



Método Híbrido de Migração Pré-empilhamento em Duas Etapas com Interpolação

Gary C. Aldunate e Reynam C. Pestana, CPGG/UFBA, 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 author's 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

This paper shows the application of Phase Shift Plus Interpolation Split-Step (PSPISS) wavefield extrapolation coupled with the excitation-time imaging condition to perform prestack seismic depth migration of common-shot profiles. The core of hybrid migration methods is the use of different propagators for the source and receiver wavefields. The source can be forward extrapolation using the traveltimes computation from the eikonal solution. Here we do this with the eikonal finite difference solution (TGRID) or with a geometrical method called FAST method. However, the receiver extrapolation is carried out by the PSPI Split-Step operator (PSPISS), that is the conventional split-step method using multiple velocity references. The source traveltimes computation uses a smooth velocity and for the receivers extrapolation the true velocity field. We named these method as PSPISS-H with the traveltimes obtained by TGRID or FAST. A dataset from Gulf of Mexico was used to test the hybrid migration methods. The migration results shows a good image in depth. The PSPISS-H methods had better computational performance compared with the wave equation PSPISS method, but in both cases having a processing expense time proportional to the number of reference velocities.

Introdução

Os métodos de migração Kirchhoff (MK) (Schneider, 1978) são muito usados devido a sua eficiência e flexibilidade, mas a maioria desses métodos não funciona em estruturas geológicas complexas, pois não tratam corretamente o problema de "multipathing" (multicaminhos da energia sísmica). Esse problema foi estudado em Aldunate e Pestana (2004a) e os testes com vários métodos para o cálculo dos tempos de trânsito, em modelos de extrema complexidade geológica, que apresentam corpos de sal, comprovaram uma maior sensibilidade dos métodos MK em meios estruturalmente complexos. Entretanto, os MK são eficientes computacionalmente e não apresentam limitação de mergulho, podendo imagear estruturas com fortes inclinações. Já em meios simples, como estruturas

quasi-plano-estratificados, os MK conseguem reconstruir com boa precisão os refletores em profundidade. Tomando proveito das qualidades dos MK, Tanis (1998), Aldunate e Pestana (2002), implementaram métodos híbridos para a migração de dados de tiro comum. Neste trabalho, dois métodos para o cálculo dos tempos de trânsito das fontes são testados, um baseado na solução da equação eikonal por diferenças finitas - TGRID (Faria et al., 1994) e outro que denominamos de FAST (Stoffa, 2004). Os tempos de chegadas serão associados a um campo de ondas da fonte sísmica, que identificamos por P^S . Já os dados registrados pelos receptores são depropagados usando o operador de continuação PSPI Split-Step, que é implementado utilizando várias velocidades de referência (Aldunate e Pestana, 2004b), e que representaremos por P^R . Em seguida, os campos extrapolados em profundidade são correlacionados e aplicada a condição de imagem (Chang and McMechan, 1986). Desta forma, os refletores imageados aparecem quando os campos de ondas das fontes e dos receptores estão em fase (Yilmaz, 2001; Claerbout, 1985).

Método Híbrido PSPI Split-Step - PSPISS-H

O método de migração PSPISS-H caracteriza-se por correlacionar dois campos de ondas, os campos de ondas associados às fontes e aos receptores. Os campos de ondas correspondentes às fontes podem ser expresso como:

$$P_{ij}^S(\omega) = e^{-i\omega t(x_i, z_j)}, \quad (1)$$

onde os tempos são determinados para todos os pontos da malha do campo de velocidades ($i = 1, Nx; j = 1, Nz$). Os tempos de trânsito $t(x_i, z_j)$ são calculados a partir da solução da equação eikonal, e neste trabalho utilizamos os métodos TGRID e FAST, citados acima.

