1,9
RCBR	27.6±6.8	1.92±0.19	27.3±1.1

**Modelagem da FR**

Com o objetivo de mostrar a correlação do modelo de espessura com os dados observados calculamos a FR sintética. Devido à não unicidade da inversão da função do receptor (Ammon *et al.*, 1990), e a provável presença de fase gerada por espalhamento nos registros da função do receptor, não tentamos ajustar todos os picos e vales na inversão. Buscamos ajustar as principais características usando um modelo simples de camada. Nosso objetivo é mostrar que as estimativas da espessura da crosta e a razão  $V_p/V_s$  são consistentes com a função observada.

A Figura 7 mostra a inversão da FR na estação CAUB para um modelo inicial de 4 camadas. Nos sismogramas, a linha vermelha é o traço observado, e a azul é o resultado da inversão. Na estrutura de velocidade, a linha vermelha é o modelo inicial, e a linha azul o modelo que ajusta os dados. As inversões foram feitas em três traços com azimutes diferentes para todas as estações.

Na maioria das inversões mostravam uma boa coerência para fase Ps, entretanto para as demais fases (PpPms e PpSms+PsPms) não mostram uma coerência semelhante a Ps. A influência do ruído prejudica a identificação. Temos nos casos um gradiente de velocidade para essa região.

**Discussão e Conclusões**

Embora utilizado  $V_p$  média da crosta, os resultados obtidos para estações CS6B e RCBR estão de acordo com as estimativas crustais (Matos, 1998, Castro *et al.* 1998, Vilar, 2004), veja Figura 8. Esses resultados colaboram com hipótese do afinamento crustal em direção ao oceano é resultante do processo extensão, ruptura do continente e formação de crosta oceânica, envolvidos na abertura do Atlântico Sul durante o Cretáceo inferior. De acordo Asmus & Baisch, (1973), o afinamento é de uma evolução independente de abertura para a margem leste. A estação CAUB que se encontra mais a sul de RCBR, que deve ter sofrido uma maior influência dessa hipótese, apresenta uma crosta com uma espessura maior. O erro em RCBR é relativamente alto, provavelmente indicado que uma área inclinada, observado na FR tangencial.

Com relação a razão  $V_p/V_s$ , de acordo com Zandt & Ammon 1995, na área de plataforma e escudo apresenta uma razão  $V_p/V_s$  de 1,83 em média para crosta. Assim

temos somente a estação CAUB coerente com a média global, entretanto temos RCBR que apresenta um valor maior. Provavelmente, devido a incerteza na  $V_p$  e inclinação da crosta que está na transição crosta oceânica e crosta continental, será necessário um estudo mais detalhado para fornecer hipóteses claras. A razão  $V_p/V_s$  para a CS6B, é possivelmente resultado de uma crosta mais félsica que na região leste.

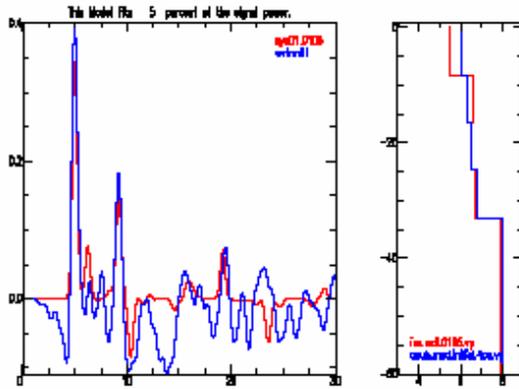


Figura 7— Inversões e estrutura de velocidades para o melhor ajuste da função do receptor em CAUB. À esquerda, linha vermelha a função do receptor observada, e linha azul a inversão. À direita, a linha vermelha é o modelo inicial usado na inversão, e linha azul é a estrutura de inversão.

