

Estimativa da espessura crustal na região limítrofe dos Estados de Goiás e Mato Grosso, Brasil.

Takato NAKAYOSHI, Observatório Sismológico/IG/UnB
George Sand FRANÇA, DFTE/UFRN

Copyright 2004, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no I Simpósio de Geofísica da Sociedade Brasileira de Geofísica, São Paulo, 26-28 de setembro de 2004. Seu conteúdo foi revisado pela Comissão Tecno-científica do I 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.

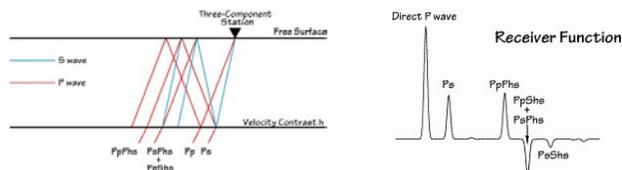


Figura 1 – Diagrama simplificado dos raios sísmicos de diferentes fases e suas respectivas função do receptor (Ammon et al., 1990).

Resumo

A espessura crustal na região limítrofe dos Estados de Goiás e Mato Grosso foi estimada utilizando-se a função do receptor. Os dados foram obtidos pela Estação ARAB no ano de 1998. Foram utilizados 10 eventos para o cálculo da espessura crustal e obteve-se o valor médio de 34 km. Também foi obtido um valor preliminar para o coeficiente de Poisson de 0,26. Para estas estimativas foi utilizado o valor de V_p/V_s de 1,76 (Assumpção *et al.*, 2003), apesar de ter sido encontrado um valor de 1,81. Um modelo de velocidade empírico utilizando esta espessura e quatro camadas foi elaborado e, através deste modelo, um sismograma sintético foi obtido.

Introdução

Este trabalho apresenta os resultados preliminares da estimativa da espessura crustal na região limítrofe dos Estados de Mato Grosso e Goiás. Os dados utilizados foram obtidos pela Estação ARAB no ano de 1998. A Função do Receptor tem sido amplamente utilizada com este propósito (Phinney, 1964; Burdick & Langston, 1977; Langston, 1979; Assumpção *et al.*, 2002; Assumpção *et al.*, 2003; França, 2003). Esta técnica consiste em analisar isoladamente a onda P de telessismos e fases desta onda P convertidas, por exemplo em S, em uma interface horizontal sob a estação. Pode ser utilizada tanto a amplitude como o tempo ($tPs - tP$). Este trabalho apresenta os resultados preliminares obtidos através da diferença dos tempos de chegada. A Figura 1 apresenta o raio sísmico para as diferentes fases que atravessam uma única interface horizontal e sua respectiva função do receptor. Os sismogramas contêm informações da fonte (origem), das estruturas sob a estação, da resposta do instrumento e de atenuações sofridas no percurso das ondas sísmicas. A Função do Receptor tem como objetivo isolar as informações das estruturas geológicas, ou seja, obter um sismograma somente com a resposta da estrutura sob a estação.

A Estação Sismográfica ARAB foi instalada na Província Tocantins (Almeida *et al.*, 1981) que se localiza na porção central do Brasil e representa um grande orógeno formado entre três grandes blocos continentais: os crátons Amazônico, São Francisco/Congo e Parapanema. A Província Tocantins constitui-se por

três importantes faixas dobradas: as faixas Araguaia, Paraguaia e Brasília. Nas proximidades da estação encontram-se também rochas sedimentares da Bacia do Paraná. A estação sismográfica foi instalada nos ortognaisses do oeste de Goiás, onde próximo também afloram rochas da Formação Araguaia (Figura 2). A Estação Sismográfica ARAB foi instalada pela equipe do Observatório Sismológico de Brasília e operou com um registrador QUANTERRA QDAS 4120 e sensor GURALP. Localiza-se no Estado de Mato Grosso, no Município Araguaia. A coordenada da estação é 15,6642°S e 51,8073°W.

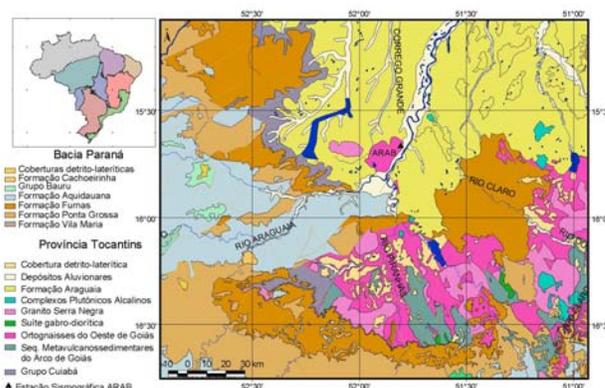


Figura 2 - Geologia da região próxima à Estação ARAB elaborado com base no mapa geológico do Brasil na escala 1:2.500.000.

