



## Imageamento sísmico abaixo de camadas com altos contrastes de impedância

Jorge L. Costa\*, Bruno M. da Silva, Eldues O. Martins, Josias J. Silva, Luiz Landau, UFRJ/COPPE/LAB2M, Brasil  
Djalma M. Soares Filho, PETROBRAS, Brasil

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9<sup>th</sup> 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 9<sup>th</sup> 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 seismic modeling has brought solutions for many problems faced in oil industry, like the imaging of hydrocarbons reservoir under structures with high acoustic impedance, case of saline and basaltic structures. In some sedimentary basins the high thickness of these layers appears as great problem to be considered. In this paper we use the multi source technique in order to show that thin layers under complex structures can continue being identified with good quality even when increase at five times its thickness. For this, we perform an acoustic seismic modeling of two velocity models.

### Introdução

O imageamento sísmico abaixo de estruturas com altos valores de impedância acústica, principalmente de acumulações de hidrocarbonetos, tem sido alvo nos últimos anos de constantes esforços da indústria do petróleo devido a descobertas de sistemas petrolíferos em estruturas como essas. Usando a técnica de migração de famílias de múltiplas fontes (Berkhout, 1992) mostraremos que mesmo abaixo de estruturas complexas com altos contrastes de impedância e grandes mergulhos, sobre o alvo, é possível realizar os imageamentos de topo e base com razoável clareza.

Foram usados dois modelos de velocidades de ondas P para realizar a modelagem, ambos com mesma densidade em todo o modelo. O primeiro foi o da SEG/EAGE com uma estrutura salina com topografia bastante irregular.

O segundo foi um modelo terrestre retirado de Martins (2003) e baseia-se na geologia de uma bacia sedimentar *onshore*. Com grande complexidade devido as inversões e contendo uma falha geológica que corta quase todo o modelo, este possui duas estruturas com alta impedância acústica. Apenas uma delas, a mais próxima da superfície, tem sua espessura aumentada, sempre com incrementos de cem pontos de malha. Utilizamos para realizar a migração a técnica de Reverse Time Migration (RTM).

### RTM para famílias de múltiplas fontes

Denotando por  $\hat{u}(x, z = 0, t; x_i)$  o sismograma relativo a detonação na posição  $x_i$  e  $\tilde{u}(x, z = 0, t; p)$  uma família de múltiplas fontes, a migração RTM para esse conjunto de dados é realizada segundo a metodologia:

1. Dados de entrada: sismogramas de campo

$$\hat{u}(x, z = 0, t; x_i),$$

onde  $i = 1, \dots, N_f$ .

2. Construção da família de múltiplas fontes:

$$\tilde{u}(x, z, t; p) = \sum_{i=1}^{N_f} \hat{u}(x, z = 0, t - \hat{t}_i; x_i),$$

onde  $\hat{t}_i = px_i$  representa o atraso considerado para o sismograma relativo à posição de detonação  $x_i$ .

3. Determinação da matriz de tempo de trânsito  $TD$

A matriz de tempo de trânsito usada na condição de imagem é determinada pelo tempo de chegada da onda de maior amplitude em cada ponto do modelo a partir da detonação das múltiplas fontes:

$$\nabla^2 u - \frac{1}{v^2} \partial_{tt} u = \sum_{i=1}^{N_f} f(t - \hat{t}_i) \delta(x - x_i)$$

4. Propagação Reversa no Tempo

A propagação reversa no tempo da família de múltiplas fontes é realizada através da solução da equação diferencial:

$$\nabla^2 u - \frac{1}{v^2} \partial_{tt} u = \tilde{u}(x, z = 0, t_f - t; p)$$

onde  $t_f$  representa o tempo final de registro.

5. Imposição da Condição de Imagem

A migração de cada registro de múltiplas fontes para atrasos definidos por  $p$  é dada por:

$$m(x, z; p) = u(x, z, t = TD(x, z; p)) .$$

Para várias famílias de múltiplas fontes, o resultado final da migração é dado por:

$$M(x, z) = \sum_{i=1}^N m(x, z; p_i),$$

onde  $N$  denota o número de famílias de múltiplas fontes.

### O modelo de sal da SEG/EAGE

Realizamos experimentos numéricos com o modelo publicado pela SEG/EAGE (Figura 1) a fim de averiguar o comportamento do método de múltiplas fontes no imageamento de estruturas com topografia rugosa, como domos salinos. A modelagem foi feita usando uma malha regular com espaçamento igual a 6, intervalo de amostragem de 0,26 milissegundos e dimensões de 780 x 209 pontos da malha.

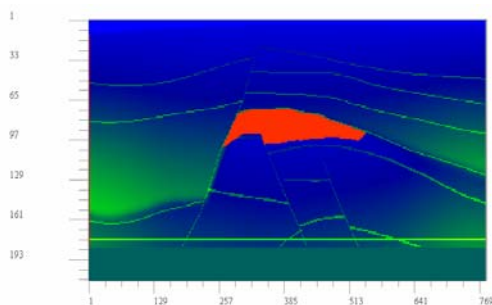


Figura 1. Modelo de velocidade publicado pela SEG/EAGE.

