



## Processamento CRS de dados deconvolvidos usando o metodo de Wiener-Levinson

Rosângela Maciel e Milton J. Porsani CPGG/UFBA; German Garabito CPGF/UFPA, Brasil.

Copyright 2005, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9<sup>th</sup> 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 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are author's 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

The removal or attenuation of multiple reflections represents a problem for seismic data processing. Such multiple reflections interfere with the primary ones and may generate large difficulties to the interpreter and to the seismic migration methods. The Wiener-Levinson (WL) predictive deconvolution is a technique which has been in use for quite some time in the attenuation of multiples, having its application limited to a periodical occurrence of the event. This work shows some partial results related to the use of the WL multichannel predictive deconvolution, combined with the method of zero-offset generation section through the stacking of the common reflection surface (CRS). The CRS method is very recent and it shows itself as a good alternative when compared to the traditional stacking methods (DMO/NMO). It does not require prior information on the velocity model. In the present stage of the work we are introducing NMO correction by using the stacking velocity calculated in function of the parameters trio obtained through the CRS method with the objective of generating common off-set sections to apply the filter. The obtained results were satisfactory and quite promising.

### Introdução

A exploração sísmica de petróleo e gás envolve uma gama de investigações na busca de reservatórios economicamente produtivos. Neste processo estão envolvidos geofísicos, geólogos e engenheiros de reservatório. Geofísicos, em particular, estão envolvidos na localização de possíveis reservatórios, tendo como principal objetivo mapear a subsuperfície terrestre, de forma a obter a localização de estruturas geológicas capazes de armazenar hidrocarbonetos.

A deconvolução do pulso sísmico e de reflexões múltiplas são etapas importantes dentro do processamento sísmico. A deconvolução do pulso sísmico objetiva aumentar a resolução temporal dos traços, permitindo a melhor identificação das superfícies refletoras em subsuperfície. Já a deconvolução de reflexões múltiplas, a chamada deconvolução preditiva, visa prever e atenuar eventos

periódicos contidos num sismograma, tais como múltiplas do fundo do mar. A deconvolução preditiva é um método estatístico que utiliza o processo de filtragem de Wiener-Levinson baseando-se na periodicidade das múltiplas.

O método de empilhamento sísmico por superfície de reflexão comum (Common Reflection Surface - CRS), é utilizado na simulação de seções AN através do empilhamento de dados sísmicos segundo uma superfície calculada diretamente sobre os dados multicobertura, através de processos de busca utilizando análise de coerência. Objetivando obter seções sísmicas livres da influência ruidosa das reflexões múltiplas e conseqüentemente mais fáceis de interpretar. Na primeira fase deste trabalho aplicamos o filtro de Wiener-Levinson multicanal na seção AN obtida através do método de empilhamento CRS. O resultados obtidos foram satisfatórios. Numa segunda fase propomos uma estratégia que aplica a correção NMO utilizando a função velocidade calculada através do trio de parâmetros obtidos durante o processamento CRS.

### Filtro de Wiener-Levinson (WL) multicanal

A seguir ilustramos o procedimento para obtenção de filtros WL multicanal utilizando 3 canais e número de coeficientes do filtro por canal igual a 3. Sejam  $w_t$  o dado desejado,  $x_t$ ,  $y_t$  e  $z_t$  os três traços de entrada, então o dado calculado  $\tilde{w}_t$  pode ser representado pela expressão,

$$\tilde{w}(t) = \tilde{h}(t) * x(t) + \tilde{f}(t) * y(t) + \tilde{g}(t) * z(t),$$

onde  $\tilde{h}(t)$ ,  $\tilde{f}(t)$  e  $\tilde{g}(t)$  são operadores que atuam respectivamente sobre os traços  $x(t)$ ,  $y(t)$  e  $z(t)$ .

