



## Inversão sísmica para impedância acústica na caracterização de reservatórios: impacto da extração da *wavelet* e do aumento da banda de frequências

Letícia de Ávila Acquaviva \* e Emilson Pereira Leite, UNICAMP

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.

### Abstract

The main objective of seismic inversion to acoustic impedance is to recover the subsurface parameters describing the reservoir from seismic reflection data (Pendrel, 2001). The main difficulty in this process is the limited bandwidth of the seismic data. In this work, a method for deconvolution using information from the low frequency component provided from the well data was applied to real data from Namorado Field, in Campos Basin. The method was performed with synthetic *wavelets* and *wavelets* extracted from seismic-well tie. With this study, we have verified the importance of extracting *wavelets* to obtain more accurate results of seismic inversion as well as the influence of the frequency content incorporated to acoustic impedance models.

### Introdução

Dentre as inúmeras aproximações que tem sido feita para melhorar a interpretação de seções sísmicas pós-empilhamento, um grande esforço está sendo aplicado a fim de aumentar o poder de resolução dessas seções e o melhor mapeamento da litologia com dados de reflexões sísmicas. O dado sísmico pode ser caracterizado pelo modelo convolucional e pela hipótese de que a refletividade é representada por um trem de impulsos esparsos (e.g. Oldenburg, 1983). Na prática, a refletividade é uma série de coeficientes de reflexão que representa a resposta do sinal sísmico às mudanças na impedância acústica do meio. Um modelo simples e útil de um traço sísmico ( $s(t)$ ) é representado pela convolução (\*) entre a refletividade ( $r(t)$ ) e o pulso sísmico (*wavelet*,  $w$ ), somado ao ruído ( $n$ ), da seguinte forma:

$$s(t) = r(t) * w + n \quad (1)$$

Os ruídos podem ser provenientes da dispersão da *wavelet*, da perda de energia por transmissão nas interfaces entre as camadas e das reflexões múltiplas e quando possível devem ser incluídos na análise dos dados (Oldenburg, 1983). Para o propósito desse trabalho, entretanto, admite-se que o dado foi adequadamente processado de forma que o valor de  $n$  é desprezível. Mesmo após todo o processamento, um pulso residual, seja de fase zero ou não, estará presente

e, conseqüentemente, os dados permanecem de banda limitada no domínio da frequência. Portanto, para que os resultados da inversão desses dados reflitam as tendências de aumento da velocidade da onda sísmica e da densidade com a profundidade, é necessária uma remoção adequada desse pulso (Russel, 1991). A fim de obter a impedância de subsuperfície por meio de dados sísmicos é necessário levar em conta a natureza de banda limitada desses dados, especialmente as baixas frequências (Lines & Treitel, 1984). Uma impedância estimada do dado de poço é combinada no domínio da frequência com o dado sísmico, também nesse mesmo domínio, de acordo com a figura 1.

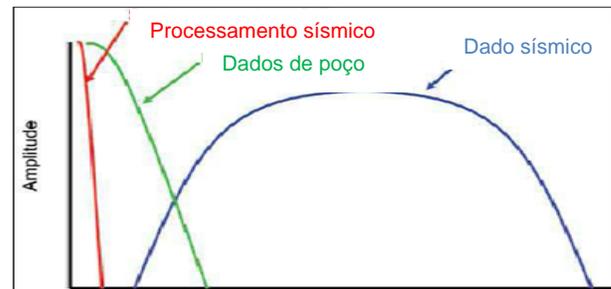


Figura 1– Conteúdo de frequências dos diferentes tipos de dados que podem estar envolvidos na inversão sísmica.

A análise do espectro de frequências dos dados sísmicos permite avaliar quais valores de frequência devem ser incorporados no dado de banda limitada. Alguns trabalhos publicados utilizam esse método de inversão na caracterização de reservatórios (e.g. Sancevero, 2006 & Ferguson, 1996).

