



Deconvolução do pulso sísmico utilizando filtragem Wiener-Levinson multicanal

Raul Dias Damasceno CPGG-UFBA/PETROBRAS

Adriano de Pinho Lima CPGG-UFBA/PETROBRAS

Milton J. Porsani CPGG/UFBA

Abstract

The Wiener-Levinson (WL) method has been widely used in seismic data processing in the petroleum industry being particularly applied to the wavelet deconvolution problem. This step in data processing aims to compressing the seismic pulse, thus increasing the temporal resolution of the seismic sections. The filtered sections is obtained as a result of a convolution operation between the filter and each seismograms, representing a monochannel filtering process. In this paper we show results of application of multichannel WL filters to the wavelet deconvolution problem. The multichannel filters are two-dimensional operators, obtained from the solution of block-Toeplitz system of normal equations, which implicitly consider the lateral coherence of the near traces events. The results of the multichannel and monochannel WL deconvolution are compared and discussed. Semblance graphics associated to the velocity analysis, deconvolved CMPs and stacked seismic sections illustrate that the WL multichannel deconvolution is more efficient than the monochannel one, allowing for a resolution improvement of the reflected events.

INTRODUÇÃO

O objetivo principal da deconvolução do pulso sísmico é o aumento da resolução temporal das seções sísmicas. As técnicas de deconvolução normalmente utilizadas no processamento de dados sísmicos são baseadas na filtragem ótima de Wiener-Levinson (WL). Os filtros são obtidos como solução das equações normais na qual a matriz dos coeficientes é a matriz de autocorrelação Toeplitz, banda-estruturada, cujos elementos correspondem aos coeficientes da função de autocorrelação do pulso que se deseja comprimir (Duarte, 1987; Robinson e Treitel, 1980; Yilmaz, 1987, Porsani, 1996).

Enquanto que no processamento monocanal a resposta do filtro depende de cada traço individualmente, no processamento multicanal vários traços participam simultaneamente na obtenção do traço filtrado. Desta forma a filtragem WL multicanal explora de forma mais efetiva a redundância de informações presente nos dados de levantamentos sísmicos e possibilita que os filtros, naturalmente, tomem em conta a coerência lateral dos eventos presentes nos traços adjacentes. A obtenção e aplicação dos filtros bidimensionais, utilizados na deconvolução multicanal, é realizada de forma análoga aos filtros preditivos WL monocanais. O algoritmo representa, matematicamente, a extensão da álgebra escalar para álgebra matricial. O custo computacional maior da filtragem multicanal é compensado

pele aumento de resolução obtido, conforme exemplificado pelos resultados numéricos apresentados. Neste trabalho aplicamos filtros WL multicanais na deconvolução do pulso sísmico. Os resultados são analisados frente aqueles obtidos com o método WL monocanal. Gráficos de *semblances* associados a análises de velocidades, CMPs deconvolvidos e em seções sísmicas marítimas deconvolvidas e empilhadas ilustram que a deconvolução WL multicanal é mais eficaz que a monocanal, propiciando maior resolução temporal, ao mesmo tempo em que fornece uma melhor continuidade dos eventos refletidos.

TEORIA

Filtragem Monocanal

O modelo convolucional do traço sísmico pode ser representado pela equação,

$$x_t = w_t * e_t + n_t \quad (1)$$

onde:

x_t – sismograma registrado

p_t – pulso sísmico

e_t – resposta impulsiva da terra

n_t – ruído aleatório

Considerando o modelo autoregressivo para representar o traço sísmico,

$$\tilde{x}_t = \sum_{k=1}^N x_{t-k+1} a_k, \quad (2)$$

podemos obter os coeficientes preditivos $\{a_j\}$ resolvendo-se o sistema de equações normais,

$$\begin{bmatrix} r_0 & r_1 & \dots & r_{N-1} \\ r_1 & r_0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & r_1 \\ r_{N-1} & \dots & r_1 & r_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_N \end{bmatrix}, \quad (3)$$

