



ESTUDO DE REFRAÇÃO SÍSMICA NA REGIÃO QUE ABRANGE A ESTAÇÃO SISMOGRÁFICA DE ANGRA DOS REIS (ESAR)

Sabrina de Souza Lima Pierobou, Jesus Berrocal

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility 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.

Abstract

The project studies the structural characteristics of the main layers of the crust in the region of the Seismographic Station of Angra dos Reis (ESAR), through the method of deep seismic refraction (RSP), defining the value of some seismological parameters, which are used for epicentral determination of the local seismic activity.

To complete the study of crust (it wasn't possible to get all the RSP points wanted), the method Receiver Function was used to characterize the structure of the crust under ESAR. The results of both methods were used in the program TVEL that helped modeling the missing part of the RSP line. This model allowed to get relations between distance and the time S-P of the arrival of these waves.

Introdução

O conhecimento da estrutura crustal é importante, entre outros motivos, para fixar parâmetros utilizados no cálculo hipocentral de eventos sísmicos regionais. A crosta terrestre na região sudeste brasileira é uma das menos estudadas no mundo (*França & Assumpção, 2004*) tendo sido realizados apenas dois estudos de refração sísmica profunda, o primeiro no sul do Craton São Francisco (Giese e Shutte, 1975), e segundo no cinturão Ribeira (Bassini, 1986).

O presente estudo mostra os resultados de duas linhas de refração sísmica profunda RSP, a primeira mais extensa realizada entre as cidades de Suzano (SP) e ESAR (Estação Sismográfica de Angra dos Reis), e a segunda linha mais curta entre Lídice (RJ) e ESAR

A primeira linha, paralela ao litoral, com uma extensão de 200km e 7 estações sismográficas (ver Fig 1a), a linha de Lídice, com 6 estações distribuídas ao longo de 20km de extensão (ver Fig. 1b).

Para completar o levantamento de estrutura crustal da linha de 200 km, foram utilizados os resultados com dados de alguns telessismos registrados em ESAR, utilizando o método de função do receptor.

O método de função do receptor (através do qual são analisadas ondas telesísmicas que incidem quase verticalmente sob uma estação sismográfica com três componentes) vem sendo empregado com sucesso na determinação de descontinuidades crustais, principalmente da Moho. Esse método procura através do princípio da deconvolução, isolar os efeitos da fonte, da trajetória das ondas sísmicas e instrumentais, resultando em uma função dependente apenas da estrutura abaixo da estação.

Os resultados da RSP e da função do receptor, apresentados neste trabalho, serão de grande utilidade no cálculo epicentral de eventos locais e regionais registrados na ESAR, que foi instalada em janeiro de 2002.

Metodologia

O experimento de RSP proposto originalmente compreendia a instalação de até doze (12) pontos de registro, distribuídos numa linha de aproximadamente 200 km de extensão, entre uma fonte de energia e a ESAR. A pedra selecionada como fonte de energia, foi a Pedreira Itapeti, da empresa EMBU S.A, localizada em Suzano, SP. A linha mais curta utilizou como fonte as explosões da pedra de Lídice, localizada 20 km a nordeste de ESAR. As horas de origem dessas explosões foram registradas com precisão de milissegundos.

As duas linhas foram analisadas assumindo um modelo de camadas planas, uma vez que não foi possível efetuar tiros reversos para verificar a provável inclinação das camadas. Além disso, a direção das duas linhas é praticamente paralela ao litoral, razão pela qual se espera que a crosta não seja muito inclinada na direção das linhas.

Devido à topografia muito acidentada que existe entre Suzano e Angra do Reis, não foi possível utilizar doze sismógrafos portáteis, a maioria com enlace rádio-telemétrico, de forma simultânea na linha mais extensa. Por esse motivo essa linha foi dividida em duas porções de aproximadamente o mesmo tamanho.

