



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



GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

# ATENUAÇÃO DE REFLEXÕES MÚLTIPLAS UTILIZANDO DECONVOLUÇÃO PREDITIVA MULTICANAL E AS TRANSFORMADAS RADON PARABÓLICA E HIPERBÓLICA

HANS CASTRO EINSIEDLER

SALVADOR – BAHIA

NOVEMBRO – 2009



**Atenuação de Reflexões Múltiplas Utilizando Deconvolução Preditiva  
Multicanal e as Transformadas Radon Parabólica e Hiperbólica**

por

HANS CASTRO EINSIEDLER

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  
\_\_\_\_\_ MC. Manoel Gontijo - Coorientador  
\_\_\_\_\_ Dra. Rosângela MAciel

Data da aprovação: 18/05/2009

Ao meu irmão Jonatas e a minha  
mãe Jaciara  
que sempre estiveram comigo nos  
momentos mais importantes da  
minha vida

# RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados do estudo comparativo dos métodos de atenuação de múltiplas em dados sísmicos utilizando a Transformada Radon Parabólica (TRP), Transformada Radon Hiperbólica (TRH) e a Deconvolução Preditiva Multicanal (DPM). Para tal tarefa foi utilizado o software PROMAX da LANDMARK para processar a linha sísmica da bacia do Jequitinhonha 214-RL-0266 na qual foi realizada a conversão do formato dos dados, montagem de geometria, edição, filtragem, ganho, deconvolução, correção de NMO utilizando o campo de velocidade gerado pela empresa de aquisição sísmica Westerngeco, aplicação da TRP ou TRH nos dados pré-empilhados, empilhamento e migração. Ainda utilizando o software PROMAX foram geradas famílias de CMP corrigidas de MMO pré-empilhadas utilizadas na aplicação da DPM. O algoritmo de DPM (Porsani e Ursin, 2007) utilizado na filtragem dos dados encontra-se disponível no Laboratório de Geofísica de Exploração do Petróleo (LAGEP). Posteriormente os dados filtrados por este método foram migrados para o PROMAX e comparados com os métodos TRP e TRH. Os métodos obtiveram êxito na atenuação de múltiplas sendo que a DPM se mostrou mais eficiente que a TRP e a TRH para atenuação de múltiplas.

# ABSTRACT

This work presents the results of comparative studies of multiple attenuation methods in seismic data using the Transform Radon Parabolic (TRP), Transform Radon Hyperbolic (TRH) and Multichannel Predictive Deconvolution (MPD). For this task was used the LANDMARK's software PROMAX to process the seismic line 214-RL-0266 of Jequitinhonha Basin in which was performed data format conversion, geometry composition, edition, filtering, gain, deconvolution, NMO correction using velocity field generated by company of seismic acquisition Westerngeco, application of TRP or TRH in pre-stacks data, stacking and migration. Even using the PROMAX software was generated pre-stack CMP gather corrected by MMO used in MDP application. The MDP algorithm (Porsani and Ursin, 2007) used in data filtering are found available in Petroleum Exploration Geophysical Laboratory. Subsequent the filtered data by this methods was moved to PROMAX and compared with methods THR and TRP. The methods obtained success in multiple attenuation where the MPD showed more effective than THR and TRP for multiple attenuation.

# ÍNDICE

RESUMO . . . . .	iii
ABSTRACT . . . . .	iv
ÍNDICE . . . . .	v
ÍNDICE DE FIGURAS . . . . .	vii
INTRODUÇÃO . . . . .	1
<b>CAPÍTULO 1 Teoria . . . . .</b>	<b>3</b>
1.1 Filtragem preditiva multicanal . . . . .	3
1.2 Transformada Radon . . . . .	5
1.2.1 Transformada Radon Hiperbólica . . . . .	6
1.2.2 Transformada Radon Parabólica . . . . .	9
<b>CAPÍTULO 2 Metodologia . . . . .</b>	<b>11</b>
2.1 Dados utilizados . . . . .	11
2.2 Processamento sísmico . . . . .	13
2.2.1 Conversão PROMAX . . . . .	14
2.2.2 Geometria . . . . .	14
2.2.3 Edição . . . . .	20
2.2.4 Divergência esférica e atenuação inelástica . . . . .	21
2.2.5 Filtragem . . . . .	22
2.2.6 Deconvolução . . . . .	23
2.2.7 Correção de MMO . . . . .	24
2.2.8 Correção de NMO . . . . .	25
2.2.9 Filtragem utilizando TRH e TRP . . . . .	27
2.2.10 Empilhamento . . . . .	29
2.2.11 Migração Kirchhoff . . . . .	30
2.2.12 Conversão SU . . . . .	30
2.2.13 Filtragem DPM . . . . .	30
2.2.14 Distância de Predição e janela dos filtros . . . . .	31
<b>CAPÍTULO 3 Resultados . . . . .</b>	<b>32</b>

<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>Conclusões . . . . .</b>	<b>42</b>
	<b>Agradecimentos . . . . .</b>	<b>43</b>
<b>APÊNDICE A</b>	<b>Recursão de Levinson multicanal . . . . .</b>	<b>44</b>
	<b>Referências Bibliográficas . . . . .</b>	<b>47</b>
<b>ANEXO I</b>	<b>Campo de velocidade utilizado para correção de MMO .</b>	<b>49</b>
<b>ANEXO II</b>	<b>Campo de velocidade utilizado para correção de NMO .</b>	<b>50</b>
<b>ANEXO III</b>	<b>Rotinas utilizadas . . . . .</b>	<b>51</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Localização da linha 214-RL-0266 . . . . .	12
2.2	Fluxograma de processamento . . . . .	13
2.3	Planilha Setup . . . . .	15
2.4	Planilha Auto-2D . . . . .	16
2.5	Planilha Source . . . . .	17
2.6	Planilha Pattern . . . . .	18
2.7	Planilha Bin . . . . .	19
2.8	Cobertura CDP . . . . .	20
2.9	FFID 1300 antes da edição . . . . .	21
2.10	FFID 1300 depois da edição . . . . .	22
2.11	Espectro de frequência de traço sísmico . . . . .	23
2.12	FFID 1000 com deconvolução, filtro e ganho. . . . .	25
2.13	CDP 2500 com cobertura máxima antes da MMO . . . . .	26
2.14	CDP 2500 com cobertura máxima depois da MMO . . . . .	26
2.15	CDP 3000 corrigido de NMO. . . . .	28
2.16	CDP 3000 filtro TRP. . . . .	28
2.17	CDP 3000 filtrado. . . . .	29
2.18	Período e janela de deconvolução para o <i>offset</i> 150 . . . . .	31
3.1	Seção sem filtragem . . . . .	33
3.2	Seção com filtragem DPM . . . . .	34
3.3	Seção com filtragem TRH . . . . .	35
3.4	Seção com filtragem TRP . . . . .	36
3.5	Seção sem filtragem em detalhe . . . . .	37
3.6	Seção com filtragem DPM em detalhe . . . . .	38
3.7	Seção com filtragem TRH em detalhe . . . . .	39
3.8	Seção com filtragem TRP em detalhe . . . . .	40
3.9	CDP 3000 corrigido de NMO sem filtro . . . . .	41
3.10	CDP 3000 corrigido de NMO filtro DPM . . . . .	41
3.11	CDP 3000 corrigido de NMO filtro TRP . . . . .	41
3.12	CDP 3000 corrigido de NMO filtro TRH . . . . .	41

# INTRODUÇÃO

Atualmente, cerca de 90% das reservas brasileiras de óleo localizam-se nas porções submersas das bacias sedimentares costeiras. Nessas bacias, a sísmica de reflexão é uma das principais ferramentas de que dispõe o geofísico na exploração e desenvolvimento de campos de petróleo. Os dados armazenados num levantamento sísmico possuem em resumo: reflexões, ruídos coerentes e ruídos aleatórios do ambiente. Existem vários tipos de ondas associadas à categoria dos ruídos coerentes dentre elas encontram-se as múltiplas que sofrem pelo menos duas reflexões ascendentes e uma descendente antes de serem registradas. As reflexões múltiplas podem ser classificadas em dois grupos: as de longo período (geralmente relacionadas com a superfície livre, interface água-ar ou terra-ar) e as de curto período, originadas geralmente dentro de uma camada com forte contraste de impedância acústica em relação às camadas vizinhas (Carvalho, 1992).

O processamento sísmico utilizado no tratamento dos dados obtidos na sísmica de reflexão tem como meta final à obtenção da melhor imagem possível em subsuperfície revelando as reflexões genuínas e suprimindo os ruídos de vários tipos. A migração constitui-se uma das etapas finais e essenciais no processamento. Os métodos de migração, no entanto requerem que os dados de entrada apresentem alta razão sinal/ruído e além disso a ausência de reflexões múltiplas. Os operadores de migração não distinguem múltiplas de primárias, podendo introduzir refletores falsos nos dados migrados, prejudicando sobremaneira a imagem a ser interpretada. Neste sentido os métodos de atenuação de ondas múltiplas são de grande importância para o resultado final do processamento sísmico.

Os métodos para atenuação de Múltiplas podem ser agrupados em quatro categorias (1) métodos baseados na discriminação de velocidade aparente (Schneider, Prince and Giles, 1965), (2) métodos baseados na equação da onda (Berryhill and Kim, 1986), (3) métodos baseados na periodicidade (Backus, 1959; Peacock and Treitel, 1969), e (4) métodos baseados na coerência (Doicin and Spitz, 1991). A aplicação da deconvolução preditiva multicanal para supressão de múltiplas é um problema de mínimos quadrados que se baseia na solução de equações normais através da forma recursiva de Levison multicanal (Lima, 1999; Porsani e Ursin, 2007) levando em conta a correlação espacial existente entre canais para estimar reflexões múltiplas em tempos avançados em um determinado canal. A TRP e a TRH assim como a DPM envolvem a solução de sistemas lineares de equações que são resolvidos também com o método dos mínimos quadrados. Desta forma, os dados transformados permitem a separação das múltiplas das primárias.

A proposta deste trabalho é estudar e aplicar a DPM, TRP e TRH para atenuar múltiplas de longo período comparando posteriormente os três métodos.

# CAPÍTULO 1

## Teoria

### 1.1 Filtragem preditiva multicanal

O método sísmico de reflexão se caracteriza pela amostragem de múltiplos pontos em sub-superfície através da utilização de diversos canais. Neste sentido, pensar no problema de supressão de reflexões múltiplas como um problema de predição multicanal se torna razoável. No processamento sísmico a deconvolução é frequentemente utilizada para resgatar a resposta impulsiva da terra sendo denominada de deconvolução do pulso e tem a finalidade de comprimir o pulso a um impulso. Nesta situação a distância de predição é unitária e o filtro é denominado de filtro inverso de Wiener-Levinson. A deconvolução também é aplicada para prever e atenuar reflexões múltiplas (de curto ou longo período) e neste caso é denominada de deconvolução preditiva e a distância de predição é definida em função do período das múltiplas que se deseja atenuar (Robinson, 1984; Yilmaz, 1990; Porsani e Ursin, 2007). Os filtros preditivos multicanais são soluções de sistemas de equações matriciais obtidas através do tratamento estatístico do pulso sísmico levando em conta a correlação espacial existente em eventos contínuos registrados em pelo menos dois canais. Um operador preditivo multicanal age sobre dois ou mais traços sísmicos simultaneamente com o objetivo de remover múltiplas. A teoria multicanal pode ser obtida de teoria monocal pela substituição apropriada de escalares por matrizes. A nível de exemplificação iremos considerar a filtragem utilizando a DPM para o caso de dois canais. Considerando  $z_t$  como sinal desejado e  $x_t$  e  $y_t$  como traços de entradas, onde o dado estimado,  $\tilde{z}_t$ , pode ser representado pela expressão,

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

Reescrevendo a expressão acima para um filtro de três coeficientes, temos,

$$\tilde{z}(t) = \sum_{k=1}^3 x_{t-k+1} \tilde{h}_k + \sum_{k=1}^3 y_{t-k+1} \tilde{f}_k,$$

$$\left. \begin{matrix} z_0 & z_1 & z_2 & z_3 & \dots & z_n \end{matrix} \right\} \text{sinal desejado,}$$

$$\left. \begin{array}{cccccc} x_0 & x_1 & x_2 & x_3 & \dots & x_n \\ y_0 & y_1 & y_2 & y_3 & \dots & y_n \end{array} \right\} \text{ sinal de saída,}$$

$$\left. \begin{array}{ccc} h_1 & h_2 & h_3 \\ f_2 & f_2 & f_3 \end{array} \right\} \text{ coeficiêntes dos filtros h e f.}$$

A expressão para o erro é dada por,

$$e_t = z_t - \tilde{z}_t = z_t - \tilde{h}(t) * x(t) - \tilde{f}(t) * y(t),$$

ou na forma matricial,

$$\begin{bmatrix} e_0 \\ e_1 \\ e_2 \\ \dots \\ e_m \\ e_{m+1} \\ e_{m+2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_0 & x_0 & y_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ z_1 & x_1 & y_1 & x_0 & y_0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ z_m & x_m & y_m & \vdots & \vdots & & \\ z_{m+1} & 0 & 0 & x_m & y_m & \vdots & \vdots \\ z_{m+1} & 0 & 0 & 0 & 0 & x_m & y_m \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ -\tilde{h}_1 \\ -\tilde{f}_1 \\ -\tilde{h}_2 \\ -\tilde{f}_2 \\ -\tilde{h}_3 \\ -\tilde{f}_3 \end{pmatrix}. \quad (1.1)$$

Utilizando notação vetorial pode-se escrever,

$$\mathbf{e} = \mathbf{z} - \mathbf{W}_0 \tilde{\mathbf{c}}_{31} - \mathbf{W}_1 \tilde{\mathbf{c}}_{32} - \mathbf{W}_2 \tilde{\mathbf{c}}_{33}, \quad (1.2)$$

onde,

$$\tilde{\mathbf{c}}_{3j} = \begin{bmatrix} \tilde{h}_j \\ \tilde{f}_j \end{bmatrix}, \quad j = 1, 2, 3, \quad (1.3)$$

$$\mathbf{z}^T = [z_0 \quad \dots \quad z_m \quad z_{m+1} \quad z_{m+2}], \quad (1.4)$$

$$\mathbf{W}_0^T = \begin{bmatrix} x_0 & \dots & x_m & 0 & 0 \\ y_0 & \dots & y_m & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (1.5)$$

$$\mathbf{W}_1^T = \begin{bmatrix} 0 & x_0 & \dots & x_m & 0 \\ 0 & y_0 & \dots & y_m & 0 \end{bmatrix}, \quad (1.6)$$

$$\mathbf{W}_1^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & x_0 & \dots & x_m \\ 0 & 0 & y_0 & \dots & y_m \end{bmatrix}. \quad (1.7)$$

Minimizando a forma quadrática,

$$I = \sum_t e_t^2 = \mathbf{e}^T \mathbf{e}, \quad (1.8)$$

com relação aos parâmetros  $\tilde{h}_j$  e  $\tilde{f}_j$ ,  $j = 1, 2, 3$ , obtém-se as ENs,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{R}_0 & \mathbf{R}_{-1} & \mathbf{R}_{-2} \\ \mathbf{R}_1 & \mathbf{R}_0 & \mathbf{R}_{-1} \\ \mathbf{R}_2 & \mathbf{R}_0 & \mathbf{R}_{-1} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} -\tilde{\mathbf{c}}_{31} \\ -\tilde{\mathbf{c}}_{32} \\ -\tilde{\mathbf{c}}_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{W}_0^T \mathbf{z} \\ \mathbf{W}_1^T \mathbf{z} \\ \mathbf{W}_2^T \mathbf{z} \end{pmatrix} \quad (1.9)$$

onde,

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_0 &= \mathbf{W}_j^T \mathbf{W}_j, & j &= 0, 1, 2, \\ \mathbf{R}_1 &= \mathbf{W}_j^T \mathbf{W}_{j+1}, & j &= 0, 1, \\ \mathbf{R}_2 &= \mathbf{W}_j^T \mathbf{W}_{j+2}, & j &= 0, \\ \mathbf{R}_j &= \mathbf{R}_{-j}^T, & j &= 0, 1, 2. \end{aligned}$$

A matriz dos coeficientes na equação (1.9) é do tipo bloco-Toeplitz e a solução desse tipo de sistema de equações normais pode ser obtida com a recursão de Levinson multicanal (Robinson, 1967; Porsani e Ursin, 1997). Os coeficientes da equação (1.9) são blocos de matrizes quadradas com dimensão  $n_c \times n_c$ , que representam a correlação espacial dos eventos nos múltiplos canais  $n_c$  a serem utilizados na filtragem. Deixando o sinal desejado corresponder a um dos canais de entrada, avançado de  $\alpha$  amostras,  $z_t = x_{t+\alpha}$ , teremos na solução das equações (1.9) os coeficientes do operador preditivo multicanal, com distância de predição  $\alpha$ . Se o número de canais for apenas um, o método se reduz ao método convencional de Wiener-Levinson para DP monocanal. No apêndice A é apresentado o algoritmo para obtenção do filtro multicanal, utilizando a recursão de Levinson para sistemas bloco-Toeplitz (Porsani e Ursin, 2007).

## 1.2 Transformada Radon

A Transformada Radon direta  $u(r, \tau)$  de uma função contínua 2-D  $d(h, t)$  é dado pela integral (Beylkin, 1987)

$$u(r, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} d[h, t = \tau + \phi(r, h)] dh, \quad (1.10)$$

onde  $h$  e  $t$  são as variáveis de entrada, e  $r$  e  $\tau$  são as variáveis do novo domínio. A integração se dá ao longo da variação de curvas espessas como função linear do tempo de trânsito  $t$  e  $\tau$ .

A transformada radon inversa dada pela integral

$$d(h, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho(\tau) * u[r, \tau = t - \phi(r, h)] dr, \quad (1.11)$$

incorpora na integral a convolução da função  $u(r, \tau)$  com o filtro a priori  $\rho(\tau)$ . Para dados do tipo 2-D a transformada de Fourier do filtro  $\rho$  tem a forma  $\sqrt{w} \exp(i\pi/4)$ .

Na prática não se trabalha com funções contínuas ao invés disso nos temos dados amostrados discretamente no tempo e no espaço. Dessa forma nos precisamos discretizar as integrais das equações (1.10) e (1.11) transformando-as em somatórios. Nas duas subseções que seguem iremos apresentar duas diferentes formas da função  $\phi(r, h)$  as quais correspondem as Transformadas Radon Discreta Hiperbólica (Thorson e Claerbout, 1985; Yilmaz, 1989; Foster e Mosher, 1992) e Parabólica (Hampson, 1986).