Exemplificando para operadores com três coeficientes em cada canal, a expressão anterior pode ser reescrita,

$$\tilde{w}_t = \sum_{k=1}^3 x_{t-k+1} \tilde{h}_k + \sum_{k=1}^3 y_{t-k+1} \tilde{f}_k + \sum_{k=1}^3 z_{t-k+1} \tilde{g}_k. \quad (1)$$

utilizando notação matricial podemos escrever,

$$\mathbf{W} = [ \mathbf{X} \quad \mathbf{Y} \quad \mathbf{Z} ]$$

$\mathbf{W}$  é uma matriz toeplitz contruída pelas matrizes, também toeplitz,  $\mathbf{X}$ ,  $\mathbf{Y}$  e  $\mathbf{Z}$  geradas respectivamente pelos traços  $x_t, y_t$  e  $z_t$ . e  $\mathbf{a}$  é um vetor formado pelos operadores  $\tilde{h}$ ,  $\tilde{f}$  e  $\tilde{g}$ . Podemos então definir

$$\mathbf{a}^T = [ \mathbf{h}^T \quad \mathbf{f}^T \quad \mathbf{g}^T ],$$

onde os vetores  $\mathbf{h}$ ,  $\mathbf{f}$  e  $\mathbf{g}$  são formados respectivamente pelos operadores  $\tilde{h}_t$ ,  $\tilde{f}_t$  e  $\tilde{g}_t$ .

Para um vetor  $\mathbf{a}$  arbitrário podemos escrever o vetor de erro de predição na forma

$$\mathbf{e} = \mathbf{x} - \mathbf{W}\mathbf{a}.$$

minimizando a forma quadrática

$$Q(\mathbf{a}) = \mathbf{e}^T \mathbf{e}. \quad (2)$$

Obtendo-se as Equações Normais, cuja solução fornece o filtro preditivo multicanal de WL (Lima,1999; Santos Jr.,2002; Bezerra,2001; Maciel et al 2003).

### O Método de Empilhamento Sísmico Superfície de Reflexão Comum (CRS)

O método de empilhamento sísmico Superfície de Reflexão Comum (CRS - Common Reflection Surface Stack) simula seções de Afastamento Nulo (AN). Trata-se de um método recente de imageamento que se destaca por ser independente do macro-modelo de velocidades, o que não ocorre nos métodos tradicionais (NMO/DMO). Três parâmetros cinemáticos das frentes de ondas hipotéticas e a velocidade próxima a superfície definem a superfície de empilhamento CRS. Estes parâmetros podem ser determinados de forma totalmente automática por meio de procedimentos de busca, envolvendo análise de coerência aplicada aos dados sísmicos (Müller,1998; Jager et al.,2001; Mann,2001; Garabito et al.,2001).

A superfície de empilhamento ou operador CRS é calculada, diretamente sobre os dados multicobertura, a partir da fórmula hiperbólica de tempo de trânsito obtida através da expansão de segunda ordem em série de Taylor. Esta expressão aproxima os tempos de trânsito dos raios na vizinhança de um raio central fixo, e é derivada por meio da teoria paraxial do raio (Schleicher et al., 1993). Tygel et al. (1997) reescreveram a referida expressão em função da velocidade próxima a superfície e do trio de parâmetros das frentes de ondas hipotéticas - onda ponto de incidência normal (onda NIP) e onda normal (onda N), conforme mostrado na expressão abaixo:

$$t^2(x_m, h) = \left( t_0 + 2 \frac{\sin \beta_0}{v_0} (x_m - x_0) \right)^2 + 2t_0 \frac{\cos^2 \beta_0}{v_0} \left( \frac{(x_m - x_0)^2}{R_N} + \frac{h^2}{R_{NIP}} \right). \quad (3)$$

onde  $t_0$  é o tempo duplo do raio central com afastamento fonte-receptor nulo e  $v_0$  a velocidade próxima a superfície entorno do ponto de emergência do raio central. As coordenadas  $x_m = (x_G + x_S)/2$  e  $h = (x_G - x_S)/2$  são o ponto médio e o afastamento médio entre a fonte e o receptor, respectivamente, sendo  $x_S$  e  $x_G$  as coordenadas horizontais do par fonte receptor (S,G);  $\beta_0$  é o ângulo de emergência do raio normal com relação a normal da superfície,  $R_{NIP}$  e  $R_N$  são, respectivamente, os raios de curvaturas da onda NIP e da onda N, ambos medidos no ponto de emergência do raio central. As ondas ponto de incidência normal (NIP - normal incidence point) e normal (N) são ondas hipotéticas definidas por Hubral (1983).

