



## Deconvolução de reflexões múltiplas e *peg-legs* utilizando filtragem Wiener-Levinson multicanal

Adriano de P. Lima CPGG-UFBA/PETROBRAS  
Milton J. Porsani CPGG-UFBA

### Abstract

In the present paper we have used multichannel predictive filters of Wiener-Levinson (WL) type to deconvolve surface and internal multiples and *peg-legs*. The WL multichannel filters are obtained as a solution for block-Toeplitz systems of normal equations. These systems are formed with coefficients of auto and cross-correlations of a set of seismic traces. The obtained filters can explore in a more effective way the in-time and spatial redundancy of informations that exists in the seismograms. In order to place the seismic data in a more appropriated way to be deconvolved we have applied the MMO transform. By forming panels of common-offset the WL multichannel filters were applied in cascade. Numerical examples using marine seismic data from the Gulf of Mexico illustrate the performance of the method. The results have been quite satisfactory, thus demonstrating that the method is robust and effective to remove the multiple and *peg-leg* reflections.

### Introdução

A deconvolução preditiva (DP) é normalmente empregada no processamento de dados sísmicos com o objetivo de comprimir o pulso sísmico ou prever e 'suprimir' reflexões múltiplas. O primeiro objetivo é alcançado utilizando-se o operador de erro de predição unitária que corresponde ao filtro inverso de Wiener-Levinson. Para a predição e atenuação de reflexões múltiplas utiliza-se o filtro preditivo com a distância de predição pouco menor que o período da múltipla que se deseja suprimir (Robinson, 1967; Robinson e Treitel, 1980; Yilmaz, 1990). O filtro preditivo de Wiener-Levinson estima eventos periódicos, como múltiplas no sismograma, permitindo assim que a componente estimada seja removida. Entretanto, nos sismogramas, as múltiplas não se apresentam de forma periódica. A periodicidade inexistente nos traços obtidos para afastamentos não nulos, conforme é o caso de traços de uma família CMP ou de uma família de traços com ponto de tiro comum. Conseqüentemente, nos domínios CMP e ponto de tiro comum, a falta de periodicidade das múltiplas é responsável pela ineficácia da DP.

A transformada Tau-p linear, através da decomposição de dados x-t em ondas planas, pode contornar o problema da não periodicidade para dados que seguem um modelo 1-D (Lokshonov, 1998). No domínio p-comum, mesmo em dados provenientes de áreas com pequenas variações na inclinação do fundo do mar, o problema da não periodicidade das múltiplas poderia ser minorado empregando-se DP multicanal, que iria explorar de forma mais eficiente a redundância de informações.

Um outro domínio de representação dos dados, conveniente para o emprego da DP multicanal, no qual as múltiplas são periódicas, pode ser formado por painéis de 'offset'-comum de traços que foram corrigidos de NMO com a velocidade de empilhamento da reflexão múltipla que se deseja suprimir. Essa transformada é conhecida na literatura por MMO ('Multiple Moveout'). Com a aplicação da transformada MMO em dados registrados sobre um fundo do mar horizontal, tanto a reflexão primária quanto as múltiplas do fundo do mar tornam-se horizontais e periódicas com distância de predição igual ao tempo zero-'offset' da primária. Infelizmente esses eventos não formam uma série estacionária no tempo nem no espaço, devido ao estiramento causado pela correção de 'moveout'. O problema da não estacionariedade das múltiplas no espaço pode ser resolvido através da organização dos traços para o domínio 'offset'-comum; já para contornar o problema da não estacionariedade no tempo, algo como uma transformada ISR ('iso-stretch-radial') (Lamont et. al, 1997) deveria ser empregada. Entretanto, se antes da aplicação da MMO conseguíssemos uma boa compressão da 'wavelet' poderíamos esperar que a não estacionariedade no tempo seria bastante reduzida e que a DP multicanal possa superar essa aproximação, principalmente em dados registrados sobre um mar profundo, bem como superar a não periodicidade decorrente do mergulho do assoalho oceânico.

