

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA



GEO213 - TRABALHO DE GRADUAÇÃO

ATENUAÇÃO DE REFLEXÕES MÚLTIPLAS NA REGIÃO DO TALUDE CONTINENTAL UTILIZANDO DECONVOLUÇÃO PREDITIVA ADAPTATIVA

RODRIGO GONDIM MIRANDA

SALVADOR - BAHIA

DEZEMBRO - 2011







Atenuação de reflexões múltiplas na região do talude continental utilizando deconvolução preditiva adaptativa

por Rodrigo Gondim Miranda

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA APLICADA

DO

Instituto de Geociências

DA

Universidade Federal da Bahia

Comissão Examinadora
Dr. Milton José Porsani - Orientador
Msc. Mickelângelo Gomes da Silva
Dr. Reynam da Cruz Pestana

Data da aprovação: 21/12/2011

Dedico este trabalho ao meu pai Romildo, à minha mãe Lúcia e ao meu irmão Lucas.

RESUMO

A atenuação de reflexões múltiplas representa um desafio ao processamento de dados sísmicos marinhos. Pricincipalmente ao processamento de dados adquiridos em lâmina d'água sobre quebra de plataforma, ou seja, sobre o talude continental. Neste caso, as múltiplas serão de longo período. A presença de múltiplas prejudica a discriminação visual de reflexões primárias, mascarando-as e assim, prejudicando a interpretação geológica a partir da seção sísmica. Justifica-se então o grande esforço da indústria do petróleo para atenuação/remoção das reflexões múltiplas.

O método de filtragem conhecido como deconvolução preditiva de Wiener-Levinson (WL) tem como objetivo predizer e remover eventos periódicos, tais como as reflexões múltiplas. O método de WL é estatístico e os filtros preditivos obtidos pela solução mínimos quadrados se baseiam na premissa de que o pulso sísmico é estacionário, a qual não é atendida em dados sísmicos reais. Desse modo, para um melhor resultado, aplica-se o método WL utilizando janelas de tempo fixas, posicionadas ao longo do tempo de registro. Também sabe-se que o método WL usa a hipótese de que fora da janela, as amplitudes são nulas, prejudicando o resultado da deconvolução preditiva, portanto tornando menos eficaz a remoção das múltiplas.

No presente trabalho, observou-se e discutiu-se os resultados da aplicação do método de deconvolução adaptativa utilizando-se do algoritmo de Morf modificado (DAMM), desenvolvido por Porsani (1986). Este método de natureza preditiva, é apropriado pois não considera as amplitudes do traço sísmico fora da janela de tempo determinada. Aplicando-se a partir de janelas deslizantes,o algoritmo calcula um novo filtro a cada posição da janela deslizante sem perder a precisão da predição, justificada pela remoção das múltiplas. Para efeito comparativo, foi discutido resultados obtidos a partir do método de deconvolução adaptativa de Wiener-Levinson (DAWL).

Para a verificação do comportamento do método DAMM, aplicou-o em dados sintéticos produzidos utilizando-se pacotes do SU-CWP e em dados sísmicos da Bacia do Jequitinhonha cedidos pela PETROBRAS ao CPGG-UFBA. O problema abordado neste trabalho foram as reflexões múltiplas associadas ao talude continental. Problema este que foi eficazmente solucionado pelo método DAMM comparado ao método DAWL tanto em dados sintéticos quanto no dado real.

ABSTRACT

The attenuation of multiple reflections is a challenge to the seismic data processing seals. Mainly the processing of data acquired in water depths of shelf break, or on the continental slope. In this case, the multiple will be long. The presence of multiple affect the visual discrimination primary reflections, masking them and thus damaging the geological interpretation from the seismic section. Is then justified the great effort of the oil industry for reduction / removal of multiple reflections.

The filtering method known as predictive deconvolution Wiener-Levinson (WL) is to predict and remove periodic events, such as multiple reflections. The method is statistical and the WL predictive filters obtained by the least squares solution based on the premise that the seismic pulse is stationary, which is not seen in real seismic data. Thus, for best results, apply WL method using fixed time windows, positioned along the length of record. It is also known WL that the method uses the hypothesis that out the window, the amplitudes are zero, impairing the result of predictive deconvolution, therefore making it less effective at removing the manifold.

In this study, we observed and discussed the results of applying the method of adaptive deconvolution using the modified algorithm Morf (DAMM) developed by Porsani (1986). This method of predictive nature, is not considered appropriate because the amplitudes of the seismic trace out the window of time. Applying from sliding window, the algorithm calculates a new filter every position of the sliding window without losing prediction accuracy, justified by the removal of multiple. For comparison, results were discussed obtained from the deconvolution method for adaptive Wiener-Levinson (DAWL), were the multiple reflections associated with the continental slope. This problem was effectively solved by the method DAMM compared to the method Dawla both synthetic data and in real data.

To verify the behavior of the DAMM, applied it to synthetic data generated using packages SU-CWP and seismic data Jequitinhonha Basin CPGG transferred to PETROBRAS-UFBA. The problem addressed in this work

ÍNDICE

RESUMO	. iii
ABSTRACT	. iv
ÍNDICE	
ÍNDICE DE TABELAS	. vi
ÍNDICE DE FIGURAS	. vii
INTRODUÇÃO	. 1
CAPÍTULO 1 Princípios Fundamentais	. 3
1.1 Reflexão Primária	. 3
1.2 Reflexão Múltipla	. 4
1.3 Modelo Convolucional do Traço Sísmico	. 5
CAPÍTULO 2 Deconvolução Preditiva	. 8
2.1 Deconvolução Preditiva de Wiener-Levinson	. 8
2.2 Deconvolução de Morf para predição arbitrária	. 10
2.3 Deconvolução preditiva adaptativa Morf modificado	. 12
2.4 Aplicação da Deconvolução Preditiva Adaptativa em dado sintético	. 14
CAPÍTULO 3 Metodologia utilizada na Deconvolução Adaptativa	. 16
3.1 Processamento de dados sísmicos	. 16
3.2 Geometria	. 16
3.3 Edição e mute de traços ruidosos	. 17
3.4 Filtragem Passa-Banda	. 18
3.5 Correção de Amplitude	. 19
3.6 Análise de Velocidade e correção de NMO	. 19
3.7 Empilhamento CMP	. 20
CAPÍTULO 4 Resultados da Deconvolução Adaptativa Preditiva	. 22
4.1 Aplicação do Método DAMM em dado real	. 22
4.2 Discussão dos Resultados	. 24
CADÍTULO E COLO	9.0

Agradecimentos	•	 •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	39
Referências Bibliográficas									•	•													•				40

ÍNDICE DE TABELAS

3.1	Parâmetros de	aquisição d	la linha	sísmica	214-0266.													17
-----	---------------	-------------	----------	---------	-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Raios refletido e transmitido associados a um raio normalmente incidente sobre uma interface de contraste de impedância acústica	4
1.2	Modelo de reverberação da energia sísmica	5
1.3	Alteração progressiva da forma de um pulso durante sua popagação através	
	da subsuperfície, devido aos efeitos da absorção. (Baseado em Anstey, 1977)	6
1.4	Modelo convolutivo do traço sísmico de reflexão, mostrando o traço como a	
	saída convolvida de uma função refletividade com um pulso de entrada	7
2.1	Gráfico do tempo de chegada dos eventos de reflexão no fundo oceânico em	
	função da ordem do evento de reflexão	13
2.2	Traço original (a). Resultado após a : DAWL (b) e DAMM (c)	14
2.3	Sismograma original (a). Resultado após a : DAWL (b) e DAMM (c)	15
3.1	Tipos de organização do traço sísmico	17
3.2	Filtro trapezoidal passa-banda e as respectivas frequências utilizadas	18
3.3	Tiro 964 original (a) e após a edição, mute em seguida filtrado com o filtro de	
	frequencia trapezoidal passa-banda e após a aplicação do ganho AGC (b)	19
3.4	Esquema de organização dos traços, sendo a distância entre receptores ΔG ,	
	entre tiros ΔS e o afastamento mínimo $2\Delta G$. Silva (2004)	20
3.5	Fluxograma adotado no processamento da linha 214-0266 da Bacia do Jequit-	
	inhonha	21
4.1	Atualização dos parâmetros para deconvolução preditiva dentro de um mesmo	
	traço. Chartuni (2010)	22
4.2	Seção inteira da Bacia do Jequitinhonha	23
4.3	CMP original (a), após a: DAWL (b) e DAMM (c)	25
4.4	Seção de afastamento comum bruta	26
4.5	Seção de afastamento comum após a DAWL	27
4.6	Seção de afastamento comum após a DAMM	28
4.7	Seção empilhada preliminar	29
4.8	Seção empilhada após a DAWL	30
4.9	Seção empilhada após a DAMM	31
4.10	Imagem ampliada da região profunda da seção empilhada bruta (a) e após a	
	DAWL (b)	32

4.11	Imagem ampliada da região profunda da seção empilhada bruta (a) e após a	
	DAMM (b)	33
4.12	Imagem ampliada da região referente às múltiplas associadas ao talude da	
	seção empilhada bruta (a) e após a DAWL (b)	34
4.13	Imagem ampliada da região referente às múltiplas associadas ao talude da	
	seção empilhada bruta (a) e após a DAMM (b)	35
4.14	Imagem ampliada da região relativa à quebra do talude da seção empilhada	
	bruta (a) e após a DAWL (b)	36
4.15	Imagem ampliada da região relativa à quebra do talude da seção empilhada	
	bruta (a) e após a DAMM (b)	37

INTRODUÇÃO

Para se ter uma seção sísmica de boa qualidade que represente de forma confiável estruturas geológias em subsuperfície, é fundamental aumentar a razão sinal/ruído. As múltiplas presentes numa seção sísmica, são classificadas como um ruído coerente e costumeiramente são erroneamente interpretadas como reflexões primárias, aumentando dessa forma, o risco exploratório. Para um registro cada vez mais fidedigno da geologia de subsuperfície que assegure à indústria do petróleo maior sucesso à exploração, é imprescindível uma seção sísmica sem a interferência das reflexões múltiplas.

A sísmica de reflexão é uma técnica que utiliza a propagação de ondas mecânicas para a obtenção de refletores sísmicos. Durante o tempo que antecede o registro, a onda propaga pela subsuperfície, sofre diversos fenômenos ondulatórios que alteram sua frequência e amplitude. Em especial, em uma camada com forte contraste de impedância ocorre reverberação da energia sísmica. Sendo a onda refletida mais de uma vez nas interfaces em subsuperfície, originanando neste caso a reflexão múltipla. Apesar de existirem em ambos levantamentos (terrestre e marinho), as múltiplas ocorrem de forma mais intensa em aquisi- ções marinhas devido à lâmina d'água (interface ar-água) e ao fundo do mar devido aos grandes contrastes de velocidade.

