



## Identificação de reflexões múltiplas utilizando os parâmetros das frentes de onda PIN e Normal

João Carlos R. Cruz(\*), Pedro Chira-Oliva(\*) e Francisco J. M. de Souza(\*\*)

(\*)Departamento de Geofísica, UFPA, (Brasil), jcarlos.chira@ufpa.br

(\*\*)Curso de Pós-Graduação em Geofísica, UFPA, (Brasil), fjms@ufpa.br

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 multiple reflections included in the seismograms hide informations important about the reflectors in subsurface and can become completely invisible. Especially in marine data acquisition, the water layer often behaves as a wave trap and the waves are repeatedly reflected at the sea surface and sea bottom without significant amplitude loss. In order to identify and locate a target reflectors, these multiple must be eliminated or, at least, attenuated. In this work, the interbed symmetric multiple reflections were identified in synthetic datasets. We compare the parameters of hypothetical wavefronts Normal-Incidence-Point (NIP) and Normal (N) obtained by forward modeling and Kirchhoff migration. This comparison was extended to consider the Normal-Moveout (NMO) velocity. These comparisons let us to identify and differentiate between multiple and primary reflections.

### Introdução

O problema das reflexões múltiplas é tão antigo como o método sísmico. Existem diferentes técnicas de imageamento que estão baseadas na suposição de que os sismogramas só incluem as reflexões primárias. Na realidade, os sismogramas incluem reflexões múltiplas que podem ser tão fortes quanto as reflexões primárias desejadas, e tornam os refletores-alvos profundos completamente invisíveis. Especialmente na aquisição de dados marinhos a camada de água frequentemente comporta-se como uma espécie de armadilha de onda e as ondas são repetidamente refletidas na superfície e base do mar sem perda significativa de amplitude. Então, a identificação e localização do refletor-alvo, que pode indicar, por exemplo, um reservatório de petróleo, depende das múltiplas que devem ser eliminadas ou atenuadas.

Segundo Trappe et al. (2001), a supressão de múltiplas não necessariamente precisa do processamento convencional. Alternativamente, zonas de baixa velocidade, que são atribuídas às múltiplas, podem ser editadas no campo de velocidade obtido a partir dos parâmetros do método de empilhamento sísmico Superfície de Reflexão Comum, CRS (Common-Reflection-Surface). Este método, independente do macro-modelo de velocidades, permite o empilhamento dos dados sísmicos de cobertura múltipla para simular

seções sísmicas de afastamento-nulo no domínio do tempo, com uma melhor razão sinal/ruído. Tem sido aplicado a dados sintéticos e reais com resultados bem sucedidos, mostrando ser mais eficiente que os processos convencionais, por exemplo, os métodos Ponto-Médio-Comum, CMP (Common-midpoint) ou NMO/DMO (Normal-Moveout/Dip-Moveout).

Maciel et al. (2001) simularam reflexões múltiplas de primeira ordem com afastamento nulo, ZO (Zero-Offset) usando o modelamento direto com o método CRS. A estratégia usada está baseada no conhecimento do modelo, e inclui um processo recursivo para calcular os raios de curvatura das ondas PIN (Ponto de Incidência Normal) e N (Normal) (Hubral e Krey, 1980), passando-se a considerar dentro do processo recursivo uma trajetória de reflexão. Desta forma, foi incluída na última camada a parte da trajetória de reflexão múltipla cuja última interface é simétrica em relação à primeira interface, sendo aplicando a lei de reflexão. Considera-se que uma maneira de identificar os eventos de reflexões tipo múltiplas nos resultados após o empilhamento CRS é derivar um modelo de velocidade, e aqueles eventos que repetem as mesmas velocidades, corresponderão às reflexões múltiplas.

Alves (2003) estendeu os filtros de Wiener para afastamentos arbitrários com o auxílio da função tempos de trânsito CRS para a supressão de múltiplas intracamada.

Gamboa (2003) aplicou um algoritmo para identificar os parâmetros CRS de reflexões primárias em dados sísmicos, para depois atenuar ou eliminar a energia não desejada (múltipla), deste tipo de evento. Ele obteve os parâmetros CRS das múltiplas, segundo relações encontradas, a partir dos correspondentes parâmetros das reflexões primárias. Os resultados foram bem sucedidos.