A condição de imagem utilizada na migração RTM, que é o tempo de trânsito da onda direta a partir da fonte até cada posição da malha, é apresentada na Figura 2. Foi utilizado um algoritmo que monitora a variação da amplitude da onda com o tempo desenvolvido por Silva (2002).

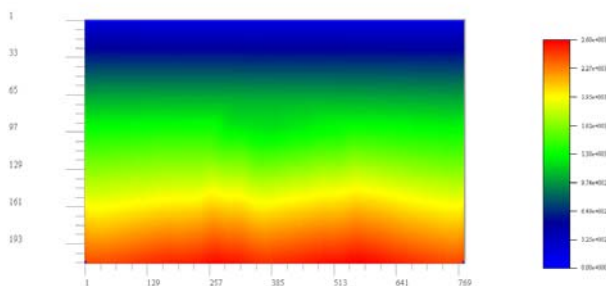


Figura 2. Condição de imagem TD. A cor azul reflete um tempo curto enquanto a vermelha o tempo mais longo.

Nota-se que não há artefatos que normalmente são encontrados quando apenas as amplitudes da primeira quebra são consideradas. O resultado da migração é apresentado na Figura 3.

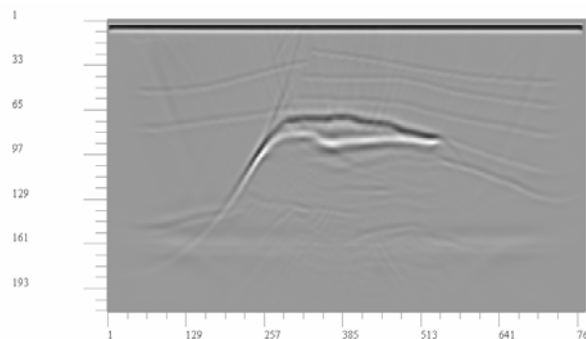


Figura 3. Resultado do processo de migração de registros de múltiplas fontes para o modelo SEG/EAGE.

### O modelo terrestre

O modelo terrestre (Figura 4a) possui dimensões de 512 x 256 pontos de malha com um afastamento ponto a ponto de 10 metros. O intervalo de amostragem temporal usado foi de 0,32 ms. A camada de menor velocidade é de 1.7 km/s e a de maior 6.55 km/s. A título de exemplo de como ficou o modelo depois de inserido o incremento de pontos, a Figura 4(b) apresenta o modelo 512 x 556 pontos de malha no qual foram inseridos 300 pontos na camada de maior velocidade. A inserção de novos pontos foi feita sempre de 100 em 100 até que a camada ganhasse mais 500 pontos.

A exemplo do que se esperava, os refletores passaram a ser imageados com menor intensidade, i.é, apresentando-se mais tênues na seção sísmica migrada. Entretanto suas delimitações ainda permanecem possíveis de serem

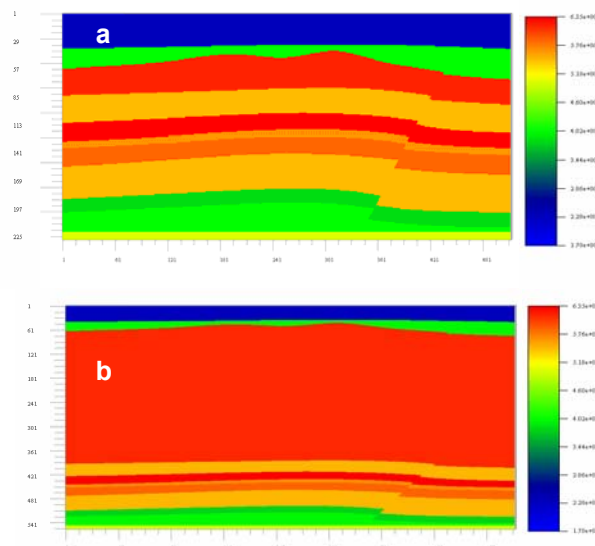


Figura 4 – Modelo terrestre: (a) sem incrementos, dimensões 512x256 pontos (b) com incrementos, dimensões 512x556 pontos

realizadas como mostra a seqüência de *snapshots* da Figura 5. O fenômeno de aparecimento de múltiplas com o aumento da camada de alta velocidade, que vimos em outros modelos simples de camadas paralelas, feitos apenas para testar o método, também aparecem no interior da camada de alta velocidade.

### Conclusões

Conclui-se que o método de migração de registros de múltiplas fontes mostra-se eficaz no imageamento de estruturas delgadas, como são em grande parte as acumulações de hidrocarbonetos, mesmo quando essas se encontram abaixo de camadas com elevada impedância acústica e com espessura muitas vezes maiores que elas.