onde r_k , $k = 0, \dots, N$, representam os coeficientes estimados da função de autocorrelação do pulso sísmico que se deseja deconvolver. O filtro inverso de WL corresponde ao operador preditivo de erro cujos coeficientes são os operadores de predição,

$$(1 \ g_1 \ \dots \ g_N)^T = (1 \ -a_1 \ \dots \ -a_N)^T.$$

O pulso sísmico é considerado ser de fase mínima, já que o filtro de WL, g_t , sempre é de fase mínima (Robinson e Treitel, 1980). Desta forma, $g_t \approx p_t^{-1}$, ou seja,

$$g_t * p_t \approx \delta_t = \begin{cases} 0 & t \neq 0 \\ 1 & t = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Consequentemente, convolvendo-se o traço sísmico com o filtro inverso de WL podemos comprimir o pulso e estimar a resposta impulsiva da terra,

$$g_t * x_t = g_t * p_t * e_t \approx \delta_t * e_t = e_t$$

Filtragem Multicanal

Um operador preditivo multicanal age sobre vários traços sísmicos simultaneamente. A teoria multicanal pode ser obtida da monocanal pela substituição apropriada de escalares por matrizes. Para fins de ilustração deixemos o filtro ter 3 coeficientes em cada canal e atuar sobre 2 canais. Podemos escrever,

$$\tilde{z}_t = \sum_{k=1}^3 x_{t-k+1} a_k + \sum_{k=1}^3 y_{t-k+1} b_k. \quad (5)$$

Ou sob a forma matricial,

$$\begin{bmatrix} \tilde{z}_0 \\ \tilde{z}_1 \\ \tilde{z}_2 \\ \vdots \\ \tilde{z}_m \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 & y_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_1 & y_1 & x_0 & y_0 & 0 & 0 \\ x_2 & y_2 & x_1 & y_1 & x_0 & y_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_m & y_m & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & x_m & y_m & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_m & y_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \\ a_2 \\ b_2 \\ a_3 \\ b_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

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

$$\underline{\epsilon} = \underline{z} - \mathbf{W}_0 \underline{h}_0 - \mathbf{W}_1 \underline{h}_1 - \mathbf{W}_2 \underline{h}_2 \quad (7)$$

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

$$\begin{bmatrix} \mathbf{R}_0 & \mathbf{R}_{-1} & \mathbf{R}_{-2} \\ \mathbf{R}_1 & \mathbf{R}_0 & \mathbf{R}_{-1} \\ \mathbf{R}_2 & \mathbf{R}_1 & \mathbf{R}_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{h}_0 \\ \underline{h}_1 \\ \underline{h}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{W}_0^T \underline{z} \\ \mathbf{W}_1^T \underline{z} \\ \mathbf{W}_2^T \underline{z} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

onde,

$$\mathbf{R}_0 = \mathbf{W}_j^T \mathbf{W}_j \quad j = 0, 1, 2$$

$$\mathbf{R}_1 = \mathbf{W}_j^T \mathbf{W}_{j+1} \quad j = 0, 1$$

$$\mathbf{R}_2 = \mathbf{W}_j^T \mathbf{W}_{j+2} \quad j = 0$$

$$\mathbf{R}_j = \mathbf{R}_{-j}^T \quad j = 0, 1, 2$$

A matriz dos coeficientes na equação (8) é bloco-Toeplitz e a solução pode ser obtida com a recursão de Levinson multicanal (Robinson, 1967). Ao invés de escalares temos blocos de matrizes quadradas de dimensões $n_c \times n_c$ onde n_c representa o número de canais (traço sísmico) escolhidos para a geração do filtro.

No exemplo dado, deixando $z_t = x_{t+1}$, teremos os coeficientes do filtro predizendo a amostra imediatamente a frente. Então, o vetor solução, \underline{h}_j , representará o operador de predição unitária para predição de \tilde{x}_{t+1} a partir dos canais x_t e y_t . O erro de predição $e_t = x_t - \tilde{x}_t$, $t = 1, \dots, M$ representará o traço deconvolvido com o filtro multicanal ($n_c = 2$) de predição unitária.