### 1.2.1 Transformada Radon Hiperbólica

A transformação discreta dos dados da família CMP  $d(h, t)$  para a família velocity-stack  $u(v, \tau)$  é encontrada pelo somatório das amplitudes ao longo da variação da curva de tempo de trânsito e dos offsets da seguinte forma

$$u(v, \tau) = \sum_h d(h, t = \sqrt{\tau + 4h^2/v^2}), \quad (1.12)$$

onde  $t$  é o tempo de trânsito da onda,  $\tau$  é tempo de trânsito para o zero-offset,  $h$  é a metade do offset e  $v$  representa a velocidade rms de empilhamento. A transformada inversa do domínio de velocidade para o domínio do CMP é encontrado pelo somatório das amplitudes ao longo da variação da curva de tempo de trânsito zero-offset e das velocidades da seguinte maneira

$$d'(h, t) = \sum_v u(v, \tau = \sqrt{t^2 - 4h^2/v^2}). \quad (1.13)$$

A relação entre as coordenadas  $(h, t)$  e  $(v, \tau)$  é dado pela equação hiperbólica do tempo de trânsito:

$$t^2 = \tau^2 + \frac{4h^2}{v^2}. \quad (1.14)$$

Para obedecer a linearidade da transformada radon descrita nas equações (1.10) e (1.11) aplicamos uma transformação de domínio, definindo  $t' = t^2$  e  $\tau' = \tau^2$ . Neste caso a equação 1.14 toma a forma

$$t' = \tau' + \frac{4h^2}{v^2}, \quad (1.15)$$

também com a transformação das coordenadas, as equações (1.12) e (1.13) tomam a forma

$$u(v, \tau') = \sum_h d(h, t' = \tau' + 4h^2/v^2), \quad (1.16)$$

$$d'(h, t') = \sum_v u(v, \tau' = t' - 4h^2/v^2). \quad (1.17)$$

Considerando a equação (1.17) na forma matricial temos:

$$\mathbf{d}' = \mathbf{L}\mathbf{u}, \quad (1.18)$$

a matriz  $\mathbf{L}$  funciona como um operador que leva cada ponto do domínio velocity-stack  $\mathbf{u}$  :  $u(v, \tau')$  em uma parábola no domínio modelado CMP  $\mathbf{d}'$  :  $d(h, t')$ .

Para a estimativa de  $\mathbf{u}$  podemos utilizar a técnica dos mínimos quadrados tal que a diferença  $\mathbf{e}$  entre a família CMP original  $\mathbf{d}$  e a família modelada  $\mathbf{d}'$  pela equação (1.17) seja mínima. Fazendo uso da notação matricial e da equação (1.18),  $\mathbf{e}$  é definido como

$$\mathbf{e} = \mathbf{d} - \mathbf{L}\mathbf{u}. \quad (1.19)$$

Segundo a Lines e Treitel (1984), a solução dos mínimos quadrados pode ser obtida utilizando a equação (1.19) para expressar o erro quadrático acumulativo  $S$  como

$$S = \mathbf{e}^T \mathbf{e}, \quad (1.20)$$

onde  $T$  significa transposta de  $\mathbf{e}$ . Substituindo  $\mathbf{e}$  pela equação (1.19), nos temos

$$S = (\mathbf{d} - \mathbf{L}\mathbf{u})^T (\mathbf{d} - \mathbf{L}\mathbf{u}). \quad (1.21)$$

Minimizando  $S$  com relação a  $\mathbf{u}$  obtemos a solução desejada dos mínimos quadrados:

$$\mathbf{u} = (\mathbf{L}^T \mathbf{L})^{-1} \mathbf{L}^T \mathbf{d}, \quad (1.22)$$

onde  $(\mathbf{L}^T \mathbf{L})^{-1} \mathbf{L}^T$  é a inversa de  $\mathbf{L}$ .

Na equação (1.22)  $\mathbf{d}$  é um vetor coluna contendo todos os pontos de dados da família CMP no domínio  $t'$ . Seu comprimento é  $n_h n_t$ , onde  $n_h$  é o número de offsets e  $n_t$  é o número de amostras no tempo em  $t'$ . Também,  $\mathbf{u}$  é um vetor coluna contendo todos os pontos da família velocity-stack; seu comprimento é  $n_v n_\tau$ , onde  $n_v$  é o número de velocidades e  $n_\tau$  é o número de amostras no domínio  $\tau'$ . Os elementos do operador matrix  $\mathbf{L}$  são funções delta no domínio da velocidade; suas dimensões são  $n_h n_t \times n_v n_\tau$ . O erro mínimo  $\mathbf{e}$  da equação (1.19) associado com a solução dos mínimos quadrados  $\mathbf{u}$  da equação (1.22) pode ser interpretado como sendo a família CMP que contém somente ruídos aleatório e coerentes que podem estar presentes na família CMP original  $\mathbf{d}$ .

A solução direta para  $\mathbf{u}$  da equação (1.19) requer o cálculo da matriz inversa de  $\mathbf{L}^T \mathbf{L}$ . Inverter tal matriz é muitas vezes impraticável. Para contornar este problema aplicamos a transformada de Fourier para a equação (1.17) em relação ao domínio  $\tau'$  obtendo

$$d'(h, \omega') = \sum_v u(v, \omega') \exp(-i\omega' 4h^2/v^2), \quad (1.23)$$

onde  $\omega'$  é o domínio da frequência transformado de  $\tau'$ . Para cada  $\omega'$  correspondente a  $d'(h, t')$  e  $u(v, t')$  a equação (1.23) pode ser escrita no forma de matrix da equação (1.18) onde  $\mathbf{L}$  toma a forma de uma matrix complexa

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} e^{-i\omega' 4h_1^2/v_1^2} & e^{-i\omega' 4h_1^2/v_2^2} & \dots & e^{-i\omega' 4h_1^2/v_n^2} \\ e^{-i\omega' 4h_2^2/v_1^2} & e^{-i\omega' 4h_2^2/v_2^2} & \dots & e^{-i\omega' 4h_2^2/v_n^2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e^{-i\omega' 4h_m^2/v_1^2} & e^{-i\omega' 4h_m^2/v_2^2} & \dots & e^{-i\omega' 4h_m^2/v_n^2} \end{bmatrix}, \quad (1.24)$$

com dimensões  $n_h \times n_v$ . Neste caso  $\mathbf{d}'$  e  $\mathbf{u}$  são vetores complexos com comprimentos  $n_h$  e  $n_v$  respectivamente. Os elementos da matrix  $\mathbf{L}$  dependem da geometria da família CMP original e do intervalo de velocidade usado na construção da família velocity-stack.

Agora resta resolver  $\mathbf{u}$  através do método dos mínimos quadrados levando em conta a equação matricial (1.19) dentro do contexto do domínio da transformada de Fourier, ou seja, para cada  $\omega'$  estima-se o vetor complexo  $\mathbf{u}$  tal que a diferença  $\mathbf{e}$  entre os vetores complexos das famílias CMP original  $\mathbf{d}$  e a modelada  $\mathbf{d}'$ , pela equação (1.17), seja mínima.

Resolvendo-se  $\mathbf{u}$  para o caso complexo obtemos a solução

$$\mathbf{u} = (\mathbf{L}^{\mathbf{T}*}\mathbf{L})^{-1}\mathbf{L}^{\mathbf{T}*}\mathbf{d},$$

onde o acento denota a conjugada complexa.

### 1.2.2 Transformada Radon Parabólica

Como uma alternativa para obedecer a linearidade da transformada radon das equações (1.10) e (1.10) podemos considerar uma aproximação do tempo de trânsito descrito por curvas hiperbólicas utilizando curvas parabólicas

$$t_n = \tau + qh^2, \quad (1.25)$$

onde  $t_n$  é o tempo após a correção de NMO,  $\tau$  é o tempo de trânsito da onda para o zero-offset e  $q$  é o parâmetro que define a curvatura da parábola. Para esta nova formulação as equações (1.12) e (1.13) tomam a forma

$$u(q, \tau) = \sum_h d(h, t_n = \tau + qh^2), \quad (1.26)$$

$$d'(h, t_n) = \sum_v u(q, \tau = t_n - qh^2), \quad (1.27)$$

onde o objetivo mais uma vez é estimar  $u$  através do método dos mínimos quadrados minimizando a diferença entre a família CMP original  $d(h, t_n)$  e a modelada pela equação (1.27).

Uma estimativa prática de  $u$  baseada no método dos mínimos quadrados pode ser encontrada, novamente, aplicando-se a transformada de Fourier para a equação (1.27) obtendo-se

$$d'(h, \omega_n) = \sum_q u(q, \omega_n) \exp(-i\omega_n q h^2), \quad (1.28)$$

onde  $\omega_n$  é a transformada de Fourier no domínio  $t_n$ . Para cada componente de  $\omega_n$  correspondente a  $d'(h, \omega_n)$  e  $u(q, \omega_n)$  a equação (1.28) pode ser escrita na forma de matrix da equação (1.18), onde  $\mathbf{L}$  é uma matrix complexa de forma:

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} e^{-i\omega_n q_1 h_1^2} & e^{-i\omega_n q_2 h_1^2} & \dots & e^{-i\omega_n q_n h_1^2} \\ e^{-i\omega_n q_1 h_2^2} & e^{-i\omega_n q_2 h_2^2} & \dots & e^{-i\omega_n q_n h_2^2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e^{-i\omega_n q_1 h_m^2} & e^{-i\omega_n q_2 h_m^2} & \dots & e^{-i\omega_n q_n h_m^2} \end{bmatrix}, \quad (1.29)$$

com dimensões  $n_h \times n_q$ , onde  $n_h$  é o número de offsets e  $n_q$  é o número de parâmetros  $q$  que define as curvaturas das parábolas de aproximação. Utilizando mais uma vez os procedimentos adotados nas equações (1.18) à (1.22) dentro do contexto da transformada de Fourier obtemos a estimativa ótima de  $\mathbf{u}$ .

## CAPÍTULO 2

# Metodologia

### 2.1 Dados utilizados

Este capítulo apresenta os procedimentos adotados para obtenção dos resultados adquiridos neste trabalho. O primeiro passo no sentido da realização deste trabalho foi dado com a escolha da linha sísmica a ser processada. O Laboratório de Geofísica de Exploração de Petróleo (LAGEP) detem arquivada linhas sísmicas da bacia do jequitinhonha cedidas pelas Agência Nacional de Petróleo (ANP). Estas linhas são resultados do levantamento sísmico realizado pela empresa de aquisição sísmica Westerngeco contratada pela Petrobras. A linha em particular utilizada neste trabalho foi a intitulada como 214-RL-0266 e suas especificações estão contidas na tabela da figura 2.1.

Na figura 2.1 podemos observar a localização da linha sísmica 214-RL-0266 na bacia do Jequitinhonha. Esta linha se encontra preferencialmente orientada no sentido perpendicular a costa e situada em uma região de talude. Uma das recomendações contidas no pacote dos dados utilizados foi a remoção de multiplas de longo periodo, por este motivo a linha 214-RL-0266 foi eleita para ser utilizada neste trabalho, já que este se propõe a atenuação de ondas multiplas de longo periodo.

Bacia	Jequitinhonha
Equipe	214
Linha	0266
Data do fim do processamento	06 / 97
PT inicial da linha	701
PT final da linha	2277
Intervalo de PT (m)	25
Intervalo de grupo (m)	25
Arquivo gerado por	S070

Tabela 2.1: Especificações da linha 214-RL-0266

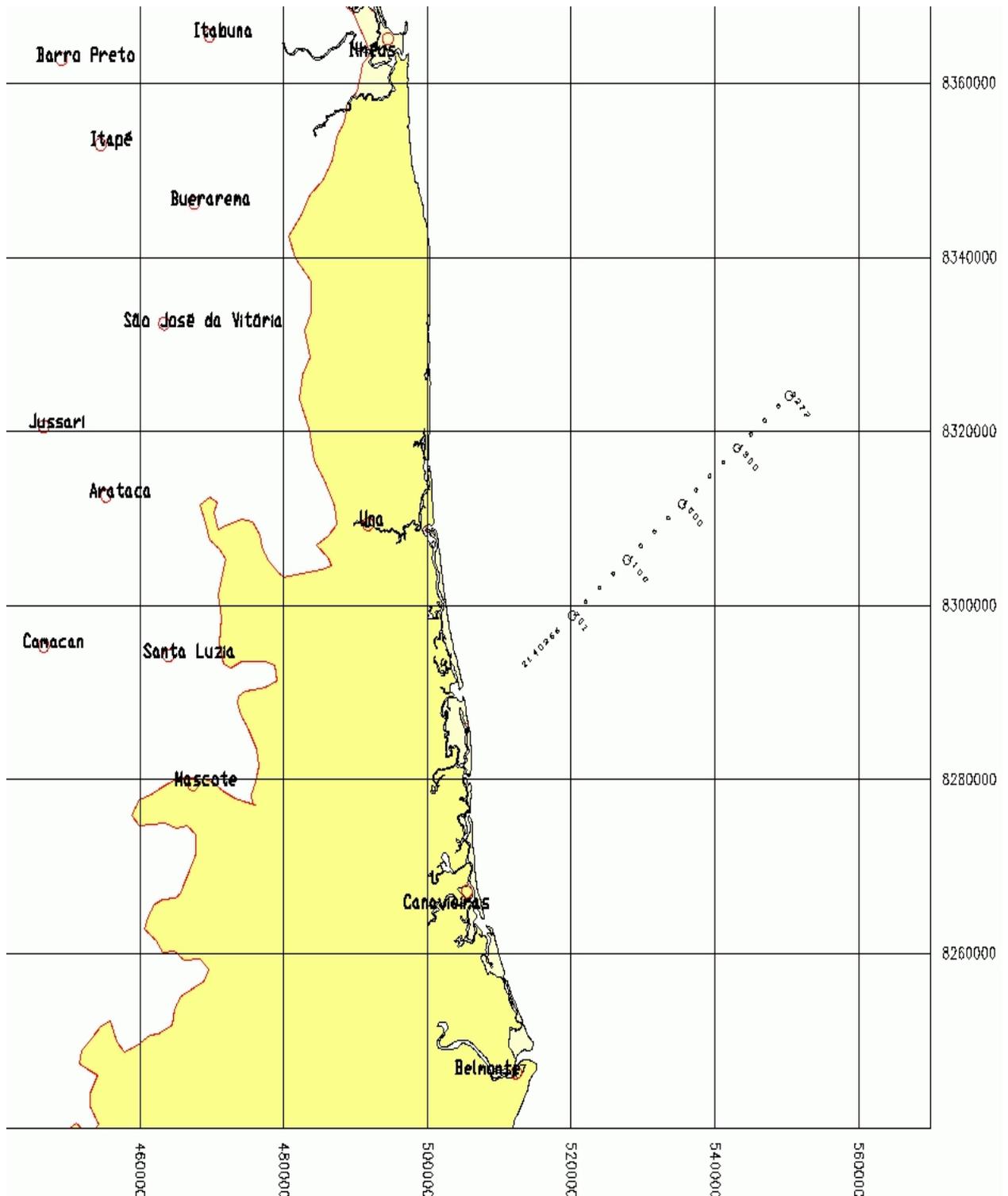


Figura 2.1: Localização da linha 214-RL-0266

## Fluxograma de processamento

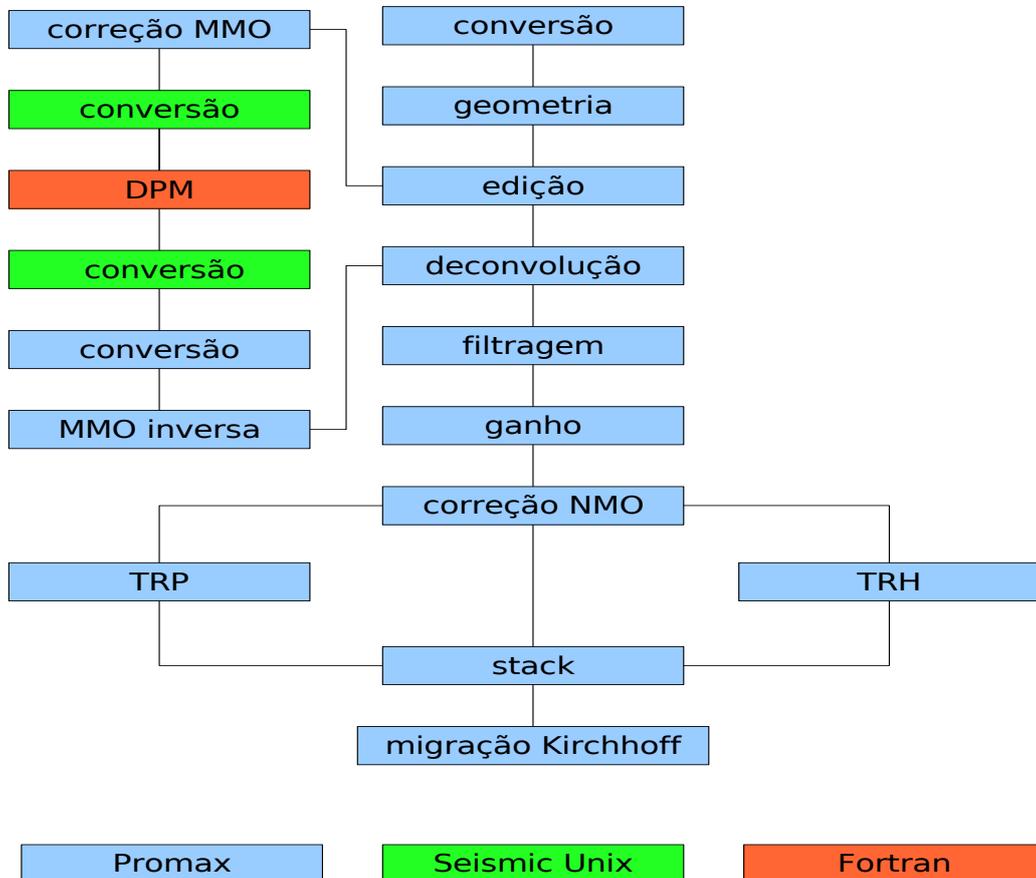


Figura 2.2: Fluxograma de processamento

### 2.2 Processamento sísmico

Para o processamento da linha sísmica 214-RL-0266 foi utilizado o software de processamento sísmico PROMAX desenvolvido pela empresa LANDMARK. Este software contém rotinas que realizam a filtragem de múltiplas de longo período utilizando a TRP e TRH. O PROMAX encontra-se instalado no LAGEP, especificamente em uma máquina Dell Precision com dois processadores Xeon quadre core com 8GB de memória RAM e 1/2 TB. Além do PROMAX foram utilizados o software de processamento Seismic Unix (SU) e as rotinas para filtragem de múltiplas utilizando a DPM que também se encontram instalados no LAGEP. As etapas adotadas para o processamento da linha sísmica com o PROMAX, SU e as rotinas DPM estão apresentadas no fluxograma da figura (2.2). Nas subseções seguintes serão discutidas cada uma destas etapas referentes ao processamento.

### 2.2.1 Conversão PROMAX

Esta etapa refere-se a conversão do formato dos dados para o formato do software PROMAX. A linha sísmica 214-RL-0266 encontra-se arquivada em formato SEG-Y um dos vários padrões desenvolvidos pela *Society of Exploration Geophysicists* (SEG) para armazenar dados geofísicos, este formato é amplamente utilizado na indústria do petróleo. Para processar a linha sísmica no PROMAX foi necessário a conversão de SEG-Y para o formato interno do PROMAX utilizando para isto a módulo do PROMAX `Imput SEG-Y`.

### 2.2.2 Geometria

Nesta etapa são extraídas todas as informações constantes no relatório do observador, necessárias ao processamento dos dados, principalmente aquelas que estabelecem as relações entre tiros e receptores e os tiros com seus registros gravados durante a aquisição, além, é claro, da relação entre os receptores e seus respectivos canais. Desta forma são geradas planilhas contendo os padrões de aquisição para cada tiro da linha sísmica. Dos relatórios de observador são obtidas ainda informações a respeito de registros perdidos, estações ruidosas, canais invertidos, além de dados complementares como intervalo entre estações, tiros, lanços, off-sets e etc. A montagem da geometria de dados marinhos no PROMAX é feita em duas etapas, a primeira delas é executando-se o módulo `2D Marine Geometry Spreadsheet` que gera uma janela com as seguintes planilhas a serem preenchidas:

- Planilha *Setup*
- Planilha *Auto 2D*
- Planilha *Source*
- Planilha *Pattern*
- Planilha *Bin*

A planilha *Setup* corresponde a uma interface de diálogo de configurações da geometria que especifica configurações globais da geometria como intervalo entre pontos de tiro, intervalo entre receptores, azimute da linha de aquisição sísmica, profundidade da fonte e dos receptores, unidade de medida a ser usada, além de especificar como serão designados os pontos médios entre fonte e receptor. Para a linha em questão a planilha foi preenchida como pode ser vista na figura 2.3.

