

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Considerações Práticas da Extrapolação de Campos de Ondas Descendentes na Remoção de Múltiplas do Fundo-do-Mar

AUTORES:

Patrícia Perez Ferreira¹, Marco Antonio Cetale Santos², Luiz Landau¹

INSTITUIÇÃO:

1. COPPE/UFRJ, 2. Lagemar/UFF

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela a Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 5ºPDPETRO.

Considerações Práticas da Extrapolação de Campos de Ondas Descendentes na Remoção de Múltiplas do Fundo-do-Mar

Abstract

A strategy for the prediction and attenuation of ocean-bottom multiple energy on synthetic marine seismic data is exploited. The methodology proposed for the multiple attenuation is based on forward wave field extrapolation theoretical principles, in which the one-way Rayleigh integral II uses the input data as a prediction operator by extrapolating its reflections (primaries and multiples) forward in time. Instead of using the Kirchhoff summation process, for the prediction step, it was employed wave plane shots in order to diminish computational costs. The predicted multiples have its amplitudes compared with the input data in order to be adaptively filtered. After the filtering process the estimated multiples are then subtracted from the input data. The effectiveness and possible issues of this scheme in suppressing multiples are described and discussed for a synthetic velocity model.

Introdução

As técnicas de imageamento buscam reposicionar as reflexões nos lugares onde elas realmente foram geradas e partem do pressuposto de que a energia da onda não foi totalmente espalhada, ou seja, que a onda refletiu apenas uma vez em cada camada. Na verdade, grande parte da energia continua refletindo entre certas camadas em subsuperfície, gerando as chamadas *reflexões múltiplas*.

No processamento sísmico, o modelo básico assume que o dado possui apenas reflexões primárias. Caso existam reflexões múltiplas, se as mesmas não forem atenuadas, podem ser erroneamente interpretadas como primárias (ou causar interferências no registro dos eventos primários). As reflexões múltiplas possuem algumas características que as tornam parecidas com as reflexões primárias, de acordo com o modelo geológico e com a trajetória da energia sísmica: velocidade, amplitude, forma do pulso, conteúdo das frequências [Pontes, 1985]. Estas reflexões causam um efeito obscurecedor na interpretação de refletores em uma seção sísmica: pequenas mudanças estratigráficas ao longo do reservatório podem ser registradas como grandes distúrbios geológicos falsos, as múltiplas podem coincidir com a imagem do reservatório, algumas múltiplas podem contaminar o cálculo do AVO, as múltiplas geradas por estruturas mais complexas podem compartilhar a mesma velocidade de reflexões primárias mais profundas, por exemplo [Xiao *et al.*, 2003].

A complexidade dos objetivos da exploração tem forte influência sobre o investimento em tecnologias que conciliem menos informações a respeito da estrutura geológica, conseqüentemente, poucas restrições e bons resultados. Apesar do considerável progresso das técnicas de remoção das múltiplas, essas reflexões continuam constituindo um desafio na exploração geofísica. Na indústria, em muitos casos, as múltiplas são consideradas como ruídos indesejáveis que dificultam o mapeamento geológico na busca por reservatórios de óleo e gás.

Muitos métodos foram desenvolvidos para atenuar as múltiplas e sua eficiência está totalmente vinculada à satisfação de suas premissas. Todavia, quase sempre, muitas premissas são violadas impossibilitando a efetiva atuação do método de remoção. Este fato constitui uma das grandes motivações na otimização dos conceitos e algoritmos destes métodos, aumentando desta forma, as ferramentas para o tratamento destes ruídos indesejáveis no dado. Os métodos que

porventura venham a alcançar um alto nível em eficiência na atenuação, freqüentemente demandam um grande custo em processamento e definições mais específicas dos parâmetros do meio.

A principal vantagem do processo de previsão e subtração do campo de onda sobre os outros métodos é a capacidade em atenuar as múltiplas que interferem no sinal das primárias sem coincidentemente atenuar as primárias.