O operador é aplicado para um ponto arbitrário escolhido na seção AN especificado por  $P_0 = (x_0, t_0)$ . Dado o ponto  $P_0$ , e então se conhecendo a priori o trio de parâmetros das ondas hipotéticas ( $\beta_0$ ,  $R_{NIP}$  e  $R_N$ ) associadas ao ponto  $P_0$ , pode-se calcular a superfície de empilhamento associada a esse ponto usando a equação 3. Assim a simulação da seção AN pelo método de empilhamento CRS consiste no somatório das amplitudes dos traços sísmicos no espaço  $(x_m, h, t)$  na vizinhança de cada

ponto  $P_0$  arbitrário fixo, segundo a superfície de empilhamento CRS correspondente à reflexão no ponto  $R$ . Esta superfície é traçada somente numa vizinhança paraxial do raio central, sendo limitada por uma abertura em torno do ponto  $X_0 = (x_0, h = 0)$  no plano  $(x_m, h)$ .

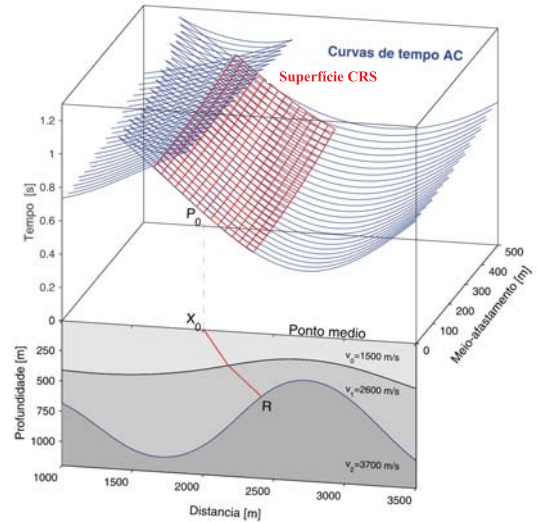


Figura 1: Parte inferior: modelo composto por três camadas homogêneas, com um raio de afastamento nulo ou incidência normal (linha de cor vermelha). Parte superior: superfície de cobertura múltipla (linhas de cor azul) correspondente a às reflexões da segunda interface. As linhas de cor vermelho definem a superfície de empilhamento CRS, correspondente ao ponto de reflexão  $R$  e calculado pela expressão 3.

O principal problema do método CRS é a determinação de  $\beta_0$ ,  $R_{NIP}$  e  $R_N$  a qual é formulada como um problema de maximização (ou minimização) da medida semblance avaliada em pontos dentro do espaço de busca definido matematicamente pelos intervalos associados a cada parâmetro:  $-\pi/2 < \beta_0 < +\pi/2$  e  $-\infty < R_{NIP}, R_N < +\infty$ .

A obtenção dos atributos da frente de onda segue a estratégia descrita por Garabito et al. (2001); a qual consta de 2 fases gerais: (1<sup>a</sup>) busca dos atributos iniciais, por otimização global, como uma primeira estimativa; (2<sup>a</sup>) busca de atributos finais, por otimização local, como estimativa final.

Neste trabalho aplicamos no processamento CRS o algoritmo proposto por Garabito et al. (2001), o qual utiliza como método de otimização na primeira fase o "Simulated Annealing" e para a segunda fase, onde a solução inicial é o trio de parâmetros resultantes da primeira fase, utiliza o método de otimização local "quasi-Newton".

### Obtencao das Velocidades de Empilhamento CRS

Conforme demonstrado em Garabito et al. (2003) a velocidade de empilhamento pode ser obtida através da equação a seguir:

$$v_{EMP} = \frac{2v_0}{t_0 K_{NIP} \cos^2 \beta_0}. \quad (4)$$

A Figura 2(a) mostra os traços sísmicos de uma seção CMP ( $x_m = 7700m$ ) dos dados Marmousi, sobreposta a li-

nha azul mostra a delimitação introduzida para obter o mapa de coerência (Figura 1b) para um fator de estiramento NMO máximo de 1,5. As velocidades de empilhamento CMP (NMO/DMO) são mostradas na Figura 1b (linha de cor cian) e foram obtidas através de análise de velocidade utilizando um software comercial.

