



Filtragem de eventos lineares utilizando os métodos de Transformada Radial e Decomposição em Modos Empíricos

Felipe da M. Alves, Michelângelo G. da Silva e Milton J. Porsani, CPGG/UFBA e INCT-GP/CNPq

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.

This paper was prepared for presentation at the Twelfth International Congress of the Brazilian Geophysical Society, held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the Twelfth 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

Eventos lineares são comuns nos sismogramas. Eles se superpõem às reflexões de interesse prejudicando o processamento dos dados e a construção da imagem sísmica da subsuperfície. Dentre eles merece destaque o *ground-roll* que está relacionado à propagação da onda superficial do tipo Rayleigh. Existe atualmente uma variedade de métodos de filtragem que podem ser utilizados para a atenuação de eventos lineares. No presente trabalho testamos o uso conjunto do método de decomposição em modos empíricos (DME) juntamente com o método da transformada radial. Este último reamostra os dados sísmicos ao longo de linhas radiais, de modo que eventos lineares resultam bastante suaves no domínio transformado. Por outro lado o método DME extrai as flutuações que persistem no dado transformado e que estão associadas às reflexões de interesse. Essa nova abordagem foi aplicada no processamento de dados sísmicos terrestres e se mostrou bastante eficaz na atenuação de ruídos lineares, melhorando a qualidade final da seção empilhada.

Introdução

O *ground-roll* aparece sob a forma de eventos coerentes e lineares nos sismogramas. As características principais deste ruído são as altas amplitudes, baixas frequências e baixas velocidades de propagação. A atenuação desse tipo de ruído tem despertado o 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 transformada radial (Claerbout, 1983 e Ottolin, 1979) reorganiza as amplitudes dos sismogramas no domínio XT (distância versus tempo) para o domínio radial RT (ângulo ou velocidade aparente versus tempo). Desta forma eventos lineares associados a uma determinado ângulo de inclinação, ou confinados a uma faixa de ângulos (*ground-roll*), estarão representados no domínio RT a um grupo de traços adjacentes. Este tipo de transformação possibilita a aplicação de métodos de filtragem mono ou multicanaís, que atuarão na direção do(s) evento(s) linear(es) que se deseja atenuar.

No presente trabalho testamos o método DME no domínio RT. Esta abordagem foi utilizada na filtragem do *ground-roll* de dados sísmicos terrestres da Bacia do Tacutu.

Transformada Radial

A transformada Radial foi primeiramente desenvolvida por Claerbout (1983) e Ottolin (1979) no intuito de auxiliar a migração de dados sísmicos. Ela consiste no mapeamento das amplitudes de traços nas coordenadas de aquisição: posição fonte-receptor (x) e tempo de trânsito (t); para que essas amplitudes sejam deslocadas e amostradas em um novo eixo: velocidade aparente (v) e tempo de trânsito (t'). Matematicamente o procedimento da transformada é expresso por,

$$\mathbf{TR}\{S(x,t)\} = S'(v,t').$$

A aplicação da transformada inversa retorna o dado do domínio RT para o domínio XT,

$$\mathbf{TR}^{-1}\{S'(v,t')\} = S(x,t).$$

As perdas geradas pela aplicação da transformada direta e inversa são devidas à interpolação dos dados. Manenti et al. (2011) implementou o método de transformada RT utilizando o método de interpolação baseado no inverso da distância (Shepard, 1968). O algoritmo permite uma boa restituição dos dados originais com erros numéricos dentro de níveis pequenos.

Decomposição em Modos Empíricos

O método de decomposição em modos empíricos consiste na decomposição do sinal em funções de modo intrínseco (FMIs). Essas funções são obtidas mapeando o sinal de entrada, $x(t)$, para encontrar seus extremos (máximos e mínimos locais). Ao longo do traço sísmico uma amplitude menor que suas vizinhas à frente e atrás é

tida como um ponto de mínimo. Caso contrário será um ponto de máximo. Após serem detectados eles são interpolados criando-se envoltórias de máximo e mínimo. A média dessas envoltórias ($e_{med}(t)$) é subtraída do sinal de entrada, $x(t)$ gerando assim um sinal candidato a uma FMI, $c_1(t)$,

$$c_1(t) = x(t) - e_{med}(t)$$

Para que um sinal seja considerado uma FMI ele deve satisfazer duas premissas, ou seja, (i) deve ter o número de zeros e extremos iguais ou diferir no máximo de um, e (ii) deve ser simétrico com relação à média local.

