



Aplicação do WTdecon - deconvolução colorida implementada por Transformada Wavelet

Evaldo C Mundim, Heron A. Schots, João M. de Araújo, Petrobras S.A., Deilson M. Tavares, ITechGeo

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility 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.

Abstract

This paper presents the application of WTdecon, a new seismic deconvolution technique applied to deep water seismic data in Campos Basin, Brazil. WTdecon deconvolution doesn't rely on the white reflectivity hypothesis, instead associates the reflectivity series to major fluctuations on the trace amplitude spectrum. The seismic wavelet is the smoothest component being obtained by Wavelet Transform decomposition of the seismic amplitude spectrum. Given that, the deconvolution is implemented in a deterministic way.

Introdução

A despeito do grande avanço no processamento de dados sísmicos obtido nos dias atuais, um grande desafio é sempre colocado pelos intérpretes – aumentar a resolução sísmica, não importa quão satisfatório tenha sido o resultado obtido. Não são os intérpretes uns eternos insatisfeitos, mas o fato de que toda melhoria na qualidade sísmica possibilita uma melhoria na interpretação que acaba por gerar, principalmente numa abordagem de caracterização de reservatórios, novas questões, cuja solução demanda uma nova sísmica de melhor qualidade e com maior resolução. Sempre existirá um folhelho delgado, que é uma barreira de fluxo importante e que precisa ser mapeado.

Este artigo não pretende resolver este problema, mas apenas apresentar os resultados da implementação de uma nova técnica de deconvolução monocanal, o WTdecon, que tem um grande potencial na recuperação de altas frequências do dado sísmico.

Na implementação de um algoritmo de deconvolução faz-se necessário conhecer o operador a ser deconvolvido, ou assumir alguma hipótese adicional sobre este operador ou sobre a função refletividade, como a hipótese da refletividade branca assumida na deconvolução convencional. Neste trabalho, assume-se uma hipótese mais fraca, veja Rosa & Ulrych (1991) – o componente mais rugoso do processo convolutivo é a função refletividade, sendo que a wavelet sísmica é o componente mais suave.

Esta hipótese, permite que se associe a refletividade com as flutuações no espectro de amplitude do traço sísmico e se efetue uma deconvolução determinística a

partir da “modelagem” da wavelet sísmica por Transformada de Wavelet do espectro de Amplitude do traço, Tavares (2004), Tavares et al (2005).

Transformada Wavelet

A análise de *wavelet* é uma área da matemática que está em rápido desenvolvimento. Novas aplicações surgem em vários ramos da ciência e da engenharia. Enquanto a Transformada de Fourier mostra o conteúdo de frequências do sinal sem posicioná-lo, a *Transformada Wavelet* é uma transformada localizada tanto na frequência como no tempo. Diferentemente da transformada de Fourier janelada, que usa uma janela constante para localizar os eventos no tempo e na frequência, a *Transformada Wavelet* usa uma função de escalas adaptando cada escala a uma banda de frequências.

A *Transformada Wavelet* contínua é uma transformada integral definida como:

$$C_x^\Psi(t, s) = \frac{1}{\sqrt{s}} \int x(t) \Psi\left(\frac{t-t}{s}\right) dt \quad (1)$$

Na equação acima, C , os coeficientes da *Transformada Wavelet*, representa o domínio transformado (tempo-escala) da função x (domínio tempo) usando uma *wavelet* mãe Ψ posição τ e escala S . Esta distribuição no domínio (S, τ) , que fornece informação sobre a evolução de componentes de diferentes escalas no tempo, é também chamada de espectro de *coeficientes wavelet*. A função *wavelet* é definida como onda de duração finita e norma L^2 unitária.

A *Transformada Discreta de Wavelets* (DWT) é definida como:

$$C_x^\Psi(k, 2^j s) = \int x(t) \frac{1}{\sqrt{2^j}} \Psi\left(\frac{t-k}{2^j}\right) dt \quad (2)$$

Onde j é um índice de escala e k o de localização. A sua implementação é realizada via banco de filtros e as correspondentes famílias de wavelets formam bases ortogonais ou biortogonais. A discretização utilizada para a implementação da DWT é realizada tanto em escala quanto em deslocamento de forma diádica, em potência de dois conforme esquema da figura 1.