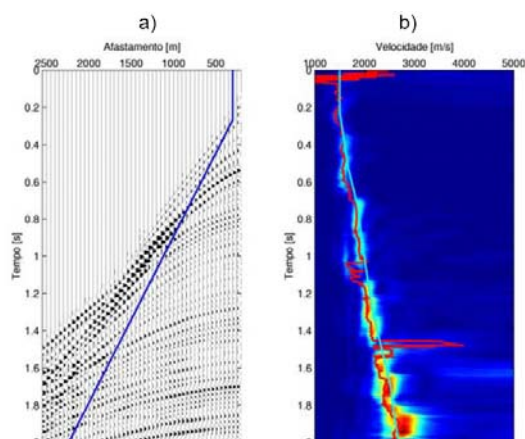


Figura 2: (a) Traços sísmicos da seção CMP 580 dos dados Marmousi. (b) Mapa de coerência da seção CMP 580 e as velocidades de empilhamento CRS (linha na cor vermelha) e CMP (linha na cor cian)(Garabito et al.,2003).

Utilizando a equação 4 e os parâmetros de empilhamento CRS ( $\beta_0$  e  $K_{NIP} = 1/R_{NIP}$ ), estimados durante a simulação da seção AN, são determinadas as velocidades de empilhamento CRS (linha na cor vermelha - Figura 2(b)). Podemos observar uma boa aproximação entre as velocidades de empilhamento (CMP e CRS) diferindo apenas em pontos onde não há eventos sísmicos, os quais são marcados por grandes picos nas velocidades CRS e baixas coerências.

Garabito et al.(2003) demonstra ainda que a correção NMO dentro da formulação de empilhamento CRS não afeta o pulso sísmico, pois a frequência instantânea do pulso sísmico permanece inalterada antes e depois da aplicação da correção NMO. O que não ocorre na formulação CMP onde acontece o efeito de estiramento do pulso. Deve-se observar ainda que apesar do bom desempenho da correção NMO conforme a formulação CRS ocorrem distorções nos eventos com afastamentos longos, pois quanto mais afastado o evento estiver do raio central o operador de empilhamento CRS perder a precisão.

Diante dos resultados obtidos por Garabito et all (2003) introduzimos a correção NMO dentro do processo de integração dos métodos de WL e CRS. Surgindo assim a idéia de aplicar o filtro WL em seções afastamento comum corrigidas de NMO, utilizando as velocidades de empilhamento calculadas pela equação (4), livres agora do efeito de estiramento do pulso, resguardadas as devidas limitações do método. Após a aplicação do filtro podemos então remover a correção NMO e empilhar o dado agora com os eventos de reflexões múltiplas atenuados.

Até o momento temos feito testes em dados sintéticos sem a aplicação do filtro, como mostrado na Figura 3, onde observamos uma seção CMP, com a aplicação da correção NMO e após a remoção da correção NMO. Os próximos passos são: aplicarmos na seqüência o filtro WL em dado

sintético e finalmente todo o processo em dado real.

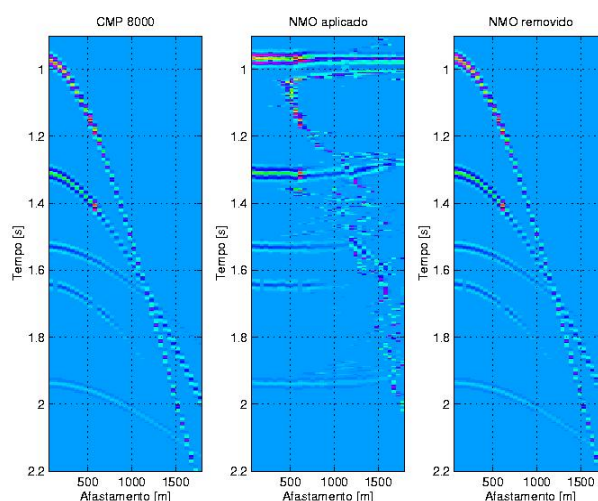


Figura 3: Em (a) Seção CMP original, (b) Seção CMP aps a aplicação da correção NMO-CRS e (c) Seção CMP após a remoção da correção NMO-CRS

### Aplicação em Dado Real

O dado do Golfo do México se constitui de uma linha sísmica marinha prestack 2-D. Nos dados há presença de múltiplas referentes a reverberação da onda sísmica na lâmina d'água e ainda em subsuperfície uma estrutura salina próxima a superfície. Na figura 4(a) apresentamos a seção sísmica AN obtida no processamento com o metodo CRS, vale ressaltar que conforme apresentado por Maciel et al. (2004) a seção empilhada CRS apresenta melhor qualidade em relação ao dado processado pelo metodo convencional(NMO/DMO).

