



Aproximações dos tempos de trânsito de raios paraxiais na vizinhança de um raio central com afastamento finito

Garabito, G. (*); Costa, M. J. S. (*); Costa, M.B.C. (**)

(*)CPGf/UFPA/Brasil

(**)Depto. Física/UFPA/Brasil

Copyright 2003, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

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

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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

Based on hyperbolic travelttime approximation depending on three kinematic attributes, recently, it was developed a new method to simulate zero-offset (ZO) sections called common reflection surface stack (CRS) method. Also, following this new concept of seismic imaging it was introduced a method to simulate common-offset (CO) sections from multicoverage data by using a paraxial travelttime approximation for paraxial rays in the vicinity of the finite-offset central ray. This new travelttime approximation depend on five kinematic attributes.

In this work, from the hyperbolic paraxial travelttime approximation with finite-offset central ray, we derive a new formula of travelttime approximation by using the diffraction point condition, reducing the original formula to four parameters. For both approximations, that's for reflection and diffractions, we show the finite-offset CRS stack operators. We, also obtain these formulas to the four seismic configurations (common-shot, common-receiver, common-midpoint and common-offset).

Introdução

Recentemente, foram introduzidos novos métodos para simular seções de afastamento nulo (AN), a partir de dados de cobertura múltipla, que não dependem do macro-modelo de velocidades. Dentre estes tipos de métodos pode-se citar o método Multifocusing (e.g Gelchinsky et al. 1999, Landa et al. 1999), Polystack (e.g. De Bazelaire, 1988) e o método de empilhamento sísmico denominado superfície de reflexão comum (SRC) (e.g Müller, 1999; Jäger et al., 2001, Garabito et al., 2001). O método de empilhamento (SRC) utiliza a aproximação hiperbólica do tempo de trânsito, da teoria do raio paraxial, na vizinhança de um raio central com afastamento fonte-receptor nulo. Esta fórmula depende de três parâmetros que são obtidos a partir dos dados sísmicos de cobertura múltipla. O método de empilhamento SRC tem mostrado resultados com alta resolução em relação ao método convencional de empilhamento (NMO/DMO). De forma similar ao método SRC, Zhang *et al.* (2001) introduziram o método de simulação de seções com afastamento comum (AC) a partir dos dados de cobertura múltipla. Este novo método está baseado numa aproximação hiperbólica dos tempos de trânsito para raios paraxiais na vizinhança de um raio

central com afastamento finito (AF), que depende de cinco parâmetros. Nesse mesmo trabalho são apresentados os resultados da aplicação em dados sintéticos.

Neste trabalho com base na fórmula de Zhang (2001) dependente de cinco parâmetros e associado a um raio central com reflexão primária, apresentamos uma particularização para o caso de um ponto difrator em profundidade, reduzindo assim esta aproximação hiperbólica para quatro parâmetros. Considerando um modelo sintético, também se mostra graficamente ambos operadores de empilhamento. Por outro lado, apresenta-se uma particularização destas fórmulas para as quatro configurações sísmicas mais comuns (fonte-comum FC, receptor-comum RC, ponto médio comum – PMC e afastamento comum - AC). Com base nas particularizações considerando um difrator em profundidade, como continuação deste trabalho, pretende-se propor um algoritmo para a simulação de seções AC a partir dos dados de cobertura múltipla.

Aproximação hiperbólica dos tempos de trânsito associado um raio central refletido

Seguindo as linhas de Bortfeld (1989), Zhang et al., (2001) para o caso 2-D apresentaram uma aproximação hiperbólica dos tempos de trânsito para raios paraxiais na vizinhança de um raio central com afastamento fonte-receptor finito. Considerando um raio central com origem em S , reflexão em R , sobre um refletor em subsuperfície, e que retorna à superfície em G , os tempos de trânsito de raios paraxiais com origem em \bar{S} e emergência em \bar{G} sobre a linha sísmica (Figura 1), são calculados pela seguinte expressão:

$$T^2(\Delta x_m, \Delta h) = \left[t_0 + \left(\frac{\sin \beta_G}{v_G} + \frac{\sin \beta_S}{v_S} \right) \Delta x_m + \left(\frac{\sin \beta_G}{v_G} - \frac{\sin \beta_S}{v_S} \right) \Delta h \right]^2 + t_0 \left[(4K_1 - 3K_3) \frac{\cos^2 \beta_G}{v_G} - K_2 \frac{\cos^2 \beta_S}{v_S} \right] \Delta x_m^2 + t_0 \left[K_3 \frac{\cos^2 \beta_G}{v_G} - K_2 \frac{\cos^2 \beta_S}{v_S} \right] \Delta h^2 + 2t_0 \left[K_3 \frac{\cos^2 \beta_G}{v_G} + K_2 \frac{\cos^2 \beta_S}{v_S} \right] \Delta h \Delta x_m \quad (1)$$

sendo t_0 o tempo de trânsito ao longo do raio central, os ângulos β_S e β_G são, respectivamente, os ângulos de emergência do raio central na posição da fonte S e no receptor G com relação da normal à linha sísmica. As perturbações $\Delta x_m = x_m - x_0$ e $\Delta h = h - h_0$ correspondem ao ponto médio e ao meio afastamento, respectivamente.

Seendo $x_0 = (x_G + x_S)/2$ o ponto médio e $h_0 = (x_G - x_S)/2$ o meio afastamento referente ao raio central. As coordenadas da fonte e do receptor do raio central são denotadas por x_S e x_G , respectivamente. O ponto médio $x_m = (\bar{x}_G + \bar{x}_S)/2$ e meio afastamento $h = (\bar{x}_G + \bar{x}_S)/2$ correspondem ao um raio paraxial com afastamento arbitrário, cujas coordenadas da fonte e do receptor são denotadas por \bar{x}_S e \bar{x}_G , respectivamente. A velocidade no ponto onde se origina o raio central é denotado por v_S e a velocidade no ponto de emergência do mesmo é denotada por v_G . Neste trabalho, considera-se $v_S = v_G$, ou seja a velocidade próxima a superfície constante. As quantidades K_1 , K_2 e K_3 são curvaturas das frentes de ondas medidas no ponto de origem de emergência do raio central (Figuras 2a,b).

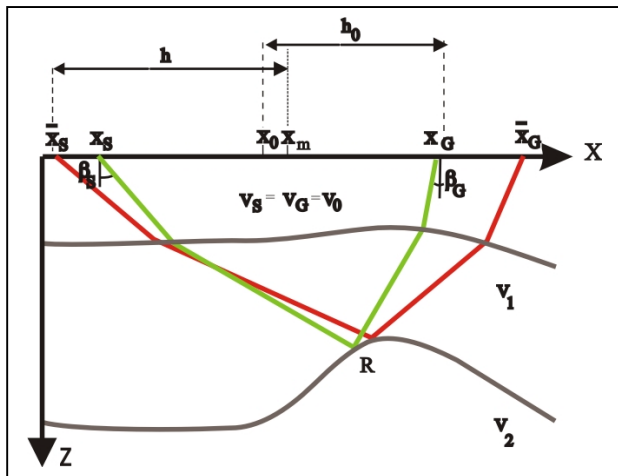


Figura 1 - Modelo 2-D por três camadas homogêneas separadas por interfaces suaves, onde x_S e x_G denotam as coordenadas da fonte e do receptor do raio central (cor verde) com x_0 e h_0 denotando as coordenadas ponto médio e meio-afastamento deste raio. \bar{x}_S e \bar{x}_G denotam as coordenadas da fonte e do receptor do raio paraxial (cor vermelha) com x_m e h denotando as coordenadas ponto-médio e meio-afastamento entre eles. Os ângulos β_S e β_G denotam, respectivamente, o ângulo de emergência do raio central na fonte e no receptor em relação a normal da superfície de medição.

As curvaturas de frentes de ondas K_1 , K_2 e K_3 , estão associadas a um experimento real fonte-comum (FC) e a um experimento hipotético ponto-médio-comum (PMC). Em ambos experimentos as posições da fonte e do receptor coincidem com as posições inicial e final do raio central. Conforme mostrado na Figura 2a, no experimento FC uma fonte gera uma onda na posição S que se propaga em forma descendente até atingir o segundo refletor, onde sofre reflexão e retorna a superfície sendo observada no receptor G . A propagação associada ao raio central e para diferentes instantes de tempo representa-se na Figura 2a.

