

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

**ATENUAÇÃO DE MÚLTIPLAS EM DADOS SÍSMICOS
MARINHOS DA BACIA DE PELOTAS**

POR:
STEPHANIE DOS SANTOS SALLES

NITERÓI – RIO DE JANEIRO
JUNHO – 2011

STEPHANIE DOS SANTOS SALLES

**ATENUAÇÃO DE MÚLTIPLAS EM DADOS SÍSMICOS
MARINHOS DA BACIA DE PELOTAS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
Curso de Graduação em Geofísica do Instituto de
Geociências da Universidade Federal Fluminense
como requisito parcial para obtenção dos créditos
necessários no grau de Bacharel em Geofísica.

ORIENTADOR: Marco Antonio Cetale Santos

CO-ORIENTADOR: José Fernando Gamboa Peñaloza

NITERÓI – RIO DE JANEIRO

JUNHO – 2011

S163

Salles, Stephanie dos Santos

Atenuação de múltiplas em dados sísmicos marinhos da
Bacia de Pelotas / Stephanie dos Santos Salles. – Niterói :
[s.n.], 2011.

102 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em
Geofísica) – Universidade Federal Fluminense, 2011.

1. Geofísica. 2. Múltiplas. 3. Método de reflexão sísmica.
4. Bacia de Pelotas (RS). I. Título.

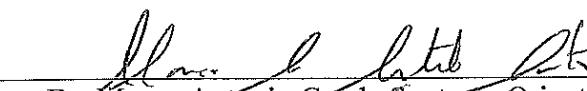
CDD 550

**ATENUAÇÃO DE MÚLTIPLAS EM DADOS SÍSMICOS
MARINHOS DA BACIA DE PELOTAS**

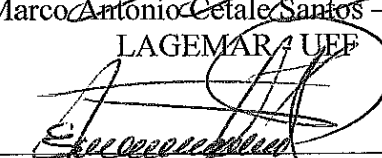
Por: Stephanie dos Santos Salles

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DOS CRÉDITOS NECESSÁRIOS NO GRAU DE BACHAREL EM GEOFÍSICA.

Comissão Examinadora:



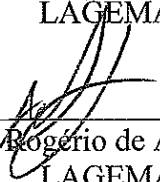
Dr. Marco Antonio Cetale Santos – Orientador
LAGEMAR / UFF



Dr. José Fernando Gamboa Peñaloza – Co-orientador
HALLIBURTON



Dr. Cleverson Guizan Silva
LAGEMAR - UFF



Dr. Rogério de Araújo Santos
LAGEMAR - UFF

Niterói, 29 de Junho de 2011.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus. Aos meus pais, Jefferson Salles e Maria Aparecida Salles, e a minha tia Jussára Salles por terem me financiado durante todos estes anos de estudo dentro de uma universidade federal. Esta obra não poderia estar concluída, sem os seus esforços, carinho e incentivo, que precedem o período em que eu estive na Universidade Federal Fluminense.

Agradeço aos meus irmãos, Nathalia Salles e Igor Salles. Ao Gustavo Vasconcellos, e pais (Genesio Vasconcellos e Regina Vasconcellos) pelo incentivo e apoio desde o início do curso de Geofísica.

Sou grata por todos os professores que pude ter contato durante os semestres em que completei o meu curso. Agradeço, em especial, aos doutores Marco Antonio Cetale, José Fernando Gamboa Peñaloza, Cleverson Guizan Silva e Rogério de Araújo Santos por serem membros da minha banca examinadora.

Un agradecimiento especial a José Fernando Gamboa Peñaloza geofísico por los jalones de oreja, por la paciencia y el estímulo durante la preparación de esta tesis en Halliburton.

À Halliburton por me permitir utilizar o *software ProMAX/SeisSpace[®]* e por prover o aparato maquinário necessário para realizar o processamento dos dados sísmicos dentro da empresa durante o meu período de estágio. Ao Leo Nascimento pela ajuda e sugestões na monografia. Ao amigo Raphael Mello pelo suporte técnico com o equipamento e *software*.

Ao colega Frank Pereira por me mostrar algumas das seções sísmicas da Bacia de Pelotas e também por dar entrada no pedido das linhas sísmicas no BDEP, me incentivando a construir o presente trabalho.

Aos amigos Cezira Lacerda (*in memoriam*) e Carlos Franco pelas conversas, dicas e ajudas prestadas na Biblioteca do Instituto de Geociências. Ao Leonardo Carvalho de Oliveira pela prestatividade no CPD do Instituto.

Demonstro também o meu sincero agradecimento ao Dr. Sérgio Possato que me permitiu, num primeiro momento da minha monografia, a utilização do *software* Focus e equipamento necessários para o processamento das linhas na empresa Stratageo Soluções Tecnológicas. Ao Sr. Luiz Carlos Toffoli que se dispôs a me ajudar na procura por textos científicos relacionados a geologia da Bacia de Pelotas. Aos amigos Jorge Luiz Marinho, Fábio Novaes, Leandro Cleto, Paulo Conceição e Max Montero pela ajuda em todos os momentos. E em especial, à Natacha Rocha, verdadeira amiga, por se

dispor a passar finais de semana dentro da Stratageo me ajudando com a utilização do *software*, e também na escolha dos melhores parâmetros para cada etapa do fluxo de processamento da linha teste.

Acredito sinceramente que todas as pessoas aqui citadas me encorajaram de alguma forma, e a elas fico eternamente grata.

“L’essentiel est invisible pour les yeux.”

Le secret de le renard en Le Petit Prince
de Antoine de Saint-Exupéry.

RESUMO

A Geofísica é a ciência que busca mensurar as propriedades físicas da Terra com a finalidade de investigá-la em seu interior. Um dos métodos mais utilizados para tal investigação é o sísmico. Suas aplicações são diversas, destacando-se a procura por estruturas geológicas que possam conter hidrocarbonetos.

Comumente, subdividi-se o método sísmico em três etapas: aquisição, processamento e interpretação. Durante a interpretação de algumas linhas sísmicas, nota-se muitas vezes incoerências geológicas devido ao processamento, que pode ser ocasionado por diversos fatores, dentre eles a falta de conhecimento geológico da área e a utilização de *softwares* pouco desenvolvidos.

O destaque deste trabalho será dado às múltiplas, uma vez que estas afetam diretamente a qualidade das seções sísmicas tornando complexa a etapa de interpretação.

As múltiplas representam a repetibilidade da trajetória percorrida pelas ondas sísmicas podendo sobrepor-se as informações de interesse (estruturas geológicas). Em geral, as múltiplas não são totalmente eliminadas do dado sísmico. Porém, existem diversos métodos para suas atenuações tais como as técnicas de filtragem Radon e *SRME* (*Surface-Related Multiple Elimination*). Cada uma com suas vantagens e desvantagens.

Neste trabalho, estabelece-se um fluxo de processamento sísmico capaz de mitigar os efeitos das reflexões múltiplas em dados sísmicos marinhos da Bacia de Pelotas, possibilitando a obtenção de uma seção sísmica mais próxima da realidade geológica em subsuperfície da área em estudo.

O *software ProMAX/SeisSpace*[®], aplicativo de processamento sísmico pertencente a Halliburton, foi utilizado para a execução deste trabalho.

Palavras-chave: Bacia de Pelotas, Processamento Sísmico, Múltiplas, Técnica *SRME*, Filtragem Radon.

ABSTRACT

Geophysics is a science that aims on the quantification of physical properties of the Earth, making possible the investigation of its subsurface. One of the most used methods to such investigation is the seismic. Its applications are endless, being the search for geological structures that may contain hydrocarbons that is the most outstanding.

Usually, the seismic method is divided in three steps: acquisition, processing and interpretation. Sometimes during the interpretation of some seismic sections, it is possible to note geological ambiguities due to the processing. Therefore, it may be generated by some factors, such as, the lack of geological knowledge of the area or due to the application of less developed softwares.

Greater importance is given to the multiples on this work, since those can directly affect the quality of the seismic sections, making very complex the interpretation step.

Multiples represent the repeatability of the trajectory traveled by the seismic waves, which can overlap the interest information (as geological structures). Multiples unfortunately cannot be totally eliminated from seismic data. On the other hand, there are lots of methods to their attenuation. Between these techniques of multiple suppression, it can be mentioned: the Radon filter and the SRME (Surface-Related Multiple Elimination) technique. Each has its advantages and disadvantages.

On this work, it is possible to determine a seismic processing workflow able to minimize the effects of the multiples reflections on the marine seismic data of the Pelotas Basin. And therefore, obtain a seismic section as similar as possible to the geological reality of the subsurface of the study area.

The *ProMAX/SeisSpace*[®] is interactive seismic data processing software. It belongs to Halliburton and it was used on the development of this work.

Keywords: Pelotas Basin, Seismic Processing, Multiples, SRME Technique, Radon Filter.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 Aquisição sísmica. Fonte: Ayres, 2007.....	18
Figura 1.2 Seção sísmica de referência da linha 0231-1345.	20
Figura 1.3 Fluxo de processamento básico.....	21
Figura 1.4 Parte da seção sísmica de referência da linha 0231-1345 disponibilizada pela ANP.	22
Figura 1.5 Mapa de localização da Bacia de Pelotas. Fonte: Rosa <i>et al.</i> , 2006.	23
Figura 1.6 Posicionamento das linhas sísmicas da Bacia de Pelotas solicitadas à ANP. Em destaque a linha 0231-1345.....	24
Figura 2.1 Modelo de formação dos SDRs e sua ocorrência simétrica nas margens sul-americanas e africanas. Fonte: Bueno, 2004.	25
Figura 2.2 Desenvolvimento das zonas de charneira na Bacia de Pelotas. Fonte: Corrêa, 2004.	26
Figura 2.3 Seção sísmica na Bacia de Pelotas, mostrando feições interpretadas como SDRs relacionadas à formação da proto-crosta oceânica. Notar também os estratovulcões. Fonte: Mohriak, 2003.	27
Figura 2.4 Sequência das etapas evolutivas de uma margem continental Atlântica. A Bacia de Pelotas se encontra no estado mais avançado (D). Fonte: Corrêa, 2004.	27
Figura 2.5 Perfil geológico da Bacia de Pelotas, ilustrando a posição das principais anomalias magnéticas. Fonte: Rosa, 2009.....	28
Figura 2.6 Simbologia litológica utilizada na construção de cartas estratigráficas brasileiras. Fonte: Milani <i>et al.</i> , 2007.....	28
Figura 2.7 Carta estratigráfica da Bacia de Pelotas. Fonte: Bueno <i>et al.</i> , 2007.	29
Figura 3.1 Configuração da aquisição da equipe 0231.....	33
Figura 3.2 Janela principal do módulo <i>2D Marine Geometry Spreadsheet</i>	35
Figura 3.3 Tabela <i>Setup</i>	36
Figura 3.4 Tabela <i>Sources</i>	37
Figura 3.5 Tabela <i>Patterns</i>	37
Figura 3.6 Tabela <i>Bin</i>	38
Figura 3.7 Afastamentos mínimo e máximo dos arranjos de receptores e das células...	39
Figura 3.8 A projeção do CDP em um refletor inclinado não coincide com o CMP em subsuperfície.....	39
Figura 3.9 Fluxos da etapa de geometria.	40

Figura 3.10 Gráfico com o grau de cobertura de cada <i>CDP</i> da linha 0231-1345.	41
Figura 3.11 Arranjo da linha 0231-1345.	41
Figura 3.12 Gráficos dos canais e afastamentos exemplificam a geometria carregada no header de cada traço do <i>FFID</i> 480 da linha 0231-1345, assim como, a função $t =$ $offset / vel H_2O$	42
Figura 3.13 Diferentes tipos de famílias de traço comum.	43
Figura 3.14 Filtro corta-alta.	44
Figura 3.15 Filtro corta-baixa.	44
Figura 3.16 Filtro passa-banda.	44
Figura 3.17 Filtro corta-banda.	44
Figura 3.18 Filtro <i>notch</i> . Modificado de: Gadallah & Fisher (2009).	45
Figura 3.19 Efeito da edição automática no <i>FFID</i> 208 da linha 0231-1345.	47
Figura 3.20 Fluxo da edição automática na linha 0231-1345.	47
Figura 3.21 Aplicação da função <i>wb_time</i> no <i>brute stack</i> da linha 0231-1345.	48
Figura 3.22 Fatores que afetam o sinal sísmico. Fonte: Santos, 2010.	49
Figura 3.23 Correção de amplitude por divergência esférica.	50
Figura 3.24 Definição de filtro inverso. Deconvolução <i>spike</i>	52
Figura 3.25 Objetivo da deconvolução. Fonte: Gadallah & Fisher, 2009.	52
Figura 3.26 Janelas de deconvolução.	54
Figura 3.27 Fluxo da deconvolução.	54
Figura 3.28 Etapa de deconvolução na linha 0231-1345.	55
Figura 3.29 Espectro de frequência no <i>FFID</i> 2660 após a deconvolução.	55
Figura 4.1 Diagramas de diferentes trajetórias de raios sísmicos associados aos vários tipos de múltiplas e primárias. Fonte: Moldoveanu-Constantinescu, 2006.	57
Figura 4.2 Análise de velocidade das múltiplas.	59
Figura 4.3 Fluxo do processo <i>Surface-Related Multiple Elimination (SRME)</i>	60
Figura 4.4 Aplicação da técnica <i>SRME</i>	61
Figura 4.5 O sobretempo das múltiplas em relação aos eventos primários no domínio τ - p . Algumas múltiplas são apontadas por setas brancas.	63
Figura 4.6 Aplicação do filtro construído devido ao sobretempo das múltiplas em relação aos eventos primários.	63
Figura 4.7 Fluxo de construção e aplicação do filtro no domínio τ - p	64
Figura 4.8 Filtragem Radon na seção sísmica 0231-1345.	64
Figura 4.9 Resultado da técnica <i>SRME</i> associada a filtragem Radon.	65
Figura 5.1 Família de <i>CMP</i>	66

Figura 5.2 Percurso de um raio da família <i>CMP</i>	67
Figura 5.3 Análise de velocidade preliminar no <i>CDP</i> 365 da linha 0231-1345.....	68
Figura 5.4 Aplicação da correção <i>NMO</i> . Fonte: Maciel, 2007.....	68
Figura 5.5 Correções <i>NMO</i> . <i>CDP</i> original (sem correção), <i>CDP</i> sobrecorrigido, <i>CDP</i> com velocidade ideal para a correção <i>NMO</i> e <i>CDP</i> subcorrigido. Fonte: Novaes, 2007.	69
Figura 5.6 Um sinal (a) de período T com estiramento após a correção <i>NMO</i> (b) e fica com o período $T_0 > T$. Fonte: Yilmaz, 2008.....	69
Figura 5.7 Espectro de velocidade obtido a partir da coerência das amplitudes. Fonte: Yilmaz, 2008.	71
Figura 5.8 Espectro de velocidade (semblance), <i>CDP</i> com correção <i>NMO</i> , o <i>supergather</i> e os empilhamentos de velocidade constante (<i>CVS</i>) do <i>CDP</i> 1565 da linha 0231-1345.....	72
Figura 5.9 Campo de velocidade obtido a partir da interpolação dos resultados da análise de velocidade preliminar (<i>vel brute</i>).....	73
Figura 5.10 Diagrama do processo de empilhamento. Fonte: Ayres, 2007.....	74
Figura 5.11 Seção bruta adquirida após a análise do campo de velocidade preliminar.	74
Figura 5.12 Migração de um refletor mergulhante. Fonte: Gamboa, 2007.	75
Figura 5.13 Fluxo da etapa de migração Kirchhoff.....	77
Figura 6.1 Proposta de fluxograma básico para o processamento sísmico de linhas sísmicas da Bacia de Pelotas.	79
Figura 6.2 Análise de velocidade preliminar do <i>CDP</i> 365.....	80
Figura 6.3 <i>Brute stack</i> antes e depois do silenciamento.	81
Figura 6.4 Correção de Amplitude.	81
Figura 6.5 Deconvolução impulsiva.....	82
Figura 6.6 Modificação do espectro de frequência após a deconvolução no <i>FFID</i> 82. .	82
Figura 6.7 Campo de velocidade após a etapa de deconvolução (<i>vel decon</i>).....	83
Figura 6.8 Campo de velocidade das múltiplas (<i>vel decon multiple</i>).....	83
Figura 6.9 Fluxo para criar a seção <i>Near-trace</i>	84
Figura 6.10 Seção <i>Near-trace</i> e o fundo marinho.	84
Figura 6.11 Resultado da técnica <i>SRME</i> após a deconvolução. Em vermelho, a região que a múltipla foi atenuada.....	85
Figura 6.12 Campo de velocidade após a técnica <i>SRME</i> (<i>vel SRME</i>).....	85
Figura 6.13 Resultado da filtragem Radon associada a técnica <i>SRME</i> . Em vermelho, a região que as múltiplas foram atenuadas.	86

Figura 6.14 Parâmetros para a suavização do campo de velocidade.....	86
Figura 6.15 Campo de velocidade antes e depois da suavização.	87
Figura 6.16 <i>Stack</i> final migrado.	88
Figura 6.17 Seção de referência da linha 0231-1345.	88

LISTA DE SÍMBOLOS

- * – símbolo que representa a operação de deconvolução.
- α_{real} – mergulho do refletor após a migração.
- α_{emp} – mergulho do refletor na seção empilhada.
- $\delta(t)$ – função impulso ou delta de Dirac.
- $\eta(t)$ – função ruído no domínio do tempo.
- τ – tempo de interseção.
- $\phi(\omega)$ – função fase no domínio da frequência.
- ω – frequência.
- ω_c – frequência de corte.
- $a_i(t)$ – valor da amplitude do traço i no tempo t .
- a_{ij} – valor da amplitude no i -ésimo traço no tempo $t(j)$.
- A – amplitude de uma onda sísmica.
- $A(t)$ – função amplitude no domínio do tempo.
- $A(\omega)$ – função amplitude no domínio da frequência.
- c – camada.
- $C(t)$ – função de correção variável no tempo.
- $CDP_{prim PT}$ – equivalente a estação do primeiro ponto de tiro.
- ΔCDP – distância entre os $CDPs$.
- $f(t)$ – função filtro no domínio do tempo.
- $F(\omega)$ – função filtro no domínio da frequência.
- G_x – geofone no *offset* x .
- I – intensidade ou densidade de energia.
- K – número de traços corrigidos com *NMO*.
- L – número de amostras (temporal) dentro da janela.
- $M^{(n)}(\omega, x_r, x_s)$ – função que contém as múltiplas preditas para a iteração n .
- n – número de iterações.
- N – número de traços a empilhar.
- p – parâmetro do raio ou vagarosidade (inverso da velocidade).
- $P(\omega, x_r, x_s)$ – dado sísmico real (com múltiplas).
- $P_0^{(n)}(\omega, x_r, x_s)$ – estimativa do dado primário após n iterações.
- r – raio de uma frente de onda.
- $r(t)$ – função refletividade ou resposta impulsional da Terra.

$s(t)$ – sinal contínuo no domínio do tempo registrado por um hidrofone.

$\bar{s}(t)$ – sinal filtrado no domínio do tempo.

$S(\omega)$ – sinal $s(t)$ transformado para o domínio da frequência.

$\bar{S}(\omega)$ – sinal $\bar{s}(t)$ transformado para o domínio da frequência.

t – tempo-duplo (ida e volta) de percurso de uma onda.

t_0 – tempo-duplo de trânsito para um afastamento nulo.

t_p – tempo de percurso de uma onda.

$t(x)$ – tempo-duplo de percurso de uma onda para um afastamento x .

Δt_{nmo} – tempo utilizado na correção *NMO* (*normal move-out*).

T – período da onda.

v – velocidade de um meio.

v_c – velocidade *RMS* da base da camada c .

v_{c-1} – velocidade *RMS* do topo da camada c .

v_{int} – velocidade intervalar.

v_{nmo} – velocidade *NMO*.

v_{rms} – velocidade *RMS* (*root mean square*).

v_{stack} – velocidade de empilhamento.

$w(t)$ – função *wavelet* ou pulso sísmico gerado por uma fonte sísmica.

x – distância entre fonte e receptor (afastamento - *offset*).

x_{max} – afastamento máximo.

x_r – posição do receptor.

x_s – posição da fonte.

$Y(\omega)$ – produto obtido entre a função amplitude $A(\omega)$ e o filtro corta-baixa $F(\omega)$.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	9
LISTA DE SÍMBOLOS	13
CAPÍTULO 1 Introdução	18
1.1 Objetivos.....	19
1.2 Metodologia e Materiais Utilizados	21
1.3 Área de Estudo	22
CAPÍTULO 2 Geologia da Bacia de Pelotas.....	25
2.1 Evolução Tectono-Sedimentar	25
2.2 Arcabouço Estratigráfico.....	28
2.2.1 Supersequência Paleozoica – Mesozoica	30
2.2.2 Supersequência Pré-Rifte	30
2.2.3 Supersequência Rifte	30
2.2.4 Supersequência Pós-Rifte	31
2.2.5 Supersequência Drifte.....	31
CAPÍTULO 3 Etapas Iniciais do Processamento Sísmico	33
3.1 Aquisição Sísmica	33
3.2 Conversão do Formato	34
3.3 Geometria	34
3.3.1 Tabela <i>Setup</i>	36
3.3.2 Tabela <i>Sources</i>	36
3.3.3 Tabela <i>Patterns</i>	37
3.3.4 Tabela <i>Bin</i>	37
3.3.5 Controle de Qualidade (QC) da Geometria	39
3.4 Organização do Dado Sísmico	42

3.5 Filtragem de Frequência	43
3.6 Edição	45
3.7 Silenciamento (<i>Muting</i>)	47
3.8 Correção de Amplitude.....	48
3.9 Deconvolução	50
3.9.1 O Modelo Convolutacional	50
3.9.2 Deconvolução do Pulso	51
3.9.2.1 Construção das janelas de deconvolução.....	53
3.9.2.2 Aplicação da deconvolução do pulso no dado.....	54
CAPÍTULO 4 Métodos de Atenuação de Múltiplas.....	56
4.1 Ruídos.....	56
4.1.1 Múltiplas.....	56
4.2 Técnicas de Atenuação de Múltiplas	57
4.2.1 Filtragem <i>SRME</i>	58
4.2.2 Filtragem Radon	61
CAPÍTULO 5 Etapas Finais do Processamento Sísmico	66
5.1 Correção <i>Normal Moveout</i>	66
5.2 Análise de velocidade.....	70
5.2.1 Espectro de velocidade (<i>Semblance</i>)	70
5.3 Empilhamento.....	73
5.4 Migração.....	75
5.4.1 Migração Kirchhoff	77
5.5 Filtragem Final	77
5.5.1 <i>AGC</i>	78
CAPÍTULO 6 Resultados Obtidos	79
6.1 Fluxo Básico de Processamento	79
6.2 Resultados Preliminares	80
6.3 Resultados das Técnicas de Supressão das Múltiplas	84

CAPÍTULO 7 Conclusões	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
ANEXO I Fluxos de processamento utilizados no SeisSpace®	94

CAPÍTULO 1 Introdução

Destacando-se como um método geofísico de investigação científica, a sísmica possui extrema importância no ciclo da exploração e produção do petróleo. Sua aplicação é diversa: mapeamento regional, mapeamento de prospecção, delineamento do reservatório, modelagem sísmica, detecção indireta de hidrocarbonetos e monitoramento da produção de petróleo.

Tradicionalmente, a exploração sísmica envolve três etapas distintas: aquisição de dados, processamento dos dados e interpretação. Fontes artificiais iniciam a aquisição sísmica através da geração de ondas elásticas que se propagam por subsuperfície, sendo refletidas e refratadas nas interfaces que separam rochas de diferentes constituições petrofísicas (refletores sísmicos), e retornam à superfície, onde são captadas por sofisticados instrumentos de registro (Figura 1.1) (Thomas, 2001).

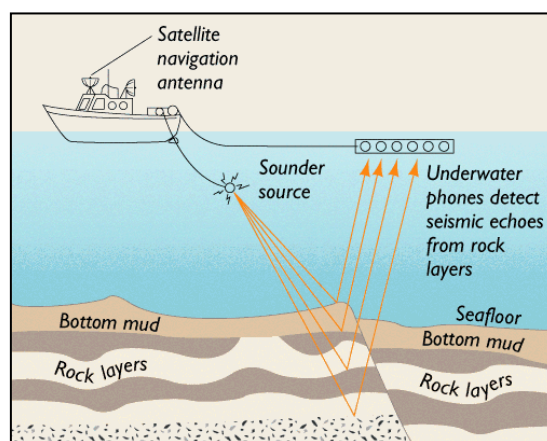


Figura 1.1 Aquisição sísmica. Fonte: Ayres, 2007.

O processamento sísmico tem o objetivo de aprimorar os dados adquiridos em campo. Durante suas diversas etapas, atenuam-se ao máximo possível os ruídos, corrige-se a amplitude do sinal, migram-se os refletores com mergulhos para a sua posição verdadeira, etc. (Silva, 2004). Todas as etapas básicas de processamento desde a conversão do formato até a migração são detalhadas nos Capítulos 3, 4 e 5.