Maciel et al. (2004, 2005) aplicaram o método de deconvolução Wiener-Levinson (WL) multicanal em dados reais no domínio CRS conseguindo atenuar as reflexões múltiplas presentes nestes dados referentes a reverberação na lamina de água e ao topo e a base da almofada de sal, e ainda peg-legs contidos no interior da estrutura salina. Os resultados foram bem sucedidos, sendo obtidas seções onde os eventos primários são claramente determinados.

Neste trabalho que apresentamos foi realizada a identificação das reflexões múltiplas intracamadas simétricas para um modelo 2-D sintético. Foi realizado uma comparação entre os parâmetros das frentes de onda PIN e Normal obtidos por a) modelamento direto e b) método de migração tipo Kirchhoff. Esta comparação

também foi estendida para a velocidade NMO. Estas comparações permitiram identificar e diferenciar as reflexões múltiplas das primárias.

### Aspectos teóricos

#### Parâmetros das reflexões múltiplas

Considera-se um modelo 2-D acústico constituído por camadas homogêneas separadas por interfaces curvas (Figura 1). Nesta Figura é mostrada a trajetória dos raios através de um processo recursivo para a obtenção dos raios de curvatura das frentes de onda PIN e Normal e o ângulo de emergência do raio normal. Coloca-se uma fonte hipotética no ponto PIN. Isto fornecerá todos os ângulos de incidência e de transmissão para todas as interfaces ( $i=1, \dots, n-1$ ) e o ângulo de emergência no ponto  $O_0$  na superfície. Ajusta-se  $R_{inicial} = 0$  para determinar o  $R_{PIN}$  ou  $R_{inicial} = R_{F_{n-1}}$  para determinar  $R_N$ , onde  $R_{F_{n-1}}$  é o raio de curvatura na interface  $n-1$  considerando o ponto  $O_{n-1}$ .

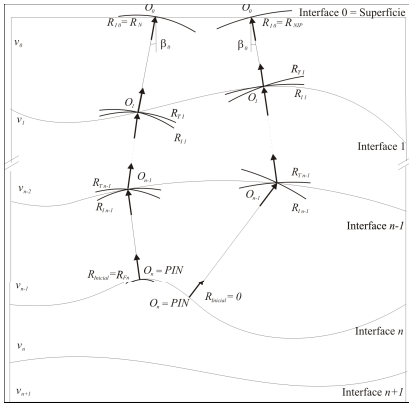


Figura 1. Traçamento de raios mediante um processo recursivo para obter os raios de curvatura das ondas PIN e Normal, sendo considerados eventos de reflexão múltipla.

O cálculo do raio de curvatura da frente de onda ao longo do raio normal, para a primeira transmissão, é dado por (Hubral e Krey, 1980)

$$R_{in} = R_{inicial} + v_{n-1} \Delta T, \quad (1)$$

sendo  $R_{in}$  o raio de curvatura da frente de onda na interface  $n$ . A distância  $v_{n-1} \Delta T$  corresponde ao segmento de raio reto que une o ponto  $O_{n-1}$  localizado na interface  $n-1$  até o ponto  $O_n$ , localizado na interface  $n$ . A determinação da curvatura resultante da frente de onda que é refletida na interface  $n$  é dada por (Hubral e Krey, 1980)

$$\frac{1}{R_{R_n}} = \frac{1}{R_{I_n}} + \frac{2}{\cos^2 \alpha_n R_{F_n}}, \quad (2)$$

sendo  $\alpha_n$  é o ângulo de incidência do raio normal na interface  $n$ . A determinação da curvatura resultante da frente de onda, a partir deste ponto, é obtida de forma idêntica para a reflexão primária. Portanto considerando uma reflexão múltipla, determinamos ao longo da trajetória do raio normal, os raios de curvatura das frentes

de ondas correspondentes às ondas PIN e N, até atingir o ponto de emergência  $O_0$ . Assim para cada um dos raios normais às interfaces do modelo sintético, determinamos os três parâmetros ( $\beta_0, R_{NIP}, R_N$ ).

#### Aproximação de tempo de trânsito para reflexões múltiplas

Considera-se um modelo em profundidade constituído por uma camada sobre um semi-espço separados por um refletor plano-inclinado (Figura 2). Neste caso, a velocidades média-quadrática, RMS (root-mean-square), intervalar e a média são as mesmas. Assume-se que existe uma velocidade constante  $v$  entre a superfície de medição e o refletor.