A DWT é inversível e respeita o teorema de partição da energia quando realizada com Wavelets ortonormais. A reconstrução pode ser feita de forma independente para cada coeficiente em cada um dos j níveis de decomposição implementados.

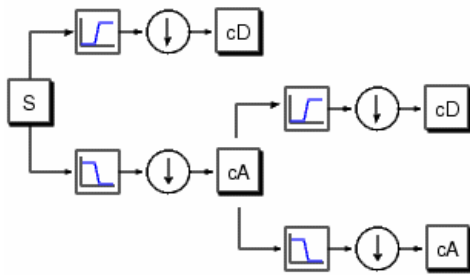


Figura 1: Árvore de decomposição da Transformada de Wavelet, S é o sinal de entrada e cD refere-se aos coeficientes de detalhe e cA aos coeficientes de aproximação em cada um dos j níveis de decomposição

A WTdecon

O traço sísmico, $X(t)$, pode ser representado como a convolução de uma função refletividade (característica geológica da terra – $e(t)$) com uma wavelet sísmica (pulso gerado pela fonte sísmica - $W(t)$).

$$X(t) = e(t) * W(t) \quad (3)$$

A equação 3, no domínio da Transformada de Fourier é descrita como o produto das transformadas.

$$x(w) = e(w).W(w) \quad (4)$$

que reescrita em termos dos espectros de amplitude e fase e submetida a uma transformação homomórfica será:

$$\begin{cases} \ln[A_X(w)] = \ln[A_e(w)] + \ln[A_W(w)] \\ \mathbf{j}_X(w) = \mathbf{j}_e(w) + \mathbf{j}_W(w) \end{cases} \quad (5)$$

Sabemos que a wavelet sísmica deve ter uma natureza bastante diversa da refletividade. O pulso sísmico é gerado por uma fonte explosiva, da qual se espera essencialmente um espectro suave, finito, com decaimento de energia na direção às altas frequências. Já a refletividade é uma função bem mais complexa, acoplada a geologia, deve possuir um espectro bastante rugoso e sem decaimento, mas não necessariamente branco. Esta hipótese, menos restritiva que a hipótese da refletividade branca, é assumida na implementação do WTdecon, que ao associar a refletividade com as maiores flutuações no espectro de amplitude do traço sísmico permite que se modele a wavelet sísmica como um dos j quaisquer coeficientes de aproximação da transformada de wavelet deste mesmo espectro e se efetue sua deconvolução de forma determinística.

A WTdecon é uma técnica monocal que opera apenas com o espectro de amplitude não tecendo maiores considerações sobre a fase. Para dados pré-empilhamento assume-se um pulso de fase mínima que é calculada a partir do espectro de amplitude utilizando as relações de Wener ou Transformada de Hilbert e para dados pós-empilhamento assume-se a fase zero.

A figura 2 apresenta o resultado da aplicação desta metodologia em um traço sintético. Observe que o

WTdecon conseguiu recuperar perfeitamente a refletividade original, exceto, por pequenos efeitos de borda associados ao caráter discreto do modelo utilizado que também são visíveis na deconvolução convencional.

Pode se observar na figura 3a os resultados obtidos com o WTdecon em um traço sísmico real. Os traços 1 a 4 são os resultados da deconvolução do traço 0 utilizando cada uma das escalas da Transformada Wavelet. Observa-se que o espectro de amplitude obtido para a wavelet sísmica, figura 3b, torna-se mais suave com o aumento do nível de decomposição, sendo que a partir do terceiro nível assume um caráter suave, conforme o esperado. Não existe uma forma objetiva de se selecionar o melhor resultado, que neste exemplo é obtido no terceiro nível de decomposição. A avaliação da suavidade do espectro da wavelet obtido pode ser um guia mas a decisão final sempre caberá a uma análise visual dos resultados.