Dentre outros fatores que distorcem a resposta do sinal sísmico estão as reflexões múltiplas. Elas interferem nos sinais sísmicos derivados de eventos de interesse primários, tornando a seção sísmica mais complexa. As múltiplas são eventos secundários que não são totalmente eliminadas do dado sísmico sem que se comprometa o conteúdo de amplitude e frequência do dado. Porém, existem diversos métodos que

objetivam suas atenuações minimizando suas distorções. Alguns destes métodos estão expostos no Capítulo 4.

As etapas finais de um processamento sísmico são descritas no Capítulo 5. São pormenorizadas as etapas de correção *NMO*, análise de velocidade, migração do dado sísmico e a filtragem final.

No Capítulo 6, os resultados do processamento sísmico são apresentados. Além disso, mostra-se um fluxo de processamento que busca atenuar o máximo de ruídos associados às múltiplas.

As conclusões retiradas deste trabalho estão dispostas no Capítulo 7, assim como algumas propostas para trabalhos futuros.

1.1 Objetivos

As seções sísmicas empilhadas, denominadas *post-stack*, pertencentes ao banco de dados do Projeto UFF/REPSOL na Universidade Federal Fluminense foram processadas numa época em que não se dispunha de *softwares* e de tecnologia computacional modernos, dificultando a execução de técnicas importantes para a atenuação de ruídos coerentes ou incoerentes. Neste sentido, algumas metas deste trabalho são assim descritos:

- I) Reprocessar uma linha antiga da Bacia de Pelotas buscando-se atenuar o máximo de ruídos (múltiplas) gerando uma seção sísmica com maior razão sinal/ruído;
- II) Definir melhor os refletores sísmicos obtendo um dado *post-stack* representativo da geologia desta bacia;
- III) Comparar o dado *post-stack* processado com a seção *post-stack* que o LAGEMAR¹ já possuía em seu banco de dados (Figura 1.2).

¹ LAGEMAR – Laboratório de Geologia Marinha

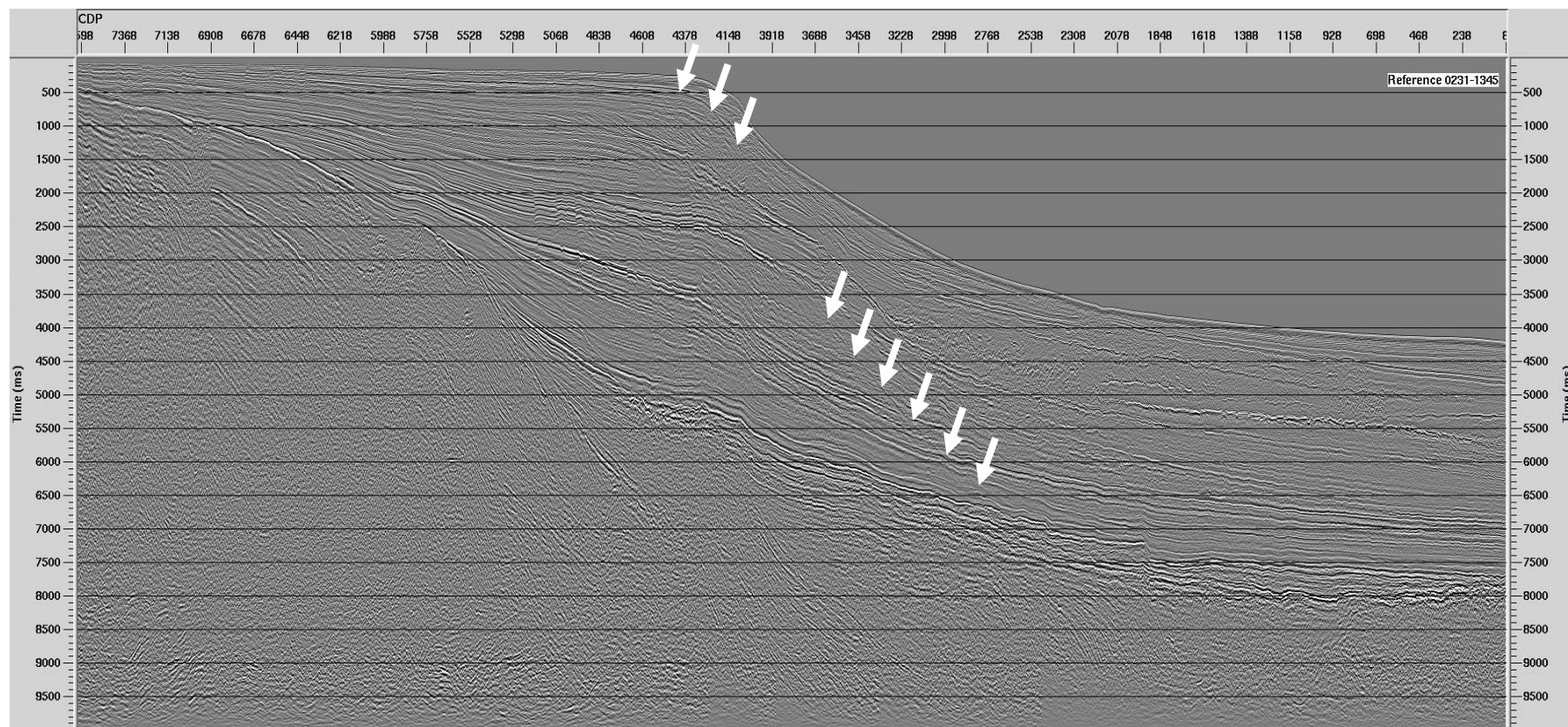


Figura 1.2 Seção sísmica de referência da linha 0231-1345.

1.2 Metodologia e Materiais Utilizados

O LAGEMAR deu inicialmente a entrada no pedido das linhas sísmicas no Banco de Dados de Exploração e Produção (BDEP), entidade pertencente a Agência Nacional do Petróleo (ANP) através do Projeto UFF/REPSOL.

Os dados sísmicos foram disponibilizados numa mídia reconhecida como cartucho 3592, como arquivos *Seg-D*. Além disso, um *CD* com as coordenadas (UKOOA), relatórios do observador e *TOC-files* de cada linha sísmica foram também disponibilizados junto com o cartucho.

Com os arquivos *Seg-D* das linhas, iniciou-se a etapa de processamento utilizando o *software ProMAX/SeisSpace*[®] pertencente a Halliburton. A metodologia empregada no processamento deste trabalho é constituída por diversos fluxos que representam etapas básicas do processamento sísmico (Figura 1.3).

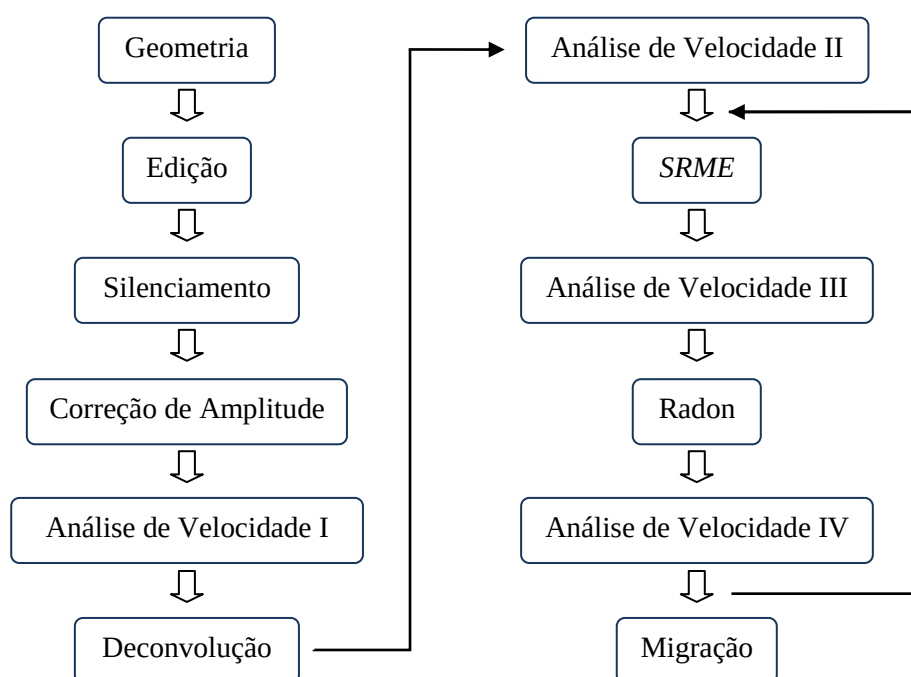


Figura 1.3 Fluxo de processamento básico.

Após a execução do fluxo de processamento necessário, inicia-se conforme ilustrado no Capítulo 6 uma etapa comparativa entre o resultado obtido e uma seção de referência. A Figura 1.2 representa a seção sísmica *post-stack* da linha 0231-1345 pertencente ao banco de dados da UFF² que foi reprocessada e que serviu de referência para este

² UFF – Universidade Federal Fluminense

trabalho. Contudo, a ANP disponibilizou somente uma parte da linha 0231-1345 *pre-stack* para o processamento (Figura 1.4).

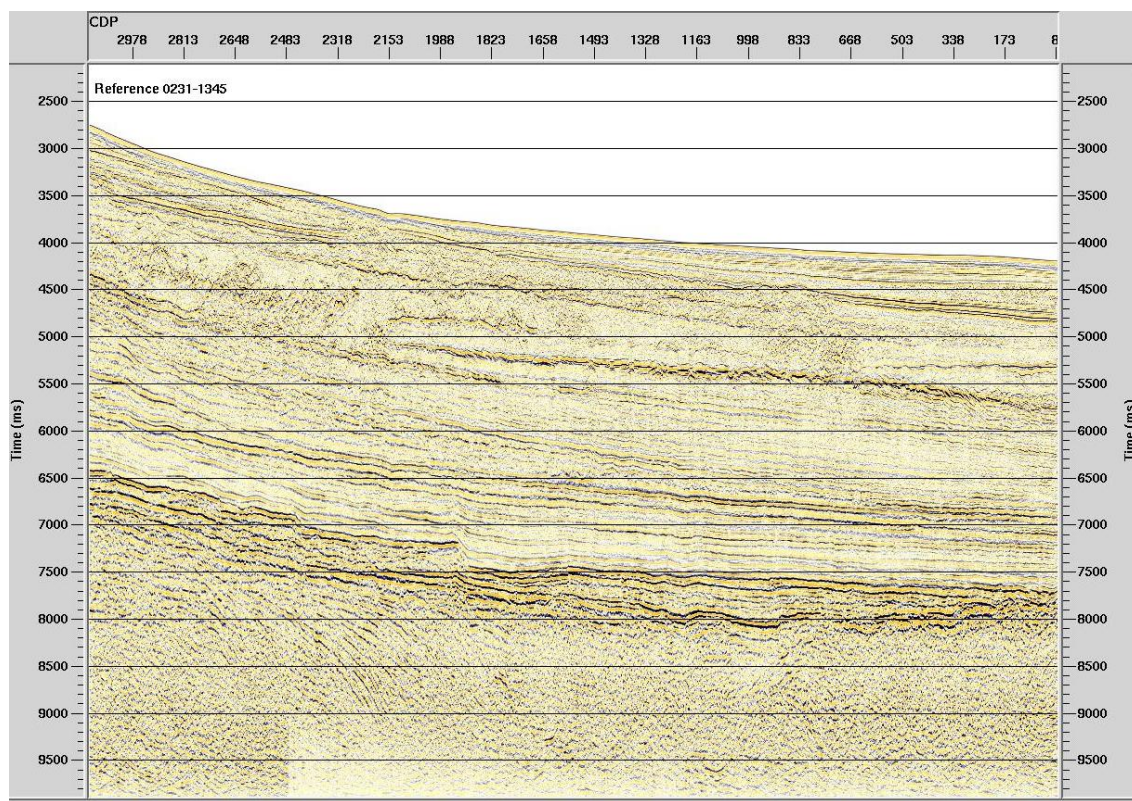


Figura 1.4 Parte da seção sísmica de referência da linha 0231-1345 disponibilizada pela ANP.

1.3 Área de Estudo

A área de estudo está localizada na Bacia de Pelotas, limitada ao Norte e Sul pelos paralelos 28°S e 34°S , e encerrada a Oeste e Leste pelos meridianos 54°W e 47°W , como mostra a Figura 1.5. Ao norte, a bacia é limitada geologicamente pela Plataforma de Florianópolis e a sul pelo Alto de Polônio, já em águas uruguaias.

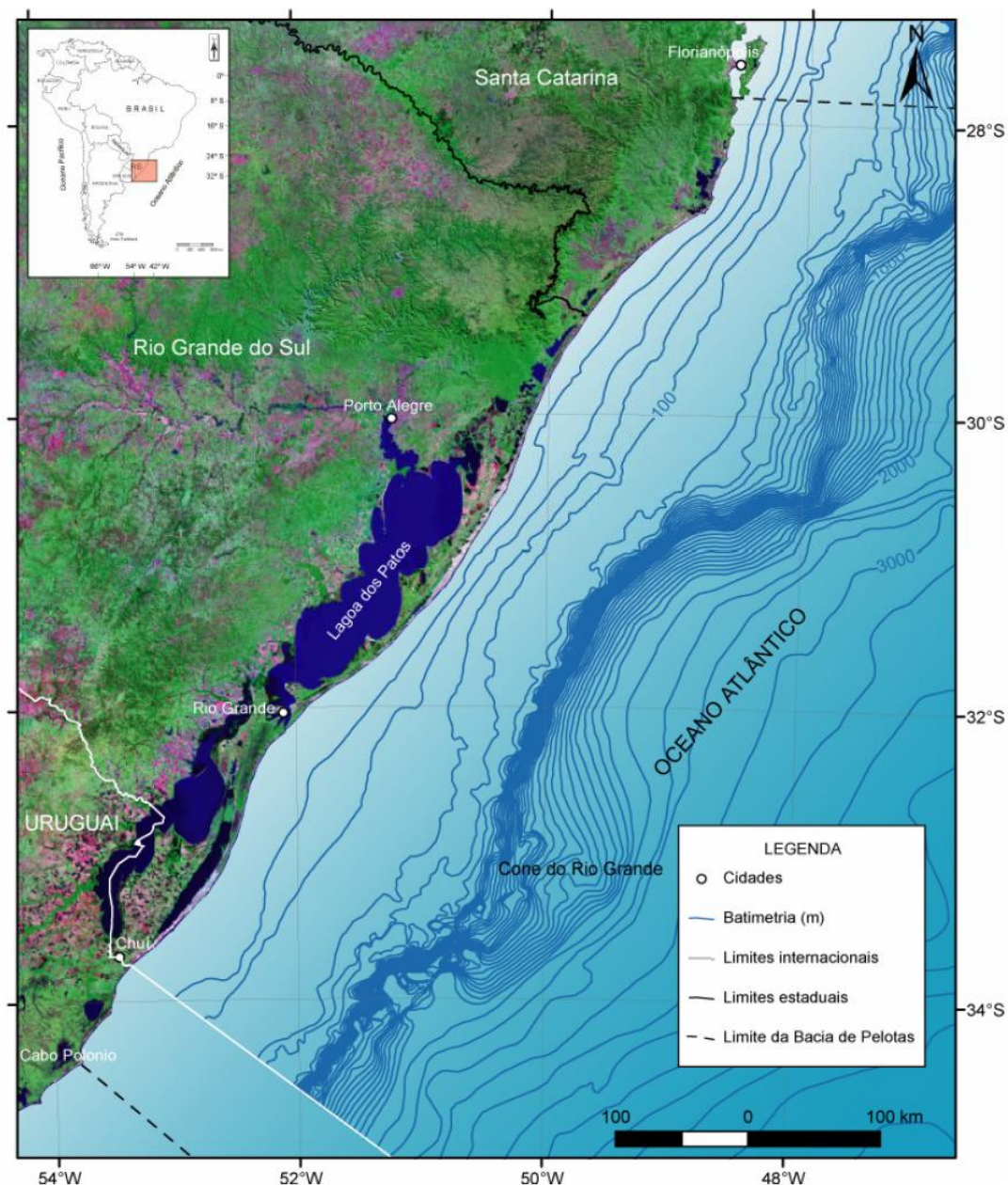


Figura 1.5 Mapa de localização da Bacia de Pelotas. Fonte: Rosa *et al.*, 2006.

Os levantamentos sísmicos nesta área foram realizados por diversas equipes, fornecendo dados marinhos ao longo de perfis sísmicos bidimensionais. O pedido feito a ANP abrangia oito linhas sísmicas 2D. Estes oito perfis sísmicos estão dispostos perpendicularmente a linha de costa ao norte do Cone do Rio Grande. Eles se estendem da plataforma ao talude continental. Contudo, para a execução deste trabalho somente uma linha foi escolhida. A linha escolhida, 0231-1345, encontra-se em destaque na Figura 1.6, em cor vermelha.

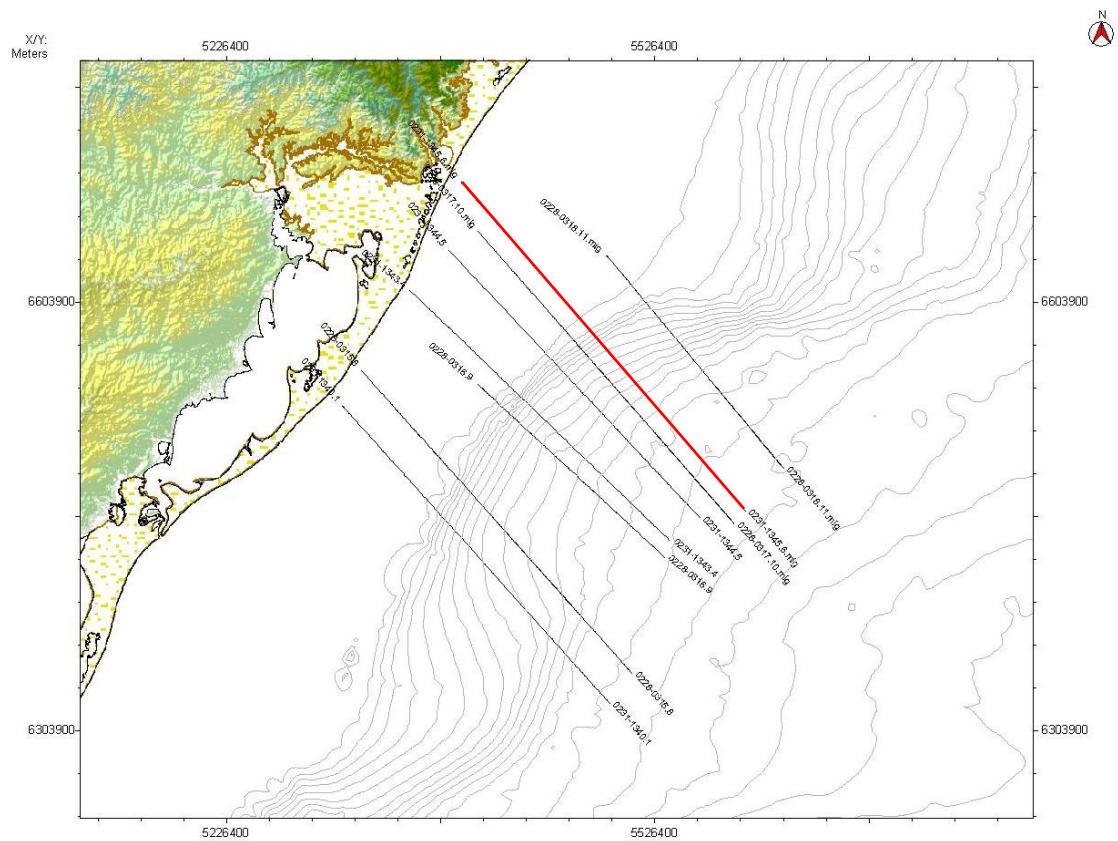


Figura 1.6 Posicionamento das linhas sísmicas da Bacia de Pelotas solicitadas à ANP. Em destaque a linha 0231-1345.

CAPÍTULO 2 Geologia da Bacia de Pelotas

2.1 Evolução Tectono-Sedimentar

Durante o Neojurássico, iniciou-se um processo de estiramento litosférico gradativo que originou os continentes africano e sul-americano com duração de 10 a 20 Ma. Nesta fase, rochas crustais e supracrustais de idade Paleozoica e Pré-Cambriana foram fragmentadas (Fontana, 1990).

Segundo Fontana (1990), rochas basálticas moderadamente alcalinas datadas de 120 Ma extrudiram sobre a crosta continental. Estas rochas seriam formadoras da proto-crosta oceânica (Oreiro, 2008). Nas seções sísmicas desta bacia, essas rochas se mostram como “... refletores superpostos, acunhados, que mergulham em direção ao mar sem nenhuma terminação basal identificável e localmente convexos para a superfície.” denominados de *seaward dipping reflectors* (SDRs). Esta cunha de rochas vulcânicas também é responsável por uma forte anomalia magnética, mais antiga e mais próxima da costa sul-americana (Fontana, 1996). Refletores de características similares são encontrados na costa Africana (Figura 2.1). Eles se estendem desde a bacia de Campos, onde a sua visualização nas seções sísmicas é prejudicada pelas províncias de domos e diápiros salíferos, até a bacia de São Jorge, na Argentina (Oreiro, 2008).

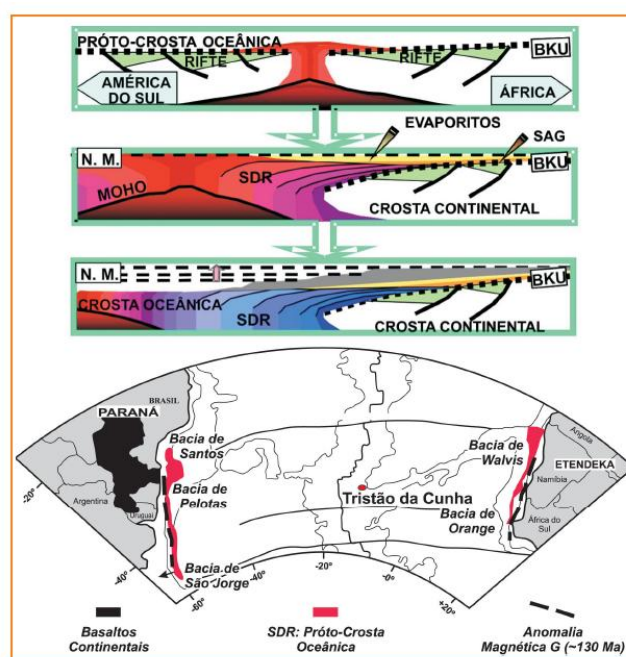


Figura 2.1 Modelo de formação dos SDRs e sua ocorrência simétrica nas margens sul-americanas e africanas. Fonte: Bueno, 2004.

Após a fase rifte, uma nova zona de charneira foi implantada devido ao avanço do espalhamento do assoalho oceânico e subsidência térmica, amplificada pela carga de basaltos extrudidos sobre a crosta continental (Figura 2.2). Toda a sequência rifte passa a ser enterrada por um espesso prisma sedimentar. Uma discordância transgressiva de idade albo-aptiana (108 Ma) recobre todas as sequências anteriores. Após o Mioceno, a subsidência flexural contribuiu para a criação de espaço de acomodação, permitindo o desenvolvimento de um pacote sedimentar mais espesso (Fontana, 1990). Desta forma, formaram-se diversos sistemas deltaicos progradantes, como é o caso do Cone do Rio Grande com espessura superior a 5000 m (Barboza *et al.*, 2008). Um rápido soterramento propiciou a preservação de matéria orgânica e a formação de gás biogênico, registrando-se notável ocorrência de hidratos de gás em profundidades entre 100 e 1000 m na coluna sedimentar, em batimetrias de 1000 a 2500 m (Mohriak, 2003).

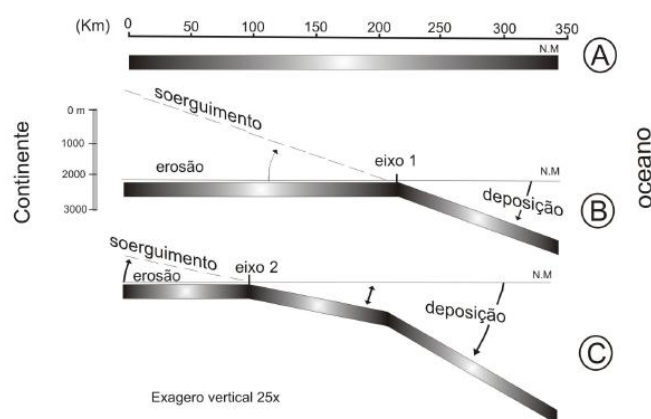


Figura 2.2 Desenvolvimento das zonas de charneira na Bacia de Pelotas. Fonte: Corrêa, 2004.

Intrusões, de formatos cônicos, são encontradas na parte norte desta bacia (Figura 2.3). Segundo Oreiro (2008), estas intrusões, interpretadas como estratovulcões, são de idade paleocênica/eocênica, pois os estratos sedimentares sobrepostos a elas estariam deformados até o Neoeoceno.