Os campos de ondas correspondentes aos receptores são continuados para baixo com o operador PSPI Split-Step (Aldunate e Pestana, 2004b):

$$W_{ij}(\omega) = \zeta_n \cdot e^{ip_1^n \Delta z} \cdot F^{-1} \cdot e^{ip_2^n \Delta z} \cdot C_n F, \quad (2)$$

onde n é o número de velocidades de referência usados em cada nível de extrapolação j . C_n e ζ_n representam as n cópias dos campos de ondas e as n interpolações, respectivamente. Os deslocamentos de fase são $p_1 = \omega \delta u(x_i, z_j)$ e $p_2 = k_{z_j}$ (onde $k_{z_j} = \sqrt{\bar{u}^2 \omega^2 - k_x^2}$), que trabalham nos domínios (x, ω) e (k, ω) , respectivamente. O termo de perturbação, definido a partir da vagarosidade ao invés da velocidade, é definido como $\delta u(x_i, z_j) = 1/\delta v(x_i, z_j)$ e a transformada inversa de Fourier é denotada por F^{-1} . Assim, primeiro faz-se a extrapolação através do deslocamento de fase com p_2 , que leva em conta a correção da média da vagarosidade $\bar{u}(z_j)$, depois muda-se de domínio através de uma transformada espacial inversa de Fourier, para em seguida aplicar o segundo deslocamento de fase,

p_1 , que tem por objetivo corrigir a variação lateral de velocidade.

No processo de extrapolação o operador W , equação (2), exige um campo de velocidades preciso, pois ele é mais sensível às pequenas variações de velocidade, de forma que quanto mais correto for o campo de velocidades melhor será o desempenho do operador de extrapolação PSPISS. Por sua vez, o cálculo dos tempos de trânsito do campo de ondas associado à fonte, P^S , requer um campo de velocidades suavizado que possibilita uma maior estabilidade no cálculo dos tempos das primeiras chegadas. Na Figura 1(a) mostramos as isócronas de tempo de um tiro, sobrepostas ao campo de velocidades suavizado, calculadas com os métodos TGRID e FAST, os quais serão usados para construir as tabelas de tempo para a migração.

Condição de imagem

Chang and McMechan (1986) generalizaram a condição de imagem de Claerbout (1985) e, assim, aplicaram essa condição de imagem na migração pré-empilhamento reversa no tempo, a qual também pôde ser estendida para a migração pré-empilhamento espectral (Tanis, 1998; Aldunate, 2002). Através dessa condição de imagem cada ponto do refletor é imageado de acordo com o tempo da onda direta. Assim, o método híbrido de migração PSPISS-H consiste primeiro no cálculo das tabelas de tempo, sobre o campo de velocidades suavizado, em seguida a extrapolação em profundidade dos dados organizados em famílias de tiro comum, desde os receptores até cada profundidade, usando-se o modelo de velocidade sem suavização, através da aplicação do operador PSPISS. E em cada passo de extrapolação esses dois campos são correlacionados para obter a imagem final migrada em profundidade, ou seja:

$$I_{ij} = \sum_{\omega} P_{ij}^S(\omega) * P_{ij}^R(\omega), \quad (3)$$

Testes com Dados do Golfo do México

Os dados marítimos do Golfo do México caracterizam-se pela presença de um corpo de sal gigante na parte superior e por extratos horizontais ao seu redor. A linha sísmica 2-D processada contém 1001 tiros, espaçados de 87,5 pés, onde cada família de tiro é formada por 180 hidrofones, também espaçados de 87,5 pés. Cada traço tem 6 s de registro, amostrados a cada 4 ms, ou seja, um total de 1501 amostras por traço. O afastamento mais próximo é de 330 pés. Já a malha do campo de velocidades é de 1000 amostra na direção horizontal (x) por 1185 na vertical (z). O intervalo de amostragem horizontal (dx) é de 26,67 m e 6,67 m na vertical (dz).

Para efeito de comparação apresentamos os resultados obtidos usando a migração Kirchhoff convencional. As Figuras 1(b) e 1(c) mostram os resultados das migrações Kirchhoff com tempos obtidos pelos métodos TGRID e FAST, respectivamente. Ambos os resultados das migrações apresentam uma boa qualidade, principalmente, no delineamento dos refletores embaixo do corpo de sal, sendo o resultado obtido com o método Kirchhoff com FAST bastante similar ao fornecido pelo TGRID. Além disso, por apresentar uma estrutura horizontalizada, com

pouca variação de velocidade, o método Kirchhoff conseguiu reconstituir bem todos os extratos horizontais. Já a baixa qualidade apresentada para delimitar o corpo de sal, como um todo, é evidente em ambos os resultados. Com esses métodos, Kirchhoff TGRID e Kirchhoff FAST, o tempo gasto para migrar, apenas um tiro, foi de aproximadamente 45 segundos, em um computador Pentium IV 2,8 GHz e 2 GB de RAM. Portanto, o baixo tempo de computação é uma das grandes vantagens dos métodos Kirchhoff.

