



Filtragem do *ground roll* utilizando SVD

Milton J. Porsani⁺, Michelângelo G. Silva⁺, Paulo E. M. Melo⁺ e Bjorn Ursin*

⁺(CPGG - UFBA) e * (NTNU)

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society 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.

Resumo

Apresentamos um método de atenuação do *ground roll* que utiliza a decomposição SVD. Esta é aplicada sobre os sismogramas de famílias de ponto de tiro comum corrigidas de normal *move out* (NMO). Esta transformação tem o objetivo de deixar as reflexões de interesse aproximadamente horizontais. O método SVD é aplicado sobre um conjunto de traços de uma janela móvel que se desloca desde o primeiro até o último traço da família de ponto de tiro comum. Apenas o traço central das primeiras autoimagens de cada janela é preservado. Estes traços contêm os eventos de maior correlação horizontal, representados pelas reflexões de interesse. Ilustramos o método utilizando dados sísmicos terrestres de uma linha sísmica da bacia de Tacutu. Os resultados mostram que o novo método é mais eficaz que o método f-k e permite colocar em evidência reflexões que estavam mascaradas pelo *ground roll*.

Introdução

ground roll é um tipo particular de ondas Rayleigh e possui alta amplitude, baixa frequência e baixa velocidade, sendo um tipo de ruído coerente presente nos dados sísmicos terrestres. O *ground roll* também é dispersivo e normalmente mascara as reflexões de interesse. Este caráter dispersivo interfere com as reflexões rasas nos offsets curtos e com as reflexões profundas nos offsets longos (Henley, 2003). Muitos autores têm mostrado que o *ground roll* pode ser atenuado por ocasião da aquisição através de arranjos apropriados dos geofones (Harlan et al., 1984; Anstey, 1986; Shieh and Herrmann, 1990; Pritchett, 1991). Esta estratégia nem sempre pode ser aplicada e é inútil quando os dados já foram adquiridos sem aquele cuidado.

Um dos métodos mais simples de filtragem do *ground roll* é o método f-k que é aplicado no domínio $f \times k$ número de onda. O método f-k usa a transformada de Fourier 2D (Embree et al., 1963; Wiggins, 1966) e o *ground roll*, que é representado por eventos lineares com

baixa velocidade, é mapeado em linhas no domínio f-k e podem ser removidos através da filtragem passa-banda 2D. Filtros 1D e 2D no domínio da frequência são frequentemente utilizados e são aplicados de forma cirúrgica, aniquilando as amplitudes dos ruídos. Este tipo de filtragem pode causar distorção, eliminando as baixas frequências do sinal.

Vários novos métodos de filtragem do *ground roll* tem sido propostos nas duas últimas décadas. Liu (1999) e Montagne et al. (2006) propuseram o uso da transformada Karhunen-Loève para estimar e subtrair o *ground roll*. O método SVD tem sido implementado de formas bastante diversas na melhoria da razão sinal/ruído dos dados sísmicos. (Freire e Ulrych, 1988, Bekara e van der Baan, 2006). Kendall et al. (2005) propôs o uso do método SVD para obtenção de filtros de polarização para atenuação do *ground roll* em dados multicomponentes. Tyapkin et al. (2003) propôs o uso do método de alinhamento dos eventos de Liu (1999) para tornar o ruído horizontal em uma ou mais seções dos sismogramas de ponto de tiro comum. Em cada seção o ruído é representado pelas primeiras autoimagens. As demais autoimagens representam o sinal e esta parte é transformada de volta para o domínio tempo-espço. Chiu e Howell (2008) propôs o método que usa SVD para gerar autoimagens que representam o ruído coerente em uma dada janela no domínio tempo-espço. Os dados dentro de janelas são transformados no sinal analítico e procedendo-se a obtenção da decomposição SVD complexa, extraíndo-se as autoimagens correspondentes a parte coerente do ruído. Karsli et al. (2008) propôs o uso de filtros Wiener para estimativa do *ground roll* através de um ruído de referência linear (ou não linear), correspondente ao *sweep* gerado na banda do *ground roll*. Melo et al. (2009) apresenta um método de filtragem baseado na derivada direcional 2D.