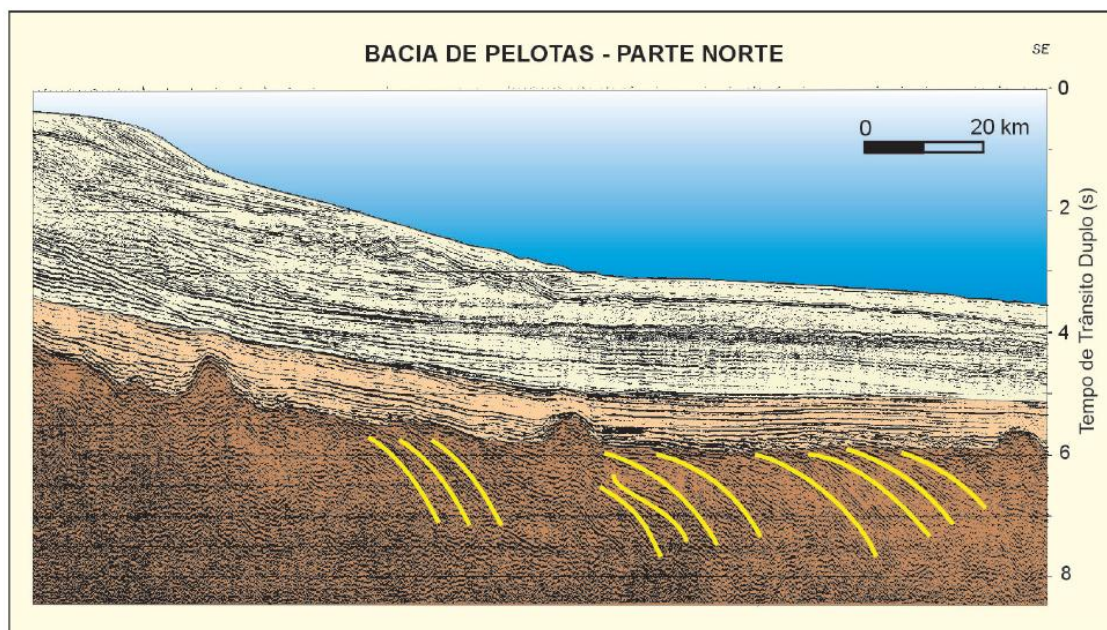


Figura 2.3 Seção sísmica na Bacia de Pelotas, mostrando feições interpretadas como *SDRs* relacionadas à formação da proto-crosta oceânica. Notar também os estratovulcões. Fonte: Mohriak, 2003.

Desta forma, pode-se representar o esquema evolutivo tectono-sedimentar da Bacia de Pelotas através da Figura 2.4. O perfil geológico da bacia está simplificado pela Figura 2.5, nela também estão representadas as anomalias magnéticas e linhas de charneira antigas.

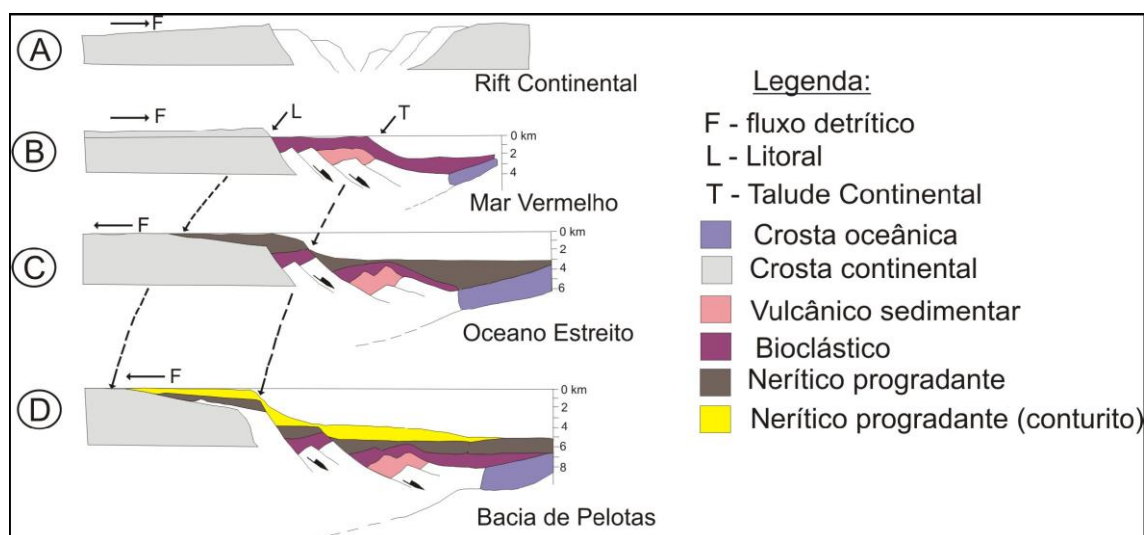


Figura 2.4 Sequência das etapas evolutivas de uma margem continental Atlântica. A Bacia de Pelotas se encontra no estado mais avançado (D). Fonte: Corrêa, 2004.

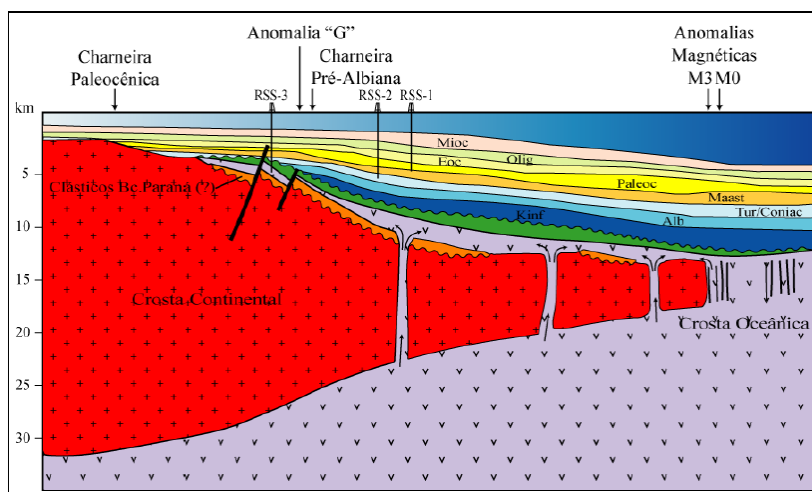


Figura 2.5 Perfil geológico da Bacia de Pelotas, ilustrando a posição das principais anomalias magnéticas. Fonte: Rosa, 2009.

2.2 Arcabouço Estratigráfico

Segundo Bueno *et al.* (2007), a evolução estratigráfica da Bacia de Pelotas compreende cinco supersequências que correspondem a:

- Supersequência Paleozoica – Mesozoica;
- Supersequência Pré-Rifte;
- Supersequência Rifte;
- Supersequência Pós-Rifte;
- Supersequência Drifte.

A carta estratigráfica está contida na Figura 2.7. Abaixo segue a simbologia litológica utilizada na carta (Figura 2.6).



Figura 2.6 Simbologia litológica utilizada na construção de cartas estratigráficas brasileiras. Fonte: Milani *et al.*, 2007.

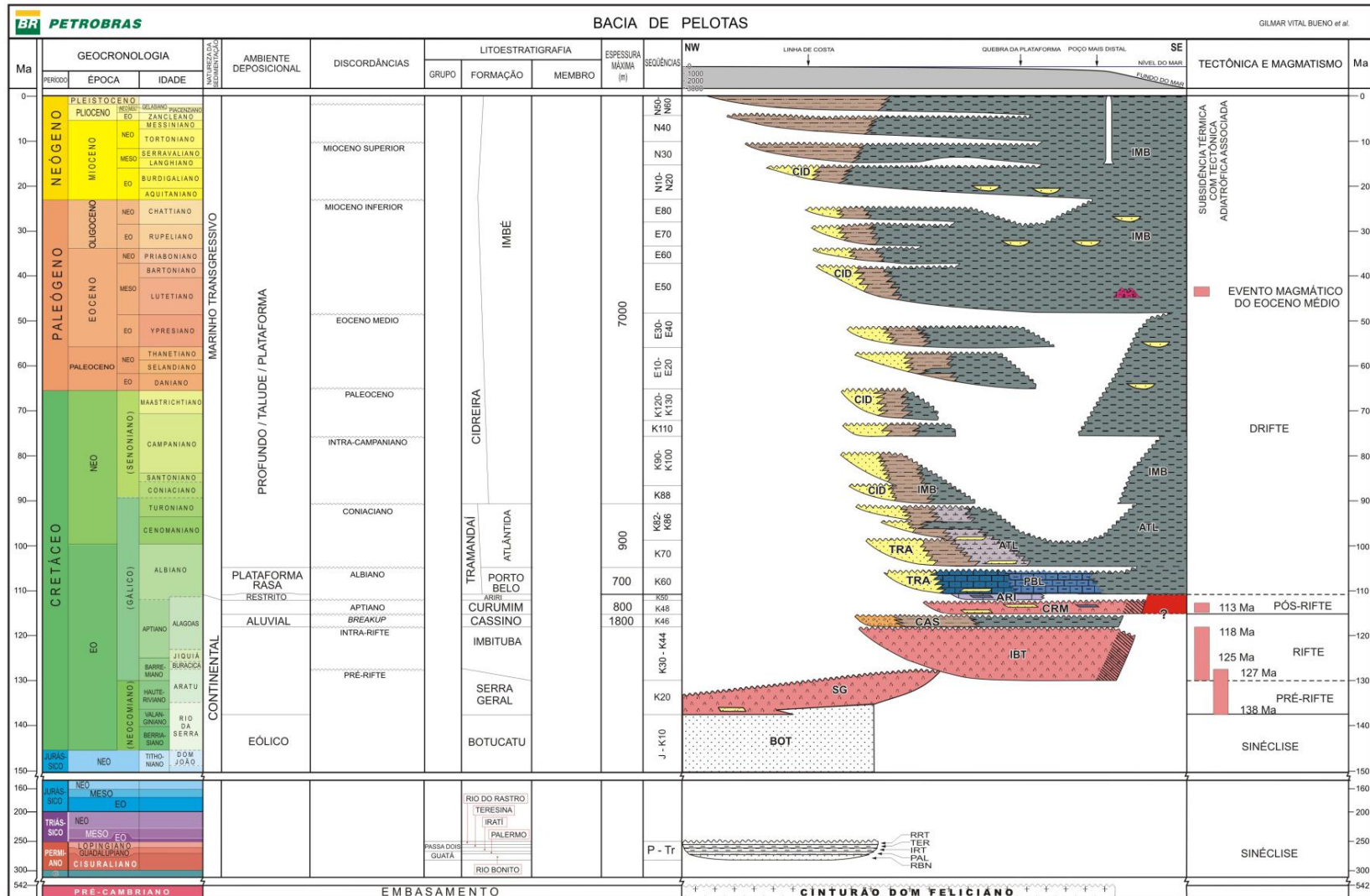


Figura 2.7 Carta estratigráfica da Bacia de Pelotas. Fonte: Milani *et al.*, 2007.

2.2.1 Supersequência Paleozoica – Mesozoica

Segundo Bueno *et al.* (2007), esta supersequência subdivide-se temporalmente em duas sequências:

- I) *Sequência Permo-Triássica* – Constituída na sua base por três formações desenvolvidas em ambiente marinho (Formações Rio Bonito, Palermo e Irati). Na sua porção superior são encontradas duas formações (Teresina e Rio do Rastro) depositadas em ambiente flúvio-lacustre-marés.
- II) *Sequência Juro-Cretácea* – Formada basicamente pelos arenitos da formação Botucatu, que foi um extenso campo de dunas que recobriu a sinéclise do Paraná inteiramente.

2.2.2 Supersequência Pré-Rifte

Estágio vinculado ao comportamento de ascensão da astenosfera. As rochas representantes do pré-rifte (Hauteriviano ao Barremiano) são os basaltos da província ígnea do Paraná, que precederam o rifteamento do Atlântico Sul. Segundo Bueno (2004), este rifteamento foi considerado ativo uma vez que seria o produto da atividade de plumas mantélicas e fusão do manto por descompressão, no caso o *hot spot* Tristão da Cunha. Esses basaltos se encontram rotacionados e em contato discordante com as rochas do estágio Rifte.

2.2.3 Supersequência Rifte

As sequências que compreendem esta fase preenchem uma associação de meio-grábens antitéticos. De acordo com Bueno *et al.* (2007), esta fase pode ser dividida em dois estágios:

- I) *Rifte I* (sequência K30-K44) – constituído pelos basaltos da Formação Imbituba. Cujo período de extrusão ocorreu entre 127 e 138 Ma.
- II) *Rifte II* (sequência K46), representada pelas fácies siliclásticas de idade Aptiana da Formação Cassino. Esta sequência apresenta-se como cunhas que se

espessam de encontro à falhas antitéticas. Interpretam-se esses encontros como leques aluviais progradantes da borda flexural em direção à depocentros lacustres. Na sísmica, os contatos inferior e superior são discordantes, sendo este último uma representação da discordância de *breakup*.

2.2.4 Supersequência Pós-Rifte

Estágio representado pela subsidência térmica da bacia, sendo representado pela sequência K48 equivalente à Formação Curumim com idade de 113 Ma, com uma suíte vulcânica caracterizada por basaltos, andesitos e traquiandesitos. A partir da análise de seções sísmicas pode-se inferir espessuras superiores a 6 km para a seção pós-rifte, que se caracteriza pela típica geometria *sag*. Cunhas de *SDR* apresentam-se mais velhas na porção sul da bacia (idade correspondente a da Formação Imbituba) e mais jovens na porção norte (idade da Formação Curumim). Desta forma, pode-se inferir que enquanto a sub-bacia de Torres (Norte) ainda sofria processo de rifteamento, a sub-bacia de Pelotas (Sul) já se encontrava no estágio de subsidência flexural produzido pelo resfriamento e contração termal da crosta oceânica (Bueno *et al.*, 2007).

2.2.5 Supersequência Drifte

Esta supersequência apresenta sua fase evolutiva dividida em três sequências distintas:

- I) *Sequência Plataformar* (sequência K50 e K60) – Representada por depósitos de plataforma rasa no Albiano. Os depósitos carbonáticos e siliciclásticos são constituintes da Formação Portobelo, suas camadas se interdigitam com os arenitos da Formação Tramandaí. Seu contato inferior ora se dá em concordância com os delgados depósitos da Formação Ariri (anidrita e carbonatos), ora em discordância com as vulcânicas da Formação Curumim. O contato superior é discordante em relação aos pelitos da Formação Atlântida.
- II) *Sequência Transgressiva* – Caracterizada pelo ciclo transgressivo que ocorreu no período que se estende do Albiano ao Oligoceno. Engloba diversas sequências: K70, K82-K86, K88 a E30-40, e E50-E80. Inicialmente é representada por uma espessa seção de pelitos da Formação Atlântida. Estes

folhelhos gradam para margas e siltitos que interdigitam-se com os arenitos da Formação Tramandaí (sequência K82-K86). Para esta intercalação interpreta-se um ambiente marinho raso. A partir da sequência K88 nota-se uma alternância entre as transgressões e regressões. No Paleoceno, devido a uma ampla transgressão o ambiente costeiro passa a ser dominado pelos leques de clásticos da Formação Cidreira, que se estende até o Holoceno. Em direção à bacia, estes sedimentos se intercalam com os folhelhos e siltitos cinza-esverdeados da Formação Imbé. Depósitos turbidíticos são encontrados nesta última lhe conferindo uma deposição em ambientes marinhos profundos. Ambas as formações se encontram em discordância com os depósitos das formações Tramandaí e Atlântida. Na sequência E50-E80 as transgressões predominavam, sendo assim um ambiente de águas profundas com a presença de depósitos turbidíticos passa a dominar. Reativações de lineamentos propiciam a intrusão de alcalinas na porção norte da bacia.

III) *Sequência Regressiva* – Representada pelos depósitos das formações Cidreira e Imbé (sequências N10-20 a N50-N60). Os siltitos e arenitos finos da Formação Cidreira progradam sobre os pelitos da Formação Imbé, caracterizando uma cunha sedimentar regressiva no Neógeno. Neste contexto de aumento de suprimento sedimentar, o Cone do Rio Grande é formado. Uma instabilidade no talude é formada devido a este rápido aporte de pelitos na porção distal, produzindo movimentações gravitacionais de grandes massas pouco consolidadas em direção à bacia. Nas seções sísmicas, notam-se falhamentos normais junto ao talude e dobramentos e cavalgamentos na bacia.

comprimido armazenado em dois tanques de aço (Duarte, 2003). O pulso emitido é capaz de se propagar através da água e das formações geológicas, e após interação com os refletores, retornar e ser registrado pelos receptores, no caso, hidrofones. Desde o início da liberação do pulso, os receptores registraram, com um intervalo de amostragem de 2 ms, a chegada das ondas durante 10 s.

Todas as linhas pertencentes a equipe sísmica 0231 foram adquiridas sob os mesmos parâmetros – intervalo entre receptores, número de canais, intervalo entre tiros, afastamento mínimo, taxa de amostragem, tempo de registro, arranjo fonte-receptor, embarcação, tipo de fonte – diferindo apenas no número de tiros realizados durante a aquisição. A parte 1 da linha 0231-1345 foi construída sob 3064 tiros, totalizando em 122,5 km de linha sísmica.

3.2 Conversão do Formato

Os dados adquiridos em campo são registrados em fita ou *CD-ROM*. Os formatos foram padronizados pela *Society of Exploration Geophysicists (SEG)*, sendo que hoje em dia os formatos mais utilizados pela indústria do petróleo são o *Seg-Y* e o *Seg-D*.

As linhas sísmicas processadas neste trabalho encontravam-se no formato *Seg-D*. Foi necessário convertê-las do formato de campo (*Seg-D*) para o formato interno do *SeisSpace*. Para tal foram utilizados os seguintes módulos: *SEG-D Input* e *Disk Data Output*.

3.3 Geometria

Segundo Alves (2008), fontes e receptores devem ser dispostos sob um sistema de coordenadas espaciais durante um levantamento. As frentes de onda sísmica são inicialmente geradas pela fonte no ponto de tiro (*shotpoint*), onde é liberada energia com um amplo espectro de frequências. Os receptores registram as velocidades de vibração das partículas da onda sísmica que são amostradas a intervalos constantes (*sample rate*), durante certo tempo de registro (*record length*). O traço sísmico representa o registro total destas amostras em cada canal de registro.

Registrar as posições exatas de cada fonte e seus respectivos receptores, os tipos de arranjos utilizados, o número de tiros realizados durante o levantamento, assim como a

taxa de amostragem e número de amostras por traço, é o papel desempenhado pela geometria que representa uma etapa primordial no processamento sísmico.

Todas as informações necessárias para carregar um dado sísmico em qualquer pacote de processamento são encontradas no relatório do observador (RO). A partir dos relatórios enviados pelo BDEP, pode-se montar a Tabela 3.1 com os parâmetros do levantamento sísmico feito pela equipe 0231.

Tabela 3.1 Compilação das informações utilizadas para a aquisição sísmica das linhas.

Parâmetros da aquisição	Equipe 0231
Tempo de registro	10 s
Taxa de amostragem	2 ms
Número de canais	100
Canal mais próximo	1
Offset mínimo	241,5 m
Intervalo entre os pontos de tiros	40 m
Intervalo entre os grupos de receptores	40 m
Profundidade da fonte	6 m
Profundidade dos receptores	10 m

Fonte: Relatório do observador de cada linha processada.

Associado a estes parâmetros, foi enviado pelo BDEP um *CD* com os arquivos de coordenadas (*UKOOA*) permitindo o georreferenciamento de todo o dado sísmico. E a relação entre os pontos de tiro (*shot point*) e o identificador do arquivo de campo (*field file identification - FFID*) ficou disponibilizada através do arquivo *TOC-file*. Todos estes dados devem ser levados em consideração na medida em que são preenchidas as tabelas pertencentes ao módulo *2D Marine Geometry Spreadsheet* (Figura 3.2). Neste módulo, as seguintes tabelas foram preenchidas:

- Tabela *Setup*;
- Tabela *Sources*;
- Tabela *Patterns*;
- Tabela *Bin*.

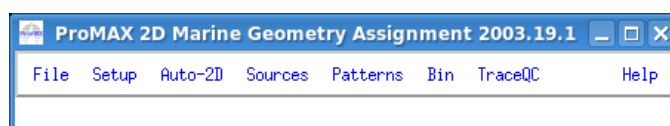


Figura 3.2 Janela principal do módulo *2D Marine Geometry Spreadsheet*.

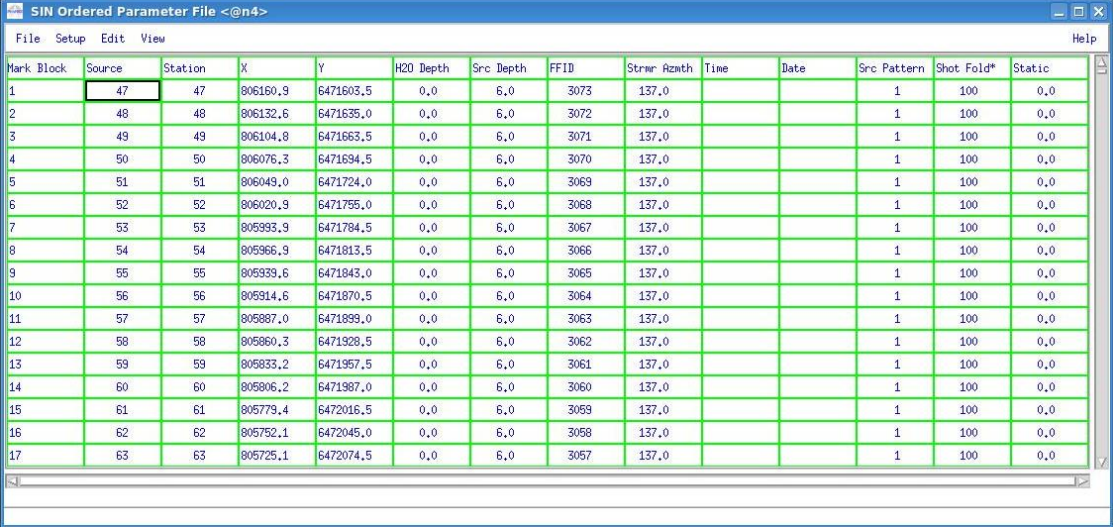
3.3.1 Tabela Setup

A tabela *Setup* solicita algumas informações para configurar a geometria de aquisição dos dados como: espaçamento entre receptores, espaçamento entre tiros, profundidades do arranjo das fontes e dos cabos de receptores, e unidade destas medidas (Figura 3.3).

Figura 3.3 Tabela *Setup*.

3.3.2 Tabela Sources

Nesta tabela, além das coordenadas X e Y de cada estação dos pontos de tiro encontradas num arquivo denominado *UKOOA*, é também necessário inserir corretamente a disposição entre os pontos de tiro e os *FFIDs* que se encontram no *TOC-file* (Figura 3.4).



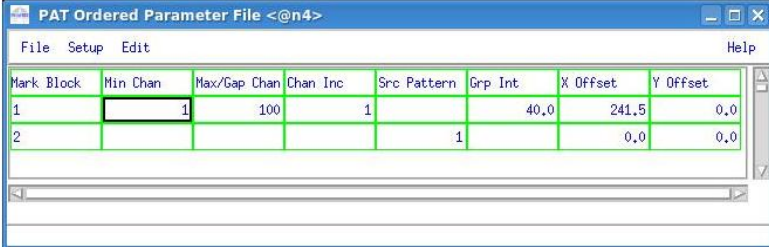
The screenshot shows a window titled "SIN Ordered Parameter File <@n4>". It contains a table with 14 columns: Mark Block, Source, Station, X, Y, H2O Depth, Src Depth, FFID, Strmr Azimuth, Time, Date, Src Pattern, Shot Fold*, and Static. The table lists 17 sources, each with a unique Mark Block and Source number, and their corresponding coordinates and parameters.

Mark Block	Source	Station	X	Y	H2O Depth	Src Depth	FFID	Strmr Azimuth	Time	Date	Src Pattern	Shot Fold*	Static
1	47	47	806160,9	6471603,5	0,0	6,0	3073	137,0			1	100	0,0
2	48	48	806132,6	6471635,0	0,0	6,0	3072	137,0			1	100	0,0
3	49	49	806104,8	6471663,5	0,0	6,0	3071	137,0			1	100	0,0
4	50	50	806076,3	6471694,5	0,0	6,0	3070	137,0			1	100	0,0
5	51	51	806049,0	6471724,0	0,0	6,0	3069	137,0			1	100	0,0
6	52	52	806020,9	6471755,0	0,0	6,0	3068	137,0			1	100	0,0
7	53	53	805993,9	6471784,5	0,0	6,0	3067	137,0			1	100	0,0
8	54	54	805966,9	6471813,5	0,0	6,0	3066	137,0			1	100	0,0
9	55	55	805939,6	6471843,0	0,0	6,0	3065	137,0			1	100	0,0
10	56	56	805914,6	6471870,5	0,0	6,0	3064	137,0			1	100	0,0
11	57	57	805887,0	6471899,0	0,0	6,0	3063	137,0			1	100	0,0
12	58	58	805860,3	6471928,5	0,0	6,0	3062	137,0			1	100	0,0
13	59	59	805833,2	6471957,5	0,0	6,0	3061	137,0			1	100	0,0
14	60	60	805806,2	6471987,0	0,0	6,0	3060	137,0			1	100	0,0
15	61	61	805779,4	6472016,5	0,0	6,0	3059	137,0			1	100	0,0
16	62	62	805752,1	6472045,0	0,0	6,0	3058	137,0			1	100	0,0
17	63	63	805725,1	6472074,5	0,0	6,0	3057	137,0			1	100	0,0

Figura 3.4 Tabela *Sources*.