A Figura 2b ilustra o experimento hipotético PMC, onde a propagação da onda associada ao raio central está representada em diferentes instantes de tempo. Neste experimento, a frente de onda inicia em S com curvatura K_2 , propagando-se em forma descendente até atingir a segunda interface, onde é refletido e retorna a superfície imergindo em G com curvatura K_3 . A curvatura K_2 tem sinal negativo porque segundo a convenção (Hubral e Crey, 1987), quando uma frente de onda fica na frente do seu plano tangente, com relação ao sentido de propagação, o sinal da curvatura é definida como negativa.

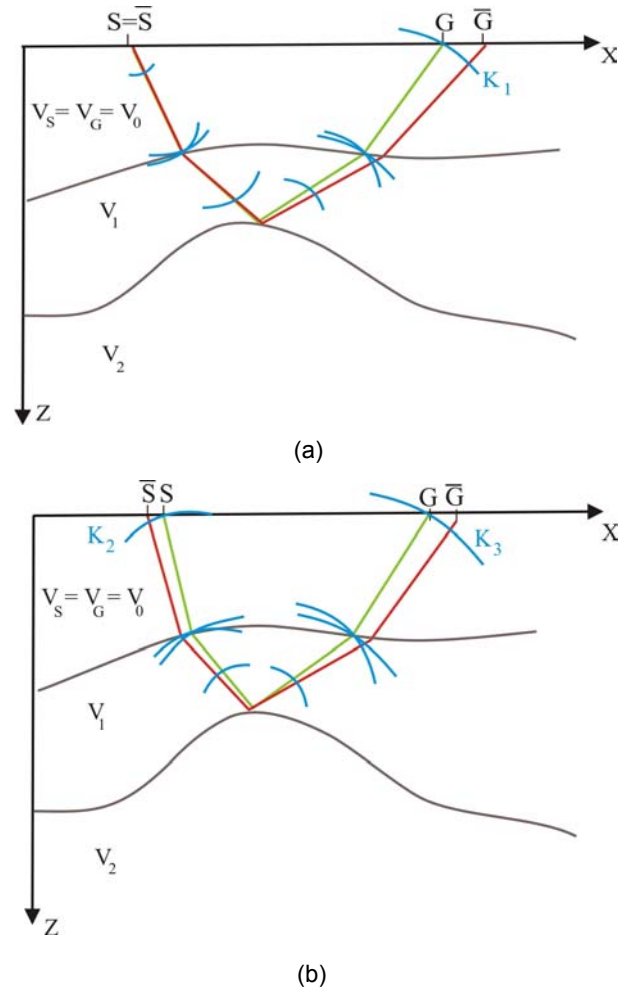


Figura 2 – Modelo 2-D composto por três camadas homogêneas separadas por interfaces suaves: (a) Propagação da frente de onda do experimento FC em diferentes instantes de tempo, (b) Propagação das frentes de ondas hipotéticas do experimento PMC em diferentes instantes de tempo.

Considerando o modelo conhecido, as curvaturas K_1 , K_2 e K_3 , e os ângulos β_S e β_G associados a um determinado raio central podem ser calculados por modelamento direto, usando um programa de traçamento e aplicando as leis de transmissão e reflexão de frentes de ondas como mostrado em (Hubral e Krey, 1980).

Para a representação gráfica dos operadores de empilhamento SRC associado a um raio central com afastamento finito, considera-se um modelo sintético (parte inferior da Figura 3) composta por três camadas homogêneas com velocidades $v_s = v_G = v_0 = 1500 \text{ m/s}$, $v_1 = 2600 \text{ m/s}$ e $v_3 = 3700 \text{ m/s}$ e separadas por interfaces suaves. Usando um algoritmo de traçamento de raios foram calculados os tempos de trânsito de reflexões primárias para diferentes afastamentos comuns entre fontes e receptores. Portanto, as curvas de cor azul representam os tempos de trânsito AC de reflexões primárias associadas ao segundo refletor. Para um raio central com meio-afastamento $h_0 = 500 \text{ m}$ e ponto médio $x_0 = 2500 \text{ m}$ (linha de cor vermelha, parte inferior da Figura 3) foram calculados por modelamento direto os cinco parâmetros (K_1, K_2, K_3, β_S e β_G). Então, associados a este raio central, na parte superior da Figura 3 às curvas de cor vermelha representam o operador ou superfície SRC obtida pela expressão (1).

