



# 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

## EXEMPLOS DE ATENUAÇÃO DE MÚTIPLAS COM O MÉTODO WHLP-CRS

F. J. C. Alves<sup>1</sup>, L. W. B. Leite<sup>2</sup>, G. G. Callapino<sup>3</sup>, P. H. W. Hubral<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Correa nº 1, Guamá, CEP 66.075-910, Belém-Pará, fjca@ufpa.br.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Correa nº 1, Guamá, CEP 66.075-910, Belém-Pará, lbleite@ufpa.br.

<sup>3</sup> Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Correa nº 1, Guamá, CEP 66.075-910, Belém-Pará, german@ufpa.br.

<sup>4</sup> Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Correa nº 1, Guamá, CEP 66.075-910, Belém-Pará, peter@ufpa.br.

**Resumo** – A atenuação de múltiplas é um problema clássico no processamento e interpretação das seções sísmicas de reflexão. Um número especial da SEG (*The Leading EDGE*, 1999) é dedicado ao assunto de reconhecimento e atenuação de múltiplas, onde é descrita a não existência de uma técnica de reconhecimento e atenuação de múltipla que seja aplicada a todos os casos possíveis devido à diversidade da geologia responsável pela geração das múltiplas. A motivação do presente trabalho está na presença de soleira de diabásio nas bacias sedimentares da região amazônica, uma vez que elas geram múltiplas fortes que podem obscurecer informações das primárias, e conseqüentemente dificultar o imageamento da seção.

Neste trabalho apresentamos detalhes e exemplo da utilização de janelas móveis para a atenuação de múltiplas internas e externas em meios com interfaces curvas. Estas janelas introduzem a periodicidade entre primária e sua múltipla necessária para o cálculo do operador WHLP. Os atributos da frente de onda, estimados com o método de empilhamento superfície-de-reflexão-comum (CRS), são utilizados no cálculo do deslocamento das janelas móveis. O operador WHLP é calculado e aplicado dentro das janelas móveis no domínio fonte-comum (FC). O operador resultante da combinação das teorias WHLP e CRS é aqui denominado de WHLP-CRS.

Palavras-Chave: Janelas móveis; atenuação de múltiplas; CRS; domínio fonte-comum.

**Abstract** – Multiple attenuation is a classical problem in the processing and interpretation of reflection seismic sections. A special number of SEG (*The Leading EDGE*, 1999) is dedicated to the subject of multiple identification and attenuation, where is described the non existence of a unique technique for multiple identification and attenuation to be applied in all possible cases due to the geological diversity responsible for multiple generation. The motivation of the present work is in the presence of diabase sills in the sedimentary basins of the Amazon region, since these sills generate strong multiples that can mask information of primaries, and consequently make difficult the imaging of the time section.

In this work we present details and examples of using shifting windows for attenuation of internal and external multiples in media with curved interfaces. These windows introduce the necessary periodicity between primary and its multiple for the calculus of the WHLP operator. The wavefront attributes, estimated by the new and efficient common-reflection-surface (CRS) stack method, are used in the calculus of the shifting windows. The WHLP operator is calculated and applied inside the shifting windows in the common-shot (CS) domain. The operator resulting from the combination of the WHLP and CRS theories are here denominated WHLP-CRS operator.

Palavras-Chave: Janelas móveis; atenuação de múltiplas; CRS; domínio fonte-comum.

## 1. Introdução

Um problema fundamental no processamento e interpretação de seções sísmicas de reflexão em meios estratificados com presença de soleiras são as múltiplas relacionadas às camadas de alta velocidade que podem dominar e obscurecer as informações das camadas mais profundas dificultando o processamento e a interpretação voltada a exploração de petróleo (Eiras, 1998). O estudo de múltiplas se estende classicamente aos ambientes marinhos. Um número especial da SEG (*The Leading EDGE*, 1999) é dedicada às questões de múltiplas e sua atenuação, onde é descrita a não existência de uma técnica de reconhecimento e atenuação de múltipla que seja aplicada a todos os casos possíveis devido à diversidade da geologia responsável pela geração das múltiplas.