3.3.3 Tabela *Patterns*

Na tabela *Patterns* define-se o posicionamento entre fonte e receptores durante a aquisição sísmica. Na primeira linha detalha-se o arranjo dos receptores e na linha seguinte o arranjo da fonte, conforme o mostrado na Figura 3.5.



The screenshot shows a window titled "PAT Ordered Parameter File <@n4>". It contains a table with 8 columns: Mark Block, Min Chan, Max/Gap Chan, Chan Inc, Src Pattern, Grp Int, X Offset, and Y Offset. The table lists 2 patterns, each with a unique Mark Block and its corresponding channel and offset parameters.

Mark Block	Min Chan	Max/Gap Chan	Chan Inc	Src Pattern	Grp Int	X Offset	Y Offset
1	1	100	1		40,0	241,5	0,0
2				1		0,0	0,0

Figura 3.5 Tabela *Patterns*.

3.3.4 Tabela *Bin*

Preenchidas as tabelas anteriores corretamente, o *software* calcula as coordenadas de *CMP* (*common mid point*), ou seja, o ponto médio comum à fonte e ao receptor no plano de superfície, e constrói as tabelas internas do programa. Porém, alguns parâmetros são requisitados:

- Estação do primeiro ponto de tiro;
- *CDP* correspondente a estação do primeiro ponto de tiro;

- Distância entre os *CDPs*;
- Incremento do afastamento entre os centros dos *bins*;
- Centro da célula em *offset* mínimo;
- Centro da célula em *offset* máximo (Figura 3.6).

Figura 3.6 Tabela *Bin*.

Com o intuito de garantir uma boa amostragem espacial, ou seja, continuidade entre os *CDPs* que é exigida principalmente por ferramentas como FK, Radon e *SRME* alguns cálculos foram realizados para duplicar o valor da superfície de cobertura durante a construção das células.

Segundo Novaes (2007), o *CDP* equivalente a estação do primeiro ponto de tiro ($CDP_{Prim PT}$) pode ser calculado com o emprego da equação 3.1:

$$CDP_{Prim PT} = \frac{(x_{m\acute{a}x}/2)}{\Delta CDP} = \frac{(241.5+99 \times 40)/2}{40} = 52.51875 \quad (3.1)$$

Onde:

$x_{m\acute{a}x}$ – *offset* máximo;

ΔCDP – distância entre os *CDPs*.

Os parâmetros das células foram calculados de acordo com a Figura 3.7. Cada célula engloba 2 traços e estão equidistantes de 80 m. A distância mínima da primeira célula em relação ao arranjo de fontes é de 261,5 m e a distância máxima é equivalente a 4181,5 m.

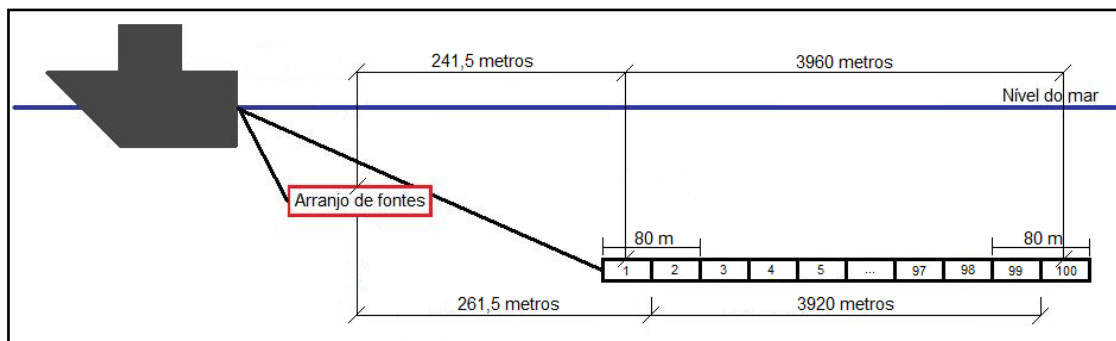


Figura 3.7 Afastamentos mínimo e máximo dos arranjos de receptores e das células.

As famílias *CMPs* são muitas vezes referidas como famílias *CDPs* para facilitar o tratamento matemático e a compreensão dos fenômenos físicos. A coordenada do *CMP* seria a projeção, no plano da superfície, do *CDP* (*common depth point*), ou seja, do ponto comum em profundidade, determinado pela primeira reflexão em uma interface submersa (Figura 3.8). No entanto, isto é válido somente quando os refletores em subsuperfície são plano-paralelos e não há variação lateral de velocidade, o que não é o caso da maioria dos ambientes geológicos.

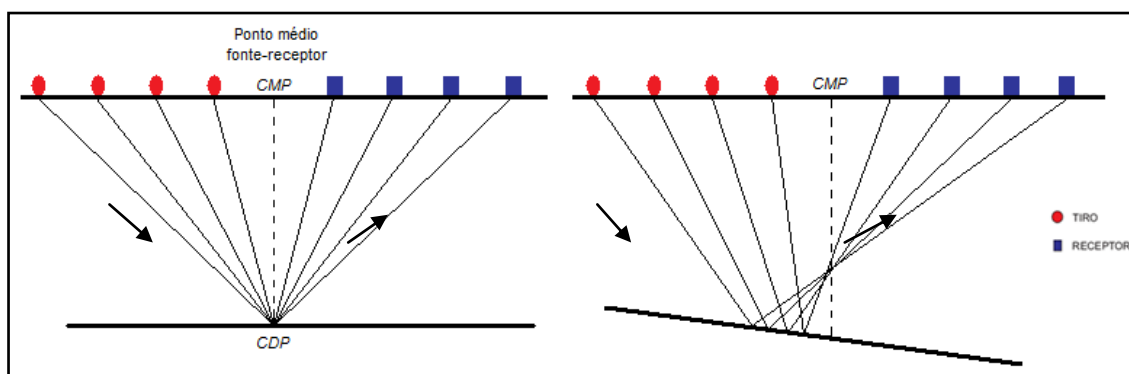


Figura 3.8 A projeção do *CDP* em um refletor inclinado não coincide com o *CMP* em subsuperfície.

3.3.5 Controle de Qualidade (QC) da Geometria

Após computar os parâmetros da geometria nas planilhas do *SeisSpace*, constrói-se um fluxograma, com módulos do pacote, para carregar a geometria no cabeçalho (*header*) de cada traço e gerar um arquivo de saída para ser utilizado nas etapas posteriores (Figura 3.9).

Os dados sísmicos foram obtidos a uma taxa de amostragem de 2 ms, o que permite registrar frequências de até 250 Hz. Porém, com a finalidade de minimizar o tempo de processamento, o valor do intervalo de amostragem da linha sísmica foi modificado para 4 ms, reduzindo a frequência de Nyquist para 125 Hz. Para tal, o módulo *Resample/Desample* foi utilizado durante a etapa de carregamento da geometria (Figura 3.9).

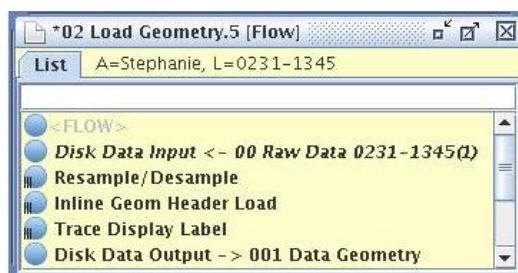


Figura 3.9 Fluxos da etapa de geometria.

Sendo a construção da geometria uma fase fundamental do processamento sísmico, quaisquer erros na definição das coordenadas da fonte ou dos receptores irão ocasionar a perda parcial ou total do trabalho que será feito nas demais etapas do processamento (Silva, 2004).

Inúmeros gráficos e mapas podem ser observados para assegurar a qualidade da geometria feita. Destacam-se os gráficos com: o grau de cobertura, a disposição dos *midpoints* em cada ponto de tiro, etc.

A multiplicidade, grau de cobertura ou *fold* de uma linha sísmica representa o número máximo de traços em uma família *CMP* (Figura 3.10).

Na Figura 3.11 ao longo de uma linha de aquisição sísmica visualiza-se a disposição dos pontos de tiro (em preto) e dos *midpoints* (em branco) ao fundo. O ponto em destaque na figura representa a fonte relacionada aos *midpoints* ativos em vermelho. À medida que novos tiros são efetuados, outros *midpoints* são ativados até o alcance da cobertura máxima (100), o que é esperado pelo que pode ser observado na figura anterior.

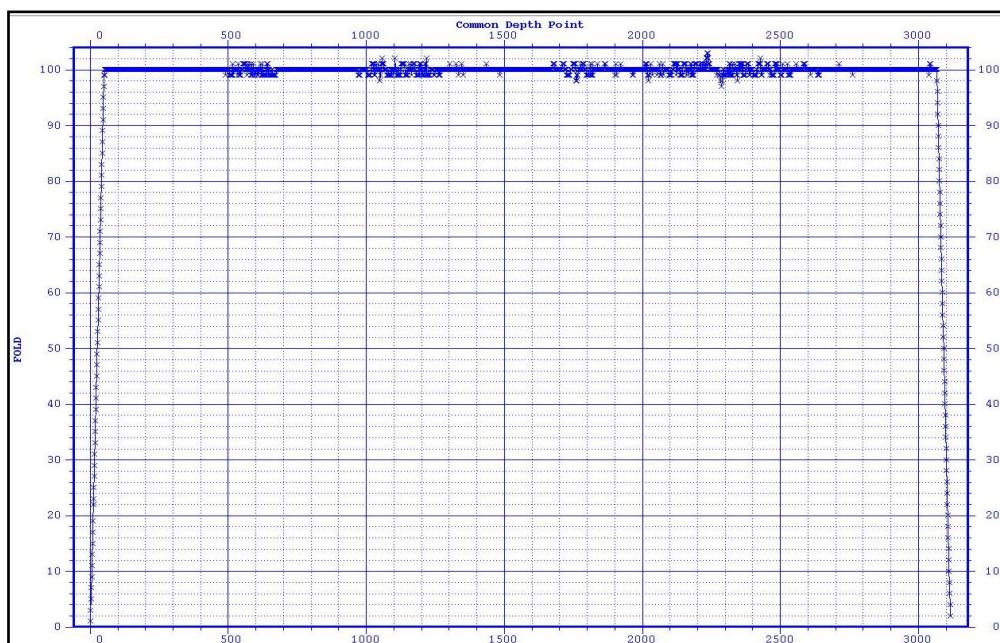


Figura 3.10 Gráfico com o grau de cobertura de cada CDP da linha 0231-1345.

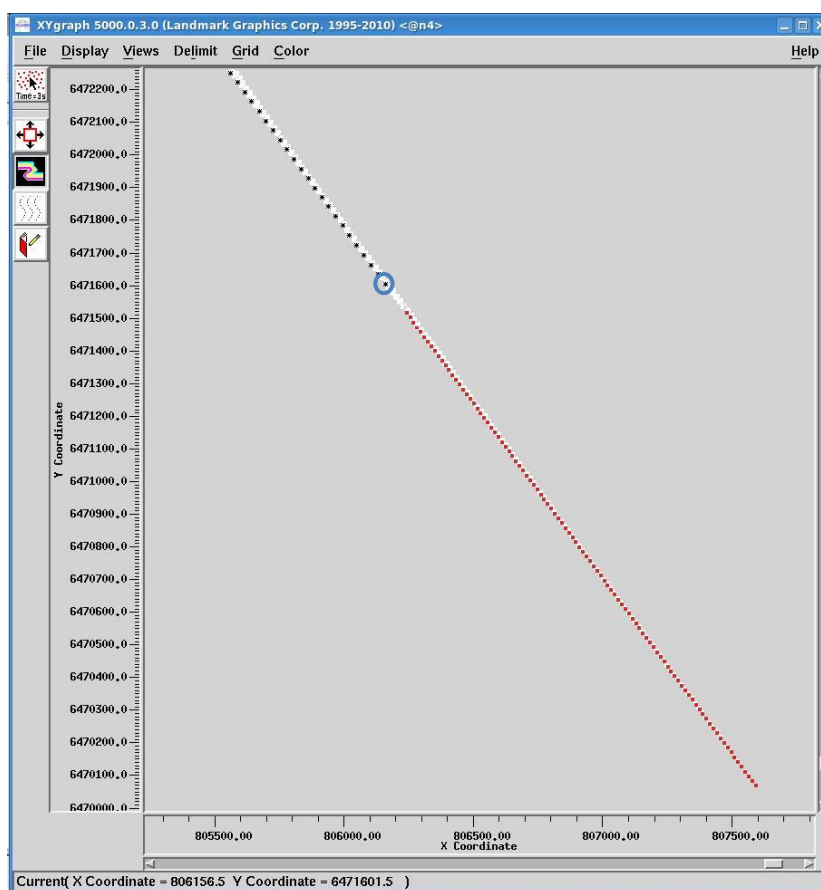


Figura 3.11 Arranjo da linha 0231-1345.

No registro (*FFID*) 480 observa-se para cada traço os seus correspondentes valores de canal e *offset* (Figura 3.12). Qualquer desvio anormal ou não linearidade dos gráficos pode ser indicativo de um erro na geometria que deve ser revisto no RO. Outra forma de

inspecionar a qualidade da geometria é inserindo a função da onda direta ($t = \text{offset} / \text{vel}$ H_2O) através da ferramenta *Trace Header Math*, considerando a velocidade da água de 1500 m/s. Esta função pode ser visualizada em todos os registros das linhas da equipe 0231.

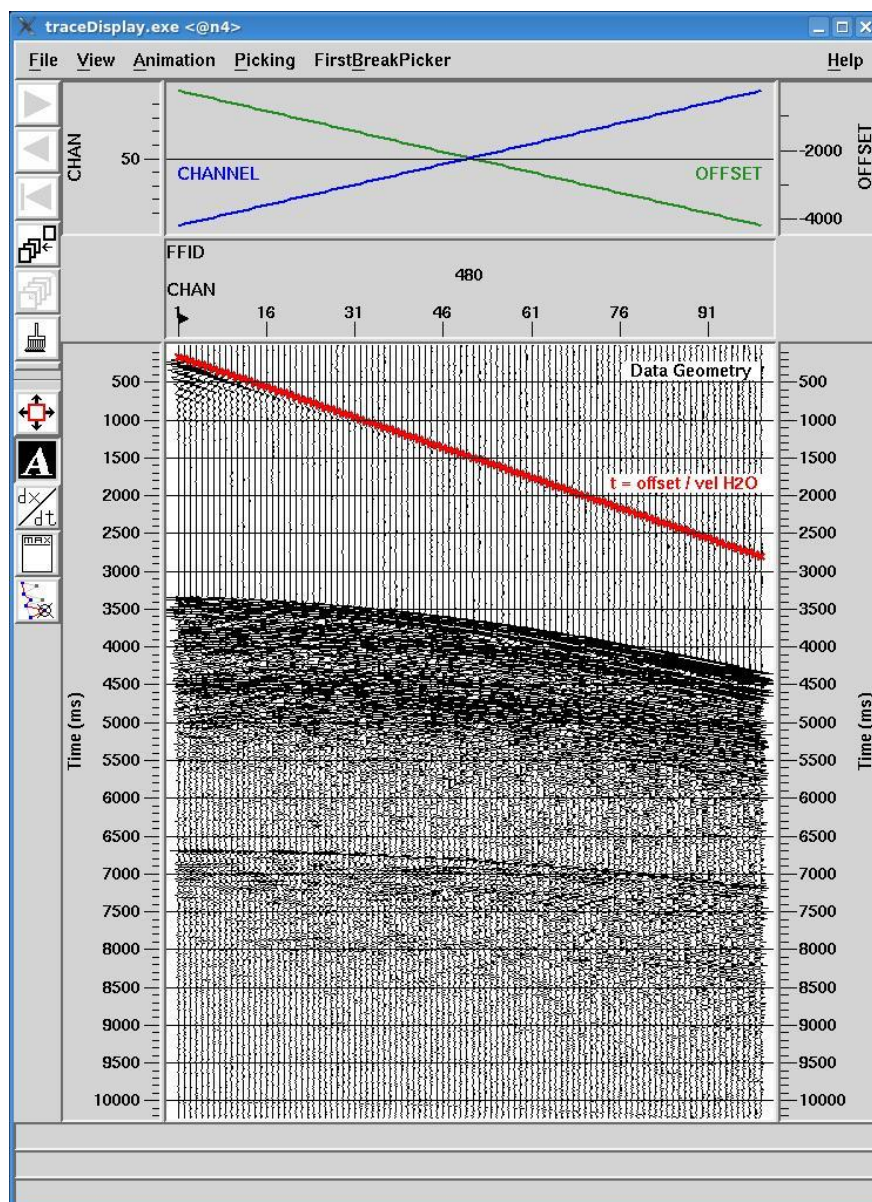


Figura 3.12 Gráficos dos canais e afastamentos exemplificam a geometria carregada no *header* de cada traço do *FFID* 480 da linha 0231-1345, assim como, a função $t = \text{offset} / \text{vel } H_2O$.

3.4 Organização do Dado Sísmico

Aplicada a geometria uma das vantagens é que o dado sísmico pode ser organizado em famílias de traços de: tiro, receptor, afastamento e ponto médio comuns (Figura 3.13),

segundo a conveniência, permitindo a execução do processamento de maneira satisfatória (Silva, 2004). Durante cada etapa do processamento será explicitado o domínio utilizado.

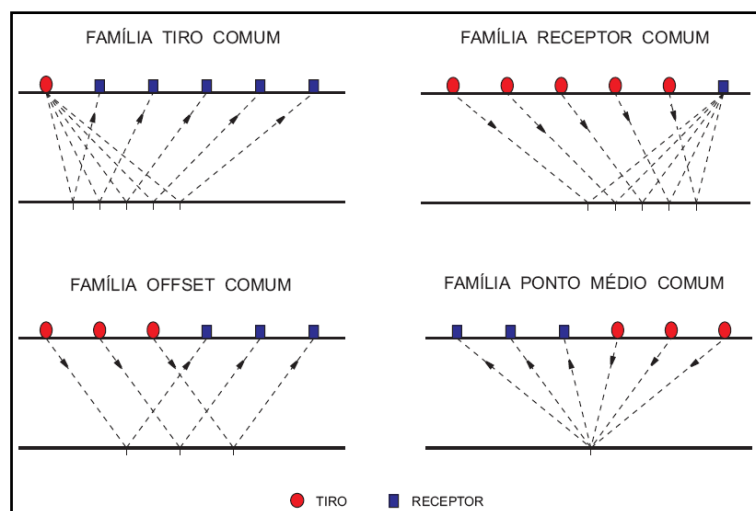


Figura 3.13 Diferentes tipos de famílias de traço comum.

3.5 Filtragem de Frequência

O traço sísmico é a representação da variação do sinal sísmico em função do tempo (Chaouch, 2010). Sua decomposição em um somatório de senóides - que possui uma determinada amplitude, frequência temporal e fase - é realizada através da Transformada de Fourier. Assim, a Transformada de Fourier permite a representação do dado sísmico no domínio da frequência (Oliveira, L.R., 2009).

Consequentemente torna-se possível preservar a faixa de frequência desejada do sinal sísmico neste tipo de representação, de forma que sejam removidos dos traços os componentes de frequência muito baixos, que normalmente estão associados aos eventos superficiais de alta energia, e os componentes de alta frequência, geralmente originados por fontes de interferência. Portanto, esta etapa pode significar um razoável aumento da razão sinal/ruído dos dados. Feita a atenuação das frequências indesejadas aplica-se a Transformada Inversa de Fourier com o intuito de voltar o dado para o domínio do tempo (Torres, 2008).

A aplicação dos filtros pode ser feita tanto no domínio do tempo, quanto no domínio da frequência. Porém, a filtragem no domínio da frequência se tornou bastante requisitada devido a sua rapidez, uma vez em que se pode aplicar a *FFT* (*Fast Fourier Transform*).

Sua simplicidade e capacidade de melhorar o conteúdo de frequências tornam o método imprescindível num fluxo de processamento simples (Torres, 2008).

Durante a fase de filtragem de frequências é necessário avaliar o espectro de frequência do dado bruto antes de aplicar os filtros (Alves, 2008). Os principais filtros de frequência aplicáveis são: o corta-alta ou passa-baixa, corta-baixa ou passa-alta, o passa-banda, corta-banda e o filtro *notch*.

Com os filtros corta-alta ou passa-baixa elimina-se a alta frequência do sinal sísmico. Já com a aplicação dos filtros corta-baixa ou passa-alta almeja-se a atenuação efetiva dos ruídos de baixa frequência. Com os filtros de frequência passa-banda do tipo trapezoidal pode-se definir a banda de frequência do sinal a ser preservada, diferentemente do corta-banda que atenua uma faixa de frequência. Em todos estes filtros há zonas de transição definidas pelo parâmetro *slope*, relacionado a inclinação da reta a partir da frequência de corte. As Figuras 3.14 a 3.17 abaixo ilustram os filtros de frequência citados acima.

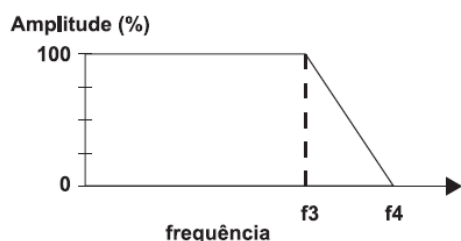


Figura 3.14 Filtro corta-alta.

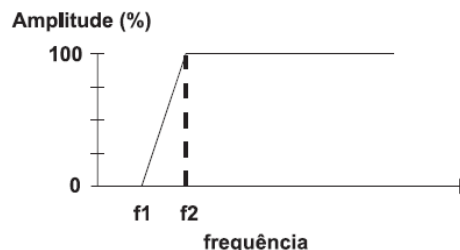


Figura 3.15 Filtro corta-baixa.

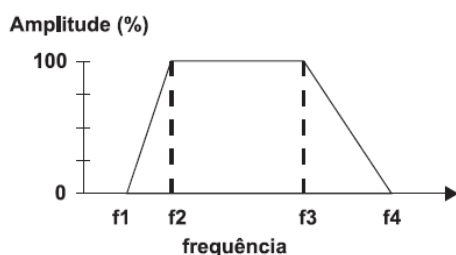


Figura 3.16 Filtro passa-banda.

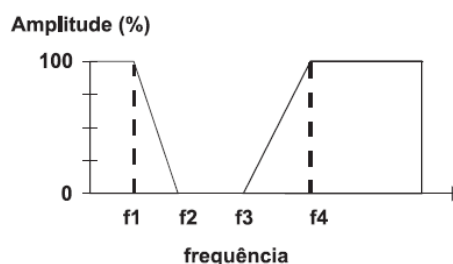


Figura 3.17 Filtro corta-banda.

O filtro *notch* elimina uma frequência específica do sinal (Figura 3.18). Um exemplo prático de sua utilização é a supressão do ruído de 60 Hz dos dados sísmicos, gerado por linhas de transmissão localizadas nas proximidades da região de aquisição (Torres, 2008).

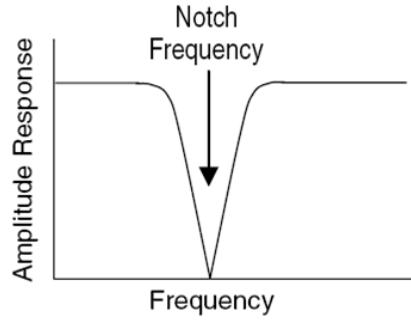


Figura 3.18 Filtro *notch*. Modificado de: Gadallah & Fisher (2009).

Matematicamente, sendo $s(t)$ o sinal contínuo no tempo, temos:

$$S(w) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot e^{-iwt} dt, \quad (3.2)$$

onde $S(w)$ é o sinal transformado no domínio da frequência após a aplicação da Transformada Direta de Fourier. Colocando $S(w)$ em função da amplitude $A(w)$ e fase $\phi(w)$ encontra-se a seguinte expressão:

$$S(w) = A(w) \cdot \phi(w) \quad (3.3)$$

Sendo $F(w)$ a função do filtro, neste caso corta-baixa, no domínio da frequência e w_c a frequência de corte, então:

$$F(w) = \begin{cases} 1, & \text{se } w \geq w_c \\ 0, & \text{se } w < w_c \end{cases} \quad (3.4)$$

Definido o filtro, faz-se uma multiplicação do espectro de amplitude do sinal com essa função filtro (ou seja, convolução no domínio do tempo):

$$Y(w) = A(w) \cdot F(w) \quad (3.5)$$

Então, obtém-se o sinal filtrado no domínio da frequência $\bar{S}(w)$:

$$\bar{S}(w) = Y(w) \cdot \phi(w) \quad (3.6)$$

Aplicando a Transformada Inversa de Fourier em $\bar{S}(w)$, adquire-se o sinal filtrado $\bar{s}(t)$:

$$\bar{s}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \bar{S}(w) \cdot e^{iwt} dw \quad (3.7)$$

Tomando como base as características de amplitude e frequência do evento a ser eliminado, pode-se definir a partir do espectro de amplitude dos traços de alguns sismogramas, a frequência de corte, bem como, a banda de frequência a ser preservada. Ao longo do trabalho foram utilizados diferentes tipos de filtro aqui explanados. Em cada momento, o motivo da sua utilização também será exposto.