Caso seja verificada que a função candidata é efetivamente uma FMI ($F_1(t)$), ela é retirada do sinal de entrada formando o resíduo ($r_1(t)$). Este resíduo é utilizado como novo sinal de entrada e o processo é repetido obtendo-se outras FMIs associadas a frequências menores. O processo é interrompido quando se atinge o número de FMIs desejado ou quando não se consiga mais traçar envoltórias (função com três extremos).

$$\begin{aligned} r_1(t) &= x(t) - F_1(t) \\ r_2(t) &= r_1(t) - F_2(t) \\ &\vdots \\ r_n(t) &= r_{n-1}(t) - F_n(t) \end{aligned}$$

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

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

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.

Aplicação e resultados

Com o propósito de testar o método DME no domínio radial, utilizamos dados sísmicos terrestres da linha 204-247 da Bacia de 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. Aqueles dados apresentam vários tipos de eventos lineares, dentre eles onda direta, refratada e o ruído *ground-roll*.

A Figura 1 mostra o fluxograma de processamento utilizado. O primeiro passo da execução consistiu na

aplicação da transformada radial mapeando o dado do domínio XT para o domínio RT. Após essa etapa os sismogramas transformados foram submetidos ao método DME sendo extraídas oito FMIs.

A Figura 2 ilustra as 8 FMIs extraídas de uma família de ponto de tiro comum. A partir da nona FMI foi verificado que os traços eram praticamente nulos. Notamos que as primeiras FMIs preservaram melhor as reflexões de interesse e atenuaram os eventos lineares como a onda direta, refratada e *ground-roll*.

A Figura 3 mostra o resultado da filtragem EMD no domínio radial. Figura 3a mostra a família de traços dos dados originais no domínio XT. A Figura 3b mostra o resultado da transformada radial inversa aplicada na soma das FMIs de números 2, 3 e 4. O resíduo é mostrado na Figura 3c. A primeira FMI não foi utilizada porque ela preserva as ondas diretas, refratadas e ruídos diversos de alta frequência. Descartando a primeira FMI praticamente eliminamos as ondas diretas e refratadas, colocando em maior evidência os refletores rasos.

A Figura 4 mostra o espectro de amplitude médio correspondente aos dados das figuras 3a, 3b e 3c. Observa no espectro do dado filtrado uma queda significativa nas amplitudes nas baixas frequências (5 e 10 Hz) relacionadas principalmente ao *ground-roll*.

A Figura 5 mostra um *supergather* formado a partir de 50 famílias de ponto médio comum e o seu respectivo espectro de velocidades. Os fortes valores de amplitude do *ground-roll* dificultam a visualização das reflexões e a definição das velocidades. A Figura 5 mostra o *supergather* formado com os dados filtrados e o correspondente espectro de velocidades. A boa definição das velocidades traduz a melhoria na definição das reflexões. Notamos também que as ondas direta e refratadas foram suprimidas.

As Figuras 6a e 6b mostram o resultado do empilhamento dos dados originais e filtrados. Uma melhor definição e continuidade espacial dos refletores pode ser observada na Figura 6b.

Conclusões

O uso conjunto dos métodos de transformada radial e de decomposição em modos empíricos mostrou-se bastante eficaz, para atenuar os eventos lineares presentes nos sismogramas. Os resultados da filtragem de dados reais da Bacia do Tacutu mostraram que tanto o *ground-roll* quanto as ondas direta e refratadas foram fortemente atenuadas. A filtragem EMD no domínio radial também contribuiu para melhorar o espectro de velocidades. A seção empilhada final do dado filtrado exhibe melhor continuidade dos refletores, principalmente na parte rasa.

Referências

Bekara, M. e Baan, M. V.; (2007) Local singular value decomposition for signal enhancement of seismic data, *Geophysics*, 72, pp. 59-65.

Claerbout, J. F.; (1983) *Ground-Roll and Radial Traces.*, Stanford Exploration Project Report, SEP-35, pp. 43-53.

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.

Manenti, R. R.; Silva, M. G. Porsani, M. J.; (2011) Atenuação do *ground-roll* utilizando a Transformada Radial aliada ao Método SVD, Twelfth International Congress of the Brazilian Geophysical Society.