No presente trabalho utilizamos a DP multicanal para a remoção de múltiplas associadas aos dados sísmicos marítimos do Golfo do México. Os filtros multicanais correspondem a operadores bidimensionais que são obtidos como solução de sistemas de equações bloco-Toeplitz e implicitamente levam em conta a coerência lateral dos eventos de traços vizinhos (Barros, et. al, 1996). Para minorar o problema da não periodicidade das múltiplas, utilizamos a transformada MMO e para explorar as vantagens da DP multicanal trabalhamos com o método sobre painéis de traços de 'offset'-comum. Nesse domínio a deconvolução preditiva multicanal foi aplicada em cascata e a distância de predição e o número de coeficientes foram determinados em função do período das múltiplas. Os dados assim preparados foram submetidos à DP multicanal. A seguinte estratégia, foi adotada no presente trabalho:

- 1) Correção de divergência esférica
- 2) Deconvolução do pulso sísmico
- 3) Aplicação de MMO direta
- 4) Organização dos dados para o domínio 'offset'-comum
- 5) Aplicação do filtro multicanal
- 6) Organização dos dados filtrados para o domínio CMP
- 7) Aplicação de MMO inversa

### Filtragem Wiener-Levinson multicanal

Um operador preditivo multicanal age sobre vários traços sísmicos simultaneamente. A teoria multicanal pode ser obtida a partir da monocanal, pela substituição apropriada de escalares por matrizes. Considerando-se o caso de dois canais e um filtro de 3 coeficientes em cada canal, podemos escrever,

$$\tilde{z}_t = \sum_{k=1}^3 x_{t-k+1} a_k + \sum_{k=1}^3 y_{t-k+1} b_k. \quad (1)$$

Ou sob a forma matricial,

$$\begin{bmatrix} \tilde{z}_0 \\ \tilde{z}_1 \\ \tilde{z}_2 \\ \vdots \\ \tilde{z}_m \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 & y_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_1 & y_1 & x_0 & y_0 & 0 & 0 \\ x_2 & y_2 & x_1 & y_1 & x_0 & y_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_m & y_m & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & x_m & y_m & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_m & y_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \\ a_2 \\ b_2 \\ a_3 \\ b_3 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

A expressão para o erro entre valores observados e calculados pode ser representada como segue.

$$e = z - W_0 h_0 - W_1 h_1 - W_2 h_2 \quad (3)$$

onde  $h_j = (a_j \ b_j)^T$ . Minimizando a forma quadrática  $Q(h) = e^T e$  com relação aos parâmetros  $\{a_j, b_j\}$  obtém-se o sistema de equações normais,

$$\begin{bmatrix} R_0 & R_{-1} & R_{-2} \\ R_1 & R_0 & R_{-1} \\ R_2 & R_1 & R_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_0 \\ h_1 \\ h_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_0^T z \\ W_1^T z \\ W_2^T z \end{bmatrix}, \quad (4)$$

onde,

$$R_0 = W_j^T W_j \quad j = 0, 1, 2$$

$$R_1 = W_j^T W_{j+1} \quad j = 0, 1$$

$$R_2 = W_j^T W_{j+2} \quad j = 0$$

$$R_{-j} = R_j^T \quad j = 0, 1, 2$$

A matriz dos coeficientes na equação (4) é bloco-Toeplitz e a solução pode ser obtida com a recursão de Levinson multicanal (Porsani, 1993). Ao invés de escalares, temos blocos de matrizes quadradas de dimensões  $n_c \times n_c$  onde  $n_c$  representa o número de canais, ou seja, traços sísmicos escolhidos para a geração do filtro. Deixando o sinal desejado corresponder a um dos canais de entrada, avançado de  $L$  amostras,  $z_t = x_{t+L}$ , teremos, na solução das equações (4), os coeficientes do operador preditivo multicanal com distância de predição  $L$ . Se o número de canais for apenas um, o método reduz-se ao método convencional de Wiener-Levinson para DP monocanal. Se  $L = 1$  teremos os coeficientes do operador de predição unitária, relacionado com o filtro inverso de WL utilizado na deconvolução do pulso sísmico.

### Aplicação aos dados do Golfo do México

Os dados do levantamento sísmico 2-D do Golfo do México foram adquiridos em mar profundo (cerca de 1500m) com os seguintes parâmetros:

Número de PTs	1000	
Número de traços por PT	180	
Intervalo de PTs	87,5	pés
Intervalo de receptor	87,5	pés
Offset curto	330	pés
Offset longo	15993	pés
Tempo de registro	9,016	s
Razão de amostragem	4	ms

As múltiplas de primeira e segunda ordem relativas ao fundo do mar são facilmente identificadas devido ao seu grande período (em torno de 1.8s). A presença de um corpo de sal subjacente ao assoalho oceânico é responsável pela presença de múltiplas de forte amplitude associadas ao topo e base do sal e 'peg-legs'. Tais múltiplas interferem com as reflexões primárias causando sérias dificuldades de imageamento.

