



Migração RTM de registros de múltiplas fontes aplicada a estruturas geológicas complexas

Josias J. Silva*, Eldues O. Martins, Jorge Costa, Bruno Mendes, Luiz Landau - LAMCE/COPPE/UFRJ, Brasil
Djalma Manoel Soares Filho - PETROBRAS, Brasil

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

Reverse Time Migration (RTM) is among the most indicated tools for depth imaging of complex geological structures. Its assumptions are simple enough to make it recommended in cases where severe lateral velocity variations are present. However, its traditional approach, based on depth migrating each and every common shot gather, not rarely demands immense computational efforts. In order to make RTM projects feasible, some authors have proposed alternative schemes in which multi sources records are migrated. In this work we exhibit the result obtained depth migrating a multi source record generated summing up 760 common shot gathers of a seismic acquisition simulation on Marmousi model.

Introdução

A migração RTM convencional utilizada hoje na indústria do petróleo é feita a partir do domínio do tiro ou receptor comum. Tal migração é estabelecida a partir do teorema da reciprocidade da função de Green. De uma forma simplificada pode-se dizer que o método da migração reversa no tempo se resume a um problema de condição contorno associado a uma condição de imagem, onde a condição de contorno é o registro do campo de pressão feito na superfície pelos geofones ou hidrofones e, a condição de imagem é o tempo de trânsito da onda direta para cada posição do modelo. Desta forma, o sismograma registrado na superfície é re-injetado no modelo do tempo final (t_f) até ao tempo inicial ($t=0$). Uma das suas principais vantagens é que neste método pode-se utilizar a equação da onda completa (Cunha, 2003), com isto, pode-se migrar refletores com qualquer inclinação, entretanto, para se evitar reflexões múltiplas originadas no processo de migração, é necessário que a depropagação do campo se faça em apenas uma direção. Para isso, o modelo de impedância acústica deve ser suavizado. Quando se considera densidade constante, esta suavização pode ser realizada sobre o campo de vagariedade ($=1/vel$) (Faria, 1986). Outra vantagem é que a migração RTM apresenta bons resultados em modelos complexos com grandes variações laterais de velocidade. A desvantagem é que apesar dos clusters de computadores utilizados hoje em

dia, o processo é custoso em termos de velocidade de processamento.

O objetivo deste trabalho é de aplicar o conceito de múltiplas fontes introduzido por Berkhout (1992), Faria (1986) e Cunha (2003) em um modelo geológico complexo. A diferença neste tipo de simulação é que os sismogramas para cada tiro são somados antes da migração produzindo um supersismograma. Matematicamente, podemos nos basear no princípio de Huygens para dizer que este procedimento simula uma onda plana que se desloca ao longo do modelo. Todo o processo de imageamento deve então ser feito considerando esta onda plana. Por exemplo, os tempos da chegada da onda direta em cada posição da malha (TD's) são calculados um única vez para migração de cada família de tiros. O modelo de velocidade utilizado é o Marmousi (Figura 1). Este modelo sintético gerado pelo Instituto Francês de Petróleo é um exemplo de estruturas complexas em sub-superfície baseado na geologia *offshore* da Bacia de Cuanza, Angola (Versteeg & Grau, 1990). O modelo de velocidade suavizado (Figura 2) foi utilizado para a realização do cálculo da onda direta (condição de imagem associada à primeira chegada) e para o processo de depropagação dos dados na migração. A forma de determinação dos tempos de chegada da onda direta foi realizada de acordo com o proposto por Silva (2002), onde se considera a variação temporal da amplitude da primeira quebra com o objetivo de retirar os artefatos normalmente encontrados quando apenas registramos a máxima amplitude do campo de onda. A geometria e o modelo de velocidade foram criados para produzir um dado sísmico complexo que exige técnicas de processamento avançadas para o correto imageamento das estruturas (Mora, 2002). Os parâmetros do modelo e os utilizados na simulação estão listados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros do modelo e da aquisição utilizados nas simulações

Parâmetros do Modelo e Aquisição	
Número de amostra	258
Número de traços e tiros	760
Intervalo entre receptores	12 metros
Intervalo entre pontos	12 metros
Velocidade máxima	5500 m/s
Velocidade Mínima	1500 m/s
Intervalo entre tiros	12 metros
Intervalo de amostragem	0.4 ms
Tempo total de registro	6.0 s
Frequência De corte	28 Hz

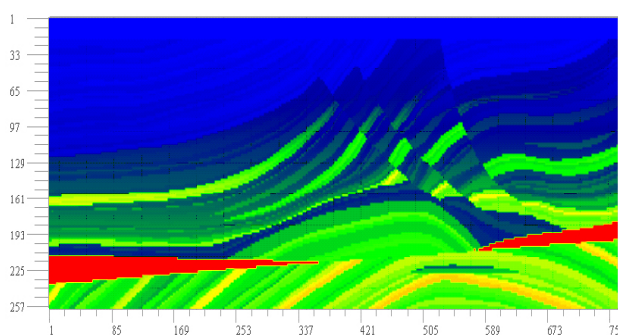


Figura 1. Modelo de velocidade Marmousi: geologia offshore da Bacia de Cuanza, Angola.