Para a determinação do tempo de trânsito das reflexões múltiplas são feitas pequenas alterações matemáticas nos tempos de trânsito das reflexões primárias equivalentes. O tempo de trânsito da múltipla de reflexão de ordem  $n$  para o caso 3-D é dado por (Levin, 1971)

$$t_n^2 = \left( \frac{2D \text{sen}(n+1)\mathbf{f}}{v \text{sen}\mathbf{f}} \right)^2 + 4 \left( \frac{1 - \cos^2 \mathbf{q} \text{sen}^2(n+1)\mathbf{f}}{v^2} \right) h^2, \quad (3)$$

onde  $n$  é a ordem da múltipla e fazendo  $n=0$  obtemos o tempo de trânsito da reflexão primária.  $\phi$  é um dos cossenos diretores da normal a interface plana.  $D$  é a distância da superfície no ponto-médio ao refletor. O ângulo de mergulho do plano é dado por  $\theta$  (Figura 2).

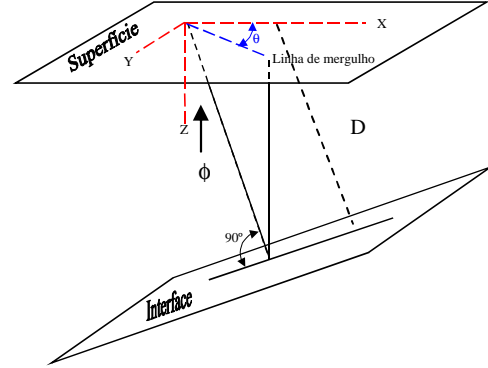


Figura 2. Desenho mostrando a relação entre os ângulos  $\alpha$ ,  $\phi$  e  $\theta$  (Levin, 1971).

Fazendo  $\theta=0$  na equação 3 então obtemos a representação do tempo de trânsito da múltipla de ordem  $n$  no modelo 2-D é dado por (Levin, 1971)

$$t_n^2 = \left( \frac{2D \text{sen}(n+1)\mathbf{f}}{v \text{sen}\mathbf{f}} \right)^2 + 4 \left( \frac{1 - \text{sen}^2(n+1)\mathbf{f}}{v^2} \right) h^2, \quad (4)$$

A velocidade NMO é definida por

$$v_{NMO} = \frac{v}{\sqrt{1 - \text{sen}^2(n+1)\mathbf{f}}}. \quad (5)$$

Outra maneira de representar a velocidade NMO é dada por

$$v_{NMO}^2 = \frac{2v_0 R_{NIP}}{t_0 \cos^2 \mathbf{b}_0}. \quad (6)$$

Da velocidade NMO também podemos obter a velocidade root-mean-square ( $v_{RMS}$ ) dada por

$$v_{RMS}^2 = v_{NMO}^2 \cos^2 \mathbf{b}_0 = \frac{2v_0 R_{NIP}}{t_0}. \quad (7)$$

### Migração Kirchhoff

#### Conhecimentos gerais

A migração sísmica é uma ferramenta fundamental para o processamento e interpretação. Com a migração são obtidas imagens mais próximas das estruturas em subsuperfície, baseado na equação da onda sísmica.

Com a técnica de migração é investigada a relação entre a curva de difração e a posição do ponto difrator, onde qualquer amostra pode ser relacionada a um ponto em subsuperfície, cuja representação corresponde a uma curva de difração. O processo de migração consiste em somar as amplitudes dos traços sísmicos que intersectam a curva de migração, e fixar o resultado no ápice desta curva. Esta operação é repetida para todas as amostras de uma seção sísmica.

Existem diversos métodos de migração. Neste trabalho será utilizado o método tipo Kirchhoff. Este tipo considera que todos os pontos da subsuperfície são candidatos potenciais a pertencerem a refletores. Sobre aqueles que confirmam esta hipótese, uma função indicadora sobre o ponto adquire um valor alto. Caso contrário, sobre os pontos que não estejam sobre os refletores, a função indicadora assume um valor baixo. Combinando estas características, uma seção sísmica em profundidade é imageada (migrada).

