



Estudos crustais nas Regiões Nordeste e Central do Brasil: aplicação do método da Função do Receptor.

Mônica M.M.Costa & Jesus Berrocal.

Departamento de Geofísica, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo.

Copyright 2004, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no I Simpósio Regional 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.

Resumo

Este projeto, que tem por objetivo o estudo da estrutura crustal sob algumas estações das Regiões Nordeste e Central do Brasil, empregará o método de função do receptor (FR), que visa isolar as ondas geradas através da refração de ondas P telessísmicas na Moho e em outras descontinuidades da crosta. Como serão considerados apenas telessismos que incidam quase verticalmente na crosta, a diferença entre os tempos de chegada dessas ondas refratadas será proporcional à profundidade das descontinuidades e, no caso da Moho, à espessura da crosta sob cada estação.

Até o momento, foram realizados testes para definir os melhores parâmetros para as deconvoluções, exemplificados posteriormente, e obtidos como espessuras da Moho os valores preliminares entre 35 a 47 km, de acordo com o azimute dos eventos utilizados, compatíveis com os valores obtidos por outros autores na mesma região.

Nesta oportunidade estão sendo apresentados apenas os resultados preliminares obtidos através do método de Função do Receptor para telessismos registrados pela estação CV1B de Cavalcante.

Introdução

Neste projeto com o projeto de Iniciação Científica, estão sendo realizadas análises da atividade sísmica local e próxima da região Nordeste e Central do Brasil, através dos eventos registrados pelas estações instaladas pelo IAG – USP desde 2002.

O funcionamento contínuo das estações,

instaladas pelo IAG – USP desde 2002, e o fato das estações de Sobradinho (SOB1) e Cavalcante (CV1B, CV2B, e CV3B) terem operado com registradores digitais, gera a possibilidade de separar e trabalhar com as primeiras fases telessísmicas, interessantes por trazerem informações sobre a crosta abaixo de cada estação.

Espera-se realizar o estudo da estrutura crustal sob essas estações através do Método de Função do Receptor que, isolando as fases refratadas nas descontinuidades, obtendo como resultado suas profundidades. No caso dessa descontinuidade ser a Moho, o resultado obtido é a espessura da crosta naquele ponto.

Atualmente, os resultados obtidos serão considerados para confirmarem as já existentes informações sobre a crosta local, porém, futuramente, a partir de novos dados e dos resultados de outros autores, será possível obter um modelo confiável da crosta abaixo das estações utilizadas.

Função do Receptor

Desde a introdução dos sismógrafos digitais, a análise da Função do Receptor tem sido importante para o estudo da crosta terrestre.

O aspecto básico do método é que a incidência de uma onda P telessísmica em uma descontinuidade (como Moho) produzirá uma P refratada e uma S convertida. Devido a menor velocidade da onda S, a diferença entre os tempos de chegada da direta e da convertida medirá a profundidade da descontinuidade, ao mesmo tempo em que a razão entre as amplitudes dessas ondas dependerá do contraste dos parâmetros elásticos na descontinuidade. Além disso, a análise das fases múltiplas poderá ser utilizada para conferir os resultados obtidos da estrutura crustal sob a estação.

Para tanto, o método utiliza o processo de deconvolução para isolar os efeitos locais dos telessísmicos da onda P, resultando em uma função que depende somente da estrutura abaixo da estação.

A trajetória dos raios diretos e múltiplos e a resposta do método da Função do Receptor, esperada para o modelo de uma camada seria da seguinte forma:

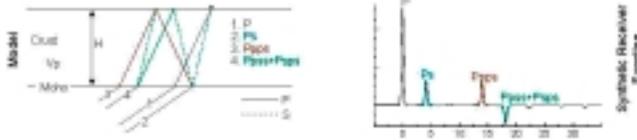


Figura 1: Diagrama esquemático dos trajetos das ondas convertidas e das múltiplas reverberadas numa crosta homogênea acima de um manto homogêneo e a resposta correspondente obtida através do método de Função do Receptor. (Bianchi, 2003)

De acordo com o esquema acima, a onda P se refratará, dando origem às duas ondas principais (P e Ps) simultaneamente para o mesmo ponto. Portanto, para a aplicação do método é necessário considerar a incidência desse telessismo. Quanto maior o ângulo de incidência (afastando-se da vertical), maior a distância entre os pontos de refração das ondas P e Ps, amostrando-se, assim, diferentes pontos da descontinuidade, introduzindo mais uma incerteza para o método.

Com isso, o ideal é aplicar o método em telessismos de grande magnitude, e com distância epicentrais entre 30° e 90°, isto é, que incidam quase na vertical.

Como consequência de se considerar camadas horizontais, espera-se obter a mesma Função do Receptor para eventos vindos de diferentes direções para uma mesma estação. Assim, para se identificar problemas decorrentes de camadas não horizontais ou problemas de lateralidade, ou mesmo estimar a incerteza do método, é feita a comparação da resposta obtida da Função do Receptor para sismos de diferentes azimutes.