O problema de atenuação de múltiplas na configuração afastamento-nulo é abordado por uma metodologia clássica, onde o operador de predição é calculado após o processamento da seção que passa a conter efeitos indesejáveis do processamento, como o estiramento e a deformação do pulso devido ao empilhamento, comprometendo o desempenho do operador na atenuação das múltiplas. No sentido de buscar operadores que apresentem mais resolução, há uma tendência de calcular os operadores de atenuação na configuração do levantamento utilizando as amplitudes próprias do sinal, o que resulta em uma performance melhor na atenuação da múltipla.

Propomos neste trabalho, para evitarmos a inconveniência da seção processada para a configuração afastamento-nulo, fazermos a atenuação das múltiplas na configuração fonte-comum através de uma reestruturação da teoria Wiener-Hopf-Levinson para predição (WHLP) utilizando o conceito de janelas móveis e os atributos do operador de empilhamento CRS, para desenhar e aplicar operadores WHLP-CRS na configuração do levantamento, onde o operador WHLP é calculado com a amplitude real do sinal.

## 2. Método

Os produtos do empilhamento CRS são as seções de afastamento-nulo e de atributos cinemáticos das frente de ondas (ângulo de emergência  $\beta_0$ , as curvaturas  $K_{NIP}$  e  $K_N$ ) medidas com referências ao ponto  $X_0$ . O tempo de trânsito reflexões primárias na vizinhança do raio central normal é dado por (Hubral e Krey, 1983):

$$t^2(x_m, h) = \left( t_0 + \frac{2 \sin \beta_0}{v_0} (x_m - x_0) \right)^2 + \frac{2 t_0 \cos^2 \beta_0}{v_0} \left( \frac{(x_m - x_0)^2}{R_N} + \frac{h^2}{R_{NIP}} \right), \quad (1)$$

onde  $t_0$  é o tempo-duplo ao longo do raio central, e  $v_0$  é a velocidade próxima a superfície ao redor de  $X_0$ .

Os coeficientes do filtro Wiener-Hopf-Levinson ótimo (WHL) são obtidos a partir de um ajuste entre as funções  $z_k$  (sinal desejado) e  $y_k$  (saída real) (Berkhout & Zaanen, 1979), e admitindo que o desejado  $z_k = g_{k+T}$  é uma predição de  $g_k$  na distância  $T$ . Com isto, a equação normal WHL é modificada para (Leite et al, 2002):

$$\sum_{k=0}^{N-1} h_k \phi_{gg}(l-k; x_m, h, T_{hyp}) = \phi_{gg}(l+T; x_m, h, T_{hyp}). \quad (2)$$

## 3. Resultados

Para exemplificar o mecanismo de atenuação de múltiplas, iniciamos com a Figura 1 com uma seção sísmica, os limites superior e inferior das janelas móveis e a saída do operador WHLP-CRS. A Figura 2 contém o traço de afastamento quase-nulo da seção da Figura 1 e sua autocorrelação, onde podemos observar a periodicidade entre primária e sua múltipla. A Figura 3 contém a autocorrelação e a correlação cruzada de alguns traços janelados da seção sísmica (Figura 1), e os operadores WHLP obtidos com as informações janeladas. O bom desempenho do método WHLP-CRS pode ser observado nas Figuras 4, que contém os resultados dos operadores WHLP para os traços 1, 25 e 50 da Figura 1.

A Figura 5 contém um modelo de um trecho de bacia sedimentar da região amazônica com a presença de camadas de alta velocidade (soleira de diabásio) e uma seção fonte-comum deste trecho. A Figura 6 contém empilhamentos CRS sendo a entrada o cubo de dados original e com a múltipla atenuada (saída do WHLP-CRS), e os atributos utilizados no empilhamento da Figura 7.

A Figura 9 contém empilhamentos CRS de dados de multicobertura com múltiplas (dado inicial) e com a múltipla atenuada, onde podemos observar a boa performance do operador WHLP-CRS na atenuação da múltipla interna na camada de alta velocidade. Os atributos utilizados nos empilhamentos estão exibidos na Figura 8. A camada de alta velocidade (6300 m/s) representa uma soleira de diabásio.

## 6. Conclusões

A forma clássica de utilização do operador de WHLP no domínio do tempo se restringe a dados de afastamentos-nulos e meios formados por camadas planas horizontais. A utilização de janelas móveis possibilita a aplicação do operador WHLP na configuração fonte-comum, sendo o operador calculado com as amplitudes reais do sinal, resultando em eficiência na atenuação das múltiplas. As janelas móveis introduzem a periodicidade necessária entre a primária e sua múltipla para o cálculo do operador WHLP. Ressaltamos que em cada seqüência de janelas o primeiro evento é considerado como primária e o segundo evento com sua respectiva múltipla. A utilização dos atributos da frente de onda estimado no empilhamento CRS expande o uso do operador WHLP para seções do modelo com camadas planas inclinadas e com curvaturas.