Metodologia

A metodologia proposta para a atenuação das múltiplas é baseada nos princípios teóricos da extrapolação de campos de onda descendentes. O conceito de extrapolação foi fundamentado através da Integral de Kirchhoff-Helmholtz (equação 1), que, a partir de certas considerações, permite obter o comportamento de campos de onda em diferentes pontos de um volume fechado envolto por uma superfície (como na figura 1).

$$P(\vec{r}_A, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\rho(\vec{r})} \left[\frac{\partial G(\vec{r}, \vec{r}_A, \omega)}{\partial z} P(\vec{r}, \omega) - G(\vec{r}, \vec{r}_A, \omega) \frac{\partial P(\vec{r}, \omega)}{\partial z} \right]_{z_0} dx dy, \quad (1)$$

onde $\vec{r}_A$ é a posição do ponto A , dentro do volume D , na qual se deseja obter o campo, P é o campo de pressão medido na superfície S , G é a função de Green e $\vec{n}$ é o vetor normal apontando para fora de S .

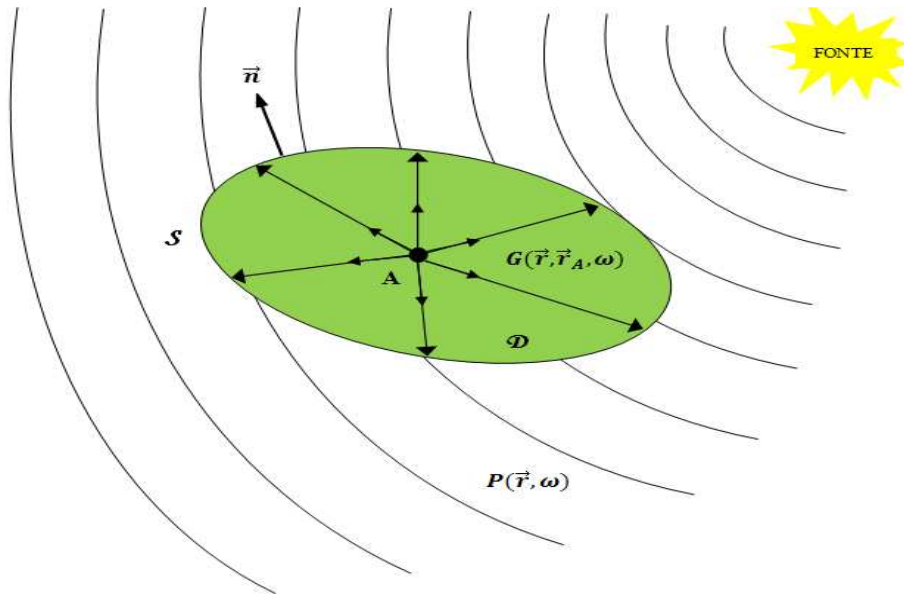


Figura 1: Configuração para a integral de Kirchhoff-Helmholtz.

A configuração para uma aquisição sísmica real (aberta e extensa) é bem diferente da qual é contemplada pela integral de Kirchhoff-Helmholtz. Portanto, a partir desta equação é necessário encontrar representações integrais que sejam capazes de aproximar ao máximo o campo de pressão acústico em uma situação mais semelhante ao caso sísmico (isto é, uma superfície plana – figura 2), já que nessa situação a integral de Kirchhoff-Helmholtz não provém uma solução muito prática (visto que nunca são feitas as medidas necessárias). Na realidade, apenas um campo de onda é medido: o de pressão por *hidrofones* ou a velocidade das partículas por *geofones*. Estas representações integrais são conhecidas como Integrais de Rayleigh I e II unidirecionais e bidirecionais, sendo simplificações da integral de Kirchhoff-Helmholtz.

Neste trabalho será utilizada apenas a integral de Rayleigh II unidirecional (equação 2) pois a mesma contempla a direção de propagação do campo de ondas, permitindo assim, sua análise.

$$P(\vec{r}_A, \omega) = 2 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{1}{\rho(\vec{r})} \frac{\partial G^-(\vec{r}, \vec{r}_A, \omega)}{\partial z} P^+(\vec{r}, \omega) \right]_{z_0} dx dy, \quad (2)$$

onde G^- é o campo de Green causal ascendente e P^+ é o campo de onda descendente.