### Resultados

Na primeira fase deste trabalho aplicamos o Filtro WL em duas etapas consecutivas na seção AN gerada com método CRS. Na primeira aplicação objetivamos a atenuação das múltiplas referentes a reverberação na lâmina d'água (múltiplas do fundo do mar em torno de 3,5 segundos), resultado mostrado na figura 4(b). Na segunda aplicação, utilizamos como dado de entrada o resultado obtido após a primeira aplicação do filtro, objetivando agora a atenuação de eventos múltiplos referentes ao topo e base da estrutura salina, resultado mostrado na figura 4(c). Vale ressaltar que, além das múltiplas visadas durante a filtragem, foram atenuadas também "peg-legs", múltiplas internas de curto período contidas nos dados.

### Conclusões

O método de deconvolução WL multicanal aplicado ao dado no domínio CRS conseguiu atenuar as reflexões múltiplas referentes a reverberação na lâmina d'água (Figura4(b)) e ao topo e a base do sal (Figura4(c)), agindo também, de forma eficaz sobre "peg-legs", o que era de se esperar já que na seção AN há periodicidade dos eventos múltiplos, uma das principais premissas para a efetividade do filtro. Os resultados obtidos são promissores e nos

motivam a prosseguir os estudo de novas estratégias na combinação das duas técnicas mostradas neste trabalho. Na fase atual estamos implementando uma estratégia na qual aplicamos primeiramente o filtro nos painéis corrigidos de NMO e posteriormente aplicamos o processamento CRS, de forma a obtermos a seção AN empilhada com os eventos múltiplos atenuados.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a FINEP e PETROBRAS pelo apoio financeiro através do projeto da Rede em Risco Exploratório, RM agradece a ANP pelo suporte financeiro na forma de Bolsa de Estudo e MJP agradece ao CNPQ.

### Referências Bibliográficas

- Bezerra, A. C.** (1999) Deconvolução preditiva multicanal utilizando interpolação de traços sísmicos e transformada  $\tau - p$ , Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil (<http://www.cpgg.ufba.br/>).
- Garabito, G., Cruz, J.C., Hubral, P. and Costa, J.C.** (2001) Common reflection surface stack: A new parameter search strategy by global optimization. 71th. SEG Mtg., Expanded Abstracts. San Antonio, Texas, USA.
- Hubral, P.** (1983) Computing true amplitude reflections in a laterally inhomogeneous earth, *Geophysics*, 48:1051-1062.
- Jäger, R., Mann, J., Höcht, G., and Hubral, P.** (2001). Common reflection surface stack: Image and attributes. *Geophysics*. 66:97-109.
- Lima, A. P.** (1999) Deconvolução de reflexões múltiplas nos domínios  $t - x$  e  $\tau - p$ , Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil (<http://www.cpgg.ufba.br/>).
- Maciel, R. C., Melo, P. E. M. e Porsani, M.** (2003) Deconvolução de reflexões múltiplas do fundo do mar utilizando um método iterativo multicanal. 8th International congress of the Brazilian Geophysical Society. Rio de Janeiro, Brasil, 14-18 setembro 2003.
- Maciel, R., Porsani, M. e Garabito, G.** (2004) Supressão de reflexões múltiplas aplicando o método W-L multicanal em dados no domínio CRS. Rio Oil & Gas Expo and Conference 2004. Rio de Janeiro, Brasil, 04-07 outubro 2004.
- Mann, J.** (2001). Common reflection surface stack and conflicting dips. Expanded Abstract, 71th. Annual International Meeting, SEG.
- Melo, P. E. M.** (2002) Deconvolução iterativa de dados sísmicos utilizando norma  $L_p$ , Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil (<http://www.cpgg.ufba.br/>).
- Müller, T.** (1998) Common reflection surface stack versus nmo/stack and nmo/dmo/stack. Expanded Abstract, 60th Annual International Meeting, EAG.
- Santos Jr., A.** (2002) Deconvolução multicanal utilizando um algoritmo tipo Wiener-Levinson, Dissert. de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil (<http://www.cpgg.ufba.br/>).
- Tygel, M. and Müller, T. & Schleicher, J.** (1997) Eigenwave based multiparameter traveltimes expansions. Expanded Abstract, 67th Annual International Meeting, SEG.
- Schleicher, J., Tygel, M. and Hubral, P.** (1993) Parabolic and hyperbolic paraxial two points traveltimes in 3D media. *Geophysical Prospecting*, 41:495-513.