## 5. Referências

- EIRAS, J. F. Tectônica, Sedimentação e Sistemas Petrolíferos da Bacia do Solimões, Estado do Amazonas. In: *Searching for Oil and Gas in the Land of Giants*. The Search Magazine, Edição Especial sobre o Brasil. Schlumberger, Argentina S.A. 1998.
- HUBRAL, P. *Computing True Amplitude Reflections in a Laterally Inhomogeneous Earth*: Geophysics, v. 48, no. 8, p. 1051-1062. 1983.
- HUBRAL, P. e KREY, T. *Interval Velocities from Seismic Reflection Time Measurements*. Kenneth L. Larner. Western Geophysical Company. Houston, Texas. 1980.
- BERKHOUT, A. J. e ZAAANEN, P. R. A Comparison Between Wiener Filtering, Kalman Filtering and Deterministic Least Squares Estimation. *Geophysical Prospecting*, v. 24, n. 3, p. 141-197. 1979.
- SEG, *The Leading EDGE*. Special Issue on Multiple Deconvolution. V. 18, n. 1. 1999.

## 4. Agradecimentos

Os autores agradecem ao convênio PRH-ANP/MME/MCT-UFPA pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

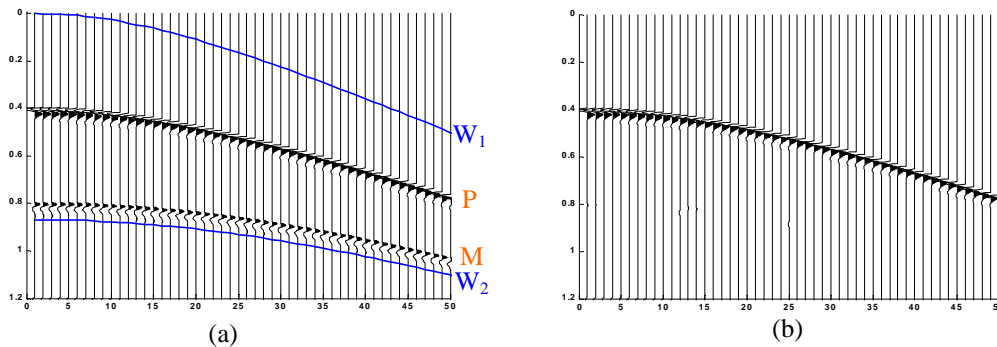


Figura 1. (a) Seção sísmica contendo um evento primário e sua múltipla de primeira ordem, sendo o modelo formado de uma camada sobre um semi-espço.  $dx = 50m$  e  $dt = 0,002 s$ . (b) Saída do filtro WHLP.

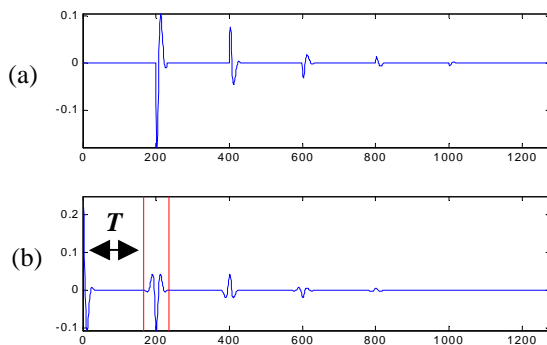


Figura 2. (a) Traço simulado na seção afastamento nulo com o operador de empilhamento crs. (b) Autocorrelação do traço de afastamento nulo e múltipla a ser atenuada com base na análise visual da composição da autocorrelação (linhas vermelhas).  $T$  é a periodicidade da múltipla.