Se o número de canais for igual a 1, a equação (8) resulta igual a equação (3) e o método reduz-se no método convencional monocanal de Wiener-Levinson para obtenção do filtro de predição unitária.

RESULTADOS NUMÉRICOS

Foram aplicadas as deconvoluções mono e multicanal a dados provenientes do Golfo do México, os quais tem um grande problema de imageamento devido a presença de um corpo de sal.

As análises de velocidade apresentadas na figura 1, demonstram que a deconvolução multicanal (figuras 1c e 1d) além de atenuar consideravelmente a energia proveniente das múltiplas, foi capaz de definir melhor a função velocidade em relação a deconvolução monocanal, (figura 1b), facilitando assim a sua interpretação. Observar que, quanto maior número de canais utilizados maior será este efeito (comparar figuras 1d e 1c). Os CMPs que deram origem aos gráficos da figura 1 são mostrados na figura 2. Após a aplicação de deconvolução multicanal fica evidente o surgimento de reflexões primárias não ressaltadas com a utilização da deconvolução monocanal. Observar o intervalo entre 2,0 e 3,0 segundos e o evento em 4,8 segundos. Este último visível apenas a partir da seção 2c. Na figura 3, compara-se seção empilhada original (figura 3a) com as respectivas seções deconvolvidas com 1 e 3 canais (figuras 1b e 1c). Observa-se que na figura 3c a deconvolução multicanal confere uma melhor continuidade dos eventos aumentando a resolução com relação a seção monocanal. Como exemplo, observar intervalo entre 3,5 e 4,5 segundos.

CONCLUSÕES

A deconvolução multicanal se mostrou mais efetiva em todos os testes realizados, tanto aumentando a resolução, quanto atuando como um filtro em relação aos ruídos possibilitando a geração de uma seção mais limpa. Quanto ao número de canais utilizados, a medida que o número destes cresce a resolução é incrementada. A deconvolução multicanal do pulso sísmico portanto, poderia ser um procedimento corriqueiro no processamento, embora exija um maior tempo computacional que cresce com o número de canais utilizados. Entretanto a comparação entre a utilização de 3 e 5 canais mostrou que, com 3 canais já se obtém um resultado bastante satisfatório.

AGRADECIMENTOS

Raul Dias Damasceno e Adriano de Pinho Lima agradecem à PETROBRAS a oportunidade de estarem cursando o mestrado no CPGG/UFBA. Milton Porsani agradece ao CNPq pelo apoio dado à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Duarte, O. O., 1987, Deconvolução Preditiva: Uma Análise Crítica, II Encontro Regional de Geofísica da SBGF, Salvador.
- Porsani, M. J., 1996, Fast algorithms to design discrete Wiener filters in lag and length coordinates: Geophysics, vol.61,NO.3, p.882-890.
- Robinson, E. A., 1967, Multichannel time series analysis with digital computer programs, San Francisco, Holden-Day.
- Robinson, E. A e Treitel, S., 1980, Geophysical Signal Analysis, Englewood Cliffs, Prentice-hall, N.J. 466p.
- Yilmaz, O., 1987, Seismic data processing: Society of Exploration Geophysicists, 526p.