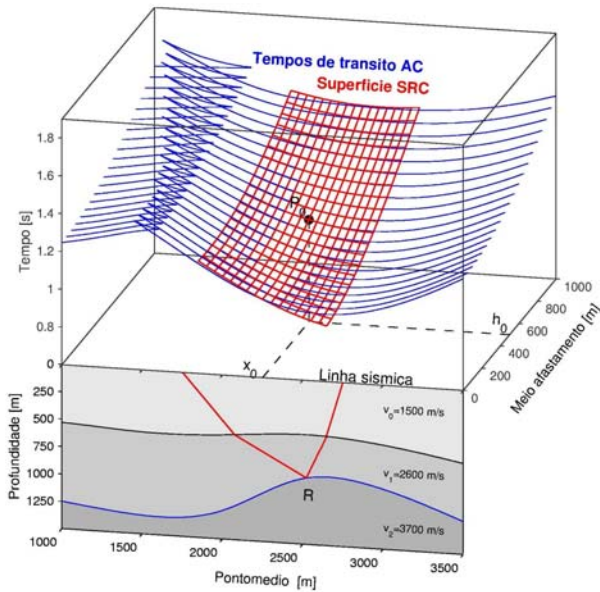


Figura 3 – Parte inferior (frontal): meio 2-D com três camadas homogêneas separadas por interfaces suaves e um raio central, com afastamento-finito, onde x_0 é o ponto médio, h_0 é o meio-afastamento. Parte superior: são mostradas as curvas de tempo de trânsito (AC) (cor azul) referida as reflexões primárias da segunda interface, tendo o operador de empilhamento SRC (cor vermelha) associado ao ponto P_0 .

De forma similar ao empilhamento SRC para a simulação de seções AN (Mueller 2000, Jaeger, et al., 2001 e Garabito et al., 2001), o operador de empilhamento definido pela fórmula (1), denominado também superfície de reflexão comum (SRC) associado a um raio central com afastamento finito (AF), permite a simulação de seções com afastamento comum a partir dos dados de cobertura múltipla. Como ilustrado na

Figura 3, para cada ponto $P_0(x_0, h_0, t_0)$ da seção de afastamento comum haverá uma superfície de empilhamento e conseqüentemente cinco parâmetros associados a cada ponto de amostragem da seção AC. Na simulação de uma seção AC, os eventos contidos nessa superfície serão somados e o resultado é colocado no ponto P_0 . Portanto, assumindo os cinco parâmetros conhecidos para cada ponto de amostragem da seção AC e realizando o somatório dos eventos sísmicos contidos nessas superfícies, obtendo-se a seção AC simulada.

Para diferenciar do operador SRC associado a um raio central AN, denominaremos o operador associado a um raio central com AF de operador SRC-AF.

Aproximação hiperbólica dos tempos de trânsito associado um raio central difratado

A fórmula hiperbólica da aproximação dos tempos de trânsito (1) considera um raio central com AF refletido, conseqüentemente os tempos de trânsito dos raios paraxiais vizinhos a este, também são considerados como sendo de reflexões primárias. Para considerar o raio central como sendo um raio difratado, deve ser realizada uma nova interpretação na propagação das frentes de ondas associadas aos experimentos FC e PMC descritas no item anterior. Quando o ponto R Figuras 2a,b) é considerado um ponto difrator, segundo o Princípio de Huygens este ponto passa a ser uma nova fonte para as frentes de ondas que incidem neste difrator. Sob esta consideração a interpretação da onda associada ao experimento real FC, que se propaga associada ao raio central é a seguinte: A onda gerada por uma fonte no ponto S (origem do raio central) propaga-se em forma descendente até atingir difrator localizado em R, este difrator gera uma nova frente de onda que se propaga em forma ascendente ao longo do raio central até emergir no ponto G. No experimento PMC a propagação da onda não difere, devendo apenas considerar-se que em R não se tem mais uma reflexão, e sim uma difração. Portanto, a frente de onda com curvatura K_1 emergente em G terá mesma curvatura da frente de onda K_3 também emergente em G. Pelas anteriores considerações a condição de difração a ser introduzida na fórmula (1), ou seja, $K_1 = K_3$, resulta em:

$$T^2(\Delta x_m, \Delta h) = \left[t_0 + \left(\frac{\text{sen } \beta_G}{v_G} + \frac{\text{sen } \beta_S}{v_S} \right) \Delta x_m + \left(\frac{\text{sen } \beta_G}{v_G} - \frac{\text{sen } \beta_S}{v_S} \right) \Delta h \right]^2 + t_0 \left[K_3 \frac{\cos^2 \beta_G}{v_G} - K_2 \frac{\cos^2 \beta_S}{v_S} \right] \Delta x_m^2 + t_0 \left[K_3 \frac{\cos^2 \beta_G}{v_G} - K_2 \frac{\cos^2 \beta_S}{v_S} \right] \Delta h^2 + 2t_0 \left[K_3 \frac{\cos^2 \beta_G}{v_G} + K_2 \frac{\cos^2 \beta_S}{v_S} \right] \Delta h \Delta x_m \tag{2}$$

Agora, a aproximação hiperbólica de aproximação dos tempos de trânsito de raios paraxiais (2) depende de quatro parâmetros (K_2, K_3, β_S e β_G).

De forma similar ao caso das reflexões e considerando o mesmo modelo sintético (parte inferior da Figura 4), na parte superior da Figura 4 com linhas de cor verde mostra-se o operador de empilhamento construído por meio da fórmula (2). Usando este operador de quatro parâmetros também podem ser simuladas as seções AC a partir dos dados de cobertura múltipla. Devido ao fato deste operador estar associado ao raio central difratado, o operador definido por (2) aproxima melhor os eventos de difração, denominado o mesmo de superfície de difração comum (SDC). Em Garabito (2001) considerando a aproximação dos tempos de trânsito de raios paraxiais a um raio central com afastamento nulo, também foi definido um operador ou superfície SDC.. Para distinguir deste último, denominaremos ao operador SDC associado ao raio com AF de operador SDC-AF.

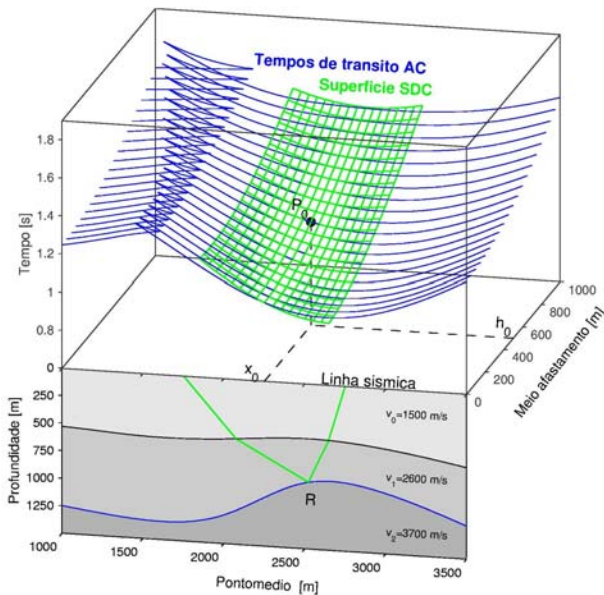


Figura 4 – Parte inferior (frontal): meio 2-D com três camadas homogêneas separadas por interfaces suaves e um raio central com afastamento-finito, onde x_0 é o ponto médio, h_0 é o meio-afastamento. Parte superior: são mostradas as curvas de tempo de trânsito (AC) (cor azul) referida as reflexões primárias da segunda interface, tendo o operador de empilhamento SDC (cor verde) associado ao ponto P_0 .

Equações do tempo de trânsito para as quatro configurações sísmicas

Neste item são apresentadas as particularizações das formulas (1) e (2) para as quatro configurações sísmicas:

1 - Configuração ponto médio comum (PMC); na qual a fonte \bar{S} e receptor \bar{G} do raio paraxial são colocados simetricamente com relação aos correspondentes pontos S e G do raio normal. Sendo o ponto médio comum do raio paraxial e do raio central, a condição da configuração PMC é dada por: $\Delta x_m = 0$. A substituição

desta condição na equação (1) dá origem à equação do tempo de trânsito da configuração PMC:

$$T^2(\Delta h) = \left[t_0 + \left(\frac{\text{sen } \beta_G}{v_G} - \frac{\text{sen } \beta_S}{v_S} \right) \Delta h \right]^2 + t_0 \left[K_3 \frac{\cos^2 \beta_G}{v_G} - K_2 \frac{\cos^2 \beta_S}{v_S} \right] \Delta h^2 \tag{3}$$

Substituindo esta mesma condição na equação geral do tempo de trânsito (2) para um ponto difrator, obtém-se a mesma expressão (3).