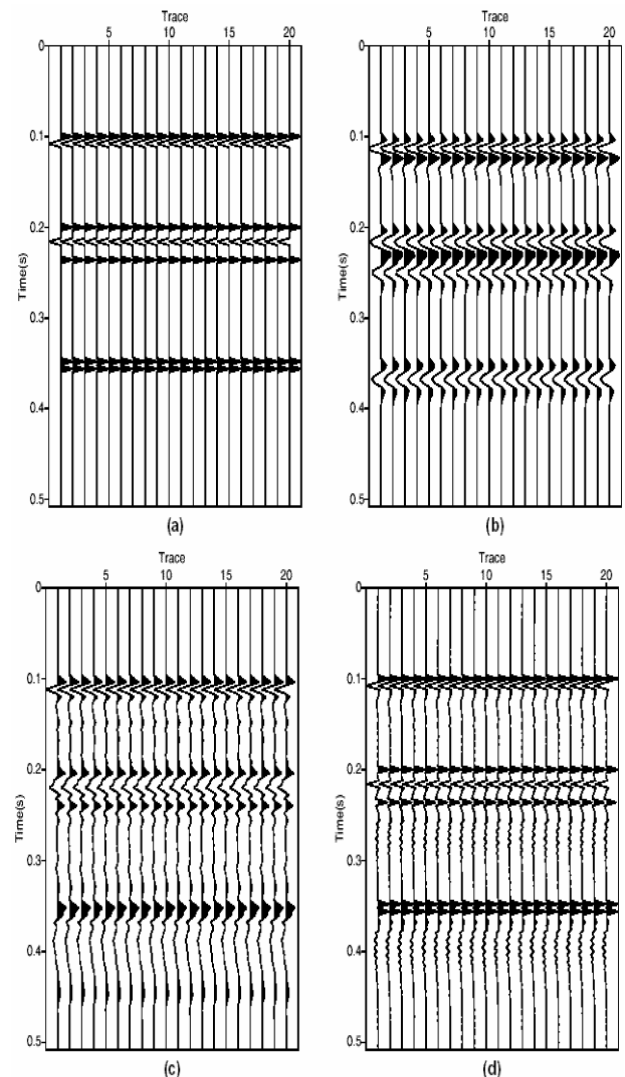


Figura 2: Aplicação em dados sintéticos. a) Modelo de Refletividade; b) Traço sísmico Convencional; c) Deconvolução convencional; d) WTdecon. (in Tavares et al; 2005)