Metodologia/ Problema Investigado

Os dados utilizados para a elaboração deste trabalho foram gerados pela Estação ARAB no ano de 1998 (Tabela 1). Para a seleção dos dados utilizaram-se os seguintes critérios: 1) $m_b > 5$ e $50^\circ < \Delta < 150^\circ$ e 2) $m_b \geq 4.5$ e $17^\circ < \Delta < 50^\circ$, onde Δ é a distância entre a estação e o epicentro. Dentro desta seleção foram escolhidos apenas os eventos que apresentam a chegada da onda P bem evidente.

Com a Função do Receptor foi possível obter para cada evento a diferença no tempo de chegada da onda P convertida em S e da onda P ($t_{Ps} - t_P$). Com esta diferença foi possível calcular a espessura crustal sob a Estação ARAB (Tabela 1).

Para os cálculos da espessura crustal e da razão V_p/V_s utilizou-se as fórmulas (Zandt *et al.*, 1995):

$$t_{Ps} - t_P = \frac{h}{V_P} \left[\frac{V_P}{V_S} (1 - \rho^2 V_S^2)^{1/2} - (1 - \rho^2 V_P^2)^{1/2} \right] \quad (1)$$

e

$$\frac{V_P}{V_S} = \left\{ (1 - \rho^2 V_P^2) \left[2 \left(\frac{t_{ps} - t_p}{t_{p_p \rho m_s} - t_{p_s}} \right) + 1 \right]^2 + \rho^2 V_P^2 \right\}^{1/2} \quad (2)$$

Com os eventos de azimute próximos (intervalos de 10°) e com parâmetro de raio igual (ou com diferença em até $0,3 \text{ s}^\circ$) fez-se o empilhamento dos sinais obtidos com a Função do Receptor.

Com o traço empilhado mostrado na Figura 4 e com base no modelo inicial apresentado na Tabela 2 fez-se a inversão. A razão V_p/V_s utilizada foi de 1,76 (Assumpção *et al.*, 2003) e para o cálculo da razão de Poisson utilizou-se a fórmula (Zandt *et al.*, 1995):

$$\sigma = \frac{1 - 0,5 \cdot \left(\frac{V_P}{V_S} \right)^2}{1 - \left(\frac{V_P}{V_S} \right)^2} \quad (3)$$

Resultados

A Tabela 1 apresenta os resultados da estimativa da espessura crustal sob a Estação ARAB. Para esta estimativa foram utilizados dois valores de V_p/V_s . Com valor de 1,76 obtido por Assumpção *et al.* (2003), a espessura média calculada foi de 32,5 km. Com o valor de V_p/V_s de 1,71 obtido por Soares (informação verbal) para a região de Cavalcante (GO), a espessura crustal média encontrada foi de 34,7 km. A velocidade da onda P utilizada para o cálculo da espessura da crosta foi de 6,3 km/s (Berrocal *et al.*, 2003). A Figura 3 mostra a função do receptor para o evento número 6 da Tabela 1.

Os valores de V_p/V_s foram obtidos por apenas três traços, por isso não foram utilizados na estimativa da espessura crustal.

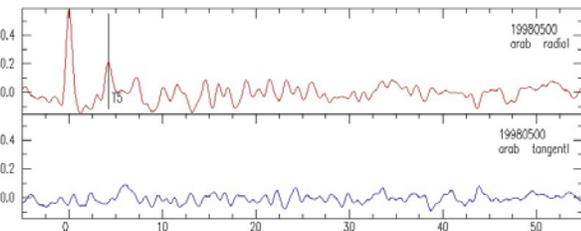
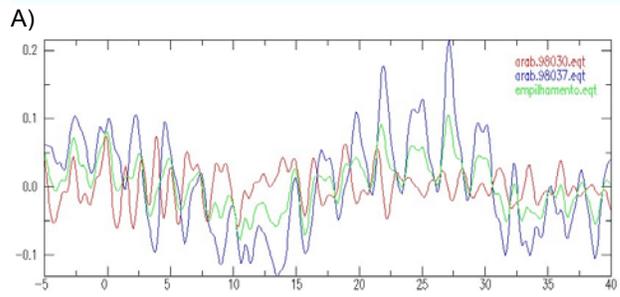
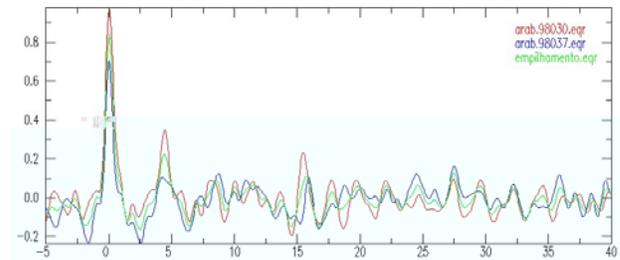


Figura 3: Função do receptor para o terremoto ocorrido no Peru no dia 19 de fevereiro de 1998, com magnitude 5,7 m_b .