Ottolini, R.; (1979) Migration of Radial Trace Sections. Stanford Exploration Project Report, SEP-20, pp. 97-115.

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.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FINEP, FAPESB, CNPq/MCT e PETROBRAS 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. Especial agradecimento ao colega Rafael Rodrigues Manenti pela disponibilização do algoritmo da Transformada Radial utilizado nesse trabalho.

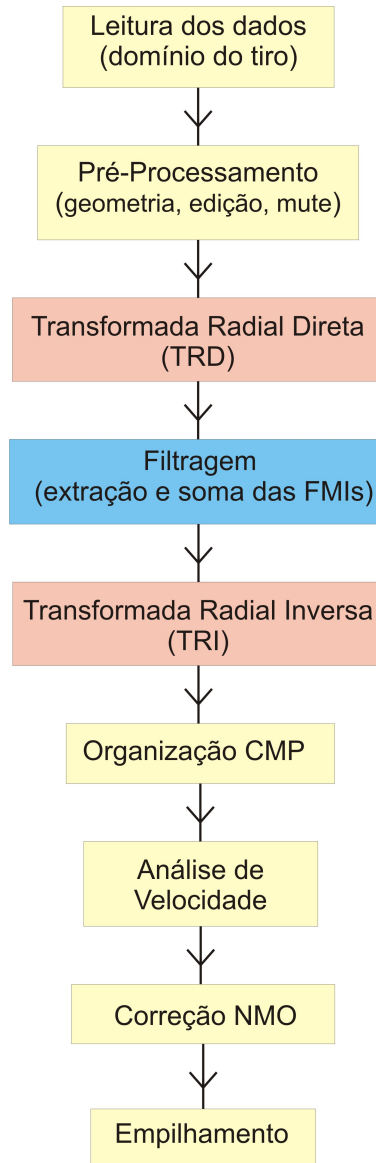


Figura 1: Fluxograma de processamento sísmico utilizando o método de transformada radial acoplado com o método DME.

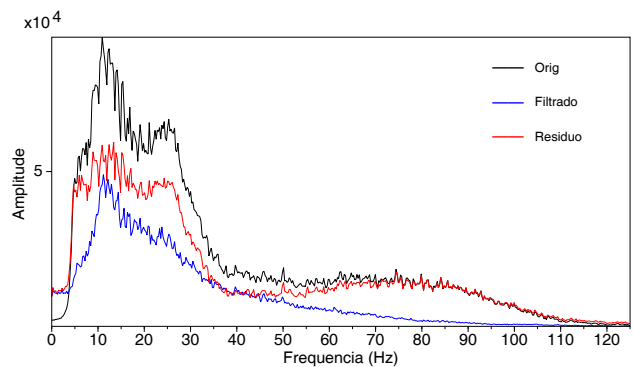


Figura 4: Espectro de amplitude médio. Espectro do tiro original em (a), espectro do tiro filtrado com DME e espectro do residuo.