A planilha *Auto 2D* contém informações a serem preenchidas como canal mais perto e mais afastado do navio de aquisição, incremento de canal, *offset* mínimo, *offset* perpendicular, intervalo entre os grupos de geofones, número de tiros, primeira estação de tiros e

**Assign Midpoints Method (Required)**

Existing index number mappings in the TRC

Matching pattern number in the SIN and PAT spreadsheets

Matching line and station numbers in the SIN and PAT spreadsheets

---

**Station Intervals (Generally Required; Please see Doc.)**

**Nominal Receiver Station Interval:**

**Nominal Source Station Interval:**

**Nominal Crossline Separation:**

**Nominal Sail Line Azimuth:**

**Nominal Source Depth:**

**Nominal Receiver Depth:**

---

**Units (Required)**

Meters  Feet

---

**Co-ordinate origin (Optional)**

**X0: Subtract this value from all X coordinates:**

**Y0: Subtract this value from all Y coordinates:**

---

**Font Assignment**

---

Figura 2.3: Planilha Setup

incremento de estações entre os tiros, azimute de navegação durante a aquisição, intervalo de tiro e coordenadas X e Y das estações de tiro. A figura 2.4 apresenta o preenchimento desta planilha. Preenchendo esta planilha e pressionando a opção OK começara o processo de semi-preenchimento das planilhas *Source* e *Pattern*. Na planilha *Source* são preenchidas as seguintes colunas: *Station*, X, Y e *Strmr Azmth* que correspondem a estação da fonte e suas respectivas coordenadas X e Y e o azimute do navio, respectivamente. O restante das informações foi preenchida, como número da fonte correspondente a estação, profundidade da lâmina de água, profundidade da fonte, número do tiro correspondente a fonte, ID do padrão de aquisição a ser utilizado e cobertura de canais por tiro. A figura 2.5 apresenta o preenchimento desta planilha.

Na planilha *Patterns*, as seguintes colunas são preenchidas: *Min Chan*, *Max/Gap Chan*, *Chan Inc*, *Grp Int*, *X offset* e *Y offset* que correspondem ao canal mínimo, canal máximo, incremento de canais, intervalo de grupo e mínimo *offset* nos eixos X e Y respectivamente. Nesta planilha bastou adicionar a coluna *Src Pattern* que corresponde ao ID do padrão de

Parameter	Value
Near Channel:	120
Far Channel:	1
Chan Increment:	1
Minimum Offset:	150.0000
Perpendicular Offset:	0.0000
Group Interval:	25.0000
Number of Shots:	1578
First Shot Station:	701
Shot Station Number Increment:	1
Sail Line Azimuth:	90.0000
Shot Interval:	25.0000
X Coordinate of First Shot:	500000.0000
Y Coordinate of First Shot:	0.0000

Figura 2.4: Planilha Auto-2D

aquisição. O preenchimento desta planilha pode ser observado na figura 2.6. A janela correspondente a planilha *Bin* (figura 2.8) oferece o cálculo das coordenadas X e Y dos receptores, entrada dos parâmetros de armazenamento dos pontos médios e *offsets*, armazenamento dos pontos médios e *offsets*, criação de *display* dos dados armazenados e finalização da banco de dados da geometria.

Um dos produtos da montagem da geometria no PROMAX é o gráfico da cobertura (CDP x número do CDP) este gráfico indica o número de traços em cada CDP da seção. A figura ?? apresenta o gráfico de cobertura que no caso da linha sísmica utilizada

chega a atingir 60 traços por CDP. Este é um importante gráfico pois ele nos dá o número de vezes em que um ponto foi amostrado em subsuperfície que esta diretamente relacionado com a razão sinal ruído. A segunda etapa da montagem da geometria no PROMAX consiste no carregamento dos parâmetros criados na etapa anterior nos dados sísmicos. Isto é feito executando-se o módulo *Inline Geometry Header Load* que carrega automaticamente informações da geometria proveniente do *database* para o *header* de cada traço em um fluxo de processamento. Esse processo usa dois ou três *headers* de traços para comparação com os

SIN Ordered Parameter File (on carcara.cpgg.ufba.br)

File Setup Edit View Help

Mark Block	Source	Station	X	Y	H2O Depth	Src Depth	FFID	Straw Azimuth	Time	Date	Src Pattern	Shot Fold*	Static
1	701	701	500000,0	0,0	0,0	0,0	1	270,0			1	120	0,0
2	702	702	500025,0	0,0	0,0	0,0	2	270,0			1	120	0,0
3	703	703	500050,0	0,0	0,0	0,0	3	270,0			1	120	0,0
4	704	704	500075,0	0,0	0,0	0,0	4	270,0			1	120	0,0
5	705	705	500100,0	0,0	0,0	0,0	5	270,0			1	120	0,0
6	706	706	500125,0	0,0	0,0	0,0	6	270,0			1	120	0,0
7	707	707	500150,0	0,0	0,0	0,0	7	270,0			1	120	0,0
8	708	708	500175,0	0,0	0,0	0,0	8	270,0			1	120	0,0
9	709	709	500200,0	0,0	0,0	0,0	9	270,0			1	120	0,0
10	710	710	500225,0	0,0	0,0	0,0	10	270,0			1	120	0,0
11	711	711	500250,0	0,0	0,0	0,0	11	270,0			1	120	0,0
12	712	712	500275,0	0,0	0,0	0,0	12	270,0			1	120	0,0
13	713	713	500300,0	0,0	0,0	0,0	13	270,0			1	120	0,0
14	714	714	500325,0	0,0	0,0	0,0	14	270,0			1	120	0,0
15	715	715	500350,0	0,0	0,0	0,0	15	270,0			1	120	0,0
16	716	716	500375,0	0,0	0,0	0,0	16	270,0			1	120	0,0
17	717	717	500400,0	0,0	0,0	0,0	17	270,0			1	120	0,0

Figura 2.5: Planilha Source

File Setup Edit Help

Mark Block	Min Chan	Max/Gap Chan	Chan Inc	Src Pattern	Grp Int	X Offset	Y Offset
1	120	1	1	1	25.0	150.0	0.0
2						0.0	0.0
3						0.0	0.0
4						0.0	0.0
5						0.0	0.0
6						0.0	0.0
7						0.0	0.0
8						0.0	0.0
9						0.0	0.0
10						0.0	0.0
11						0.0	0.0
12						0.0	0.0
13						0.0	0.0
14						0.0	0.0
15						0.0	0.0
16						0.0	0.0
17						0.0	0.0

Figura 2.6: Planilha Pattern

2D Marine Binning (on carcara.cpgg.ufba.br)

**Binning Sequence**

Assign midpoints by: Matching pattern number in the SIN and PAT spreadsheets

Binning

Method :

Finalize database

---

Source Station Tie to CDP Number:

CDP Number Tie to Source Station:

Distance Between CDPs:

Offset Bin Center Increment:

Minimum Offset Bin Center:

Maximum Offset Bin Center:

Receiver Bin Width:

---

CDP Numbers increase in shooting direction:

CDP Numbers decrease in shooting direction:

Receiver Numbers increase in shooting direction:

Receiver Numbers decrease in shooting direction:

Figura 2.7: Planilha Bin

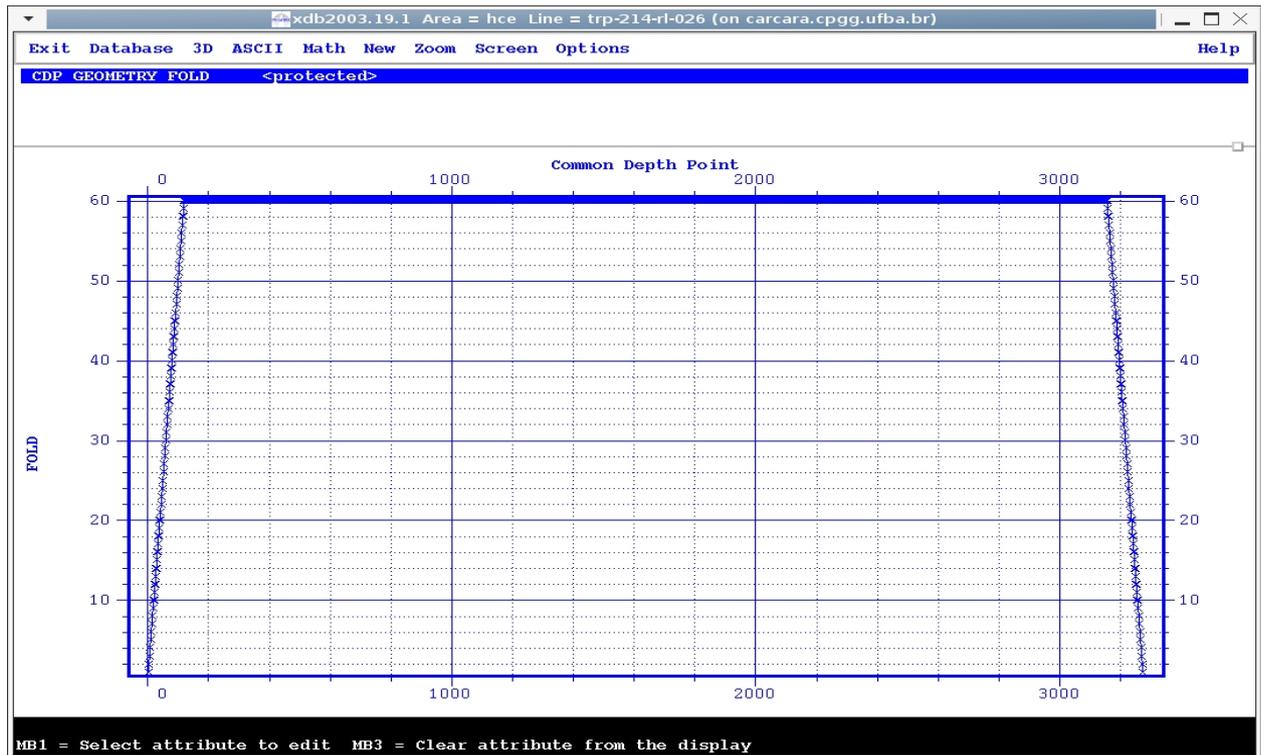


Figura 2.8: Cobertura CDP

parâmetros do *database* correspondente. Quando um par é encontrado, a informação da geometria é carregada no *header* do traço. Se o traço não pode ser casado com os parâmetros, ele é excluído do fluxo. Traços identificados na geometria mais não encontrados nos dados são considerados como perdidos.

### 2.2.3 Edição

Esta etapa do processamento corresponde a eliminação dos traços ruidosos, ondas diretas e possíveis ruídos que podem estar acima do assoalho acústico geralmente ela é feita no domínio do tiro e seu processo é quase que ornamental pois é feita manualmente selecionando os traços e regiões na seção a serem removidos. Recomenda-se que esta etapa seja feita antes ou logo após a montagem da geometria, muito embora ela possa ser feita em qualquer etapa do processamento.

Neste trabalho a edição foi realizada no domínio do tiro, os dados processados possuem 1578 tiros sendo que a edição foi realizada em intervalos de 20 tiros. Foram encontradas nesta etapa ondas diretas e os seguintes canais ruidosos: 82; 56; 59; 12 que se constatou presente em todas as seções além de ruídos acima do assoalho acústico figura 2.9.

Os traços ruidosos que se encontravam presentes em todas as seções foram eliminados utilizando o módulo *Trace Display* para selecioná-los e o módulo *Trace Kill/Reverse*

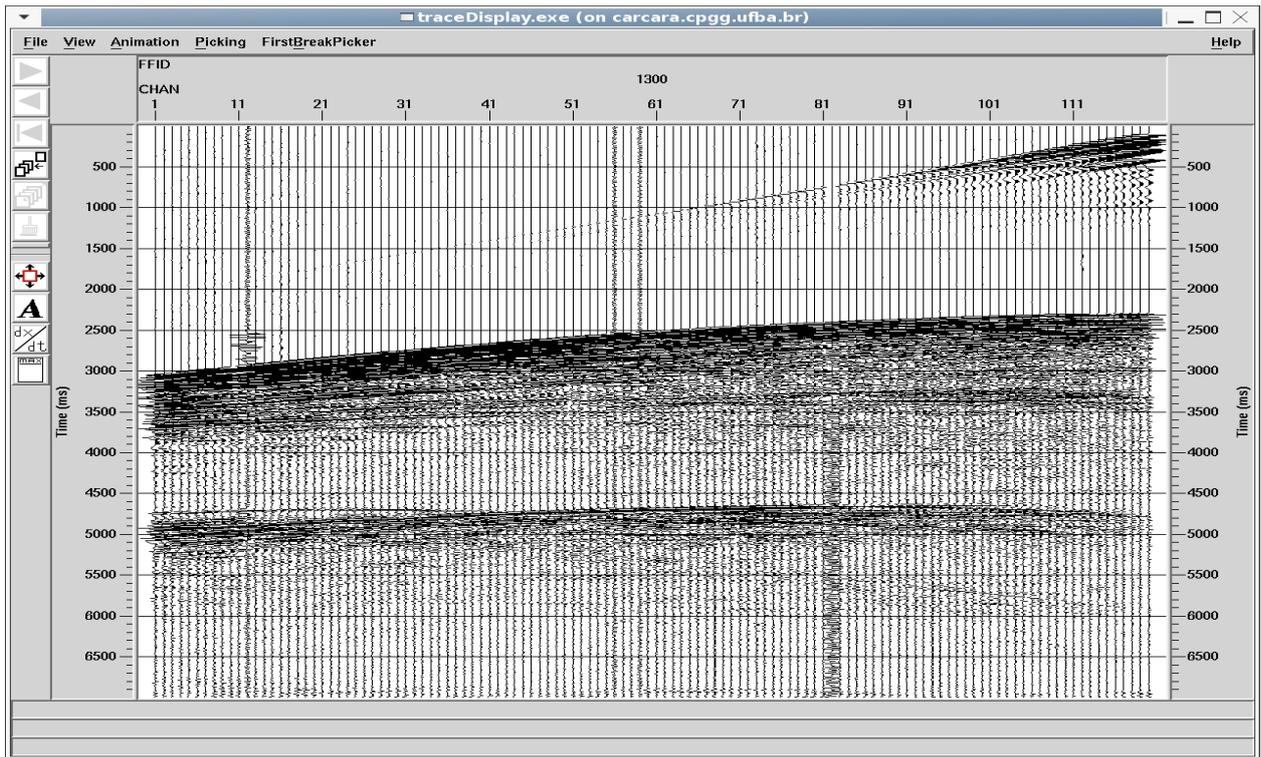


Figura 2.9: FFID 1300 antes da edição

para eliminá-los. Os ruidos acima do assoalho como onda diretas e ruidos inerentes a lâmina de água foram eliminados utilizando a ferramenta Picking opção Pick Top Mute do módulo Trace Display para sua seleção com posterior remoção utilizando o módulo Trace Muting. Este módulo possui a possibilidade de aplicação de remoção interpolada para ser aplicada em todos os tiros. A figura 2.10 apresenta o FFID 1300 depois da edição.

#### 2.2.4 Divergência esférica e atenuação inelástica

Esta etapa do processamento oferece uma função de ganho nos traços para compensar as perdas de amplitude devido ao espalhamento da frente de onda e atenuações. No PROMAX este processo é realizado executando-se o módulo True Amplitude Recovery o qual inclui a opção de correção por divergência esférica e por atenuação inelástica. A equação 2.1 foi adotada como a base para o espalhamento esférico tendo como função de ganho a equação 2.2 onde  $t$  é o tempo e  $v(t)$  é a velocidade RMS.

$$\frac{1}{t \times vel} \quad (2.1)$$

$$g(t) = t \times v(t) \quad (2.2)$$

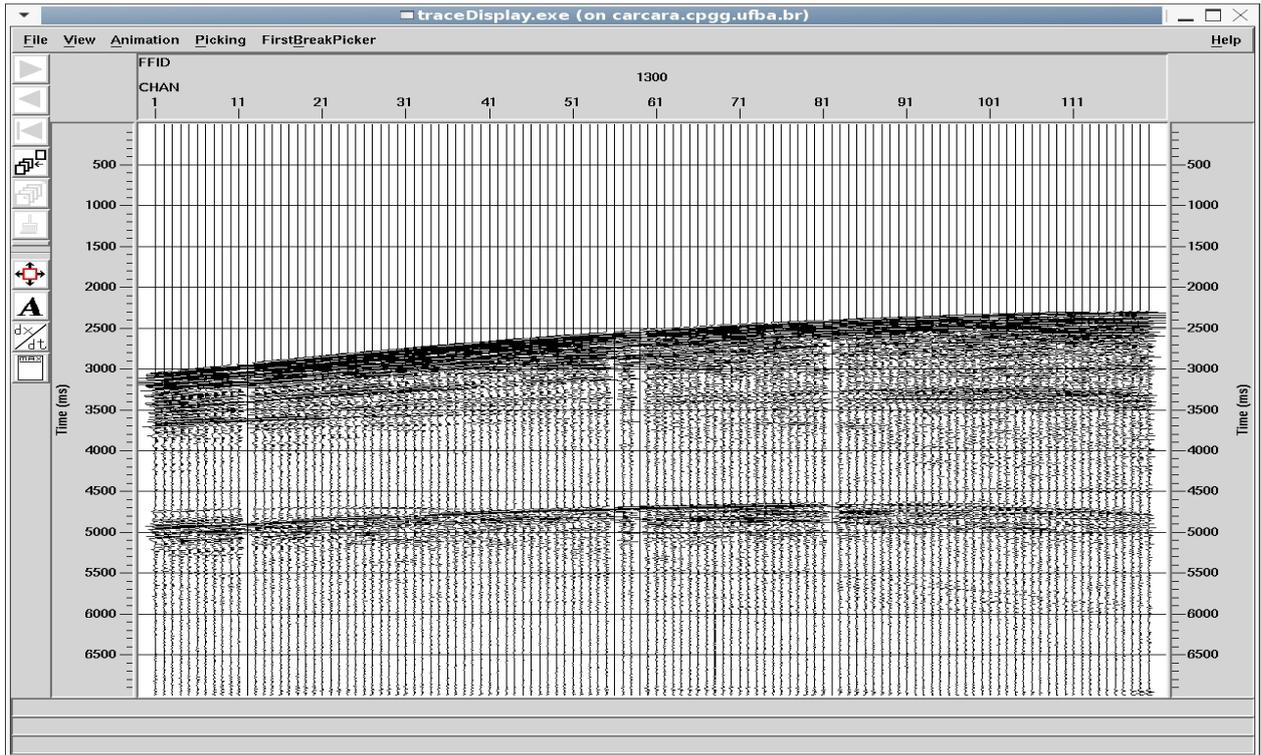


Figura 2.10: FFID 1300 depois da edição

No caso da atenuação inelástica a forma matemática que descreve este fenômeno e que é adotada como correção de ganho é dada pela equação 2.3, onde  $\alpha$  é a constante de correção de atenuação inelástica,  $t$  é o tempo e  $v(t)$  é a função velocidade RMS.

$$g(t) = e^{\alpha \times t \times v(t)} \quad (2.3)$$

A função ganho calculada é multiplicada por uma constante de normalização antes de ser aplicada nos dados, deste jeito as amplitudes dos traços ficam relativamente imutáveis.