### Remoção de múltiplas do fundo do mar

Para deconvolver as múltiplas do fundo do mar, utilizamos a estratégia citada anteriormente, efetuando uma correção de MMO com velocidade de 1500m/s e aplicando a DP multicanal no domínio 'offset'-comum. A distância de predição variou dentro de cada painel de acordo com o tempo da primária do fundo do mar, sendo a mesma para todos os painéis. O comprimento do operador também variou dentro de cada painel (20% do tempo da primária do fundo do mar) e o número de canais utilizados foi igual a 5.

A figura 1a mostra uma família CMP com aplicação da transformada MMO. Todos os dados são aqui representados a partir de 1,6s. Observa-se a presença da múltipla de primeira ordem do fundo do mar horizontalizada em torno de 3,5s. A figura 1b mostra o mesmo CMP restaurado dos painéis de 'offset'-comum deconvolvidos com a DP multicanal. Observa-se a significativa redução da múltipla do fundo do mar, particularmente nos 'offsets' mais curtos.

### Remoção de múltiplas internas e 'peg-legs'

A supressão das outras múltiplas (topo e base do sal e 'peg-legs') existentes nos dados poderia ser parcialmente realizada se aumentássemos o comprimento do operador, de maneira que a soma da distância de predição e comprimento do operador fosse maior que duas vezes o período das múltiplas (Robinson, 1984). Porém, como a DP utiliza o critério da mínima energia da saída do operador, a distorção nas primárias seria inevitável.

Para a remoção das múltiplas internas a estratégia adotada foi trabalhar em cascata utilizando distâncias de predição e comprimento do operador preditivo adequado a cada múltipla que se pretenda remover. Para tanto utilizamos os dados com as múltiplas do fundo do mar deconvolvidas e, após a correção inversa de MMO, fizemos uma análise de velocidade para determinar quais funções velocidades melhor horizontalizam as outras múltiplas. Analisou-se também quais distâncias de predição e número de coeficientes do filtro preditivo seriam melhor adequados a cada tipo de múltipla.

A figura 2a mostra uma família CMP onde foi feita uma nova correção de MMO para horizontalizar as múltiplas do topo e

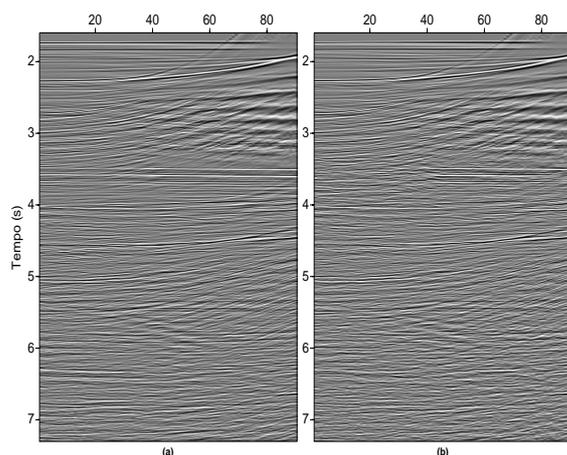


Figura 1: (a) CMP corrigido de MMO com  $v=1500\text{m/s}$ ; (b) O mesmo CMP restaurado dos painéis de 'offset'-comum deconvolvidos com a DP multicanal. Observar a significativa redução da múltipla do fundo do mar, particularmente nos 'offsets' mais curtos.

da base do sal. Observa-se que a primária e as múltiplas correspondentes ao sal (que com a primeira transformada MMO estavam sobrecorrigidas (veja figura 1)), agora encontram-se horizontalizadas. Aplicou-se uma DP multicanal ( $n_c = 5$ ) com distância de predição 2,1s e comprimento do filtro igual a 0,3s. Ainda, com os dados transformados de MMO com essa mesma função velocidade, aplicou-se em cascata uma outra DP multicanal ( $n_c = 5$ ) com distância de predição 2,55s e comprimento do filtro de 0,25s. O resultado pode ser observado na figura 2b, que mostra o mesmo CMP da figura 2a, onde foram aplicadas a DP multicanal para as múltiplas do fundo do mar e mais as duas deconvoluções em cascata citadas acima.

As figuras 3a e 3b mostram, respectivamente, as seções empilhadas sem e com a aplicação da DP multicanal em cascata. Observa-se a significativa atenuação das múltiplas relativas ao fundo do mar, topo e base do sal, bem como das 'peg-legs'.