Quanto à classificação das múltiplas pode-se, por exemplo, seguir o critério do tempo de trânsito. Neste caso as reflexões múltiplas podem ser classificadas como de curto, médio e longo período. Múltiplas de curto período são eventos nos quais o intervalo de repetição é apenas poucas vezes maior que o comprimento do pulso sísmico gerado pela fonte. Os eventos múltiplos de curto não apresentam uma periodicidade bem definida e também no sismograma eles apresentam-se sobrepostos aos eventos peimários (Vershuur, 2006). As múltiplas de longo período são eventos onde há um grande intervalo de repetição. As reflexões múltiplas de longo período podem ser separadas das primáras que as geraram. E, por fim, as múltiplas de médio período são as reflexões que possuem uma periodicidade intermediária às duas anteriores.

A atenuação das múltiplas é tema de muitos estudos científicos e também da indústria do petróleo. É comum o desenvolvimento de técnicas baseadas na periodicidade das reflexões múltiplas. A origem do estudo de como atenuar as múltiplas está no conceito do empilhamento CMP (Commom Mid Point). O empilhamento CMP, após a correção de NMO (Schneider et al., 1965: Yilmaz, 1987), combinado ou não com o filtro F-K (Claerbout, 1976; Ryu, 1982), pode produzir bons resultados na atenuação das amplitudes das

múltiplas de longo período (Santos, 2000).

Os métodos conhecidos para a atenuação de múltiplas podem ser agrupados em quatro grupos:

- Métodos baseados na discriminação de velocidades aparente (Schinider et al., 1965).
- Métodos baseados na equação da onda (Berryhill e Kim, 1986).
- Métodos baseados na coerência do ruído (Doicin e Spitz, 1991).
- Métodos baseados na periodicidade (Backus, 1959; Peacock e Treitel, 1969).

Neste trabalho foi utilizado o método de deconvolução preditiva adaptativa para a atenuação de reflexões múltiplas, método este, baseado no caráter periódico das múltiplas. Vale ressaltar que a premissa da periodicidade para esses eventos só é válida no caso de incidência normal e afastamento nulo, o que faz com que o método de deconvolução preditiva quando aplicado na forma convencional não seja tão eficaz.

A deconvolução preditiva é um método estatístico que se baseia na periodicidade dos eventos múltiplos. Porém, a eficiência do método é restrita aos offsets curtos e camadas horizontalmente estratificadas, onde se tem uma maior periodicidade entre as reflexões primárias e múltiplas (Santos, 2000). Para resolver o problema da falta de estacionariedade do processo, alguns autores (Clarke, 1968; Griffths et al., 1977; Wang, 1969) desenvolveram a deconvolução adaptativa, onde em condições de não estacionariedade do pulso sísmico, o traço é dividido em janelas deslizantes no tempo. Em cada janela é determinado e aplicado um filtro específico.

A premissa usual de que os dados têm valores de amplitude fora da janela de tempo considerada, não é atendida. Morf et al. (1977) desenvolveram um algoritmo para solução das ENs associadas ao problema de predição linear unitária em que não é feita nenhuma hipótese sobre as amplitudes fora da janela especificada. Nesse contexto a matriz das ENs perde a estrutura Toeplitz e o filtro obtido com algoritmo de Morf depende somente das amostras que estão no interior da janela e assim, consegue ser mais eficiente do que o método ocnvencional de Wiener-Levinson. Porsani (1986) estendeu o algoritmo de Morf de predição unitária para predição arbitrária, possibilitando seu emprego na deconvolução preditiva.

O texto deste trabalho está organizado da seguinte maneira. No capítulo 1 são abordados aspectos importantes ao entendimento dos conceitos de reflexões primárias, múltiplas, modelo convoluvional do traço sísmico. No capítulo 2 é apresentada a metodologia que foi empregada, o processamento da linha sísmica 214-0266 da Bacia do Jequitinhonha. No capítulo 3 são apresentados os resultados das deconvoluções DAWL e DAMM. No capítulo 4 estão as etapas finais do processamento e a seção empilhada. No capítulo 5 são mostradas as conclusões do trabalho.

CAPÍTULO 1

Princípios Fundamentais

1.1 Reflexão Primária

Ao propagar-se em subsuperfície, uma onda mecânica percorre por unidades rochosas, as quais de forma simplificada podem ser caracterizadas pela velocidade de propagação do meio e densidade. A partir dessas grandezas físicas, deriva-se uma outra, a impedância acústica. A impedância acústica de um meio está relacionada com a resistência ou dificuldade do meio à passagem da onda sísmica. A expressão matemática da impedância acústica é dada por:

$$I = \rho \ v \ , \tag{1.1}$$

onde,

- I representa a impedância acústica da camada;
- ρ representa a densidade da camada;
- v representa a velocidade de propagação da onda.

A onda sísmica propagando-se em um meio composto por camadas de diferentes impedâncias acústicas, ao incidir na interface que separa duas dessas camadas, parte da energia da onda é refletida e outra parte é transmitida. Para uma incidência normal em camadas planas e paralelas de velocidade constante, a equação que governa a reflexão é dada por:

$$R = \left(\frac{I_2 - I_1}{I_2 + I_1}\right) , (1.2)$$

onde,

- R representa o coeficiente de reflexão para ondas planas;
- *I*₁ representa a impedância acústica da camada 1;
- I_2 representa a impedância acústica da camada 2.

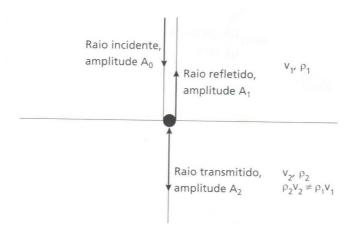


Figura 1.1: Raios refletido e transmitido associados a um raio normalmente incidente sobre uma interface de contraste de impedância acústica.

O coeficiente de reflexão R é uma medida numérica do efeito de uma interface sobre a propagação de onda, ou seja, ele é um parâmetro que indica o quanto de energia da onda sísmica é refletida ao incidir sobre uma interface. Em resumo, quanto maior for o contraste de impedância acústica entre as camadas geológicas, maior será a intensidade de reflexão.

Para uma reflexão primária associada ao fundo do mar, segundo o conceito de CMP (Mayne, 1962), a equação de tempo de chegada é dada por:

$$T_{prim} = \sqrt{\frac{(2H)^2 + X^2}{V^2}} \tag{1.3}$$

onde,

H é a profundidade no ponto médio, X o afastamento fonte-receptor e V a velocidade de propagação da onda no meio.

1.2 Reflexão Múltipla

A lâmina d'água é delimitada por duas interfaces. A interface superior (ar-água) e a interface inferior (água-sedimentos). Nos dois casos, o contraste de impefância será bastante significativo, logo, como vimos anteriormente, para uma incidência normal o coeficiente de reflexão

R apresentará altos valores. Em especial para a interfaçe ar-água, o coeficiente de reflexão possui um valor próximo a -1, dando características a essa interface de um refletor perfeito. Enquanto que os coeficientes de reflexão das interfaces de rocha apresentam ,geralmente, valores que variam de 0,001 a 0,03. Para uma aquisição sísmica marinha, tem-se uma condição natural e favorável a existência de reverberações da energia sísmica. Gerando, então, as reflexões múltiplas associadas a superfície livre da lâmina d'água. Porém, vale lembrar que em subsuperfície, camadas geológicas com interfaces limítrofes que apresentem fortes contrastes de impedância acústica, também favorecerá a geração de reflexões múltiplas.

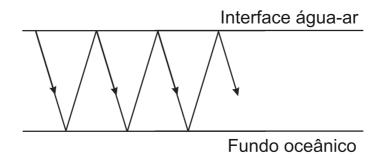


Figura 1.2: Modelo de reverberação da energia sísmica.

Uma expressão análoga generaliza a equação 1.3 obtendo-se desse modo a equação para o tempo de registro da múltipla de ordem n, a qual é dado por:

$$T_{mult}(n) = \sqrt{\frac{\{2(n+1)H\}^2 + X^2}{V^2}}$$
 (1.4)

1.3 Modelo Convolucional do Traço Sísmico

O modelo convolucional do traço sísmico pode ser descrito por:

$$x_t = p_t * e_t + n_t \tag{1.5}$$

onde,

- x_t representa o traço sísmico;
- p_t representa o pulso sísmico;
- \bullet e_t representa a resposta impulsiva da terra, também chamada de função refletividade;
- * representa a operação de convolução.

Sendo o ruído desprezível e adicionando a múltipla na equação, obtém-se:

$$x_t = p_t * e_t * m_t . ag{1.6}$$

Para considerar isso como verdadeiro, o modelo convolucional admite algumas premissas (YILMAZ, 1987) as quais, como veremos a seguir, são atendidas de forma aproximada. Mesmo sendo de forma aproximada, o modelo convolutivo se mostra muito eficiente para a representação do traço sísmico.

Premissa 1: A Terra é constituída por camadas horizontais de velocidade constante.

Premissa 2: A fonte sísmica gera uma onda compressional P cuja incidência nas camadas é normal.

A premissa 1 falha todas as regiões, porém, não é aceitável em regiões geologicamente complexas ou anisotrópicas. Já a premissa 2 pressupõe que a aquisição é feita em offset-zero o que na prática não é possível. Entretanto, é possível fazer uma aproximação desde que as camadas estejam a uma profundidade considerável em relação ao cabo de receptores, assim, assume-se que o ângulo de incidência é pequeno e por isso pode-se desprezar a dependência do ângulo por parte dos coeficientes de reflexão.

Premissa 3: A forma do pulso sísmico não se altera com a sua propagação em subsuperfície.

O que ralmente não acontece, pois ao propagar-se em subsuperfície, o pulso sísmico sofre distorções devido aos efeitos de propagação e adição de ruídos. Por exemplo, o pulso sísmico tende a alongar-se devido ao efeito da absorção.

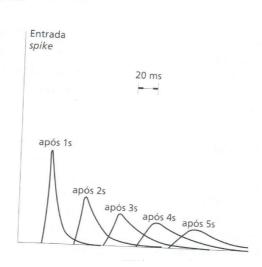


Figura 1.3: Alteração progressiva da forma de um pulso durante sua popagação através da subsuperfície, devido aos efeitos da absorção. (Baseado em Anstey, 1977)

Premissa 4: O ruído é nulo.