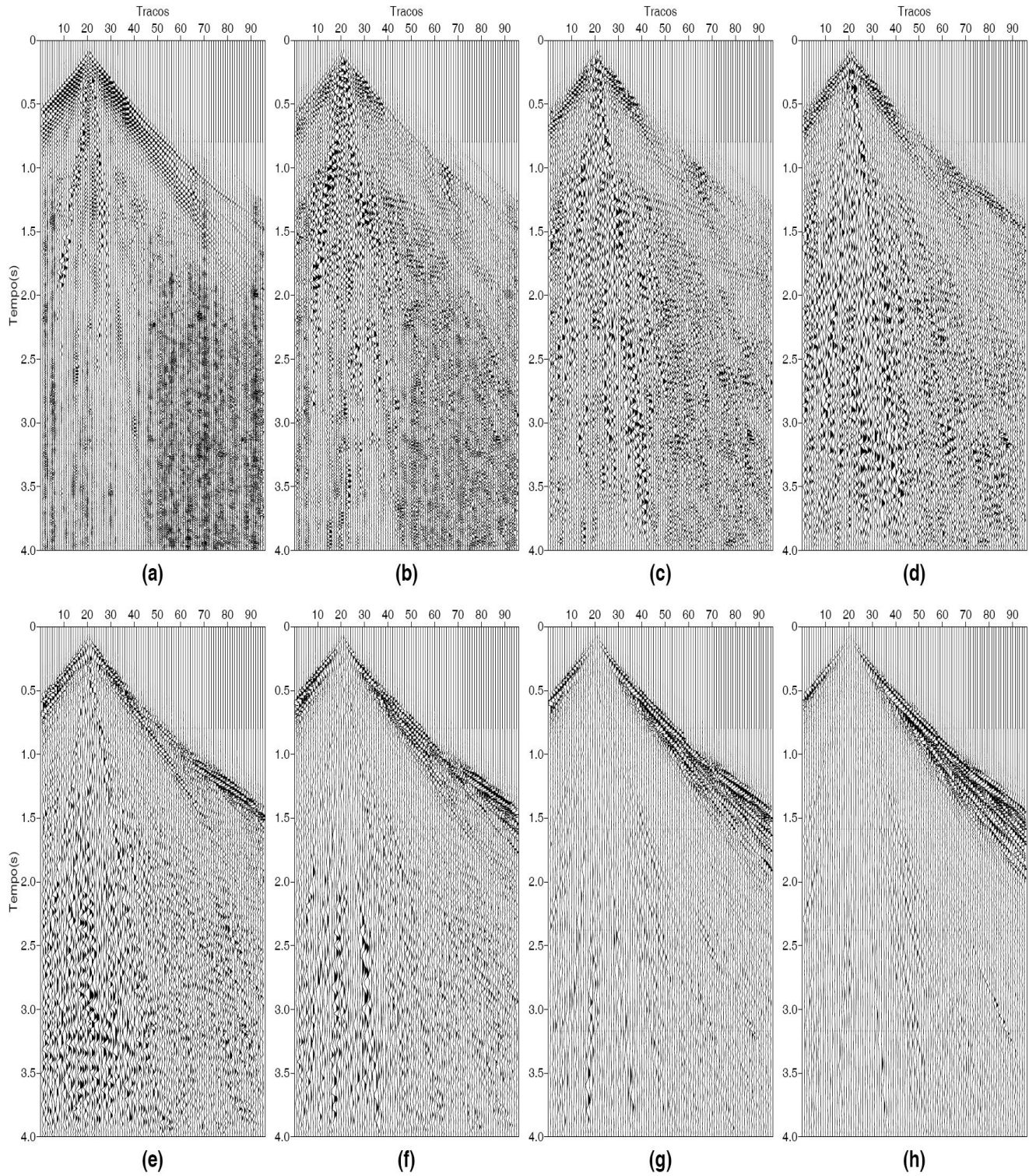


Figura 2: Resultado da aplicação do método DME no domínio radial. Transformada radial inversa das FMIs de 1 a 8, representadas em (a), (b), ..., (h), respectivamente.