Com o empilhamento dos eventos 2 e 3 da Tabela 1 (Figura 4) e com o modelo inicial apresentado na Tabela 2 fez-se a inversão (Figura 5). O valor da razão de Poisson através da equação (3) obtido foi 0,26. Os parâmetros utilizados no modelo inicial foram a espessura da crosta de 34 km, a razão V_p/V_s de 1,76, a razão de Poisson de 0,26 e a velocidade média da onda P na crosta de 6,3 km/s. O número de camadas e as velocidades da onda P em cada uma delas foram adotados empiricamente.



B)

Figura 4 – Empilhamento (traço verde) para os eventos 2 (vermelho) e 3 (azul) da Tabela 1. A) Empilhamento da componente radial e B) tangencial.

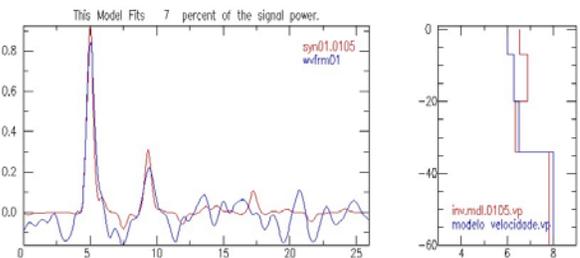


Figura 5 – Formas de onda da Função do Receptor do empilhamento dos eventos 2 e 3 (azul) da Tabela 1 e o sismograma sintético elaborado a partir do modelo inicial (vermelho). A direita é apresentado o modelo inicial utilizado (azul) e o ajuste do sismograma real para este modelo.

Discussão e Conclusões

O cálculo da espessura crustal foi feito utilizando-se dois valores de V_p/V_s . O primeiro foi obtido por Assumpção *et al.* (2003) na Estação PAZB, onde a espessura da crosta é de $33,1 \pm 1,2 \text{ km}$ e localiza-se próximo à Estação ARAB. O segundo valor de V_p/V_s foi

obtido por Soares (informação verbal) para a região que apresenta valores altos de anomalia gravimétrica, onde a espessura da crosta na região de Cavalcante (GO) é de 34 km na porção leste da linha sísmica levantada. Apesar de estarem mais distantes, a Estação ARAB e a região de Cavalcante estão em áreas onde as anomalias gravimétricas são próximas, por isso o valor V_p/V_s obtido nessa região foi também utilizado.

Mesmo utilizando dois valores de V_p/V_s , as estimativas preliminares obtidas para a espessura da crosta são próximas.

Os valores de V_p/V_s obtidos para a região em estudo ainda não são unânimes. França (2003) obteve 1,69 utilizando a Estação PAZB. Como os dados desta mesma estação, Assumpção *et. al* (2003) obtiveram 1,76. Apesar de serem preliminares os resultados obtidos neste trabalho, os valores indicam que a razão V_p/V_s de 1,76 seja mais apropriada. Diferente do valor de 1,71 obtido para a região de Cavalcante, que mesmo apresentando uma resposta gravimétrica equivalente, está inserida em um contexto geológico distinto.

O modelo de velocidade adotado deve ser ainda refinado com mais informações, pois a área apresenta um contexto geológico muito mais complexo.

Os valores obtidos para a espessura da crosta sob a Estação ARAB através da função do receptor são preliminares, pois foram obtidos com poucos dados. Porém, não difere muito dos resultados obtidos nas regiões próximas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a José Eduardo Pereira Soares pelas informações cedidas e a discussão dos resultados obtidos que enriqueceram o trabalho.

Referências

Almeida, et al. (03 co-authors), 1981. Brazilian Structural Provinces: an introduction. *Earth Sciences Review*, 17: 1-9.

Ammon, C. J., G. E. Randall & G. Zandt, 1990. On the nonuniqueness of receiver function inversions. *J. Geophys. Res.*, 95: 5303-5318.

Assumpção, et al. (06 co-authors), 2003. Seismic Studies in Central Brazil, using receiver function, surface wave dispersion and teleseismic tomography: evidence for the neoproterozoic San Franciscan Plate. Submitted to *Tectonophysics*.

Assumpção, M., D. James & J. A. Snoko, 2002. Crustal thickness is SE Brazilian Shield with receiver function: implications for isostatic compensation. *J. Geophys. Res.*, 107, B1, doi:10.1029/2001JB000422, ESE2-11.