### Metodologia

O método pode ser descrito pelas seguintes etapas:

- 1) Calcula-se a impedância estimada a partir dos perfis de poços, densidade ( $\rho$ ) e sônico (DT).
- 2) Converte-se a profundidade para tempo de ida e volta e reamostramos (1) na escala sísmica.
- 3) Calcula-se os coeficientes de reflexão a partir de (2).
- 4) Extraímos a *wavelet* resolvendo o sistema linear  $W \cdot r = s$  para  $W$ .
- 5) Obtém-se a refletividade do traço sísmico por meio da deconvolução do traço com a *wavelet* extraída.
- 6) Aplica-se a Transformada de Fourier em (5) e verifica o conteúdo de *frequência* do mesmo.

- 7) Aplica-se um filtro passa-baixa no conteúdo de frequência de (4).
- 8) Incorporam-se as frequências selecionadas de (7) pelo filtro em (6).
- 9) Aplica-se a Transformada Inversa de Fourier para o resultado de (9).
- 10) Computa a impedância acústica a partir de (10).

Todo o processo foi feito, primeiramente, para uma *wavelet* sintética do tipo Ricker e se compara os resultados com a inversão feita para a *wavelet* extraída na amarração sísmica-poço. Na etapa (6), é gerada uma série de soluções de refletividades que estão de acordo com o modelo deconvolucional proposto. A fim de retratar da melhor forma o ambiente real de subsuperfície, o cálculo desses coeficientes é feito de forma iterativa com o objetivo de minimizar a função objetivo abaixo:

$$F = L_1(r) + \lambda L_2(s - d) \tag{2}$$

utilizando programação linear e o método do gradiente descendente. O termo  $L_1(r)$  representa a norma  $L_1$  dos coeficientes de reflexão.  $L_2$  é a norma  $L_2$  que representa a diferença entre os dados sísmicos observados e os dados sísmicos calculados. O parâmetro  $\lambda$  é um peso atribuído à minimização do segundo termo de (2), ou seja, quanto maior o seu valor, menor será a esparsidade da solução, controlada pelo termo  $L_1(r)$ . O processo de obtenção do vetor  $r(t)$  pela minimização de (2) nada mais é do que uma deconvolução dos dados sísmicos. A frequência de corte do filtro passa-baixa a ser aplicado no resultado da etapa (3) é determinada através de testes envolvendo a variação deste valor no algoritmo e análise dos resultados.

**Resultados**

Os dados foram fornecidos pela ANP (Agência Nacional de Petróleo e Gás) e processados com o desenvolvimento de rotinas de programação no software MatLab. O primeiro dado de poço a ser analisado foi o NA02 (Figura 6A). Utilizou-se a *Wavelet* Ricker de comprimento 120 ms e frequência dominante de 50Hz para a deconvolução do traço. Pôde-se inferir um valor de corte para o filtro passa-baixa de 10 Hz e obtivemos a inversão em impedância para o traço referente ao poço em estudo (Figura 2).

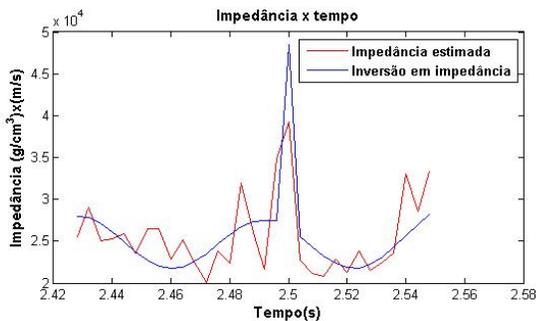


Figura 2 - Comparação do resultado da inversão com a impedância estimada, utilizando a *Wavelet* Ricker e frequência de corte de 10Hz.