### 2.2.5 Filtragem

O modo de filtragem utilizado nesta etapa foi do tipo passa banda. No PROMAX o módulo que corresponde a este tipo de filtragem é chamado de **Bandpass Filter**. Este módulo de filtragem opera no domínio da frequência aplicando um único filtro para todos os traços em todos os tempos. O filtro é especificado pelo ajuste de quatro números inteiros desenhando um trapézio correspondente a percentagem de frequências que irão passar pelo filtro. Os números escolhidos para a construção do filtro foram: 10; 15; 45; 60. Esses números foram escolhidos em virtude da análise feita das frequências dos traços sísmicos através do espectro de frequências como pode ser visto na figura 2.11

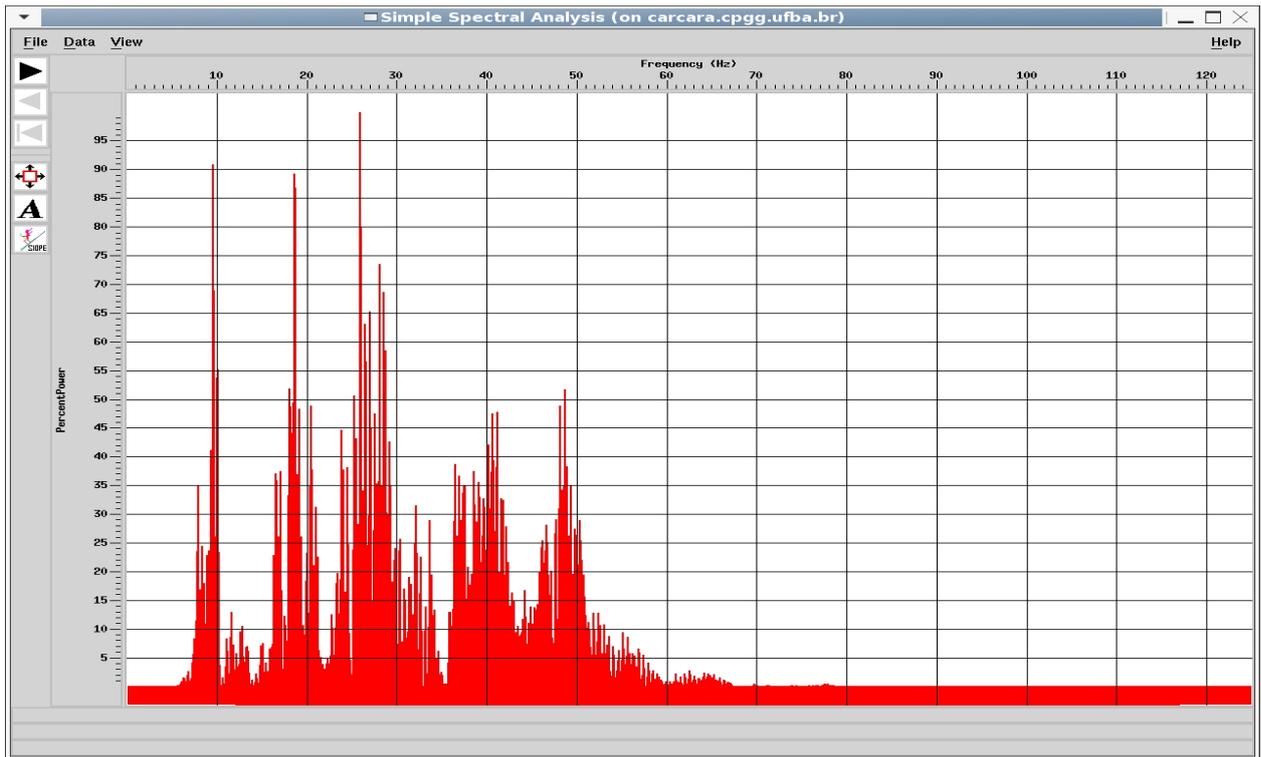


Figura 2.11: Espectro de frequência de traço sísmico

### 2.2.6 Deconvolução

A deconvolução comprime o pulso sísmico registrado no sismograma aumentando assim a resolução temporal e levando a uma representação das reflexões em subsuperfície. O processo normalmente é aplicado antes do empilhamento, contudo, ele também é aplicado para dados já empilhados.

O registro de um sismograma pode ser modelado como a uma convolução da resposta impulsiva da terra com o pulso sísmico, representado pelo modelo convolucional do traço sísmico, da seguinte maneira,

$$x(t) = w(t) * e(t) + n(t), \quad (2.4)$$

onde  $x(t)$  é o traço sísmico,  $w(t)$  é assinatura da fonte,  $e(t)$  resposta impulsiva da terra e  $n(t)$  é o ruído do ambiente.

O objetivo da deconvolução do pulso é recuperar a resposta impulsiva da terra. Este objetivo depende da obtenção de um filtro que quando convolvido com o pulso, converta-o a um impulso. Este filtro também é denominado filtro inverso. Desta forma quando convolvido com o traço sísmico restaura, ao menos teoricamente, função refletividade, ou resposta impulsiva.

Considerando  $f(t)$  como o filtro inverso do pulso  $w(t)$ ,

$$\delta(t) = f(t) * w(t), \quad (2.5)$$

onde,

$$\delta(t) = \begin{cases} 1, & t = 0 \\ 0, & t \neq 0 \end{cases},$$

e convolvendo o traço sísmico, representado pela equação (2.4) com o filtro inverso  $f(t)$ , obtém-se,

$$\begin{aligned} f(t) * x(t) &= f(t) * p(t) * e(t) + f(t) * n(t) \\ &= \delta(t) * e(t) + f(t) * n(t) \\ &= e(t) + f(t) * n(t), \end{aligned}$$

desprezando-se o ruído obtém-se,

$$f(t) * x(t) = e(t), \quad (2.6)$$

indicando que a convolução do traço sísmico com o filtro inverso fornecerá a função refletividade.

A deconvolução é normalmente realizada através do método de Wiener-Levinson que estima o filtro inverso através do método dos mínimos quadrados. O filtro causal assim obtido é o filtro inverso de um pulso de fase mínima, esta é a razão pela qual o método de Wiener-Levinson é denominado de deconvolução de fase mínima (Robinson, 1980; Yilmaz, 2001). Esta etapa de processamento foi executada com o módulo do PROMAX chamado *Spiking/Predictive Decon* e teve como objetivo Spickizar os pulsos sísmicos. A figura 2.12 apresenta o FFID 1000 já filtrado, com aplicação de ganho e deconvolvido.

### 2.2.7 Correção de MMO

A aplicação da filtragem utilizando a DPM tem apresentado resultados satisfatórios quando os CMPs são previamente corrigidos de MMO (*multiple moveout*) e os dados organizados no domínio do *offset* comum (Lima, 1999). Por este motivo esta metodologia foi adotada neste trabalho. A correção de MMO tem o objetivo de fazer com que as reflexões múltiplas apresentem-se como periódicas, criando assim uma situação mais favorável para aplicação

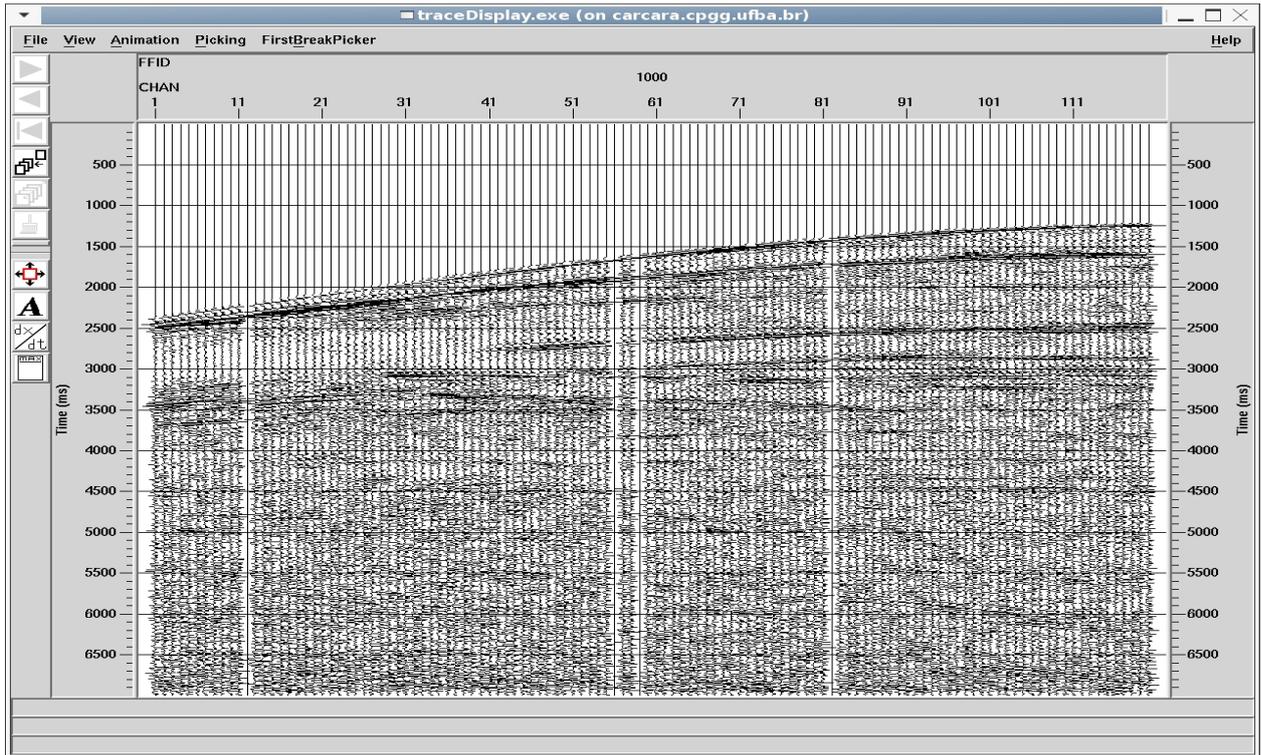


Figura 2.12: FFID 1000 com deconvolução, filtro e ganho.

do método de deconvolução preditiva, que é fortemente dependente do caráter periódico dos eventos que se deseja atenuar (Lamont, Hartley e Uren, 1999). Nas figura 3.1 e 3.4 podemos observar a CDP 2500 antes e após a correção de MMO. O campo de velocidade utilizado para esta correção pode ser encontrado no anexo I.

### 2.2.8 Correção de NMO

Considerando um refletor horizontal em subsuperfície. O tempo de trânsito da frente de onda pode ser dado por:

$$t^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{v^2}, \quad (2.7)$$

onde  $x$  é a distância entre a fonte e o receptor,  $v$  é a velocidade do meio acima da interface do refletor e  $t_0$  é o tempo de trânsito para o offset nulo. A equação 2.7 descreve uma parábola no plano  $(t, x)$ .

A diferença entre o tempo de trânsito de um dado *offset* e o *offset* nulo em uma família CMP é chamada de correção de *normal-moevent* (NMO) e é dada por:

$$\Delta t_{nmo} = t - t_0, . \quad (2.8)$$

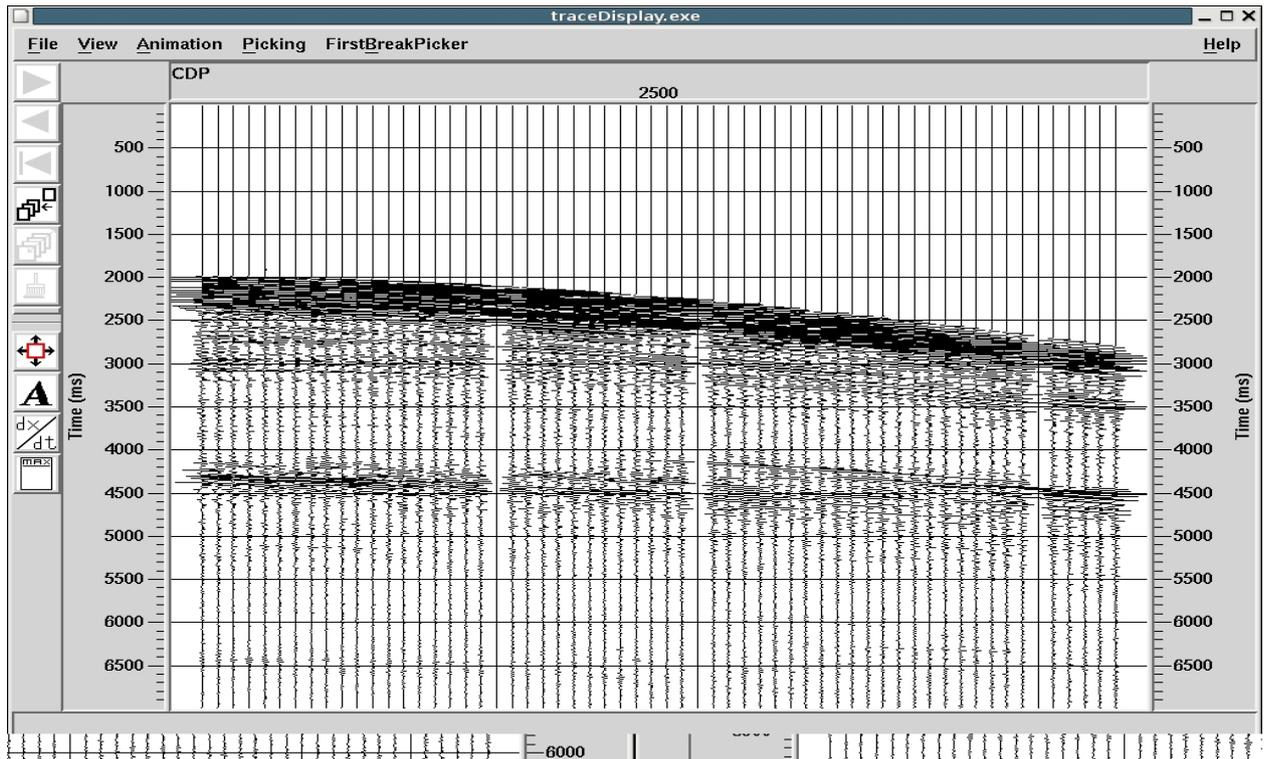


Figura 2.13: CDP 2500 com cobertura máxima antes da MMO

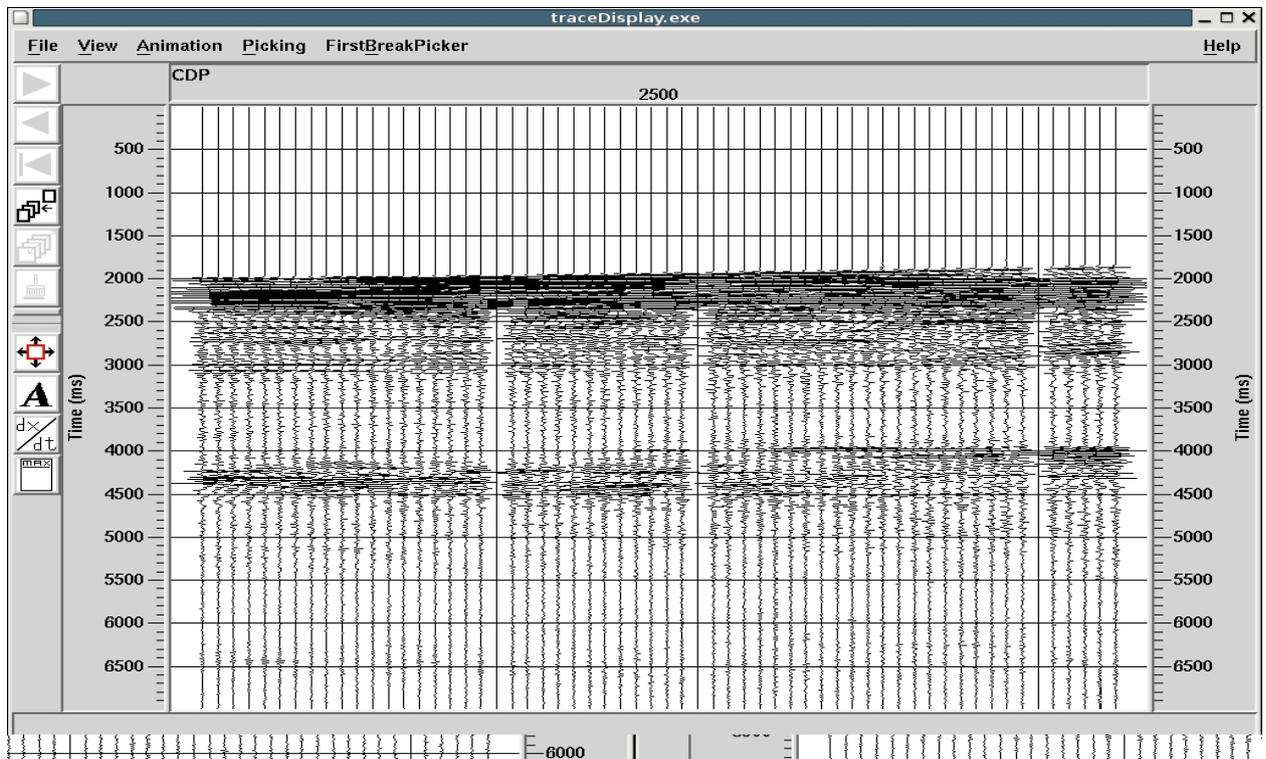


Figura 2.14: CDP 2500 com cobertura máxima depois da MMO

utilizando-se a equação (2.7) obtemos,

$$\Delta t_{nmo} = t_0 \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{x}{v_{nmo} t_0} \right)^2} - 1 \right]. \quad (2.9)$$

Esta correção leva em conta que refletores em subsuperfície são plano paralelos horizontalizando os eventos em subsuperfície. Uma boa correção de NMO depende da velocidade  $v_{nmo}$  obtida na etapa de análise de velocidade. Por isso é importante realizar uma boa análise de velocidade para se evitar sub ou sobre correções de NMO tornando os refletores não mais plano paralelos. A velocidade utilizada neste trabalho para esta correção foi a gerada pela empresa westerngeco e pode ser encontrada no anexo II. No PROMAX o módulo correspondente a esta correção se chama **Normal Moveout Correction**.

### 2.2.9 Filtragem utilizando TRH e TRP

Como já foi dito o PROMAX possui funções que computam a filtragem de múltiplas utilizando a TRP e a TRH. O módulo correspondente a estas funções chama-se **Radon filter**, este módulo possui a opção de dois tipos de saída de dados; o filtro criado ou os dados já filtrados. Geralmente o filtro é aplicado no domínio dos CMPs corrigidos de NMO, desta forma os ruídos coerentes subhorizontalizados como múltiplas dentre outros, são mapeados por parábolas na TRP e por hipérboles na TRH.

Os eventos primários horizontalizados e as múltiplas descritas por hipérboles são transformados em pontos no domínio da velocidade. Como sabemos distinguir múltiplas de primárias no novo domínio baseado na discriminação de velocidade podemos utilizar este critério para restituir somente as múltiplas no domínio do *offset* subtraindo-as dos dados originais. No caso da TRP os eventos primários e múltiplas são mapeados por parábolas transformando-as em pontos no domínio do parâmetro de curvatura das parábolas, desta forma, podemos distinguir os eventos primários de múltiplas, já que os eventos lineares (primárias corrigidas de NMO) terão parâmetros de curvatura próximo de zero enquanto que os eventos não lineares (múltiplas subhorizontalizadas) terão parâmetro de curvatura mais afastados de zero.