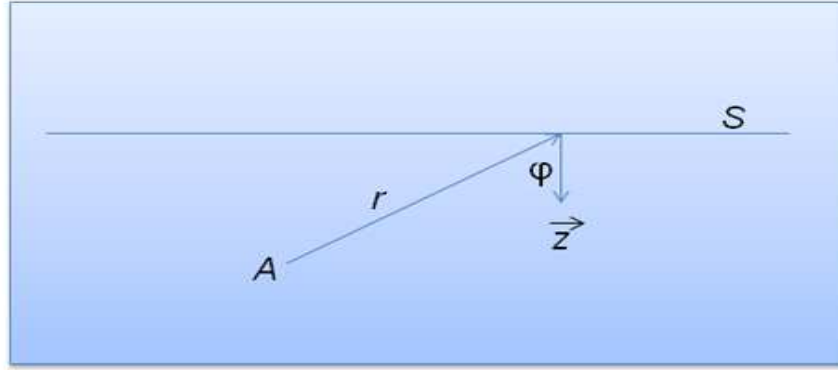


Figura 2: Ilustração da geometria para o caso sísmico.

A integral de Rayleigh II unidirecional (equação 2) utiliza o dado de entrada como um operador de previsão através da extrapolação de suas reflexões (primárias e múltiplas) no tempo. Contudo, cabe ressaltar que esta integral não foi implementada para gerar resultados neste trabalho e, além disso, os dados gerados aqui estão no domínio do tempo. Os integrandos desta integral são representados por campos de ondas, neste caso o campo de onda físico P descendente e a derivada do campo de Green ascendente, ambos são sismogramas sintéticos. Como se está trabalhando no domínio do tempo, o sinal de multiplicação na integral transforma-se na operação de convolução e a integral transforma-se no somatório dessas convoluções.

Conhecendo o campo de onda na superfície, é possível simular o comportamento deste campo em outras profundidades do modelo. Este é o princípio do método de previsão das múltiplas. As reflexões primárias e múltiplas do dado inicial são extrapoladas (através de convoluções, traço a traço no tempo, entre os sismogramas registrados na superfície e as funções de Green equivalentes [Verschuur, 2006]), isto é, as suas posições são deslocadas em tempo. Neste processo, as primárias transformam-se em múltiplas da superfície livre de primeira ordem, pois as extrapolações adicionam uma viagem a mais para estas ondas na primeira camada. Portanto, o método prevê apenas as reflexões múltiplas referentes à superfície livre.

Ao invés de utilizar o somatório de Kirchhoff para a etapa de previsão, foram empregados tiros de ondas planas objetivando reduzir o custo computacional. As múltiplas previstas têm suas amplitudes comparadas com as do dado inicial para que seja possível filtrá-las adaptativamente através da utilização de um programa do pacote do Seismic Unix chamado Sushape. Após o processo de filtragem as múltiplas estimadas são subtraídas do dado de entrada.

Todos os dados obtidos neste trabalho foram gerados através da modelagem sintética acústica 2-D baseada na discretização da equação da onda pelo Método das Diferenças Finitas (MDF), com aproximações de quarta ordem para as derivadas espaciais e segunda ordem para a derivada temporal.

Resultados e Discussão

Nesta aplicação utilizou-se um modelo de camadas inclinadas com velocidades iguais a 1500m/s, 2000m/s e 2500m/s, respectivamente.

O modelo possui 3000m de extensão horizontal e 1500m de profundidade. A malha numérica utilizada na modelagem possui um espaçamento regular igual a 7,5m. Visando reduzir a dispersão numérica e aumentar a estabilidade do algoritmo, utilizou-se um intervalo de tempo igual a 0.0003s. Cada sismograma possui tempo total equivalente a 3,6s.