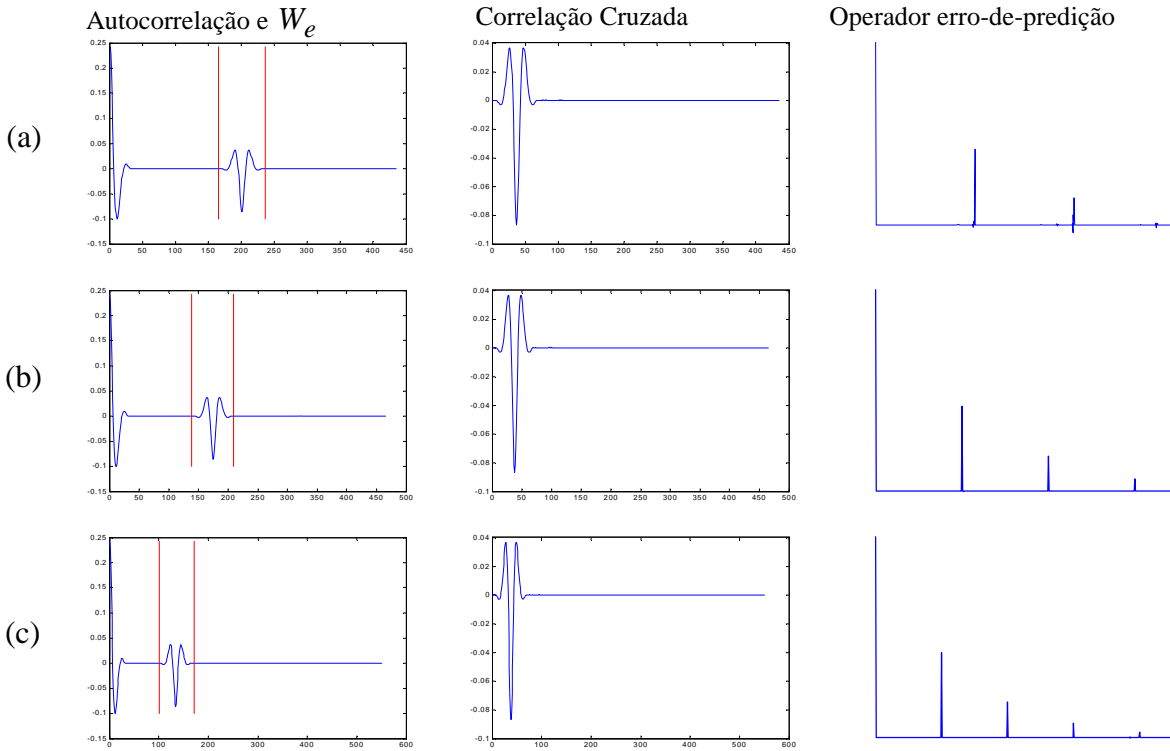


Figura 3. Na coluna esquerda temos a autocorrelação dos traços: (a) 1, (b) 25, (c) 50, janelado por  $W_1(x_m, h; T_{hyp})$  e  $W_2(x_m, h; T_{hyp})$  da Figura 1. A coluna central contém as correlações cruzadas obtidas com os trechos selecionados da autocorrelação. A coluna da direita contém operadores erro-de-predição,  $h_k^*$ , obtidos a partir das autocorrelações e correlações cruzadas.