Os resultados das migrações com os métodos híbridos são mostrados nas Figuras 2(a) e Figura 2(b), método PSPISS-H TGRID e o método PSPISS-H FAST, respectivamente. Em ambos os resultados a base rugosa do corpo de sal apresenta-se bem melhor delineada, se comparada com os resultados das migrações Kirchhoff (Figuras 1(a) e 1(b)). Também a parte superior do corpo do sal e as laterais desse apresentam-se um pouco melhor definida com o método PSPISS-H FAST, do que com método PSPISS-H TGRID, destacando-se, especialmente, a continuidade das extremidades do corpo de sal.

Já com relação ao tempo de computação, esses métodos híbridos, usando cinco velocidades de referência para a extrapolação dos dados com o operador W , foi de 2 min, para cada tiro. Também, para efeito de comparação, essa linha sísmica foi migrada usando-se o operador PSPISS, tanto para as fontes, como para os receptores. Na Figura 2(c) mostramos o resultado obtido com esse método, onde podemos notar, agora, o corpo de sal bem delineado. Entretanto, os refletores abaixo de corpo de sal apresentam-se com uma baixa amplitude. No geral, podemos considerar que a seção foi bem reconstituída, porém uma grande desvantagem desse método é seu tempo de processamento, que para apenas um tiro foi de 5 minutos.

Conclusões

Neste trabalho aplicamos em uma linha sísmica do Golfo do México os métodos híbridos de migração - PSPISS-H TGRID e PSPISS-H FAST, migrações do tipo pré-empilhamento em profundidade para dados organizados em famílias de tiro comum. O cálculo dos tempos de trânsito das fontes, com os métodos TGRID e TFAST, foi implementado buscando aumentar a eficiência computacional dos métodos espectrais de migração de tiro comum.

Dos resultados obtidos, verificamos que os métodos híbridos forneceram imagens migradas do dado do Golfo de boa qualidade, se comparadas as imagens conseguidas com os métodos Kirchhoff, a um custo computacional bem menor do que os exigidos pelo método de migração PSPISS, tanto para tiros como para os receptores.

Portanto, os métodos híbridos apresentados e testados nos dados do Golfo do México conseguiram melhorar a qualidade da imagem sísmica migrada em relação aos métodos Kirchhoff aplicados e também melhorar a performance computacional dos métodos de migração espectral de tiro comum. E ainda ressaltamos que a robustez desses métodos depende diretamente do operador de extrapolação e da precisão no cálculo dos tempos de trânsito. Ou seja, podemos obter resultados de qualidade cada vez melhor, se conseguirmos aprimorar o cálculos dos tempos de trânsito.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CTPETRO/CNPq-FINEP pelo apoio à rede Cooperativa de Pesquisa em Risco Explo-

ratório, à ANP (Agencia Nacional de Petróleo), PETROBRAS e ao CPGG/UFBA pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Referências Bibliográficas

Aldunate, G. C. (2002) Migração Pré-empilhamento Usando Operadores de Extrapolação tipo "split-step", Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Bahia.

Aldunate, G. C., Pestana, R. C. (2004a) Imageamento de estruturas geológicas associadas a fortes mergulhos com métodos de migração MK e WEM, 42 Congresso Geológico Brasileiro.

Aldunate, G. C., Pestana, R. C. (2004b) Três técnicas de migração sísmica 2D pré-empilhamento em profundidade com operadores de "split-step", submetido à Revista Brasileira de Geofísica.

Chang, W. F., and McMechan, G. A. (1986) Reverse-time migration of offset vertical seismic profiling data using the excitation-time imaging condition: *Geophysics*, **51**, 67-84.

Claerbout, J. F. (1985) *Imaging the Earth's Interior*: Blackwell Scientific.

Faria, E. L. and Stoffa, P. L. (1994) Traveltime computation in Transversely isotropic media, *Geophysics*, **59**:272-281.