No presente trabalho apresentamos um método de filtragem do *ground roll* que utiliza a decomposição SVD. Primeiro é aplicada a correção NMO sobre os sismogramas, com o propósito de deixar as reflexões de interesse (sinal) aproximadamente horizontais. Em seguida é realizada a decomposição SVD de um pequeno número de traços do interior de uma janela móvel, de tamanho fixo, que se desloca do início ao final dos sismogramas de tiro-comum. Apenas o traço central associado às primeiras autoimagens é escolhido para representar o traço filtrado. Este procedimento preserva a amplitude relativa e o caráter horizontal dos eventos e atenua o ruído que está associado às demais autoimagens. Ilustramos o método de filtragem SVD sobre uma linha sísmica terrestre da Bacia do Tacutu (Eiras e Kinoshita, 1990).

Filtragem SVD

Consideremos o dado real $d(t, x_n)$, $t = 1, \dots, N_t$, $n = 1, \dots, N_x$, onde as reflexões primárias foram corrigidas de NMO, de modo que os eventos refletidos estão alinhados ao longo do eixo x . De forma a reforçar o sinal coerente ao longo do eixo x , realizamos a decomposição SVD de um sub-conjunto de dados $d(t, x_n)$, $n = n_0 - M, \dots, n_0, \dots, n_0 + M$. Esta decomposição SVD pode ser expressa como (Golub and van Loan, 1996).

$$\mathbf{d} = \mathbf{U} \begin{bmatrix} \Sigma \\ 0 \end{bmatrix} \mathbf{V}^T \quad (1)$$

onde $\Sigma = \text{diag}\{\sigma_1, \dots, \sigma_{2M+1}\}$ com $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_{2M+1} \geq 0$. As matrizes \mathbf{U} de dimensão $N_t \times N_t$ e \mathbf{V} de dimensão $(2M+1) \times (2M+1)$ são unitárias tal que $\mathbf{U}^{-1} = \mathbf{U}^T$ e $\mathbf{V}^{-1} = \mathbf{V}^T$. De outra forma podemos representar

$$d(t, x_j) = \sum_{k=1}^{2M+1} \sigma_k u_k(t) v_k(x_j) \quad (2)$$

onde $j = -M + n_0, \dots, M + n_0$. O dado filtrado contém apenas as primeiras K autoimagens do traço central

$$\bar{d}(t, x_{n_0}) = \sum_{k=1}^K \sigma_k u_k(t) v_k(x_{n_0}). \quad (3)$$

Esta operação é realizada sobre todos os dados com um avanço da janela de um traço na direção do eixo x . A cada nova posição da janela uma nova decomposição SVD é realizada e um novo traço filtrado é obtido através da equação (3). No início e final dos dados, são preservados os primeiros e últimos $M+1$ correspondentes às primeiras K autoimagens. O resultado é o dado filtrado $\bar{d}(t, x_n)$ com mesma dimensão dos dados de entrada. Tanto o caráter quanto a amplitude relativa dos eventos horizontes são bem preservados uma vez que representam as primeiras autoimagens que possuem maior energia.

Resultados

O novo método de filtragem SVD foi testado na linha sísmica terrestre RL-0204-0326 da Bacia do Tacutu. A linha contém 541 tiros registrados a 4 ms de intervalo de amostras. Os levantamentos foram feitos com 96 canais por tiro e foi utilizada a geometria *split-spread* simétrico com *offsets* 2450-100-0-100-2450 m e não simétrico 3850-100-0-100-1050 m. Distância entre geofones e entre tiros foi de 50 m, fornecendo uma baixa cobertura CMP de 4800%.

