

## Remoção do *groundroll* utilizando filtros Wiener-Levinson não-causal

Michelângelo G. Silva, Quézia C. Santos, Silmara L. R. Oliveira, Milton J. Porsani - CPGG/UFBA, Brasil.

Copyright 2006, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no II Simpósio de Geofísica da Sociedade Brasileira de Geofísica, Natal, 21-23 de setembro de 2006. Seu conteúdo foi revisado pela Comissão Tecno-científica do II SR-SBGf 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

A filtragem dos elementos espúrios que contaminam o traço sísmico, constitui uma das etapas fundamentais do processamento dos dados sísmicos. O *groundroll* é um ruído dispersivo e coerente de baixa frequência, que normalmente encontramos nos registros sísmicos terrestres. Tradicionalmente o *groundroll* é atenuado utilizando-se a filtragem FK ou através do filtro de frequência do tipo passa-alta. O principal problema dos métodos de filtragem convencionais é o fato de causarem um corte abrupto nas frequências afetando igualmente o ruído e o sinal e ocasionando grande perda do conteúdo de baixa frequência do sinal. Neste trabalho, apresentamos uma nova abordagem para a filtragem combinando em um único operador de filtragem o filtro de WL causal e seu reverso anti-causal, formando um filtro não causal e anti-simétrico. Tal filtro tem a propriedade de prever o mesmo ponto de dado utilizando coeficientes passados e futuros. A diferença entre os valores preditos resulta no traço deconvolvido e livre de ruídos coerentes. Os coeficientes do filtro são obtidos utilizando-se a função de auto-correlação do *groundroll*. A nova abordagem é bastante eficaz na supressão do *groundroll* conforme ilustram resultados obtidos sobre dados reais.

### Introdução

A deconvolução é uma ferramenta muito eficiente para se obter o aumento na resolução temporal ou vertical dos traços sísmicos e bastante empregada na atenuação das reflexões múltiplas e na remoção de parte das reverberações de levantamentos marinhos (Robinson & Treitel, 1980). Devido a melhoria da razão sinal-ruído alcançada após sua aplicação, a deconvolução, é amplamente utilizada na indústria do petróleo, e também torna-se objeto de estudos acadêmicos, que buscam melhorar seu desempenho na compressão do pulso e na restauração da resposta impulsiva da Terra. Geralmente, a deconvolução é aplicada antes da etapa do empilhamento, mas pode ser usada em dados sísmicos pós-empilhados.

A idéia básica da deconvolução é a estimativa do filtro inverso que quando convolvido com o pulso básico o converte em um impulso (Porsani et al., 2003). Esse filtro deve ser capaz de fornecer a resposta impulsional da terra

quando aplicado ao traço sísmico.

O *groundroll* geralmente contamina uma grande região dos sismogramas de dados terrestres e obscurecem os eventos de interesse (Song & Stewart, 1993), como mostra a figura 1. Esse ruído está associado a ondas do tipo Rayleigh que se propagam nas camadas próximas à superfície, com movimento elíptico e retrógrado. As principais características do *groundroll*, são: a coerência, a alta amplitude em relação aos eventos de interesse, a baixa frequência e baixa velocidade de propagação (Silva, 2004). A supressão do *groundroll* na aquisição, através de uma filtragem espacial com um conjunto de geofones é bastante onerosa, e a utilização dos filtros FK (e de frequência no processamento sísmico, podem causar uma grande perda no conteúdo de baixa frequência do sinal. Apresentaremos a seguir, um novo método de deconvolução que estima o filtro preditivo não causal a partir da autocorrelação da banda de frequência do *groundroll*, bem como, os resultados obtidos após sua aplicação em dados sísmicos reais terrestres da bacia sedimentar do Tacutu.