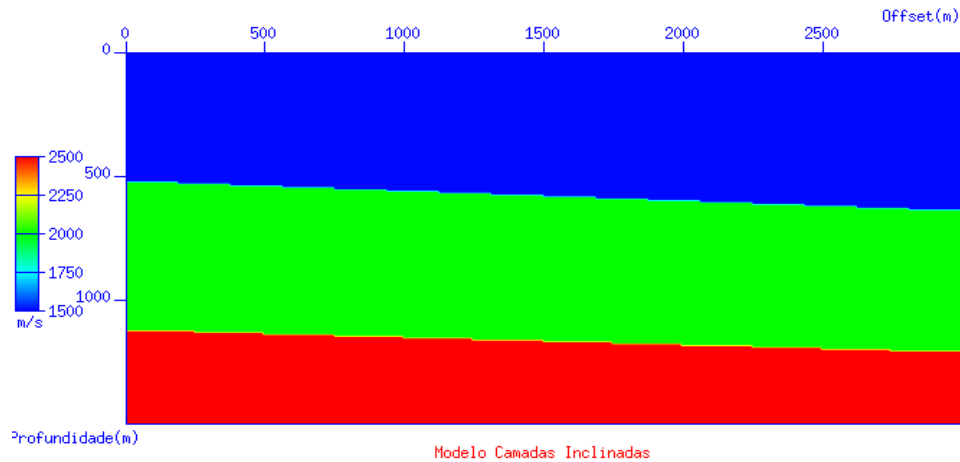


Figura 3: Modelo sintético com camadas inclinadas.

O objetivo inicial é prever as reflexões múltiplas relacionadas à primeira camada. O processo de previsão será realizado para o sismograma da figura 4 (b) abaixo (isto é, o que possui as primárias e múltiplas após o silenciamento da onda direta) obtido como resultado de um tiro de onda plana registrado na profundidade $z = 37,5\text{m}$ para uma fonte aplicada nesta mesma profundidade.

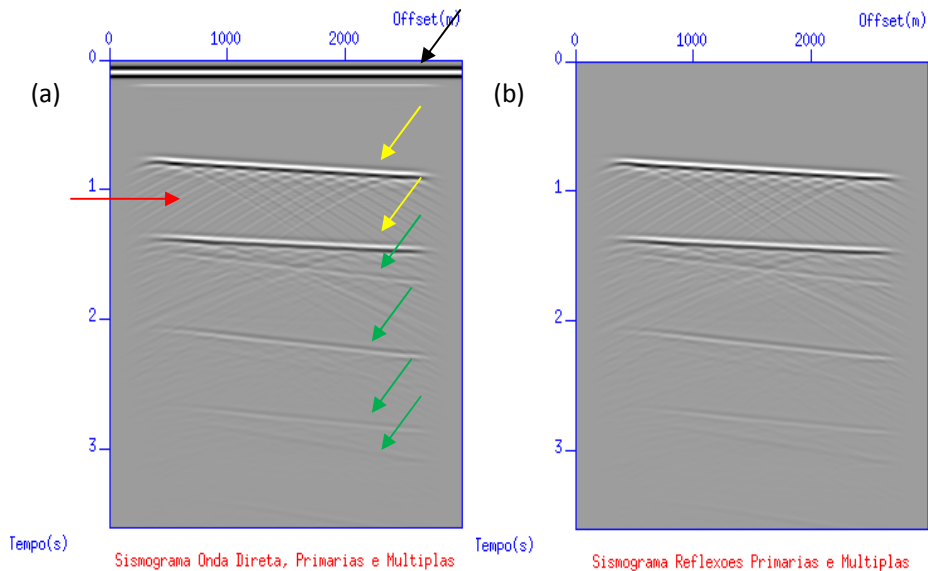


Figura 4: (a) Sismograma registrado em $z=37.5\text{m}$ referente a um tiro de onda plana nesta mesma profundidade: onda direta (seta preta), reflexões primárias (setas amarelas) e múltiplas (setas verdes). (b) O mesmo sismograma após o silenciamento da onda direta. É possível observar difrações (seta vermelha) causadas pela modelagem.

A derivada função de Green é representada pelo tiro de onda plana na primeira camada (figura 5).