Para representar as aproximações dos tempos de trânsito nas diferentes configurações, foram geradas seções sísmicas para o modelo sintético considerado nas Figuras 3 e 4, e para o cálculo dos tempos de trânsito de raios paraxiais, foi utilizado o mesmo raio central considerado na construção dos operadores mostrados nessas figuras. Nas seções sísmicas geradas o traço de cor azul corresponde ao raio central. Na Figura 5 mostra-se a seção PMC para a posição $x_0 = 2.5 \text{ km}$, onde a curva de cor vermelha representa os tempos de trânsito obtidos com a formula (3).

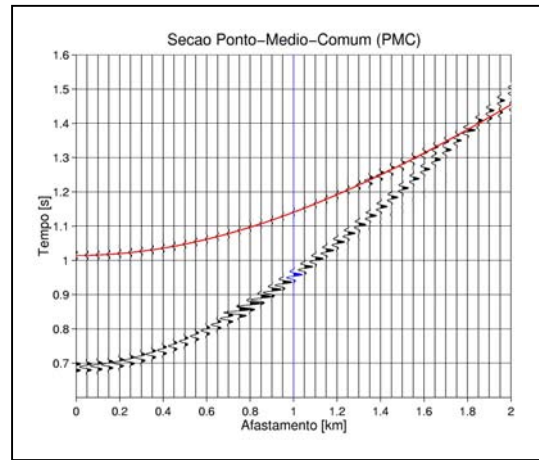


Figura 5 – Seção PMC correspondente à coordenada 2250 m. A linha de cor vermelha corresponde aos tempos de transitio calculados com (3). Para esta configuração a curva dos tempos de trânsito considerando um ponto de difração coincide com a curva vermelha que considera um ponto de reflexão em profundidade.

2 - Configuração afastamento comum (AC); na qual a fonte \bar{S} e o receptor \bar{G} do raio paraxial são trocados pela mesma quantia e mesma direção com respeito a S e G do raio central. A condição AC é: $\Delta h = 0$. Isto significa que os pares fontes-receptores dos raios paraxiais têm o mesmo meio-afastamento que do raio central.

A substituição da condição AC na equação (2) dá origem à equação do tempo de trânsito da configuração AC, expressa por:

$$T^2(\Delta x_m) = \left[t_0 + \left(\frac{\text{sen } \beta_G}{v_G} + \frac{\text{sen } \beta_S}{v_S} \right) \Delta x_m \right]^2 + t_0 \left[(4K_1 - 3K_3) \frac{\cos^2 \beta_G}{v_G} - K_2 \frac{\cos^2 \beta_S}{v_S} \right] \Delta x_m^2 \tag{4}$$

Substituindo na equação (3) e a condição AC, temos:

$$T^2(\Delta x_m) = \left[t_0 + \left(\frac{\text{sen } \beta_G}{v_G} + \frac{\text{sen } \beta_S}{v_S} \right) \Delta x_m \right]^2 + t_0 \left[K_3 \frac{\cos^2 \beta_G}{v_S} - K_2 \frac{\cos^2 \beta_S}{v_S} \right] \Delta x_m^2 \quad (5)$$

Na Figura 6 mostra-se a seção com afastamento comum de 1.0 km. Os tempos de trânsito calculados pelas expressões (4) e (5), mostram-se com linha vermelha e verde, respectivamente.

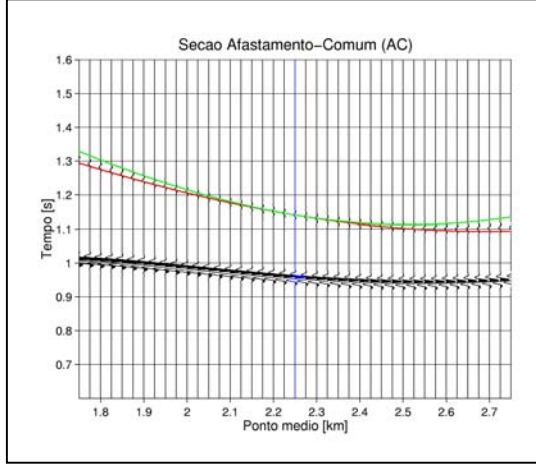


Figura 6 – Seção com AC de 1.0 km. A linha de cor vermelha corresponde aos tempos de trânsito calculados com (4) e a linha verde corresponde aos tempos de trânsito calculados com (5).