O valor médio da impedância e desvio padrão calculado entre as curvas de impedância estimada e o resultado da inversão foi de  $(7,8 \pm 1,2) \times 10^3$  (g/cm<sup>3</sup>)x(m/s), uma imprecisão de 15,3%. Ainda para o poço NA02, é feita a extração da *wavelet* por meio da refletividade obtida com os perfis de poço e o traço sísmico, partindo daí para a inversão (Figura 3). A resposta fornece uma média e desvio padrão de  $(7,8 \pm 1,1) \times 10^3$  gm/ (scm<sup>3</sup>), ou seja, uma incerteza de 14,1%. Ao comparar o valor de incerteza obtido com o valor fornecido nos resultado acima, nota-se uma melhoria nos resultados. De forma qualitativa, ao analisar as figuras 2 e 3, verifica-se que a última está em maior conformidade com o dado de impedância estimado.

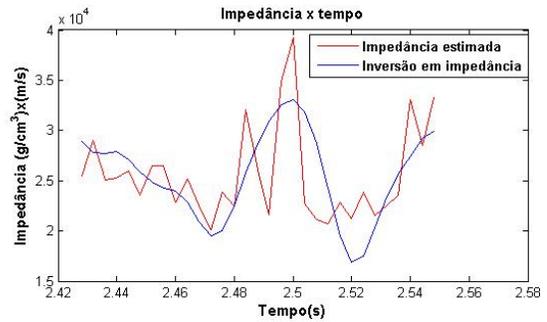


Figura 3 - Comparação do resultado da inversão com a Impedância estimada. *Wavelet* extraída da amarração de dados sísmica-poço e frequência de corte de 10Hz.

Para a *Wavelet* extraída para o poço NA37 (Figura 6B), a resposta obtida foi a seguinte:

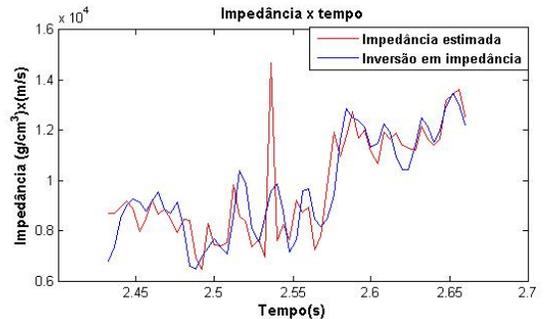


Figura 4 - Resultado da Inversão comparada com a impedância estimada. *Wavelet* estimada por meio da amarração sísmica-poço.

Verificou-se que o valor de corte do filtro, nesse caso, foi de 12Hz. Tal resultado mostra um valor médio de impedância e erro associado à inversão de  $(0,97 \pm 0,11) \times 10^4$  gm/ (scm<sup>3</sup>), o qual fornece um valor de incerteza de 11%. De forma qualitativa, os resultados também se mostraram satisfatórios. Outro estudo produzido foi a avaliação da influência da frequência de corte do filtro passa baixa. Tal análise permite avaliar as baixas frequências do dado de impedância estimada a serem incorporadas, com intuito de gerar um dado de impedância acústica com banda de frequência maior que

a encontrada no dado sísmico. A figura 5 mostra os resultados obtidos para os poços ao variar a frequência de corte para 5Hz. Observa-se a falta de coerência entre as curvas de impedância produzidas e a impedância estimada como verdadeira. A partir dessas análises foi possível extrapolar os estudos de inversão para impedância acústica para uma seção 2D que engloba o poço NA02 e outra seção envolvendo o poço NA37 de acordo com a figura 6.

