



Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

Imageamento Sísmico Abaixo de Estruturas Espessas com Alta Impedância Acústica

Bruno Mendes, Eldues Martins, Josias Silva, Jorge Costa, Luiz Landau¹, Djalma M. S. Filho²

¹ Grupo Interdisciplinar de Modelagem de Bacias/COPPE/UFRJ, Cid. Universitária, CT, BL-H (anexo), Ilha do Fundão, Rio de Janeiro-RJ, jsilva@lab2m.coppe.ufrj.br

² CENPES/PETROBRAS, Cidade Universitária, Q-7, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro-RJ, djalma@petrobras.com.br

Resumo – A modelagem sísmica tem trazido soluções para diversos problemas enfrentados na indústria do petróleo, como o imageamento de reservatórios de hidrocarbonetos (HC's) abaixo de estruturas que apresentam altos contrastes de impedância acústica, caso das que possuem corpos salinos e basálticos. Em algumas bacias sedimentares a presença dessas camadas com espessuras muito grandes destacam-se como outro empecilho ao imageamento de reservatórios. Neste trabalho utilizou-se a técnica de registro de famílias de múltiplas fontes para mostrar que o imageamento de camadas delgadas, que simulam reservatórios, abaixo de estruturas como estas se mantêm com boa qualidade mesmo quando se aumenta em cinco vezes suas espessuras. Usou-se para isso dois modelos de velocidades em uma modelagem sísmica acústica, onde todas as migrações sísmicas foram realizadas utilizando-se a técnica de *Reverse Time Migration* (RTM).

Palavras-Chave: Sísmica, Modelagem, Imageamento, Impedância.

Abstract – The seismic modeling have bring solutions for many problems faced in oil industry, like the imaging of reservoir of hydrocarbons (HC's) down structures that present high contrast of acoustic impedance, case of structures have saline and basaltic bodies. In some sedimentary basins the presence of this layers with very high thickness appear like other problem to imaging of this structures. In this paper have been used the technique of multi source gather record to show the imaging of thin layers, that simulate reservoir, down of structures like that keep itself with good quality same when increase at five times your thickness. Use for this two velocity models in an acoustic seismic modeling, where all the migration use the technique of *Reverse Time Migration*

Keywords: Seismic, Modeling, Imaging, Impedance.

1. Introdução

O imageamento sísmico de acumulações de hidrocarbonetos em estruturas com altos contrastes de impedância acústica têm 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 registro de múltiplas fontes, ou ondas planas, mostra-se que mesmo abaixo de estruturas espessas, em alguns modelos trinta vezes mais espessas que os alvos, é possível realizar as delimitações de topo e base com clareza.

Usou-se dois modelos de velocidades de ondas P para realizar a modelagem, ambos com mesma densidade em todo o modelo. O primeiro modelo usado foi o de camadas paralelas com uma estrutura de alta impedância e de espessura inicial cinco vezes maior que a do alvo. Esta espessura foi aumentada até tornar-se trinta vezes maior que a do alvo. O segundo modelo, que chamaremos de modelo marinho, foi retirado de (Eldues, 2003) e baseia-se na geologia de uma bacia sedimentar marinha. Com complexidade moderada e contendo uma falha geológica, o modelo possui duas estruturas com alta impedância acústica. Apenas uma delas, a mais próxima da superfície, teve sua espessura aumentada, sempre com incrementos de cem pontos de malha.

Na modelagem sísmica utilizou-se a técnica de Migração Reversa no Tempo (*Reverse Time Migration - RTM*) para obtenção das seções sísmicas e algoritmos baseados em diferenças finitas.

2. RTM

O processo de migração reversa no tempo inicia-se a partir dos sismogramas de campo pré-processados para cada família de tiro comum. Estes sismogramas juntamente com o modelo de velocidade $v(x,z)$ são os *inputs* necessários para o início do processo. A matriz de tempo de trânsito $TD(x,z)$ usada na condição de imagem é determinada pelo tempo de chegada da onda de maior amplitude em cada ponto do modelo, encontrada na solução do problema direto, como em Silva (2002).