### Conclusões

Neste trabalho apresentamos o método para obtenção de filtros preditivos multicanais do tipo Wiener-Levinson e o aplicamos à deconvolução de reflexões múltiplas do fundo do mar e 'peg-legs'. Os dados foram processados no domínio 'offset'-comum corrigido de MMO e a DP multicanal foi aplicada em cascata. Conforme ilustram as figuras, os resultados obtidos são bastante satisfatórios, mostrando que a DP multicanal é mais eficaz que a DP monocanal particularmente nos 'offsets' mais curtos. É de se esperar que o método apresente melhores resultados quando aplicados em seções de curtos 'offsets', em dados marítimos de água profunda, vez que o estiramento introduzido pelo MMO supostamente deva ser menor. Na forma como foi utilizado o método de DP multicanal é  $n_c$  vezes mais dispendioso, ( $n_c =$  número de canais), em tempo de processamento, que a DP monocanal.

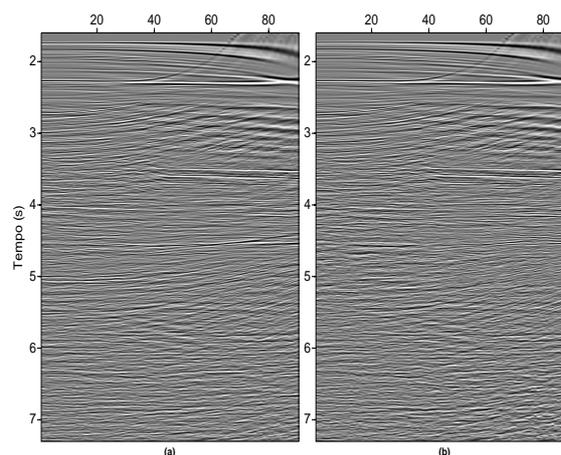


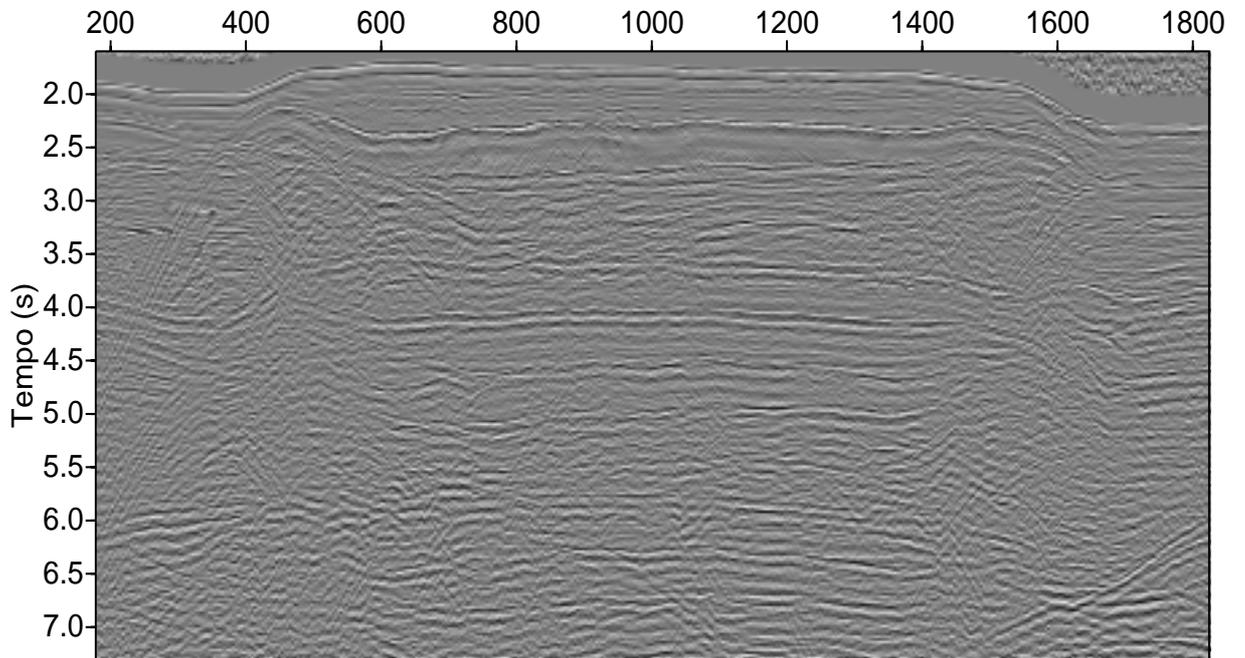
Figura 2: (a) CMP corrigido de MMO com uma função velocidade para horizontalizar as múltiplas do topo e base do sal; (b) O mesmo CMP onde foram aplicadas as DPs multicanal em cascata.