O módulo **Radon Filter** necessita do campo de velocidade  $v_{nmo}$  para executar as transformações necessárias de domínios. O campo de velocidade utilizado foi o mesmo da correção de NMO. Além do campo de velocidade é necessária a especificação do número de parábolas ou hipérboles a serem utilizadas nas transformações. As figuras 2.15, 2.16 e 2.17 representam respectivamente os dados corrigidos de NMO, o filtro criado com a TRP e os dados filtrados para o CDP 3000.

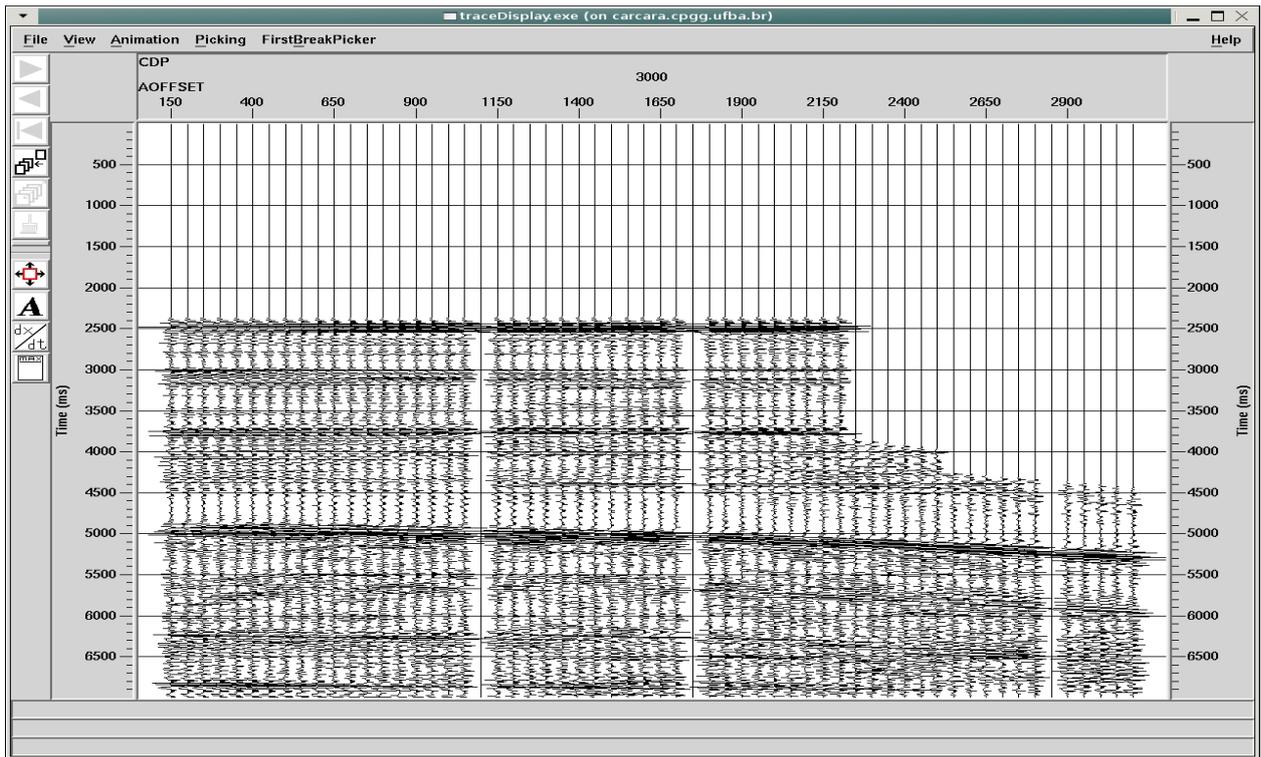


Figura 2.15: CDP 3000 corrigido de NMO.

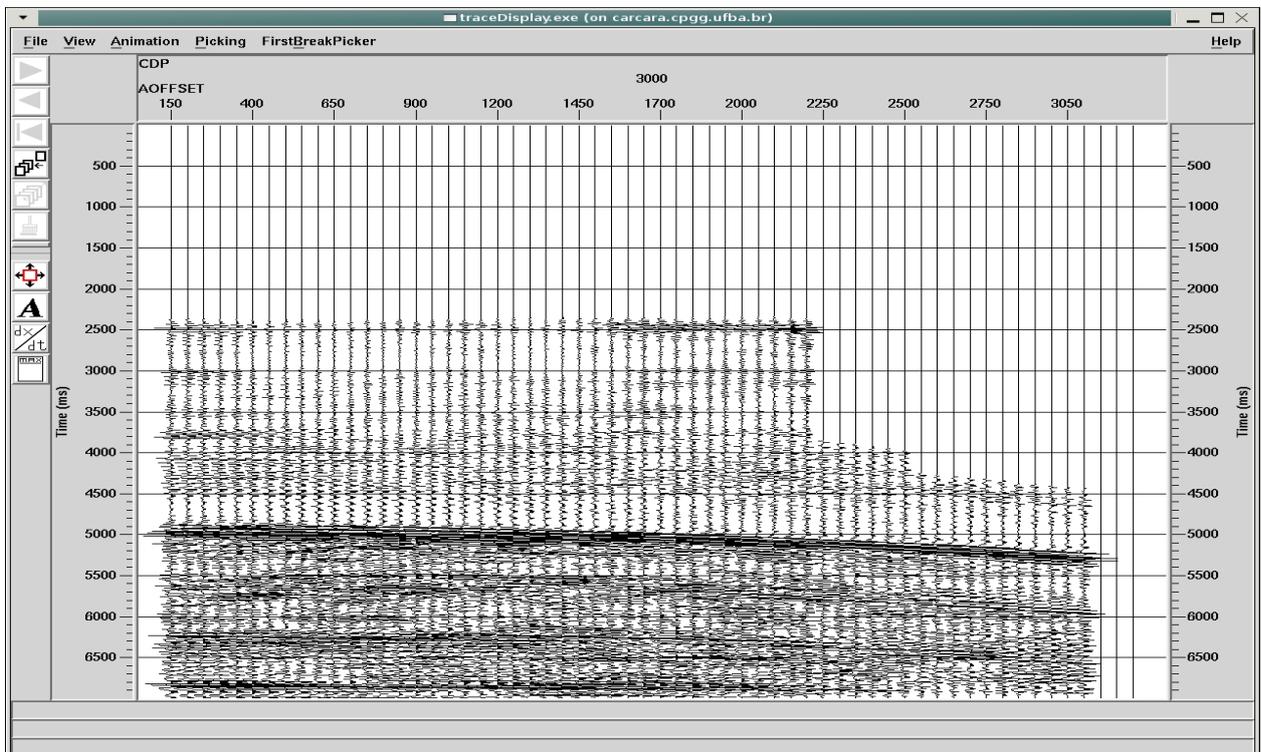


Figura 2.16: CDP 3000 filtro TRP.

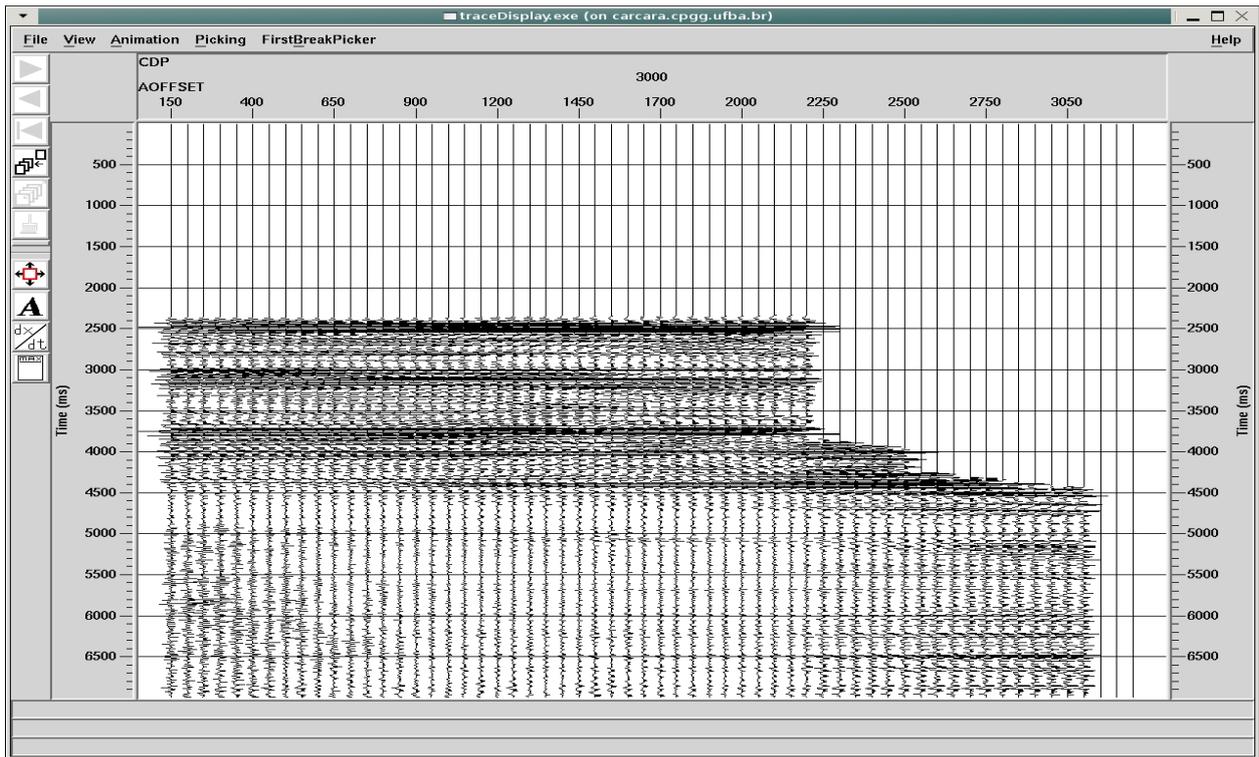


Figura 2.17: CDP 3000 filtrado.

### 2.2.10 Empilhamento

O empilhamento corresponde a média aritmética das amplitudes dos traços em cada CDP corrigido de NMO para um determinado instante de tempo. A fórmula do empilhamento é dada por:

$$A(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N a(t), \quad (2.10)$$

onde  $A(t)$  é a amplitude do traço empilhado,  $N$  é o número de traços a empilhar e  $a(t)$  é o valor da amplitude do traço  $i$  no tempo  $t$ . O módulo do PROMAX que realiza esta operação é chamado CDP/Ensemble Stack. O sucesso do empilhamento depende de uma boa análise de velocidade que horizontalize os eventos primários.

O empilhamento tem como objetivo simular a seção sísmica *zero-offset*. O somatório da equação (2.10) possui algumas características importantes para o processamento sísmico tais como aumento da razão sinal-ruído, pois os eventos coerentes tendem a se tornar mais fortes com o somatório eliminando os ruídos aleatórios, já que estes possuem amplitudes negativas e positivas geralmente da mesma ordem que quando somadas irão se anular.

### 2.2.11 Migração Kirchhoff

O objetivo da migração é fazer com que uma seção empilhada pareça similar a uma seção geológica em profundidade. A migração move os refletores com megulho para suas verdadeiras posições em subsuperfície e colapsa as difrações aumentando a resolução espacial produzindo uma imagem sísmica da subsuperfície (Yilmaz, 2001). Sua aplicação depende do campo de velocidade que juntamente com a equação da onda descreve a forma com que a energia se propagou no meio. A migração processada que produz uma seção migrada no tempo é chamada de migração em tempo, este tipo de migração é recomendada para variações de velocidade lateral de pequena a média. Já quando a variação lateral da velocidade é significativa é recomendado o uso da migração em profundidade o qual produz uma seção em profundidade. A migração utilizada neste trabalho foi a migração Kirchhoff no tempo pós-empilhamento. O módulo do PROMAX correspondente a este procedimento é denominado de *Migration Kirchhoff*. Os parâmetros de entrada desta módulo são o campo de velocidade, a abertura do operador que se relaciona com a distância máxima para a qual a energia pode ser espalhada e o ângulo de migração, que determina os ângulos que se deseja decompor.

### 2.2.12 Conversão SU

O programa Seismic Unix foi utilizado para conversão do formato dos dados SEG-Y para acesso direto e sua organização em famílias de *offsets*. Este programa também foi utilizado para fazer a estimativa da distância de predição e da janela de aplicação do filtro utilizado na DPM.

### 2.2.13 Filtragem DPM

Essa etapa foi executada com as rotinas FORTRAN de deconvolução multicanal instaladas no LAGEP (Porsani e Ursin, 2007). Os parâmetros de entrada especificados para a execução da filtragem utilizando o DPM foram o número de amostras de cada traço  $n_s$ , o número de traços por família *offset*  $n_t$ , a distância de predição do filtro *per*, as famílias de *offsets* a serem filtrados *off* e o número de canais  $n_c$  a serem utilizados. A tabela 2.2 apresenta os parâmetros utilizados para filtragem utilizando a DPM. Os resultados desta etapa pode ser observado no capítulo dos resultados.

$n_s$	$n_t$	<i>per</i>	<i>off</i>	$n_c$
1751	1578	arquivo ascii	arquivo binário	3

Tabela 2.2: Parâmetros utilizados na DPM

### 2.2.14 Distância de Predição e janela dos filtros

Uma das premissas para a execução da filtragem utilizando a DPM é a distância de predição e a janela utilizadas para aplicação dos filtros. Com a aplicação da correção de MMO em dados registrados sobre o fundo do mar horizontal, tanto a reflexão primária quanto as múltiplas do fundo do mar tornam-se horizontais e periódicas (Lima, 1999), no entanto esses eventos não são estacionários no tempo nem no espaço. Para resolver o problema da falta de estacionariedade das múltiplas no espaço os dados foram organizados em famílias de *offsets* comuns, já a falta de estacionariedade no tempo poderia ser corrigida com uma transformada *iso-strech-radial* (ISO). Com os dados corrigidos de MMO e organizados em famílias de *offsets* comuns foi feita a estimativa da distância de predição utilizando o tempo de trânsito dos eventos correspondentes ao assoalho marinho para estimar uma distância de predição um pouco menor que os eventos primários correspondentes ao fundo do mar. O módulo *ximage* do software SU foi utilizado associado com rotinas FORTRAN para fazer a seleção desta distância de predição manualmente, nas famílias de *offsets* comuns selecionando as amostras correspondentes ao assoalho marinho e guardando-as em arquivos ASCII para serem posteriormente utilizados pela rotina FORTRAN da DPM. Esta metodologia foi aplicada para as 120 famílias de *offsets* comuns utilizadas neste trabalho. Além da distância de predição foi também estabelecida a janela em que os filtros da DPM atuaram. Para o presente trabalho foi utilizada uma distância de predição e uma janela da ordem de 95% e 10% do período encontrado manualmene, respectivamente. A figura 2.18 apresenta a seleção da distância de predição e da janela estabelecida para o *offset* 150.

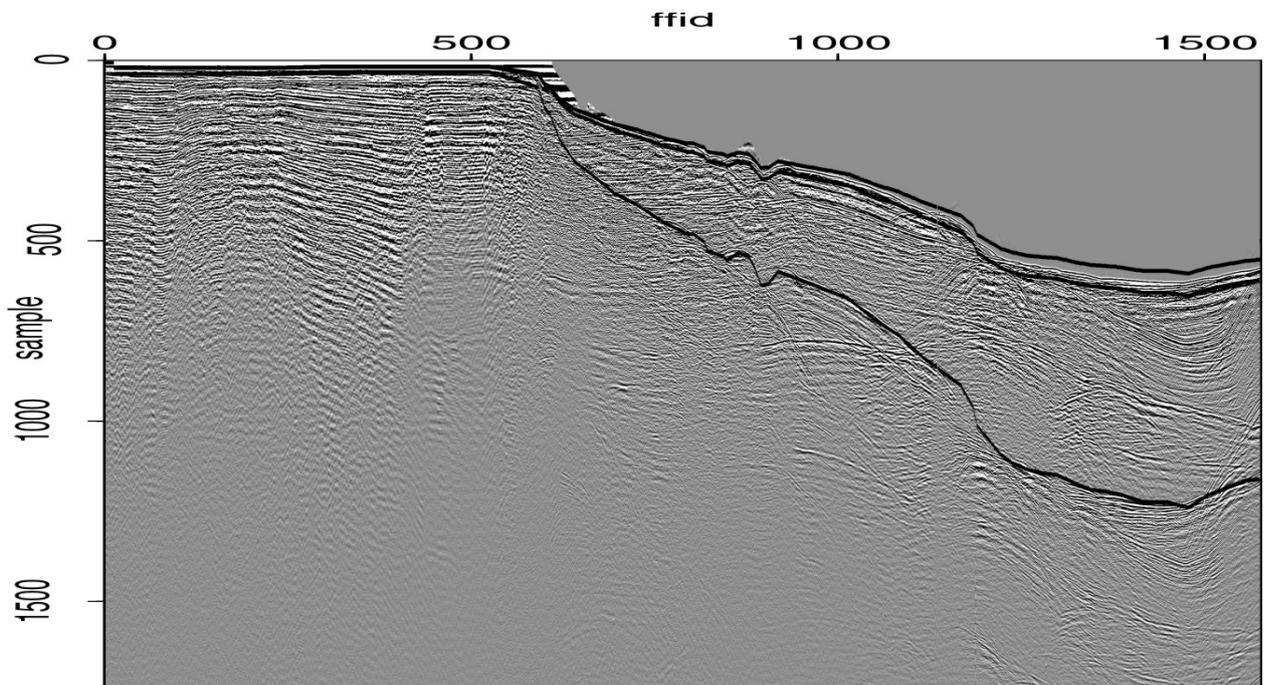


Figura 2.18: Período e janela de deconvolução para o *offset* 150

## CAPÍTULO 3

# Resultados

Realizada a descrição de todas as etapas executadas durante o processamento sísmico da linha 214-RL-0266, segue a ilustração dos resultados obtidos com o processamento. O objetivo é ilustrar os efeitos dos métodos de filtragem abordados neste trabalho comparandó-os.

A figura 3.1 apresenta a seção sísmica da região do Jequitinhonha empilhada organizada em família CDP. Nesta figura podemos notar claramente a presença da onda múltipla de longo período de primeira ordem na região do talude na bacia do Jequitinhonha. Já na figura 3.3 podemos observar o resultado da filtragem utilizando o método TRH aplicado à família CDP corrigida de NMO da figura 3.1 podemos observar que o método atuou relativamente bem na atenuação da múltipla de longo período de primeira ordem onde o mesmo foi mais eficaz para a região cuja profundidade do assoalho marinho é de intermediária a funda, já na região onde o assoalho marinho se encontrava mais raso o método não atuou com tanta eficácia. Na figura 3.4 podemos observar o resultado do método de supressão de múltiplas utilizando a TRP, observamos que não houve muita diferença entre este resultado e os obtidos com a TRH. Já no resultado encontrado utilizando a DPM (figura 3.2) podemos observar uma melhora na atenuação da múltipla de primeira ordem em relação ao método TRP e ao TRH, observe que neste caso tanto as múltiplas situadas nas regiões onde o assoalho marinho é mais raso quanto nas regiões onde o mesmo é intermediário a fundo podemos perceber a efetiva atenuação da múltipla de primeira.