3.6 Edição

Na etapa de edição faz-se uma visualização prévia das famílias de tiro comum (domínio do tiro) com o objetivo de eliminar parcialmente ou totalmente traços que possam comprometer diretamente a qualidade do resultado desejado, além de verificar a polaridade de cada traço (Costa, 2007). Os traços editados de um sismograma serão: aqueles com uma baixa razão sinal-ruído, traços com amplitude nula (mortos ou duros) devido ao mal, ou não, funcionamento do hidrofone que por sua vez podem prejudicar o processo de empilhamento (Torres, 2008).

Vários fatores podem incrementar o ruído no sinal sísmico, entre eles o trânsito de veículos próximo a aquisição, a interferência de animais, linhas de transmissão de energia e do clima (chuva, vento, etc.). As linhas sísmicas do presente trabalho são dados marinhos reais. Na aquisição marítima, os sismogramas obtidos geralmente são mais “limpos” que os terrestres, pois não há interferência de fatores como estradas e linhas de transmissão, e de fenômenos naturais, como o *ground roll*, facilitando assim a edição. Entretanto, em dados marinhos outros ruídos são mais comuns. Segundo Elboth & Hermansen, são eles: *swell*, cavitação, ruídos do cabo (*tugging/strumming*), etc.

Na linha sísmica 0231-1345, todos os sismogramas foram visualizados e chegou-se a conclusão que o dado já apresentava uma qualidade satisfatória para a continuação do trabalho, sendo que não havia traços mortos e poucos traços eram ruidosos. Para estes poucos traços ruidosos, o *SeisSpace* possui um módulo de edição automática denominado *Spike and Noise Burst Edit* que evita a eliminação destes traços. Durante esta edição automática *spikes* são removidos pela interpolação da média das amplitudes entre amostras adjacentes de um traço, enquanto que *bursts* são trocados por segmentos de traços adjacentes (Figura 3.19).

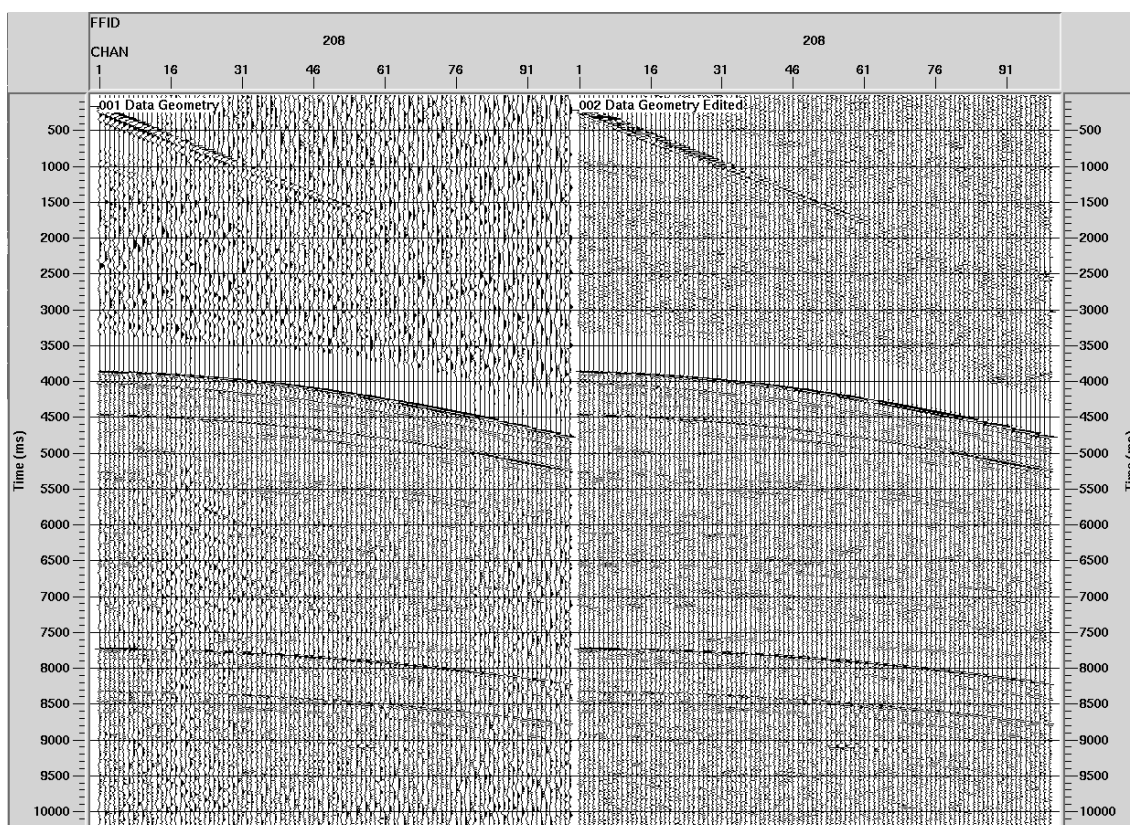


Figura 3.19 Efeito da edição automática no *FFID* 208 da linha 0231-1345.

Associado ao módulo *Spike and Noise Burst Edit*, o módulo *Bandpass Filter* foi utilizado dentro de um intervalo de frequências de 8-20-80-100 Hz. O fluxo desta edição pode ser visualizado através da Figura 3.20.

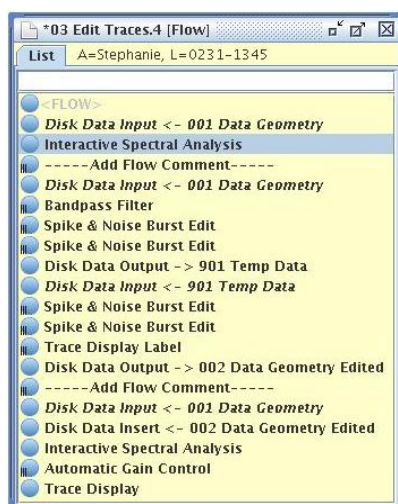


Figura 3.20 Fluxo da edição automática na linha 0231-1345.

3.7 Silenciamento (*Muting*)

Deve-se recorrer à ferramenta de silenciamento de todos os traços na região acima da reflexão referente ao assoalho oceânico, visando a eliminação das ondas direta e refratada e outros ruídos de baixa frequência e alta amplitude uma vez que esta informação não é de interesse por não representar os refletores em subsuperfície (Silva, 2004).

No pacote de processamento *SeisSpace* encontramos a nossa disposição dentro da função *Picking*, a ferramenta *Pick Top Mute*, que permite a delimitação da região de silenciamento (*muting*) da seção sísmica. A função *wb_time* é obtida selecionando pontos (*picks*) na seção empilhada, os quais representam pares de tempo x distância que irão determinar um limite entre a região dos traços onde serão preservados os valores das amplitudes e a região onde as amplitudes serão silenciadas ou zeradas. O módulo *Trace Muting* nos permite aplicar a função *wb_time* na seção empilhada.

A Figura 3.21 mostra a seção sísmica, antes e depois da edição, onde toda a seção sísmica foi silenciada acima da reflexão do fundo do mar com a aplicação da função *wb_time*. Desta forma, nota-se que é possível zerar informações em uma janela específica desejada (Oliveira, L.R., 2009).

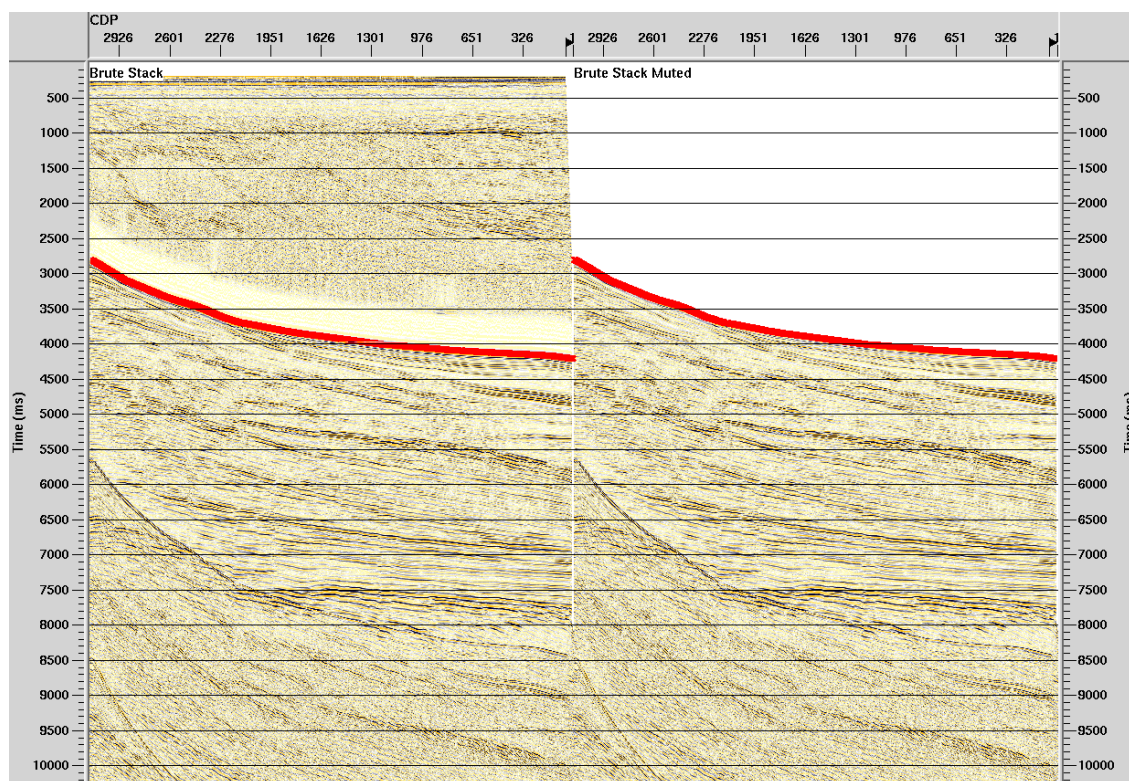


Figura 3.21 Aplicação da função *wb_time* no *brute stack* da linha 0231-1345.

3.8 Correção de Amplitude

O dado sísmico bruto mostra um acentuado decréscimo da amplitude com o tempo. Ao se propagar no interior da Terra, uma onda sísmica sofre alguns efeitos que contribuem para a perda de energia ou atenuação (decaimento da amplitude) do sinal. Dentre esses efeitos Abreu (2005) destaca a divergência esférica, a absorção, as perdas por transmissão entre as interfaces, reflexões múltiplas, curvatura da superfície do refletor e a dispersão (Figura 3.22). Uma ênfase neste trabalho é dada à divergência esférica que contribui mais significativamente para a atenuação do sinal sísmico.

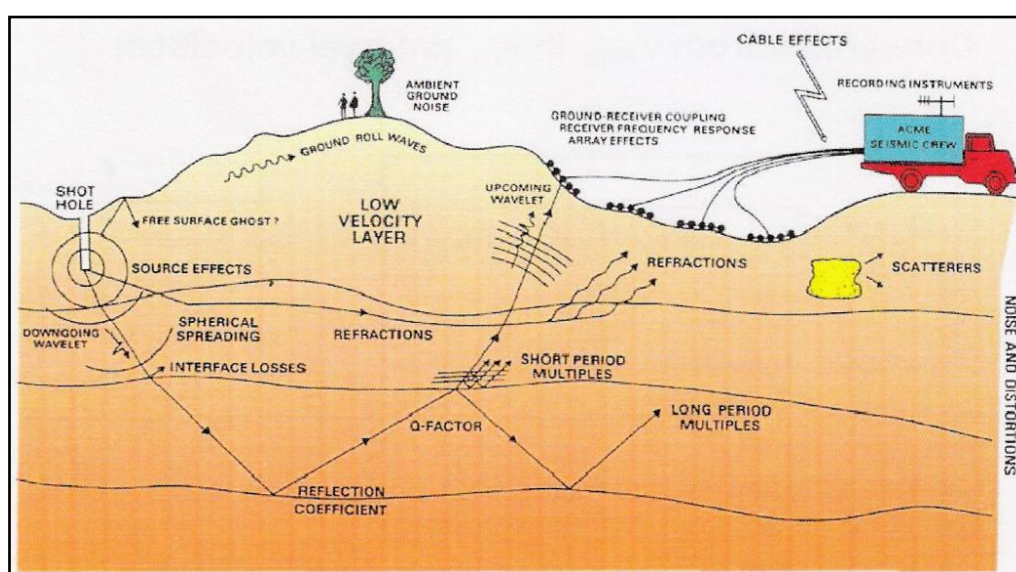


Figura 3.22 Fatores que afetam o sinal sísmico. Fonte: Santos, 2010.

Outra perda importante é observada no conteúdo de frequências do sinal sísmico, uma vez que é impossível recuperar uma frequência atenuada (Costa, 2007).

Divergência esférica (ou *Espalhamento Geométrico*) – está relacionada ao decaimento da amplitude pelo espalhamento da frente de onda sísmica durante sua propagação em subsuperfície. Para um campo de onda esférico gerado por uma fonte pontual num meio isotrópico, homogêneo e não dissipativo, a lei da conservação da energia estabelece que a intensidade ou densidade de energia (I) é inversamente proporcional ao quadrado do raio da frente de onda (r), então:

$$I \propto \frac{1}{r^2} \quad (3.8)$$

Como a amplitude (A) da onda sísmica é proporcional a raiz quadrada da densidade de energia, então:

$$A \propto \left(\frac{1}{r^2}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{r} = \frac{1}{vt_p} \quad (3.9)$$

Sendo v a velocidade do meio e t_p o tempo de percurso. Notamos que na equação 3.9 quanto maior o tempo percorrido menor será a amplitude do sinal e, portanto, precisamos de uma função de correção variável no tempo $C(t)$, de modo que:

$$C(t) \propto r = vt_p \quad (3.10)$$

Para recuperar as amplitudes perdidas referentes à divergência esférica o *SeisSpace* disponibiliza o módulo *Offset Amplitude Recovery*, porém este se utiliza de um campo de velocidade preliminar (Figura 3.23).

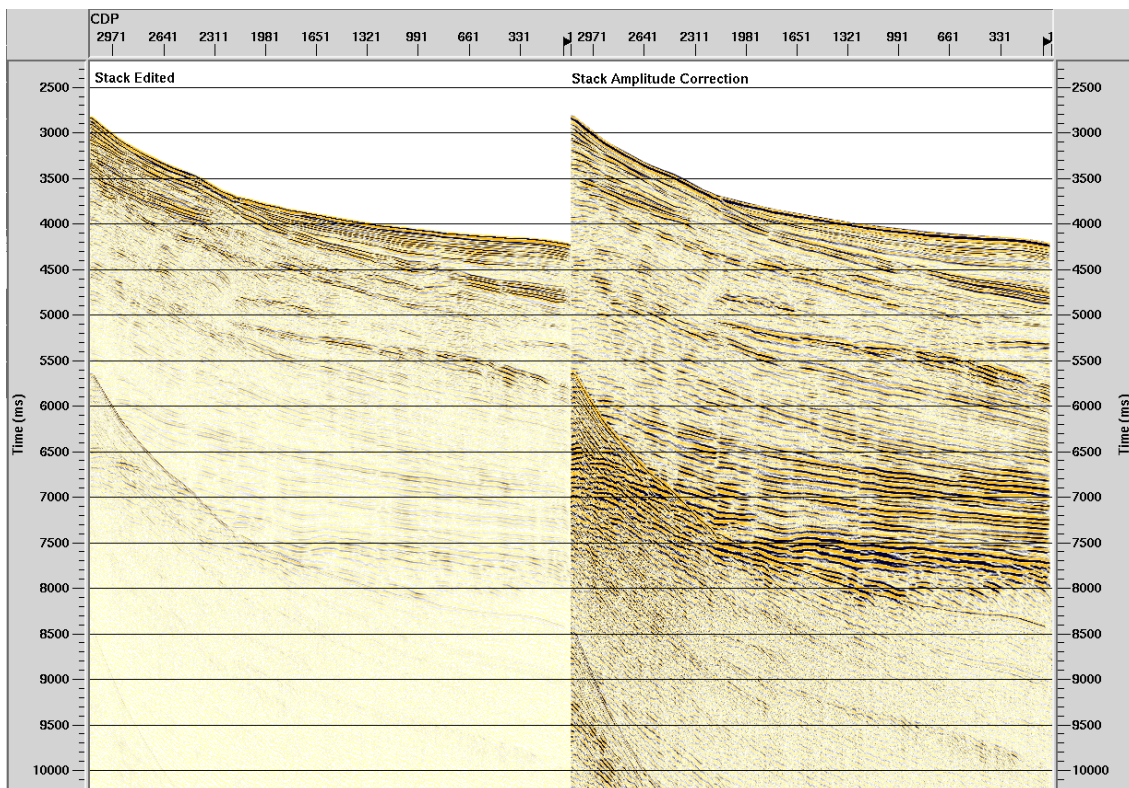


Figura 3.23 Correção de amplitude por divergência esférica.

3.9 Deconvolução

3.9.1 O Modelo Convolutacional

O modelo convolutacional é comumente utilizado para representar o traço sísmico. Neste modelo, o traço sísmico é o resultado da convolução de um pulso gerado por uma fonte

com a resposta impulsional da terra acrescida à série de ruídos (Abreu, 2005). Deste modo, representa-se matematicamente o modelo convolucional do traço sísmico por:

$$s(t) = w(t) * r(t) + \eta(t) \quad (3.11)$$

onde:

$s(t)$ – traço sísmico (cada canal registrado em um sismograma);

$w(t)$ – pulso sísmico gerado por uma fonte sísmica;

$r(t)$ – função refletividade ou resposta impulsional da Terra;

$\eta(t)$ – ruídos aleatórios e/ou aditivos;

$*$ – representa a operação de convolução.

Convém lembrar que este modelo é simplificado e não leva em consideração a resposta do geofone, o fantasma e o arranjo de fonte e receptor.

Segundo Yilmaz (2008), na elaboração do modelo convolucional do traço sísmico são admitidas algumas hipóteses. São elas:

- As camadas são plano-paralelas e possuem velocidade constante;
- O arranjo de fontes gera uma onda plana do tipo longitudinal (P) com ângulo de incidência normal aos refletores. Neste caso, ondas transversais (S) não são geradas;
- A forma da onda emitida pela fonte sísmica é conhecida e estacionária, ou seja, não há decaimento de amplitude em virtude dos efeitos de atenuação sobre a onda sísmica durante seu percurso em subsuperfície;
- A série de ruídos é considerada desprezível;
- A função refletividade é considerada aleatória;
- O pulso emitido pela fonte é de fase mínima.

3.9.2 Deconvolução do Pulso

A deconvolução ou filtragem inversa objetiva recuperar a resposta impulsional terrestre a partir do sismograma. Associado a isto, ela também consegue melhorar a resolução temporal ou vertical do traço sísmico, com isso há uma melhor definição de topo e base de pacotes mais delgados (Ávila, 2010).

A premissa básica da deconvolução é a estimativa de um filtro inverso que converta o traço sísmico na resposta impulsiva da Terra (Figuras 3.24 e 3.25). Este processo é

denominado deconvolução do pulso ou deconvolução *spike* (Abreu, 2005; Novaes, 2007; Torres, 2008; Yilmaz, 2008).

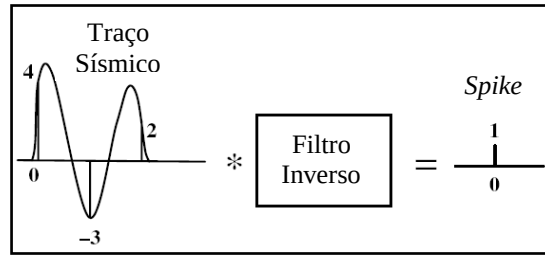


Figura 3.24 Definição de filtro inverso. Deconvolução *spike*.

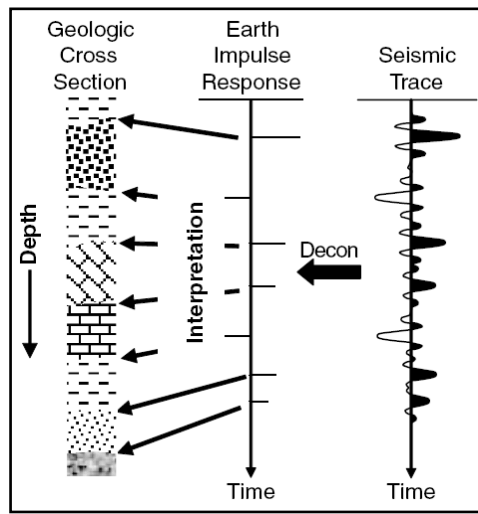


Figura 3.25 Objetivo da deconvolução. Fonte: Gadallah & Fisher, 2009.

Sabe-se que após a convolução do traço sísmico $s(t)$ com o filtro inverso a função refletividade ou resposta impulsiva da Terra será obtida (Figura 3.25). Assumindo que $f(t)$ representará uma aproximação do inverso do pulso $w(t)$, temos:

$$f(t) \approx \text{Inv}[w(t)] \quad (3.12)$$

$$f(t) * \text{Inv}[w(t)] \approx \delta(t) = \begin{cases} 0, & \text{se } t \neq 0 \\ 1, & \text{se } t = 0 \end{cases} \quad (3.13)$$

Aplicando o filtro inverso aproximado $f(t)$ ao traço sísmico:

$$\begin{aligned} s(t) &= w(t) * r(t) + \eta(t) \\ f(t) * s(t) &= f(t) * w(t) * r(t) + f(t) * \eta(t) \\ f(t) * s(t) &= \delta(t) * r(t) + f(t) * \eta(t) \end{aligned} \quad (3.14)$$

Desprezando-se a componente de ruído $\eta(t)$, a deconvolução restitui a função refletividade.

$$f(t) * s(t) = \delta(t) * r(t)$$

$$f(t) * s(t) = r(t) \quad (3.15)$$

Segundo Yilmaz (2008), quando a forma do pulso emitido pela fonte é conhecida, a solução da deconvolução é denominada determinística. Seu desempenho depende do comprimento do operador (ou filtro) e que a forma do pulso emitido pela fonte seja de fase mínima. Contudo, geralmente, a forma da fonte é desconhecida, sendo a sua solução estatisticamente calculada através da teoria de predição de Wiener. Esta teoria estima a partir da resolução do algoritmo de Wiener-Levinson um filtro denominado operador de erro de predição.

A deconvolução do pulso no *SeisSpace* é feita a partir de duas etapas:

- Construção das janelas de deconvolução, neste caso, denominadas *Decon_Win* para o cálculo da autocorrelação dos traços, e como resultado, o filtro de Wiener-Levinson. ;
- Aplicação da deconvolução do pulso no dado utilizando o módulo *Surface Consistent Decon*.

3.9.2.1 Construção das janelas de deconvolução

Criadas no domínio do ponto de tiro, estas janelas tem o intuito de exemplificar todas as premissas descritas anteriormente por Yilmaz (2008). Elas garantem principalmente a “estacionariedade” da onda emitida pela fonte, ou seja, não houve nenhum tipo de efeito de atenuação sobre essas. Deste modo, a forma e o conteúdo de frequência não variam com o tempo.

Dentro das janelas, denominadas *decon_win* (Figura 3.26), o cálculo da autocorrelação dos traços é realizado com a finalidade de encontrar o filtro inverso de Wiener-Levinson.

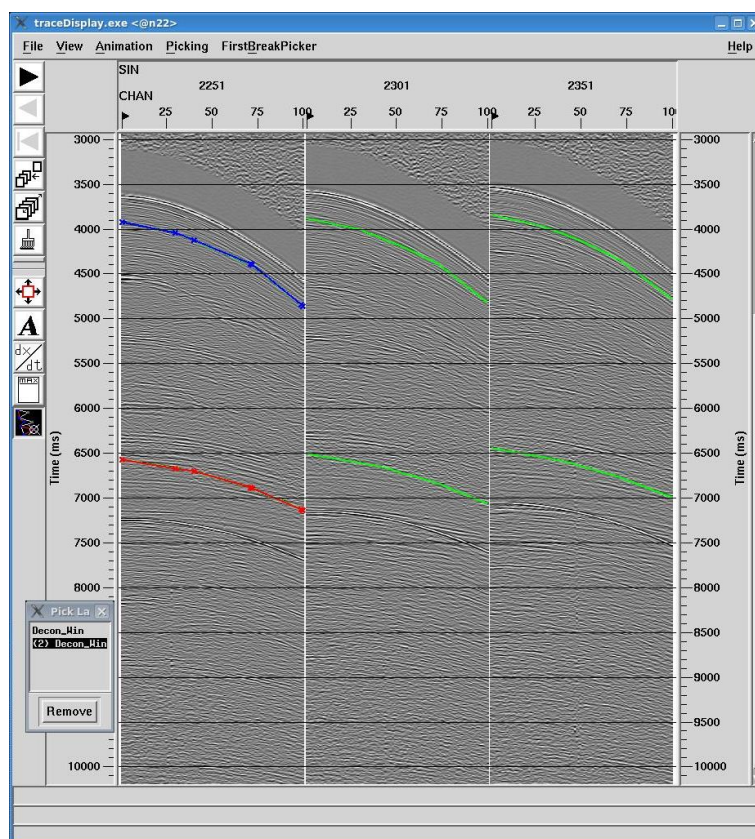


Figura 3.26 Janelas de deconvolução.