Portanto, a partir da generalização do princípio de Huygens e da reversibilidade temporal, matematicamente podemos escrever que:

Dados de entrada: sismogramas de campo, $\hat{u}(x, z = 0, t; x_i)$ onde $i = 1, \dots, N_f$ (Número de fontes).

Para cada sismograma, relativo a posição de tiro x_i , calcula-se a matriz de tempo $TD(x,z)$:

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

A propagação reversa no tempo do campo registrado com a imposição da condição de imagem (TD), é dada por:

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

A seção migrada (m) para cada posição de tiro x_i fica:

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

O somatório de todas seções sísmicas migradas em profundidade $M(x, z)$ fica então:

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

3. Geração de ondas planas

A técnica de registro de famílias de múltiplas fontes simula o que, na prática, corresponderia na etapa de processamento sísmico somar-se os sismogramas gerados em posições consecutivas no interior de uma malha, o que permitiria a realização de uma única migração. Esta técnica traz uma melhora ao imageamento tanto maior quanto menor for a proximidade entre os pontos de tiros e, conseqüentemente, os tiros dados no interior do modelo. Matematicamente temos quanto ao registro do supersismograma:

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

onde $\hat{u}(x, z = 0, t - \hat{t}_i; x_i)$ é o sismograma colhido no receptor localizado na posição x_i e com um dado atraso determinando por $\hat{t}_i = px_i$ e N_f é o número de fontes de detonação.

Em nossos experimentos utilizamos sempre atraso nulo, ou seja, detonação de ondas planas não inclinadas. Com a introdução do supersismograma na modelagem o processo de migração desse dado em profundidade via RTM muda pouco. As diferenças básicas são na forma de obter a condição de imagem (matriz de tempo de trânsito) e de soma da imagem final que agora inclui os diversos valores de p utilizados.

3. O imageamento sísmico

3.1. O modelo de camadas plano paralelas

O modelo de velocidades de ondas P de camadas plano-paralelas, que é um modelo simples recomendável para testes no início de uma modelagem sísmica, foi utilizado primeiramente para testar-se a eficácia do imageamento. O modelo possui sete camadas (Figura 1). A primeira delas tem velocidade próxima à da água, simulando assim um ambiente marinho. A terceira delas, do topo para base, é a camada com maior velocidade. O alvo encontra-se na quinta camada, e é, inicialmente cinco vezes menor que ela.

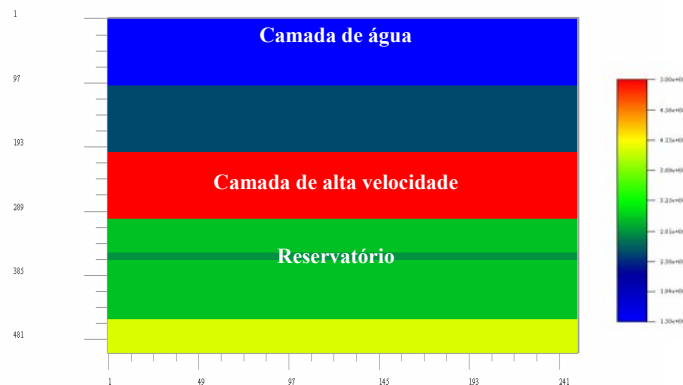


Figura 1 – Modelo de velocidades de ondas P em camadas paralelas com dimensões 256x512

As dimensões do modelo são 256 x 512 pontos de malha, sendo 512 de profundidade. Esses pontos tinham um afastamento de 6 m. O intervalo de amostragem temporal utilizada na modelagem foi de 0,00024 s com uma frequência de corte de 50 Hz. A menor velocidade de onda P do modelo é a da primeira camada, 1,5 km/s, e a maior é de 5 km/s. Considera-se todo o modelo possuindo mesma densidade.