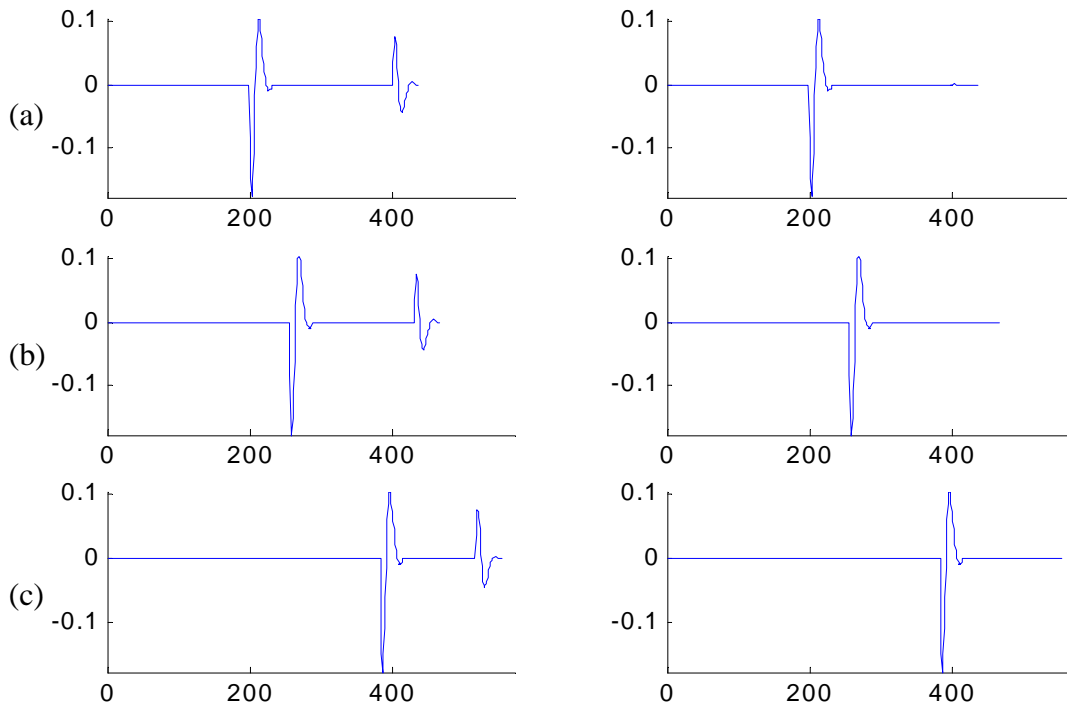


Figura 4. Esquerda: traços janelados  $W_1(x_m, h; T_{hyp})$  e  $W_2(x_m, h; T_{hyp})$ . Direita: resultado do operador WHLP-CRS sobre o traço janelado. Os traços janelados são: (a) 1, (b) 25, (c) 50. Podemos observar a atenuação das múltiplas.

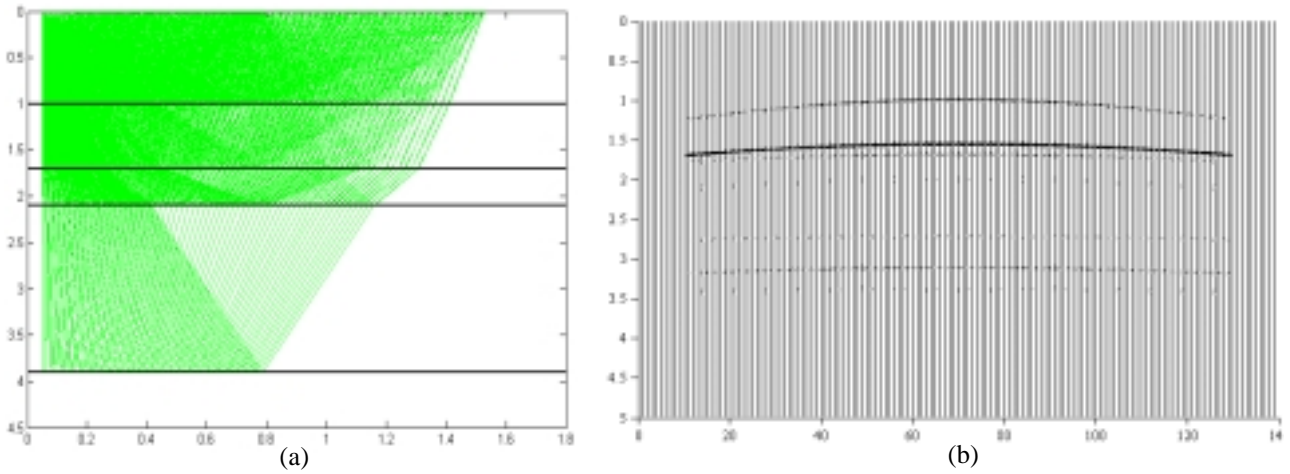


Figura 5. (a) Macro-modelo formado por quatro camadas muito espesso sobre um semi-espaco.  $\Delta x = 12,5$  m,  $dt = 0.002$  ms,  $e_1 = 1.0$  km,  $e_2 = 0.7$  km,  $e_3 = 0.4$  km,  $e_4 = 1.8$  km,  $v_1 = 2$  km/s,  $v_2 = 2.5$  km/s,  $v_3 = 6.0$  km/s,  $v_4 = 3.5$  km/s,  $v_5 = 5.0$  km/s. (b) Seção sísmica (configuração CS) do modelo do item 'a'.