Foi feita a discretização da equação da onda pelo método das diferenças finitas com aproximações de segunda ordem para as derivadas temporais e quarta ordem para as espaciais.

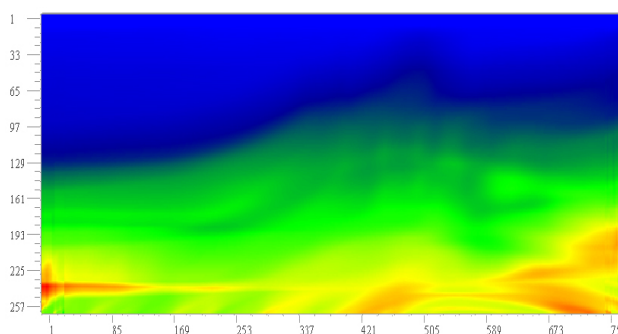


Figura 2. Modelo suavizado.

RTM para famílias de tiro comum

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 macro-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,

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

$$i = 1, \dots, N_f \text{ (Número de fontes).}$$

Para cada sismograma, relativo a posição de cada família de tiro comum 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 $M(x, z)$,

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

é o resultado da migração de todas as famílias de tiro comum.

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.

Resultados

A seguir serão apresentados os resultados dos processos de migração reversa no tempo para um tiro convencional e para múltiplas fontes. A figura 3 apresenta uma seqüência de *snapshots* da propagação do campo de onda através do modelo. Pode-se notar a complexidade do espalhamento da frente de onda principalmente na região abaixo das falhas. As Figuras 4 e 5 mostram as matrizes de tempo de trânsito das ondas direta para os dois casos. As Figuras 6 e 7 apresentam os sismogramas que são originados da modelagem direta para um tiro e para a soma dos 760 tiros dados na superfície do modelo, respectivamente. No caso da modelagem convencional foram registrados 760 sismogramas, 760 matrizes de tempo e conseqüentemente, após o processo de migração foram somadas 760 seções migradas em profundidade.

Os resultados dos processos de migração para os 760 tiros feitos de forma convencional (tiro-a-tiro) e aplicando-se o conceito de fontes múltiplas com atraso nulo ($p=0$) são apresentados nas Figuras 8 e 9, respectivamente.