A diferença entre os tempos de percurso das ondas P e Ps refratadas na Moho será proporcional à espessura da crosta, sendo esta quantificada através de:

$$h = \frac{t_{ps} - t_p}{(V_s^{-2} - p^2)^{1/2} - (V_p^{-2} - p^2)^{1/2}} \quad (1)$$

Testes para a determinação dos melhores parâmetros:

Na deconvolução dos sinais é necessário levar em conta os seguintes parâmetros: o tamanho da janela (j), o nível d'água (w) e o filtro gaussiano (a).

Para exemplificar o que vem sendo feito no momento, selecionamos o telessismo ocorrido em 15/11/2002, de magnitude 6,0 mb, com epicentro na região da Ilha da Georgia do Sul (lat:-55,93, long:-35,90, D= 42,953°, h=33 km e Az=170,5°), registrado pela estação CV1B.

- **Tamanho da janela de deconvolução:**

No estágio de preparação dos dados para a Função do Receptor, é necessário escolher a janela temporal adequada com baixo ruído pré-sinal e com bom sinal sísmico após a P, isto é, que não introduza ruído ao sinal, mas que abranja todas as fases diretas e múltiplas. O tamanho da janela dependerá do sismograma.

Foram feitos testes de deconvolução deixando os parâmetros de nível d'água (w) e filtro gaussiano (a) fixos e variando apenas o tamanho da janela (j). Na figura abaixo, pode-se observar alguns resultados obtidos para w = 0,001, a = 3,0 e j variando desde 20 até 80 s.

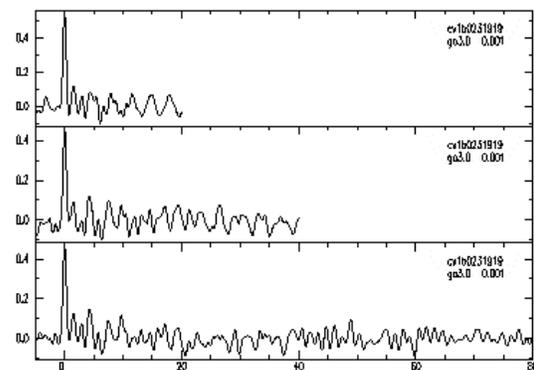


Figura 2: Resultados da deconvolução para w = 0,001, a = 3,0 e j variando por 20, 40 ou 80 s.

- **Nível d'água:**

A deconvolução no domínio da frequência é uma divisão espectral de séries temporais. Essa divisão causa instabilidade quando se divide por amplitudes muito pequenas. Para estabilizar, Ammon et al. (1991) usaram o método do nível d'água, que é definido como uma fração da máxima amplitude do denominados. Pode ser representado por:

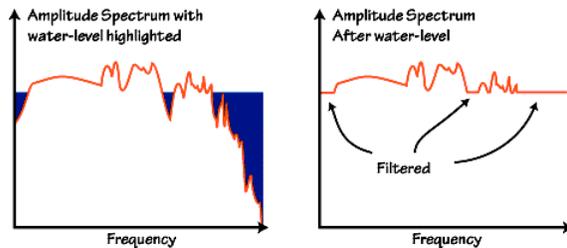


Figura 3: À esquerda, espectro original com o nível d'água mostrado em azul e, à direita, o espectro após o nível d'água (Ammon, 2003).

Os resultados obtidos para o nível d'água (w) variando entre 0,00001, 0,001 e 0,1 e os outros parâmetros fixos $a = 3,0$ e $j = 40s$, foram:

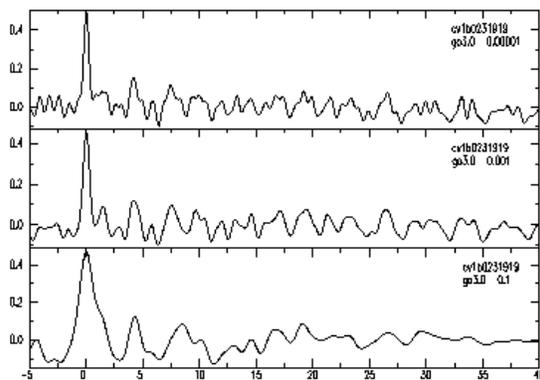


Figura 4: Resultados da deconvolução para $j = 40s$, $a = 3,0$ e w variando por 0,0001, 0,001 ou 0,1.

Percebe-se que o valor de w deve ser controlado pela razão sinal-ruído e escolhido o mínimo possível, que produza um nível de ruído aceitável na FR.

- **Filtro gaussiano:**

O filtro gaussiano passa-baixo é utilizado para eliminar o ruído de alta-frequência na FR e deve ser escolhido de tal forma que suavize, porém não corte informações sobre outras descontinuidades na crosta.