Schneider, W. A. (1978) Integral formulation for migration in two and three dimensions, *Geophysics*, 43:49-76

Stoffa, P. L., (2004) Comunicação Pessoal

Tanis, C. M. (1998) Prestack Split-step Fourier Depth Migration Algorithms and Parallel Implementations on Cray T3E, University of Texas.

Yilmaz, O. (2001) *Seismic data analysis*, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.

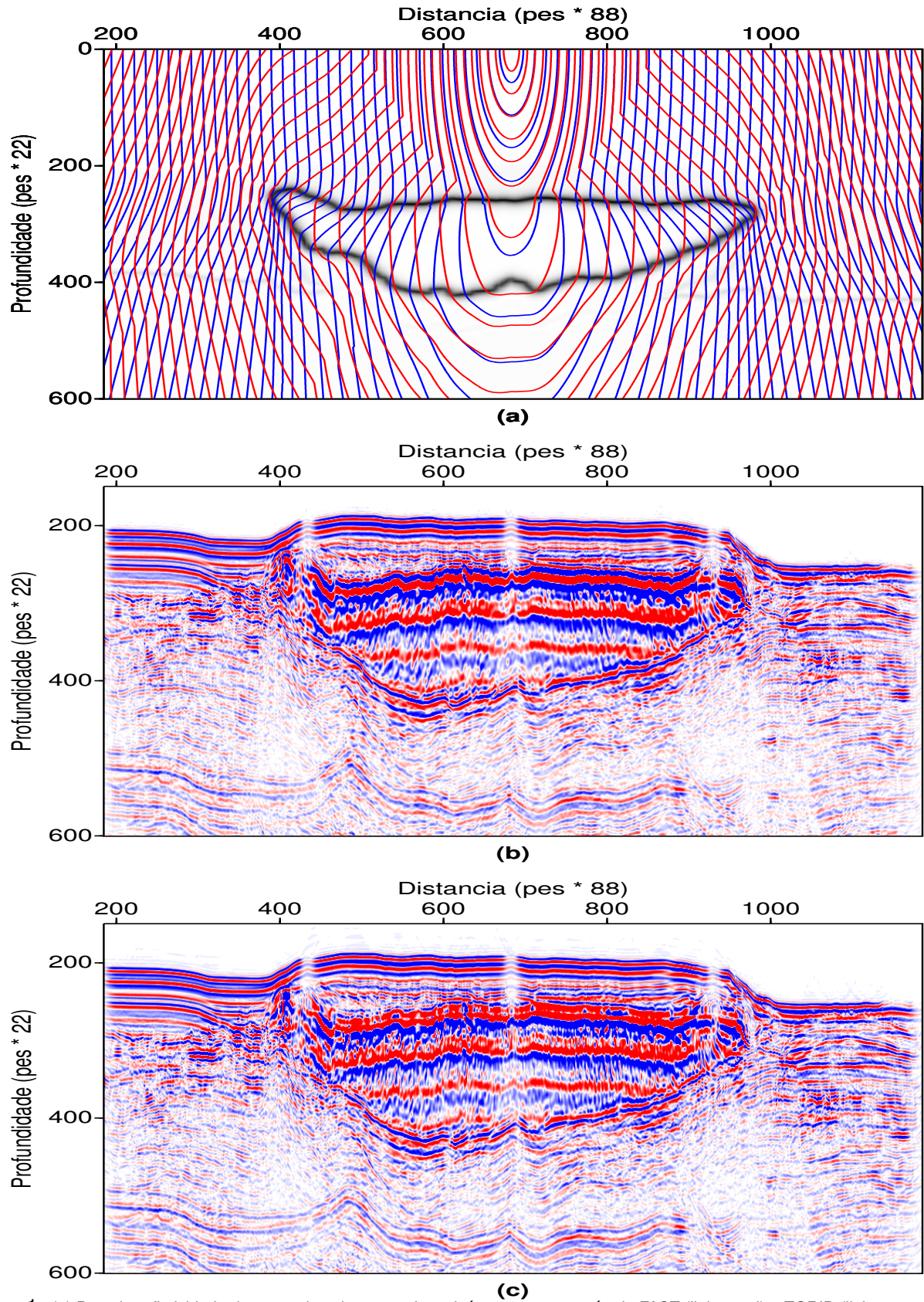


Figura 1: (a) Pseudo-refletividade do corpo de sal mostrando as isócronas com o método FAST (linha azul) e TGRID (linha vermelha); (b) Resultado da migração Kirchhoff-TGRID; (c) Resultado da migração Kirchhoff-FAST.