Esta premissa é aceitável, se considerarmos o traço sísmico com elevada razão sinal/ruído.

Premissa 5: A forma do pulso sísmico é conhecida.

Premissa 6: A refletividade é um processo aleatório.

Premissa 7: O pulso é de fase mínima.

A premissa 5 é a que levanta mais problemas pois se conhecêssemos p_t e conhecendo x_t bastaria calcular e_t . Se assim fosse tería-se uma solução determinística da equação. Como não é isso o que acontece é necessário fazer uma estimativa de p_t . Em relação à premissa 7, esta é essencial pois os algoritmos utilizados no processamento sísmico, especialmente os de deconvolução, consideram a premissa de que o pulso sísmico é de fase mínima.

A partir do que foi apresentado tem-se que, no domínio do tempo e de forma ideal, o traço sísmico resulta da interação de uma onda compressional, estacionária, de incidência normal com as interfaces em subsuperfície. A partir dessa interação, gera-se uma onda refletida e outra transmitida, a qual vai continuar a propagar-se para baixo em subsuperfície. As ondas geradas vão ter a mesma forma que a onda incidente mas com amplitudes relativas diferentes conforme o coeficiente de reflexão.

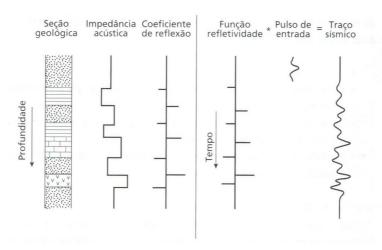


Figura 1.4: Modelo convolutivo do traço sísmico de reflexão, mostrando o traço como a saída convolvida de uma função refletividade com um pulso de entrada.

CAPÍTULO 2

Deconvolução Preditiva

2.1 Deconvolução Preditiva de Wiener-Levinson

O método de deconvolução preditiva tem como uma de suas metas a previsão e atenuação/remoção dos efeitos indesejáveis que apresentam caráter periódico. Sabe-se que as múltiplas para offsets curtos preservam de maneira significativa seu caráter periódico. No caso da deconvolução preditiva com predição unitária, o pulso é comprimido para uma função Delta de Dirac, pois ocorrerá a deconvolução ao impulso e o traço resultante representará idealmente a resposta impulsiva da Terra. Para a supressão de múltiplas é necessario que a distância de predição L seja maior que a unidade. Nesse caso, o operador preditivo de erro terá sua ação deslocada no etmpo sobre amostras situadas a tempos avançados, o que possibilita uma escolha adequada para o valor de L, de tal modo a obter um operador que aja na zona de múltiplas, a fim de atenuá-las (Robinson e Treitel, 1980).

O método de deconvolução preditiva de Wiener-Levinson possui três etapas:cálculo dos coeficientes da função de autocorrelação (FAC), resolução do sistema de ENs para obtenção do filtro preditivo de WL e a aplicação do filtro por meio da convollução obtendo-se o traço deconvolvido como sendo o resíduo entre o traço original (sinal de entrada) e o traço predito.

A filtragem preditiva monocanal é descrita pela expressão de convolução discreta e é representada na forma de predição linear (Robinson e Treitel, 1980) da seguinte maneira,

$$\tilde{x}_{t+L} = \sum_{k=1}^{n} x_{t-k+1} \tilde{h}_k , \qquad (2.1)$$

onde,

- $\tilde{x}_t + L$ representa o sinal predito no tempo t + L, a partir da combinação linear dos valores de x_t, \dots, x_{t-n+1} ;
- L representa a distância de predição;
- \tilde{h}_k é o filtro de predição;

O erro de predição é definido como a diferença entre a amostra lida e a predita. O erro de predição em uma amostra no tempo $t\,+\,L$ é dado por:

$$e_{t+L} = x_{t+L} - \tilde{x}_{t+L}, \tag{2.2}$$

Baseando-se na equação 2.1, pode-se reescrever a equação 2.2 como:

$$e_{t+L} = x_{t+L} - \sum_{k=1}^{n} x_{t-k+1} \tilde{h}_k$$
 (2.3)

O operador de erro com distância de predição L é representado da seguinte forma:

$$1, \underbrace{0, 0, \cdots, 0}_{L-1 \text{ zeros}}, -\tilde{h}_1, -\tilde{h}_2, -\tilde{h}_3, \cdots, -\tilde{h}_n$$
 (2.4)

sendo que os n elementos não nulos do filtro atuam sobre o traço sísmico x_t a tempos passados, preservando as L amostras relacionadas às reflexões primárias.

Escrevendo na forma matricial, para L=3 e n=3, tem-se:

$$\begin{bmatrix} e_{0} \\ e_{1} \\ e_{2} \\ e_{3} \\ e_{a} \\ e_{5} \\ \vdots \\ e_{t+3} \\ \vdots \\ e_{m} \\ e_{m+1} \\ e_{m+2} \\ e_{m+3} \\ e_{m+4} \\ e_{m+5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_{1} & x_{0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_{2} & x_{1} & x_{0} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_{3} & x_{2} & x_{1} & x_{0} & 0 & 0 & 0 \\ x_{4} & x_{3} & x_{2} & x_{1} & x_{0} & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots \\ x_{t+3} & x_{t+2} & x_{t+1} & x_{t} & x_{t-1} & x_{t-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m} & x_{m-1} & x_{m-2} & x_{m-3} & x_{m-4} & x_{m-5} \\ 0 & x_{m} & x_{m-1} & x_{m-2} & x_{m-3} & x_{m-4} \\ 0 & 0 & x_{m} & x_{m-1} & x_{m-2} & x_{m-3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_{m} & x_{m-1} & x_{m-2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_{m} & x_{m-1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_{m} & x_{m-1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_{m} \end{bmatrix}$$

$$(2.5)$$

A forma quadrática correspondente ao vetor de erro de predição é dada por:

$$Q = \sum_{t} e_t^2 \tag{2.6}$$

Os coeficientes do operador preditivo de erro (OPE) deve ser calculado de maneira que o erro quadrático seja mínimo. Minimizando o erro quadrático e colocando na forma expandida das Equações Normais (ENs), tem-se:

$$\begin{bmatrix} r_0 & r_1 & \cdots & r_{n-1} \\ r_1 & r_0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & r_1 \\ r_{n-1} & \cdots & r_1 & r_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\tilde{h_1} \\ -\tilde{h_2} \\ \vdots \\ -\tilde{h_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_L \\ r_L + 1 \\ \vdots \\ r_{L+n-1} \end{bmatrix}$$

$$(2.7)$$

A matriz (2.7) possui bandamentos em relação à diagonal principal e é conhecida como matriz de autocorrelação vanda estruturada Toeplitz cujos coeficientes representam uma estimativa da autocorrelação $(r_j = \sum_j x_k x_{k-j})$ do pulso sísmico.

O vetor \tilde{h} minimiza o erro na equação (2.7). E em função dos elementos deste vetor é possível obter a expressão da soma total dos erros minimizados $E_{h,n}$.

$$min\{Q\} = E_{h,n} = r_0 - \sum_{k=1}^{n} r_{L+k} \tilde{h}_k$$
(2.8)

Pela combinação das expressões (2.7) e (2.8), obtêm-se a form ampliada das ENs. Para simplificar o vetor \tilde{h} adota-se $-\tilde{h}_j = \tilde{h}_j$, $j = 1, \dots, n$.

$$\begin{bmatrix}
r_{0} & r_{L} & r_{L+1} & \cdots & r_{L+n-1} \\
r_{L} & r_{0} & r_{1} & \cdots & r_{n-1} \\
r_{L+1} & r_{1} & r_{0} & \ddots & \vdots \\
\vdots & \vdots & \ddots & \ddots & r_{1} \\
r_{L+n-1} & r_{n-1} & \cdots & r_{1} & r_{0}
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix}
1 \\
h_{1} \\
\vdots \\
\vdots \\
h_{n}
\end{bmatrix} =
\begin{bmatrix}
E_{h,n} \\
0 \\
\vdots \\
\vdots \\
0
\end{bmatrix}$$
(2.9)

Porsani e Ursin (2007) elaboraram um algoritmo com a filosofia Levinson que produz diretamente o traço deconvolvido, tornando o processo de deconvolução mais simples e computacionalmente mais eficiente. No algoritmo apresentado por Porsani e Ursin (2007), a recursão de Levinson é aplicada diretamente sobre o traço sísmico, gerando e atualizando o traço deconvolvido desde a ordem $j=1,\cdots,n$. Não ha diferença, em tese, dos resultados obtidos com o método de WL e o método de deconvolução direta.

2.2 Deconvolução de Morf para predição arbitrária

No processo de deconvolução preditiva de Wiener-Levinson, as amostras dos traços sísmicos são especificados com amplitudes nulas fora do intervalo considerado, os operadors preditivos

obtidos por meio da solução das ENs são responsáveis por erros transientes que são tanto maiores quanto menor for o comprimento da janela considerada (Bunch e White, 1985). Para reslver este problema, Morf et al. (1977) desenvolveram um algoritmo eficiente tipo-Levinson para solução das ENs relacionadas ao porblema da predição linear unitária, em que não é feita qualquer hipótese sobre os dados da janela considerada. Dessa forma a matriz das ENs perde a estrutura Toeplitz e o filtro obtido com o algoritmo Morf depende apenas das amplitudes das amostras contidas no interior da janela e assim, consegue ter uma maior eficiência na predição.

$$\begin{bmatrix} e_{a,n} \\ \vdots \\ e_{a,m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_n & x_{n-1} & x_{n-2} & \cdots & x_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_m & x_{m-1} & x_{m-2} & \cdots & x_{m-n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ a_{n,1} \\ a_{n,2} \\ \vdots \\ a_{n,n} \end{bmatrix}$$
(2.10)

Este sistema preserva apenas as equações onde o filtro está inteiramente dentro da janela de tempo considerada. O sistema possui um número reduzido de equações, porém o novo filtro calculado tende a ser muito mais eficiente por não utilizar a premissa de valores de amplitudes nulos das amostras fora da janela.