O fluxograma utilizado no processamento está apresentado na Fig. 1. Primeiramente foi aplicada a seqüência básica do processamento: geometria, edição, correção da divergência esférica, análise de velocidades e correção NMO. Devido a baixa cobertura, os dados foram então reorganizados no domínio do tiro antes da aplicação da filtragem SVD. No processo de filtragem SVD foram utilizadas uma janela de 5 traços ($M=2$ na equação

(1)) e preservamos apenas as duas autoimagens mais importantes ($K=2$ na equação (3)).

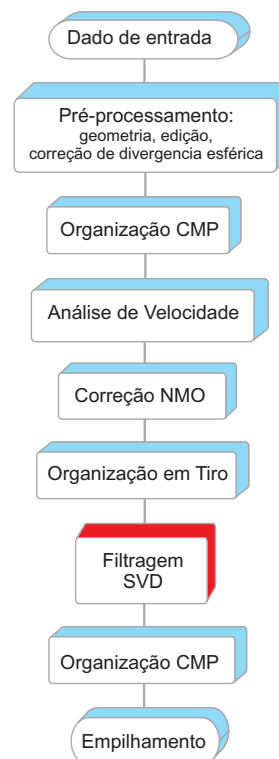


Figura 1: Fluxograma de processamento.

O resultado da filtragem SVD da família de tiro mostrada na Fig. 2a é mostrado na Fig. 2b, e o ruído residual é mostrado na Fig. 2c. O *ground roll* é muito bem separado dos eventos horizontais. O espectro de amplitude de cada traço foi computado e o espectro de amplitude médio, correspondente aos resultados apresentados na Fig. 2 estão mostrados na Fig. 4. Pode-se observar que a filtragem SVD remove parte substancial, mas não tudo, da baixa-freqüência dos dados originais.

A Fig. 3a mostra uma família de tiro comum. Resultados da filtragem f-k e SVD são mostrados nas Fig. 3b e Fig. 3c, respectivamente. A filtragem SVD apresenta-se como melhor, tendo removido o ruído de forma mais eficaz que a filtragem f-k. Os espectros de amplitudes médios correspondentes estão mostrados na Fig. 5. A maior diferença ocorre abaixo de 10 Hz onde praticamente toda a energia do sinal e ruído foram removidas pela filtragem f-k. Existe contudo uma parte substancial de energia nas baixas freqüências, deixada pela filtragem SVD.

A seção empilhada obtida a partir dos dados originais é mostrada na Fig. 6. Esta figura deve ser comparada com a seção empilhada mostrada na Fig. 8 obtida após a filtragem SVD. Esta última seção está menos corrompida pelo ruído e isto pode ser claramente observado quando comparamos os resultados mostrados nas Fig. 7 e 9, que apresentam um detalhe das Figs. 6 e 8.