A primeira porção da linha sísmica entre a Pedreira Itapeti e ESAR, foi levantada com seis estações como se mostra na Fig. 1a. A segunda parte da linha não pôde ser realizada devido à falta de energia suficiente das explosões efetuadas no intervalo de levantamento dos dados, para alcançar as estações portáteis, entretanto alguns fogos foram registrados em ESAR. A linha sísmica curta foi levantada com seis pontos de registro, incluindo ESAR, como se mostra na Fig. 1b

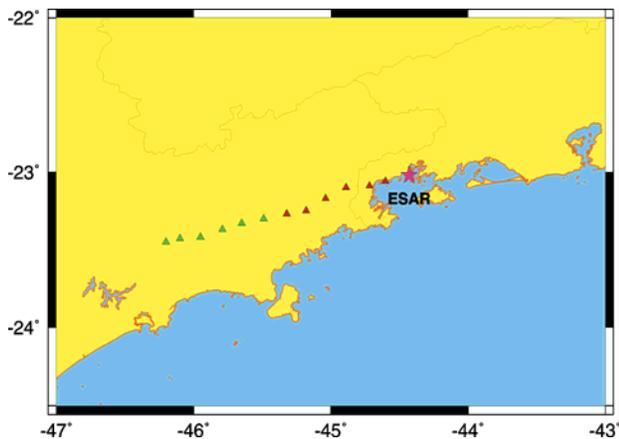


Figura 1 a –Linha de refração sísmica Suzano-ESAR. Os triângulos verdes são os pontos de registro, os triângulos vermelhos são os pontos onde não foi possível obter os registros. A explosão fica a 10 km à esquerda da primeira estação (verde).

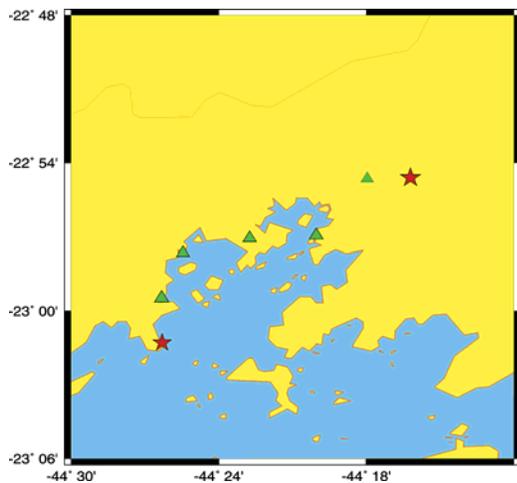


Figura 1 b –Linha de refração sísmica Lídice-ESAR. Os triângulos verdes são os pontos de registro, a estrela vermelha ao sul é ESAR, a estrela vermelha ao norte corresponde ao ponto da explosão.

Para completar o levantamento de refração sísmica da linha mais extensa, foram utilizados os dados de alguns telessismos registrados na ESAR, que permitiram, através do método de função do receptor, estimar a espessura da crosta sob essa estação. Os resultados, juntamente com o tempo de registro de uma das explosões da Pedreira Itapeti em ESAR, permitiram obter um modelo da estrutura crustal na região de estudo, utilizando o programa TVEL.

Resultados

Linha Suzano – ESAR

A explosão efetuada na pedreira Itapeti para a linha mais extensa entre Suzano e ESAR foi registrada em seis estações de acordo com os sismogramas mostrados na Fig. 2.

No diagrama da Fig. 3 os tempos de percurso da onda foram convertidos em tempos reduzidos utilizando a velocidade $V_P = 7.0$ km/s, para melhorar a identificação das retas com pontos de igual velocidade. A partir das retas do gráfico tempo de percurso X distância, foi possível identificar duas camadas com diferentes velocidades da onda P, a primeira camada com $V_P = 5.8$ km/s e a segunda com $V_P = 6.3$ km/s.

Função do Receptor-FR

Para determinar a profundidade de Moho e a profundidade do topo da crosta inferior (para poder inferir a espessura da segunda camada), foi utilizado o método de função do receptor (FR). Na Tabela 1 se apresentam os dados hipocentrais dos telessismos utilizados neste trabalho com o método FR. Para cada evento foram efetuados testes para selecionar o melhor resultado da função do receptor, variando o nível d'água, o filtro gaussiano e tamanho das janelas. As melhores soluções são apresentadas no gráfico da Fig. 4, onde estão indicadas através de setas as funções das fases Ps refratadas em Moho (PsM) e no topo da crosta inferior (PsCI).