O algoritmo de Morf de predição unitária (L=1) foi estendido por Porsani (1986) para predição arbitrária (L;1), sendo empregado para a atenuação de múltiplas. São utilizados operadores de erro de predição (OEP) e os operadores de erro de modelamento (OEM) de ordem j para ampliação dos filtros preditivos e modeladores de ordem j+1. O sistema de equações lineares que é resolvido com o algoritmo de Morf modificado é apresentado a seguir.

$$\begin{bmatrix} e_{h,n+L-1} \\ \vdots \\ e_{h,m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{n+L-1} & x_{n-1} & x_{n-2} & \cdots & x_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_m & x_{m-L} & x_{m-L-1} & \cdots & x_{m-n-L+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ h_{n,1} \\ h_{n,2} \\ \vdots \\ h_{n,n} \end{bmatrix}$$
(2.11)

O operador de predição direta, que opera apenas no interior do traço x_t por meio da combnação linear dos valores passados, prediz cada ponto com a distância de predição L com erro mínimo.

Considerando \tilde{y}_t a melhor aproximação do sinal desejado pelo método dos mínimos quadrados, resultante da deconvolução com $(1 - \tilde{h}_{j+1}^T)$, o OEM de ordem j+1, e $h_{j+1} = -\tilde{h}_{j+1}$, tem-se que o erro de predição direta associado ao modelamento de ordem j+1 gera o seguinte sistema de equações:

$$\begin{bmatrix} e_{h,j} \\ \vdots \\ e_{h,m-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_j & x_j & x_{j-1} & \cdots & x_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{m-1} & x_{m-1} & x_{m-2} & \cdots & x_{m-j-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ h_{j+1,1} \\ \vdots \\ h_{j+1,j+1} \end{bmatrix}, \qquad (2.12)$$

onde x_t e y_t , respectivamente, o sinal de entrada e o sinal desejado com m amostras.

A equação (2.12) contém apenas informações dos valores das amostras contidas no interior da janela. Os coeficientes $h_{n,j}$ não atuam sobre os valores de x_t para

Minimizando a forma quadrática $\mathbf{e}_{h,j+1}^T \mathbf{e}_{h,j+1}^T = Q(\mathbf{h}_{j+1})$ com respeito aos parâmetros $h_{j+1,k}, \ k=1,\cdots,j+1$ e agrupando as ENs numa expressão para o mínimo, $Q_{min}=E_{h,j+1}$, obtém-se as ENs representada numa forma ampliada:

$$\mathbf{C}_{h,j+1} \begin{bmatrix} 1 \\ \mathbf{h}_{j+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j+1c_{h,0} & \mathbf{c}_{xy,j+1}^T \\ \mathbf{c}_{xy,j+1} & \mathbf{C}_{b,j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \mathbf{h}_{j+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{h,j+1} \\ \mathbf{0}_{j+1} \end{bmatrix}$$
(2.13)

onde

$$^{j+1}c_{h,0} = \sum_{t=j}^{m-1} y_t^2 \tag{2.14}$$

$$\mathbf{c}_{xy,j+1} = \sum_{t=j}^{m-1} y_t^j \mathbf{x}_t = (j+1)^{m-1} c_{xy,0}, \cdots, j+1 c_{xy,j})^T$$
(2.15)

$$\mathbf{C}_{b,j} = \sum_{t=j}^{m-1} {}^{j}\mathbf{x}_{t}{}^{j}\mathbf{x}_{t}^{T}$$

$$(2.16)$$

com

$$^{j}x_{t} = (x_{t}, \cdots, x_{t-j})^{T}$$
 (2.17)

Para um maior detalhamento da teoria, é fundamental consultar a tese de doutorado do professor Dr. Porsani (1986), capítulo 5.

2.3 Deconvolução preditiva adaptativa Morf modificado

A essência da implementação do processo de deconvolução preditiva na forma adaptativa é o uso de janelas de tempo deslizantes, as quais tenham o tamanho e posição no traço sísmico atualizados, bem como o número de coeficientes do filtro e a distância de predição.

Observando as equações de tempo de chegada da reflexão primária e da múltipla de ordem n, observa-se que o gráfico do tempo de chegada dos eventos primários e múltiplos associados ao fundo oceânio em função da ordem de tais eventos de reflexão é uma reta. Neste caso, é possível atualizar os valores dos períodos ao longo do traço a ser deconvolvido. Os valores do número de coeficientes do filtro e da distância de predição são dados por uma porcentagem do período analisado.

Um parâmetro que é necessário para o cálculo do filtro preditivo é o comprimento da janela. O comprimento não pode ser muito grande para não entrar na zona das outras múltiplas e nem muito pequeno para não gerar um sistema sub-determinado (Chartuni 2010). O comprimento da janela deslizante foi definido como um múltiplo do número de coeficientes do filtro somado à distância de predição.

Ao analisar a expressão $T_{mult}(n) = \sqrt{\frac{\{2(n+1)H\}^2 + X^2}{V^2}}$, e lembrando que para uma seção zero-offset X=0, e que para n=0 (ordem zero), o tempo registrado é para uma reflexão primária; para n=1, o tempo registrado é da primeira reflexão múltipla (primeira ordem) e assim por diante. O gráfico do tempo de chegada dos eventos de reflexão em funcão da ordem do evento é dado por:

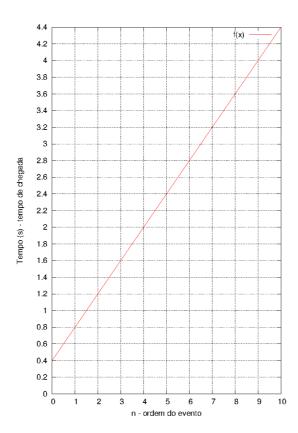


Figura 2.1: Gráfico do tempo de chegada dos eventos de reflexão no fundo oceânico em função da ordem do evento de reflexão.

2.4 Aplicação da Deconvolução Preditiva Adaptativa em dado sintético

Para validar a eficácia do método de deconvolução preditiva adptativa de Morf modificado (DAMM), aplicou-se o método em dados sintéticos e os resultados foram comparados com os resultados gerados a apartir do método de DAWL. Os sismogramas sintéticos foram gerados a partir da técnica de traçamento de raios, utilizando o programa *cshot* do pacote de processamento sísmico *Seismic Unix* (SU). O método de deconvolução preditiva adaptativa foi testado em uma família de tiro comum contendo a primária do fundo oceânico e suas múltiplas. O intervalo de amostragem utilizado no dado sintético foi de 4ms, com tempo de registro de 4s, logo 1001 amostras. Foram gerados 50 tiros, com distância entre tiros de 50m e 60 receptores por tiro, com distância entre estações de 50m.

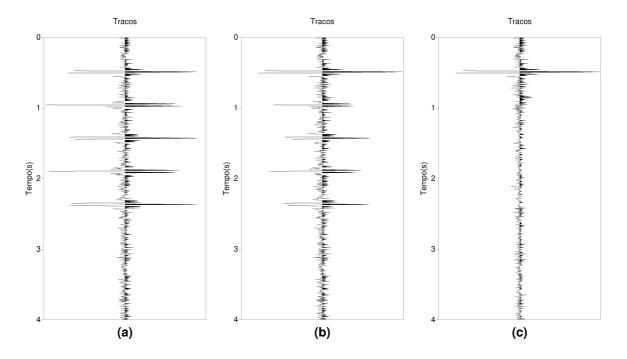


Figura 2.2: Traço original (a). Resultado após a : DAWL (b) e DAMM (c).

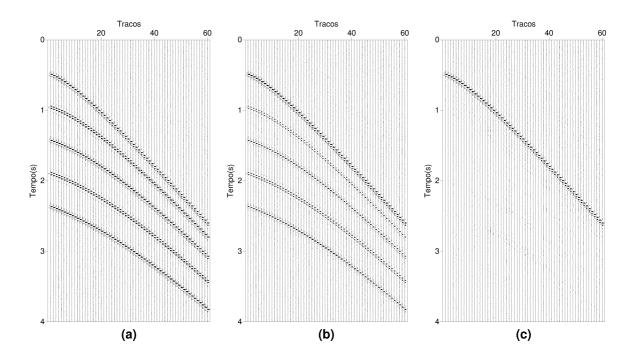


Figura 2.3: Sismograma original (a). Resultado após a : DAWL (b) e DAMM (c).

Os resultados obtidos pelos métodos da DAWL e DAMM demonstram que a predição e atenuação das múltiplas foram bem sucedidas. A partir dos resultados nota-se que foi comprovado a superioridade da DAMM no que tange à atenuação das múltiplas e preservação da reflexão primária. Vale ressaltar que ao observar a Figura 2.2 verifica-se que a amplitude associada à reflexão primária foi realçada após a aplicação da DAWL e DAMM.

CAPÍTULO 3

Metodologia utilizada na Deconvolução Adaptativa

3.1 Processamento de dados sísmicos

Para realizar o processamento sísmico utilizou-se o pacote de programas SeismicUnix (SU), e para a aplicação da deconvolução foram utilizadas rotinas FORTRAN desenvolvidas pelo LAGEP-UFBA. O método sísmico de reflexão é eficiente no imageamento da subsuperfície, porém o sinal sísmico é contaminado com ruídos. Dessa forma, é necessário aplicar um fluxograma de processamento sísmico para melhorar e tornar mais fidedigno o imageamento sísmico. Um dos ruídos coerentes é a reflexão múltipla e neste trabalho temos por objetivo atenuar os eventos múltiplos que estão presentes na seção sísmica. Para realizar tal objetivo é necessário algumas etapas que compreende a etapa do pré-processamento e a etapa do processamento propriamente dito. No pré-processamento podemos citar a geometria, a edição de traços ruidosos, mute/silenciamento de traços e filtragem de frequência. Do processamento podemos citar a análise de velocidades, a deconvolução preditiva adaptativa Morf modificado e a correção de amplitude devida ao espalhamento geométrico, a correção de NMO e finalmente o empilhamento CMP.

3.2 Geometria

A lnha 214-0266 fez parte de uma aquisição sísmica marinha realizada na Bacia de Jequitinhonha, sul da Bahia, e esatá no formato SEGY, sendo necessário primariamente realizar a etapa da geometria. O dado se encontra no conjunto de dados disponíveis no LAGEP-UFBA. A geometria é uma etapa fundamental no processamento sísmico pois é nela que informamos as corretas posições de fontes e receptores, sendo essas coordenadas usadas nas outras etapas do processamento. Caso exista erros nesta etapa, o processamento da linha sísmica será parcial ou totalmente perdido pois o fluxo de processamento será realizado com posições incoerentes com aquelas que foram obtidas no momento da aquisição sísmica. O objetivo é registrar no header de cada traço, as coordenadas de: ponto de tiro, receptor, do ponto médio comum, e o offset. Essas informações são úteis para a organização dos traços

em famílias CDP e também nas demais formas de organização do dado. Como o objetivo é atenuação de múltiplas de longo período, a parte rasa do dado (1 a 630 tiros) foi cortada, deixando o dado com 948 tiros no total.

DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS	PARÂMETROS UTILIZADOS
Lanço/Spread (m)	0-150-3125
Intervalo entre receptores (m)	25
Intervalo entre tiros (m)	25
Número de tiros	1577
Número de canais	120
Intervalo de amostragem (ms)	4
Número de amostras	1751
Tempo de registro (s)	7,00
Menor afastamento (m)	150
Maior afastamento (m)	3125
Cobertura CDP	60

Tabela 3.1: Parâmetros de aquisição da linha sísmica 214-0266.

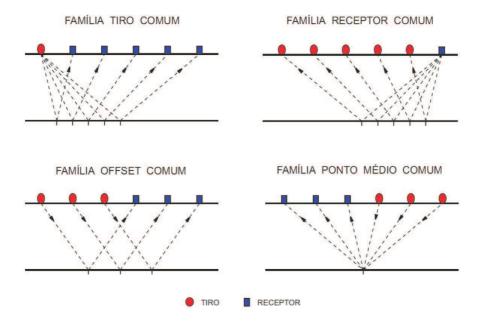


Figura 3.1: Tipos de organização do traço sísmico.

3.3 Edição e mute de traços ruidosos

A etapa da edição realiza um controle de qualidade nos dados sísmicos, aumentando a razão sinal/ruído. É feita uma visualização prévia do dado e em seguida, traços ruidosos e tiros

de má qualidade devem ser eliminados a fim de não prejudicarem diretamente a qualidade do dado. Os princpais traços a serem editados são traços com baixa razão sinal/ruído, traços contaminado por alguma frequência associada a fontes elétricas, traços com amplitudes nulas devido a algum defeito em receptores de sinal sísmico. Em geral, a edição de dados marinhos são menos fatigantes pois a qualidade dos traços sísmicos são melhores do que em dados sísmicos terrestres. O mute ou silenciamento dos traços é realizado com o objetivo de eliminar, ou seja, zerar amplitudes que são consderadas provenientesde um ruído, por exemplo, em dados marinhos, ruídos acima da reflexão associada ao fundo oceânico. Para eliminar esses traços ruidosos, aplicou-se uma edição automática, que retira os mesmo traços em todos os sismogramas, utilizando o programa suxkill desenvolido pelo LAGEP/UFBA; e um silenciamento também interativo , na qual a função mute é realizada pelo programa suxmute também desenvolvido pelo LAGEP/UFBA.

3.4 Filtragem Passa-Banda

Essa etapa tem o objetivo de suprimir as bandas de frequência indesejáveis no dado sísmico e garantir certas bandas de frequênia que estão associadas a eventos relevantes no dado. Para tanto, foi utilizado no presente trabalho, o filtro de frequência trapezoidal passa-banda a fim de remover as baixas e altas frequências que estão geralmente associadas a eventos ruidosos. Os valores de frequência utilizados na filtragem foram respectivamente 10, 20, 60, 70Hz. Desta forma foi possível preservar as amplitudes presentes no intervalo compreendido entre 20 e 60Hz, eliminar valores menores que 10Hz e maiores que 70Hz e suavizar valores compreendidos entre 10 a 20Hz e 60 a 70Hz.

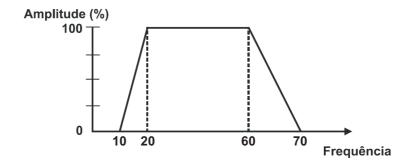


Figura 3.2: Filtro trapezoidal passa-banda e as respectivas frequências utilizadas.

Com a aplicação da filtragem trapezoidal pode ocorrer um aumento significativo na razão sinal/ruído, melhorando a resolução temporal. Verifica-se na Figura 3.3 que algumas estruturas foram suavizadas com a utilização da filtragem trapezoidal.

3.5 Correção de Amplitude

Aplicou-se no dado o ganho AGC (Controle automático de ganho) para corrigir a perda de amplitude devido a propagação da onda. O AGC é um tipo de ganho dependente da amplitude do dado. A vantagem do ganho AGC é ter um bom balanceamento do espectro de amplitude e a desvantagem é depois de aplicado ele não poder ser mais removido. Uma pequena mudança indesejada na amplitude do dado pode começar uma série de erros durante o fluxo de processamento (Cohen e Jr., 2002).

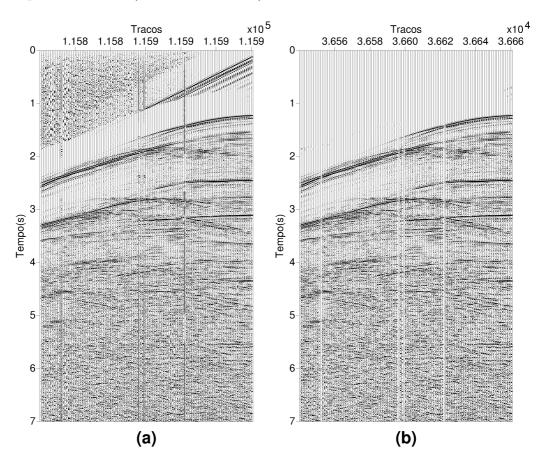


Figura 3.3: Tiro 964 original (a) e após a edição, mute em seguida filtrado com o filtro de frequencia trapezoidal passa-banda e após a aplicação do ganho AGC (b).

3.6 Análise de Velocidade e correção de NMO

Na etapa da análise de velocidade se tem o objetivo de estimar a velocidade que possa horizontalizar o máximo possível as hipérboles de reflexão, de tal modo que ao realizar a etapa de empilhamento, as hipérboles de reflexão devidamente horizontalizadas somar-se-ão produzindo um dado melhor empilhado com uma alta razão sinal/ruído.

As velocidades de empilhamento são conhecidas através da análise de velocidade no domínio CMP. A análise de velocidade há a definição das velocidades que melhor compensem as diferenças de sobretempo normal (NMO) das reflexões. Sabe-se que um CMP contém traços de uma reflexão de um mesmo ponto em subsuperfície, mas com diferentes trajetórias. Estas diferentes trajetórias geram diferentes tempos de trânsito e é justamente através da correção de NMOa partir da função velocidade definida na análise de velocidade que as hipérboles de reflexão são horizontalizadas. A análise de velocidade não é efetuada com um únco CMP, e sim com uma quantidade significativa de CMPs distribuídos regularmente distribuídos. Por final, as velocidades são interpoladas para a correção de NMO e empilhar os CMPs.

3.7 Empilhamento CMP

Os traços das famílias CMP, devidamente horizontalizados após a correção de NMO, podem ser somads de forma construtiva por meio do empilhamento CMP. A soma construtiva destes traços de cada família CMP é denomiada de empilhamento e a imagem obtida é chamada de seção empilhada. Assumindo que podem existir ruídos no dado sísmico, a razão sinal/ruído pode aumentar através do empilhamento. Isto é verificado pelo fato de que o ruído aleatório não pode ser somado consrutivamente (Cohen e Jr., 2002). Depois de todo o conjunto de famílias CMP terem sido empilhadas,ou seja, cada CMP ser reduzido a um único traço comum, os traços resultantes de cada CMP podem ser mostradaos em sua ordem direta.

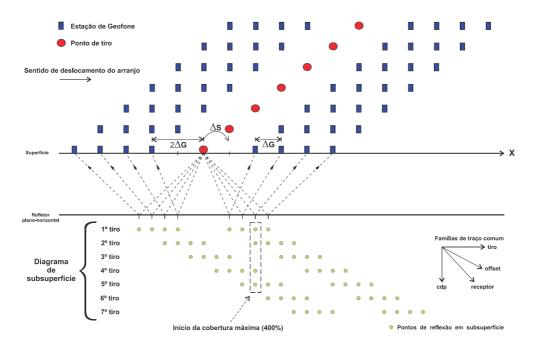


Figura 3.4: Esquema de organização dos traços, sendo a distância entre receptores ΔG , entre tiros ΔS e o afastamento mínimo $2\Delta G$. Silva (2004).



Figura 3.5: Fluxograma adotado no processamento da linha 214-0266 da Bacia do Jequitinhonha.

CAPÍTULO 4

Resultados da Deconvolução Adaptativa Preditiva

4.1 Aplicação do Método DAMM em dado real

Especificamente neste trabalho, o método de deconvolução adaptativa preditiva foi aplicado sobre a região do talude continental. Desse modo, a partir do dado sísmico da Bacia do Jequitinhonha, foi selecionado o tiro 630 ao tiro 1577. Para que que se tenha a correta noção do todo, e não somente do talude, na próxima página é mostrada a seção empilhada bruta referente à linha sísmica 214-0266 da Bacia do Jequitinhonha.

A deconvolução convencional, a qual utiliza valores fixos para o número dos coeficientes do filtro e também para a distância de predição, não é eficaz na remoção de múltiplas. Para a aplicação do método proposto são necessários apenas os tempos da primária e múltipla do fundo oceânico e a porcentagem do período para a definição do número de coeficientes do filtro e distância de predição, desse modo os valores dos parâmetros necessários para a deconvolução preditiva adaptativa são atualizados a cada vez que a janela temporal deslizante se desloca ao longo do traço sísmico.

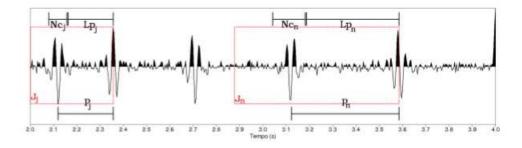


Figura 4.1: Atualização dos parâmetros para deconvolução preditiva dentro de um mesmo traço. Chartuni (2010).