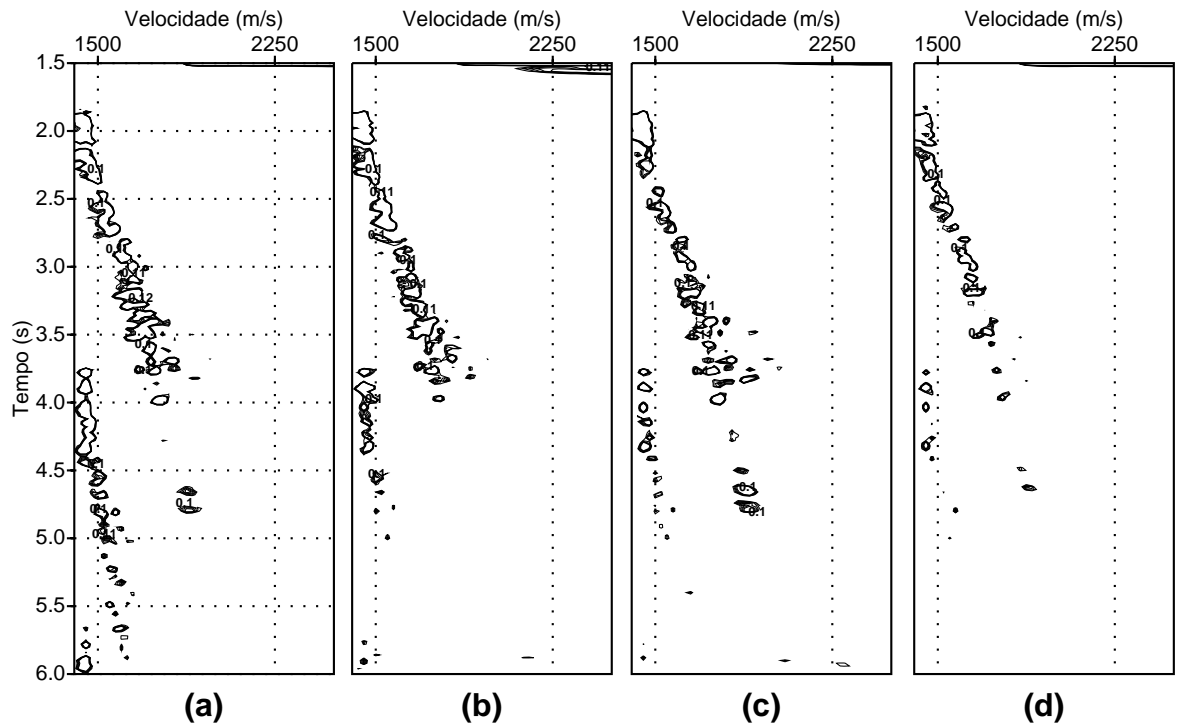


Figura 1: *Semblances* associados a análises de velocidade em dados deconvolvidos no domínio do *offset* comum. a - Dados originais; b - Dados com deconvolução monocanal; c - Dados com deconvolução com 3 canais; d - Dados com deconvolução com 5 canais. Observar a melhor definição da função velocidade relacionada às primárias em detrimento da relacionada às múltiplas nas figuras c e d correspondentes as deconvoluções multicanal

