

## Aplicação do método de Decomposição em Modos Empíricos na atenuação do ruído de rolamento

Luiz Eduardo Soares Ferreira, IGEO/UFBA e INCT-GP/CNPq/MCT  
Milton José Porsani, CPGG/UFBA e INCT-GP/CNPq/MCT  
Michelângelo Gomes da Silva, CPGG/UFBA

Copyright 2010, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica Este texto foi preparado para a apresentação no IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Brasília, 14 a 17 de novembro de 2010. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IV 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

Dentre os ruídos que se encontram em dados sísmicos terrestres, o mais comum e prejudicial é o ruído de rolamento superficial, mais conhecido como *ground-roll*, que ocorre nos sismogramas mascarando as reflexões. A eliminação ou atenuação desse ruído atualmente é realizada através de métodos de filtragem ditos convencionais, que utilizam filtros de frequência 1D ou 2D. No trabalho apresentamos um novo método de filtragem, de Decomposição em Modos Empíricos (DME), que foi implementado em linguagem FORTRAN 90 e aplicado no processamento da linha sísmica terrestre 204-RL-247 da Bacia do Tacutu, para atenuar o *ground-roll*.

### INTRODUÇÃO

O processamento sísmico tem como principal objetivo, fornecer uma imagem adequada das estruturas geológicas em subsuperfície. Dentre os diferentes tipos de ruídos que estão presentes nos sismogramas encontramos o ruído de rolamento superficial, também conhecido como *ground-roll*. Esse ruído ocorre em dados sísmicos terrestres, mascarando as reflexões e possui como principais características: alta amplitude, baixa frequência e baixa velocidade.

Existem vários métodos de filtragem disponíveis nos *softwares* comerciais que podem ser utilizados para atenuar o *ground-roll*, sendo que a maior parte deles emprega a transformada de Fourier 2D. Uma vez que o traço sísmico é um sinal não-estacionário, a atenuação do *ground-roll* utilizando a transformada de Fourier não é tão eficiente, pois utiliza como função de base senos e cossenos, que são funções estacionárias. O método DME, desenvolvido por Huang et al. (1998), apresenta-se como

uma técnica promissora na atenuação desse ruído. Pois tem como princípio decompor um sinal  $X(t)$  em um número de funções que: (i) tem o mesmo número de zeros e extremos e (ii) são simétricas em relação à média local. Essas funções são chamadas de “Funções de Modo Intrínseco” (FMIs).

As FMIs são extraídas diretamente dos sinais e são equivalentes a formas senoidais modificadas localmente por modulação em frequência e amplitude. Cada FMI separada do dado, em ordem decrescente armazena uma banda de frequência, ou seja, a primeira FMI possui as maiores frequências presentes no sinal, enquanto que a última compreende as menores. Essas FMIs podem ser subtraídas do dado original de acordo com a banda de frequência desejada.

A partir da linha sísmica terrestre, 204-RL-247 da Bacia do Tacutu, gerou-se seções sísmicas empilhadas para teste do método DME.

### O MÉTODO DME

O princípio do método DME é decompor um sinal  $X(t)$  (Figura 1) em número pequeno de funções que: (i) tem o mesmo número de zeros e extremos e (ii) são simétricas com relação a média local, ou seja, para qualquer ponto a soma do valor da envoltória máxima com a envoltória mínima é igual a zero. Estas funções são chamadas de “Funções de Modo Intrínseco”(FMIs).

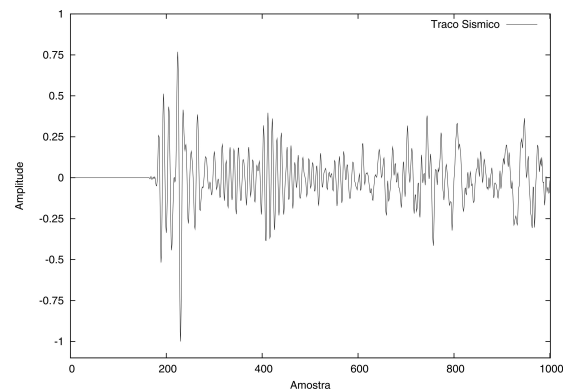


Figura 1: Traço 56 do Tiro 64.