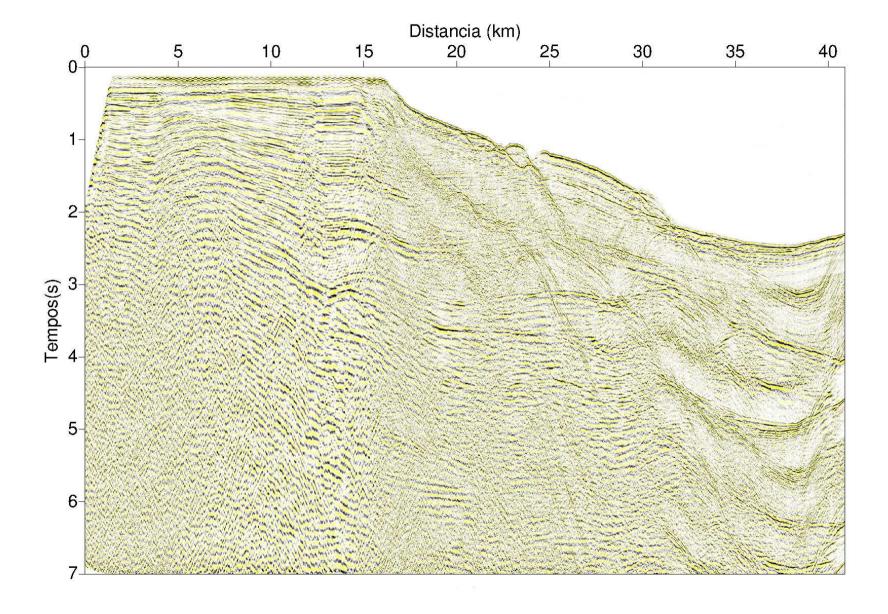


Figura 4.2: Seção inteira da Bacia do Jequitinhonha.

4.2 Discussão dos Resultados

Na Figura 4.3 vê-se um exemplo de CMP na parte profunda da Bacia do Jequitinhonha. Essa região mais profunda da seção é onde as múltiplas aparecem no registro em um tempo mais avançado (múltipla de longo período). As reflexões primárias tendem a apresentar uma amplitude muito menor em comparação com as múltiplas devido à atenuação de sua amplitude sofrida pela transformação ou perda de energia à medida que maior for a trajetória da onda. Oservando a Figura 4.3 tal nota-se que através da aplicação da deconvolução preditiva no CMP bruto sem qualquer correção de MMO, a atualização dos parâmetros da deconvolução proporciona de forma eficiente o funcionamento do filtro na predição e atenuação dos eventos múltiplos que não se encontram mais periódicos ao longo do traço sísmico.

As Figuras 4.5 e 4.6 mostram painéis de afastamento máximo após a aplicação da deconvolução adaptativa, no intuito de mostrar que mesmo para afastamentos maiores onde não existe uma periodicidade efetiva para os eventos múltiplos, mesmo assim, o método DAMM foi robusto o suficiente para uma predição eficaz e atenuação das múltiplas com um nível satisfatório quando comparado ao método de DAWL.

A Figura 4.8 é a seção empilhada utilizando a DAWL, a partir da qual verifica-se uma leve atenuação das múltiplas presentes na região do talude continental. Entretanto, a Figura 4.9, evidencia que a seção empilhada após a aplicação da DAMM mostrou-se com as múltiplas atenuadas de forma efetiva em toda a seção sísmica, mesmo na complicada região de quebra do talude.

Nas demais figuras, mostram regiões ampliadas das seções empilhadas, as quais em (a) apresenta-se a seção empilhada bruta, em (b) a seção após a DAWL e em (c) a seção após a DAMM. Nestas figuras destaca-se regiões, as quais os métodos trabalharam bem, cumprindo com o propósito de predizer e atenuar as múltiplas, valendo ressaltar q o método de DAMM se mostrou superior ao método de DAWL.

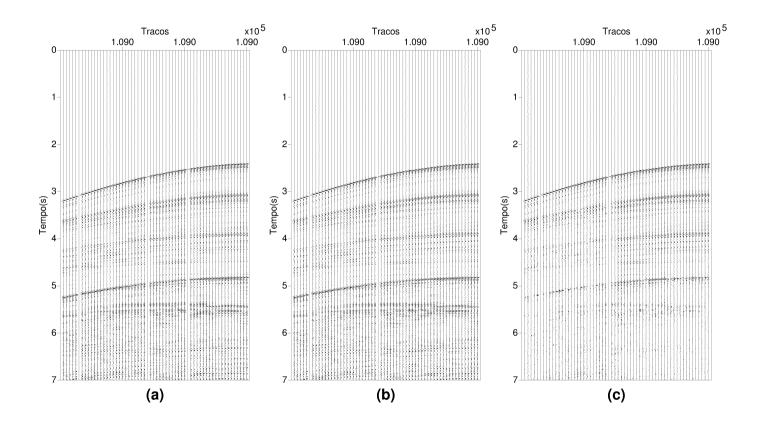


Figura 4.3: CMP original (a), após a: DAWL (b) e DAMM (c).

Distancia (km)

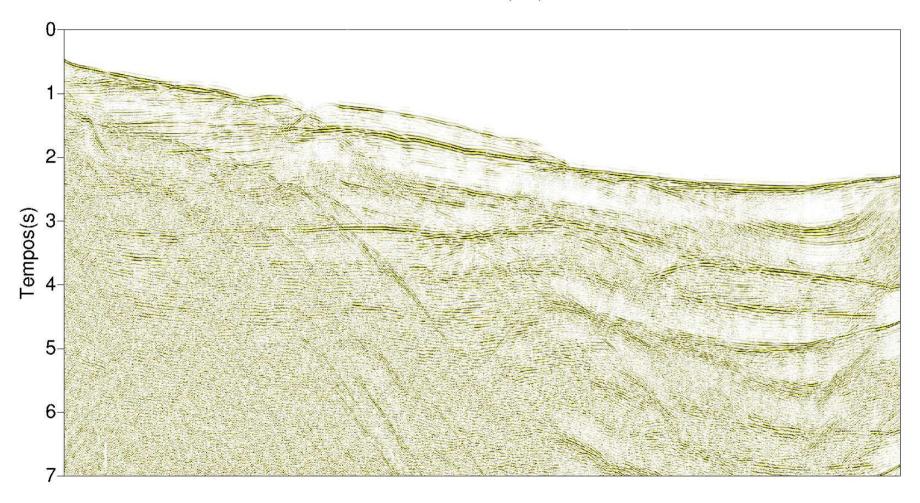


Figura 4.4: Seção de afastamento comum bruta

.

Distancia (Km)

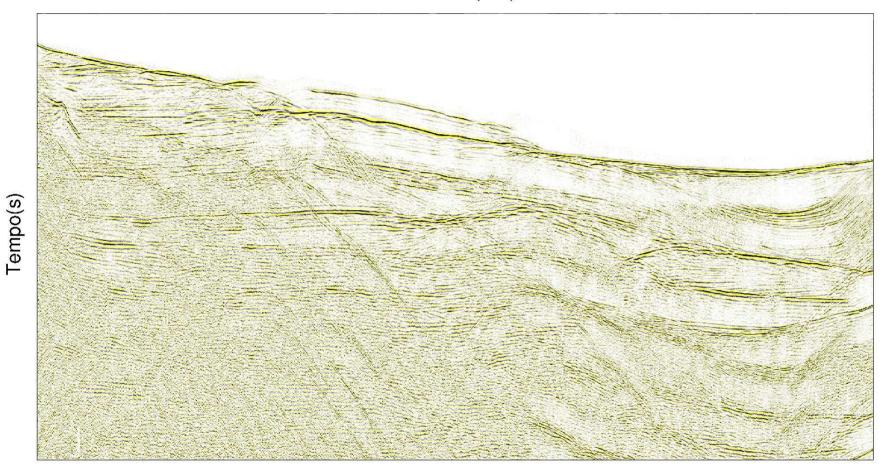


Figura 4.5: Seção de afastamento comum após a DAWL.

Distancia (Km)

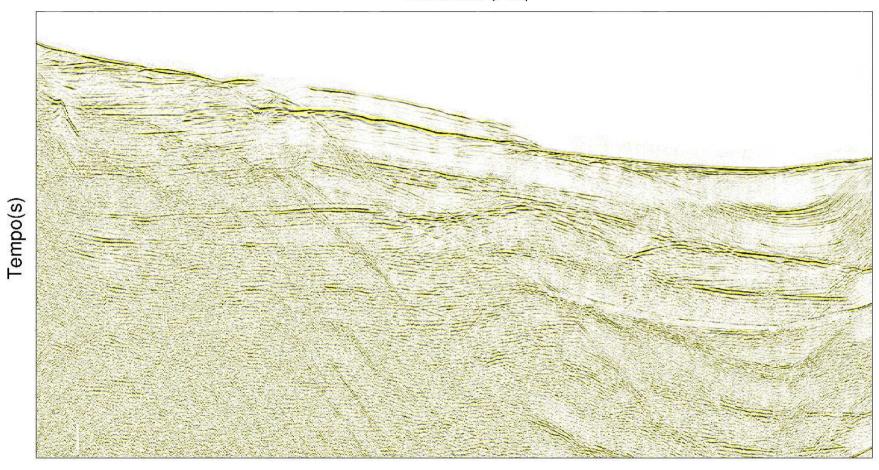


Figura 4.6: Seção de afastamento comum após a DAMM.

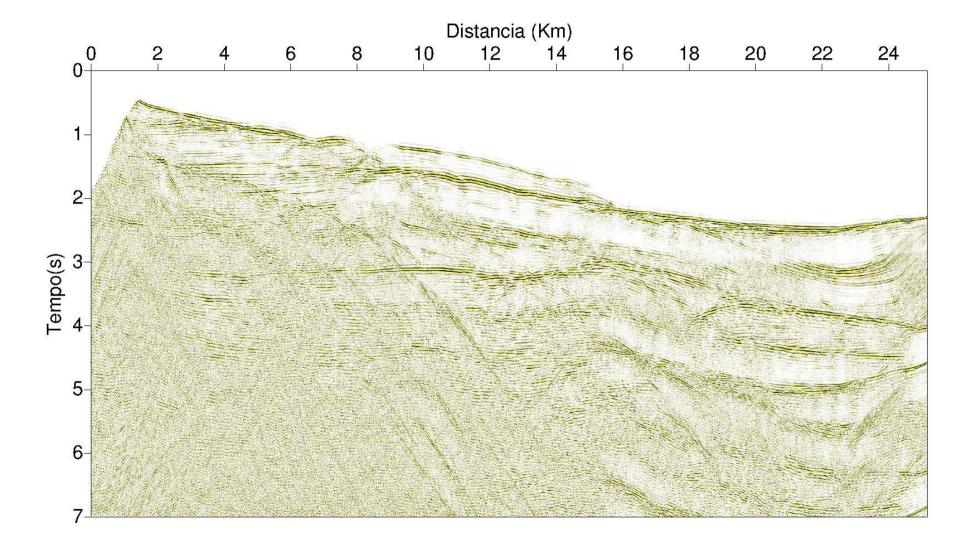


Figura 4.7: Seção empilhada preliminar.