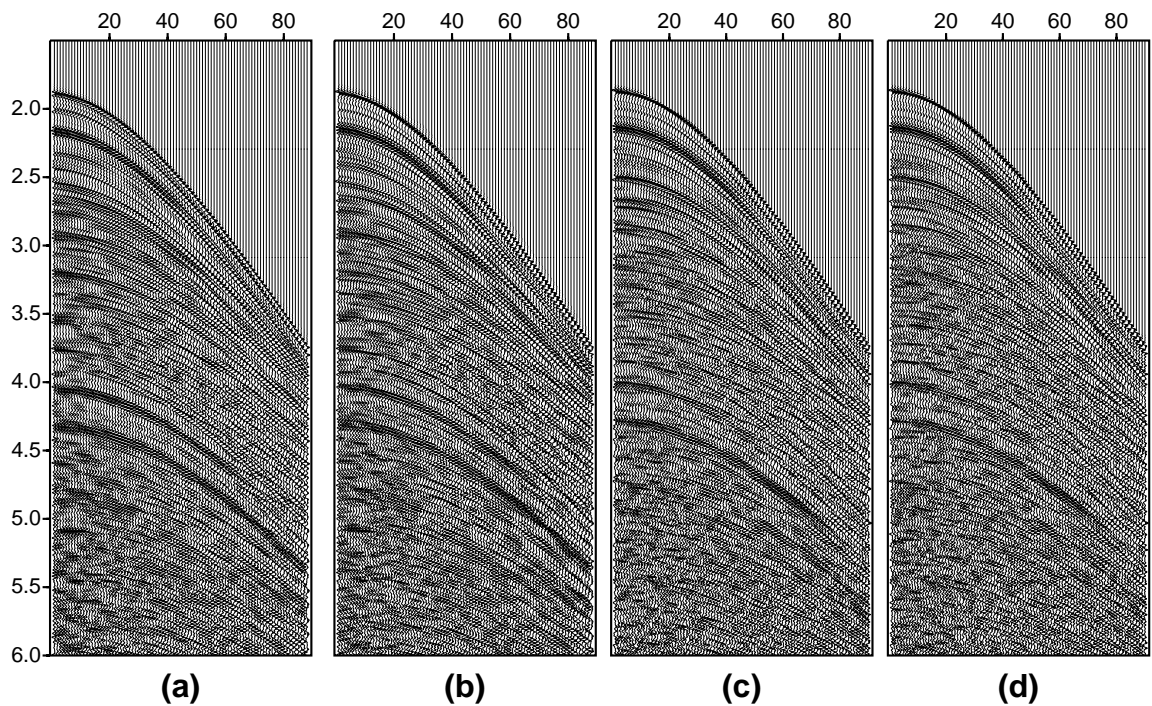
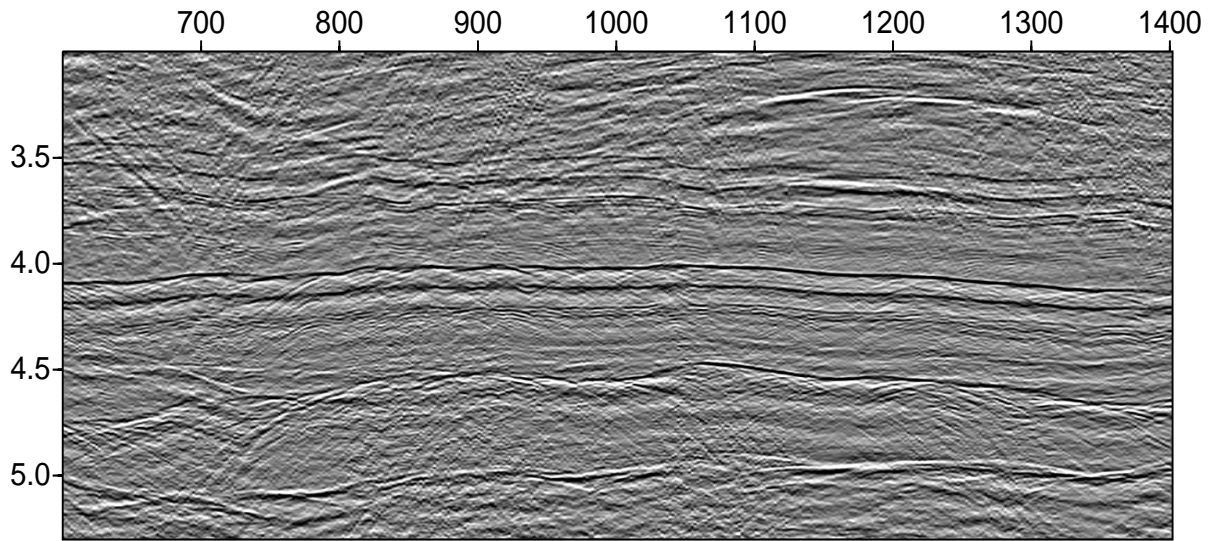
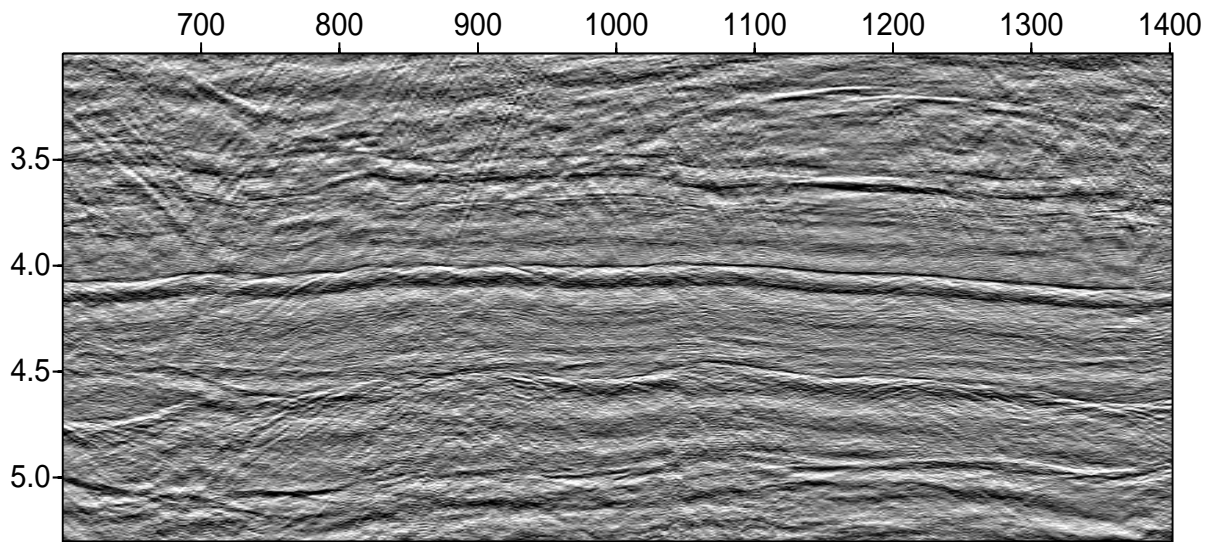