Para encontrar as FMIs de um sinal é necessário:

1. Determinar seus máximos e mínimos locais (Figura 2)

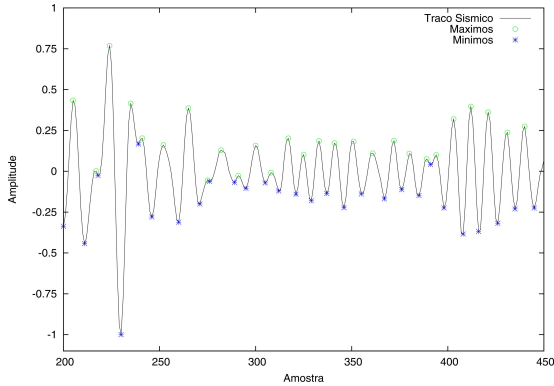


Figura 2: Traço 56 mostrado da amostra 200 a 450, com os pontos de máximo e mínimo.

2. Depois de determinados os máximos e os mínimos locais, faz-se a interpolação dos pontos, criando-se assim os envelopes dos máximos e mínimos (Figura 3). Neste passo utilizou-se a subrotina de interpolação 1D (Porsani, 2009) desenvolvida com base no método do inverso das distâncias (Shepard, 1968).

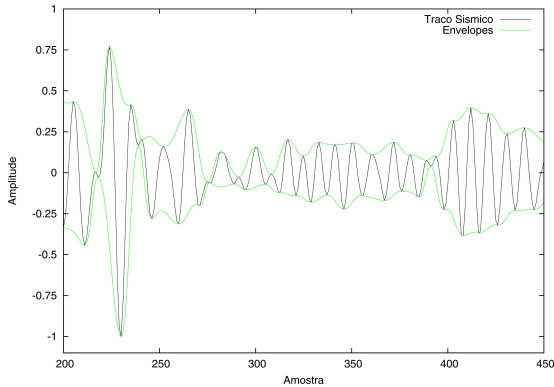


Figura 3: Traço 56 em preto e em verde os envelopes máximo e mínimo.

3. Para cada ponto é calculado a média  $m_1$  (Eq.1) dos envelopes de máximo e mínimo (Figura 4), que é subtraída do dado de entrada  $X(t)$ . O resultado da diferença (Figura 5) é a primeira componente  $h_1$  (Eq.2), uma candidata a FMI. Para ser uma FMI,  $h_1$  deve satisfazer as condições (i) e (ii).

$$m_1 = \frac{[e_{sup}(t) + e_{inf}(t)]}{2} \quad (1)$$

$$h_1 = X(t) - m \quad (2)$$

Caso não as satisfaça  $h_1$  é tratada como um novo dado de entrada e o processo de separação é repetido  $k$  vezes, até que se obtenha uma FMI:

$$h_{11} = h_1 - m_1 \quad (3)$$

⋮

$$h_{1k} = h_{1(k-1)} - m_{1(k-1)},$$

onde  $h_{1k}$  é designada como a primeira componente FMI do dado ( $c_1$ ).

$$c_1 = h_{1k}. \quad (4)$$

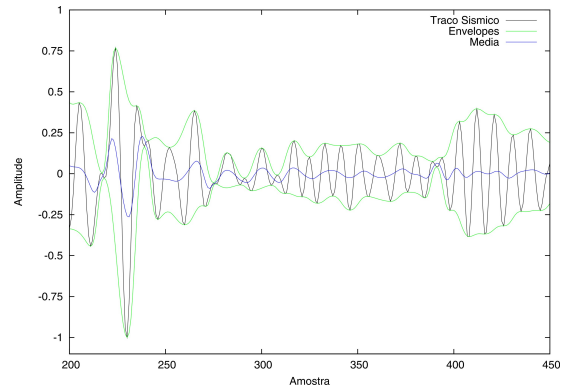


Figura 4: Traço 56 em preto, envelopes de máximo e mínimo em verde e em azul, a média para cada ponto das envoltórias.

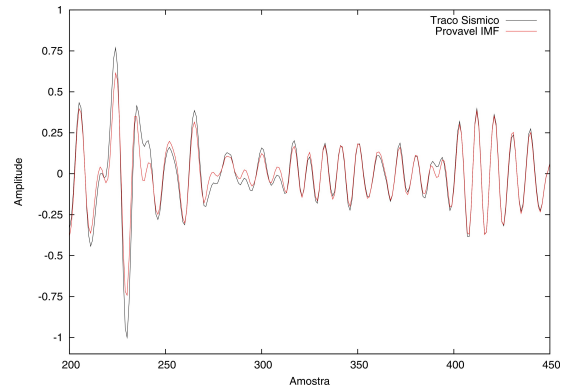


Figura 5: Traço 56 em preto e em vermelho uma função candidata a FMI.