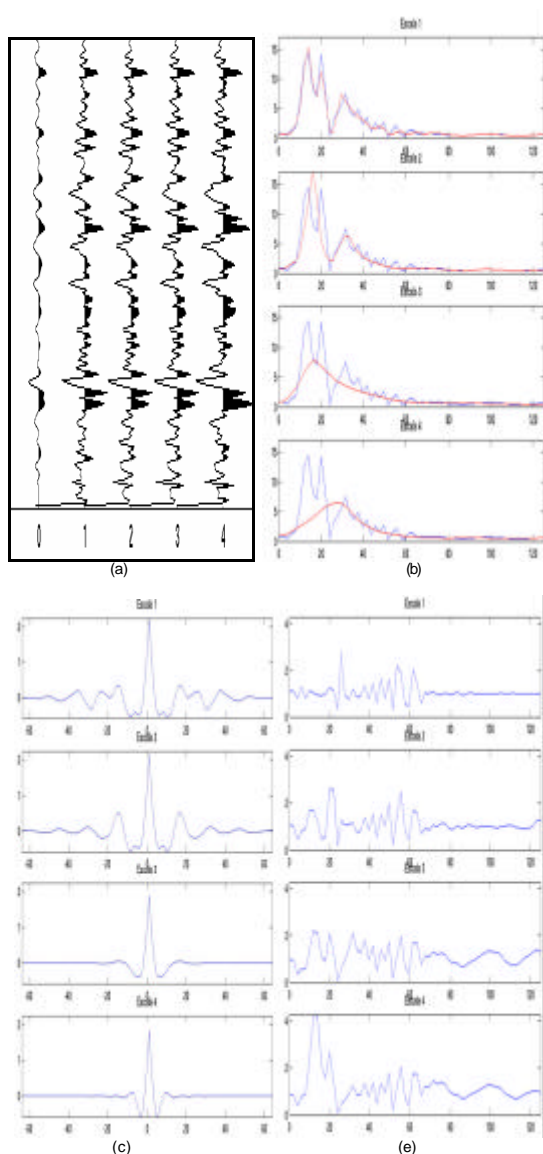


Figura 3: Na figura (a), 0 é o traço sísmico real utilizado neste exemplo e os traços de 1 a 4 são as possíveis soluções WTdecon. Na figura (b) a curva em azul representa o espectro de amplitude do traço 0, em vermelho o espectro de amplitude das wavelets sísmicas, representadas em (c), obtidas utilizando cada um dos 4 coeficientes de aproximação da Transformada Wavelet. O espectro de amplitude dos traços deconvolvidos (espectro da refletividade) podem ser observados em (e).

Resultados

A deconvolução WTdecon foi aplicada com sucesso em dados sísmicos 3D de águas profundas da Bacia de Campos. Conseguiu-se um aumento significativo de resolução sem comprometer a qualidade da amplitude obtida, e sem perda significativa na razão sinal/ruído.

Na figura 4 pode-se observar uma seção sísmica de um campo de águas profundas. A figura 5 apresenta a mesma seção após o WTdecon e na figura 6 estão os gráficos dos espectros de amplitude e fase desta seção

antes e após o WTdecon. Observa-se que o ganho de resolução é bastante efetivo. Isto fica bem claro na análise do reservatório perfurado pelo poço horizontal well-2, que não estava resolvido no dado sísmico original e cujo topo fica bem marcado por um pico negativo após o WTdecon. Na figura 7, pode-se observar a qualidade obtida na amarração sísmica-poço do dado WTdecon, bem como o aumento de resolução promovido. Observe que a camada de folhelho interna ao reservatório, bem marcada no perfil sônico não é resolvida no dado sísmico original e a interferência de sua reflexão falseia a real espessura do reservatório e prejudica a amarração sísmica-poço. Entretanto no dado deconvolvido pelo WTdecon esta camada de folhelho é resolvida, de forma que o topo do reservatório fica claramente associado a um pico negativo.

Conclusões

A aplicação da nova metodologia de deconvolução apresentada mostrou que esta é uma ferramenta muito poderosa para recuperação de altas frequências em dados sísmicos pós-empilhamento. É um processamento monocanal e não necessita de nenhuma outra informação adicional.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a PETROBRAS por ter autorizado esta publicação e pelo apoio e incentivo dados através do programa de pesquisa Pravap19. Agradecemos também aos colegas Rui Cesar Sansonowski, Nier Ribeiro Junior, Ana Maria Castoldi Moliterno, Ana Zelia Nunes de Barros, Victor Hugo Viviani, Marimônica Roberta Jaeger De Carvalho e Carlos Rodriguez Suarez pelas figuras cedidas e pelas valiosas sugestões.

Referências

- Burrus, C. S., Gopinath, R. A., Guo, H. *Introduction to Wavelets and Wavelets Transforms*, 268 pags, Printece Hall, 1998.
- da Silva, F. B. *Aplicação da Deconvolução Homomórfica Multicanal e Bidimensional à Sísmica de Reflexão*, Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia, 130 p., 1986.
- Rosa, A. L. R. & Ulrych, T. J., *Processing Via Spectral Modeling*, Geophysics 56, p 1244 a 1251, 1991.
- Tavares, D.M. *Tempo e Frequência na Geofísica e na Física de Sistemas Complexos: Novos Métodos*, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 167p., 2004
- Tavares, D. M., Lucena, L. S., Schots, H. A., Mundim. E. C., Herrmann, F. *The Decovolution of Seismic Data as Fluctuation Analysis*. Integrated Computer-Aided Engineering. Volume 12, Number 1/2005, p 25 a 42, 2005