As diferenças de tempos PsM-P e PsCI-P nos permitem calcular as profundidades de Moho e o topo da crosta inferior, através da Eq. 1.

$$h = \frac{tp_s - tp}{(V_s^{-2} - p^2)^{\frac{1}{2}} - (V_p^{-2} - p^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

A estação ESAR registrou os sinais de algumas explosões utilizadas no levantamento de refração sísmica efetuadas na pedreira Itapeti. Foram lidas as chegadas das ondas P e S, que permitiram calcular os tempos de percurso dessas ondas (30.34 s e 52.48 s, respectivamente).

Modelagem

Utilizando um modelo preliminar obtido com os resultados da função do receptor da profundidade da Moho (31,4 km) e do topo da crosta inferior (14,9 km), juntamente com as velocidades e profundidades obtidas com os dados de RSP e os tempos de percurso das ondas P e S registradas em ESAR, mencionados no parágrafo anterior, foi possível executar uma modelagem com o programa TVEL, para fixar a profundidade e velocidade da crosta inferior e do manto para essas ondas. Os resultados dessa modelagem são apresentados nas Figs. 5 e 6. A modelagem determina as curvas caminho-tempo das ondas refratadas e refletidas em Moho e nas camadas intermediárias da crosta, inclusive na primeira e segunda que são comparadas

com as com as curvas obtidas através da refração sísmica.

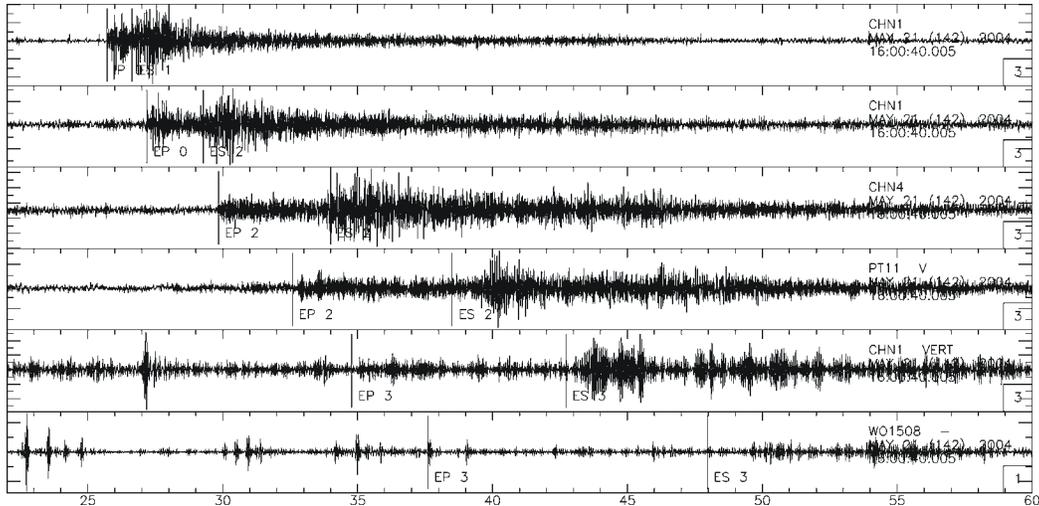


Figura 2 – Registros dos 6 primeiros pontos da linha Suzano – ESAR.

Tabela 1 - Parâmetros hipocentrais dos telessismos utilizados para a função do receptor.