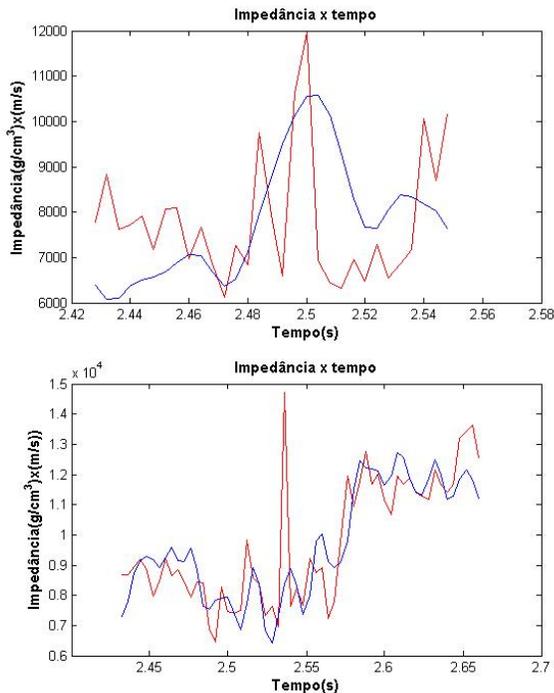


Figura 5: Valores de impedância acústica para uma frequência de corte de 5 Hz, primeiramente para o poço Na02 e em seguida para o poço Na37.

### Discussão e Conclusões

A premissa do trabalho foi de que se parte de um dado confiável de pós-empilhamento e proveniente de um processamento sísmico adequado. O modelo convolucional se mostrou uma ferramenta importante na obtenção da refletividade por meio de dados de amplitude. A função objetivo se baseou na minimização da norma  $L_1$ , para os coeficientes de reflexão, e da norma  $L_2$ , para a discordância entre dado sísmico original e sintético, buscando resolver o problema das multi-soluções de um problema inverso, como é o caso. Foram feitas análises da importância da extração da *wavelet* por meio da interligação dos dados sísmica-poço. Essa amarração dos dados ocorre com o estudo do coeficiente de correlação entre a impedância estimada em profundidade com a impedância do dado sísmico em tempo. Os valores de impedância obtidos pela inversão comparados com a impedância estimada por perfis de poço se mostraram satisfatórios quando a *wavelet* sísmica foi extraída por meio da relação sísmica-poço. O poço NA37 mostrou a maior correlação da inversão com a impedância estimada, fornecendo uma incerteza de

11%. O valor da frequência de corte foi um fator limitante e o método de inversão aplicado permite verificar quais frequências serão incorporadas a fim de aumentar a banda de frequência dos dados, anteriormente limitada pelo espectro da *wavelet* sísmica. Ao diminuir a frequência de corte além do necessário para a construção do traço de impedância, os resultados mostraram uma menor correlação com a impedância estimada, o que reafirma sua importância no resultado final da inversão. A partir dos resultados obtidos para 1D, foi possível a extrapolação desses resultados para modelos 2D de impedância acústica referentes aos poços analisados. Por meio desse modelo, verifica-se, por exemplo, a presença de regiões de baixa impedância do reservatório no poço NA37, acima de 2600 milisegundos e a partir daí, observa-se uma região de alta impedância que pode ser confirmada pelo alto valor de amplitude no dado sísmico para o mesmo período.

### Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à ANP por disponibilizar os dados, assim como à UNICAMP pelo suporte científico.

### Referências

- Ferguson, R J and Margrave, G F., 1996. A simple algorithm for band-limited impedance inversion. s.l. : Relatório CREWES.
- Lines, L. R., and Treitel, S., 1984. A review of least-squares inversion and its application to geophysical problems. *Geophysical Prospecting*, vol. 32, p. 159-186.
- Oldenburg, D.W., SCHEUER, T. & LEVY, T., 1983. Recovery of the acoustic impedance from reflection seismograms. *Geophysics*. October 1983, pp. vol. 48 n.10 p. 1318-1337.
- Pendrel, P., 2001. *Seismic Inversion: The Best Tool for Reservoir Characterization*. s.l. : CSEG Recorder.
- Russel, B. H., 1991. *Introduction to Seismic Inversion Methods*. s.l. : Society of Exploration Geophysicists n.2.
- Sancevero, S. S., 2006. O papel da Inversão Sísmica para a Impedância Acústica no processo de caracterização de reservatórios. s.l. : *Revista Brasileira de Geofísica*, pp. 495-512, 2006.