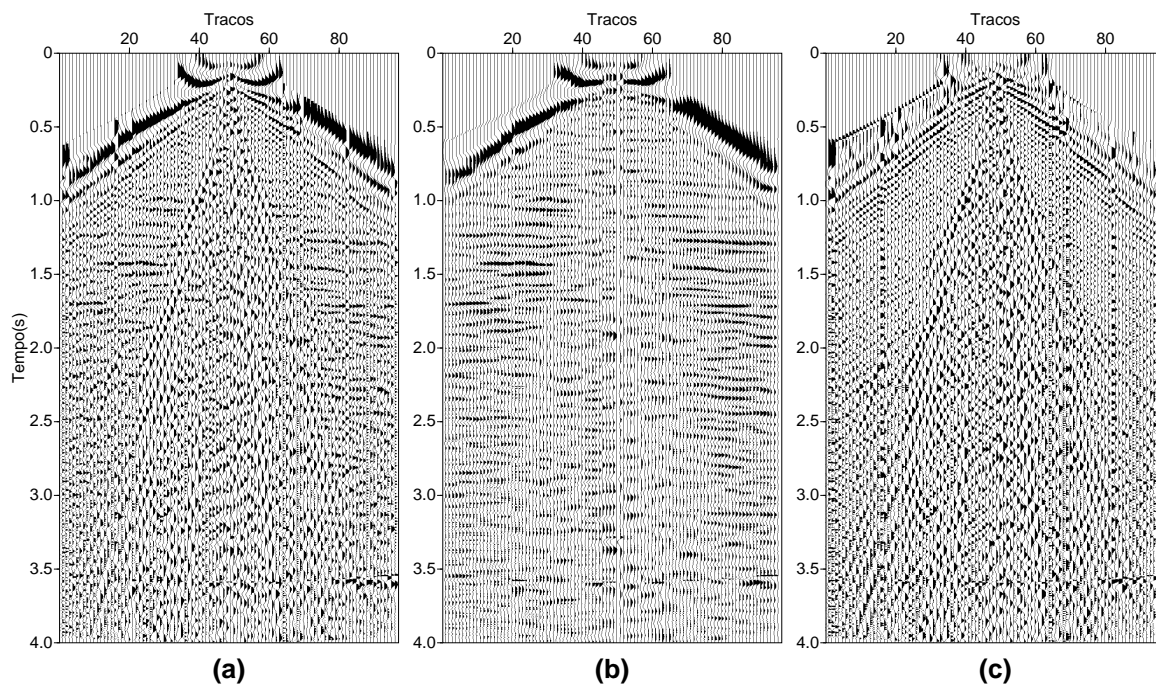


Figura 2: Separação do sinal (reflexões) e do ruído (*ground roll*) através da filtragem SVD. (a) dados de entrada, (b) dados filtrados (sinal), (c) resíduo (diferença entre (a) e (b).)

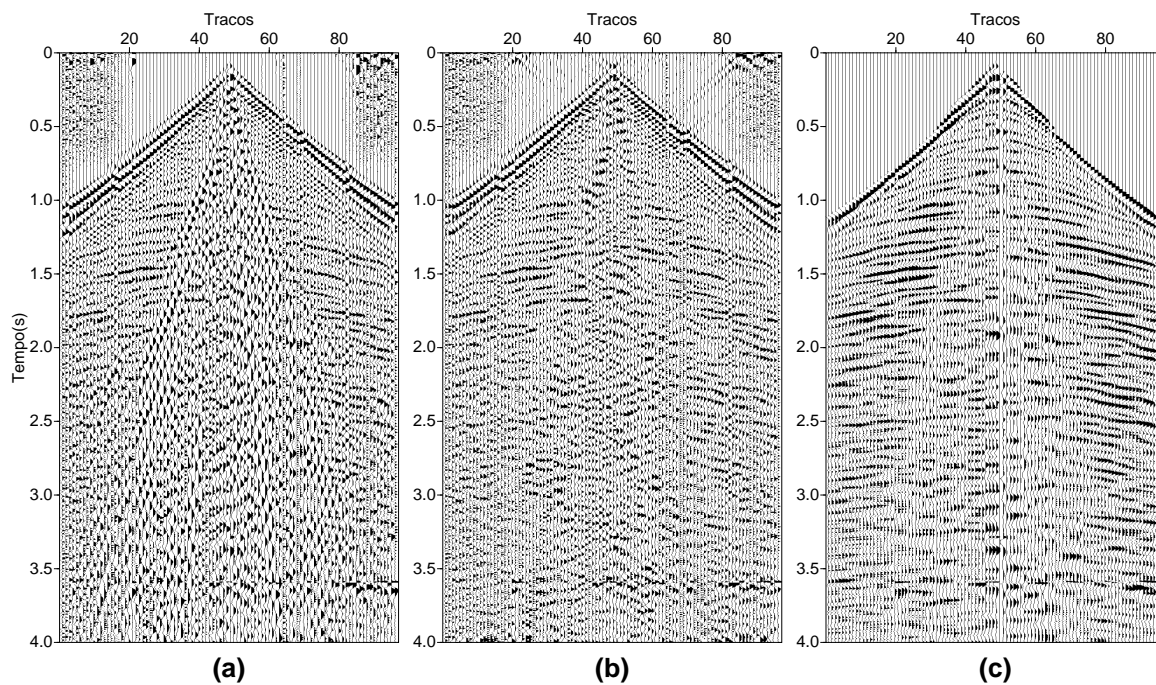


Figura 3: Comparação entre os resultados da filtragem SVD e a filtragem f-k. (a) dados de entrada, (b) depois da filtragem f-k e (c) depois da filtragem SVD.