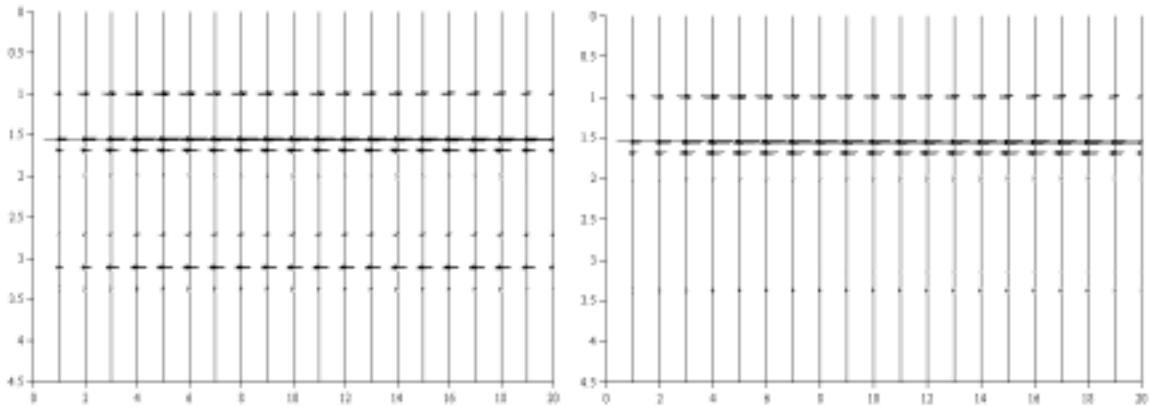


Figura 6. Seções de afastamento-nulo obtidas com o empilhamento CRS. Esquerda: Seções originais com a múltipla presente. Direita: Saída do operador WHLP-CRS com a múltipla atenuada.

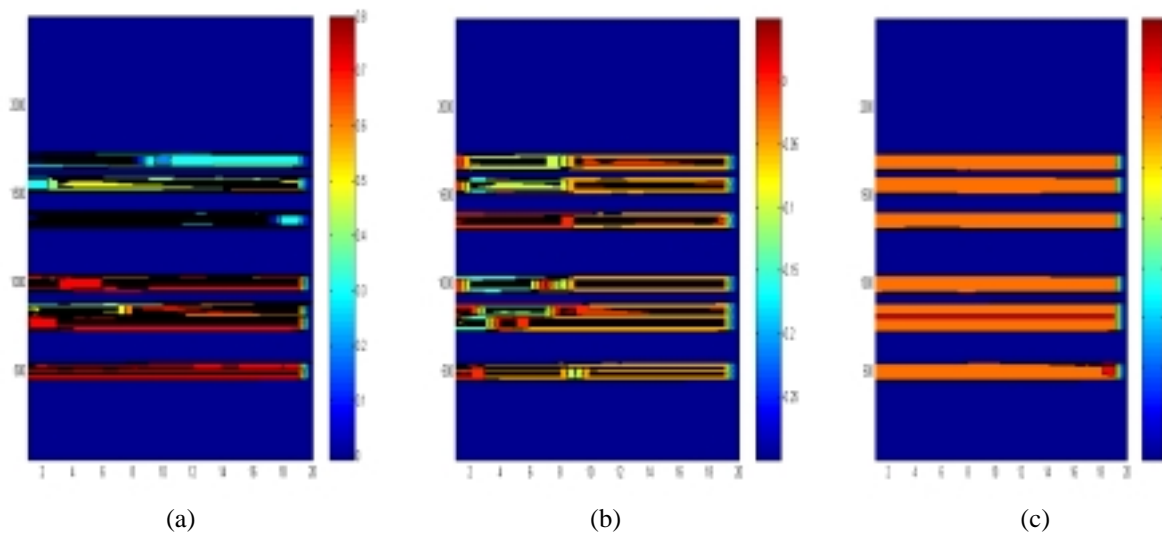


Figura 7. Seções de atributos: (a)  $K_{nip}$ ; (b)  $K_n$ ; (c) Beta. Seções utilizadas no empilhamento CRS para simulação das seções AN da Figura 6.