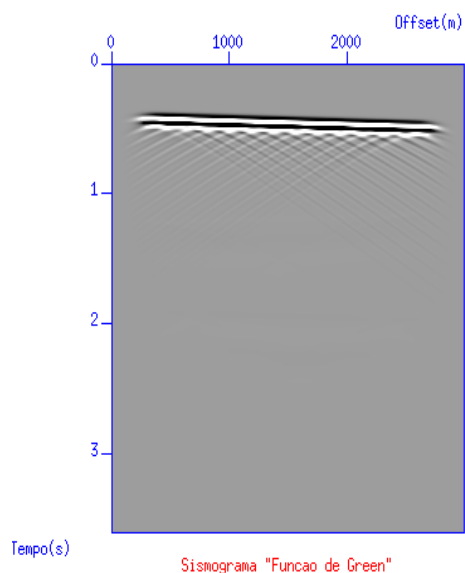


Figura 5: Sismograma referente à derivada da função de Green.

Este sismograma que representa a derivada da função de Green (figura 5) é convolvido traço a traço no tempo com o sismograma original sem a onda direta (figura 4 (b)), gerando como resultado o sismograma extrapolado da figura 6.

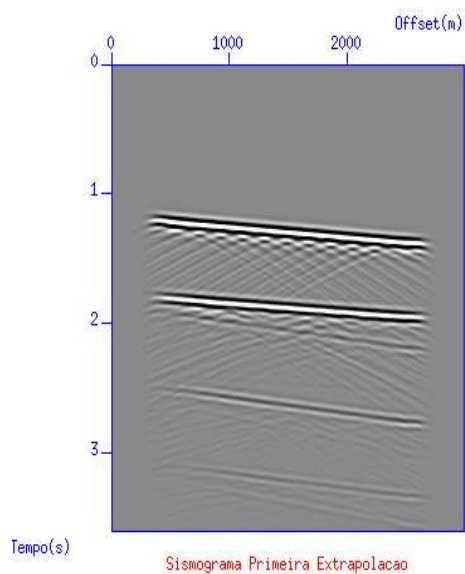


Figura 6: Sismograma referente ao primeiro processo de convolução.

Convolve-se o sismograma da primeira extrapolção (figura 6) traço a traço no tempo com o sismograma da derivada da função de Green da primeira camada (figura 5). Obteve-se como resultado o sismograma da figura 7.

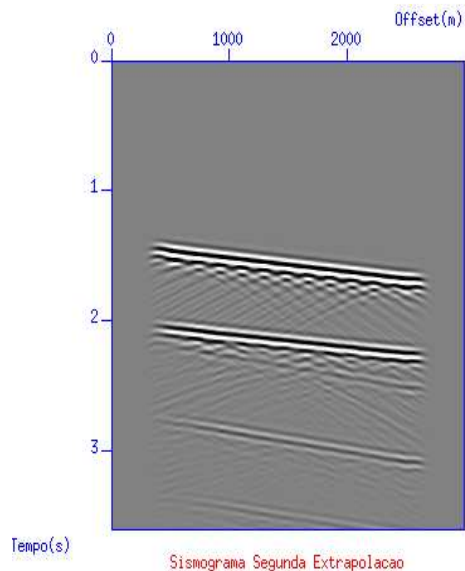


Figura 7: Sismograma referente ao segundo processo de convolução: múltiplas previstas.

As amplitudes do sismograma das múltiplas previstas (figura 7) são ajustadas através de um filtro adaptativo do pacote do *Seismic Unix* chamado *Sushape*. Com a aplicação deste filtro, as amplitudes dos traços do sismograma com as múltiplas são ajustadas de acordo com as amplitudes dos traços do sismograma original (figura 4 (b)).

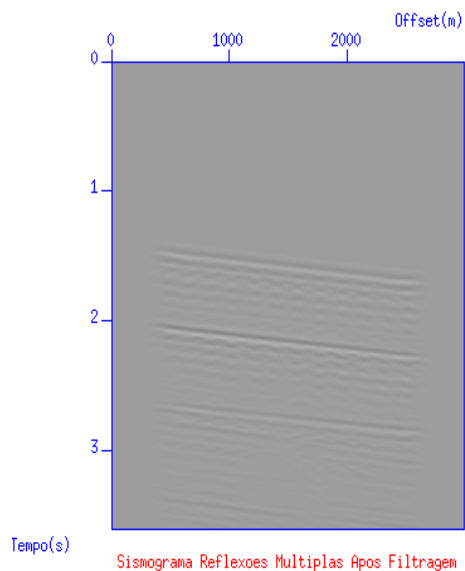


Figura 8: Sismograma da figura 7 após a aplicação do filtro adaptativo.