Conclusão

Apresentamos um novo e eficiente método de filtragem SVD que permite reforçar os eventos localmente horizontais nas seções sísmicas. A filtragem SVD preserva o caráter e conteúdo de frequência das reflexões horizontais e atenua os demais tipos de eventos. Novas aplicações e extensões para filtragem de dados pré ou pós empilhados podem ser facilmente implementadas. O método foi aplicado com sucesso na atenuação do *ground roll* de uma linha sísmica terrestre.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FINEP, FAPESB e CNPq pelo financiamento da pesquisa. Também agradecem às empresas PARADIGM, LANDMARK, SEISMIC-MICRO TECHNOLOGY e Schlumberger pelos acordos de cooperação que permitem o uso das licenças dos softwares de processamento sísmico. Bjorn Ursin agradece a StatoilHydro ASA através do projeto VISTA e ao Norwegian Research Council através do projeto ROSE.

Referências

- Anstey, N. 1986. Whatever happened to ground roll?. The Leading Edge, **5**, 40-46.
- Bekara, M. and Baan, M. V., 2007, Local singular value decomposition for signal enhancement of seismic data: Geophysics, **72**, V59-V65.
- Chiu, S. K. and Howell, J. E., 2008, Attenuation of coherent noise using localized-adaptive eigenimage filter: 78th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 2541-2545.
- Eiras, J. F. and Kinoshita, E. M., 1990, Geologia e perspectivas petrolíferas da Bacia do Tacutu, Origem e Evolução das Bacias Sedimentares: PETROBRAS, Anais, 197-220.
- Embree, P., Burg, J. P. e Backus, M. M., 1963, Wide-band velocity filtering - the pie-slice process: Geophysics, **28**, 948-974.
- Freire, S. L. M., and T. J. Ulrych, 1988, Application of singular value decomposition to vertical seismic profiling: Geophysics, **53**, 778-785.
- Golub, G. H., and C. F. V. Loan, 1996, Matrix computations: Johns Hopkins University Press.
- Harlan, W. S., Claerbout J. F. and Rocca F., 1984, Signal/noise separation and velocity estimation: Geophysics, **49**, 1869-1880.
- Henley, D. C., 2003, Coherent noise attenuation in the radial trace domain: Geophysics, **68**, 1408-1416.
- Karsli, H. and Bayrak, Y., 2008, Ground roll attenuation based on Wiener filtering and benefits of time-frequency imaging: The Leading Edge, **27**, 206-209.
- Kendall R., Jin, S., Ronen, S., 2005, An SVD-polarization filter for ground roll attenuation on multicomponent data: 77th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 928-932.
- Liu, X., 1999, Ground roll suppression using the karhunen-Loeve transform: Geophysics **64**, 564-566.
- Melo, P. E. M.; Porsani M. P.; Silva, M., 2009, Ground-roll attenuation using a 2D time derivative filter. Geophysical Prospecting, **57**, 343-353.
- Montagne, R., and Vasconcelos, G. L., 2006, Optimized suppression of coherent noise from seismic data using the karhunen-Loève transform: Physical Review E., **74**, 1-9.
- Pritchett, W. C., 1991, System design for better seismic data: The Leading Edge, **11**, 30-35.
- Shieh, C. and Herrmann, R. B., 1990, ground roll: Rejection using polarization filters: Geophysics, **55**, 1216-1222.
- Tyapkin, Y. K., Marmalyevskyy, N. Y. and Gornyak, Z. V., 2003, Source-generated noise attenuation using the singular value decomposition: 75th Ann. Internat. Mtg. Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts.
- Wiggins, R. A., 1966, W-K Filter design: Geophysical Prospecting, **14**, 427-440.

