

Atenuação do *ground-roll* utilizando os métodos de deconvolução adaptativa de Wiener-Levinson e Decomposição em Modos Empíricos

Felipe da M. Alves, PRH-08/UFBA-PETROBRÁS e CPGG-UFBA e Milton J. Porsani, INCT-GP/CNPq e CPGG-UFBA

Copyright 2012, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica Este texto foi preparado para a apresentação no V Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador, 27 a 29 de novembro de 2012. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do V SimBGF, mas não necessariamente representa a opinião da SBGF ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGF.

RESUMO

O *Ground-Roll* é um ruído coerente comum em sismogramas terrestres, sua existência está relacionada a propagação das ondas superficiais Rayleigh. Existe atualmente uma gama de métodos capazes de atenuar esse ruído, porém nem todos conseguem restituir com eficiência as reflexões de interesse mascaradas pelo mesmo. No presente trabalho testamos o uso em conjunto dos métodos de Deconvolução de Wiener-Levinson e Decomposição em Modos Empíricos (DME). Essa nova abordagem foi aplicada no processamento de dados sísmicos e se mostrou bastante eficaz na atenuação do *ground-roll*, melhorando a qualidade final da seção empilhada.

INTRODUÇÃO

O *Ground-Roll* é um ruído coerente que tem como característica as altas amplitudes, baixas frequências e velocidade de propagação. A atenuação desse tipo de ruído tem despertado interesse de muitos pesquisadores e diversos métodos de filtragem foram propostos ao longo das últimas décadas. Tais métodos se aproveitam das diferentes características do ruído, como coerência, frequência temporal e velocidade.

O Método de Decomposição em Modos Empíricos (DME) desenvolvido por Huang et al. (1998), consiste na decomposição de um sinal em funções de modo intrínseco (FMI) que apresentam cada uma delas determinada banda de frequência. Sua aplicação em dados sísmicos consiste na decomposição de cada traço em FMIs de frequências decrescentes. O resultado é a decomposição da imagem original em painéis associados a cada uma das FMIs, preservando em cada painel feições do dado original decompostas a diferentes bandas de frequência.

A deconvolução é um procedimento de extrema importância durante as etapas de processamento sísmico, pois visa aumentar a resolução temporal dos dados comprimindo o pulso emitido pela fonte, esse processo é capaz de aumentar a frequência dos dados, auxiliando assim métodos de filtragem do *ground-roll*. O método de deconvolução usado rotineiramente pela indústria é o de Wiener-Levinson.

DECONVOLUÇÃO ADAPTATIVA DE WIENER-LEVINSON

O filtro do tipo Wiener-Levinson é muito eficaz para deconvolver o pulso e aumentar a resolução temporal do traço recuperando a função refletividade, ele é calculado com base no método dos mínimos quadrados e da autocorrelação do traço sísmico. O processo de deconvolução por si só aumenta a frequência dos dados, porém não é tão eficaz para atenuar o *ground-roll*.

É possível se fazer uma modificação no procedimento de deconvolução para que esse processo gere componentes não causais construindo filtros antissimétricos e atenuando assim baixas frequências, principalmente aquelas relacionadas ao ruído de rolamento.

$$\begin{pmatrix} r_0 & r_{-1} & \dots & r_{-N} \\ r_1 & r_0 & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & r_{-1} \\ r_N & \dots & r_1 & r_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & c_N^- \\ c_1^+ & \vdots \\ \vdots & c_1^- \\ c_N^+ & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_N^+ & 0 \\ 0 & \vdots \\ \vdots & 0 \\ 0 & E_N^- \end{pmatrix} \quad (1)$$

O filtro obtido é aplicado ao traço x_t e devido ao seu caráter de antissimetria tem um efeito semelhante ao de se fazer uma derivada temporal nos dados.

$$e_t = x_t * f_t \quad (2)$$

na qual,

$$f_t = (-c_N^-, \dots, -c_1^-, 0, c_1^+, \dots, c_N^+) \quad (3)$$

No procedimento da deconvolução adaptativa uma janela móvel de comprimento lw se desloca pelo traço com ns amostras calculando o filtro para cada porção do mesmo. Porém convencionalmente só é preservado o resultado da deconvolução da última amostra cada vez que a janela se desloca, as demais amostras são utilizadas somente para o cálculo do filtro.