#### Aspetos teóricos

Assume-se uma superfície de medição plana-horizonta,  $z=0$  com pares fonte-receptor (S,G) representados por (Schleicher et al., 1993)

$$x_S = x_S(\mathbf{x}), \quad x_G = x_G(\mathbf{x}), \quad (8)$$

onde  $\xi$  é um parâmetro na superfície que identifica a posição de um par fonte-receptor. As reflexões sísmicas do refletor são descritas para cada (S,G) pela teoria do raio de ordem zero. Elas ocorrem na chamada curva de tempo de trânsito de reflexão,  $\tau_R$ . Conectando cada ponto S e G com um ponto arbitrário M em profundidade obtém-se a curva de tempos de difração ou curva Huygens ( $\tau_D$ ) para este ponto ao longo da qual é realizado o empilhamento de difrações. Ambas curvas de tempos de trânsito dependem dos pares fonte-receptor (S,G) e são funções de  $\xi$ . Elas são tangentes se e somente se  $M=R$  (Figura 3). Conseqüentemente pode-se esperar que um empilhamento de difração realizado com pesos arbitrários ao longo da curva Huygens forneça uma contribuição diferente de zero quando  $M=R$ . No caso contrário o

resultado do empilhamento é desconsiderado (Schleicher et al., 1993).

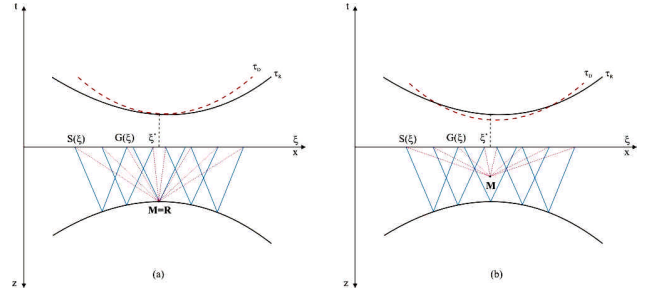


Figura 3. Representação 2-D das superfícies de tempos de trânsito 3-D  $\tau_R$  e  $\tau_D$  para diferentes escolhas do ponto em profundidade M indicado neste caso para uma configuração de afastamento-comum. (A) M coincide com um ponto de reflexão atual R. Neste caso  $\tau_R$  e  $\tau_D$  são tangentes entre sim. (b) M não descansa no refletor. Neste caso não há ponto de tangencia (adaptado de Schleicher et al., 1993).

Considerando o termo de ordem zero da série assintótica do raio (Schleicher et al., 1993), quando a superfície de registro não é uma superfície livre, a componente principal do vetor deslocamento analítico pode ser representada por

$$U(\mathbf{x}, t) = R_c \frac{A}{L} W(t - \mathbf{t}_R(\mathbf{x})), \quad (9)$$

para uma fonte compressional localizada em  $x_S(\xi)$  na superfície de medição e um receptor localizado em  $x_G(\xi)$ .  $W(t)$  representa o sinal analítico, consistindo do sinal da fonte como parte real e sua transformada de Hilbert como parte imaginária.  $W(t)$  não é função de  $\xi$ . A função  $\tau_R(\xi) = \tau_R(S(\xi), G(\xi))$  representa o tempo de trânsito ao longo do raio SRG.  $R_c$  são os coeficientes de reflexão da onda plana no ponto de reflexão R. A perda total em amplitude devido as transmissões através de todas as interfaces (ao longo do raio) é representado por A. L representa o fator de espalhamento geométrico.

#### Empilhamento de difração

Shleicher et al. (1993) definiram para todos os pontos  $(\xi_1, \xi_2)$  dentro de uma abertura  $\hat{A}$  e para cada ponto em profundidade fixo M (Figura 3), a curva de tempos de trânsito de difração é dada por,

$$\mathbf{t}_D(\mathbf{x}, M) = \mathbf{t}(S, M) + \mathbf{t}(M, G), \quad (10)$$

Nesta equação 10,  $\tau(S, M)$  e  $\tau(M, G)$  denotam os tempos de trânsito desde  $S(\xi)$  a M e desde M a  $G(\xi)$ , respectivamente.

Todos os empilhamentos de difração baseiam-se na realização de um somatório ponderado ao longo da curva de Huygens em relação a cada ponto M. Este somatório pode ser matematicamente expresso pela seguinte integral,

$$V(M, t) = \frac{1}{\sqrt{2p}} \int_A d\mathbf{x} w(\mathbf{x}, M) U(\mathbf{x}, t + \mathbf{t}_D(\mathbf{x}, M)). \quad (11)$$

O valor  $V(M, t=0)$  é a saída da *Migração pelo Empilhamento de Difração* para o ponto em profundidade escolhido,  $M$ . A integral 11 pode ser entendida como a *Migração Kirchhoff ponderada no espaço e diferencial no tempo*. O *Empilhamento de Difração* é utilizado para representar as curvas de tempos de difração  $\tau_D$  ao longo da qual o somatório é realizado.  $w(\xi, M)$  denota a função peso.