3.9.2.2 Aplicação da deconvolução do pulso no dado

Para a aplicação da deconvolução do pulso no dado de entrada é necessário ajustar alguns parâmetros associados com as janelas de deconvolução contruídas anteriormente dentro do módulo *Surface Consistent Decon*. São eles: o tamanho do operador em milisegundos (ms) e o tipo da deconvolução a ser utilizada (*Spiking* ou *Predictive*). Neste caso, foi escolhida a deconvolução *Spiking* com um operador de tamanho de 280 ms. Incluiu-se neste processo o mesmo filtro passa-banda (8-20-80-100 Hz) e atenuador de possíveis *spikes* utilizado durante a etapa de edição automática (Figura 3.27). O resultado desta etapa está exposto na Figura 3.28.

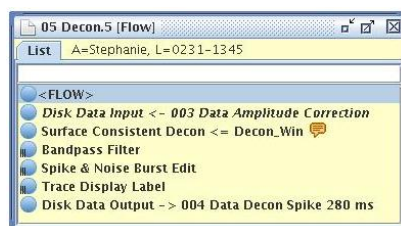


Figura 3.27 Fluxo da deconvolução.

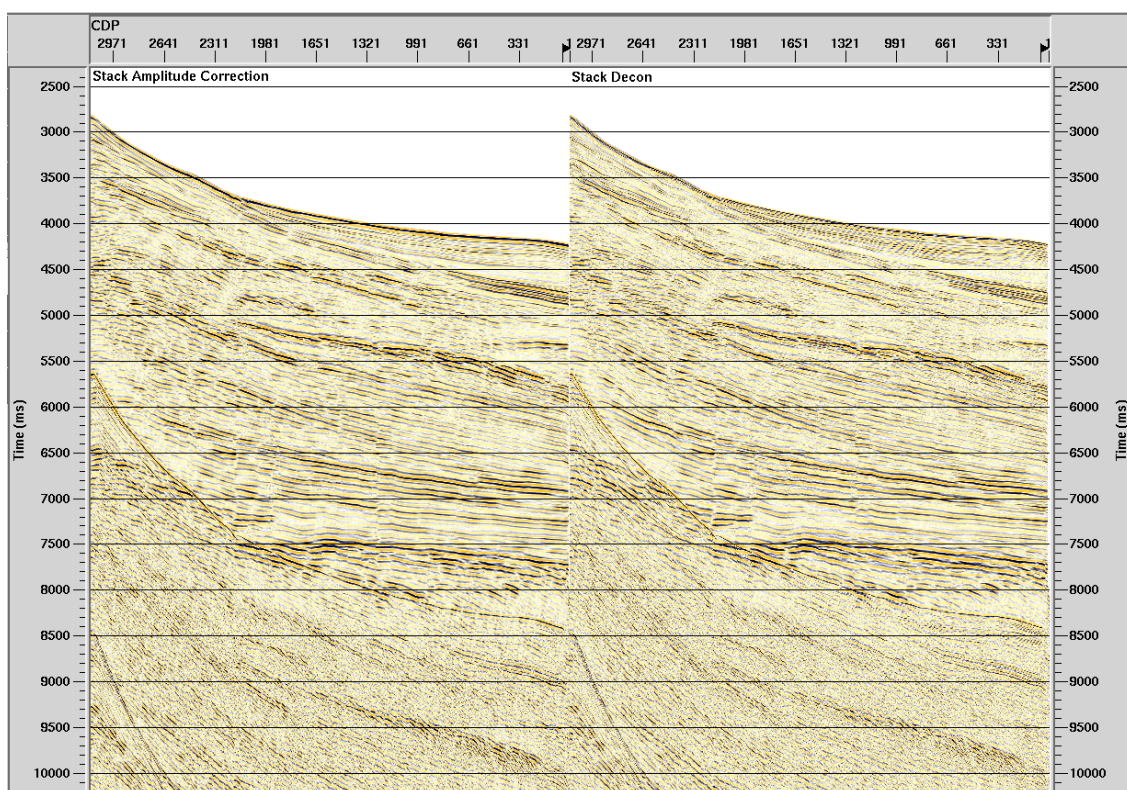


Figura 3.28 Etapa de deconvolução na linha 0231-1345.

Deve-se sempre manter em mente que ao utilizarmos a deconvolução há grande possibilidade de perda de informação, assim como na utilização de qualquer outro tipo de filtro. Geralmente, quando se utiliza filtros de frequência temporal melhora-se a razão sinal/ruído, como contrapartida pode haver perdas na resolução vertical. O contrário ocorre na deconvolução. Segundo Abreu (2005), na tentativa de melhorar a resolução vertical deve-se tomar cuidado para que não haja uma piora na razão sinal/ruído, uma vez que esta pode ampliar o espectro de frequências de ruídos.

Na Figura 3.29, observa-se o espectro de frequência antes e depois da aplicação da etapa de deconvolução.

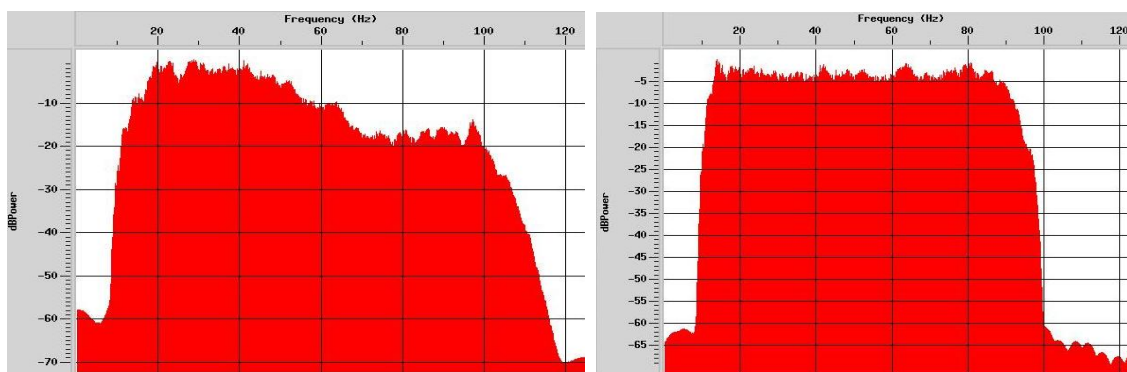


Figura 3.29 Espectro de frequência no FFID 2660 após a deconvolução.

CAPÍTULO 4 Métodos de Atenuação de Múltiplas

4.1 Ruídos

A maioria dos *softwares* avançados em uso atualmente oferece excelentes ferramentas para o processamento de dados sísmicos, mas mesmo assim o ruído ainda permanece. De um modo simplista, o ruído é considerado tudo aquilo que não é desejado dentro do dado sísmico (Moldoveanu-Constantinescu, 2006).

De acordo com Gadallah & Fisher (2009), esta energia de interferência pode causar aparentes mudanças nas reflexões em tempo (supostas falhas), frequência (hipotética mudança de estratificação), amplitude (aparente mudança do coeficiente de reflexão), ou fase (anomalia estratigráfica ou estrutural).

O ruído pode ser separado em:

- *Ruído incoerente* ou *aleatório* – como sugerido pelo nome, é a energia que não apresenta qualquer regularidade entre um traço e outro, ou seja, a fase do sinal sísmico não é consistente;
- *Ruído coerente* – possui um padrão similar entre um traço e outro. É possível prever como será a sua aparência no próximo traço baseado na forma em que ele se apresenta nos traços anteriores. Exemplos: *Ground roll*, múltiplas, reverberações, *ghosts*.

O conhecimento do comportamento das múltiplas é de extrema necessidade, uma vez que atenuá-las do sinal sísmico é o principal objetivo deste trabalho.

4.1.1 Múltiplas

Reflexões múltiplas são comuns em aquisições de dados sísmicos, tanto terrestres quanto marinhos, sendo que para este última, sua influência é mais acentuada (Moldoveanu-Constantinescu, 2006). Comumente, as reflexões múltiplas emergem de uma interface com contraste de impedância muito forte tal como a superfície livre e o fundo marinho (Yilmaz, 2008). Existem dezenas de tipos de reflexões múltiplas, a Figura 4.1 mostra diagramas de diferentes trajetórias de raios para algumas múltiplas. Os vários tipos de múltiplas em dados marinhos são melhores visualizadas usando diferentes domínios – tiro, *offset*, *CMP*.

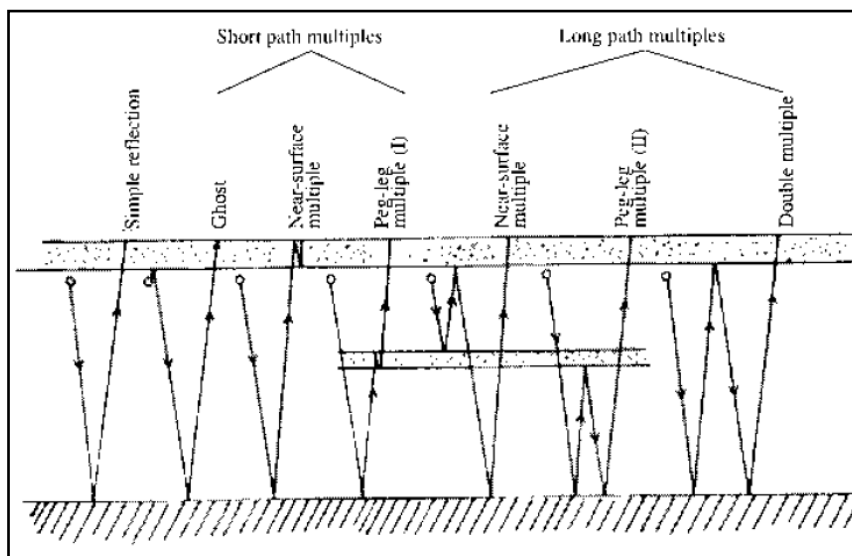


Figura 4.1 Diagramas de diferentes trajetórias de raios sísmicos associados aos vários tipos de múltiplas e primárias. Fonte: Moldoveanu-Constantinescu, 2006.

4.2 Técnicas de Atenuação de Múltiplas

Segundo Kelamis & Verschuur (2000), existem diversas técnicas para a atenuação das reflexões múltiplas. Em geral, estes métodos de atenuação podem ser classificados como pertencentes a duas categorias maiores:

- Aquelas que exploram a diferença de uma característica específica (ou propriedade) entre as reflexões primárias e as múltiplas, e
- Aquelas que predizem e então subtraem a energia da múltipla do dado sísmico de entrada.

Na primeira abordagem, tais características podem ser a periodicidade das múltiplas, ou a diferença de sobretempo entre as reflexões primárias e as múltiplas. O dado de entrada é normalmente transformado para um novo domínio onde é mais fácil discriminar as diferentes características, e algoritmos de filtragem podem ser aplicados (Moldoveanu-Constantinescu, 2006). Dentro desta categoria, se encaixam as técnicas de deconvolução preditiva, filtragem no domínio $f-k$ e Radon ($\tau-p$), e métodos estatísticos para a atenuação das múltiplas.

A outra categoria é baseada na previsão das múltiplas utilizando a modelagem e/ou técnicas de inversão. Após a predição das múltiplas, estas são subtraídas do dado de entrada obtendo uma seção livre de múltiplas (Moldoveanu-Constantinescu, 2006).

Presentes nesta categoria encontramos as técnicas denominadas *SRME* (*Surface Related Multiple Elimination*) e *WEMA* (*Wave Equation Multiple Attenuation*).

Cada método para atenuação de múltiplas possui vantagens e desvantagens. Deste modo, eles são atrelados uns aos outros. O *SeisSpace* disponibiliza diversos módulos: *Radon Filter*, *SRME Adaptive Subtraction*, *FK Multiple Attenuation*. Desta forma, a ideia deste trabalho é aplicar diferentes ferramentas que o *software* disponibiliza para a atenuação das múltiplas.

As reflexões múltiplas podem mascarar informações ou mesmo tornar os registros menos confiáveis, dificultando, por exemplo, a análise de velocidade. Por esta razão, uma nova análise de velocidade será realizada após a atenuação das mesmas.

4.2.1 Filtragem *SRME*

O *SRME* (*Surface-Related Multiple Elimination*) remove todas as múltiplas relacionadas a uma superfície utilizando um processo que se baseia somente no dado de entrada.

Segundo Verschuur (2009), cada reflexão é na sua essência uma reflexão primária. Se pudéssemos criar a devida combinação de duas ondas primárias, uma múltipla relacionada a uma superfície poderia ser construída através do nosso dado sísmico. Isso é quantificado selecionando uma família de tiro comum (um tiro, muitos receptores) e as medidas de uma família de receptor comum (um receptor, muitos tiros) combinando eles através de um processo de convolução. Quando adicionando todos estes produtos de convolução a teoria das ondas nos indica que a reflexão múltipla final irá ressaltar esta seção empilhada e outras contribuições serão canceladas. Este processo de empilhamento é denominado de empilhamento Fresnel.

Este método de predição é um processo iterativo. A predição da múltipla relacionada a uma superfície é dada por:

$$M^{(n)}(\omega, x_r, x_s) = \sum_{x_k} P_0^{(n-1)}(\omega, x_r, x_s) \cdot P(\omega, x_r, x_s), \quad (4.1)$$

onde:

$P(\omega, x_r, x_s)$ – é o dado sísmico real medido no receptor x_r e fonte x_s no domínio da frequência;

$P_0^{(n)}(\omega, x_r, x_s)$ – é a estimativa do dado primário após n iterações;

$M^{(n)}(\omega, x_r, x_s)$ – são as múltiplas preditas para a interação n .

Em cada iteração, as múltiplas previstas são combinadas com as verdadeiras múltiplas. Neste instante, utiliza-se um filtro $F(\omega)$:

$$P_0^{(n)}(\omega, x_r, x_s) = P(\omega, x_r, x_s) - F(\omega) \cdot M^{(n)}(\omega, x_r, x_s) \quad (4.2)$$

Desta forma, as múltiplas relacionadas a uma superfície podem ser previstas e subtraídas utilizando o próprio dado como um operador multicanal de predição.

Para fazer utilização desta técnica, o *SeisSpace* disponibiliza diversos módulos com diferentes propósitos. São eles: o *SRME Regularization*, o *SRME Macro*, o *SRME Un-Regularization*, o *SRME Match Filter* e o *SRME Adaptive Subtraction*. Porém, a *priori* é necessária a interpretação da velocidade das múltiplas (Figura 4.2).

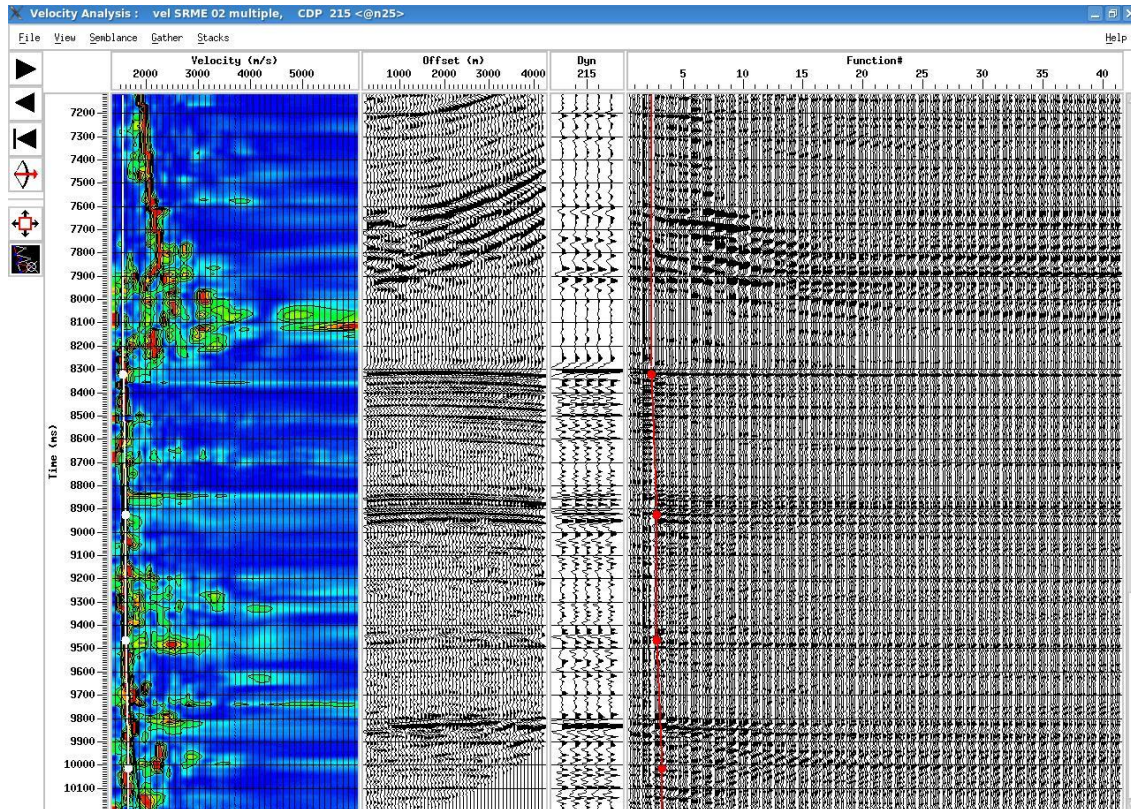


Figura 4.2 Análise de velocidade das múltiplas.

A função do módulo *SRME Regularization* é regularizar os sismogramas com traços igualmente espaçados, ou seja, obter um *grid* de fontes e receptores constantes. Para tanto, o módulo extrapola os *offsets* curtos não existentes e *offsets* intermediários não existentes. O módulo seguinte, *SRME Macro*, utiliza a tabela de velocidade das múltiplas para predizê-las. A predição se baseia na observação de que qualquer múltipla relacionada a superfície pode ser predita através de convoluções temporal e espacial do campo de onda medido com ele mesmo. Assim, o dado de saída contém somente as

múltiplas previstas em todos os sismogramas. O módulo *SRME Un-Regularization* permite a volta do dado das múltiplas previstas à configuração original, sem os traços extras, a partir da desregularização dos sismogramas. Contudo, este dado de saída ainda possui pequenas diferenças em relação ao dado original cujas múltiplas ainda estão presentes. Desta forma, utiliza-se o módulo *SRME Match Filter* para corrigir estas diferenças em relação a amplitude, fase e frequência em cada sismograma do dado. Finalmente, o módulo *SRME Adaptive Subtraction* possui a função de subtrair criteriosamente as múltiplas estimadas do dado sísmico original, usando o critério de energia mínima, na qual se espera que depois da subtração das múltiplas a energia total do sismograma seja minimizada (Long *et al.*, 2005; Xavier *et al.*, 2010). A Figura 4.3 exemplifica o fluxo para a aplicação deste método.

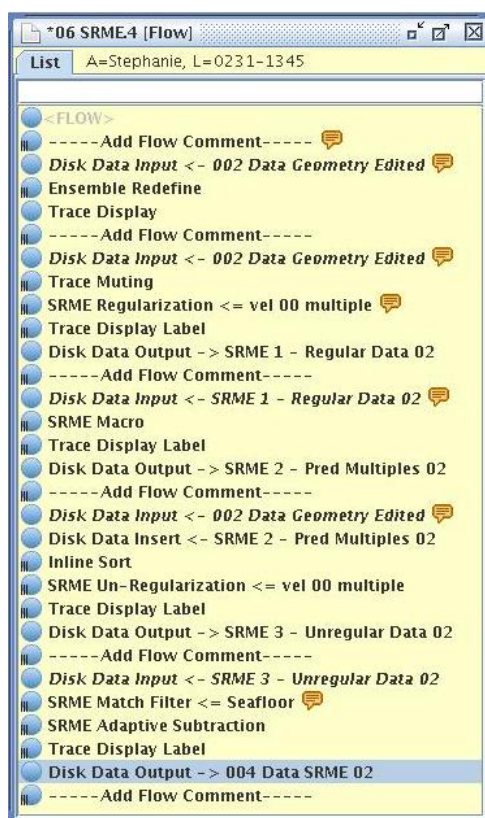


Figura 4.3 Fluxo do processo *Surface-Related Multiple Elimination (SRME)*.

A Figura 4.4 mostra à esquerda que as múltiplas começam a aparecer em torno de 5500 ms na seção empilhada da linha 0231-1345. Na seção sísmica à direita, as múltiplas começam a aparecer enfraquecidas após a etapa de *SRME* no dado bruto (sem correção de amplitude e deconvolução).

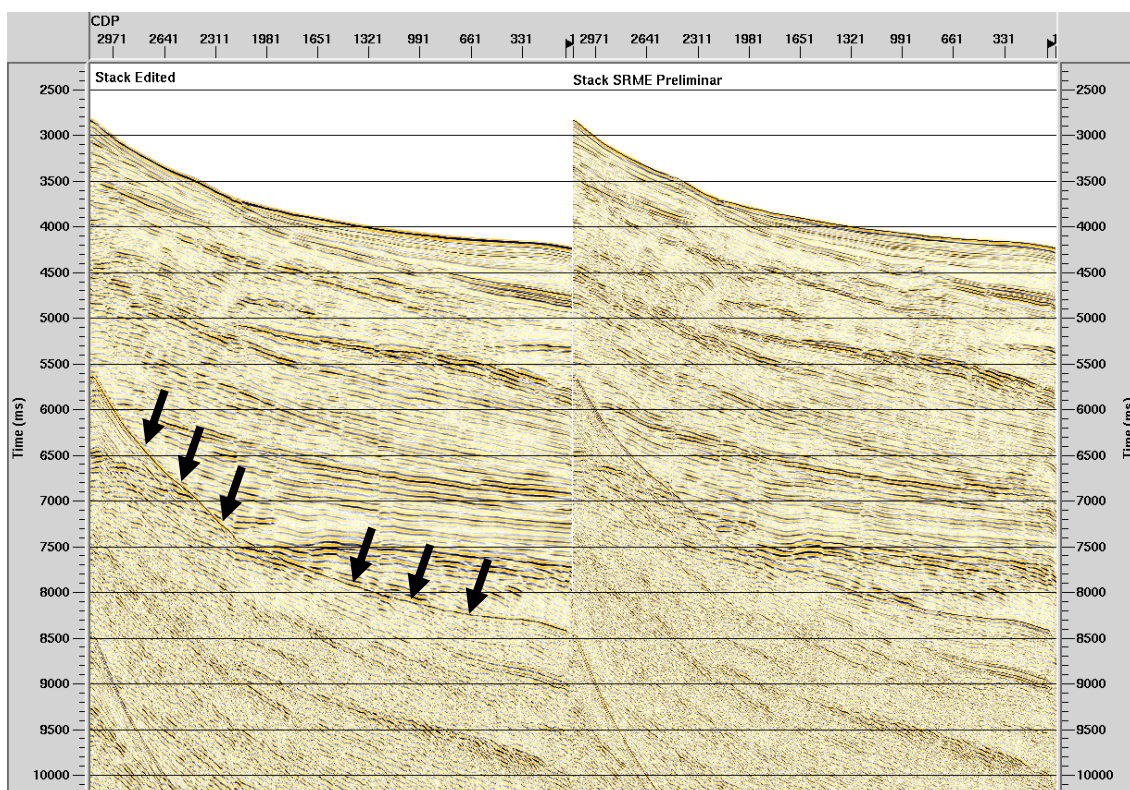


Figura 4.4 Aplicação da técnica *SRME*.

A técnica *SRME* não é completamente satisfatória. Nota-se que somente com a filtragem *SRME*, as múltiplas não são totalmente atenuadas. Desta forma, é necessária a implementação desta ferramenta com outras técnicas de supressão de múltiplas. Esta prática é muito comum em diversas empresas de processamento sísmico.

4.2.2 Filtragem Radon

A transformada Radon é uma técnica aplicada com sucesso na supressão de múltiplas, bem como outras aplicações. Este tipo de filtragem se utiliza da transformada τ - p para representar separadamente os eventos primários dos múltiplos, uma vez que no domínio t - x (*tempo-duplo x offset*) os eventos são mais próximos e complexos.