### Agradecimentos

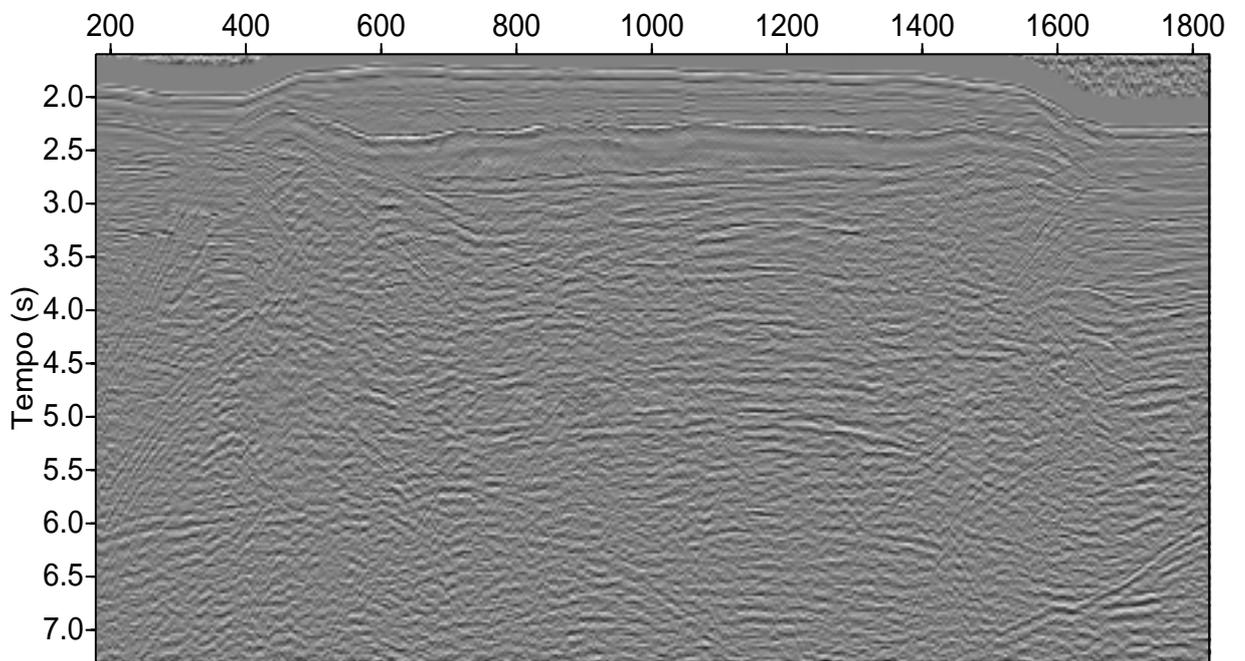
Os autores desejam expressar agradecimentos ao geofísico André Romanelli pelas sugestões apresentadas. Milton Porsani agradece ao CNPq pelo suporte dado à pesquisa e Adriano Lima agradece à PETROBRAS S/A pela oportunidade de realizar o mestrado.

### Referências

- Alan, A. & Austin, J., 1981, *Multiple Suppression using Slant Stacks*, Tech. Report, Western Geophysical Company.
- Barros, A. Z. N. & Porsani, M.J., 1996, *Deconvolução de Múltiplas de Longo Período Usando Filtragem Multicanal*, Anais Seminário Interno da PETROBRAS.
- Lamont, M. G., Hartley, B.M. and Ureu, N.F., 1998, *3D Multiple Moveout Wavefield Transformation for Preconditioning data for Removal of Water Bottom Multiple*. 68th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstract Number SP 6.5.
- Lokshantov, D. E., 1998, *Multiple Suppression by single channel and multichannel deconvolution in the tau-p domain*. 68th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstract Number SP 6.4.
- Porsani, M. J., 1993, *Algoritmo recursivo para solução de sistemas de equações Bloco-Toeplitz*. Publicação interna CPGG/UFBA.
- Robinson, E. A., 1984, *Seismic Inversion & Deconvolution, Part A: Classical Methods*, Geophysical Press.
- Robinson, E.A e Treitel, S., 1980, *Geophysical Signal Analysis*, Englewood Cliffs, Prentice-hall, N.J. 466p.
- Yilmaz, O., 1990, *Seismic Processing*, SEG.



(a)



(b)

Figura 3: Seção empilhada dos dados do Golfo do México (a) antes e (b) após a remoção de múltiplas através da DP multicanal em cascata.