Berrocal, et al. (06 co-authors), 2003. Deep seismic refraction and gravity crustal model and tectonic deformation in Tocantins Province, central Brazil. *Tectonophysics*, Seismix 2003 special issue, submitted.

Burdick, L. J. & C. A. Langston, 1977. Modeling crustal structure through the use of converted phases in teleseismic body-wave forms. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 67(3):677-691.

França, G. S. 2003. Estrutura da crosta no sudeste e centro-oeste do Brasil com a função do receptor. Tese de Doutorado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas/USP (São Paulo, SP, Brasil), 143p.

Langston, C. A. 1979. Structural under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves. *J. Geophys. Res.*, 84(B9): 4749-4762.

Phinney, R. A., 1964. Structure of the Earth's crust from spectral behavior of long-period body waves. *J. Geophys. Res.*, 69(14): 2997-3017.

Soares, J.E.P., R. A. Fuck, J. Berrocal & R. M. Vilhena. Geophysical evidence of Amazon Craton subduction in central Brazil: a new insight into Tocantins Province evolution. Em preparação.

Soares, J.E.P, J. Berrocal & R. A. Fuck, 2003. Seismic crustal structure in central Brazil. 8th Internat. Cong. of the Brazilian Geophy. Soc., Rio de Janeiro Expanded Abstract Volume.

Zandt, G., S. C. Myers & T. C. Wallace, 1995. Crustal and mantle across the Basin and Range – Colorado Plateau boundary at 37°N latitude and implications for Cenozoic extensional mechanism. *J. Geophys. Res.*, 100(B6): 10529-10548.

Tabela 1 – Eventos registrados pela estação ARAB selecionados para executar a Função do Receptor.

	Ano	Juliano	Hora	Min	Seg	Lat	Long	Prof	m _b	Distância(°)	Back Azimute	p (s/°)	tPs – tP (s)	Espessura ¹ (km)	Espessura ² (km)	Vp/Vs
1	1998	063	17	26	47,4	-17,501	-69,475	131,0	5,1	17,034	261,3	11,0	4,24816	33,02766	30,97941	
2	1998	037	06	37	12,9	-22,742	-70,104	58,0	5,3	18,648	245,0	10,9	4,42199	34,47594	32,33491	
3	1998	030	12	16	07,8	-24,118	-70,455	44,0	6,3	19,432	241,4	10,9	4,43052	34,54244	32,39729	1,55
4	1998	029	03	13	39,4	-15,649	-72,223	133,0	5,1	19,660	267,2	10,8	4,56205	35,66647	33,44851	1,82
5	1998	065	03	56	16,4	-10,859	-74,605	33,0	5,1	22,691	279,3	10,5	4,29011	33,81111	31,70031	
6	1998	050	03	21	45,6	-10,675	-74,540	155,0	5,7	22,676	279,8	9,14	4,26429	34,6993	32,50016	
7	1998	062	02	24	45,4	14,371	-91,503	76,0	5,6	49,295	305,2	7,62	4,26745	35,72298	33,42987	1,81
8	1998	034	03	02	00,8	16,023	-96,244	33,0	5,9	53,994	303,6	7,3	4,33913	36,50885	34,16003	
9	1998	047	23	53	19,5	52,666	-33,665	10,0	6,2	69,832	11,65	6,15	4,33929	37,10354	34,69977	
10	1998	084	03	12	24,7	-62,876	149,712	10,0	6,6	99,923	189,8	4,46	3,59052	31,25736	29,21696	

1 – Espessuras calculadas utilizando $V_p = 6,3$ km/s, $V_s = 3,727811$ km/s, $V_p/V_s = 1,71$ e $\sigma = 0,240138$. **Espessura crustal média de 34,7 km.**

2 – Espessuras calculadas utilizando $V_p = 6,3$ km/s, $V_s = 3,579545$ km/s, $V_p/V_s = 1,76$ e $\sigma = 0,261632$. **Espessura crustal média de 32,5 km**

Tabela 2 – Modelo de velocidade inicial para a inversão dos dados de ARAB. A espessura da crosta foi fixada em 34 km, de acordo com os valores obtidos, e a razão V_p/V_s em 1,76.

N° de Camadas	V _p (km/s)	V _s (km/s)	V _p /V _s	Espessura da Camada (km)	Razão de Poisson
1	6,0	3,4641	2,6900	7,0	0,261632
2	6,3	3,6373	2,7860	13,0	0,261632
3	6,5	3,7528	2,8500	14,0	0,261632
4	8,0	4,6188	3,3300	Semi Espaço	0,261632