

# Migração e Redatumação em tempo no domínio tau-p

Carlos A. Cunha, Andre Romanelli Rosa and Rodolfo Ribeiro do Val, Petrobras S.A., Brasil

Copyright 2003, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper were received by The Technical Committee of The 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does 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

We describe a new recursive time imaging method, which is applied over tau-p domain transformed common shot gathers. Although applied in the time domain, the method is capable of correctly image regions with strong lateral contrast in the velocity field, and has operational costs similar to time migration. The velocity model building scheme is equivalent to a recursive standard time migration velocity analysis.

## Introdução

Embora não seja capaz de imagear corretamente meios com complexidade estrutural associadas a fortes variações laterais da velocidade de propagação de ondas sísmicas a migração em tempo possui algumas vantagens operacionais em relação a migração em profundidade. Em primeiro lugar a migração em tempo pode ser aplicada em duas passagens praticamente sem perda de qualidade (Rosa et al., 1999), em segundo lugar não há necessidade de utilizar algoritmos para calcular tempos de trânsito numericamente, e principalmente, a construção do modelo de velocidade em tempo requer um esforço consideravelmente menor, tanto computacional quanto humano. A razão para tal é que a migração em tempo pode ser realizada com uma velocidade que embora variando no espaço e no tempo, é única para cada ponto imageado. Assim, a construção do modelo de velocidade pode ser feita de forma similar a análise de velocidade de NMO uma vez que a velocidade de cada ponto é completamente independente da velocidade dos demais. O imageamento de cada ponto é realizado através de um meio homogêneo equivalente. Tal aproximação não é mais possível em regiões estruturalmente complexas, nas quais ocorre o contato lateral entre meios com propriedades elásticas

muito contrastantes. É possível no entanto continuar a aplicar a metodologia de migração em tempo a cada região separadamente. A solução para tal consiste na técnica de redatumação dos dados de modo que seja simulada uma aquisição realizada sobre a interface que separa os meios com forte contraste elástico. Conforme será demonstrado nas próximas seções tanto a redatumação quanto a migração realizadas no domínio do parâmetro do raio (ou vagarosidade horizontal  $p$ ) comum possui diversas vantagens em relação a outros processos. Ao contrário da redatumação no domínio espacial (offset comum, tiro-receptor) – onde ocorre uma mudança no valor do offset a medida que o dado é continuado para baixo – a vagarosidade horizontal ( $p$ ) é uma grandeza invariante para meios que podem ser representados por  $v = v(z)$ , como é o caso da migração em tempo. O controle de abertura do operador de migração é introduzido de forma natural e automática, aumentando a eficiência e qualidade do processo. A saída migrada se encontra organizada por parâmetro de raio comum, estando portanto mais adequada aos processos de análise de AVO e inversão elástica. Um número reduzido de painéis de  $p$  comum é suficiente para imagear adequadamente o dado. O método descrito a seguir se assemelha a diversos métodos de migração no domínio tau-p tais como a migração Radon em profundidade (Hildebrand e Carroll, 1993) e Migração pré-empilhamento em tempo no domínio da onda plana (Pestana e Stoffa, 2001). A introdução da redatumação no processo de imageamento faz com que o método proposto, embora realizado no tempo apresente um resultado equivalente a migração em profundidade.

## Migração em tempo no domínio tau-p de tiro/receptor comum

A obtenção de uma amostra de saída migrada pode ser descrita pela seguinte integral

$$M(\tau_0, x_k, p) = \int J(\tau_0, x_k, x_s, p) D(\tau, x_s, p) dx_s, \quad (1)$$

onde, conforme derivado no apêndice  $\tau(\tau_0, x_k - x_s, p)$  é definido como

$$\tau = \frac{\tau_0}{2} \sqrt{1 - (pv)^2} - (x_k - x_s)p + \sqrt{\frac{\tau_0^2}{4} + \frac{(x_k - x_s)^2}{v^2}}, \quad (2)$$

onde  $v = v(\tau_0, x_k)$ .

O integrando  $D(\tau, x_s, p)$  corresponde a transformada tau-p do dado de campo organizado por fonte comum, sendo  $x_s$  a posição da fonte. Se o dado for do tipo *end on*, o princípio da reciprocidade é utilizado para simular uma geometria *split spread* que é então transformada para o tau-p. O jacobiano de integração  $J(\tau_0, x_k, x_s, p)$  contém os pesos associados a diretividade e divergência.