No presente trabalho fizemos uma modificação nesse processo para que o resultado das n deconvoluções de uma mesma amostra sejam melhor aproveitados, guardando os mesmos e fazendo uma média aritmética dos seus valores. Esse processo permite uma maior suavização do traço deconvolvido, garantindo resultados mais eficazes.

MÉTODO DE DECOMPOSIÇÃO EM MODOS EMPÍRICOS

O método de decomposição em modos empíricos consiste na decomposição do sinal em funções de modo intrínseco (FMI). Essas funções são obtidas mapeando o sinal de entrada (X) para encontrar seus extremos, após serem encontrados eles são interpolados criando-se envoltórias de máximo e mínimo, a partir daí calcula-se a média entre essas envoltórias (ϵ_{med}), e a função resultado da subtração entre essa média, e o sinal de entrada (X) é uma candidata a FMI (C_1):

$$C_1(t) = X(t) - \epsilon_{med}(t) \quad (4)$$

Para que uma função seja considerada uma FMI de um determinado sinal ela deve obedecer a duas premissas:

- Deve ter o número de zeros e extremos iguais ou diferir de máximo um, e
- Ser simétrica com relação à média local.

Caso seja verificada que a candidata é efetivamente uma FMI ($F_1(t)$), ela é retirada do sinal de entrada formando o resíduo ($r_1(t)$), e com o este resíduo o processo é repetido obtendo-se outras FMIs de frequências decrescentes, até que não se consiga mais traçar envoltórias (função com três extremos) ou quando o número de FMIs desejadas for alcançado.

$$r_1(t) = X(t) - F_1(t) \quad (5)$$

$$r_2(t) = r_1(t) - F_2(t) \quad (6)$$

⋮

$$r_n(t) = r_{n-1}(t) - F_n(t) \quad (7)$$

Uma importante propriedade da decomposição em modos empíricos é que a soma das FMIs de um sinal com o resíduo restituem o próprio sinal.

$$X(t) = \sum_{i=1}^n F_i(t) + r_n(t) \quad (8)$$

As FMIs podem ser manipuladas de modo que permaneçam no sinal filtrado apenas aquelas que contenham os eventos de interesse. No caso da atenuação do *ground-roll*, por exemplo, apenas as primeiras FMIs devem ser

preservadas, já que elas estão associadas a faixa de frequências altas, relacionadas às reflexões. As últimas FMIs devem ser descartadas já que estão associadas a baixas frequências, típicas daquele tipo de ruído.

RESULTADOS

Com o propósito de testar a eficiência dos métodos citados foi utilizado para o processamento os dados sísmicos terrestres da linha 204-247 da Bacia do Tacutu. As famílias de traços de ponto de tiro comum possuem 96 traços, intervalo de amostragem de 4ms e aquisição feita em um arranjo do tipo *split-spread* não simétrico. Esses sismogramas estão fortemente contaminados com o ruído *ground-roll*.

A Figura 1 mostra o fluxograma de processamento utilizado. O primeiro passo da execução consistiu na aplicação da deconvolução de Wiener-Levinson em seguida foi aplicado o método de DME.

A Figura 2 ilustra um sismograma bruto, outro após a aplicação da deconvolução, seguido da extração e soma das duas primeiras e posteriormente das três primeiras FMIs, e do resíduo obtido após as aplicações do método DME no sismograma deconvolvido.

Logo após da deconvolução é notado uma atenuação significativa do *ground-roll* e o realçamento das reflexões de interesse que estavam mascaradas pelo ruído, porém, ainda permanece nos sismogramas pequenas flutuações do ruído de baixa frequência que dificultam a identificação da continuidade dos refletores de interesse.

Para remover o ruído ainda existente e melhorar a identificação dos refletores é aplicado no dado deconvolvido o método decomposição em modos empíricos (DME), extraíndo quatro FMIs e somando as duas primeiras e posteriormente as três primeiras, isso foi feito pois a terceira FMI apresentava tanto ruído quanto sinal e sua completa eliminação ocasionaria muitas perdas de sinal de baixa frequência. As demais FMIs foram descartadas, pois como é mostrado na figura 4, elas apresentam uma razão sinal/ruído muito baixa.