3 - Configuração fonte comum (FC); na qual a fonte do raio paraxial sempre coincide com a fonte do raio central. A condição FC é dada por: $\Delta x_m = \Delta h$. A substituição da FC na equação (1), dá origem à equação do tempo de trânsito da configuração FC em função dos atributos do campo de onda, expressa por:

$$T^2(\Delta h) = \left[t_0 + 2 \frac{\text{sen } \beta_G}{v_G} \Delta h \right]^2 + 4t_0 \left[K_1 \frac{\cos^2 \beta_G}{v_G} \right] \Delta h^2 \quad (6)$$

Aplicando a condição FC na equação (2), obtém-se:

$$T^2(\Delta h) = \left[t_0 + 2 \frac{\text{sen } \beta_G}{v_G} \Delta h \right]^2 + 4t_0 \left[K_3 \frac{\cos^2 \beta_G}{v_S} \right] \Delta h^2 \quad (7)$$

Na Figura 7 mostra-se a seção fonte comum que foi gerada com a fonte na posição 1.75 km, afastamento mínimo de 0.0m e máximo de 2.0 km. Lembrando que o raio central tem afastamento de 1.0 km com fonte na posição 1.75 km e receptor na posição 2.75 km. As linhas de cor vermelha e verde são, respectivamente, os tempos de trânsito calculados com as expressões (6) e (7).

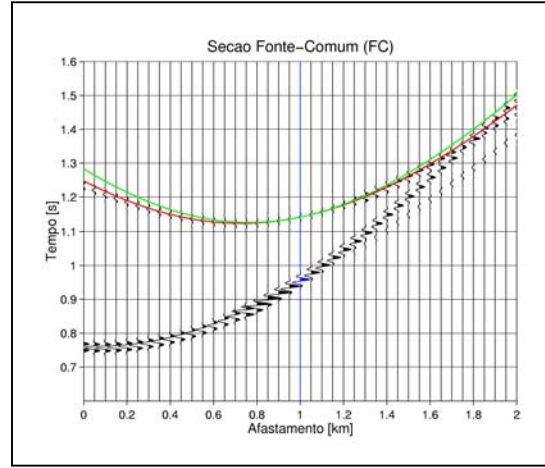


Figura 7 – Seção fonte comum. A linha de cor vermelha corresponde aos tempos de trânsito calculados com (6) e a linha verde corresponde aos tempos de trânsito calculados com (7).

4 - Configuração receptor comum (RC); na qual o receptor do raio paraxial sempre coincide com o receptor do raio do raio central. A condição RC é dada por: $\Delta x_m = -\Delta h$. Substituindo a condição anterior na equação (1) resulta à equação do tempo de trânsito da configuração RC, expressa por:

$$T^2(\Delta h) = \left[t_0 - 2 \frac{\text{sen } \beta_S}{v_S} \Delta h \right]^2 + 4t_0 \left[K_1 \frac{\cos^2 \beta_G}{v_G} - K_2 \frac{\cos^2 \beta_S}{v_S} - K_3 \frac{\cos^2 \beta_G}{v_G} \right] \Delta h^2 \quad (8)$$

Substituindo na equação (2) a condição RC obtém-se a fórmula dos tempos de transitos RC associado a um raio central difratado expressa por:

$$T^2(\Delta h) = \left[t_0 - 2 \frac{\text{sen } \beta_S}{v_S} \Delta h \right]^2 - 4t_0 \left[K_2 \frac{\cos^2 \beta_S}{v_S} \right] \Delta h^2 \quad (9)$$

Na Figura 8 é mostrada a seção com receptor comum. O receptor fixo está na posição 2.75 km e as posições das fontes variando desde 0.75 km e com um intervalo de 0.050 km. De forma similar aos anteriores, os tempos de trânsito calculados com as expressões (8) e (9) são representadas pelas linhas de cor vermelha e verde, respectivamente.