4. Assumindo que a primeira FMI foi encontrada ( $c_1$ ), ela pode ser separada do dado, obtendo assim um resíduo que será tratado como o novo dado de entrada.

$$r_1 = X(t) - c_1. \quad (5)$$

Este processo será repetido com todos os subsequentes resíduos e terminará quando o número pré-determinado de FMIs for alcançado ou quando  $r_n$  se tornar uma função da qual não poderá se extrair mais FMIs.

$$\begin{aligned} r_2 &= r_1 - c_2 \\ &\vdots \\ r_n &= r_{n-1} - c_n. \end{aligned} \quad (6)$$

De acordo com as equações (5) e (6), o dado original pode ser obtido por:

$$X(t) = \sum_{j=1}^n c_j + r_n, \quad (7)$$

onde  $n$  é número de FMIs em que o dado foi decomposto e  $r_n$  é o resíduo final.

As FMIs representam modos de diferentes frequências onde a primeira FMI possui as maiores frequências, enquanto que a última possui as menores (Figura 6). De acordo com o filtro desejado, as FMIs podem ser subtraídas do dado.

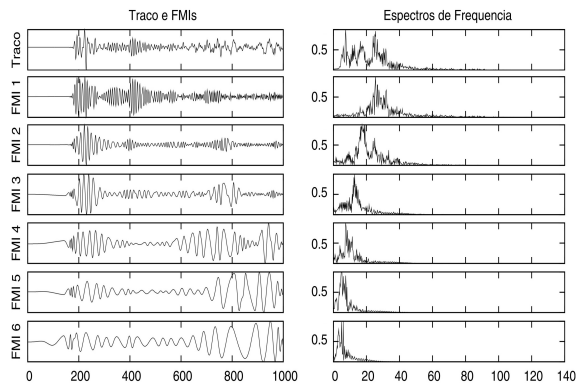


Figura 6: As seis primeiras FMIs do traço 56 e suas respectivas bandas de frequência.

## RESULTADOS

Para estudar a eficiência do método DME realizou-se o processamento sísmico, baseado no fluxograma descrito por Silva (2004), que consiste em: Geometria, Edição, Mute, Correção de Amplitude, Filtragem (DME), Organização dos dados em CMP, Análise de velocidade, Correção de NMO e Empilhamento. Com exceção da etapa da filtragem todo o processamento foi realizado com o FOCUS (*software* de processamento sísmico da Paradigm).

Antes da etapa da análise de velocidade, considerada a mais importante do processamento sísmico, aplicou-se o filtro DME. Cada tiro foi decomposto em 6 FMIs (Figura 7).

Primeiro preservamos apenas a primeira FMI (Figura 8(b)), somando as outras cinco (Figura 8(c)). Observamos que grande parte do *ground-roll* foi retirado porém junto com ele parte das reflexões, pudemos constatar no espectro

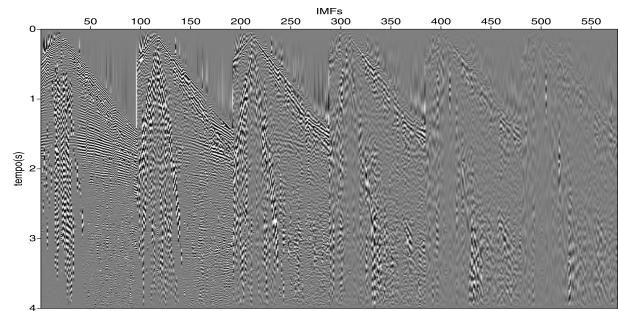


Figura 7: As seis primeiras IMFs do tiro 64 da Linha 204-RL-247.

de frequência (Figura 9). Então preservamos a primeira e segunda FMI (Figura 10(b)), somando as outras quatro (Figura 10(c)). Notamos uma melhora na preservação das reflexões, comprovada pelo espectro de frequência (Figura 11). Após a aplicação do filtro, realizamos a última etapa do processamento, o empilhamento, onde geramos as seções sísmicas: do dado bruto (Figura 12 (a)), da primeira FMI (Figura 12 (b)) e da soma da primeira e segunda FMI (Figura 12 (c)).