Subtraem-se as múltiplas previstas com as amplitudes ajustadas pelo dado original (figura 9 (b)). Analisando o sismograma original (figura 9 (a)) e o obtido após o processo de remoção conclui-se que o método aplicado através da utilização da onda plana atenuou consideravelmente as reflexões múltiplas. As imagens estão na mesma escala de amplitude.

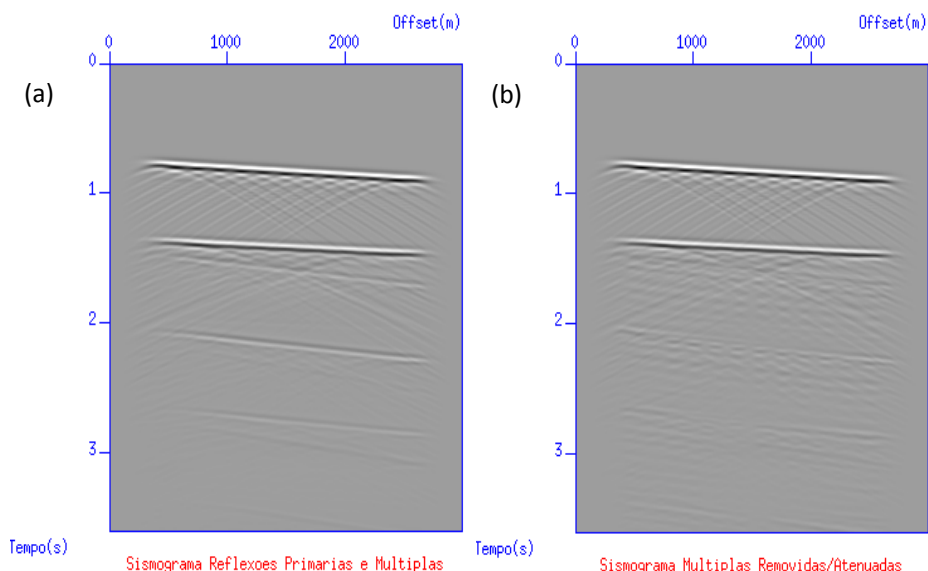


Figura 9: Comparação entre (a) o sismograma original e (b) o sismograma obtido após a subtração.

Conclusões

Pode-se observar que a aplicação do método de previsão e remoção das reflexões múltiplas relacionadas à primeira camada utilizando a extrapolação do campo de ondas atenuou consideravelmente as múltiplas, para um modelo com uma geometria inclinada. A aplicação do filtro adaptativo possibilitou o escalonamento das amplitudes e a subsequente atenuação das múltiplas, contudo, gerou certos ruídos. Isto ficou mais evidente, devido às difrações existentes no dado, visto que o filtro adaptativo ajusta os traços do dado a partir dos traços do dado original. A principal vantagem da utilização deste método de previsão e subtração sobre outros métodos é a capacidade de atenuar reflexões múltiplas que interferem em eventos primários, sem, coincidentemente, remover estes eventos. Aliado a este fato, este método possui a característica de poder ser aplicado em modelos geológicos com alta complexidade na estrutura do fundo-do-mar.

Agradecimentos

Agradeço aos geofísicos Josias José da Silva (D.Sc., COPPE/UFRJ), Márcio de Araújo Martins (M.Sc., COPPE/UFRJ) e ao professor Webe João Mansur (Ph.D., COPPE/UFRJ) pelas discussões de grande valia para a elaboração deste trabalho e à ANP pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

- PONTES, C. E. S., 1985, Algumas Técnicas de Supressão de Reflexões Múltiplas e Aplicação ao Alto do Macau, Bacia Potiguar, Dissertação de Mestrado, UFBA, Salvador, Brasil.
- VERSCHUUR, D. J., 2006, Seismic Multiple Removal – Past, present and future, EAGE Publications.
- XIAO, C., BANCROFT, J. C., JAMES BROWN, R., CAO, Z., 2003, Multiple suppression: A literature review: CREWES Research Report, 15.