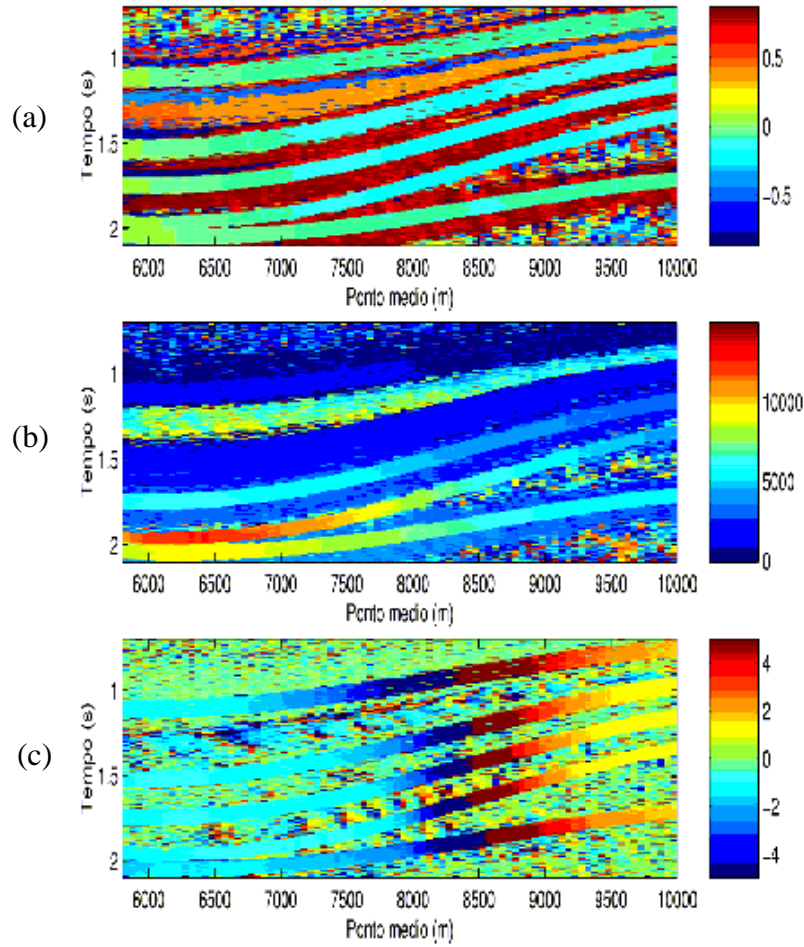


Figura 8. Seções de atributos: (a)  $\beta_0$ , (b)  $R_{NIP}$ , (c)  $R_N$ , utilizadas pelo operador de empilhamento CRS na obtenção das seções de afastamento-nulo da Figura 9.

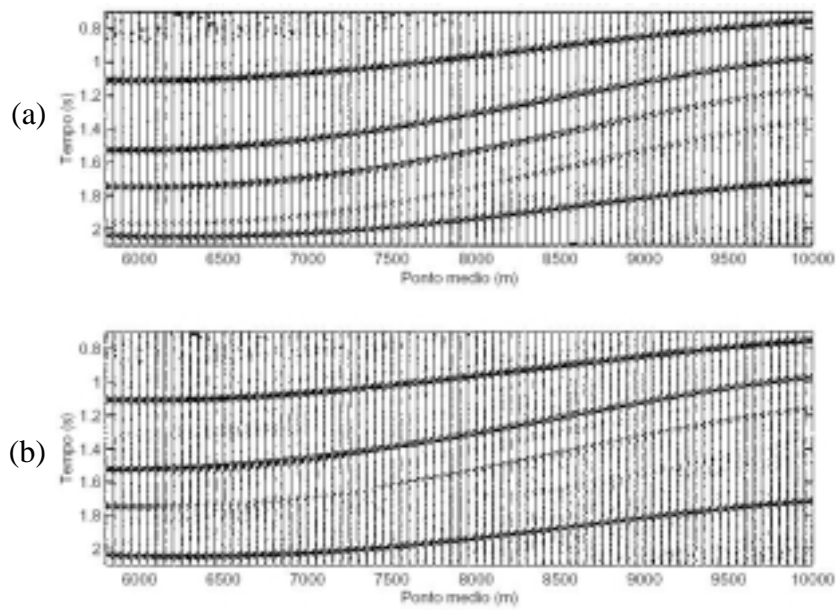


Figura 9. (a) Seção de afastamento-nulo do empilhamento CRS sobre o dado de multicobertura com a múltipla presente. (b) Seção de afastamento-nulo. O empilhamento CRS do dado de multicobertura com a múltipla atenuada.