A Figura 3 apresenta o espectro de amplitude médio dos quatro primeiros sismogramas apresentados na figura 2. Fica evidente que logo após o processo de deconvolução as amplitudes das bandas de frequência entre 5 e 15 Hz (características do *ground-roll*) são amplamente reduzidas e após a aplicação do método DME essas amplitudes são refinadas ainda mais, porém, não são eliminadas completamente, como aconteceria em uma filtragem passa-alta, pois isso poderia ser prejudicial ao sismograma.

Na Figura 5 é mostrado dois supergathers formados a partir de cinquenta CMPs dos dados original e filtrado (utilizando a 1º e 2º FMI) e seus respectivos semblances,

é percebido uma melhora nos picos de coerência no dado filtrado, o que facilita etapas de processamento como a análise de velocidade.

A Figura 7 representa a seção original e após a aplicação dos métodos de deconvolução e DME em suas duas etapas, a continuidade dos refletores nas seções filtradas é notoriamente maior que na seção em que não foi aplicada os métodos, o que pode ser notado também na figura 6 na qual é mostrado um detalhe comparativo entre as três seções. Os lineamentos característicos do ruído *ground-roll* que são vistos na seção original, nas seções filtradas são fortemente suprimidos.

Alem das melhorias relacionadas a atenuação do ruído, também pode ser notado na figura 6 e na figura 7 que nas seções filtradas existe uma maior resolução temporal em detrimento a seção original.



Figura 1: Fluxograma das etapas de processamento.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O uso conjunto dos métodos de deconvolução e de decomposição em modos empíricos mostrou-se bastante eficaz, para atenuar o ruído *ground-roll* presente nos sismogramas. Os resultados da filtragem de dados reais da Bacia do Tacutu mostraram uma melhora significativa na seção empilhada final através do aumento da continuidade dos refletores, ocasionada pela diminuição considerável do ruído evidente na seção original. Essa diminuição também pode ser percebida através da análise do espectro de amplitude no qual os picos de amplitude entre 5 e 15Hz foram fortemente atenuados.

O acréscimo da terceira FMI na seção filtrada provocou uma melhora na identificação do sinal de baixa frequên-

cia, em relação a seção em que é utilizada apenas as duas primeiras FMIs, porém a adição da terceira FMI também provoca um pequeno acréscimo de ruído que, a princípio, parece não influenciar na eficiência dos resultados obtidos.

Os semblances gerados a partir dos supergathers também demonstraram uma melhora nos picos de coerência, o que facilita a estimação de um bom campo de velocidade, beneficiando a realização de diversas etapas do processamento.

Alem dos benefícios relativos a atenuação do *ground-roll*, é perceptível também um aumento na resolução temporal dos dados, fato que se deve principalmente ao processo de deconvolução de Wiener-Levinson.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP, FAPESB, CNPq/MCT e PETROBRÁS pelo financiamento e apoio à pesquisa. Agradecem também às empresas Landmark e Paradigm pelas licenças acadêmicas dos softwares de processamento e interpretação sísmica disponibilizados ao LAGEP-CPGG-UFBA

REFERÊNCIAS

- Bekara, M. e Baan, M. V.; (2007) Local singular value decomposition for signal enhancement of seismic data, *Geophysics*, 72, pp. 59-65.
- dos Santos, Quêzia Cavalcante; (2007). Atenuação do *ground-roll* utilizando filtro não causal tipo Wiener-Levinson. *Trabalho de Graduação*.
- Ferreira, L. E. S.; Silva, M. G. e Porsani, M. J. ; (2009) *Aplicação do Método de Decomposição em Modos Empíricos na atenuação do ruído de rolamento em dados sísmicos*.
- Shepard D. 1968. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. *ACM national conference*, 23
- Zegadi, Ahmed and Zegadi, K.K.; (2009). *Coherent and random noise attenuation using the intrinsic time-scale decomposition*. *SEG Houston 2009 International Exposition and Annual Meeting*.