Nas figuras 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8, temos um zoom da região mais rasa do assoalho oceânico para os casos apresentados nas seções anteriores. Nestas figuras podemos comprovar o que foi averiguado nas seções anteriores com a melhor atuação da filtragem utilizando a DPM figura 3.6 em relação a filtragem utilizando a TRH (figura 3.7) e a TRP (figura 3.8) para a região rasa do assoalho marinho.

Nas figuras 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 podemos observar os resultados comparativos das filtrações para o CDP 3000 com cobertura máxima de 60 canais corrigidos de NMO. Mais uma vez podemos comprovar a boa atuação do método DPM em relação aos métodos TRH e TRP.



Figura 3.1: Seção sem filtragem

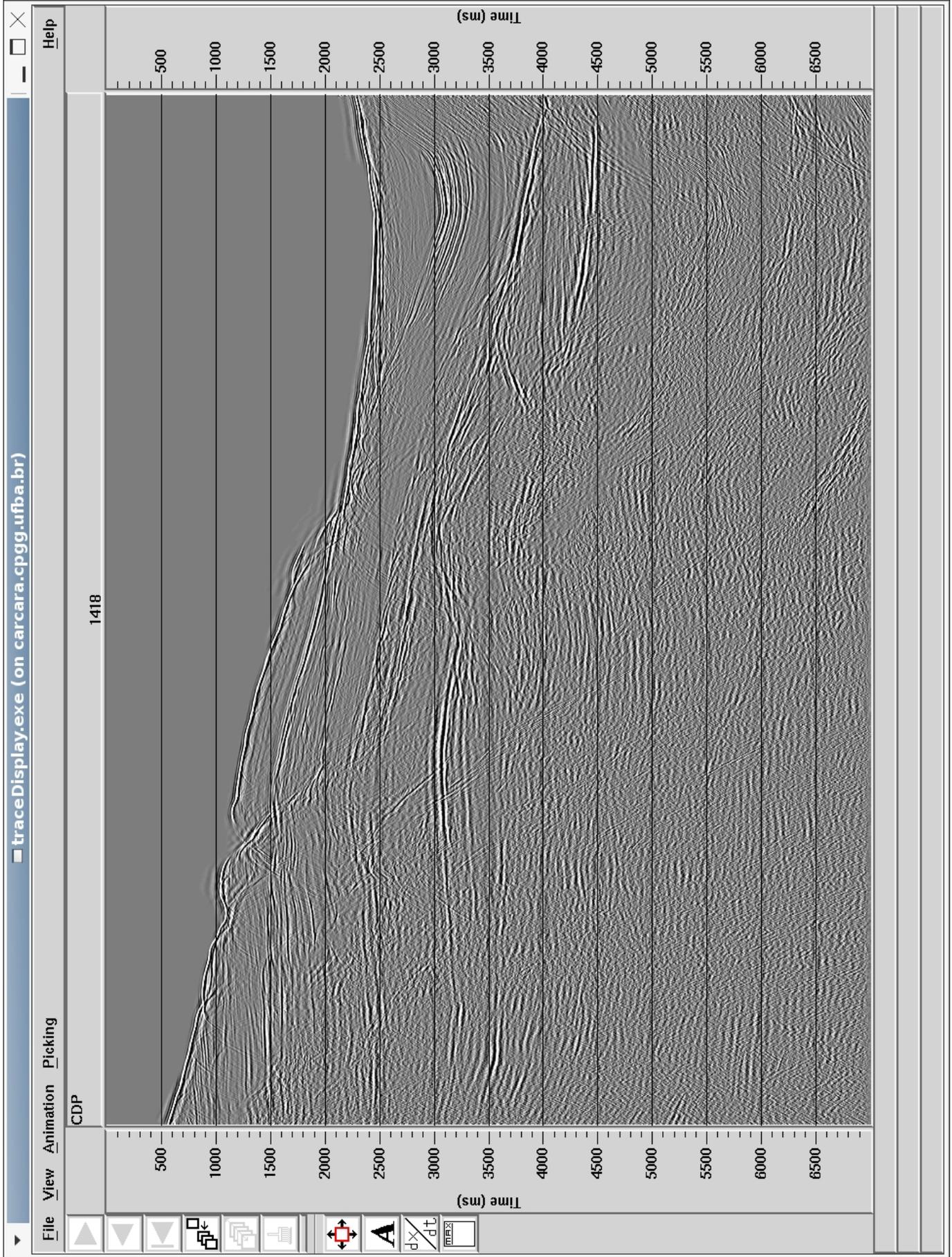


Figura 3.2: Seção com filtragem DPM

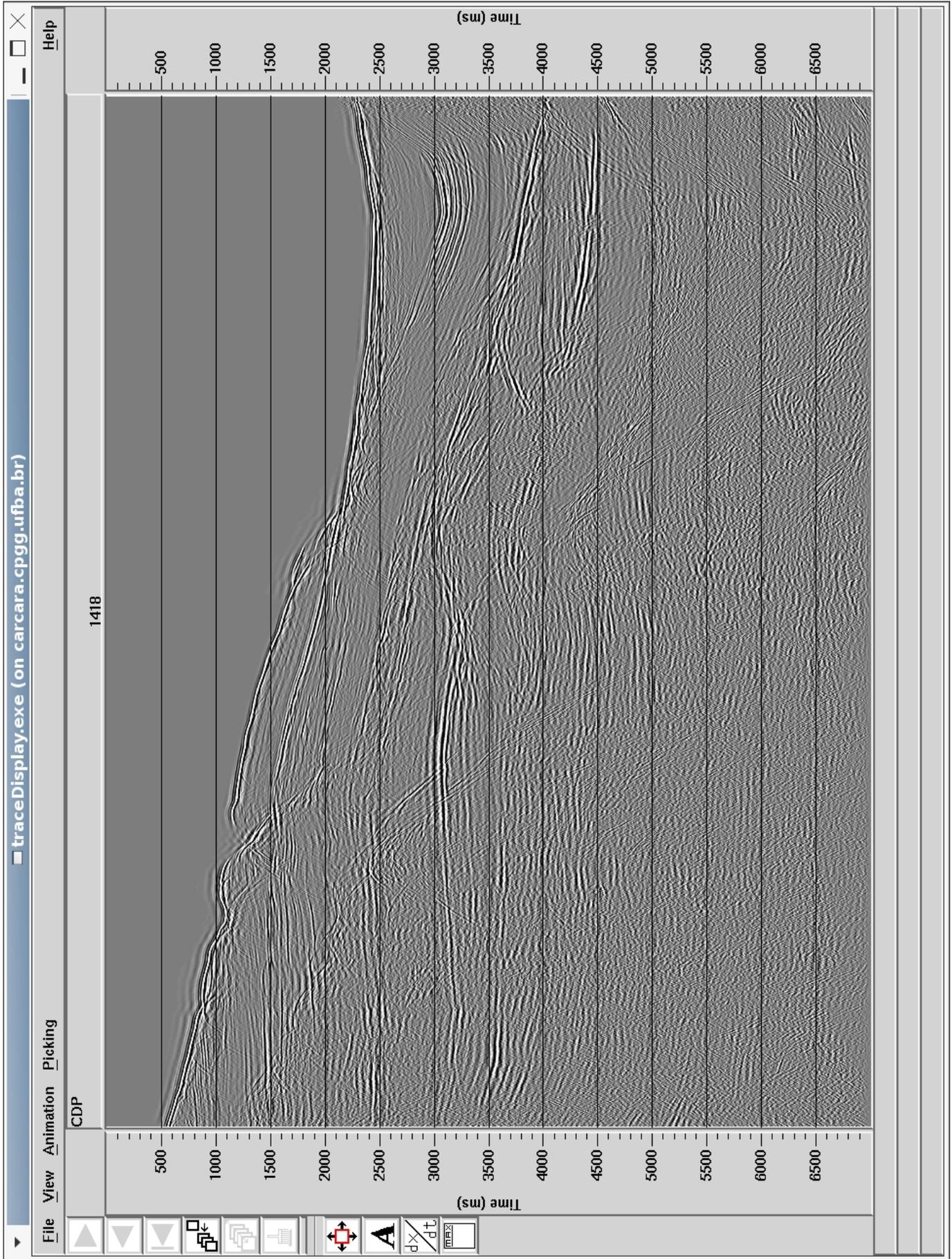


Figura 3.3: Seção com filtragem TRH

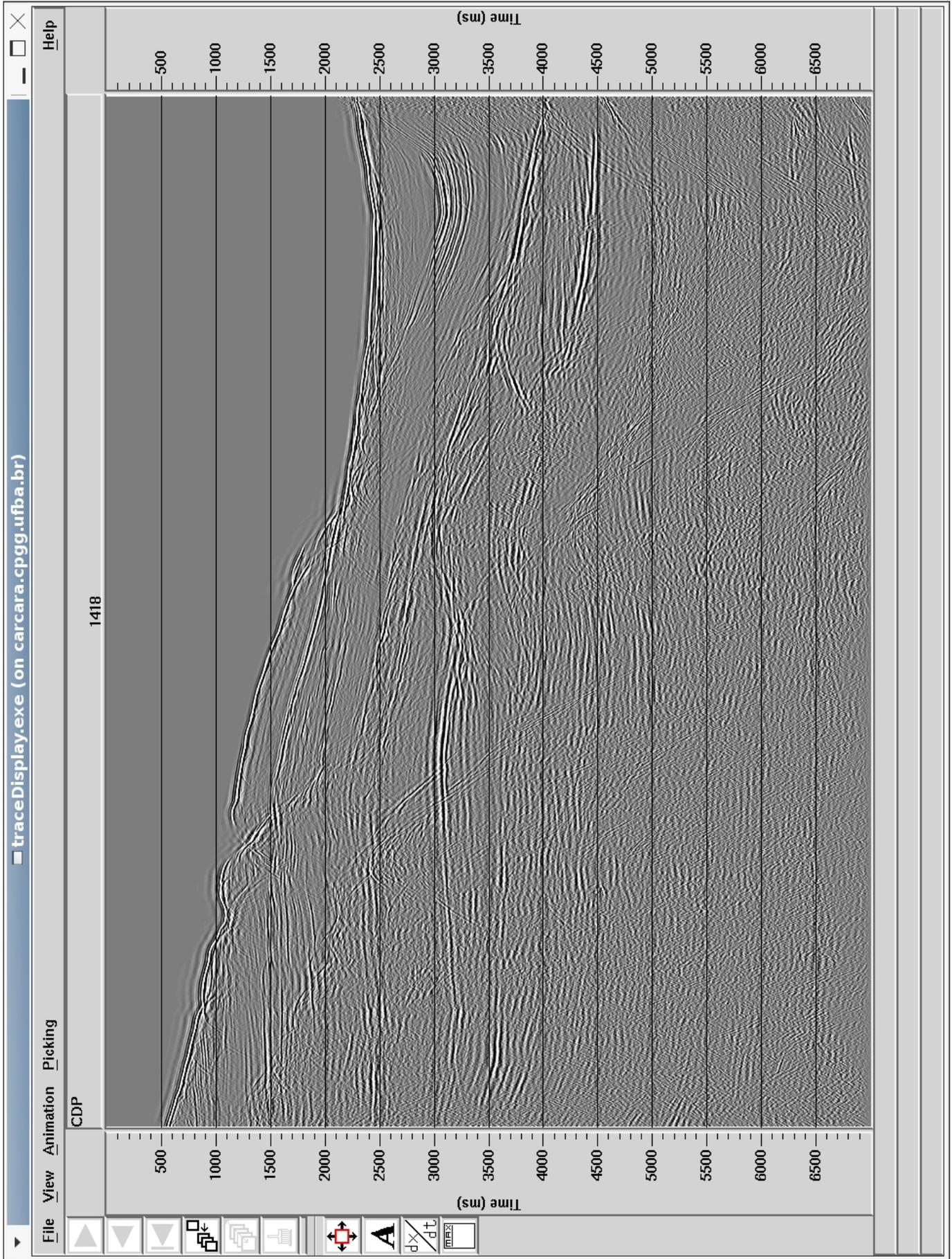


Figura 3.4: Seção com filtragem TRP

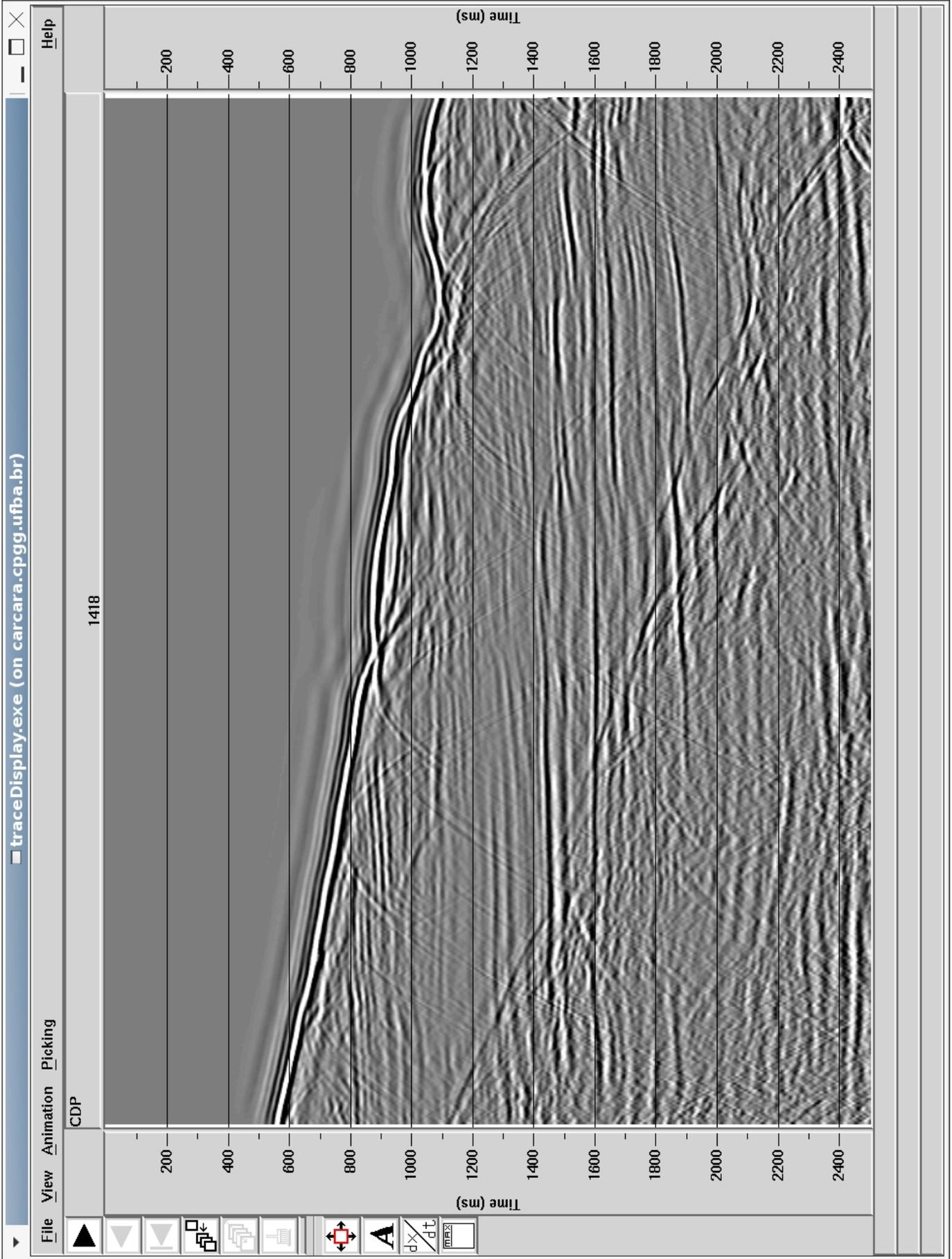


Figura 3.5: Seção sem filtragem em detalhe

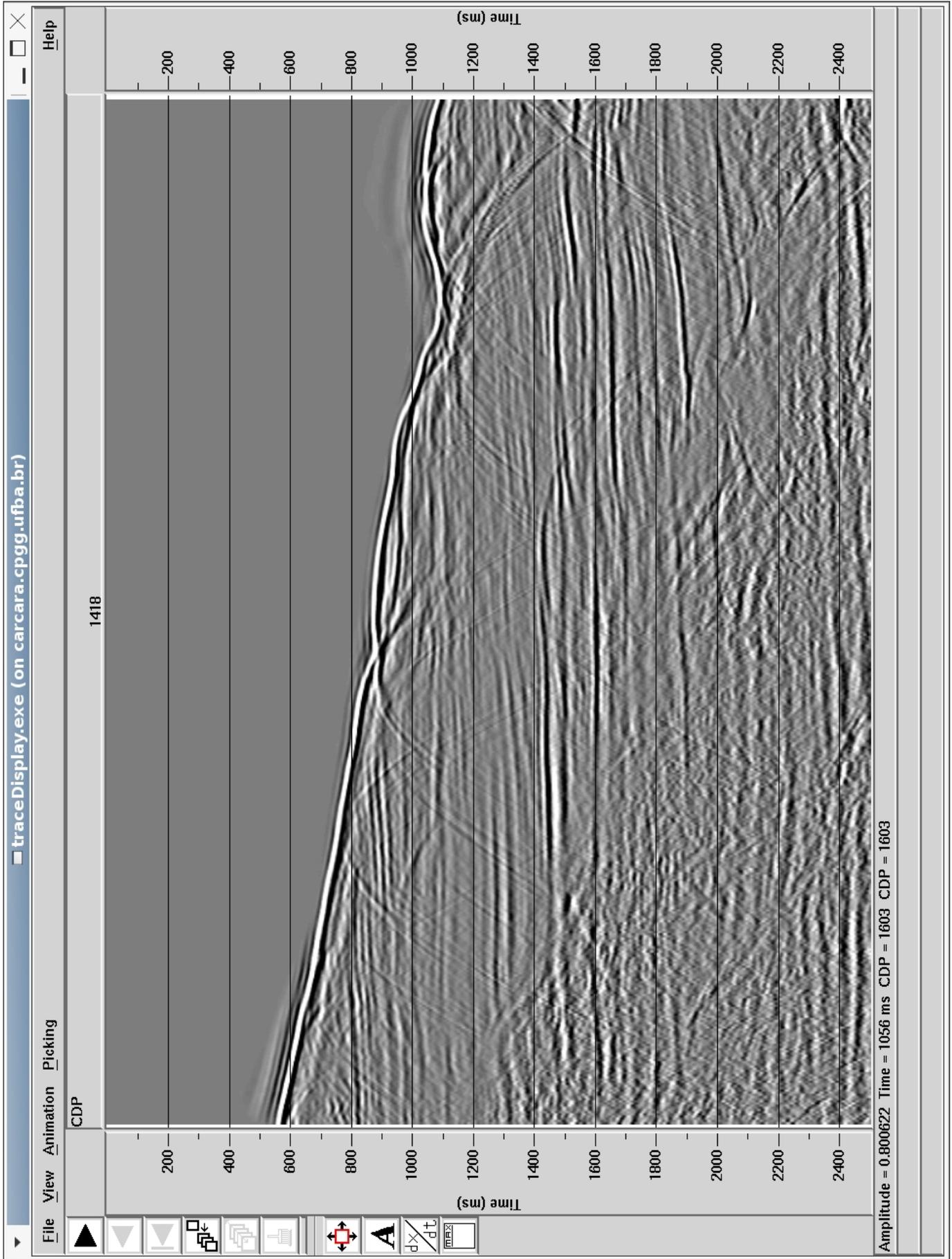


Figura 3.6: Seção com filtragem DPM em detalhe

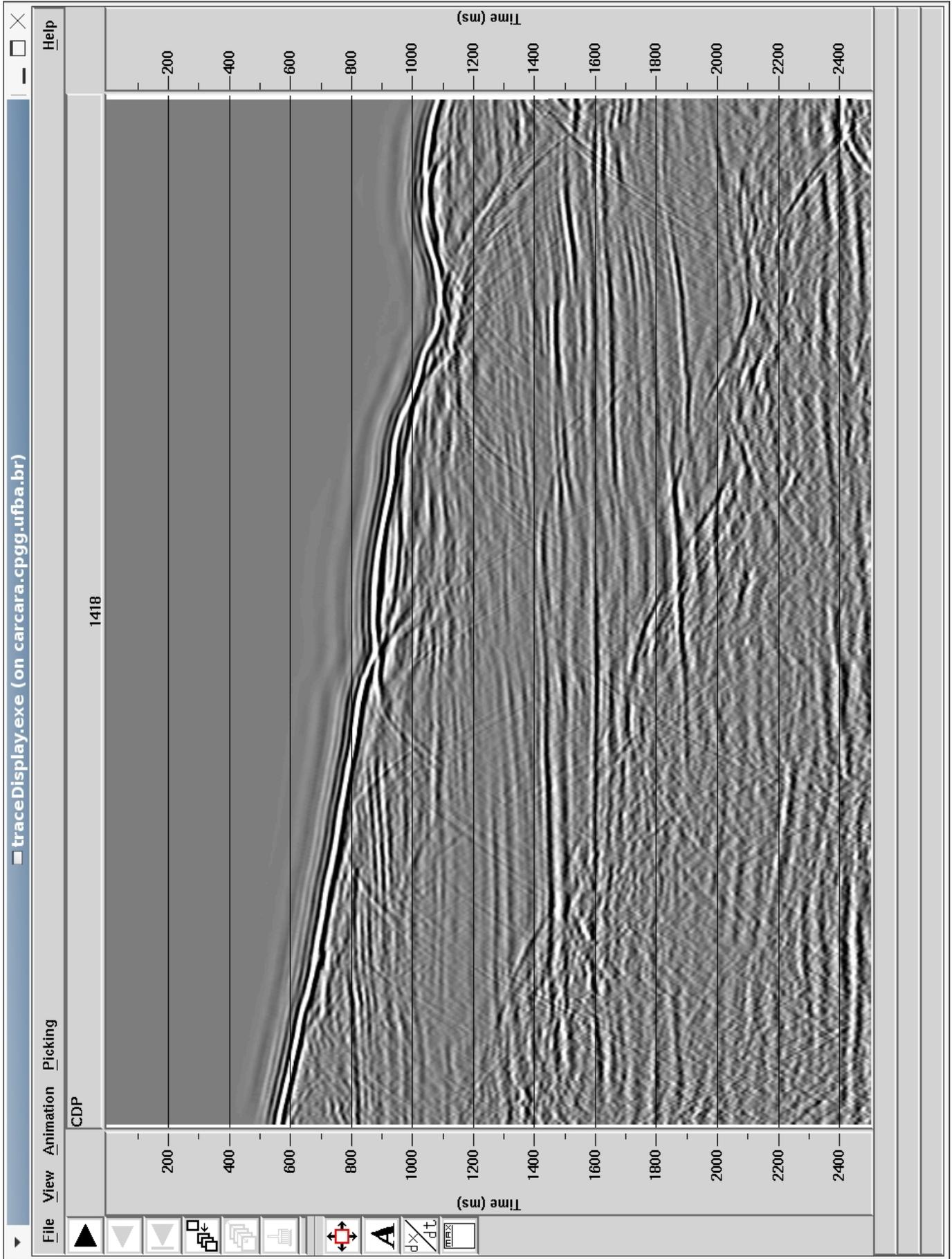


Figura 3.7: Seção com filtragem TRH em detalhe

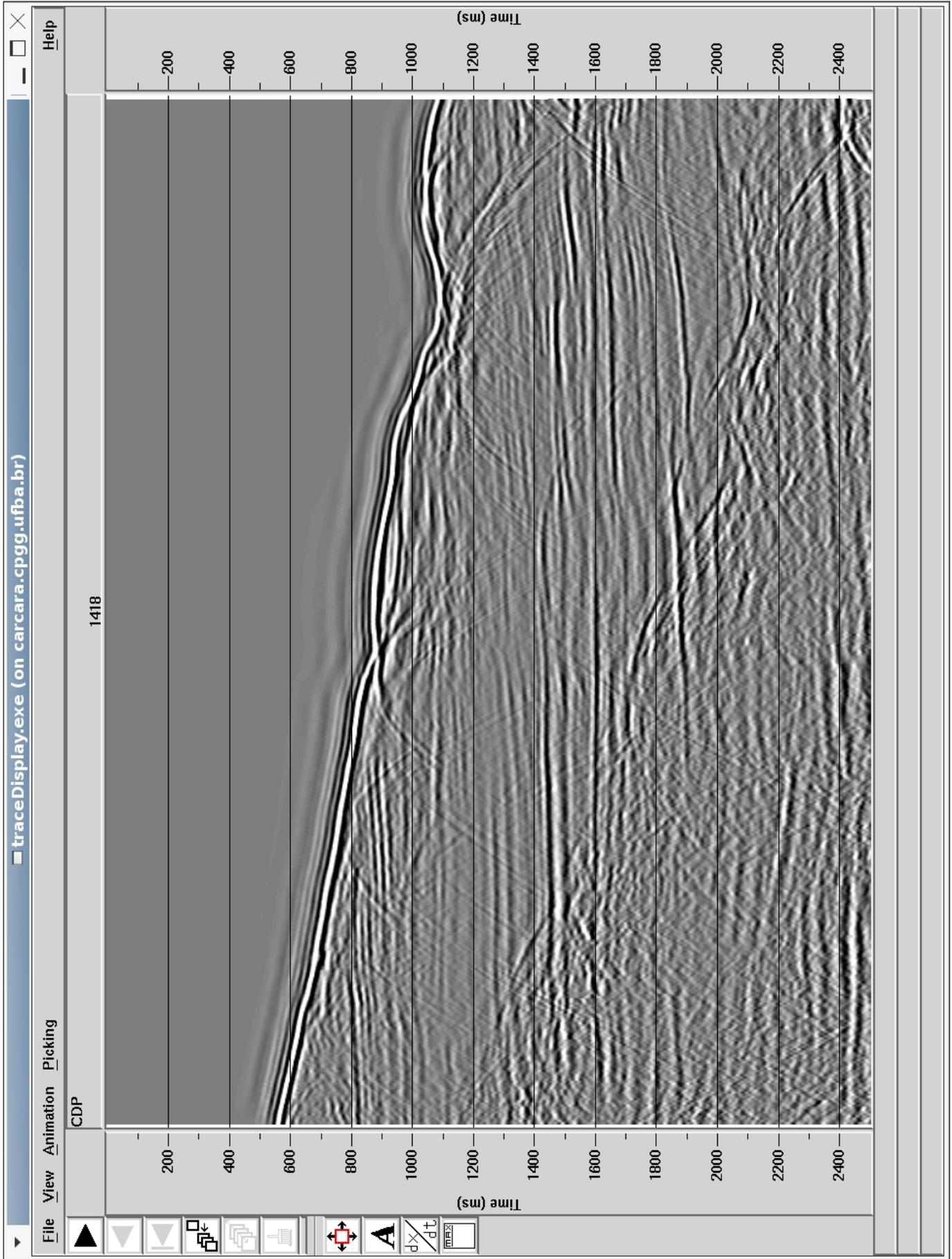


Figura 3.8: Seção com filtragem TRP em detalhe

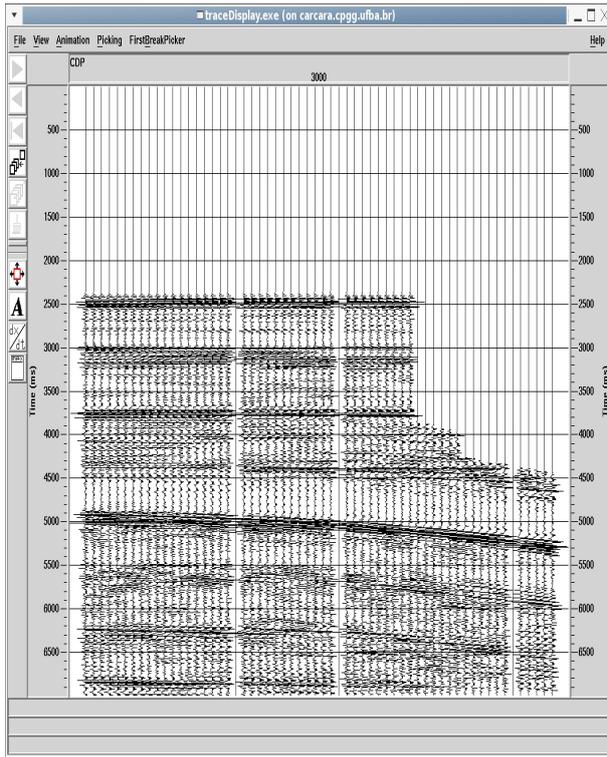


Figura 3.9: CDP 3000 corrigido de NMO  
sem filtro

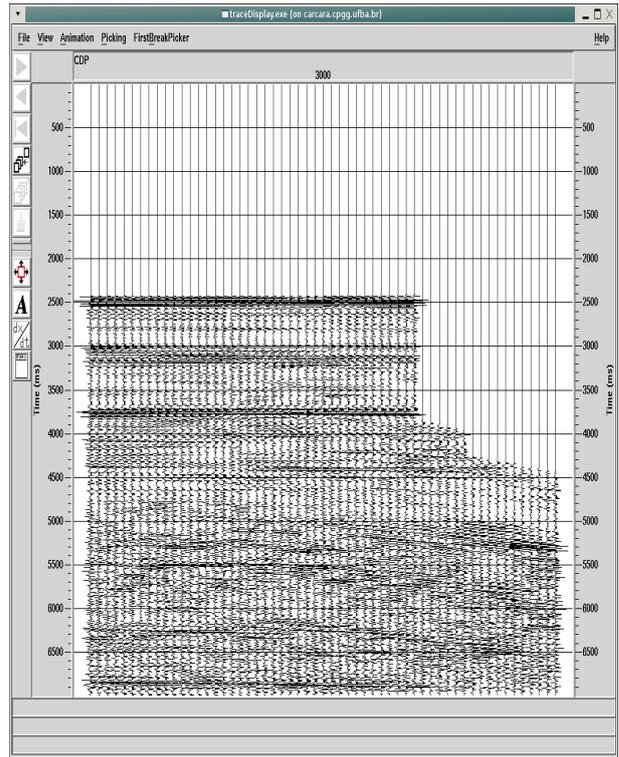


Figura 3.10: CDP 3000 corrigido de NMO  
filtro DPM

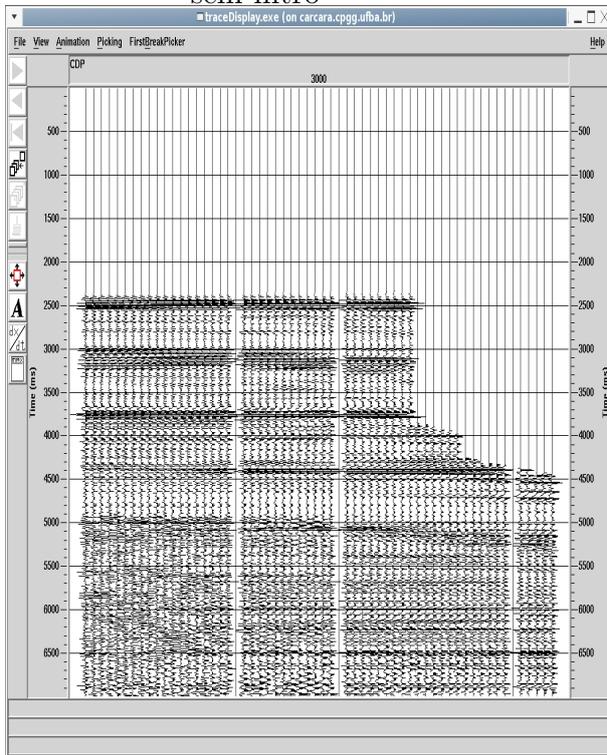


Figura 3.11: CDP 3000 corrigido de NMO  
filtro TRP

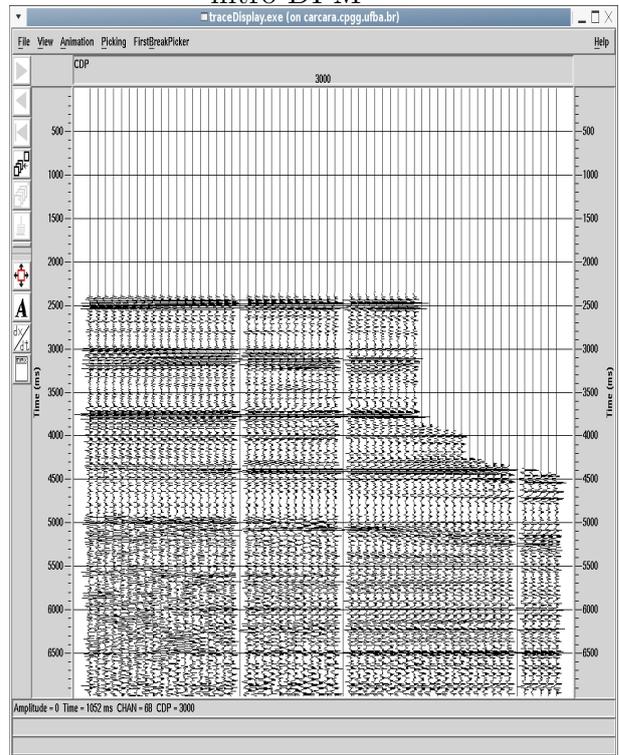


Figura 3.12: CDP 3000 corrigido de NMO  
filtro TRH

## CAPÍTULO 4

### Conclusões

Sabendo que o objetivo do processamento sísmico é gerar uma imagem de qualidade, se aproximando o máximo possível da seção geológica em subsuperfície. O processamento da linha sísmica 214-RL-0266 apresentou resultados satisfatórios gerando uma seção sísmica de qualidade com nítidos refletores e atenuada de múltiplas de longo período. .

Este trabalho apresentou todas as etapas básicas do processamento sísmico exceto no que diz respeito a filtragem de múltiplas utilizando deconvolução preditiva multicanal. A indústria do petróleo vem utilizando a técnica de remoção de múltiplas denominada de Transformada Radon no processamento sísmico, esta técnica foi posta em prova fazendo-se sua comparação com o método de filtragem utilizando a Deconvolução Preditiva Multicanal.

Podemos observar que os resultados alcançados utilizando a filtragem com DPM foram superiores aos resultados alcançados utilizando a TRH e a TRP. Os resultados obtidos com a TRH foram similares aos obtidos com a TRP, apesar dos dois métodos trabalharem com diferentes formas de mapeamento de múltiplas. Apesar dos métodos de filtragem utilizando DPM, TRP e TRH serem tratados como problemas de mínimos quadrados a DPM se saiu superior por tratar da coerência existente entre canais vizinhos para estimar múltiplas criando assim um forte critério para filtragem enquanto que os métodos utilizando TRP e TRH trabalham apenas com mapeamentos. Fatores como comprimento