Os outros modelos usados são baseados neste, com o acréscimo de camadas de cem pontos de malha à camada de alta velocidade. Fez-se isso cinco vezes até que a camada tivesse 600 pontos, mantendo-se o tamanho do reservatório em 20 pontos de malha. As Figuras 2 e 3 mostram respectivamente os modelos com camadas de velocidades com 300 e 600 pontos.

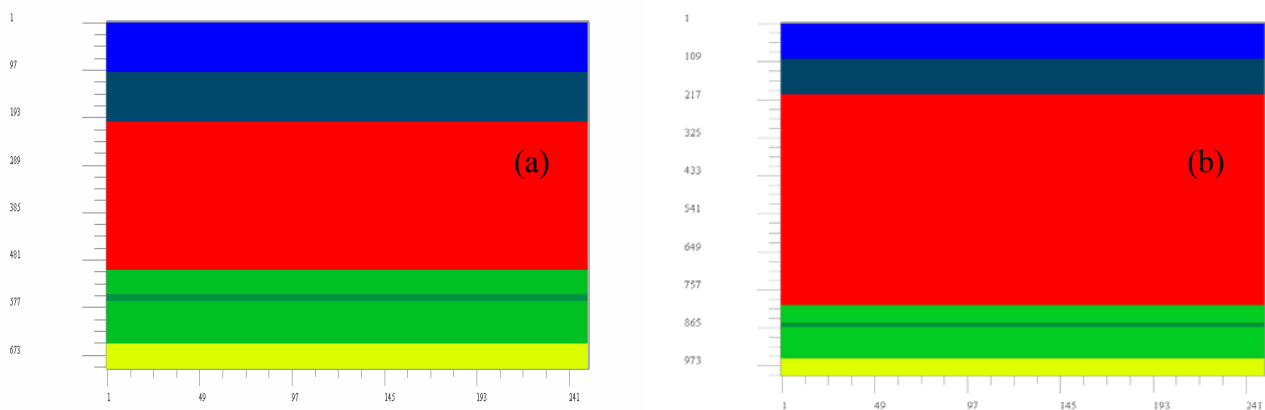


Figura 2 – (a) Modelo de velocidades de ondas P em camadas paralelas com dimensões 356x512 (b) Modelo de velocidades de ondas P em camadas paralelas com dimensões 756x512

A detonação ocorreu em todos os pontos de uma linha horizontal próxima da borda superior da malha. Também utilizamos em todas as quatro bordas uma rotina de atenuação das ondas incidentes propostas por (Cerjan, 1985) e por nós otimizada. A 50 pontos das bordas o campo de onda começava a ser atenuado, fato que mostra-se visível nas seções migradas (Figuras 3).

A detonação ocorreu abaixo do topo do modelo. Isso se explica pela aplicação de uma zona de atenuação, que chamamos de caixa de areia, também na parte superior do modelo, que evita o aparecimento de ruídos proveniente das

reflexões no topo da malha. Observa-se nas seções que as partes laterais do modelo são tão atenuadas que praticamente não aparecem, o que enfatiza a boa ação das caixas de areia.

Vê-se também a presença de uma múltipla, mostrada pela seta na Figura 3(a), logo abaixo do reservatório proveniente da forte reflexão no topo da camada de alta velocidade e, com o aumento da espessura, vemos outras no interior da camada que demonstram a energia que fica retida devido ao alto contraste de velocidade.

Pode-se observar nas seções que a nitidez das camadas inferiores à camada de alta velocidade vão ficando menos visíveis conforme a espessura vai aumentando, mas não o bastante para que topo e base do reservatório sejam possíveis de serem mapeados.