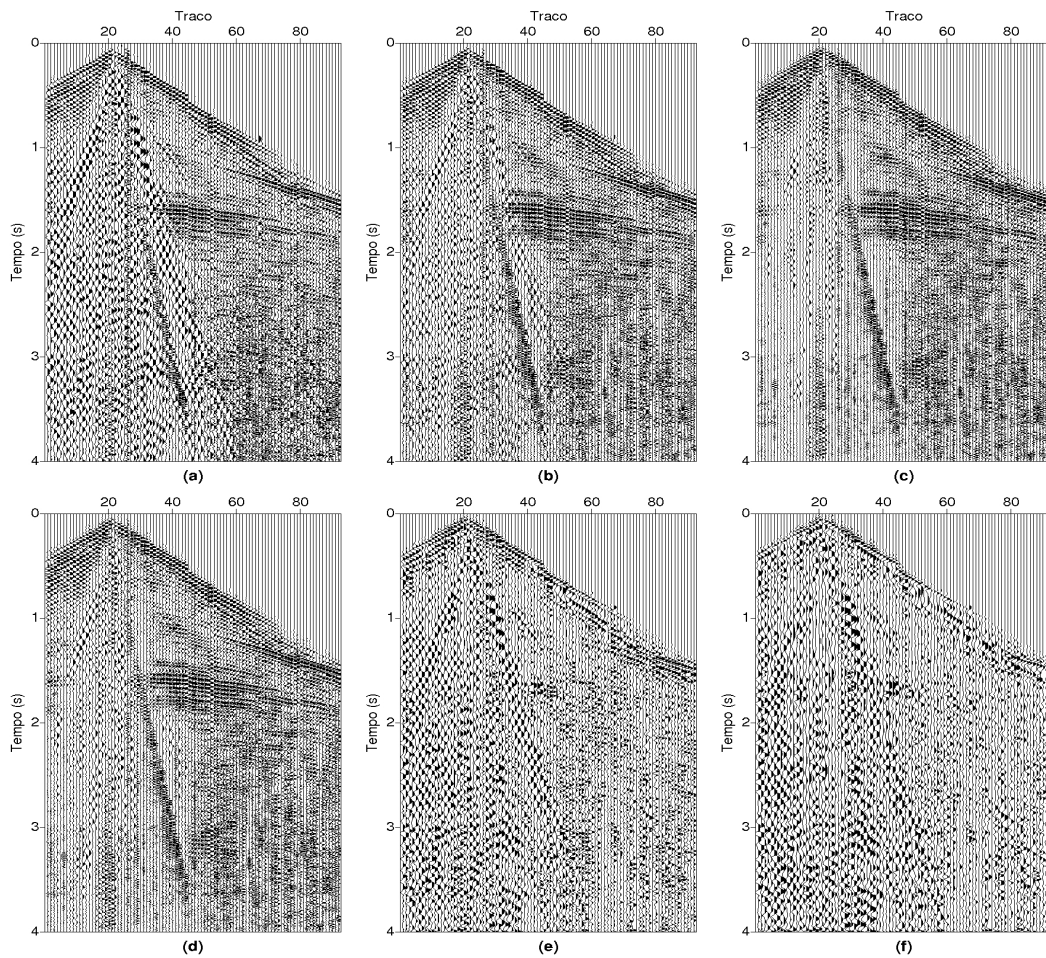


Figura 2: Simagrama original em (a), após a deconvolução em (b), após a aplicação do método DME (1° e 2° FMI) em (c), após a aplicação de método DME (1°, 2° e 3° FMI) em (d) e a diferença entre os sismogramas (b)(c) e (b)(d) em (e) e (f) respectivamente.