### Método de Deconvolução Wiener-Levinson com filtro não-causal (WLNC)

O modelo unidimensional comumente usado para representar o traço sísmico é denominado de modelo convolucional, onde o traço é o resultado da convolução de um pulso gerado por uma fonte próxima à superfície, com a resposta impulsional da Terra acrescida da componente ruído (Yilmaz, 1987). De forma simplificada podemos representar matematicamente traço sísmico contaminado com *groundroll*, como segue:

$$y_t = x_t + g_t, \quad (1)$$

onde:  $y_t$  é o traço sísmico (registro do sismograma),  $x_t = p_t * e_t$  representa a convolução do pulso sísmico  $p_t$  com a função refletividade,  $e_t$  ou resposta impulsional da Terra, e  $g_t$  representa o ruído aditivo, correspondente ao *groundroll*.

Considerando que dispomos dos coeficientes da função de autocorrelação do *groundroll*,  $r_j$ ,  $j = 0, \dots, N$  podemos obter o filtro de Wiener-Levinson, causal ( $a_j^+$ ) e anti-causal ( $a_j^-$ ), resolvendo o sistema de equações normais,

$$\begin{bmatrix} r_0 & r_1 & \dots & r_N \\ r_1 & r_0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & r_0 & r_1 \\ r_N & \dots & r_1 & r_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & a_N^- \\ a_1^+ & \vdots \\ \vdots & a_1^- \\ a_N^+ & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_N^+ & 0 \\ 0 & \vdots \\ \vdots & 0 \\ 0 & E_N^- \end{bmatrix}$$

onde  $E_N^+ = E_N^-$  e  $a_j^+ = a_j^-$ ,  $j = 1, \dots, N$ .

Os filtros causal e anti-causal têm a propriedade de predizerem o *groundroll* utilizando amostras a tempos passados e futuros, respectivamente. Tais filtros podem ser aplicados separadamente aos sismogramas contendo *groundroll* e a diferença entre estes valores preditos está relacionada com as reflexões de interesse. Uma forma mais direta de utilização daqueles filtros é compor um operador anti-simétrico (não causal), como segue:

$$f_t = a_t^+ - a_t^- \quad (2)$$

ou ainda,

$$\begin{aligned} a_t^- &= \{-a_N^- \quad \dots \quad -a_1^- \quad -1 \quad 0 \quad \dots \quad 0\} \\ a_t^+ &= \{0 \quad \dots \quad 0 \quad 1 \quad a_1^+ \quad \dots \quad a_N^+\} \\ f_t &= \{f_{-N} \quad \dots \quad f_{-1} \quad 0 \quad f_1 \quad \dots \quad f_N\} \end{aligned}$$

A seguir apresentamos os passos do fluxograma para atenuação do *groundroll* que utiliza filtros de WL anti-simétricos (não-causal).

- Transformação dos dados (sismogramas) para o domínio da frequência, via Transformada de Fourier Direta;
- Ajanelamento do espectro de potência, preservando a banda de frequência correspondente ao ruído indesejável (a ser removido);
- Estimativa da FAC do ruído, através da Transformada de Fourier Inversa da banda ajanelada;
- Cálculo do filtro Wiener-Levinson causal (Recurso de Levinson);
- Montagem do filtro não-causal e anti-simétrico;
- Convolução do filtro não causal com o sismograma original.

## Resultados

O dado sísmico real utilizado na aplicação do método, pertence a linha sísmica RL-5089 da bacia sedimentar do Tacutu, adquirida pelo CPGG/UFBA junto à Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis - ANP, possui 96 traços por tiro, tempo de registro igual a 3s e intervalo de amostragem de 4ms. Após um pré-processamento, envolvendo as etapas de edição, mute e correção de amplitude, a família de tiro 90 passou a ter 93 traços, o ruído elétrico causados pelos equipamentos de aquisição foram eliminados e as amplitudes dos traços recuperadas.

Com o objetivo de identificar a frequência dominante do *groundroll* e selecionar a banda de frequência a ser utilizada para estimativa da função de autocorrelação (FAC), realizamos um estudo do espectro de amplitude do tiro 90. Primeiramente, extraímos na região central do sismograma uma janela de tempo de 0.5s, contaminada pelo *groundroll*, contendo 29 traços, e geramos o espectro de amplitude, mostrado na figura 2. Analisando a curva do espectro, foi possível determinar a frequência principal do *groundroll* de 10 Hz, correspondente a amplitude máxima, e definir a banda de frequência de 0-10 Hz para o cálculo da FAC.