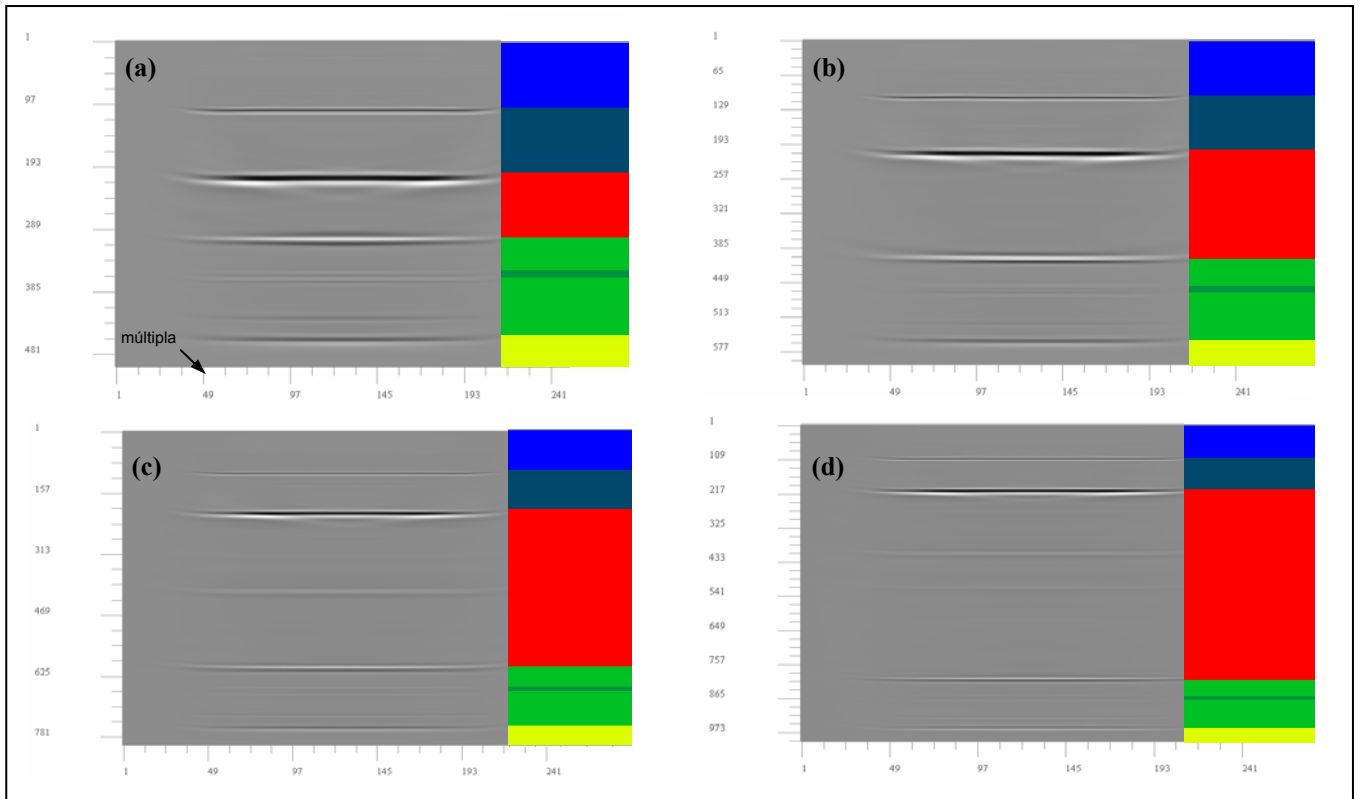


Figura 3 – Seções sísmicas referentes aos modelos de velocidades de ondas P em camadas paralelas com dimensão lateral de 256 e vertical, respectivamente de 512 (a), 612 (b), 812 (c) e 1012 (f) pontos de malha

3.2. O modelo da bacia marinha

O modelo de velocidades de ondas P marinho (Figura 5) auxiliou a corroborar os resultados obtidos com o modelo de camadas paralelas, já que este é mais complexo que o primeiro. O modelo tem 512 x 256 pontos de malha com um afastamento ponto a ponto de 10 metros. O intervalo de amostragem temporal usado foi de 0,00032 s. A camada de menor velocidade é de 1.7 km/s e a de maior 6.55 km/s.