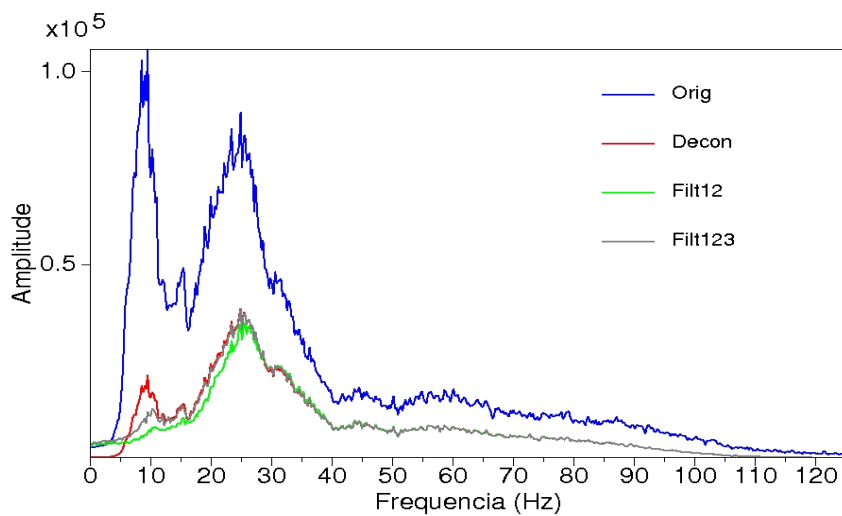


Figura 3: Espectro de Amplitude do sismograma original em azul, após a deconvolução em vermelho, após a aplicação do método DME(1° e 2° FMI) em verde e após a aplicação do método DME(1°, 2° e 3° FMI) em cinza.

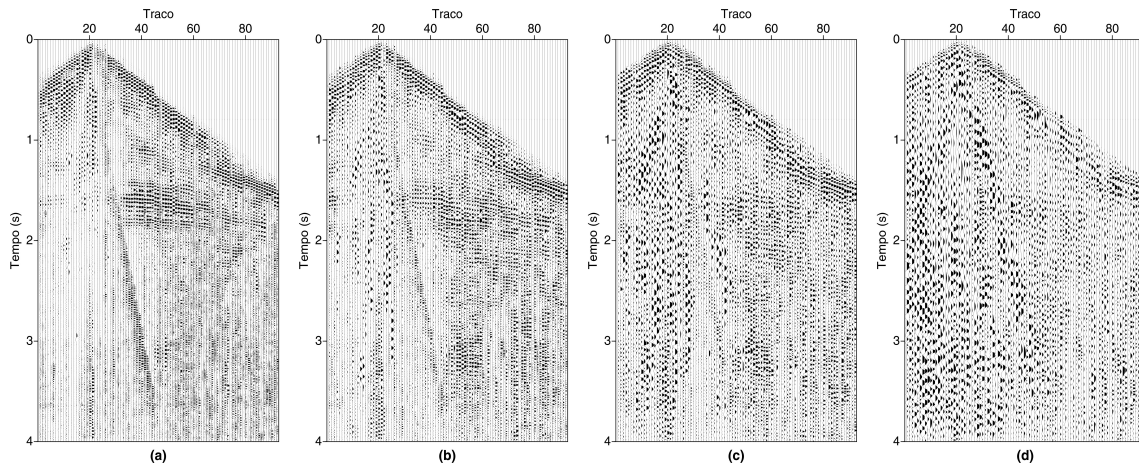


Figura 4: FMIs extraídas após a deconvolução desde a 1^o até a 4^o em (a),(b),(c) e (d) respectivamente.