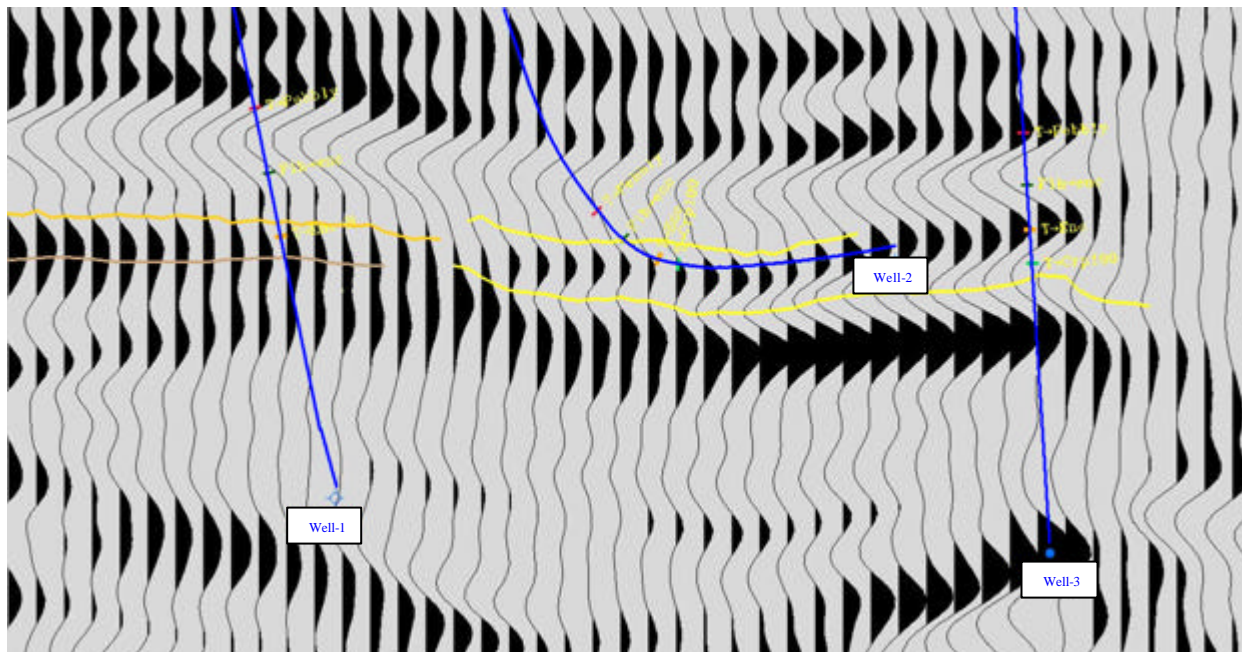


Figura 4: Dado sísmico 3D do offshore da Bacia de campos com o processamento original. Observe que o poço Well-2, cujo trecho horizontal encontra-se em um reservatório turbidítico baixa espessura não resolvido nesta seção sísmica.