O método também se mostrou eficiente no imageamento da estruturas salinas que, além da característica de alto contraste de impedância acústica, também apresenta topografia bastante irregular dado à maleabilidade da sua composição rochosa.

### Referências

- Berkhout, A. J.**, 1992. *Areal shot-record technology*, J.Seis.Expl.1, n.3, 151-264.
- Cerjan, C., Kosloff, D., Kosloff, R., and Reshef, M.**, 1985, A nonreflecting boundary condition for a discrete acoustic and elastic wave equation, *Geophysics*, 50, 705-708.
- Gazdag, J., Sguazzero, P.**, 1984, Migration of seismic data by phase shift plus interpolation: *Geophysics*, 43, 124-131.
- Martins, E. O.** 2003, Modelagem sísmica em meios complexos. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil). \_ \_Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Silva, J. J.**, 2002, Migração reversa no tempo: resolução em levantamento sísmico interpoços. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

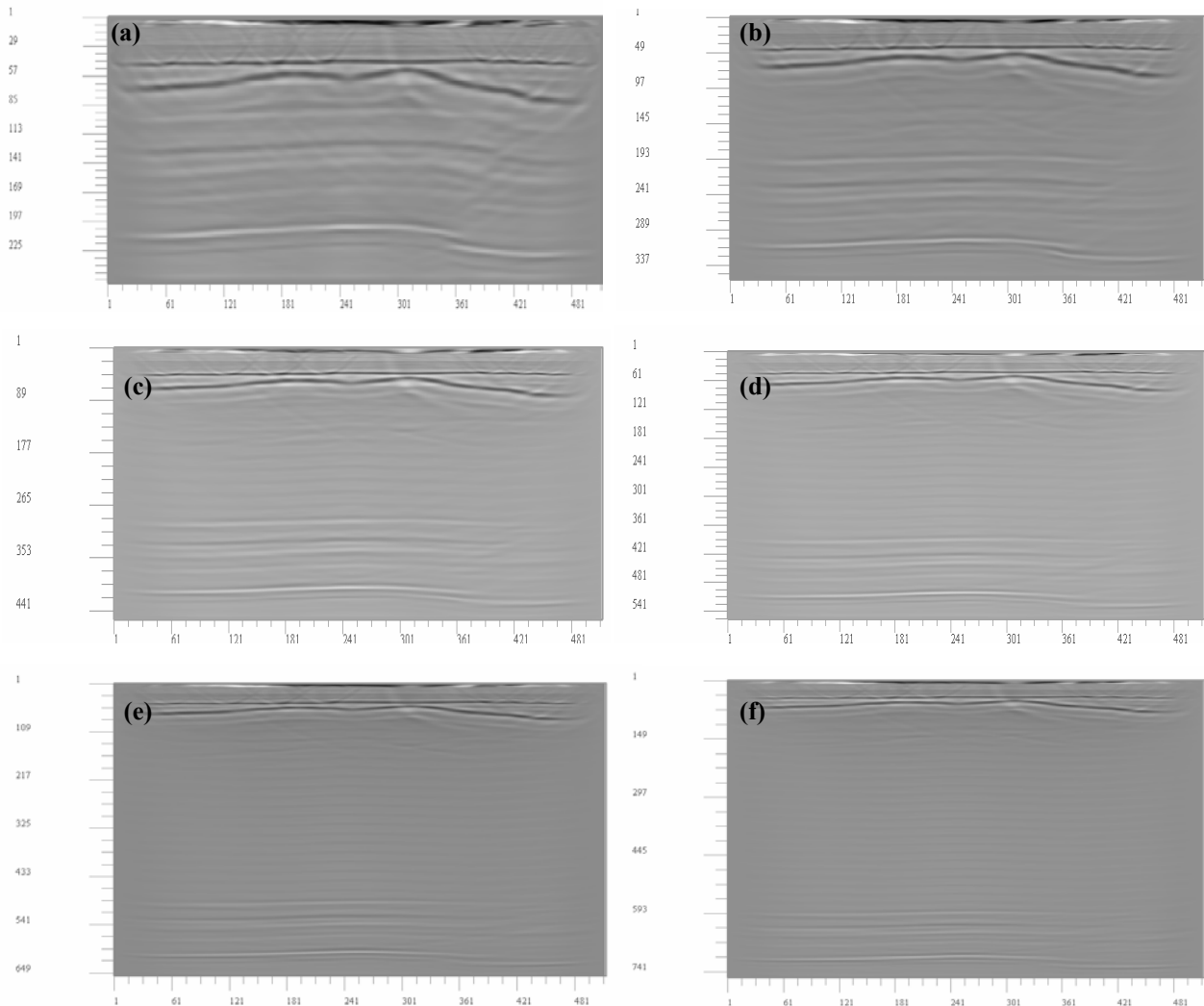


Figura 5 – Seções sísmicas referentes aos modelos de velocidades de ondas P terrestre, com dimensão lateral de 512 e vertical, respectivamente de 256 (a), 356 (b), 456 (c), 556 (d), 656 (e) e 756 (f) pontos