A integral 11 produz substancialmente diferentes valores segundo o ponto  $M$  é ou não um ponto de reflexão. Para justificar isto foi substituindo a equação 9 na equação 11 para obter

$$V(M, t) = \frac{1}{\sqrt{2p}} \int_A d\mathbf{x} w(\mathbf{x}, M) R_c \frac{A}{L} W(t + \mathbf{t}_F(\mathbf{x}, M)). \quad (12)$$

sendo  $\tau_F(\xi, M) = \tau_D(\xi, M) - \tau_R(\xi)$ . É aplicada a Transformada de Fourier direta na equação 12 na variável temporal para obter (Urban, 1999)

$$\hat{V}(M, \mathbf{w}) = \frac{\hat{W}(\mathbf{w})}{\sqrt{2p}} \int_A d\mathbf{x} w(\mathbf{x}, M) R_c \frac{A}{L} e^{i\mathbf{w}\mathbf{t}_F(\mathbf{x}, M)}. \quad (13)$$

A integral 13 não pode ser resolvida analiticamente. Ela pode ser avaliada aproximadamente para altas frequências usando o método da fase estacionária. A restrição para altas frequências já foi de fato implicitamente feita, pois a propagação das ondas esta sendo descrita pela teoria do raio (Schleicher et al., 1993).

Aplicar o método da fase estacionária a integral 13 significa expandir a função fase  $\tau_F(\xi, M)$  em uma série de Taylor de segunda ordem em relação ao ponto estacionário  $\xi$  (Schleicher et al., 1993; Urban, 1999)

$$\mathbf{t}_F(\mathbf{x}, M) = \mathbf{t}_F(\mathbf{x}^*, M) + \frac{H_F(\mathbf{x} - \mathbf{x}^*)^2}{2}, \quad (14)$$

sendo  $\partial\tau_F/\partial\xi|_{\xi=\xi^*} = 0$ . Assumindo que  $H_F$  é não singular, ou seja (Schleicher et al., 1993)

$$H_F = \frac{\partial^2 \mathbf{t}_F(\mathbf{x}, M)}{\partial \mathbf{x}^2} \Big|_{\mathbf{x} = \mathbf{x}^*} \neq 0, \quad (15)$$

encontra-se na aproximação de altas frequências ( $w \gg 1$ ) e usando o método da fase estacionária tem-se a solução assintótica (Bleistein, 1984)

$$\hat{V}(M, \mathbf{w}) \approx \frac{\hat{W}(\mathbf{w})}{\sqrt{-i\mathbf{w}}} w(\mathbf{x}^*, M) \frac{R_c A}{L \sqrt{|H_F|}} e^{i\mathbf{w}\mathbf{t}_F(\mathbf{x}^*, M) + \frac{i\mathbf{p}(\text{sgn } H_F - 1)}{4}}, \quad (16)$$

Nesta equação 16 existe um deslocamento de fase de  $\pi/4$  por causa do fator  $1/\sqrt{-i\mathbf{w}}$ . Para retirar este efeito é permitido que o processo de empilhamento preserve a

forma do sinal da fonte. Portanto a integral 11 é redefinida como (Urban, 1999)

$$V_F(M, t) = \frac{1}{\sqrt{2p}} \int_A d\mathbf{x} w(\mathbf{x}, M) \partial_{t^-}^2 U(\mathbf{x}, t + \mathbf{t}_D(\mathbf{x}, M)), \quad (17)$$

sendo  $\partial_{t^-}^{1/2}$  é o operador derivada do meio tempo anti-causal e corresponde no domínio da frequência ao filtro  $F(\omega) = \sqrt{-i\omega}$ .

Logo se transformou a equação 17 para o domínio da frequência:

$$\hat{V}(M, \mathbf{w}) = \frac{\sqrt{-i\mathbf{w}}}{\sqrt{2p}} \int_A d\mathbf{x} w(\mathbf{x}, M) \hat{U}(\mathbf{x}, \mathbf{w}) e^{i\mathbf{w}\mathbf{t}_D(\mathbf{x}, M)}. \quad (18)$$

Esta expressão 18 é denominada de empilhamento de difrações modificada, e seu valor assintótico é dado por

$$\hat{V}_F(M, \mathbf{w}) = \hat{V}(M, \mathbf{w}) F(\mathbf{w}) \approx \hat{W}(\mathbf{w}) w(\mathbf{x}^*, M) x \frac{R_c A}{L \sqrt{|H_F|}} e^{i\mathbf{w}\mathbf{t}_F(\mathbf{x}^*, M) + \frac{i\mathbf{p}(\text{sgn } H_F - 1)}{4}}. \quad (19)$$

## Resultados com dados sintéticos

Foi considerado um modelo 2-D acústico simples constituído por duas camadas homogêneas sobre um semi-espaço, separados por duas interfaces uma suavemente curva e outra plana-horizontal. As velocidades intervalares desde a camada superior até a inferior são 2.5 km/s, 3.5 km/s e 4.5 km/s para o semi-espaço (Figura 4).