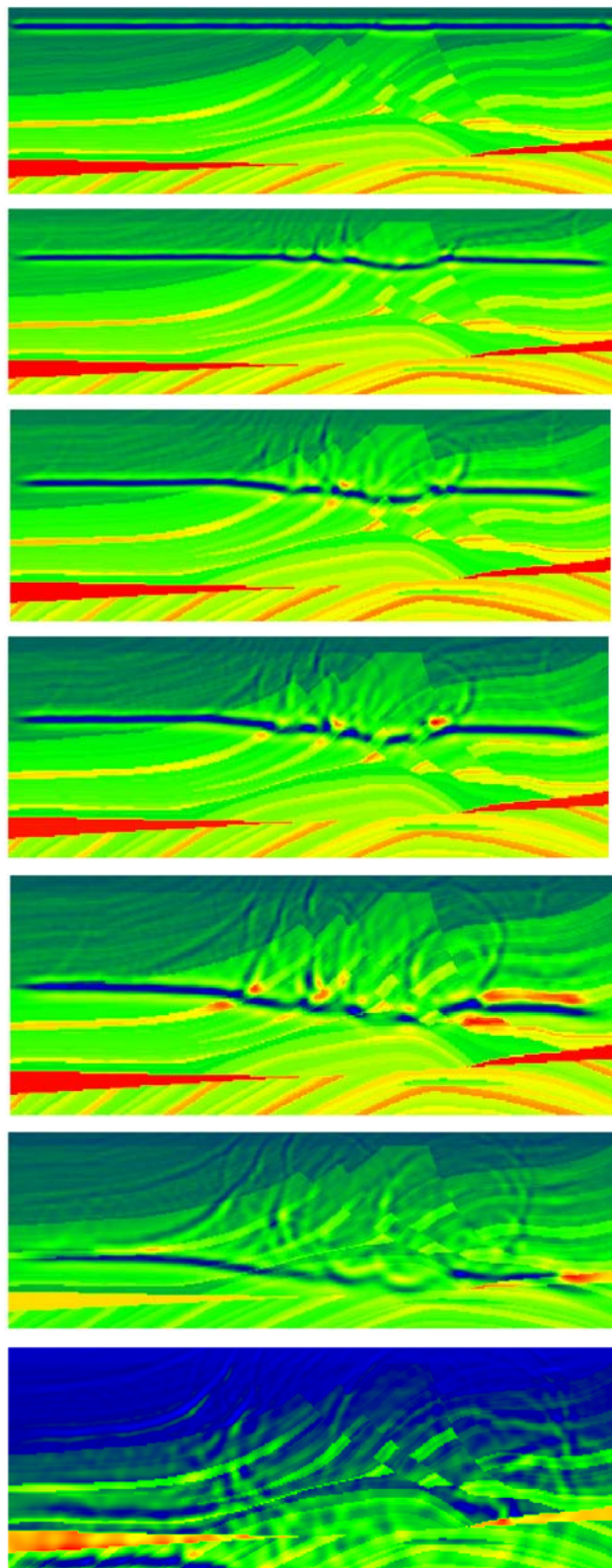


Figura 3. Seqüência de *snapshots* da propagação do campo de onda compressional para vários instantes.

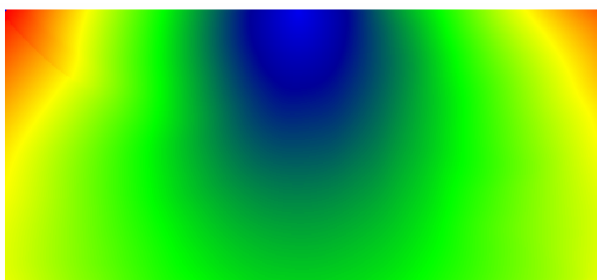


Figura 4. Tempo de trânsito da onda direta para um tiro convencional. A cor azul indica um menor tempo enquanto a vermelha indica os pontos com maior afastamento da fonte.

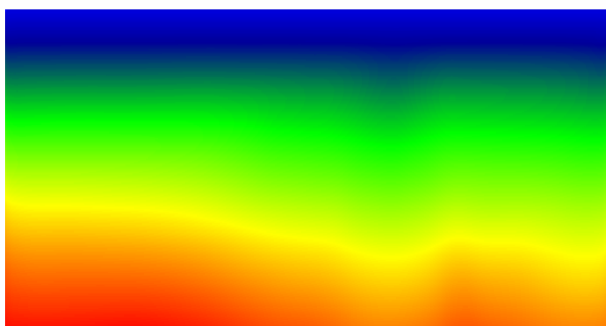


Figura 5. Tempo de trânsito da onda direta para uma onda plana a partir da superfície do modelo.

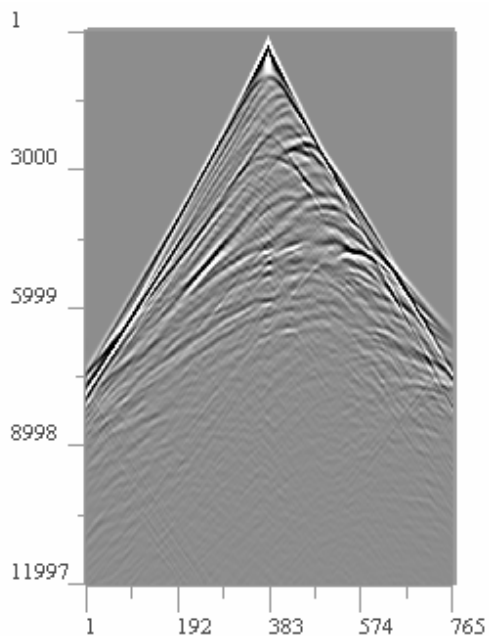


Figura 6. Sismogramas para um tiro dado no centro do modelo, posição PT-380.

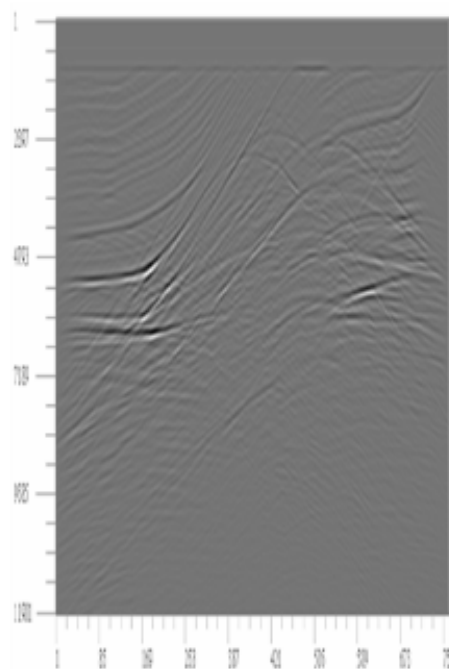


Figura 7. Soma dos 760 sismogramas registrados na superfície do modelo.