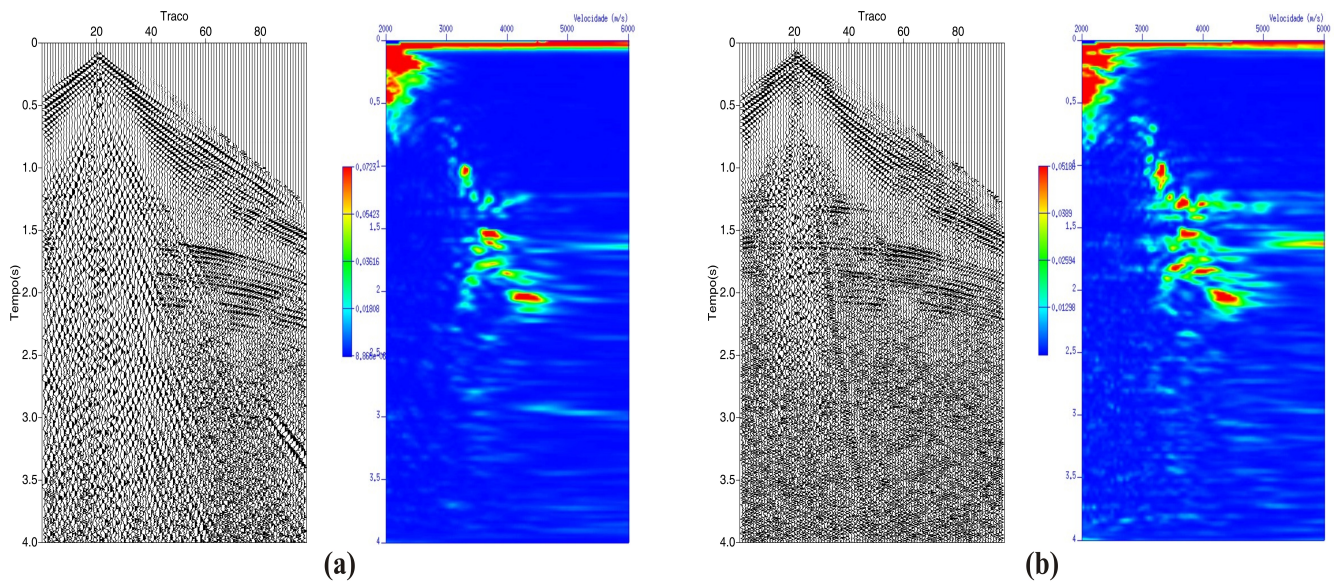


Figura 5: Supergather de 50 CMPs do dado original e seu respectivo semblance em (a) e do dado filtrado (utilizando a 1^o e 2^o FMI) em (b).

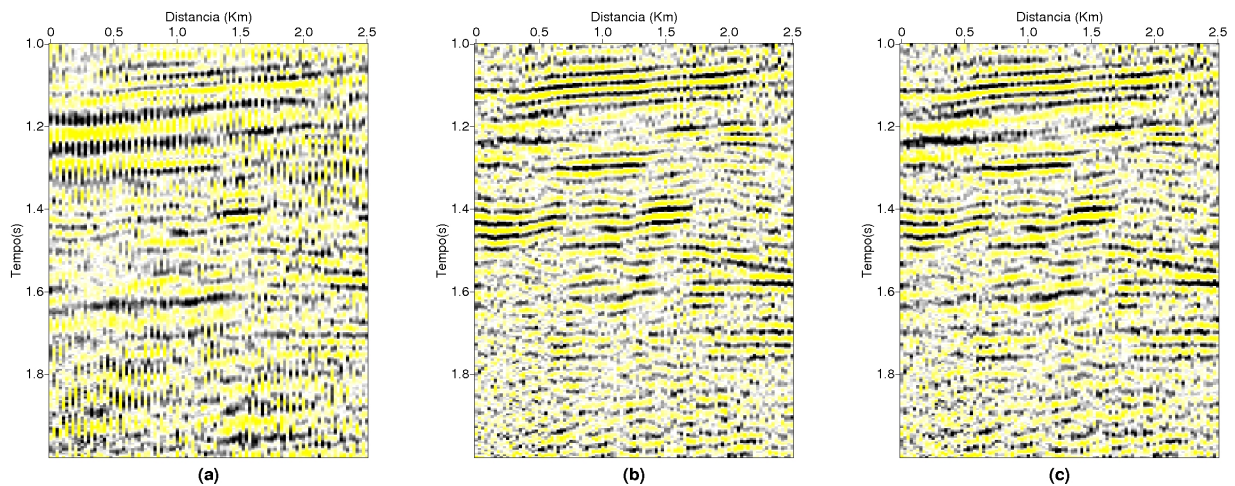


Figura 6: Detalhe da seção empilhada original em (a), após a aplicação do método DME(1^o e 2^o FMI) no dado deconvolvido em (b) e após a aplicação do método DME(1^o, 2^o e 3^o FMI) no dado deconvolvido em (c).