### Extrapolação para novo datum

Para poder usufruir das vantagens da migração em tempo sem perder a capacidade de imagear corretamente eventos localizados abaixo de uma descontinuidade geológica que implique num forte contraste lateral de velocidade, devemos resolver o problema por etapas. Primeiro realiza-se a migração até a superfície associada a descontinuidade, a qual denominaremos de novo datum. Em seguida devemos simular uma aquisição realizada sobre esta superfície. Esta simulação utiliza o conceito de um datum temporal, de forma que cada tiro é simulado como se tivesse sido registrado em uma superfície horizontal, embora esta superfície varie de um tiro para outro. A Figura 1-a representa o mesmo registro esquemático da Figura 3-a, porém com uma superfície de datum representada pela linha espessa (vermelha). De forma similar a utilizada na derivação da equação 2 podemos escrever o novo tempo de registro  $\tau_m$  referente a um registro de tiro comum no domínio  $\tau - p$  com fonte no ponto  $S'$  (posição horizontal  $m$ ) e parâmetro de raio  $p$  dada por

$$\tau_m = \frac{(\tau_0 - t_D)}{2} \sqrt{1 - (pv)^2} - (x_k - x_m) p + \sqrt{\frac{(\tau_0 - t_D)^2}{4} + \frac{(x_k - x_m)^2}{v^2}}, \quad (3)$$

onde  $t_D = t_D(x_m)$  é o tempo do datum referente a posição  $m$  na superfície. Como não estamos preocupados em imagear o dado mas sim em transferi-lo para um novo datum, devemos eliminar qualquer referência a localização  $x_k$  e ao tempo  $\tau_0$  na equação 3. Assim podemos usar as relações

$$\begin{aligned} x_k - x_m &= \left( \frac{\tau_0}{t_D(x_m)} - 1 \right) (x_m - x_s) \\ x_k - x_s &= \frac{\tau_0}{t_D(x_m)} (x_m - x_s), \end{aligned} \quad (4)$$

as quais substituídas nas equações 3 e 2 levam após alguma manipulação a

$$\tau = \tau_m + \frac{t_D(x_m)}{2} \sqrt{1 - (pv)^2} - (x_m - x_s) p$$

$$+ \sqrt{\frac{t_D^2(x_m)}{4} + \frac{(x_m - x_s)^2}{v^2}}, \quad (5)$$

que controla a cinemática da integral de redatumação dada por

$$M(\tau_m, x_m, p) = \int J(\tau_m, x_m, x_s, p) D(\tau, x_s, p) dx_s, \quad (6)$$

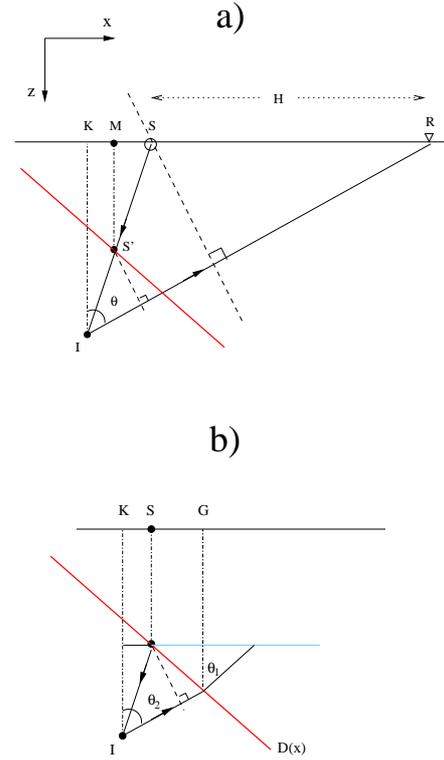


Figure 1: a) Dado no domínio tau-p com posição da fonte em  $S$  é redatumado de forma a simular um dado registrado em  $S'$ . b) Conversão do parâmetro de raio  $p$  associado a uma onda plana que atravessa a superfície do datum.

### Migração a partir do datum

Uma vez obtida a redatumação em tempo é possível realizar nova análise de velocidade temporal sobre o dado reposicionado e realizar a migração a partir do novo datum. De forma análoga a utilizada para deduzir a equação 2, pode-se derivar a equação abaixo para migrar a partir do datum

$$\tau = \frac{(\tau_0 - \Delta\tau)}{2} \sqrt{1 - (pv_2)^2} - (x_k - x_s) p$$

$$+ \sqrt{\frac{(\tau_0 - \Delta\tau)^2}{4} + \frac{(x_k - x_s)^2}{v_2^2}}, \quad (7)$$

onde  $\Delta\tau = (z_D(x_s) - z_D(x_k)) / v_2$ ,  $\tau_0$  é o tempo da amostra de saída em relação ao datum,  $z_D(x)$  é a profundidade do datum na posição  $x$ , obtida por conversão em profundidade de  $t_D(x)$  com a velocidade usada para redatumação e  $v_2 = v(\tau_0, x_k)$  é a nova velocidade interpretada em relação ao datum.