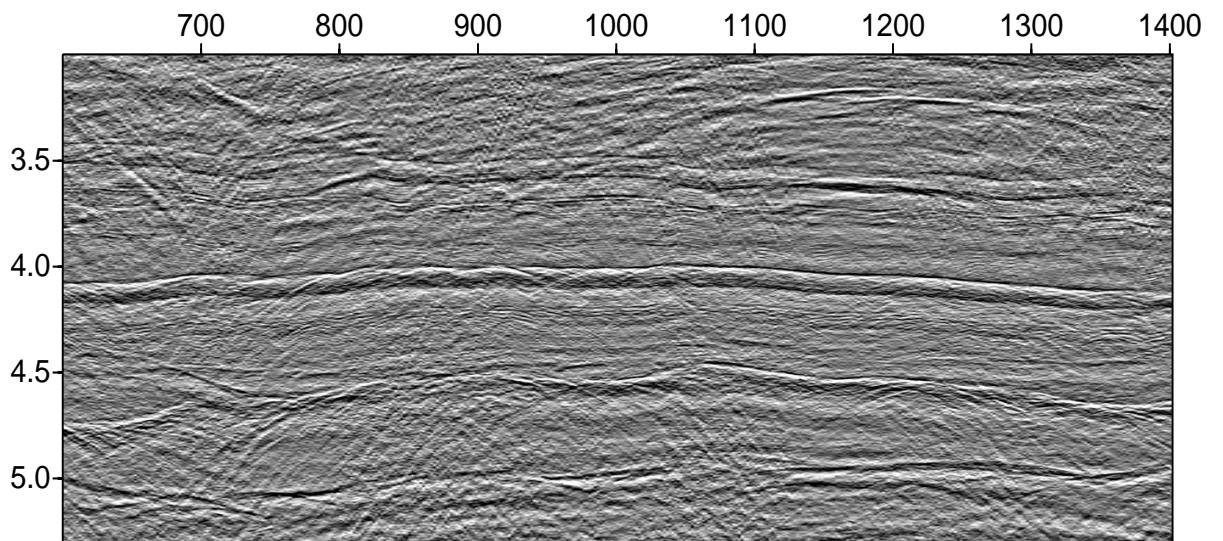
Figura 2: CMPs associados a dados deconvolvidos no domínio do *offset* comum. a - Dados originais; b - Dados com deconvolução monocanal; c - Dados com deconvolução com 3 canais; d - Dados com deconvolução com 5 canais. Observar a maior resolução e melhor caracterização das reflexões primárias nos dados em (c).



(a)



(b)



(c)

Figura 3: Comparação entre as seções sem deconvolução (a), com deconvolução monocanal (b) e multicanal, $nc=3$ (c).