A transformada Radon pode ser executada em três diferentes formas: Linear, Parabólica ou Hiperbólica. Como em qualquer técnica, há vantagens e desvantagens. A Transformada Radon Linear, também conhecida como *Slant-Stack*, pode ser utilizada para atenuar o *ground roll* ou qualquer outro tipo de ruído coerente. As transformadas Radon Parabólica e Hiperbólica são muitas vezes utilizadas para a eliminação de múltiplas. A forma parabólica da transformada Radon é utilizada na supressão de

múltiplas que possuem a forma aproximada de parábola após a correção *NMO*. Uma forma aproximadamente hiperbólica também pode ser usada. Esta aproximação hiperbólica é mais precisa quando o *offset* é igual a profundidade, mas não é tão exata para eventos rasos como o método parabólico. As transformadas Radon linear e parabólica são invariantes no tempo, tornando possível a sua aplicação no domínio da frequência, acelerando assim o processo computacional, enquanto que a transformada Radon hiperbólica é variante no tempo, ou seja, é implementada somente no domínio do tempo. Contudo, a transformada Radon hiperbólica permite uma maior flexibilidade e acurácia no emprego da função base que melhor se aproxima das reflexões. Em alguns casos, a anisotropia, as geometrias de aquisição de amplo *offset*, *aliasing* (falseamento) espacial criado por estas transformadas podem dificultar o resultado da aplicação destas transformadas (Moldoveanu-Constantinescu, 2006).

Segundo Hampson (1986), a transformada Radon Linear converte o dado sísmico do domínio $t-x$ para o tempo de intercepção (τ) e vagarosidade (p), utilizando a seguinte equação:

$$S(\tau, p) = \int s(\tau + px, x) dx, \quad (4.3)$$

onde:

$\int s(\tau + px, x) dx = s(t, x) \rightarrow$ sismograma obtido com uma fonte pontual;

$x \rightarrow$ distância fonte-receptor.

Como foi mencionado anteriormente, a transformada Radon parabólica irá se valer da curvatura encontrada para a parábola, diferentemente da transformada Radon linear que se utiliza da vagarosidade.

No *SeisSpace*, o módulo *Interactive Radon/Tau-P Analysis* permite a criação de um filtro no domínio $\tau-p$. Para facilitar esta etapa, uma análise de velocidade é preliminarmente feita com o intuito de corrigir os eventos primários. Estes eventos são linearizados após a correção *NMO* e dispostos ao longo da reta de sobretempo (*moveout*) zero no domínio da transformada do Radon Parabólico. Neste domínio, os eventos múltiplos apresentam um sobretempo em relação aos eventos primários e, portanto, podem ser visualizados distintamente (Figura 4.5 e 4.6).

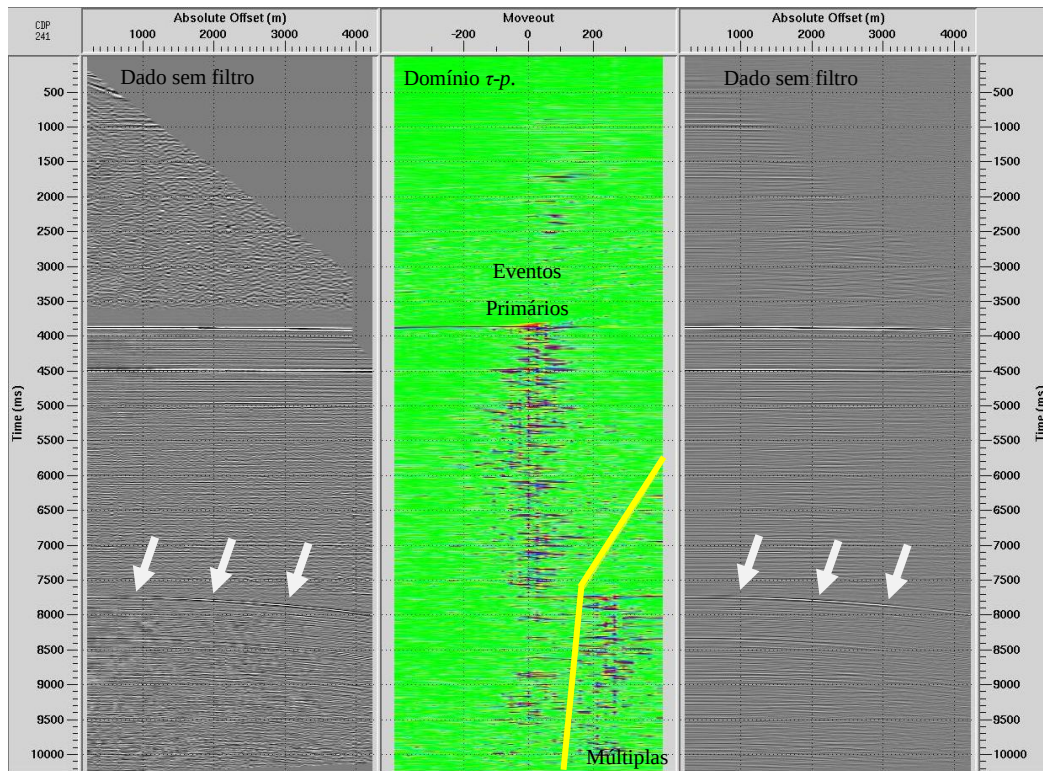


Figura 4.5 O sobretempo das múltiplas em relação aos eventos primários no domínio τ - p . Algumas múltiplas são apontadas por setas brancas.

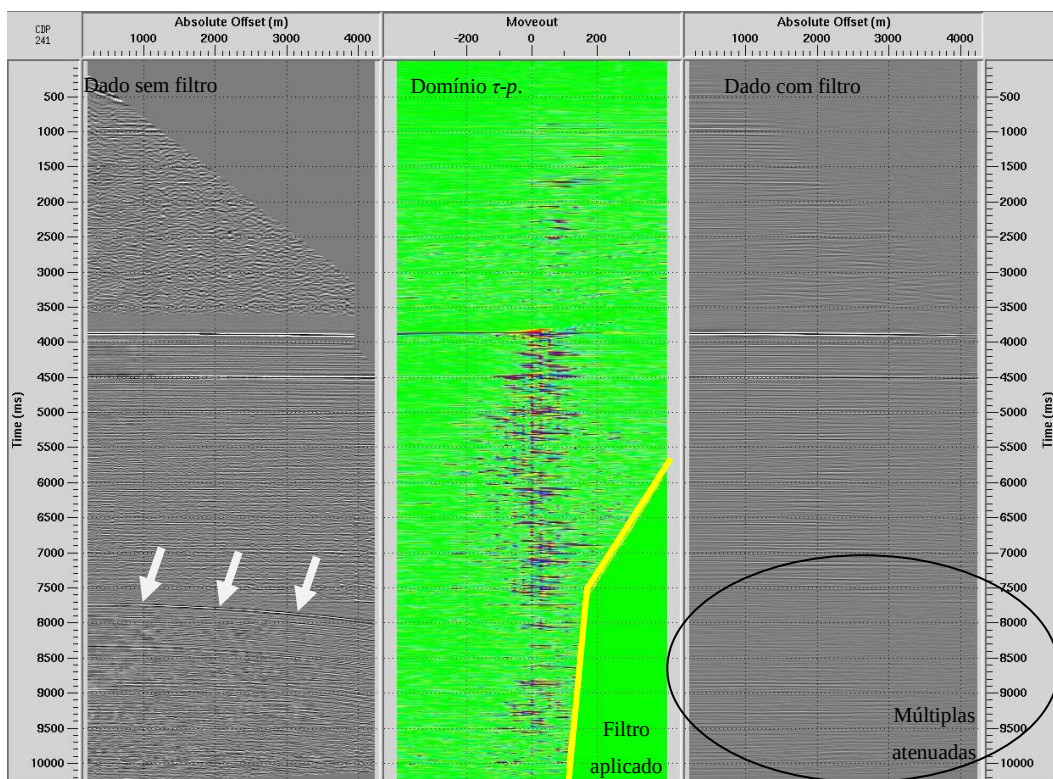


Figura 4.6 Aplicação do filtro construído devido ao sobretempo das múltiplas em relação aos eventos primários.

Após a construção do filtro (em amarelo) no módulo *Interactive Radon/Tau-P Analysis* (Figura 4.6), o módulo *Radon Filter* permite a aplicação do filtro no dado visualizado anteriormente. Aplica-se os mesmos módulos de *NMO* e *AGC* aplicados antes para a construção do filtro, filtra-se o dado com a múltipla, e retira-se o efeito de *AGC* e *NMO* aplicados antes. A Figura 4.7 exemplifica este fluxo de construção e aplicação do filtro.

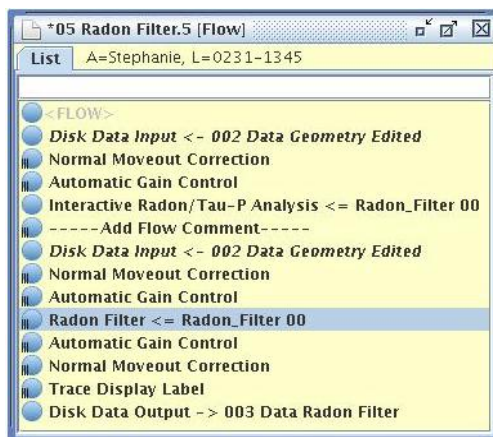


Figura 4.7 Fluxo de construção e aplicação do filtro no domínio τ - p .

O resultado da aplicação desta filtragem no dado proveniente somente da edição automática é observado na Figura 4.8.

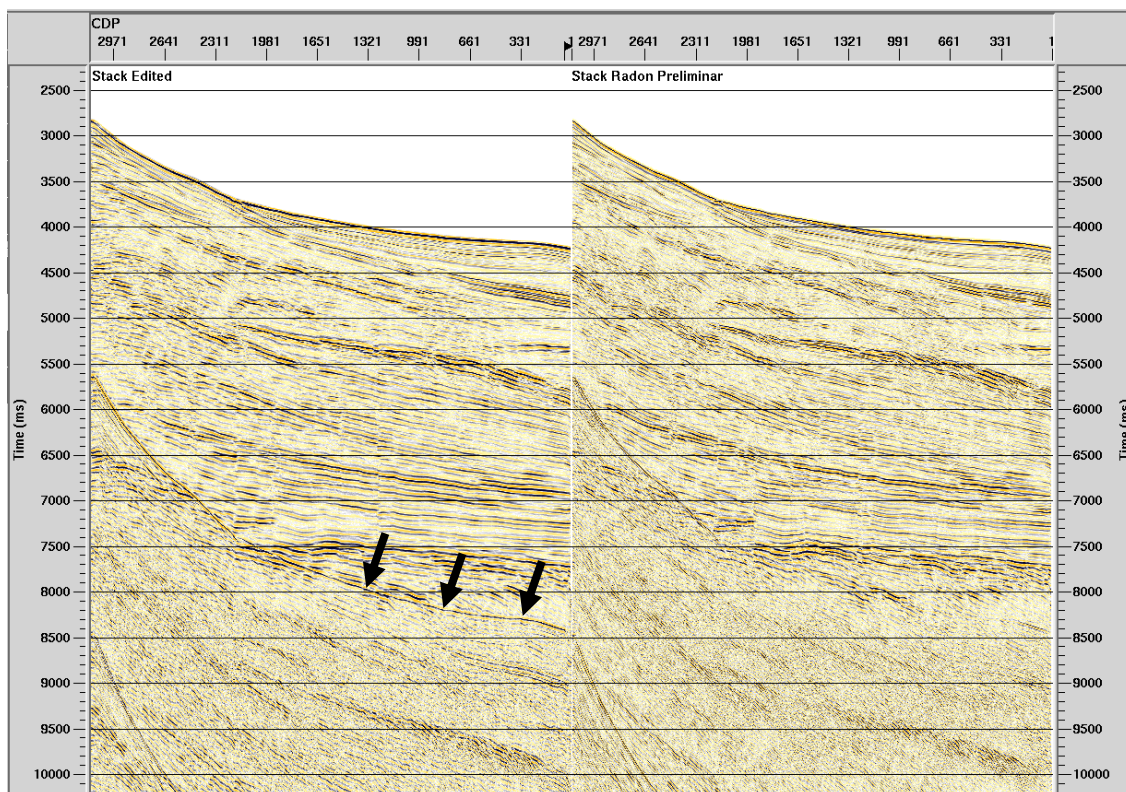


Figura 4.8 Filtragem Radon na seção sísmica 0231-1345.

Com o intuito de testar preliminarmente as técnicas de atenuação de múltiplas, optou-se por criar *stacks* sem algumas etapas iniciais do fluxo de processamento (correção de amplitude e deconvolução) somente objetivando observar o efeito de cada técnica.

Os resultados são observados nas Figuras 4.4 e 4.8. Porém, nota-se que as técnicas são complementares quando o teste une ambos os métodos (Figura 4.9).

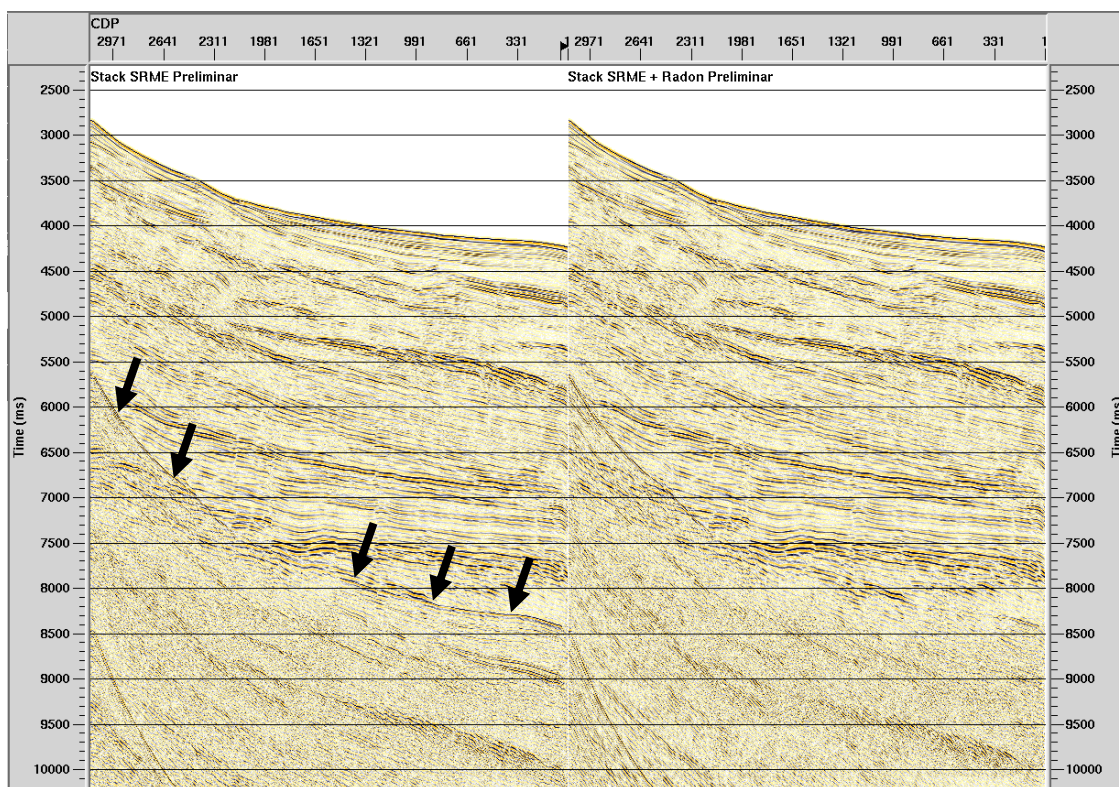


Figura 4.9 Resultado da técnica *SRME* associada a filtragem Radon.

CAPÍTULO 5 Etapas Finais do Processamento Sísmico

Nesta parte do fluxo de processamento, o enfoque será dado para as etapas finais do processamento sísmico. São elas: as análises de velocidade, a correção *NMO*, o empilhamento do dado e a migração.

5.1 Correção *Normal Moveout*

Em aquisições de dados sísmicos 2D marinhos, fontes e receptores na configuração tiro comum são movidos ao longo de uma linha reta. Feita a aquisição, o conjunto de dados pode ser reorganizado segundo a posição do *CMP*. A configuração do *CMP* é definida como sendo o ponto médio entre uma fonte e um receptor. Pares de fonte e receptor com a mesma posição de *CMP* são reunidos formando uma família de *CMPs*, como pode ser visto através da Figura 5.1.

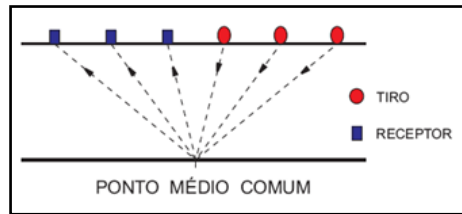


Figura 5.1 Família de *CMP*.

Para um meio horizontalmente estratificado com velocidade constante, uma geometria *CMP* compreende todos os raios que incidem no mesmo ponto refletor (Figura 5.1). Portanto, uma família *CMP* contém informação redundante de um mesmo ponto em subsuperfície. Esta é a base para o empilhamento *CMP*. Após prévia correção dos tempos de trânsito devido a diferença nos afastamentos, estas informações redundantes podem ser somadas construtivamente durante o empilhamento aumentando a razão sinal/ruído. Esta correção é dada pela diferença entre t_0 (tempo-duplo de trânsito para um afastamento nulo) e t (tempo-duplo para um afastamento x):

$$\Delta t_{nmo} = t - t_0 \quad (5.1)$$

O tempo-duplo de trânsito $t(x)$ da onda em função do espaçamento fonte e receptor (x) é dado por:

$$t = \sqrt{\frac{x^2}{v^2} + t_0^2}, \quad (5.2)$$

onde v é a velocidade do meio acima do refletor (Figura 5.2). Esta equação representa matematicamente uma hipérbole no plano *tempo-duplo x afastamento* (Yilmaz, 2008).

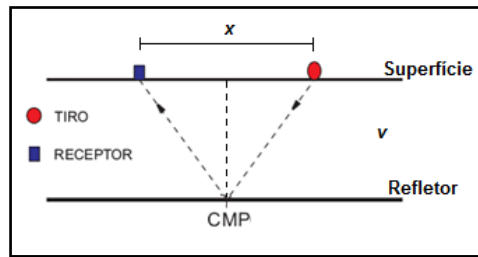


Figura 5.2 Percurso de um raio da família *CMP*.

Em outras palavras, o *normal moveout* implica em trazer os eventos de tempo de trânsito $t(x)$ para tempos de trânsito com um afastamento nulo (t_0).

$$\Delta t_{nmo} = \sqrt{\frac{x^2}{v^2} + t_0^2} - t_0, \quad (5.3)$$

A correção de *NMO* também conhecida como correção dinâmica para dados ordenados por *CMP* requer a determinação de um campo de velocidades (v_{nmo}). O próprio efeito de *NMO* é utilizado para determinar as velocidades de correção, através da análise de velocidade. Portanto, o procedimento é escolher qual a velocidade que melhor horizontaliza uma reflexão ou gera uma melhor coerência no espectro de velocidades. Essa estratégia é repetida para cada evento de interesse ao longo da seção sísmica, definindo um modelo de velocidades.

No caso da presença de múltiplas, o próprio *NMO* funciona como um filtro, já que esses eventos possuem velocidades relativamente baixas se comparadas com as velocidades das reflexões primárias que concorrem em tempo com a múltipla (Figura 5.3).

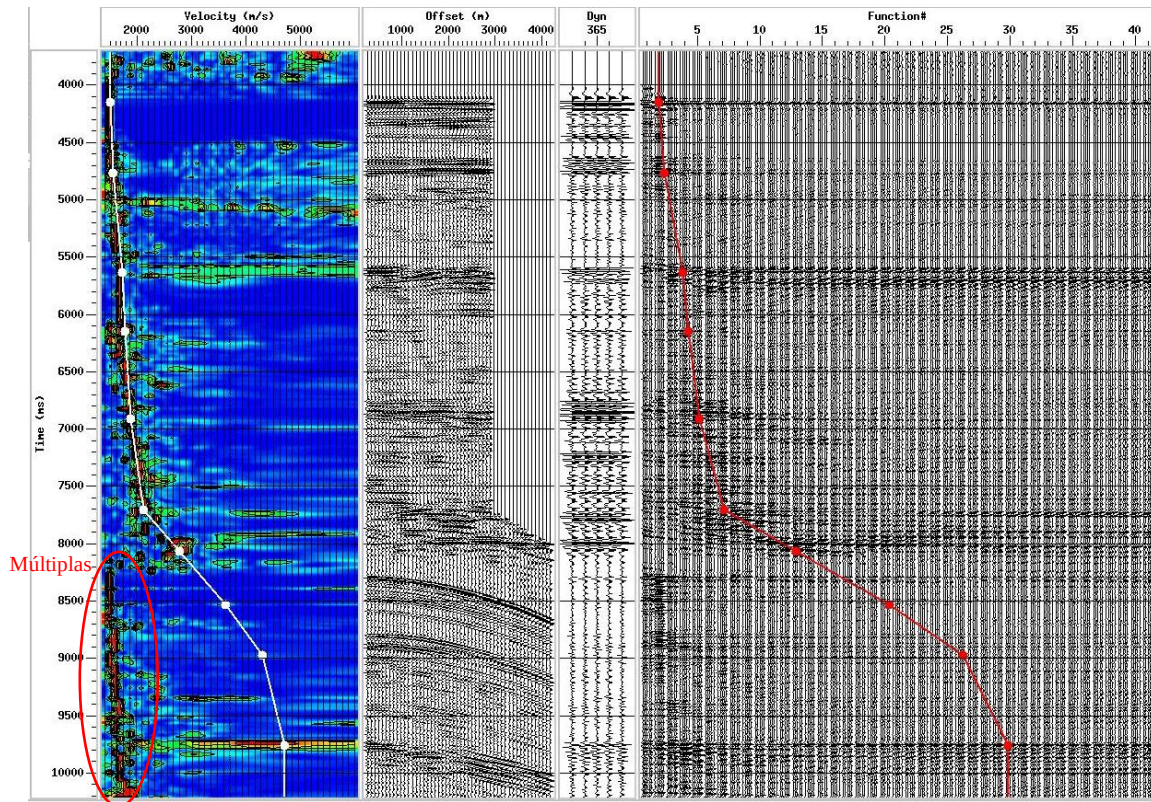


Figura 5.3 Análise de velocidade preliminar no *CDP* 365 da linha 0231-1345.

Após a definição de um modelo de velocidades, a correção de *NMO* pode ser aplicada a todos os traços dentro de uma *CMP*, resultando em um alinhamento dos dados no respectivo tempo de percurso de afastamento nulo t_0 . Assim, os eventos hiperbólicos associados aos refletores em subsuperfície são horizontalizados (Figura 5.4).

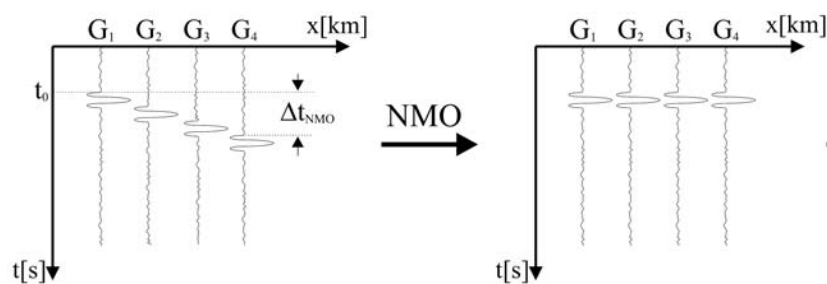


Figura 5.4 Aplicação da correção *NMO*. Fonte: Maciel, 2007.

Quando se aplica uma v_{nmo} maior que a velocidade do meio, o evento fica subcorrigido. O contrário também pode acontecer, ou seja, o evento fica sobrecorrigido quando uma velocidade menor é escolhida (Figura 5.5).