A figura 3, ilustra o espectro de amplitude dos traços

do sismograma de tiro 90 e da banda de frequência usada na estimativa da função de autocorrelação dos traços, definida anteriormente.

O fluxograma da figura 4, mostra as etapas do processamento da linha sísmica RL-5089 para supressão do *groundroll* dos sismogramas de tiro.

A figura 5 traz o resultado obtido após a aplicação da deconvolução WLNC no sismograma de tiro 90 da linha sísmica RL-5089 da bacia sedimentar do Tacutu, utilizando o filtro não causal de 10 coeficientes e 1% de luz branca. No dado deconvolvido 5, podemos notar facilmente que os eventos de reflexão, mascarados pelo *groundroll*, foram recuperados e, houve o aumento da razão sinal-ruído e da resolução temporal por causa da ótima supressão do ruído. Também ocorreu a melhoria da continuidade lateral das hipérboles de reflexão.

O espectro de amplitude do sismograma deconvolvido (Fig. 6), mostra que não ocorreu um corte no conteúdo de baixa frequência do dado, como acontece quando é utilizado o filtro de frequência passa-alta. Portanto, as baixas frequências do sinal foram preservadas, existiu apenas uma redução das amplitudes nas baixas frequências, relacionadas ao *groundroll* e, um crescimento da banda de frequência do sinal, entre 20-60 Hz.

## Conclusões

Os resultados apresentados demonstram que o emprego de filtros não-causais e anti-simétricos, construídos a partir de filtros de Wiener-Levinson, fornece bons resultados na remoção/atenuação do *groundroll*. O método é bastante simples e atraente pela sua eficácia e eficiência computacional. Ele pode ser aplicado diretamente aos sismogramas, requer entretanto que conheçamos os coeficientes da função de autocorrelação do *groundroll*. A nova abordagem para filtragem do *groundroll* pode ser estendida para utilizar operadores 2D multicanais.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a FINEP, FAPESB, PETROBRAS e CNPq pelo apoio financeiro ao projeto Rede em Risco Exploratório, à Paradigm e Landmark pelas licenças dos softwares de processamento sísmico doadas ao CPGG-UFBA.

## Referências Bibliográficas

- Porsani, M. J.; Espinheira, P. M.; Ulrych, T. J., 2003, Highly Resolved Deconvolution via a Sparsity Norm. Journal of Seismic Exploration, v. 12, p. 127-140.
- Robinson, E. A., Treitel, S. (1980) Geophysical signal analysis, Prentice-Hall, New Jersey.
- Silva, M. G. (2004) Processamento de dados sísmicos da Bacia do Tacutu, dissertação de mestrado, Universidade Federal da Bahia.
- Song, Y., Stewart, R. R. (1993) Ground roll rejection via f-v filtering, Crewes Research Report, v. 5, 8 p.
- Yilmaz, O. (1987) Seismic Data Processing, Society of Exploration Geophysicists.

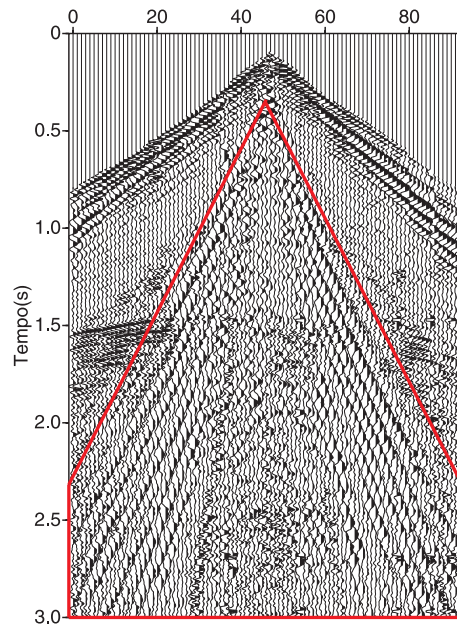


Figura 1: Região contaminada pelo *groundroll* (delimitada pela linha vermelha) de um registro de tiro da bacia sedimentar do Tacutu.