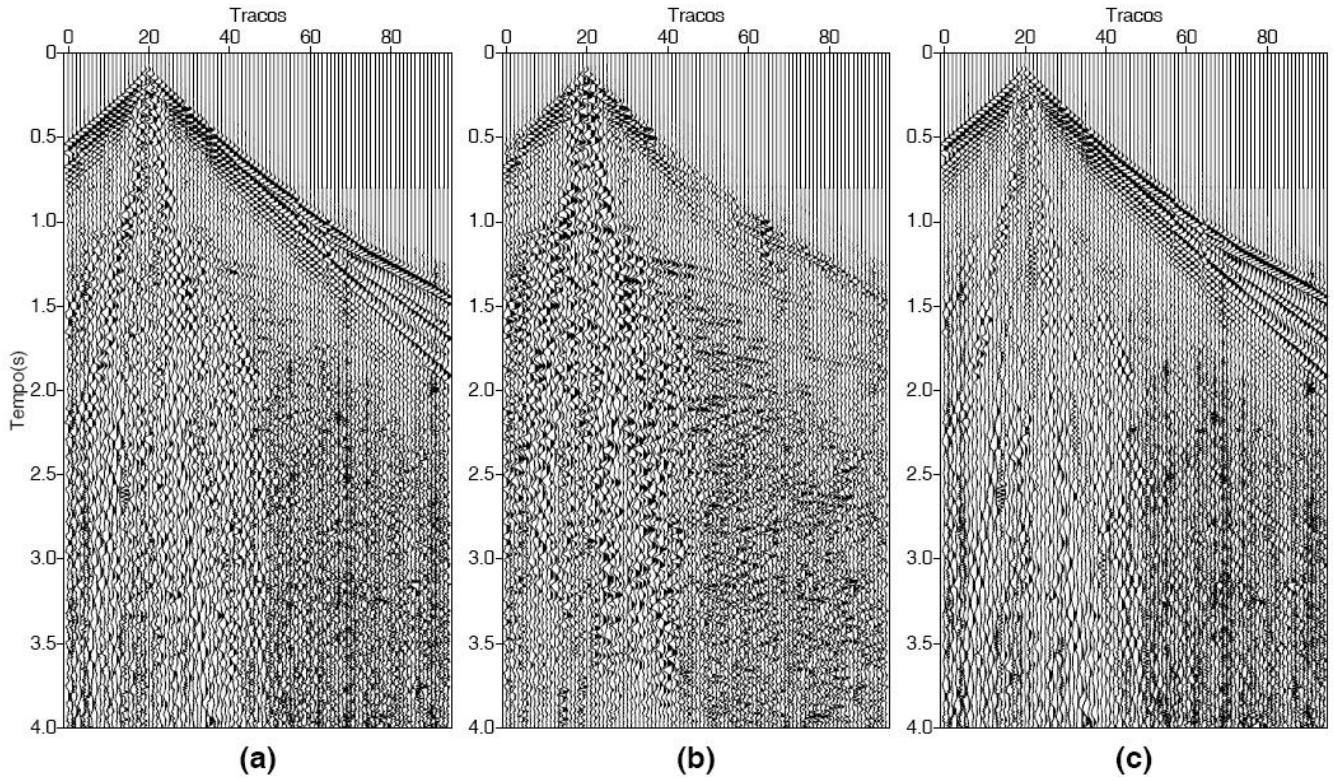


Figura 3: Sismogramas nos domínios XT do dado original em (a), resultado da transformada inversa após a filtragem DME no domínio radial em (b) e do resíduo em (c).

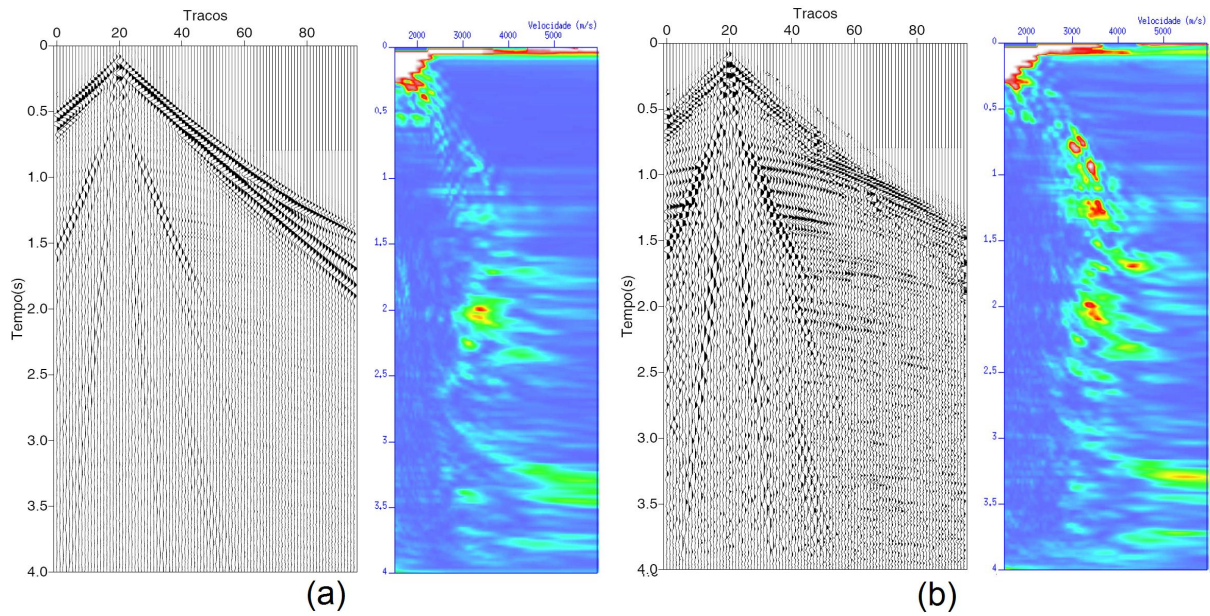


Figura 5: Espectros de velocidades de um *supergaster* formados a partir de 50 famílias de ponto médio comum. Original em (a) e filtrado em (b).