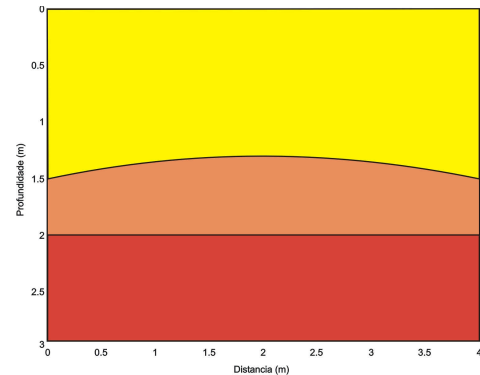


Figura 4. Modelo 2-D constituído por duas camadas homogêneas sobre um semi-espaço.

Usando o software de traçamento de raios SEIS88 (Cerveny e Psencik, 1988) foram gerados os dados de cobertura múltipla contendo reflexões primárias e múltiplas simétricas de primeira ordem apenas para o primeiro refletor.

Para o cálculo dos parâmetros das ondas hipotéticas PIN e Normal foi simulado uma seção sísmica de afastamento-nulo (AN) referente ao modelo da Figura 4. Esta seção está constituída por 51 traços sísmicos, com um afastamento mínimo fonte-receptor coincidente de 0.06 km (Figura 5). O sinal da fonte é a função Gabor com uma frequência dominante de 40 Hz, tendo os traços



sísmicos um intervalo de amostragem de 2 ms. Na Figura 6 é apresentado o traço sísmico correspondente a posição do raio normal em  $X_0 = 2.0$  km, onde observa-se a presença de uma reflexão múltipla e sua respectiva amplitude.

Para recuperar a verdadeira profundidade dos refletores foi aplicado o algoritmo de migração Kirchhoff. Nesta migração foi adotada uma zona alvo compreendida entre  $0 \leq x \leq 4$  e  $0 \leq z \leq 3$  no modelo da Figura 4, sendo as discretizações nas direções x e z dadas por  $\Delta x = 0.01$  km e  $\Delta z = 0.015$  km. O resultado é apresentado na Figura 7. Observamos nesta Figura uma boa recuperação dos refletores em profundidade e a presença de artefatos, próprio do processo de migração. É observada também a presença de um terceiro refletor que corresponde a uma reflexão múltipla simétrica de primeira ordem da primeira interface.

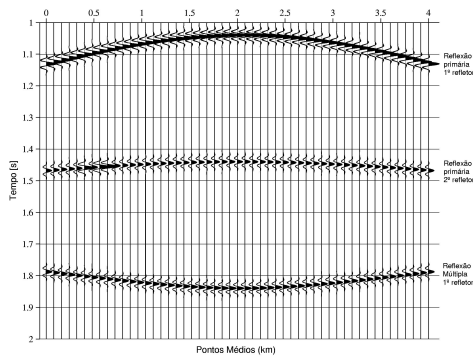


Figura 5. Seção sísmica AN modelada com o software SEIS88.

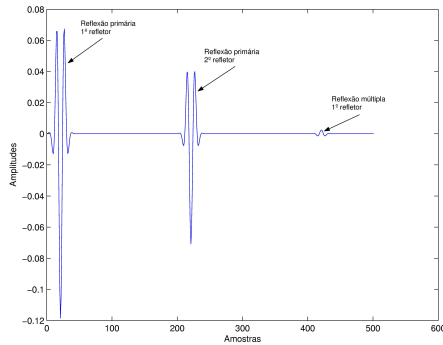


Figura 6. Traço sísmico correspondente a posição do raio normal em  $X_0 = 2.0$  km da Figura 5.

A Figura 8 representa a seção sísmica AN do modelo migrado. Nesta Figura observa-se a ausência do segundo refletor. Isto é devido ao fato de não existir contraste de impedância entre a segunda e terceira camada do modelo, em virtude, das camadas apresentarem as mesmas propriedades (e.g. velocidade, densidade). A terceira camada do modelo migrado surge devido a presença da reflexão múltipla referente ao primeiro refletor.