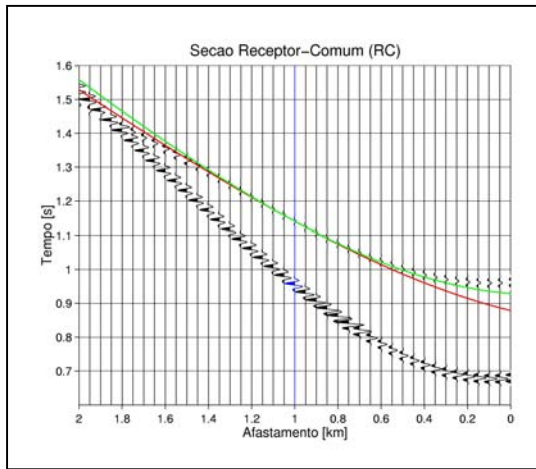


Figura 8 – Seção receptor-comum. A linha de cor vermelha corresponde aos tempos de trânsito calculados com (8) e a linha verde corresponde aos tempos de trânsito calculados com (9).

Conclusões e perspectivas

A partir da fórmula dos tempos de trânsito de raios paraxiais a um raio central com afastamento finito refletido, foi particularizada a fórmula dos tempos de trânsito para raios paraxiais na vizinhança de um raio central associado a um ponto difrator em profundidade. Esta nova aproximação depende de quatro parâmetros, reduzindo assim um parâmetro da fórmula original. Também foram comparados graficamente os operadores de empilhamento definidos pelas fórmulas que dependem de cinco e quatro parâmetros, verificando-se assim que esta nova fórmula define um novo operador que pode ser usado para simular seções AC por meio da técnica de empilhamento SRC. Também foram feitas as comparações dos tempos de trânsito de reflexões e difrações, nas quatro configurações sísmicas (PMC, AC, FC e RC), verificando-se, novamente, que os tempos de trânsito de raios paraxiais associados a um raio central difratado tem um bom ajuste com os eventos refletidos, constituindo-se assim uma alternativa para ser usado na simulação de seções AC usando os operadores correspondentes as quatro configurações. Finalmente, mostrou-se que as fórmulas dos tempos de trânsito associadas a um difrator em profundidade, também podem ser usadas para identificar e extrair difrações, podendo-se usar para este fim as configurações AC e FC e CR.

Agradecimentos

Agradecemos a CAPES pelo apoio financeiro em qualidade de bolsa de estudo ao segundo autor deste trabalho.

Referências

- Bortfeld, R., 1989. Geometrical ray theory: Ray traveltimes in seismic systems (second order approximation of the traveltimes). *Geophysics*, 54: 342-349.
- De Bazelaire, E. 1988. Normal moveout revisited inhomogeneous media and curved interfaces: *Geophysics*, 53, no.2,143-157.
- Garabito, G., Cruz, J. C. R., Hubral, P. and Costa, J., 2001a. Common reflection surface stack by global optimization. In *Expanded Abstracts. 71th Annual Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys.*
- Garabito, G., 2001. Empilhamento Sísmico por Superfície de Reflexão Comum: Um novo algoritmo usando otimização global e local. Tese de doutorado, Universidade Federal do Pará.
- Gelchinsky, B., Berkovitch, A., and Keydar, S., 1999, Multifocusing Homeomorphic Imaging: Part I. Basic concepts and formulae: *J. Appl. Geoph.*, 42, no. 3,4,169-228.
- Jäger, R., Mann, J., Höcht, G., and Hubral, P., 2001. Common-reflection-surface stack: Image and attributes: *Geophysics*, 66, no 1, 97-109.
- Landa, E.; Shtivelman, V.; Gelchinsky, B. 1987. A method for detection of diffracted waves on common-offset sections. *Geophysical Prospecting*, 35: 359-373.
- Müller, T., 1999. The common reflection surface stack – seismic imaging without explicit knowledge of the velocity model: *Der Andere Verlag, Bad Iburg.*
- Zhang, Y., Bergler, S., and Hubral, P., 2001, Common-Reflectio-Surface (CRS) stack for common-offset: *Geophys. Prosp.*, 49, no.6 709-718.