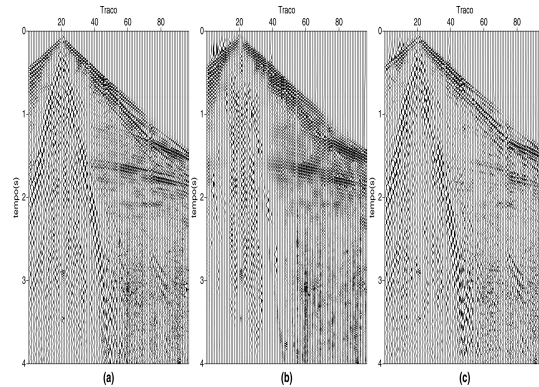


Figura 8: Referente ao tiro 64 temos: sismograma original em (a), sismograma filtrado em (b) e o resíduo (*ground-roll*) em (c).

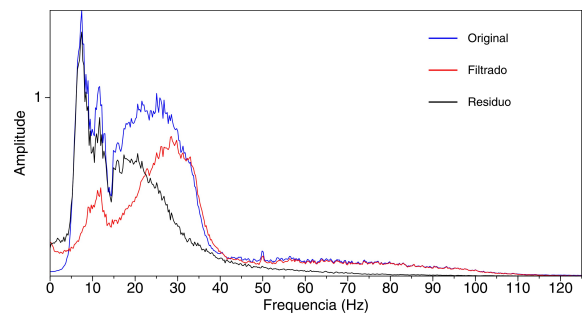


Figura 9: Espectro de amplitudes do tiro 64: original (azul), primeiras FMI preservada (vermelho) e resíduo (preto).

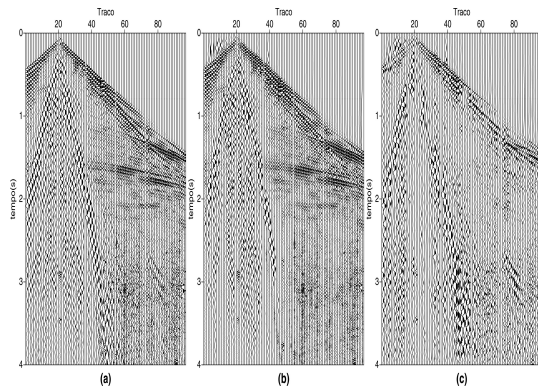


Figura 10: Referente ao tiro 64 temos: sismograma original em (a), sismograma filtrado em (b) e o resíduo (*ground-roll*) em (c).

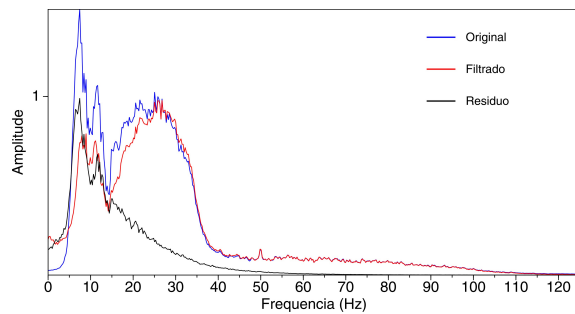


Figura 11: Espectro de amplitudes do tiro 64: original (azul), primeira e segunda FMI preservada (vermelho) e resíduo (preto).

## CONCLUSÕES

A aplicação do método DME demonstrou ser eficiente na atenuação do *ground-roll*, resultando seções sísmicas empilhadas de boa qualidade, alta razão Sinal/Ruído e eventos bem definidos, quando comparadas a seção bruta.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro concedido pelo INCT-GP/CNPq/MCT, FINEP, PETROBRAS, FAPESB, CAPES, à Paradigm Geophysical pela licença do *software* de processamento sísmico (Focus) e à Landmark pela licença dos *softwares* Seispace e SeisWorks.

## REFERÊNCIAS

- Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M. C., Shih, H. H., Zheng, Q., Yen, N. C., Tung, C. C., and Liu, H. H., 1998, The empirical mode decomposition and hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series: Royal Society London, **454**, 903–995.
- Porsani, M. J., Notas e códigos fortran 90 sobre dime e interpolação:, Notas de aula, 2009.
- Shepard, D., 1968, A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data: ACM national conference, **23**.
- Silva, M. G. d., 2004, Processamento de dados sísmicos da bacia do tacutu: Master's thesis, Universidade Federal da Bahia.