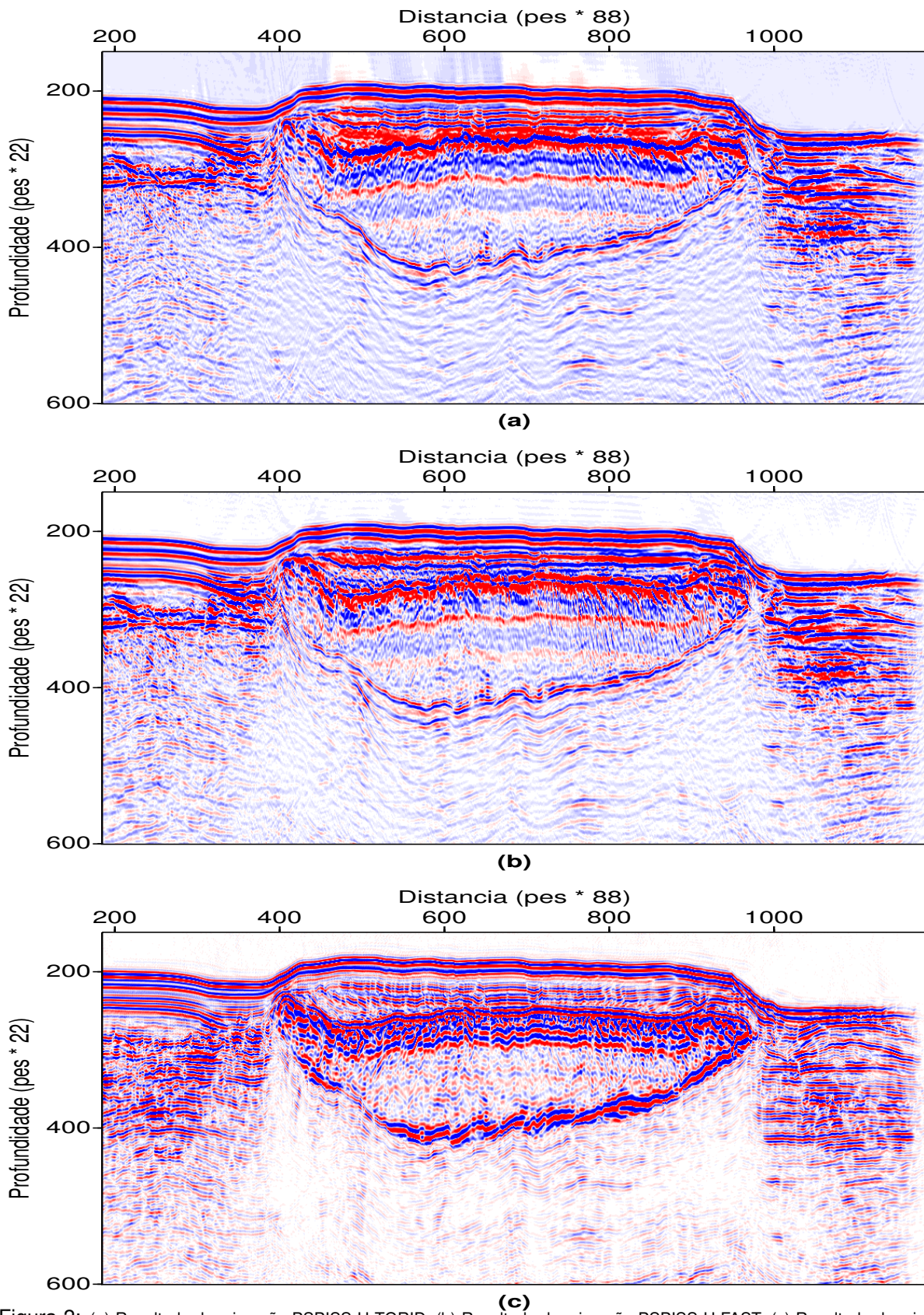


Figura 2: (a) Resultado da migração PSIIS-H TGRID; (b) Resultado da migração PSIIS-H FAST; (c) Resultado da migração PSIIS completa.