É importante ressaltar que embora invariante no meio compreendido entre o datum superior e inferior de um pacote com variação lateral de velocidade suave, o parâmetro de raio  $p$  é alterado quando uma onda plana atravessa o datum. Assim sendo, para obter um painel migrado de  $p$  constante utilizando-se a equação 7 para descrever a cinemática do operador de migração é necessário calcular o valor correspondente do parâmetro de raio  $p_1$  acima do datum. A Figura 1-b ilustra como esta conversão é realizada a partir da lei de Snell na interface do datum.

O dado migrado é obtido pela aplicação da equação abaixo

$$M(\tau_0, x_k, p) = \int J(\tau_0, x_k, x_s, p) D(\tau, x_s, p_1) dx_s, \quad (8)$$

Uma vez migrado o dado deve ser acoplado ao dado previamente migrado até a superfície do datum.

### Exemplo com dado sintético

A Figura 2 mostra o resultado da aplicação do método a um dado sintético com forte contraste lateral de velocidade. O modelo de velocidade está representado na Figura 2-a, com as seguintes velocidades: primeira camada (azul escuro) 2000 m/s, segunda camada (vermelha) 6000 m/s e terceira camada (azul claro) 3000 m/s. Podemos ver pelo resultado da migração Kirchhoff pré-empilhamento em tempo (Figura 2-b) que o forte contraste de velocidade entre a primeira e a segunda camada produz uma imagem completamente distorcida da interface que separa a segunda da terceira camada. O dado original foi então redatumado em tempo com velocidade 2000 m/s no domínio tau-p para o topo da segunda camada e então migrado em tempo com velocidade 6000 m/s e o resultado acoplado ao dado migrado até a base da primeira camada com velocidade 2000 m/s. O resultado é mostrado na Figura 2-c. As Figuras 2-d e 2-e correspondem respectivamente às conversões para profundidade usando raio vertical das migrações Kirchhoff (2-b) e tau-p com redatumação (2-c). Podemos verificar que a migração tau-p com re-

datumação produz uma imagem fidedigna das interfaces do modelo apesar da migração ser em tempo e a conversão ser por raio vertical.

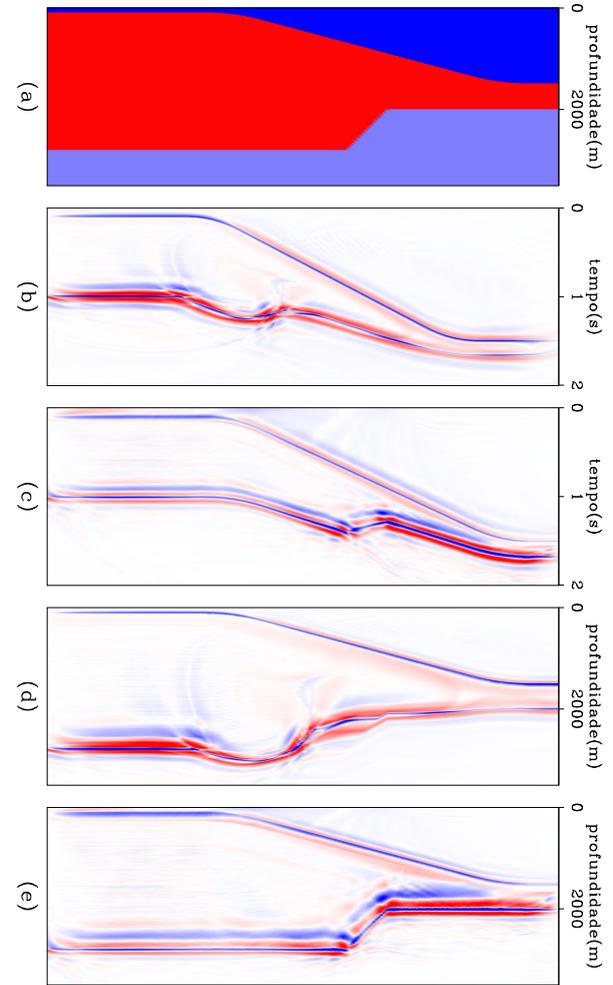


Figure 2: a) Modelo de velocidade usado para gerar dado sintético. b) Migração Kirchhoff em tempo. c) Redatumação em tempo até a base da primeira camada seguida de migração tau-p em tempo. d) Conversão para profundidade de (b) usando raio vertical. e) Conversão para profundidade de (c) usando raio vertical.