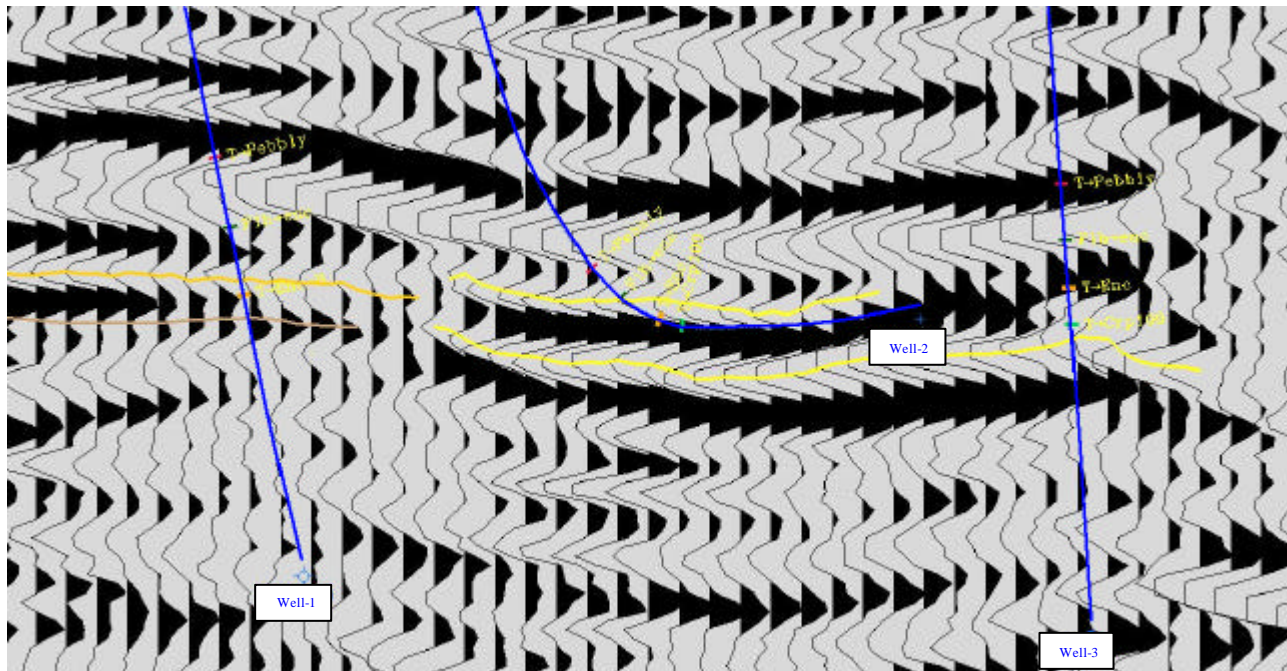


Figura 5: Mesma seção apresentada na figura anterior deconvolvida por WTdecon. Observe o aumento de resolução obtido. O corpo turbidítico perfurado pelo well-2 está agora claramente resolvido.

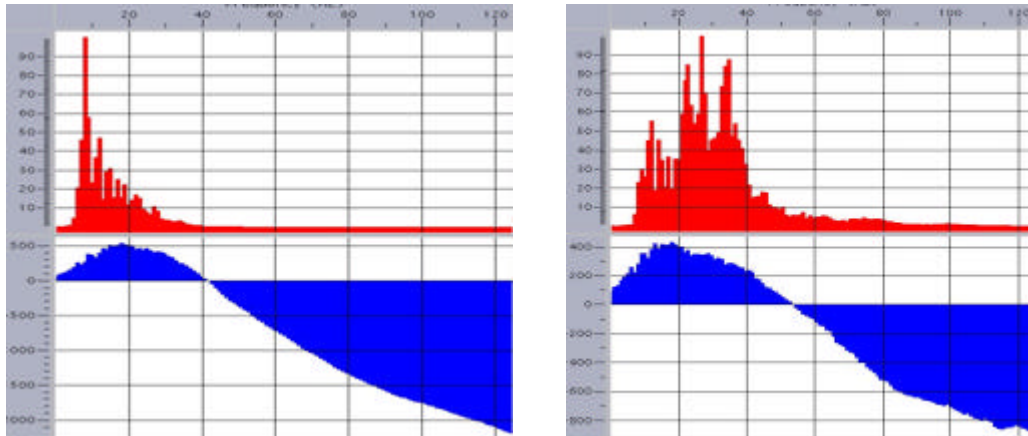


Figura 6: Espectro de amplitude e fase na janela do reservatório das seções apresentadas na figura anterior. A figura da esquerda refere-se ao dado sísmico original, a da direita ao dado com deconvolução WTdecon. Observe a recuperação da banda útil de frequências promovida pelo WTdecon sem afetar a fase do dado.