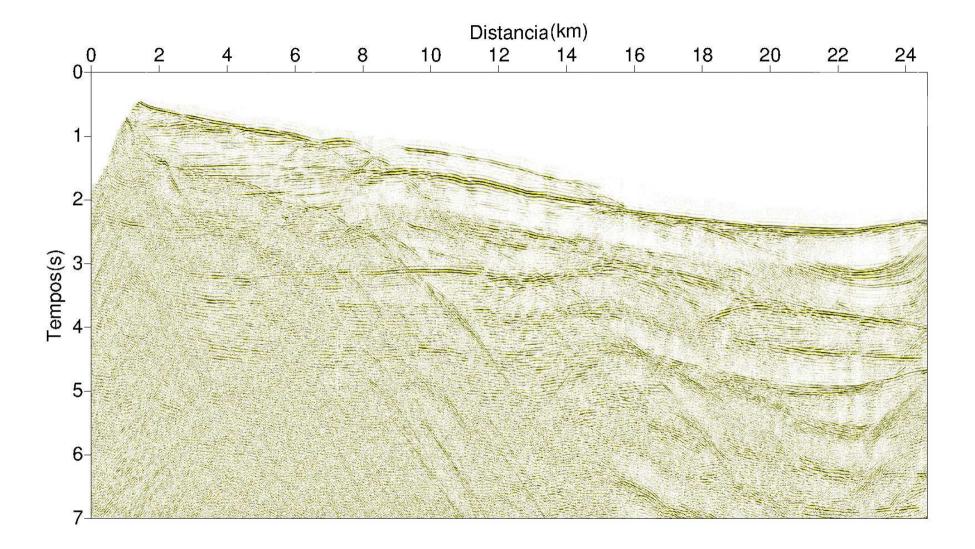


Figura 4.8: Seção empilhada após a DAWL.

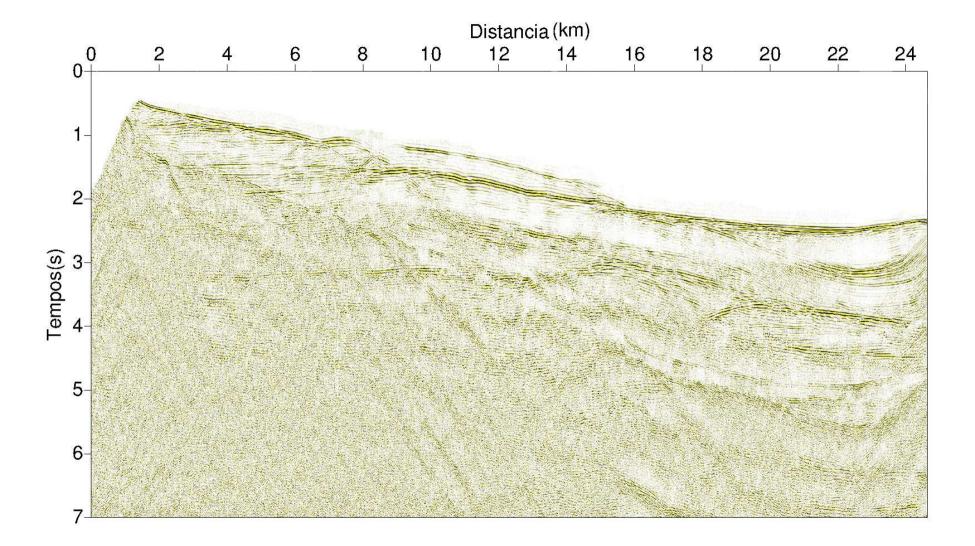


Figura 4.9: Seção empilhada após a DAMM.

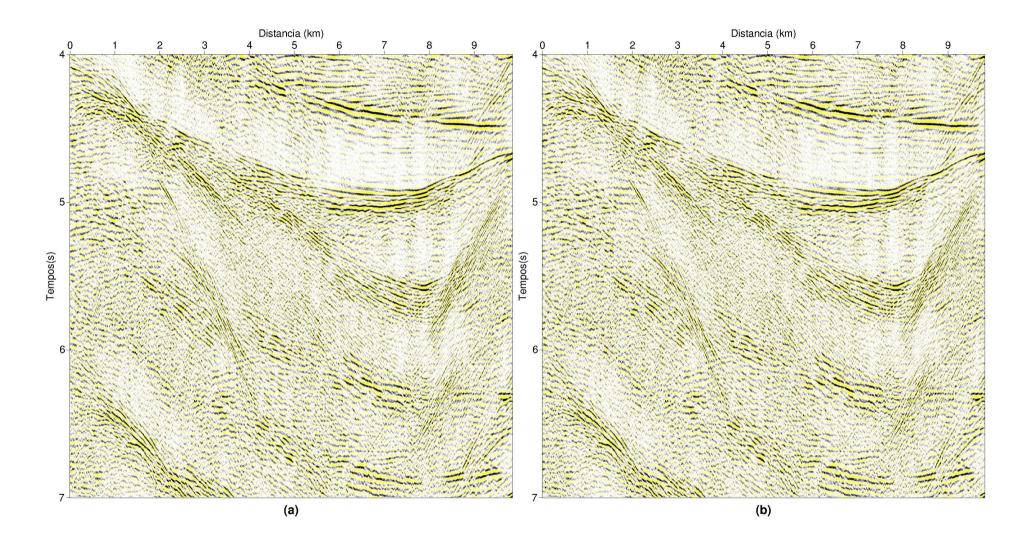


Figura 4.10: Imagem ampliada da região profunda da seção empilhada bruta (a) e após a DAWL (b)

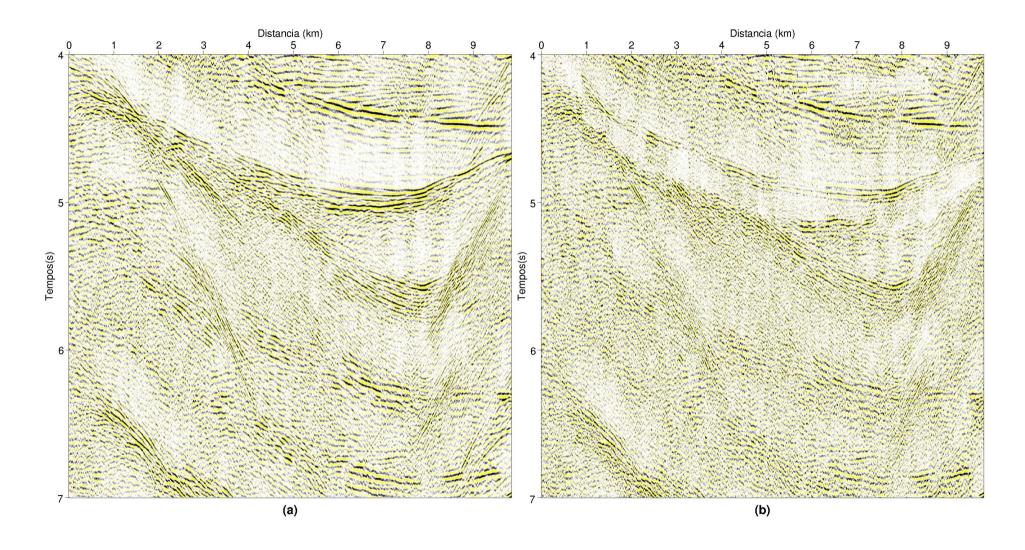


Figura 4.11: Imagem ampliada da região profunda da seção empilhada bruta (a) e após a DAMM (b).

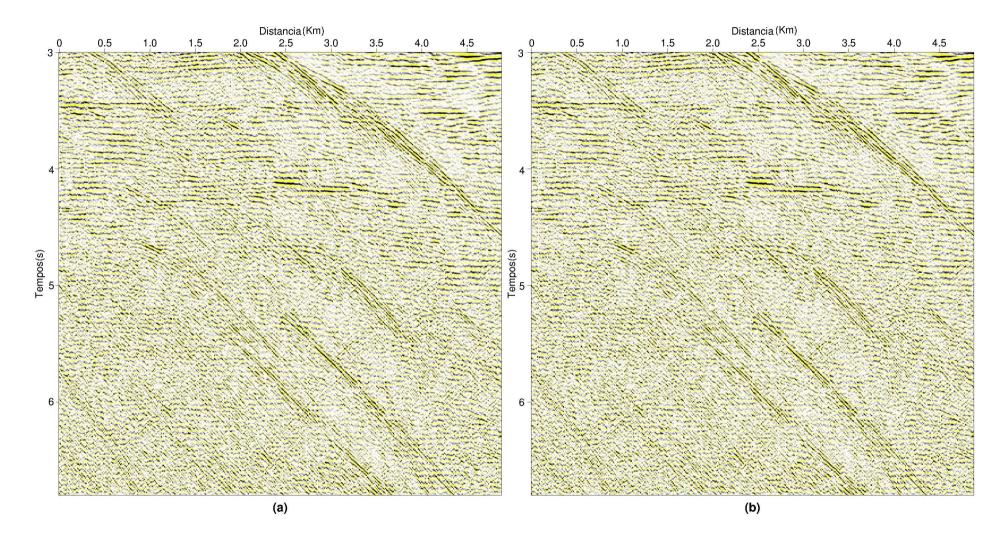


Figura 4.12: Imagem ampliada da região referente às múltiplas associadas ao talude da seção empilhada bruta (a) e após a DAWL (b).

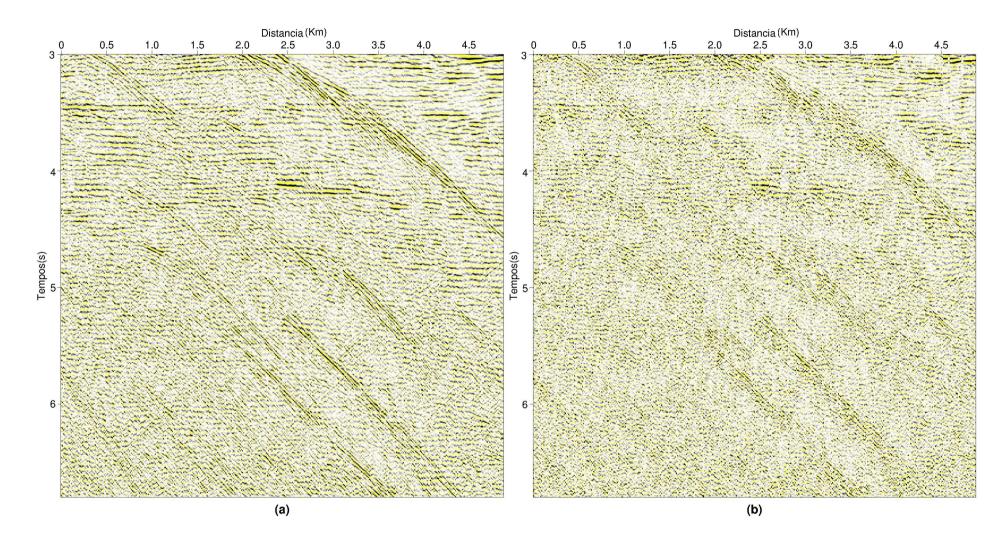


Figura 4.13: Imagem ampliada da região referente às múltiplas associadas ao talude da seção empilhada bruta (a) e após a DAMM (b).