### APÊNDICE: Dedução da Equação de Tempo de Trânsito

O tempo de trânsito  $\tau$  que desejamos computar se refere ao tempo de reflexão associado a um ponto imagem  $i$  no dado transformado para o domínio  $\tau-p$  de tiro comum. A Figura 3-a mostra esquematicamente a trajetória de uma onda emitida em um meio homogêneo, a partir do ponto de tiro  $s$ , refletida no

ponto  $i$  de uma interface inclinada e registrada em superfície por um receptor localizado no ponto  $r$ . Vamos que o tempo de trânsito total é dado por

$$t_{sir} = t_{si} + t_{ir} \quad (9)$$

A Figura 3-b representa também de forma esquemática a reflexão associada a mesma interface, conforme registrada num painel de tiro comum. O evento associado a reflexão no ponto imagem,  $i$  aparece indicado verticalmente abaixo do receptor  $r$ , ocorrendo no tempo  $t_{sir}$ . Encontra-se ainda representada nesta figura a reta de integração relativa a um parâmetro de raio  $p$  e tempo de intercessão  $\tau$  que leva a contribuição deste particular evento para o domínio  $\tau - p$  de tiro comum. Desta forma, o tempo de trânsito  $t_{sir}$  pode ser representado por

$$t_{sir} = \tau + p(x_r - x_s) = \tau + pH,$$

a qual substituída na equação 9 leva a

$$\tau = t_{si} + t_{ir} - pH. \quad (10)$$

Considerando  $v$  como a velocidade de propagação de ondas no meio, podemos expressar o tempo  $t_{ir}$  nesta equação como a soma dos tempos de trânsito da onda plana ortogonal ao raio  $ir$  entre a interface e a fonte ( $t_{io}$ ) e entre a fonte e o receptor ( $t_{or}$ ), ou seja

$$t_{ir} = t_{io} + t_{or} = t_{ki} \cos(\theta) + (x_s - x_k + H) \frac{\sin(\theta)}{v}.$$

Lembrando que  $p = \sin(\theta)/v$  e definindo  $\tau_0 = 2t_{ki}$  como o tempo vertical duplo do ponto imageado, ficamos com

$$t_{ir} = \frac{\tau_0}{2} \sqrt{1 - (pv)^2} + (x_s - x_k + H)p. \quad (11)$$

Por outro lado o tempo  $t_{si}$  pode ser expresso por

$$t_{si} = \sqrt{\frac{\tau_0^2}{4} + \frac{(x_s - x_k)^2}{v^2}},$$

o qual substituído juntamente com 11 em 10 leva a

$$\tau = \frac{\tau_0}{2} \sqrt{1 - (pv)^2} - (x_k - x_s)p + \sqrt{\frac{\tau_0^2}{4} + \frac{(x_k - x_s)^2}{v^2}} \quad (12)$$

onde  $x_s$  é tomado como referência uma vez que a transformada  $\tau - p$  foi realizada sobre registros de tiro comum (fonte fixa).

## Referências

Rosa, A.R., Cunha, C., Pedrosa, I., Panetta, J., Sinedino, S., e Braga, V., 1999, Two-Pass 3-D Prestack Time Migration, Anais do sexto Encontro Internacional da Soc. Bras. de Geofísica.

Hildebrand, S.T., e Carroll, R.J., 1993, Radon Depth Migration Geophys. Prosp., 41, 229–240.

Pestana, R.C., e Stoffa, P.L., 2001, Plane Wave Prestack Time Migration Journal of Seismic Exploration 9, 211–222.

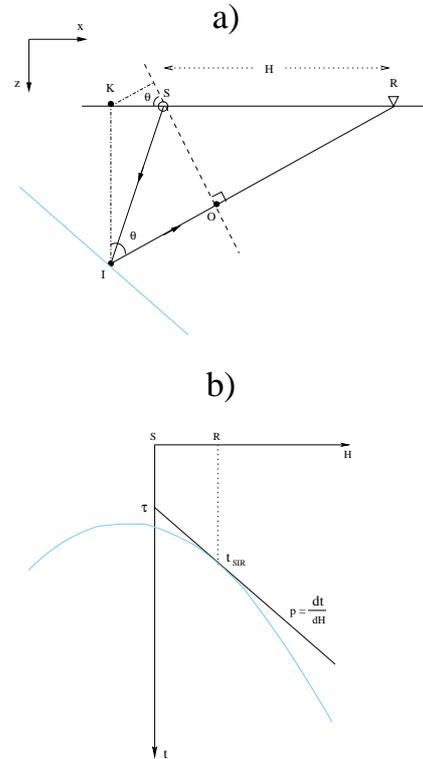


Figure 3: a) Representação esquemática de uma reflexão registrada por um par fonte receptor e b) do evento associado a ela no domínio  $\tau - p$  de um registro de tiro comum.