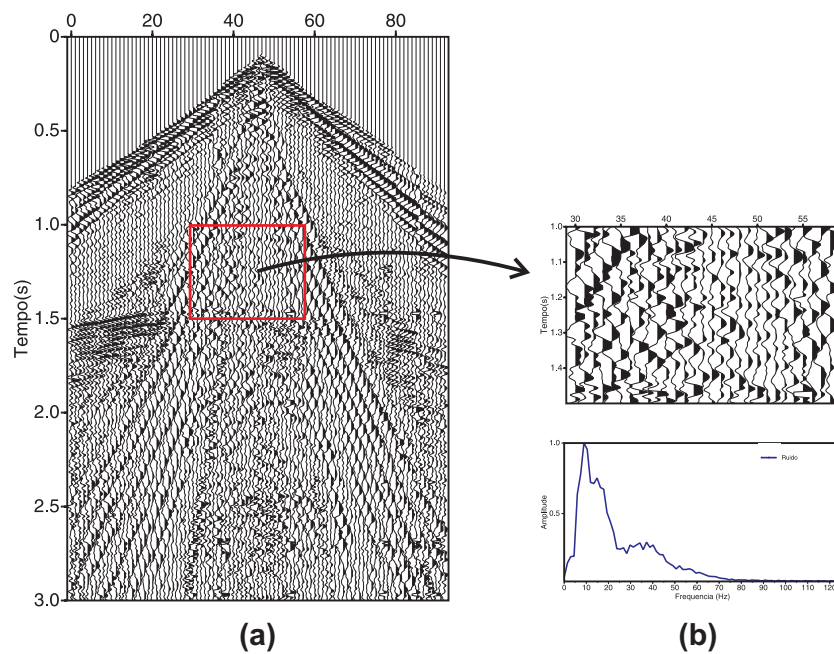


Figura 2: Estudo do espectro de freqüência do *groundroll*: janela de tempo extraída do sismograma de tiro 90, com alto grau de contaminação em (a), ampliação da janela extraída e seu respectivo espectro de amplitude em (b).

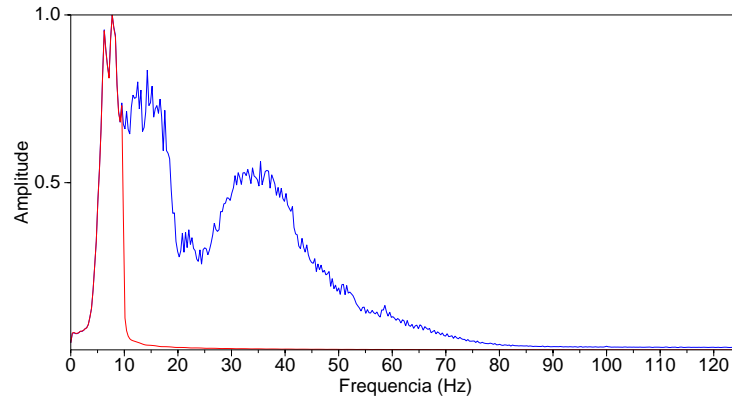


Figura 3: Espectro de amplitude do tiro 90 (curva azul) e da banda de frequência usada na estimativa da função de autocorrelação dos traços (curva vermelha).

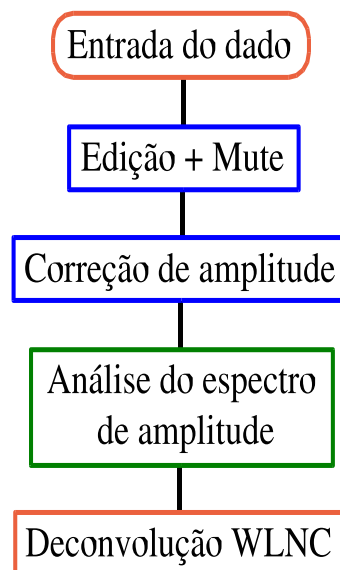


Figura 4: Fluxograma com as etapas do processamento da linha sísmica RL-5089 para atenuação do *groundroll*.