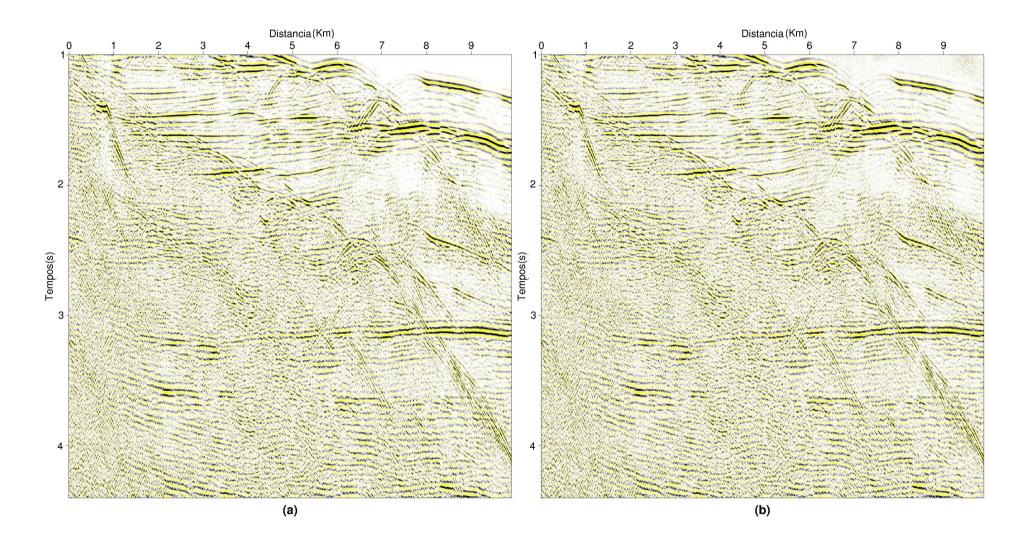


Figura 4.14: Imagem ampliada da região relativa à quebra do talude da seção empilhada bruta (a) e após a DAWL (b).

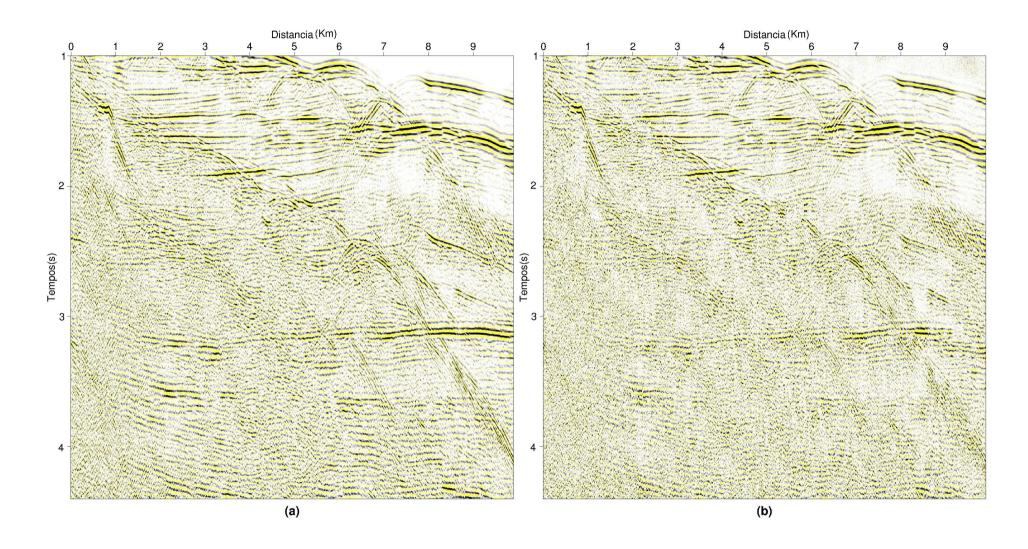


Figura 4.15: Imagem ampliada da região relativa à quebra do talude da seção empilhada bruta (a) e após a DAMM (b).

CAPÍTULO 5

Conclusões

O fluxograma do processamento sísmico adotado se mostrou eficiente na atenuação das múltiplas associadas à região do talude continental (múltiplas de médio/longo período) referente à linha 214-0266 do dado da Bacia do Jequitinhonha, sendo que o método de Morf modificado apresentou melhores resultados conforme foi mostrado ao longo do trabalho.

A atenuação das reflexões múltiplas obtida com os dados sintéticos e dados reais marinhos da Bacia do Jequitinhonha comprovaram a eficácia e superioridade do método de DAMM. Sua comparação com o método DAWL, revelou-se mais livre das múltiplas do fundo do mar. É possível ver entre as duas seções o melhor imageamento obtido com o método DAMM em todas as regiões do levantamento sísmico.

Diante dos bons resultados obtidos na atenuação das múltiplas de médio/longo período, conclui-se que a deconvolução adaptativa é uma ferramenta que pode ser mais explorada no processamento sísmico, podendo ser de grande valor à indústria do petróleo. O custo computacional dos dois métodos testados (DAWL e DAMM) é praticamente igual, já que os dois algoritmos utilizam o princípio de Levinson para a obtenção dos filtros. Uma recomendação para trabalhos futuros é estender o método DAMM para a forma multicanal.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer em primeiro lugar a Jeová Deus por ter me dado for §sas durante todos esses anos fazendo com que eu chegasse até aqui.

Aos meu familiares, em especial, a meu pai Romildo, minha mãe Lúcia e ao meu irmão Lucas, pelo amor, pelos ensinamentos, por estarem sempre presentes em todos os momentos, pela dedicação, empenho e pelo apoio em todoas as etapas de minha vida.

Agradecimento especial à minha namorada Caroline por todo amor, pela companhia indispens \tilde{A}_i vel, por todo apoio, compreens \tilde{a}_i o e incentivos. Sem ela a realiza \tilde{A}_i \tilde{A}_i \tilde{A}_i 0 dessa etapa n \tilde{A}_i \tilde{A}_i 0 teria a mesma alegria .

Ao meu orientador, Dr. José Milton Porsani, por todos os ensinamentos e orientações, que foram de fundamental importância no desenolvimento acadêmico e de todo o trabalho.

Aos professores do CPGG/UFBA pelo apoio e ensinamentos.

A Ricardo Chartuni por me ajudar na realização deste trabalho e por estar sempre disposto a me ajudar.

A MickelÂngelo por sempre estar disposto a ajudar, por tirar as d'uvidas em software, especialmete o SU.

Aos meus colegas por me incentivar, apoiar em todos os momentos de minha vida na Universidade.

À FINEP e ao programa ANP/PRH08 pelo finaciamento e apoio a pesquisa, na forma de bolsa de iniciação científica fornecida.

Ao LAGEP-CPGG-UFBA pelo apoio técnico.

E por fim, a todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho.

Referências Bibliográficas

- Backus, M. M. (1959) Water reverberations their nature and elimination, Geophysics, **24**(2):233-261.
- Berryhill, J. R. e Kim, Y. C. (1986) Deep-water peg legs and multiples: emulation and suppression, Geophysics, **51**(12):2177-2184.
- Bunch, A. W. H. e White, R. E. (1985) Least-squares filters without transient errors: an examination of the errors in least-squares filter design, Geophysical Prospecting, **33**:657-673.
- Cohen, J. K. e Stockwell, J. W. (2008) The new SU user's manual, SEG & GRI, quarta edição.
- Cruz, Ricardo Felipe Chartuni Cabral da (2010) Atenuação da reflexão múltipla do fundo marinho utilizando a deconvolução preditiva adaptativa, Tese de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, Brasil.
- Doicin, D. e Spitz, S. (1991) Multichannel extraction of water-bottom peg-legs pertraining to high-amplitude reflection, SEG Expanded Abstracts, **10**:1439-1442.
- Marple, S. L. (1980) A new autoregressive spectrum analusis algorithm, IEEE Transactions Acoustics, Speech and Signal Processing, 28:441-454.
- Mayne, W. H. (1962) Common reflection point horizontal data stacking techniques, Geophysics, **27**(6):927-938.
- Morf, M.; Dickson, B.; Kailath, T. e Vieira, A. (1977) Recursive solution of covariance equations for linear prediction, IEEE Transactions Acoustics, Speech and Signal Processing, **25**(12):429-433.
- Peacock, K. L. e Treitel, S. (1969) Predictive deconvolution: Theory and practice, Geophysics, **34**:155-169.
- Porsani, M. J. (1986) Desenvolvimento de algoritmos tipo-Levinson para o processamento de dados sísmicos, Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, Brasil.
- Porsani, M. J. (1992) Efficient solution of covariance equations with applications to seismic trace extrapolation and preditive deconvolution, SEG Expanded Abstracts, **11**:1191-1194.
- Porsani, M. J. e Ursin, B. (1991) Levinson-type extensions for non-toeplitz systems, IEEE Transactions Acoustics, Speech and Signal Processing, **39**:366-375.

- Porsani, M. J. e Ursin, B. (2007) Direct multichannel predictive deconvolution, Geophysics, 72(2):H11-H27.
- Porsani, M. J. e Vetter, W. J. (1984) An optimal formulation for (levinson) recursive design of-lagged minimum energy filters, Proc. 54th Ann. Int. SEG Meeting, pp. 604-606.
- Robinson, E. A. e Treitel, S. (1980) Geophysical signal analysis, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Vershuur, D. J.; Berkhout, A. J. e apenaar, C. P. A. (1992) Adaptative surface-related multiple elimination, Geophysics, 57(9):1166-1177.
- Yilmaz, O. (2001) Seismic data analysis: processing, inversion and interpretation of seismic data, ol. 1 & 2, SEG, Tulsa-OK, USA, second eddition.