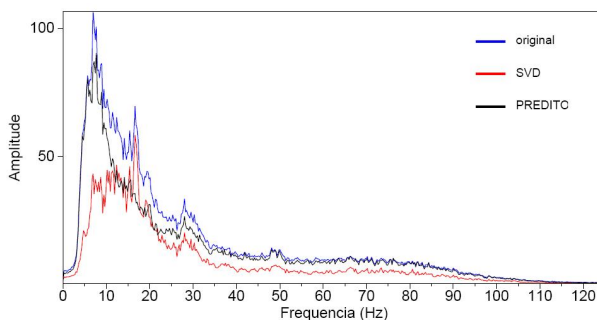


Figura 4: Espectro de amplitude médio do sismograma representado na Fig. 2.

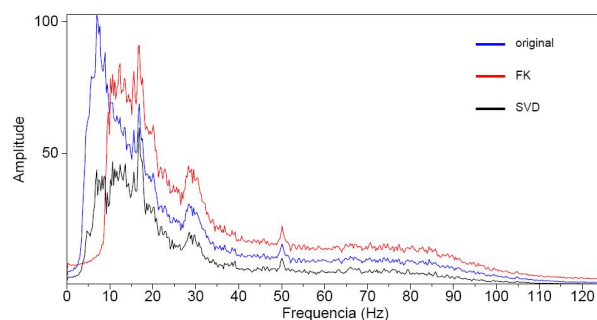


Figura 5: Espectro de amplitude médio do sismograma representado na Fig. 3.

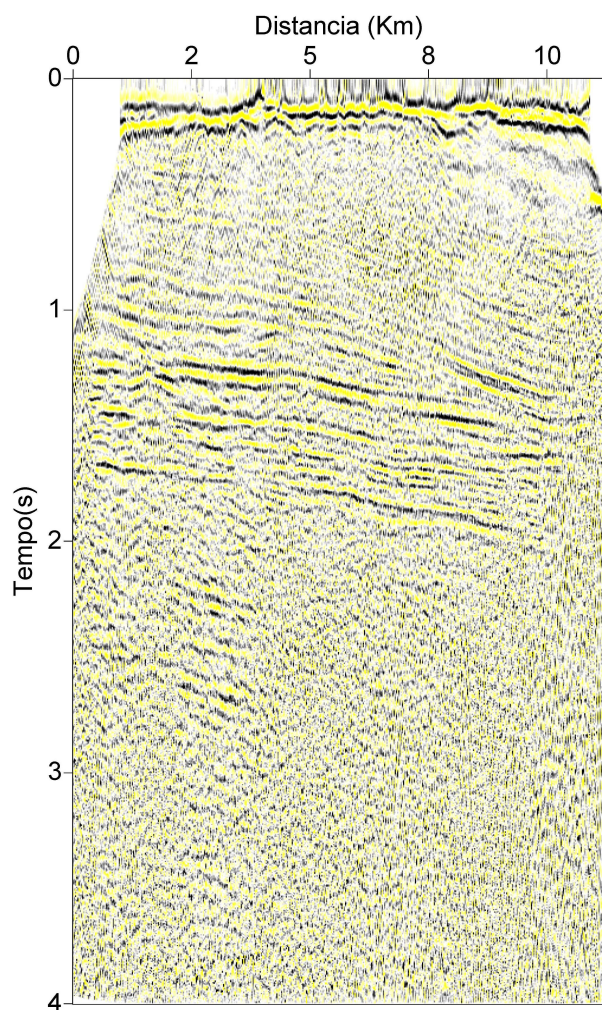


Figura 6: Seção empilhada obtida após a filtragem SVD.