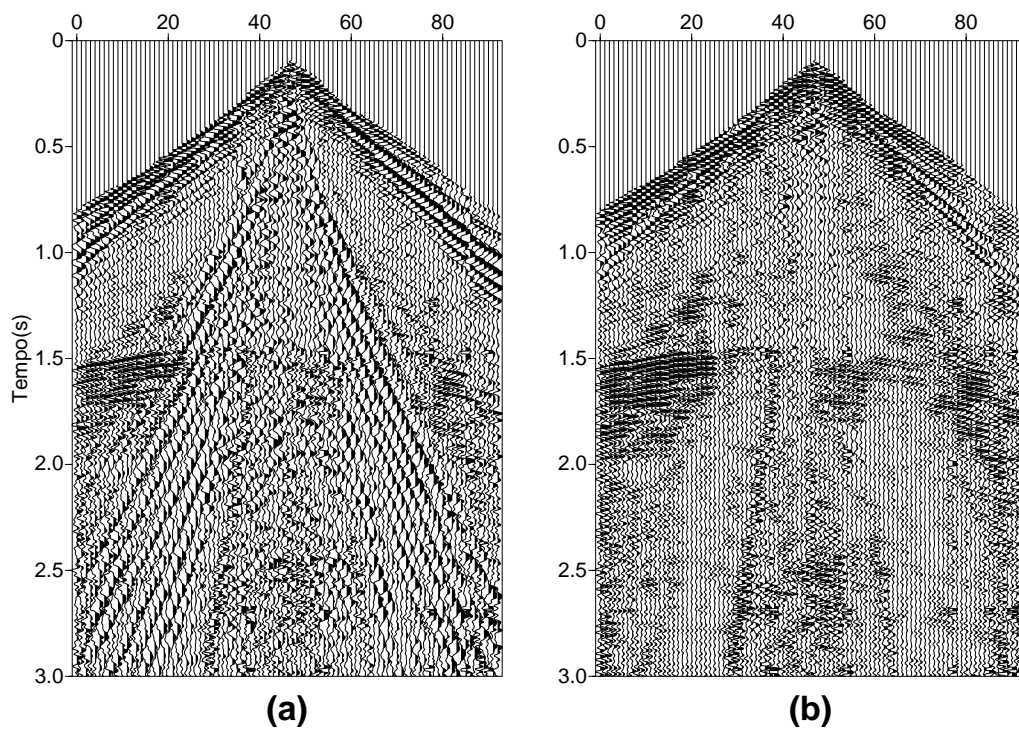


Figura 5: Resultado obtido após a deconvolução Wiener-Levinson com o filtro não causal do tiro 90: sismograma original em (a) e deconvolvido em (b).

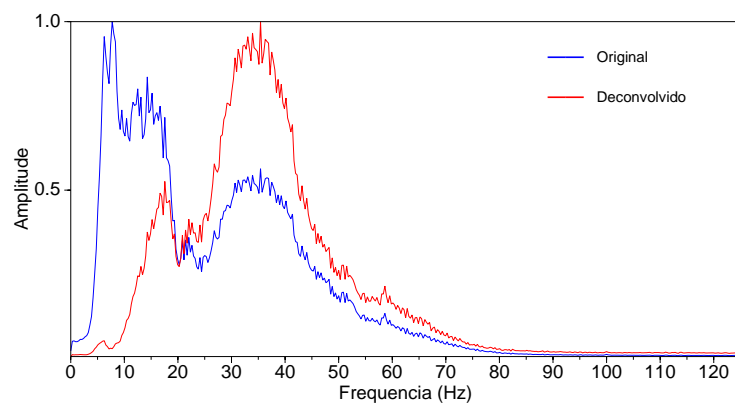


Figura 6: Espectro de amplitude dos sismogramas da figura 5.