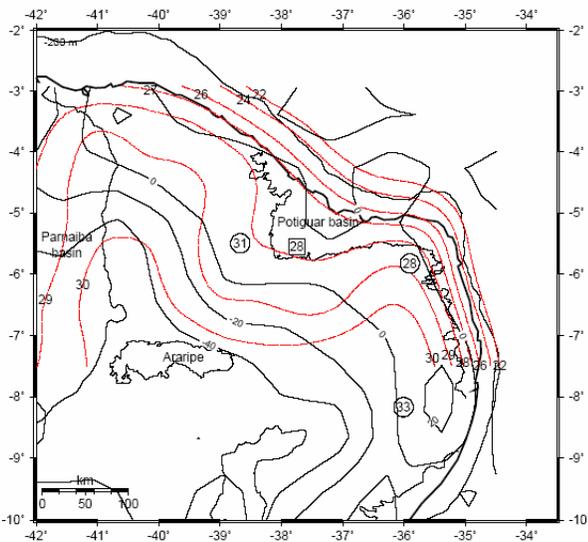


Figura 8— Valores de Espessura crustal. Gravimetria (linhas vermelhas), Sísmica de reflexão (quadrado) e RF (círculos). Contorno pretos representam a anomalia Bouguer (Ussami et al. 1993).

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio do CNPq Processo 309975/2003-4, aos técnicos; José Roberto Barbosa (IAG) e Eduardo Alexandre (UFRN), pelo apoio de campo. Ao IRIS pelos dados da estação RCBR, a Charles Ammon e Jordi Juliá pelos programas. Os mapas foram feitos usando o GMT. Carlos Vilar...

## Referências

- Langston, C.A., 1979. Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves. *J. Geophys. Res.* 85, 4749–4762.
- Ammon, C.J., 1991. The isolation effects from teleseismic P-waveforms. *Bull. Seism. Soc. Am.* 81, 2504–2511
- Ammon, C. J., G. E. Randall & G. Zandt, 1990. On the nonuniqueness of receiver functions inversions, *J. Geophys. Res.*, 95, 15303-15318.
- Asmus, H.E. & Baisch, P.R. - 1983 - Geological evolution of the Brazilian continental margin. *Episodes*, 4: 3-9.
- Castro, D.L., W. E. Medeiros, E. F. Jardim de Sá, & J.A.M. Moreira, J.A.M. 1998. Mapa gravimétrico do Nordeste Setentrional do Brasil e margem continental adjacente: interpretação com base na hipótese de isostasia. *Rev. Bras. Geof.*, 16 (2/3):pp 115-131.
- DNPM, 1984, Geologia do Brasil, Divisão de geologia e Minerologia, Departamento Nacional de Produção Mineral, 501p.
- Jardim de Sá, E.F. - 1994 - A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana. Tese de Doutorado, UnB, Brasília, DF, 804 pp.
- Matos, R.M.D. 1992 . The northeast brazilian rift system. *Tectonics*, 11 (4): pp 766-791.
- Mooney, WD, Laske, G. and Masters, G., 1998. CRUST 5.1: A global crustal model at 5°x 5°. *J. Geophys. Res.*, 103, 727- 747.
- Ussami, N. , N. C. Sá & E. C. Molina, 1993. Gravity Map of Brazil, 2. Regional and residual isostatic anomalies and their correlation with major tectonic provinces. *J. Geophys. Res.*, 98: 2199-2208.
- Vilar C. S., 2004, Estrutura tridimensional da onda S na litosfera do Nordeste Brasileiro. *ON/MCT*:pp 257.
- Zandt, G., S. C. Myers & T. C. Wallace, 1995. Crust and mantle structure across the Basin and Range-Colorado Plateau boundary at 37° latitude and implications for Cenozoic extensional mechanism, *J. Geophys. Res.*, 100, B6, 10529-10548.
- Zhu, L., and H. Kanamori, 2000. Moho depth variation in southern California from teleseismic receiver functions, *J. Geophys. Res.*, 105 , 2969–2980.