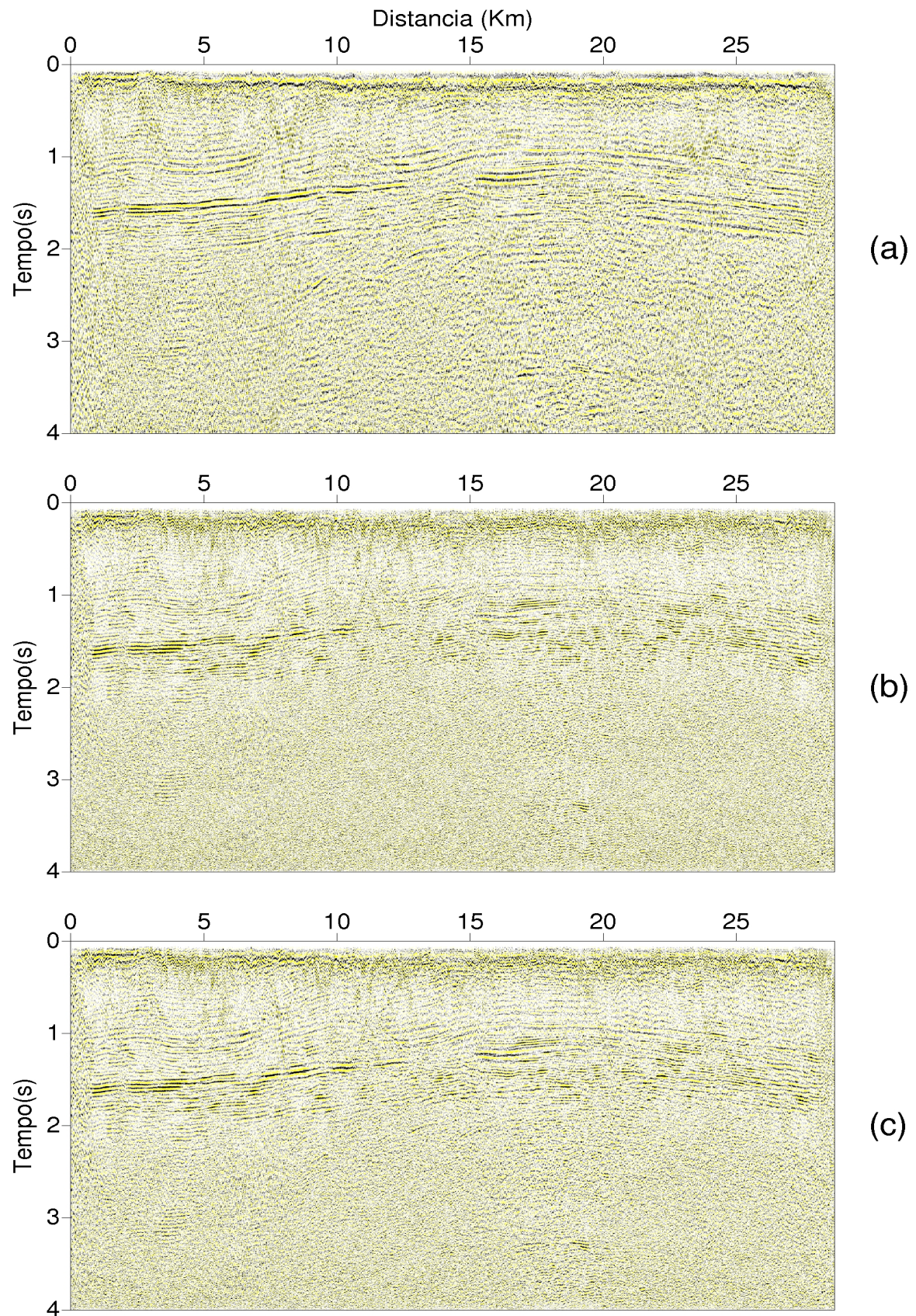


Figura 7: Seção empilhada original em (a), filtrada com os métodos de deconvolução Wiener-Levinson e DME(1° e 2° FMI) em (b) e filtrada com os métodos de deconvolução Wiener-Levinson e DME(1°, 2° e 3° FMI) em (c) .