DATA	Ho(UT)	LAT	LONG	Az	h (km)	Δ (°)	Mw	OBSERVAÇÕES
11 04 2003	06 12 54	+54.30	+07.03	304	10	47.6	5.6	Sul do Panama
14 05 2003	06 03 35	+18.23	-508.67	340	10	43.3	6.6	N do Oceano Atlântico
19 05 2003	16 27 10	+17.50	-105.53	298	10	72	5.8	Costa de Colima
21 05 2003	18 44 19	+36.97	+03.67	38	10	74.9	6.9	Norte Algéria
04 08 2003	04 37 20	-60.55	-43.49	179	10	37.5	7.4	Mar da Escócia

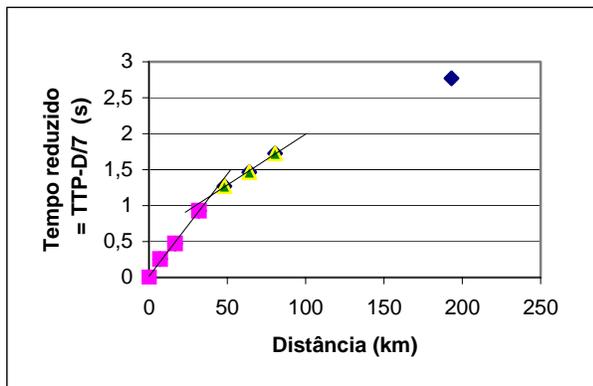


Figura 3- Tempos de percurso reduzido da onda P, para as primeiras estações da linha Suzano-ESAR, mostrando a existência de duas camadas de rocha de embasamento. O ponto azul é a chegada da onda P em ESAR.

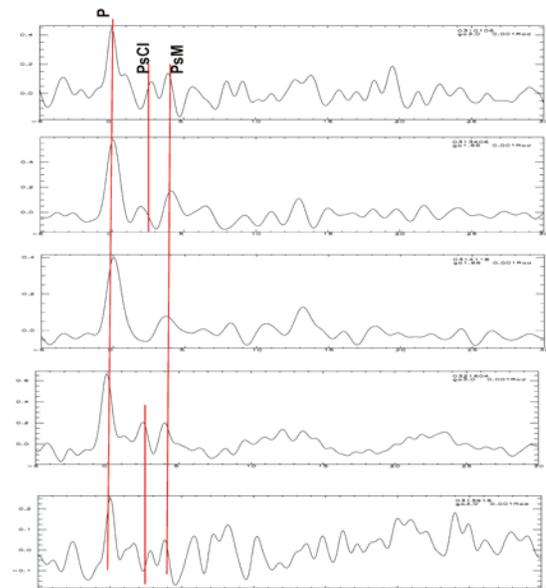


Figura 4- Resultados com o método RF.

O modelo da estrutura crustal na região que abrange ESAR, determinado neste experimento, permitiu determinar funções para estimar a distância epicentral dos sismos próximos e locais registrados na ESAR.

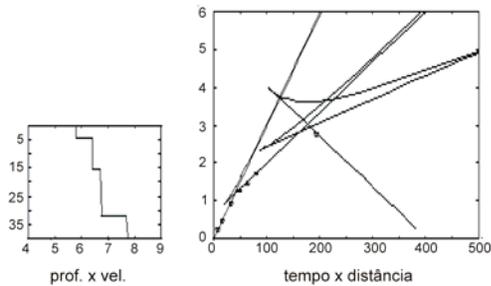


Figura 5 -Modelo de velocidades e profundidades das camadas da crosta com o programa TVEL.

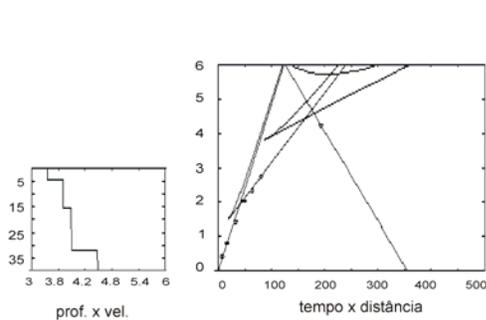


Figura 6- Modelo de velocidades e profundidades das camadas da crosta determinadas com dados da onda S através do programa TVEL..