do cabo de aquisição, amostragem discreta ao longo do eixo dos offsets e proximidade dos eventos hiperbólicos em *offsets* curtos causam o espalhamento da amplitude empilhada ao longo do eixo da velocidade no domínio da transformada radon direta. Este é um dos problemas graves da Transformada Radon, pois, a menos que este efeito seja removido a transformada inversa radon não reproduzirá as amplitudes na família CDP. O método utilizando DPM também tem suas limitações, por ser um método que depende da picagem do assoalho marinho para prever eventos múltiplos em dados corrigidos de MMO, o mesmo está limitado pelo efeito de estiramento ocasionado pela correção de MMO.

O tratamento da limitação da filtragem utilizando a Deconvolução Preditiva Multicanal pelo efeito de estiramento devido a correção de MMO pode ser tratado em trabalhos futuros. Talvez uma correção do efeito de estiramento com a transformada *iso-strech-radial* (ISO) possa levar a melhores resultados com a Deconvolução Preditiva Multicanal.

# Agradecimentos

O autor gostaria de expressar agradecimentos à FINEP, PETROBRAS e FAPESB pelo apoio financeiro através do projeto FINEP/Rede NNE de Geofísica de Exploração e à ANP pelo suporte financeiro na forma de Bolsa de Estudo.

À empresa LANDMARK pelas licenças educacionais cedidas nos software utilizados no processamento sísmico.

Ao mestre e consultor técnico da PETROBRAS Manoel Gontijo por sua paciência e orientação sobre o processamento sísmico utilizando o software PROMAX sem a qual este trabalho não seria possível.

Ao professor Milton José Porsani por sua orientação e explicações sobre o funcionamento de deconvolução preditiva multicanal.

Aos colegas de LAGEP: Valter Marque, Luite Rego, Michelângelo Silva, Rosângela Maciel e Paulo Espinheira.

Ao colega Jonas Einsiedler que prestou suporte técnico com o software PROMAX e orientação na automação das rotinas FORTRAN utilizadas.

Ao técnico Joaquim Lago que prestou suporte nos backups do processamento feito com o PROMAX.

## APÊNDICE A

### Recursão de Levinson multicanal

A recursão de Levinson multicanal para resolução das equações normais pode ser dada fazendo-se a ampliação das equações normais a serem resolvidas como segui,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{z}^T \mathbf{z} & \mathbf{z}^T \mathbf{W}_0 & \mathbf{z}^T \mathbf{W}_1 & \dots & \mathbf{z}^T \mathbf{W}_{N-1} \\ \mathbf{W}_0^T \mathbf{z} & \mathbf{R}_0 & \mathbf{R}_{-1} & \dots & \mathbf{R}_{-(N-1)} \\ \mathbf{W}_1^T \mathbf{z} & \mathbf{R}_1 & \mathbf{R}_0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \mathbf{R}_{-1} \\ \mathbf{W}_{N-1}^T \mathbf{z} & \mathbf{R}_{N-1} & \dots & \mathbf{R}_1 & \mathbf{R}_0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ \mathbf{c}_{N1} \\ \vdots \\ \mathbf{c}_{NN} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{E}_{eN} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (\text{A.1})$$

onde  $\mathbf{c}_{Nj} = -\tilde{\mathbf{c}}_{Nj} \quad j = 1, \dots, N$ .

Note que a matriz dos coeficientes possui uma estrutura do tipo bloco-Toeplitz, onde os elementos responsáveis pela estrutura bandeada são matrizes quadradas com dimensão igual ao número de canais.