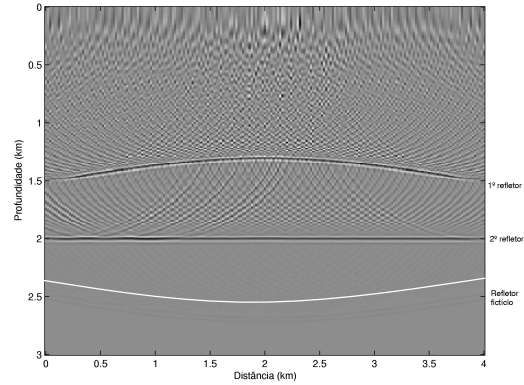


Figura 7. Seção migrada utilizando o processo Kirchhoff. Observa-se um terceiro refletor ou refletor fictício que corresponde às reflexões múltiplas.

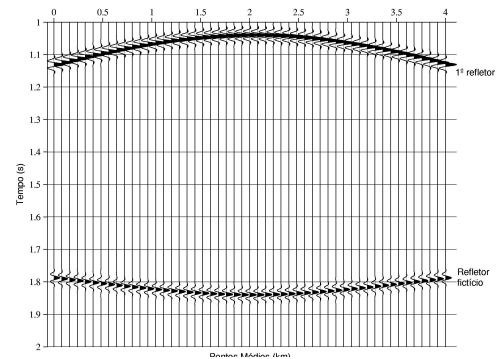


Figura 8. Seção sísmica AN modelada da Figura 7. Observa-se a ausência da interface plana, a qual funciona como um espelho, e a presença da terceira interface (fictícia), que é uma imagem especular da primeira interface.

Os valores exatos dos três parâmetros das ondas hipotéticas e a velocidade NMO foram calculados por modelamento direto. Estes valores diretos foram comparados com seus correspondentes valores obtidos do modelo migrado usando em ambos casos o software SEIS88. Os valores estimados correspondem às posições das amplitudes máximas de cada sinal sísmico. Observamos coincidência entre os valores dos parâmetros das ondas PIN e N e da velocidade NMO tanto para o modelo direto como para o modelo migrado (Figuras 9a,b e 10a,b).

Os valores dos parâmetros  $R_{PIN}$  e  $V_{NMO}$  são maiores quando comparados com as reflexões primárias (Figuras 9b e 10b) devido ao percurso das múltiplas ser maior em relação às primárias.

**Conclusões**

Nestes primeiros resultados foram identificados as reflexões múltiplas devido aos seguintes indicativos: a) ausência de impedância acústica no modelo migrado devido a que as densidades entre a segunda e terceira camada serem iguais, b) existência de simetria entre as curvaturas do primeiro e “último refletor”. Com a

finalidade de confirmar estes indícios foi realizado uma comparação dos parâmetros ( $\beta_0, R_{PIN}, R_N, V_{NMO}$ ) tanto para o modelo direto como o modelo migrado. Desta maneira ficou confirmadas a presença das reflexões múltiplas na seção sísmica. Estes indicativos são muito importantes e podem ser considerados na interpretação sísmica.

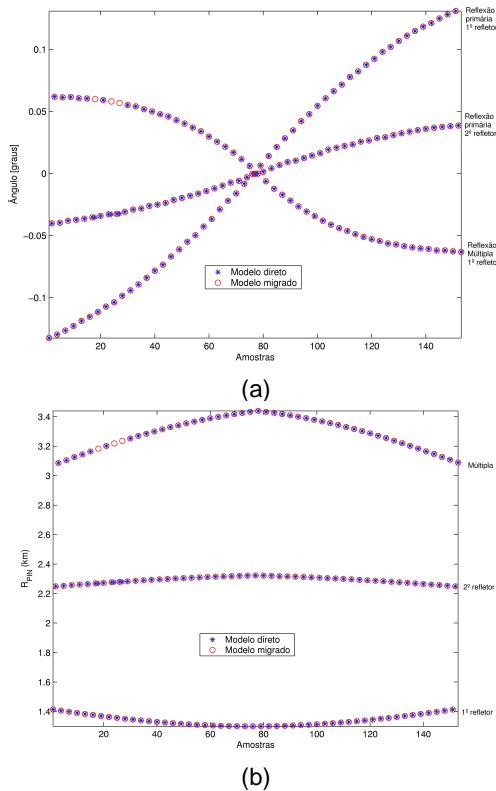


Figura 9. Comparação dos parâmetros das frentes de onda hipotéticas (PIN e N) e da velocidade NMO entre o modelamento direto e o modelamento migrado em profundidade (método Kirchhoff): a) Ângulo de emergência do raio normal, b)raio de curvatura da onda PIN.