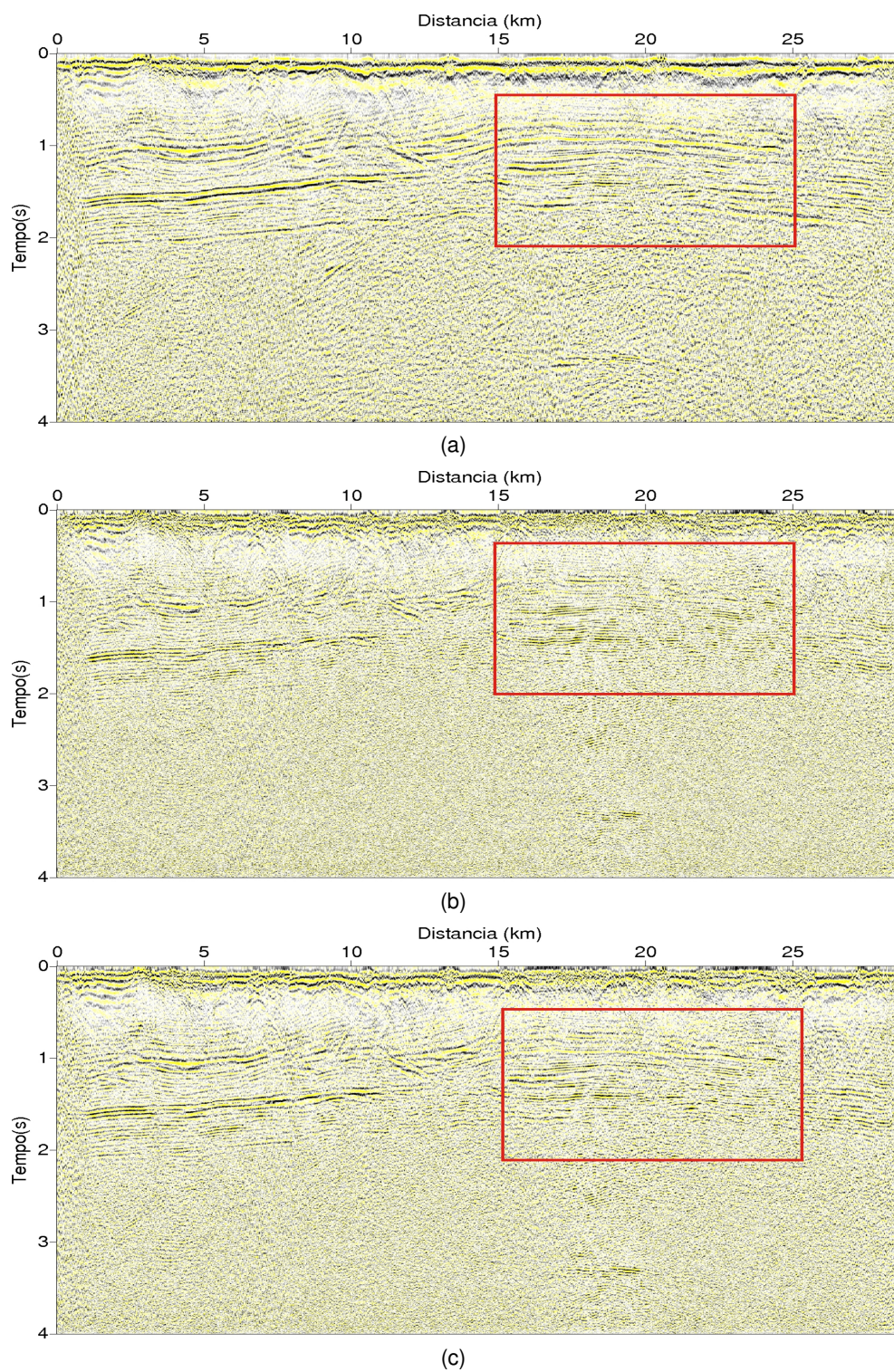


Figura 12: Seção empilhada: do dado original em (a), da primeira FMI em (b) e da primeira e segunda FMI em (c).