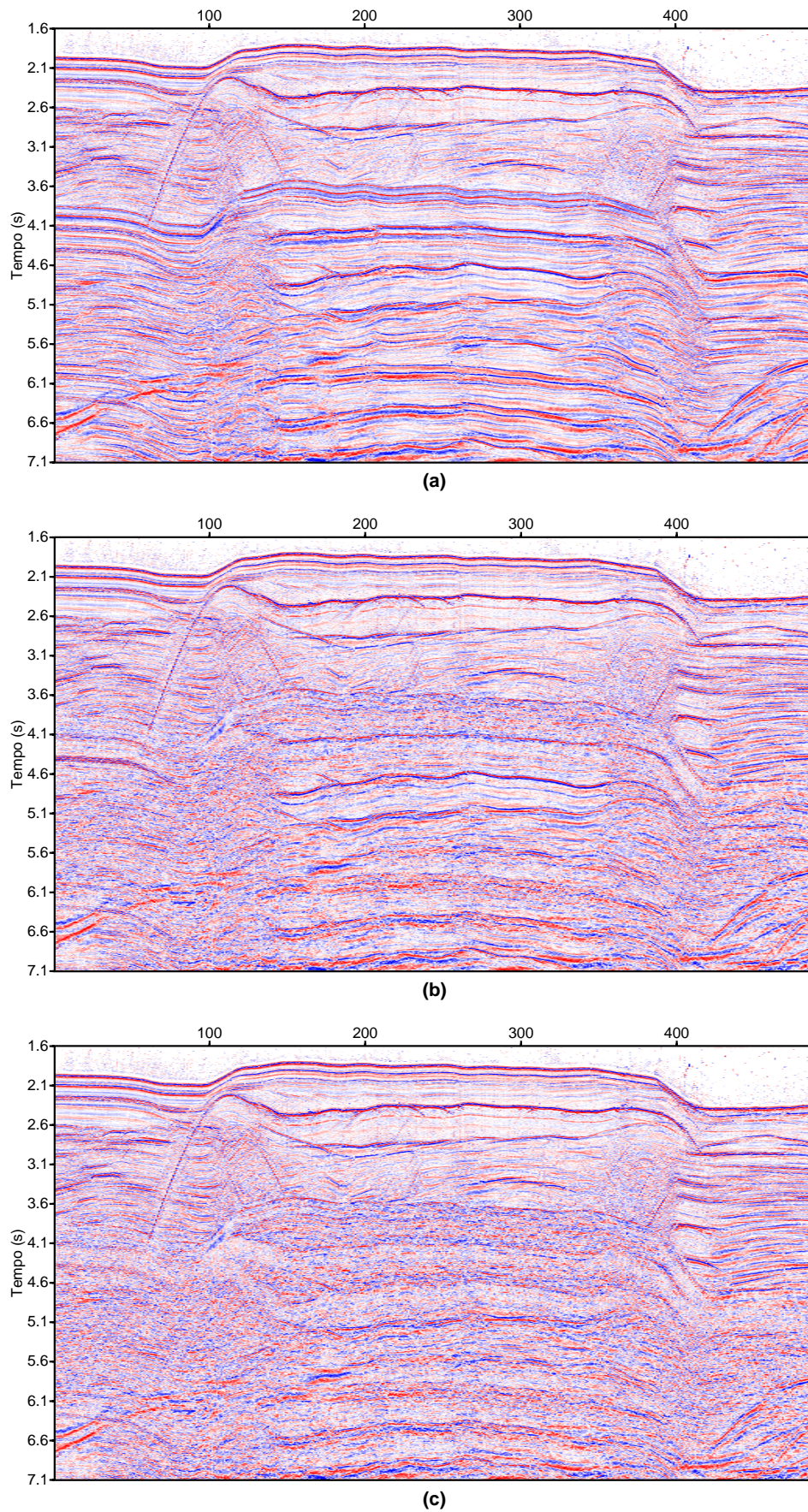


Figura 4: Em (a) Temos a seção sísmica AN obtida no processamento CRS. Em (b) e (c) seções sísmicas após aplicação do Filtro WL: em (b) Objetivando atenuação de múltiplas do fundo do mar (em torno de 3,5s) e em (c) objetivando atenuar múltiplas do topo e base da estrutura salina.