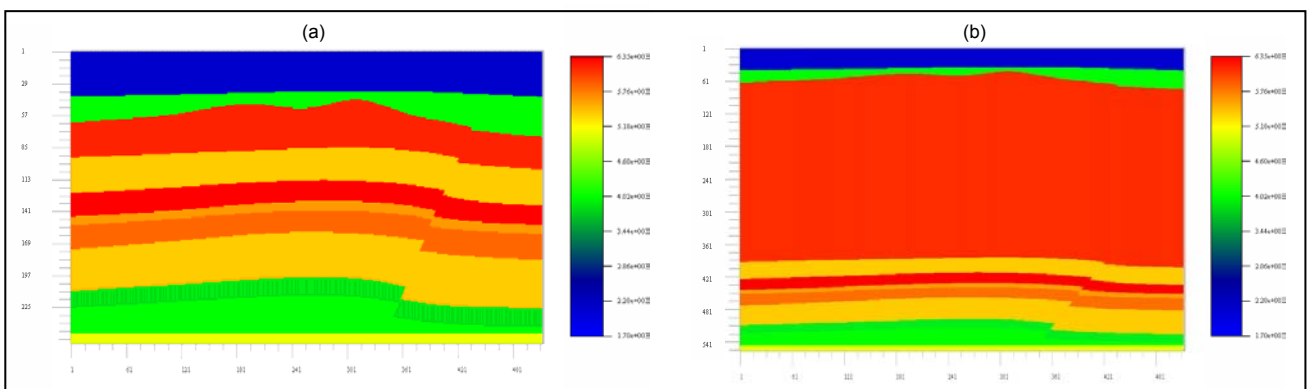


Figura 4 – Modelo de velocidade de onda P de uma bacia sedimentar onshore: (a) sem incrementos, dimensões 512 x 256 pontos da malha (b) com incremento, dimensões 512 x 556 pontos da malha.

Como exemplo de como ficou o modelo depois de inserido o incremento de pontos mostra-se na Figura 5(b) o modelo 512 x 556 pontos de malha na qual foi inserido 300 pontos na camada de maior velocidade. Como no modelo de camadas paralelas há inserção de novos pontos foi feita sempre de 100 em 100 pontos até que a camada ganhasse mais 500 pontos.

As seções migradas (Figura 5) demonstraram os mesmos resultados obtidos para camadas paralelas, ou seja, o imageamento dos refletores abaixo da camada de alta velocidade mesmo com grande incremento de pontos nessa camada. Como no outro caso, os refletores passaram a ser imageados com menor intensidade, i.é, apresentam-se mais tênues na seção sísmica migrada. Entretanto suas delimitações ainda permanecem possíveis de serem realizadas.

O mesmo fenômeno de aparecimento de múltiplas com o aumento da camada de alta velocidade que vimos nos outros modelos também aparecem aqui no interior da camada de alta velocidade (Figura 5).