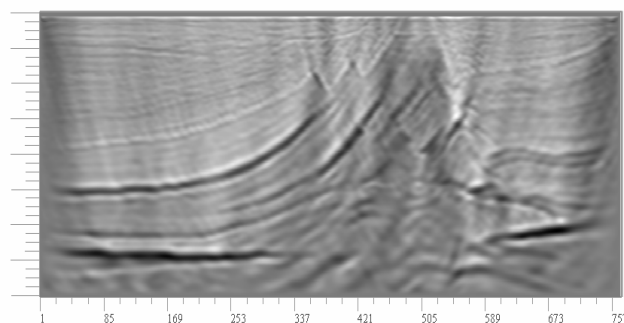


Figura 8. Resultado final do processo de migração para 760 tiros registrados de forma convencional.

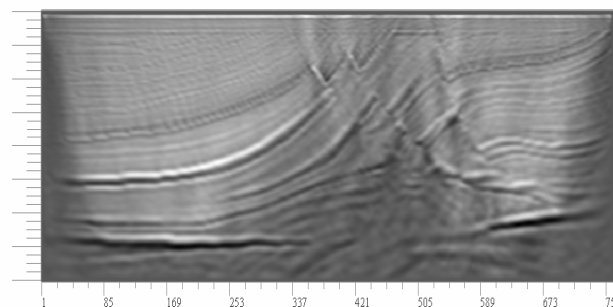


Figura 9. Resultado final do processo de migração para o método de múltiplas fontes com atraso zero.

Discussão dos Resultados e Conclusões

O resultado da migração reversa no tempo exibido na Figura 9 é surpreendente. Uma única família de múltiplas fontes foi suficiente para imagear boa parte do modelo, inclusive com alguma vantagem em relação ao resultado apresentado na Figura 8, que corresponde à soma da migração de todos os 760 registros.

O fato de a Figura 8 exibir um resultado inferior tem origem na ausência de qualquer tratamento dos resultados encontrados na migração de cada família de tiro comum. Artefatos encontrados nas matrizes de tempo de trânsito, associados às regiões mal iluminadas, dão origem a artefatos nas seções migradas. O silenciamento de tais artefatos teria dado origem a uma seção superior à obtida na migração de uma única família de múltiplas fontes. Contudo, o resultado exibido na Figura 9 já é excelente.

A Tabela 2 resume os custos computacionais para realização dos dois processos de migração, convencional e fonte múltipla rodados em uma estação DELL com processador XEON e 2.8 GHz. A diferença entre os processos é bastante significativa, principalmente quando consideramos que os resultados não diferem muito em qualidade de resolução.

Tabela 2. Custo computacional em minutos.

Processo	Convencional	Múltiplas Fontes
Soma dos sismogramas	0 min	180 min
Onda Direta	1368 min	1.6 min
Migração	1520 min	2 min
Total	2880 min	186 min

A complicada geologia estrutural do modelo de velocidade Marmousi pôde ser comprovada com o complexo espalhamento da frente de onda e dos vários pontos difratores que são identificados ao longo da seqüência de *snapshots* da Figura 3. Apesar disto, o imageamento das falhas e das seqüências deposicionais foram feitos de forma muito clara e com uma significativa economia de tempo de máquina, cerca de 15 vezes mais rápido que o método convencional, como apresentado na Tabela 2.

Referências

- Berkhout, A. J., 1992. *Areal shot-record technology*, J.Seis.Expl.1, n.3, 151-264.
- Cunha, P. E. M., A multi source version of the reverse time migration (RTM). *Eighth International congress of the Brazilian Geophysical Society*. Rio de Janeiro – Brazil, 2003.

Faria, E. L., Migração antes do empilhamento utilizando propagação reversa no tempo. *Tese de mestrado* - UFBA, Bahia - Brasil, 1986

Mora, C. B., Marmousi Synthetic Dataset. *Stanford Exploration Project*. Report DATALIB, 2002.

Silva, J. J., Migração reversa no tempo: resolução em levantamento sísmico interpoços. *Tese de Mestrado*, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

Versteeg, R., e Grau, G., Practical Aspects of Seismic Data Inversion, the Marmousi Experience: Proceedings of 1990 EAGE Workshop. *52nd Annual Meeting*, Soc. Expl. Geophys, 1990.