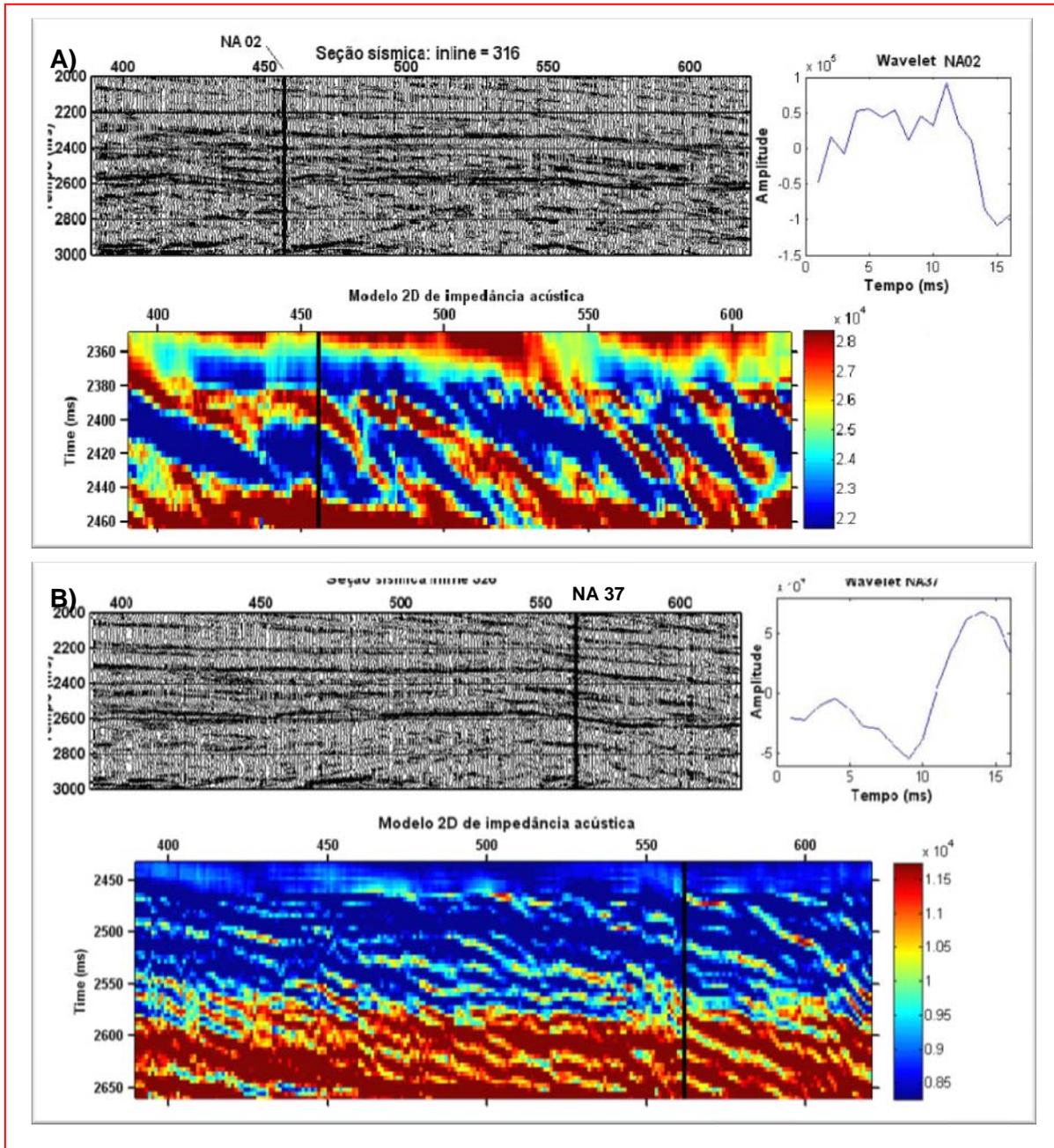


Figura 6: A) Seção sísmica 2D na qual se encontra o poço NA02. Extração da wavelet pela relação sísmica-poço e o resultado da inversão sísmica em impedância acústica. B) Seção sísmica que corta o poço NA37 e sua wavelet estimada. Por fim, o resultado da inversão sísmica em impedância acústica.