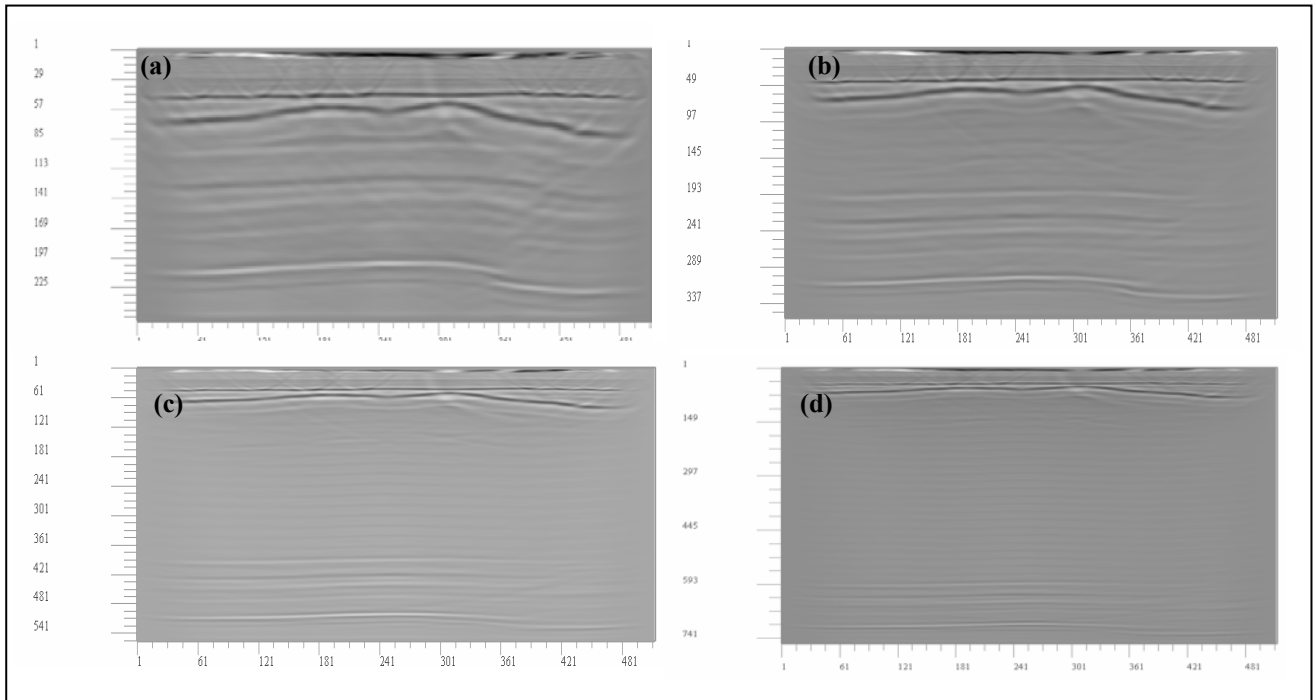


Figura 5 – Seções sísmicas referentes aos modelos Modelo de velocidades de ondas P onshore com dimensão lateral de 512 e vertical, respectivamente de 256 (a), 356 (b), 556 (c) e 756 (d) pontos de malha

5. Conclusões

Conclui-se que o método de detonação múltipla, gerador de ondas planas, é eficaz no imageamento de estruturas delgadas, como são em grande parte as acumulações de hidrocarbonetos, mesmo quando essas encontram-se abaixo de camadas com elevada impedância acústica e com espessura muitas vezes maiores que elas.

Observou-se que a presença das múltiplas se acentua com o incremento de espessura cabendo ao intérprete sísmico a distinção do que é refletor real e ruído. Felizmente as múltiplas abaixo de estruturas como essas são bem características, repetindo-se uma após a outra com mesmas feições e, no nosso caso, sempre menos “acesas” que os refletores reais. Nas seções sísmicas observadas na Figura 6 observa-se imperfeições na imagem sobre o primeiro refletor. Isso se deve a difração da onda plana incidente em descontinuidades no modelo, na interface na primeira com a segunda camada. Exatamente quatro no lado direito e quatro no lado esquerdo. Um modelo de velocidades suavizado evitaria esses problemas, mas o sismograma não poderia ser retirado com esse modelo pois poderia deslocar os refletores de suas posições reais.

6. Referências

- 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
- BAYSAL, E., KOSLOFF, D. D., SHERWOOD, W. C., 1983, *Reverse Time Migration*: Geophysics, 48, 1514-1524.
- MARTINS, E. O., 1997, *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.
- CUNHA, P. E. M., PALERMO, L. A. C., 2003, *A “Multi Source” version of the Reverse Time Migration (RTM)*, 8TH International Congress of the Brazilian Geophysical Society.