Os sistemas de equações representado pela equação (A.1), pode ser resolvido utilizando-se o princípio de resursão de Levinson multicanal. Calcula-se pois a solução do subsistema direto de ordem 1,

$$\begin{pmatrix} \mathbf{z}^T \mathbf{z} & \mathbf{z}^T \mathbf{W}_0 \\ \mathbf{W}_0^T \mathbf{z} & \mathbf{R}_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ \mathbf{c}_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{E}_{c1} \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (\text{A.2})$$

Resolvendo para  $\mathbf{c}_{11}$  obtém-se,

$$\mathbf{c}_{11} = \mathbf{R}_0^{-1} \mathbf{W}_0^T \mathbf{z}.$$

Da mesma forma, o subsistema reverso de ordem 1,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{R}_0 & \mathbf{R}_{-1} \\ \mathbf{R}_1 & \mathbf{R}_0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{B}_{11} \\ \mathbf{I} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \oplus \\ \mathbf{E}_{B1} \end{pmatrix}, \quad (\text{A.3})$$

onde  $\mathbf{I}$  é a matriz identidade e  $\oplus$  representa a matriz  $2 \times 2$  com todos os elementos nulos. Resolvendo para  $\mathbf{B}_{11}$  e  $\mathbf{E}_{B1}$ ,

$$\mathbf{B}_{11} = -\mathbf{R}_0^{-1}\mathbf{R}_{-1} \quad (\text{A.4})$$

$$\mathbf{E}_{B1} = \mathbf{R}_0 + \mathbf{R}_1\mathbf{B}_{11}. \quad (\text{A.5})$$

Utilizando-se a expressão para  $\mathbf{B}_{11}$  e considerando que  $\mathbf{R}_0 = \mathbf{R}_0^T$  e  $\mathbf{R}_1 = \mathbf{R}_{-1}^T$ , pode-se demonstrar prontamente que  $\mathbf{E}_{B1} = \mathbf{E}_{B1}^T$ .

O subsistema direto de ordem 2, a ser resolvido a partir das soluções das equações (A.2) e (A.3), é dado por,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{z}^T\mathbf{z} & \mathbf{z}^T\mathbf{W}_0 & \mathbf{z}^T\mathbf{W}_1 \\ \mathbf{W}_0^T\mathbf{z} & \mathbf{R}_0 & \mathbf{R}_{-1} \\ \mathbf{W}_1^T\mathbf{z} & \mathbf{R}_1 & \mathbf{R}_0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ \mathbf{c}_{11} \\ \mathbf{c}_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{E}_{c2} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (\text{A.6})$$

Lançando mão do princípio de Levinson pode-se escrever,

$$\begin{pmatrix} 1 \\ \mathbf{c}_{11} \\ \mathbf{c}_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ \mathbf{c}_{11} \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{0}^T \\ \mathbf{B}_{11} \\ \mathbf{I} \end{pmatrix} \mathbf{c}_{22}, \quad (\text{A.7})$$

inserindo-se a equação (A.7) na equação (A.6), e considerando-se as equações (A.2) e (A.3) obtém-se,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{E}_{c1} & [\mathbf{z}^T\mathbf{W}_0 & \mathbf{z}^T\mathbf{W}_1] \begin{bmatrix} \mathbf{B}_{11} \\ \mathbf{I} \end{bmatrix} \\ \mathbf{0} & \oplus \\ [\mathbf{W}_1^T\mathbf{z} & \mathbf{R}_1] \begin{bmatrix} 1 \\ \mathbf{c}_{11} \end{bmatrix} & \mathbf{E}_{B1} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ \mathbf{c}_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{E}_{c2} \\ 0 \\ \mathbf{f}(\mathbf{c}_{22}) \end{pmatrix}.$$

Impondo-se  $\mathbf{f}(\mathbf{c}_{22}) = 0$  pode-se escrever a forma compacta,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{E}_{c1} & \mathbf{\Delta}_{c1}^T \\ \mathbf{\Delta}_{c1} & \mathbf{E}_{B1} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ \mathbf{c}_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{E}_{c2} \\ \mathbf{0} \end{pmatrix}, \quad (\text{A.8})$$

onde,

$$\begin{aligned}\Delta_{\mathbf{c}1} &= \begin{pmatrix} \mathbf{z}^T \mathbf{W}_0 & \mathbf{z}^T \mathbf{W}_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{B}_{11} \\ \mathbf{I} \end{pmatrix} \\ \Delta_{\mathbf{c}1}^T &= \begin{pmatrix} \mathbf{W}_1^T \mathbf{z} & \mathbf{R}_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{1} \\ \mathbf{c}_{11} \end{pmatrix}.\end{aligned}$$

Resolvendo para  $\mathbf{c}_{22}$  obtém-se,

$$\mathbf{c}_{22} = -\mathbf{E}_{\mathbf{B}1}^{-1} \Delta_{\mathbf{c}1},$$

utilizando a relação de Levinson,

$$\begin{pmatrix} \mathbf{1} \\ \mathbf{c}_{11} \\ \mathbf{c}_{22} \\ \mathbf{c}_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{1} \\ \mathbf{c}_{11} \\ \mathbf{c}_{22} \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{0}^T \\ \mathbf{B}_{22} \\ \mathbf{B}_{21} \\ \mathbf{I} \end{pmatrix} \mathbf{c}_{33}, \quad (\text{A.9})$$

na equação (A.1) e considerando-se conhecido o PEOB, tal que,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{R}_0 & \mathbf{R}_{-1} & \mathbf{R}_{-2} \\ \mathbf{R}_1 & \mathbf{R}_0 & \mathbf{R}_{-1} \\ \mathbf{R}_2 & \mathbf{R}_0 & \mathbf{R}_{-1} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{B}_{22} \\ \mathbf{B}_{21} \\ \mathbf{I} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \oplus \\ \oplus \\ \mathbf{E}_{\mathbf{B}2} \end{pmatrix}, \quad (\text{A.10})$$

pode-se obter a forma compacta, associada a  $\mathbf{c}_{33}$ ,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{E}_{\mathbf{c}2} & \Delta_{\mathbf{B}2}^T \\ \Delta_{\mathbf{c}2} & \mathbf{E}_{\mathbf{B}2} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{1} \\ \mathbf{c}_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{E}_{\mathbf{c}3} \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (\text{A.11})$$

resolvendo-se para  $\mathbf{c}_{33}$ , e retornando na equação (A.9), obtém-se a solução de ordem 3. Tal procedimento pode ser continuado até a ordem  $N$  e, conforme demonstrado, requer o PEOB correspondente à solução dos subsistemas reversos.

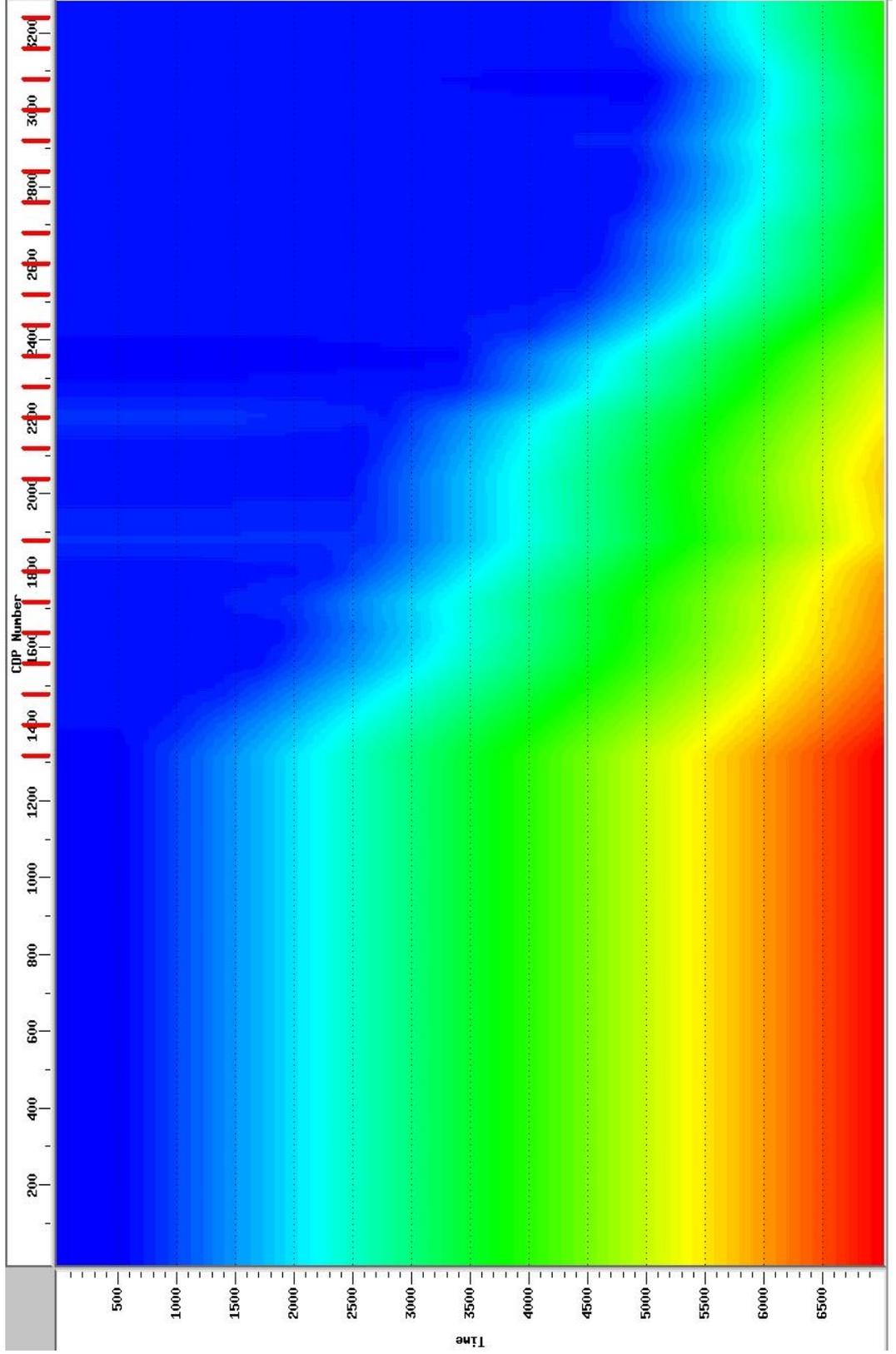
## Referências Bibliográficas

- [1] Backus, M. M., (1959). Water reverberation their nature and elimination. *Geophysics* 24, 233-261
- [2] Beylkin, G., (1987). Discrete Radon transform: *IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, AASP-35, 162-172.
- [3] Carvalho, P., (1992). Métodos de Eliminação de Múltiplas Relacionados com a Superfície Livre Baseada em Inversão Não Linear de Dados Sísmicos, Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- [4] Doicin D. and Spitz, S., (1991). Multichannel extration of water-bottom peglegs pertaining to high-amplitude refletion. 61<sup>st</sup> SEG Meeting, Houston, Expanded Abstracts, 1493-1442.
- [5] Foster, D. J. and Mosher, C. C., (1992). Suppression of multiple refletions using Radon Transform: *geophysics*, **57**, 386-395.
- [6] Hampson, D., (1986). Inverse velocity stacking for multiple elimination: *J. Can. Soc. Expl. Geophys.*, **22**, 44-55.
- [7] Lines, L. R. and Treitel, S., (1984). Tutorial: A review of least-square inversion and its application to geophysical problems: *Geophys. Prosp.*, **32**, 159-186.
- [8] 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/>).
- [9] Lima, A. P. e Porsani, M. J., (2003). Deconvolução preditiva de reflexões múltiplas e peg-legs utilizando filtragem Wiener- Levinson multicanal. *Revista Brasileira de Geofísica*. Rio de Janeiro, v.19, n.3, p. 303 - 314.
- [10] Peacock, K. L. and Treitel, S., (1969). Predictive Deconvolution - Theory and Practice. *Geophysics* **34**, 155-169.
- [11] Porsani, M. J. e Ursin, B., (2007). Direct multichannel predictive deconvolution. *Geophysics*, v. 72, p. H11-H27.
- [12] Robison, E. A., (1967). Multichannel times series analysis with digital computer programs, San Francisco, Holden-Day.
- [13] Robison, E. A. and Treitel, S., (1980). *Geophysical Signal Analysis*, Pretice-Hall, Englewood Cliffs.
- [14] Thorson, J. R. and Claerbout, J. F., (1985). Velocity-stack and slant-stack stochstic inversion: *Geophysics*, **47**. 1375-1401.

- [15] Yilmaz, O., (1989). Velocity-stack processing: *Geophys. Prosp.*, **37**, 357-382.
- [16] Yilmaz, O., (2001). *Seismic Data Analysis: processing, inversion and interpretation of seismic data*, Society of Exploration Geophysicists - SEG, Tulsa.
- [17] Schneide, W. A., Prince, E. R. J. and Giles, B. F., (1965). A new data-processing technique for multiple attenuation exploiting diferencial normal moveout. *Geophysics* 30, 348-362

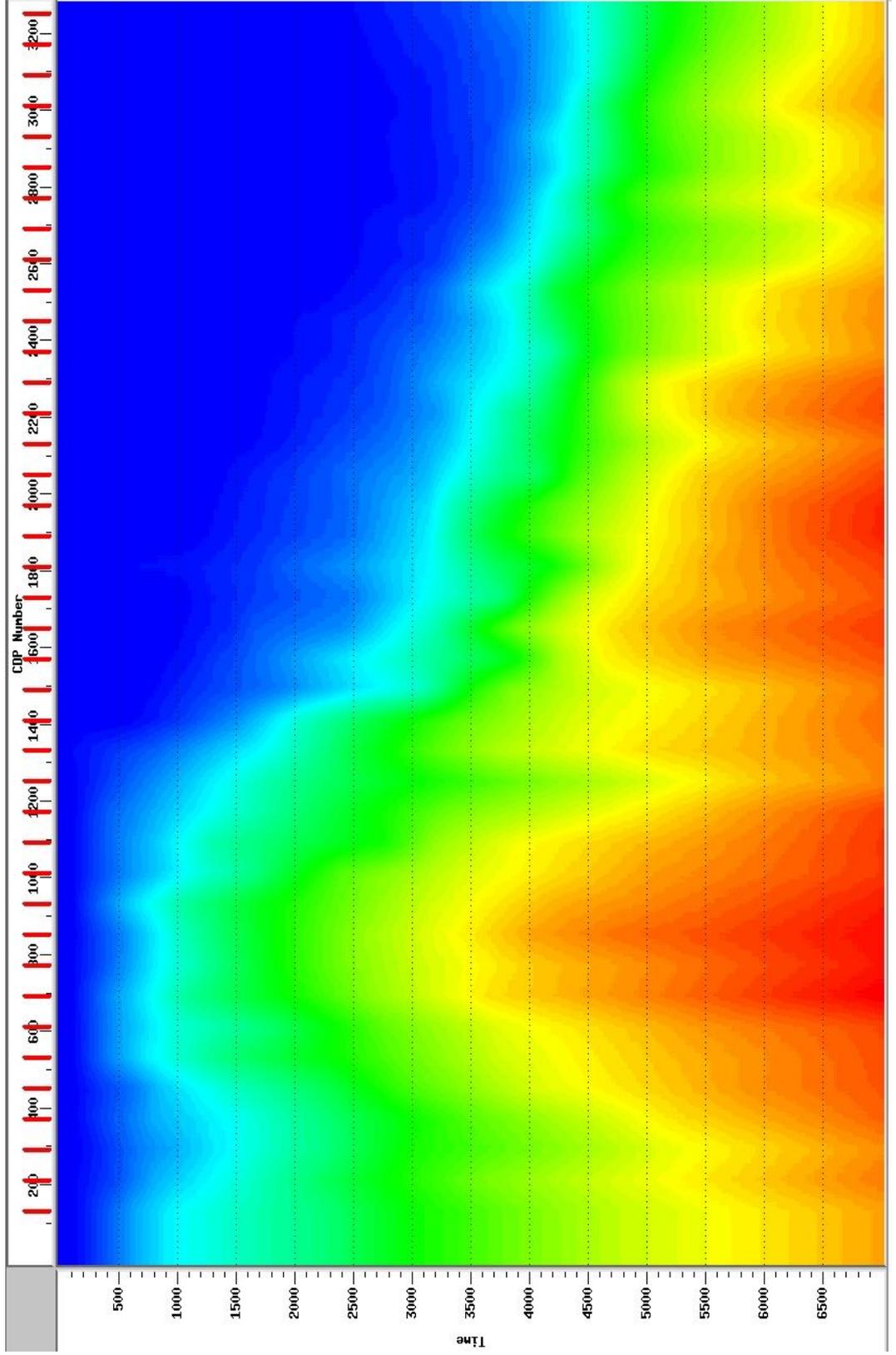
# ANEXO I

## Campo de velocidade utilizado para correção de MMO



## ANEXO II

### Campo de velocidade utilizado para correção de NMO



## ANEXO III

### Rotinas utilizadas

Programa de Computador: Extração da família offset

```
#!/bin/sh

#####extrai um unico offset#####
arq=MMO_gonew.su
numoff=$1
off=-$numoff
ext=off_$numoff.ad

suwind key=off <$arq min=$off max=$off|
sustrip >$ext
#rm -fr del.su
```

Programa de Computador: Extração do periodo da multipla

```
#!/bin/sh

clear
#####
echo "## PROGRAMA PARA REMOVER AMOSTRAS INDESEJAVEIS          *"
echo "## EM UM PAINEL DE TRACOS SISMICOS.                    *"
echo "## AUTOR: PAULO ESPINHEIRA M. MELO CPGG/UFBA 07/04/2003  *"
#####
echo "=====*"
echo "*          ! ! ! A T E N C A O ! ! !                      *"
echo "* QUANDO A FIGURA APARECER NA SUA TELA:                  *"
echo "* CLIQUE COM O BOTAO DO MEIO DO MOUSE P/ VISUALIZAR      *"
echo "* A COORDENADO DO PONTO (ns,nt) E CONFIRME COM "S";       *"
echo "* O nt DO PONTO POSTERIOR TEM QUE SER MAIOR DO QUE       *"
echo "* O nt DO PONTO ANTERIOR (OS PONTOS SAO LIGADOS POR RETAS) *"
echo "* APOS A ESCOLHA DOS PONTOS SAIA DA FIGURA COM "Q";     *"
echo "=====*"
#####
echo "# SHELL modificada por Luiz Alberto de Souza Lima"
echo "# Data - 25/07/2008"

#####
# PROGRAMAS NECESSARIOS PARA QUE A SHELL FUNCIONE
#
# mute.f mute_lpred_2008.f tver_lpred_2008.f
#
#####
#####

#          DADOS DE ENTRADA #####

count=$1
```

```

orig=off_$count.ad # ARQUIVO ENTRADA ACESSO DIRETO
ns=1751 # NUMERO DE AMOSTRAS
nt=1578 # NUMERO DE TRACOS
opcao='s' # LIMPA A AREA SUPERIOR 'S' OU
# INFERIOR 'I' AOS PONTOS MARCADOS
periodo='periodo_'$count'.dat' # NOME DO PERIODO

```

```
#####
```

```

rm -fr pontos.dat mute.ad
#ximage n1=$ns cmap=HSV'5' mpicks=pontos.dat perc=88<$orig&
ximage n1=$ns mpicks=pontos.dat perc=98<$orig

```

```

gfortran -o mute.exe mute.f
cat>dados<<fim
$orig
$ns
$nt
$opcao
fim
./mute.exe dados

```

```

cat>info_mute<<fim
$nt
$ns
fim
gfortran -o mute_lpred.exe mute_lpred_2008.f
./mute_lpred.exe info_mute

```

```

cat>info_ver<<fim
$nt
$ns
$orig
fim

```

```

gfortran -o tver.exe tver_lpred_2008.f
./tver.exe info_ver
mv periodo.dat $periodo

```

```

rm -rf dados info_mute mute.ad info_ver pontos.dat
rm -rf mute.exe mute_lpred.exe tver.exe

```

```
ximage n1=$ns <vermute.ad perc=90 &
```

Programa de Computador: Filtragem utilizando DPM

```
#!/bin/sh
```

```
cont=125
```

```
while [ $cont -le 3125 ]
do
```

```
cont='expr $cont + 25'
```

```
off=off_$cont.a
per=per_$cont.dat
dec=$cont
```

```
tmcma_lvar_decoff.exe $off $dec $per
```

done