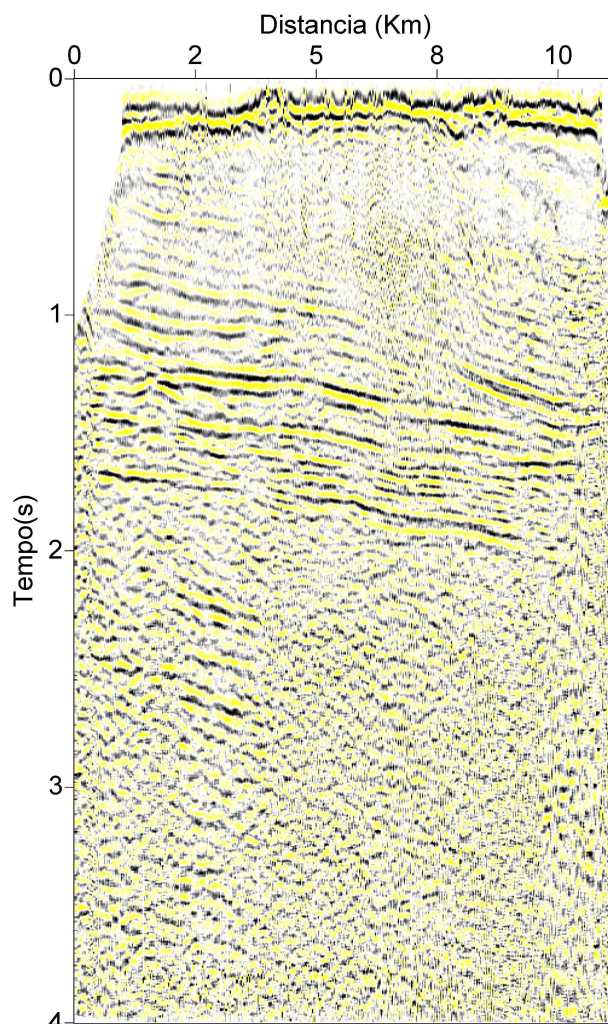


Figura 8: Seção empilhada obtida com o dado original.

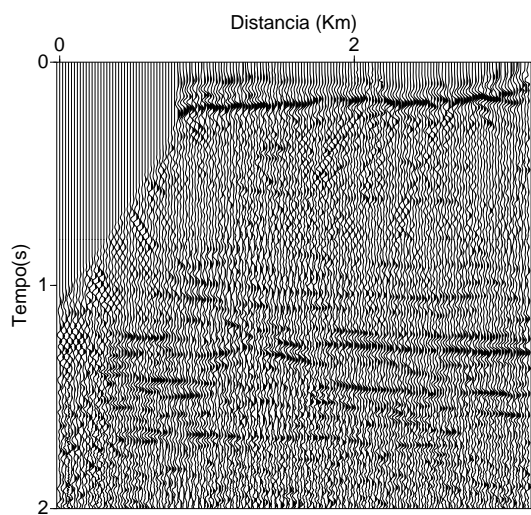


Figura 7: Detalhe da seção empilhada mostrada na Fig. 6.

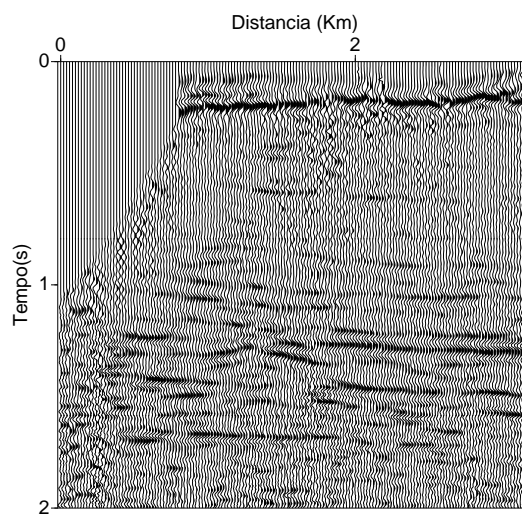


Figura 9: Detalhe da seção empilhada mostrada na Fig. 8.