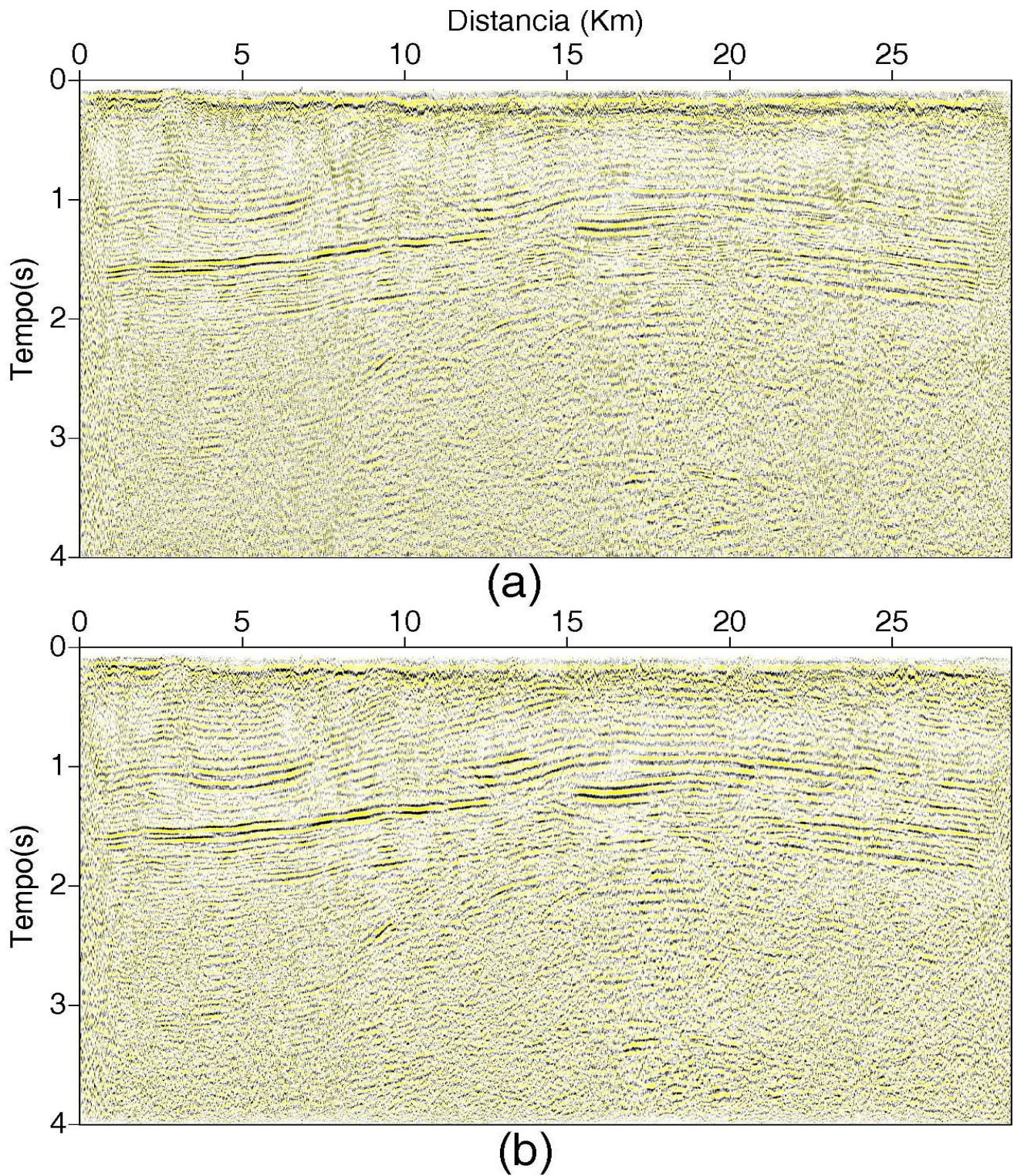


Figura 6: Seção empilhada dos dados originais em (a) e seção empilhada após a filtragem DME no domínio RT em (b).