Linha pedreira de Lídice - ESAR

A análise da linha curta com dados da pedreira localizada próxima da estrada entre Angra dos Reis e Lídice, foi efetuada através das leituras dos tempos de percurso das ondas P e S, o que permitiu a construção do gráfico caminho-tempo dessas ondas, sendo possível detectar a existência de duas camadas horizontais com velocidades diferentes. A primeira camada, muito fina, com V_P 4,4 km/s e 0,4 km de espessura. Esta camada pode corresponder a uma camada de arenito. A segunda camada com V_P 6,1 km/s indica a presença de rochas metamórficas próximas da superfície, algumas delas aflorando nas proximidades de ESAR.

Com os tempos S-P e as distâncias correspondentes, foi possível obter uma função (2) para calcular distância epicentral com base nos tempos (S-P) menores que 5s:

$$\Delta = 8,4(S-P) - 0,7 \text{ para } S-P < 5s \quad (2)$$

Conclusões

A partir dos resultados da modelagem com as ondas P e S foram calculados os tempos de percurso de alguns pontos correspondentes às refrações críticas em Moho das ondas P e S, com distâncias de 220km e 250km a partir de Suzano. Com esses dados e as leituras de ESAR foi elaborada uma relação entre distâncias e o tempo S-P, que será utilizada para diferenças de S-P maiores que 16s (distâncias maiores que 150km aproximadamente), ver Fig. 7.

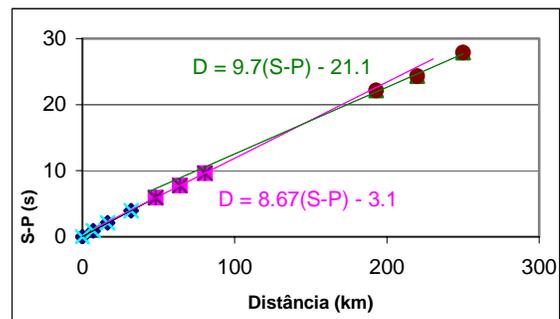


Figura 7 - Equações para cálculo de distância com tempo S-P > 15s (linha verde) e tempos 5s < S-P < 15s (linha rosa), para distâncias maiores que 50km. Os dois pontos adicionais (extremo direito) foram obtidos através do modelo de velocidades das Figs 5 e 6.

Nesta figura também é apresentada a equação elaborada para cálculo de distância com tempo S-P entre 5 e 16 s utilizando as leituras das primeiras seis estações da linha sísmica. O modelo final obtido neste levantamento (para a linha Suzano - Angra dos Reis) considerando camadas horizontais, é mostrado no gráfico da Fig. 8.

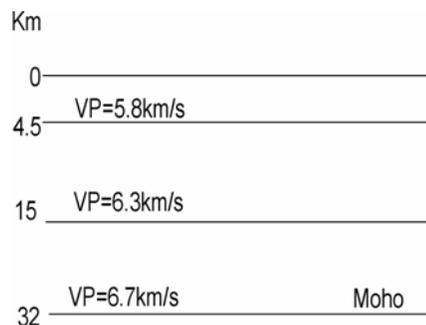


Figura 8- Modelo da crosta sob a região que abrange a estação ESAR obtida pela modelagem utilizando resultados obtidos com os métodos de refração sísmica profunda, da linha Suzano-Angra dos Reis, e de função do receptor.

Referências

BASSINI, A. M., 1986. Levantamentos sismográficos na região sudeste do Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas/USP São Paulo, Brasil.

FRANÇA, G. S. and ASSUMPÇÃO, M. 2004. Crustal structure of the Ribeira fold belt, SE Brazil, derived from receiver functions. *J. S. A. Earth Sciences* 2004 743-758 pp.

GIESE, P. and SHUTTE, J., 1975. *Preliminary Report on the Results of Seismic Measurements in the Brazilian Coastal Mountains in March/Abril 1975.* Free University of Berlin, Germany 12 pp.

Agradecimentos

Aos técnicos do laboratório de Instrumentação Sismológica do IAG, e pela ajuda na aquisição de dados, à Célia Fernandes pela colaboração na aquisição e no tratamento dos dados.

Um agradecimento especial a Eletronuclear pelo financiamento do projeto.