Os resultados obtidos para $j = 40s$, $w = 0,001$ e $a = 1,0, 3,0$ ou $6,0$ foram:

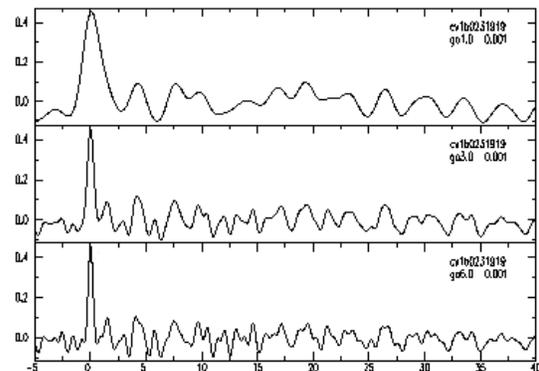


Figura 5: Resultados da deconvolução para $w = 0,001$, $j = 40s$ e a variando por 1,0, 3,0 ou 6,0

Resultados preliminares obtidos

Efetuamos as deconvoluções de alguns eventos separados, através das rotinas fornecidas por Ammon (2003), utilizando preferencialmente como parâmetros $j = 40s$, $w = 0,001$ e $a = 3,0$ e obtendo como resultado valores variando entre 35 e 47 km, dependendo do azimute do telessismo considerado.

Para o sismo da Geórgia do Sul, mencionado acima, a Função do Receptor obtida foi:

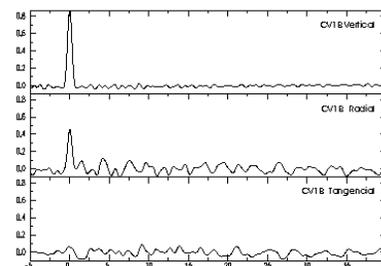
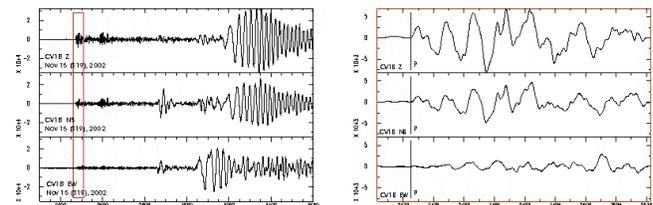


Figura 6: Telessismo ocorrido em 15/11/2002, com epicentro na região da Ilha da Georgia do Sul e magnitude $6,0 m_b$, janela temporal com a chegada da P e das ondas S refratadas e o resultado da deconvolução para $w = 0,001$, $j = 40s$ e $a = 3,0$

Verificando que o tempo de chegada da Ps é 4,17 s a mais que o tempo de chegada da P e utilizando os valores calculados por Soares et al. (2004) de velocidade média da onda P na crosta (6,4 km/s) e a razão Vp/Vs (1,69) na equação (1) para o cálculo da profundidade da descontinuidade, temos como resultado preliminar de profundidade da Moho e espessura da crosta sob a estação CV1B o valor de 35,92 km, valor compatível com o modelo apresentado no trabalho acima citado.

Também foram obtidos valores de 46,86 km para um telessismo vindo da África e 44,43 km para aqueles vindos do México.

As margens de erro, definidas de acordo com França (2003), correspondem a $\pm 0,01$ na razão Vp/Vs, que gera uma incerteza da ordem de $\pm 1,5$ km.

Discussão e Conclusões

A utilização do método da Função do Receptor, apesar de ter sido processada em apenas alguns eventos registrados pela CV1B, obteve resultados satisfatórios, dentro das estimativas da espessura da crosta já calculada por outros autores. Apenas o resultado obtido para o telessismo da África não se mostrou de acordo com o modelo proposto por Soares et al (2004), sendo necessários estudos mais aprofundados para confirmar esse valor.

A continuidade do estudo, incluindo a aplicação do método em outros eventos deverá confirmar os resultados obtidos.

Agradecimentos

Agradecimentos a ELETRONUCLEAR pela verba de auxílio.

Referências

Ammon, C.J. (1991). The isolation of receiver effects from telessismic P waveforms. Bull. Seism. Soc. Am., Vol.81, pp2504-2510;

Ammon, C.J. (2003).
<http://eqseis.geosc.psu.edu/~cammon/> ;

Bianchi, M.B. (2003). Low Vp/Vs in the Archean Crust of the Southern São Francisco Craton, SE Brazil, by Slant Stackinf of Receiver Functions.

França, G.S. (2003). Estrutura da crosta no sudeste e centro-oeste do Brasil, usando a Função do Receptor. Tese de Doutorado. Instituto de Astronomia, Geofísica e C. Atmosféricas/USP. São Paulo;

Soares et al. (2004). Crustal structures from deep refraction and receiver function data beneath Brasília Belt and western São Francisco Craton, Central Brasil. 32^o International Geological Congress, Florença.