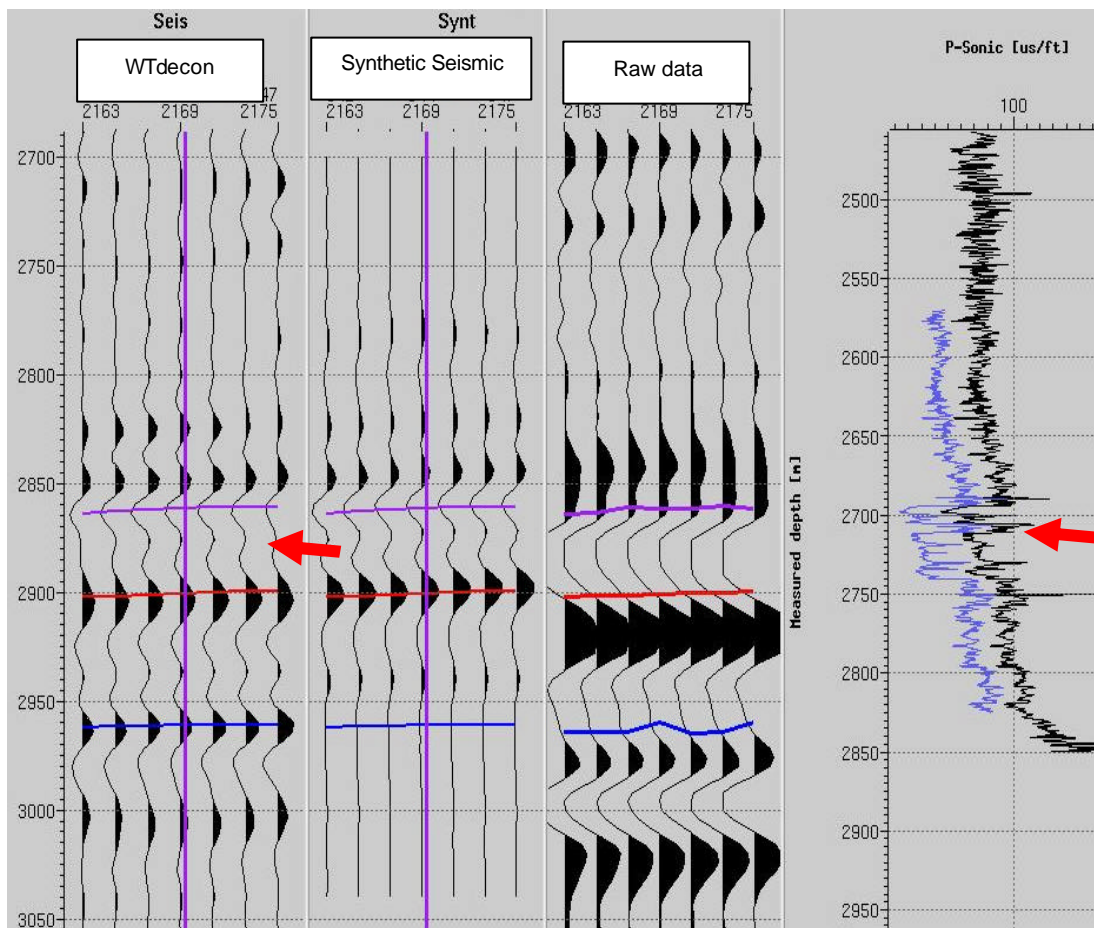


Figura 7: Poço de Offshore da Bacia de Campos. Observe a excelente amarração sísmica-poço obtida com o WTdecon. O horizonte roxo, topo do reservatório, está mapeado no dado original como um zero-cross e se revela com um pico negativo no dado deconvolvido em função do aumento da resolução obtido. Observe também que a camada de folhelho, apontada pela seta vermelha, não identificável no dado original aparece no dado deconvolvido.