#### Referências

- Alves, F.**, 2003. Atenuação de Múltiplas pelo método WHLP-CRS. Belém, Universidade Federal do Pará (Tese de Doutorado).
- Bleistein, N.**, 1984. Mathematical methods for wave phenomena. London. Academic Press.
- Gamboa, F.**, 2003. Caracterização e eliminação de Múltiplas pelo Método de Superfície de Reflexão Comum (CRS). Universidade Estadual de Campinas (Tese de Mestrado).
- Hubral, P.**, 1983. Computing true reflections in a laterally inhomogeneous earth. *Geophysics*, 48, 1051-1062.
- Hubral, P. and Krey, T.**, 1980. Interval velocities from seismic reflection time measurements. Soc. Expl. Geophys. Monograph.
- Levin, F. K.**, 1971. Apparent velocity from dipping interface reflections: *Geophysics*, v. 36, p. 510-516.

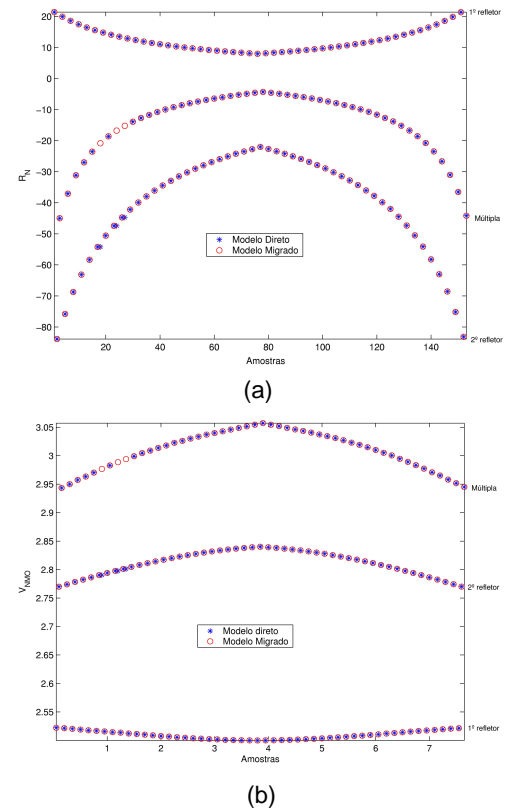


Figura 10. Comparação dos parâmetros das frentes de onda hipotéticas (PIN e N) e da velocidade NMO entre o modelamento direto e o modelamento migrado em profundidade (método Kirchhoff): a) raio de curvatura da onda N, b) velocidade NMO.

**Maciel, R., Porsani, M. e Garabito, G.**, 2005. Estratégias para combinar o filtro de Wiener-Levinson multicanal com o método CRS para a atenuação de reflexões múltiplas. II Workshop da Rede Cooperativa de Pesquisa em Risco Exploratório em Petróleo e Gás: Modelagem e Imageamento Sísmico de Bacias Sedimentares, 20-21 Janeiro (Belém-BRASIL).

**Maciel, R., Porsani, M. e Garabito, G.**, 2004. Deconvolução de reflexões múltiplas de dados no domínio CRs utilizando o método WL multicanal. I Workshop da Rede Cooperativa de Pesquisa em Risco Exploratório em Petróleo e Gás, 15-16 Abril (Belém-BRASIL).

**Maciel, R.**, 2001. Simulação de Reflexões Múltiplas usando o Método de Empilhamento Sísmico Superfície de Reflexão Comum. Universidade Federal do Pará (Tese de Mestrado).

**Schleicher, J., Tygel, M. and Hubral, P.**, 1993. 3D True-amplitude finite-offset migration. *Geophysics*, 58: 1112-1126.

**Trappe, H., Pruesmann, J. and Gierse, G.**, 2001. Case studies potential of Common Reflection Surface stack – structural resolution in the time domain beyond the conventional NMO/DMO stack. *First Break*, 19, 625-633.

**Urban, J.**, 1999. Migração com amplitude verdadeira em meios bidimensionais (2-D) e Introdução ao caso 2,5 D. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Pará.