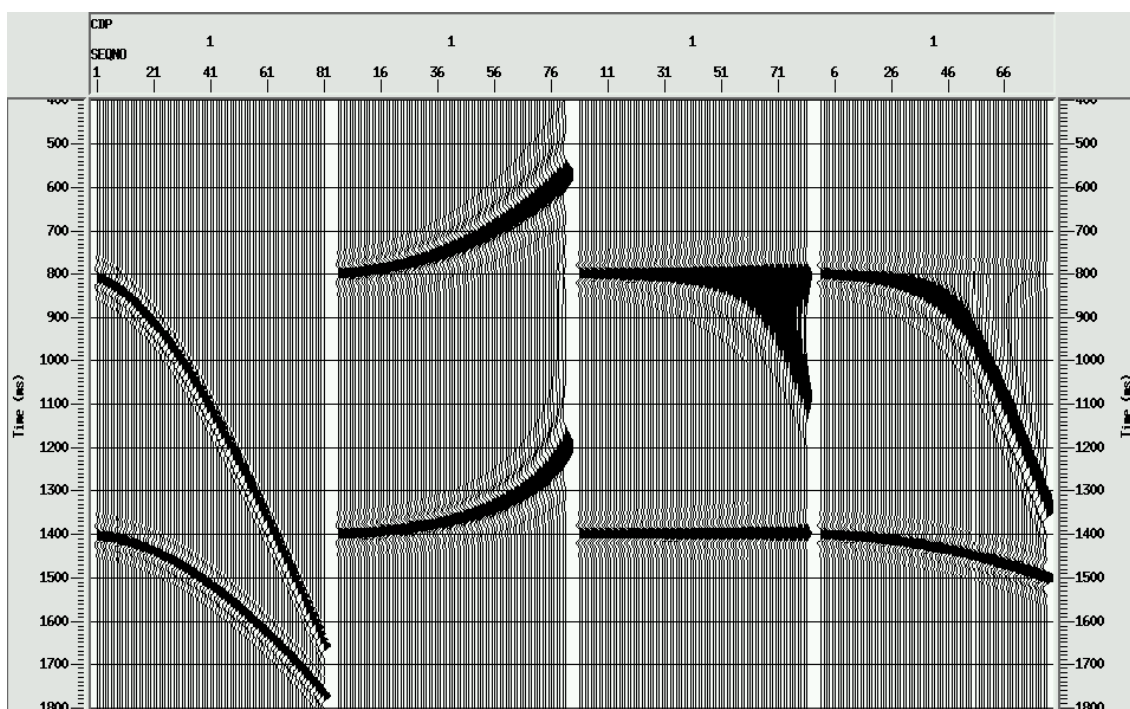


Figura 5.5 Correções NMO. CDP original (sem correção), CDP sobrecorrigido, CDP com velocidade ideal para a correção NMO e CDP subcorrigido. Fonte: Novaes, 2007.

Como consequência da correção NMO, nota-se uma distorção nos *offsets* mais distantes em tempos curtos. Esta distorção é conhecida por estiramento (*stretch*) do traço (Figura 5.6), e ela deve ser retirada para não comprometer a qualidade do CMP empilhado (Yilmaz, 2008).

O SeisSpace possui dentro do módulo *Normal Moveout Correction* o parâmetro *Stretch mute percentage* que ficou ajustado em 30 % para minimizar o efeito do estiramento do traço.

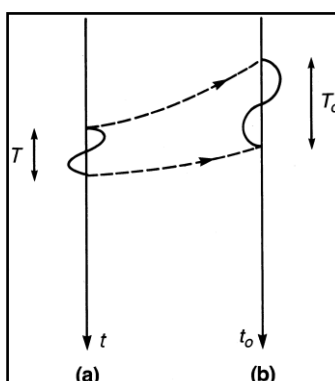


Figura 5.6 Um sinal (a) de período T com estiramento após a correção NMO (b) e fica com o período $T_0 > T$. Fonte: Yilmaz, 2008.

5.2 Análise de velocidade

O registro de dado sísmico a diferentes afastamentos fornece informação sobre a velocidade em subsuperfície. Segundo Silva (2004), a análise de velocidade tem como objetivo principal a definição das velocidades que melhor horizontalizam as hipérboles referentes as reflexões.

Existem diversos tipos de velocidade. A velocidade necessária para horizontalizar as hipérboles é a denominada velocidade *NMO* (vel_{nmo}). Para camadas horizontais, em *offsets* curtos a vel_{nmo} é aproximadamente igual ao valor da velocidade média quadrática (*root mean square* - vel_{rms}) da camada. A vel_{rms} é a melhor aproximação da velocidade intervalar (vel_{int}) que se consegue a partir do dado sísmico. Esta velocidade somente é acessível através do perfil sônico (Thomas, 2003). A velocidade intervalar é, portanto, a velocidade média em um intervalo da trajetória. E pode ser obtida através da fórmula de Dix:

$$v_{int}^2 = \frac{v_c^2 \cdot t_c - v_{c-1}^2 \cdot t_{c-1}}{t_c - t_{c-1}}, \quad (5.4)$$

onde v_c e v_{c-1} representam as vel_{rms} até a base e topo da camada c .

A velocidade de empilhamento (v_{stack}) será a velocidade que resultará na melhor seção empilhada após a correção *NMO*. Em vista disso, esta velocidade irá produzir o maior valor de amplitude dos eventos de reflexão durante o empilhamento dos traços.

Durante esta análise, o conhecimento geológico da bacia é primordial, uma vez que a cada ponto criado, deve-se ter em mente a litologia esperada para aquele intervalo de tempo. Portanto, não se deve tratar unicamente esta etapa por métodos matemáticos (Ávila, 2010).

5.2.1 Espectro de velocidade (*Semblance*)

De acordo com Silva (2004), a coerência traço a traço, ou similaridade traço a traço, é a condição necessária para o reconhecimento de qualquer evento. Uma maneira de quantificar a coerência é através do *semblance* (Figura 5.7). Sua equação é:

$$Semblance = \frac{1}{K} \cdot \frac{\sum_{i=1}^L \left[\sum_{j=1}^K a_{ij} \right]^2}{\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^K a_{ij}^2} \quad (5.5)$$

Onde, $0 \leq semblance \leq 1$

K – número de traços do *CDP* corrigidos com *NMO*

L – número de amostras (temporal) dentro da janela

a_{ij} – valor da amplitude no i -ésimo traço no tempo $t(j)$.

O resultado do *semblance* corresponde a um espectro de velocidade que pode ser representado em código de cores dentro de curvas de contorno, de acordo com a energia da coerência (Yilmaz, 2008).

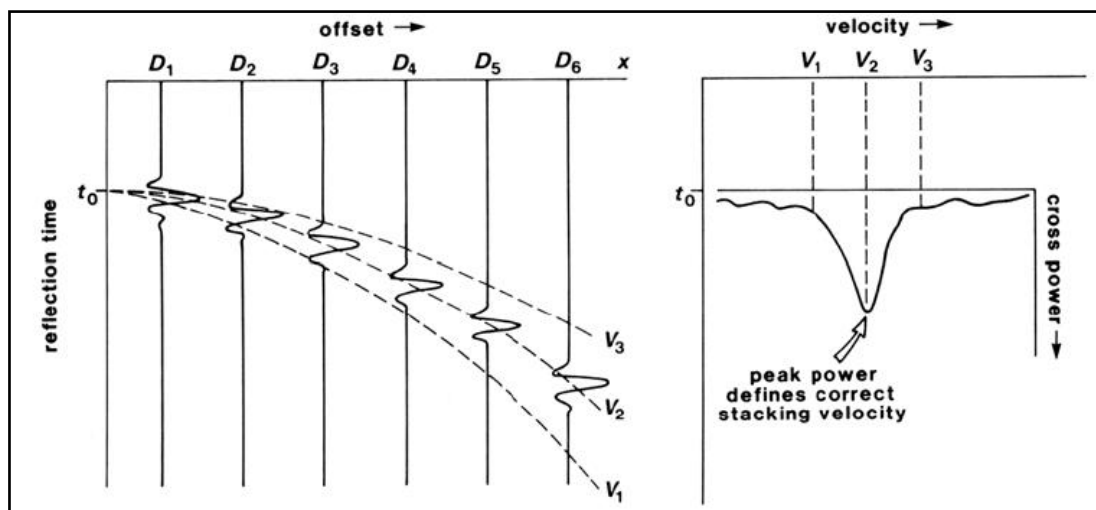


Figura 5.7 Espectro de velocidade obtido a partir da coerência das amplitudes. Fonte: Yilmaz, 2008.

A escolha dos pontos envolve a seleção de valores de velocidade em função do tempo num gráfico denominado espectro de velocidade, para ser utilizada em processos subsequentes. Quando realizada a análise de velocidade, erros na interpretação da velocidade podem ocorrer muitas vezes por falta de conhecimento da geologia local (Costa, 2007).

Segundo Yilmaz (2008), a qualidade da estimativa da velocidade pode ser afetada por diversos fatores:

- Comprimento do lanço (afastamentos máximo e mínimo);
- Grau de cobertura;
- Silenciamento;
- Comprimento das janelas de análise em tempo;
- O tipo de coerência empregada;
- Faixa de frequência dos dados;
- Conhecimento da geologia.

Para fazermos a análise de velocidade no *SeisSpace* utilizamos o módulo *Velocity Analysis*, onde a busca da melhor velocidade é realizada a partir da análise de coerência (*semblance*). Vários valores da velocidade são testados nos dados. O valor que apresenta maior coerência é escolhido como correto, como pode ser observado na Figura 5.8. Outro bom recurso é a combinação de ferramentas para melhor interpretar a velocidade. O *SeisSpace* permite colocar lado a lado o *semblance*, o *CDP* com ou sem correção *NMO*, um *supergather* e os empilhamentos de velocidade constante (*CVS*). Este último permite colocar lado a lado os empilhamentos produzidos por diferentes velocidades de empilhamento (v_{stack}).

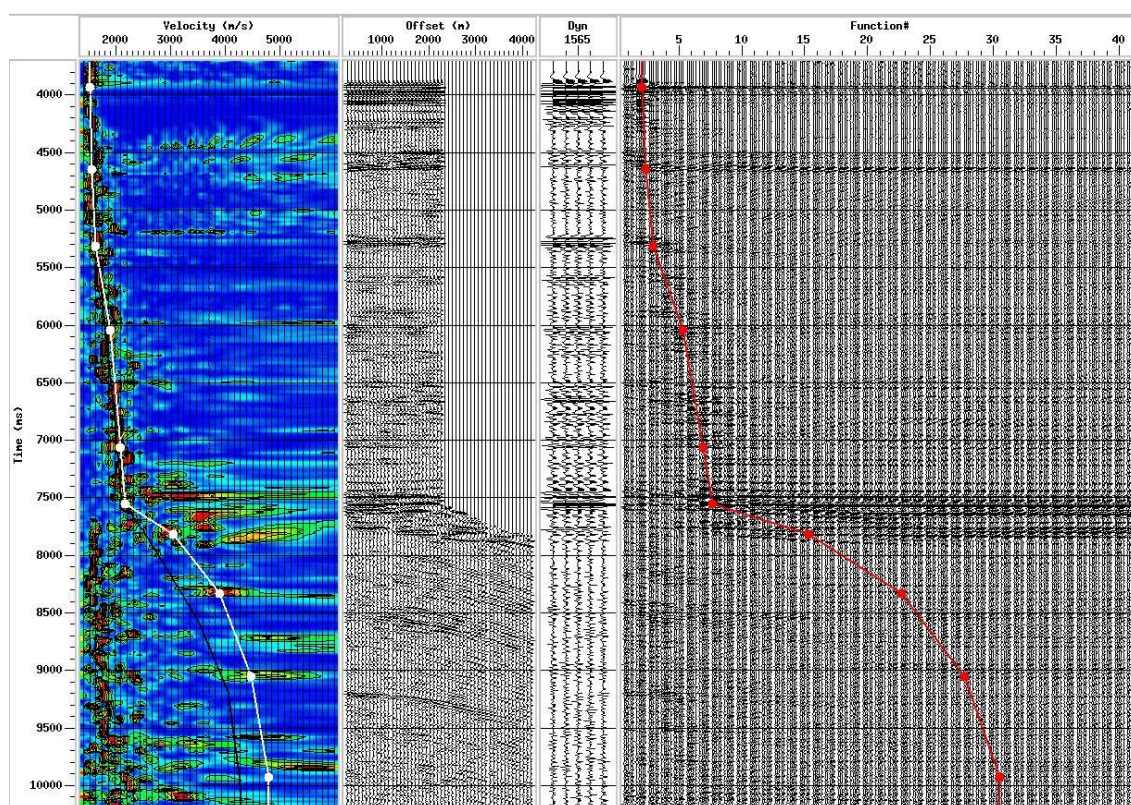


Figura 5.8 Espectro de velocidade (*semblance*), *CDP* com correção *NMO*, o *supergather* e os empilhamentos de velocidade constante (*CVS*) do *CDP* 1565 da linha 0231-1345.

A Figura 5.9 mostra o campo de velocidade *RMS* obtido da linha 0231-1345, a partir da interpolação linear dos resultados das análises de velocidade dos *CDPs* avaliados durante a escolha da velocidade preliminar. O módulo *Volume Viewer/Editor** é utilizado para construir tal campo.

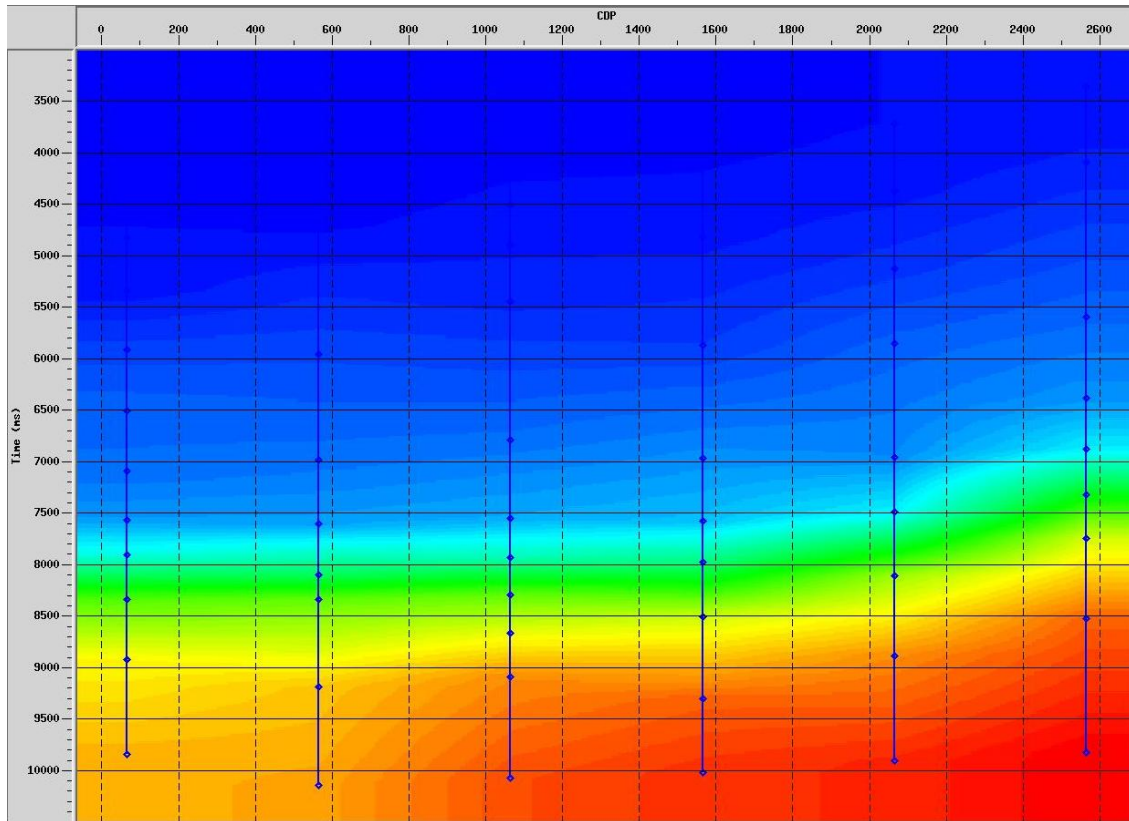


Figura 5.9 Campo de velocidade obtido a partir da interpolação dos resultados da análise de velocidade preliminar (*vel brute*).

5.3 Empilhamento

A equação para o empilhamento após a correção *NMO* é:

$$A(t) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^N a_i(t), \quad (5.6)$$

Onde:

$A(t)$ – amplitude do traço empilhado no tempo t ;

N – número de traços a empilhar;

$a_i(t)$ – valor da amplitude do traço i no tempo t .

Segundo Yilmaz (2008), a meta é unir os traços de um mesmo *CDP* após a normalização, a partir da média aritmética das amostras num determinado tempo. Assim, diminui-se a quantidade de informação e aumenta-se a razão sinal/ruído do dado, uma vez que pode suprimir significativamente o nível de ruído não correlacionável, bem como atenuar parte do ruído coerente (Figura 5.10).

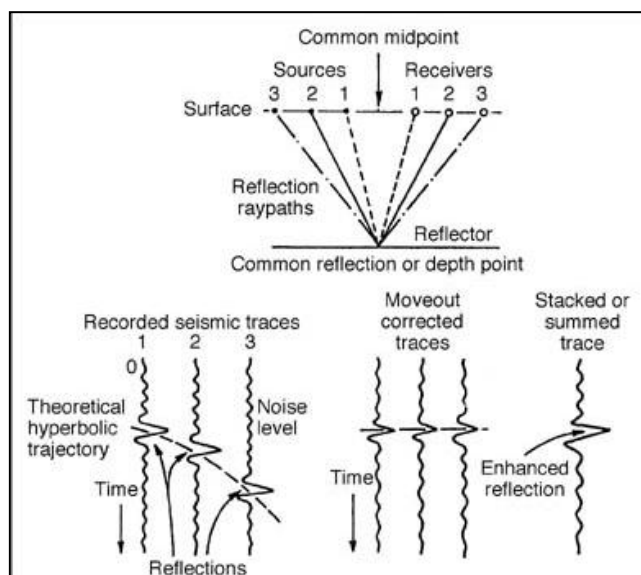


Figura 5.10 Diagrama do processo de empilhamento. Fonte: Ayres, 2007.

Como resultado do empilhamento, produz-se uma seção *zero-offset*, ou seja, uma seção onde cada *CDP* é representado pelo seu traço simulado de afastamento nulo utilizando o módulo *CDP/Ensemble Stack*, no *SeisSpace* (Figura 5.11).

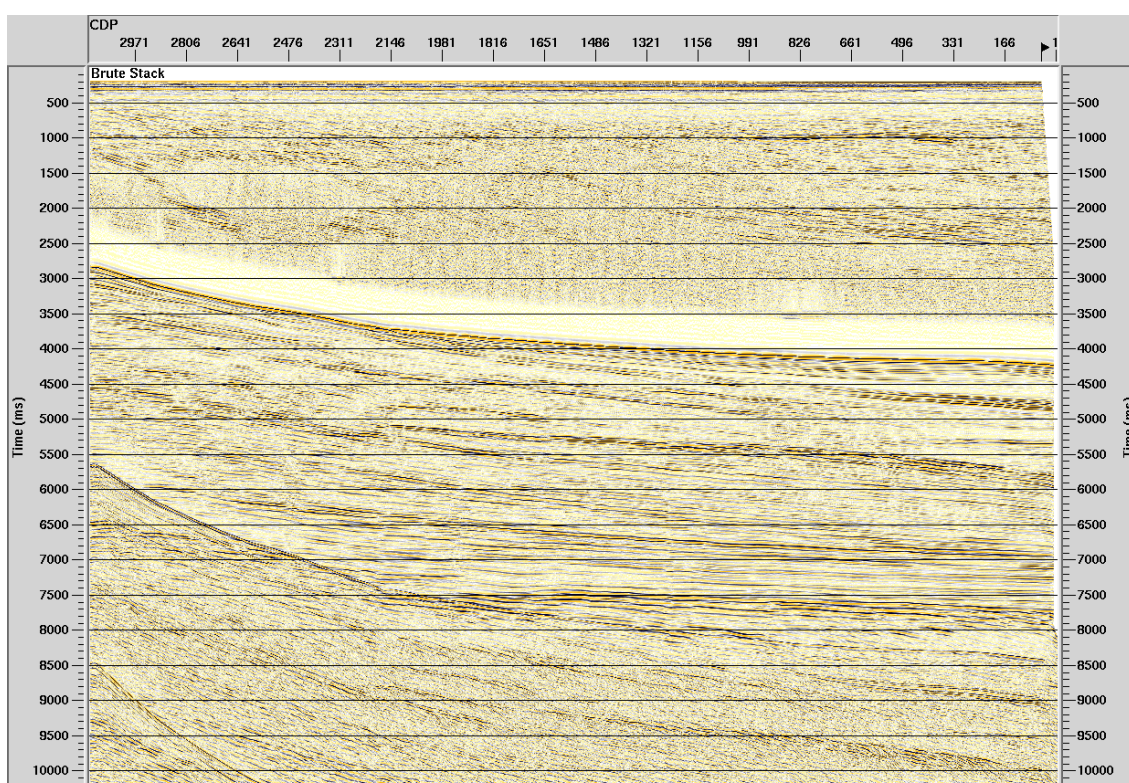


Figura 5.11 Seção bruta adquirida após a análise do campo de velocidade preliminar.

5.4 Migração

Assume-se que uma seção sísmica em tempo é uma representação da subsuperfície terrestre. Tal suposição estaria correta se todos os refletores fossem plano-paralelos e se as camadas tivessem velocidades lateralmente uniformes. Contudo, a subsuperfície terrestre também apresenta planos inclinados e velocidade lateral variante. Portanto, as reflexões destes planos de mergulho estarão incoerentemente posicionadas neste tipo de seção sísmica. Desta forma, isto irá acarretar em erros de posicionamento dentro de uma área com possível chance de prospecção de hidrocarbonetos (Gadallah & Fisher, 2009). Uma seção sísmica deve representar um modelo geológico. Portanto, corrigir o posicionamento dos planos de mergulho é a função desempenhada pela migração (Figura 5.12). A seção sísmica assim obtida será uma representação mais acurada da subsuperfície terrestre. Segundo Yilmaz (2008), a relação entre o mergulho real do refletor (α_{real}) e o da seção empilhada (α_{emp}) é dada por:

$$\tan \alpha_{emp} = 2 \cdot \frac{\sin \alpha_{real}}{v} \quad (5.7)$$

Onde:

v – velocidade do meio.

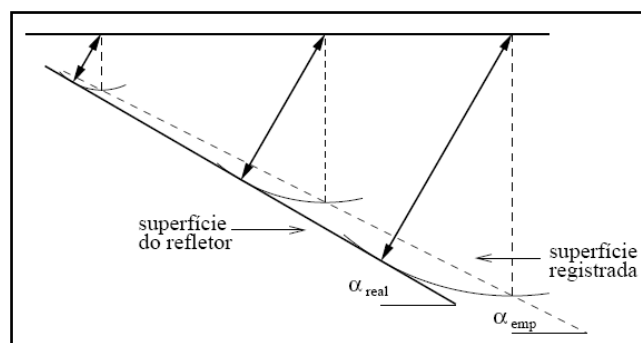


Figura 5.12 Migração de um refletor mergulhante. Fonte: Gamboa, 2007.

Com base na equação da onda, a migração sísmica corrige as distorções de registros de reflexões através do posicionamento dos eventos em suas verdadeiras posições espaciais e através do colapso da energia de difrações em seu ponto difrator (Vasconcellos, 2009). Desta forma, a migração também pode ser denominada como um método de focalização da energia sísmica.

Existem duas abordagens gerais para a migração: *post-stack* e *pre-stack*, sendo que em ambas o dado pode estar em tempo ou profundidade. A migração *post-stack* é empregada em seções empilhadas. Se ainda houver mergulhos conflitantes ou um

gradiente lateral de velocidade grande, uma migração *pre-stack* parcial é utilizada para resolver estes mergulhos (Gadallah & Fisher, 2009). Na Tabela 5.1 Chaouch (2010) descreve o motivo da utilização de alguns diferentes tipos de migração.

Tabela 5.1 – Tipos de migração.

Tipos de Migração	Motivos para a sua utilização
Migração em Tempo	Utilizada quando as seções empilhadas contêm difrações ou estruturas com mergulho. Válida somente quando a velocidade varia com a profundidade. Aceitável para pequenas variações laterais de velocidade.
Migração em Profundidade	Necessária quando as seções empilhadas possuem estruturas com mergulho e grande variação lateral de velocidade.
<i>Prestack Partial Migration</i> (ou <i>DMO</i>)	Útil quando as seções empilhadas possuem mergulhos conflitantes com diferentes velocidades de empilhamento ou grande variação lateral de velocidade.
<i>PSTM (Prestack Time Migration)</i>	É outra possível solução para mergulhos conflitantes. Requer um maior esforço computacional.

Fonte: Chaouch, 2010.

Dado que a migração é fortemente dependente do campo de velocidade utilizado (Novaes, 2007). Testes com diferentes campos de velocidade podem ser feitos para obter uma melhor seção migrada. Contudo, decidir sobre o melhor resultado obtido é sempre um trabalho subjetivo. Os testes devem ser bastante criteriosos, pois as migrações demandam bastante tempo e grande esforço computacional, consequentemente levando a um grande atraso no fluxograma de trabalho. A migração melhora a definição das feições dos refletores, mesmo sendo inevitáveis os efeitos de borda (Abreu, 2005). Estes efeitos ocorrem devido à redução da cobertura nos limites da área de aquisição e ao truncamento lateral da informação sísmica.

Diferentes algoritmos foram desenvolvidos para a aplicação da migração pré e pós-empilhamento. Segundo Gadallah & Fisher (2009), existem duas aproximações básicas na migração *post-stack*: a soma hiperbólica e a continuação descendente (*downward*). O algoritmo Kichhoff se utiliza da primeira, enquanto que os algoritmos por Diferenças-finitas, Stolt e *Phase-Shift* utilizam-se da aproximação de continuação descendente. No presente trabalho, a migração Kirchhoff foi o algoritmo aplicado.

5.4.1 Migração Kirchhoff

Este método de migração dos dados de reflexão sísmica é baseado na solução integral da equação da onda (Oliveira, L.B., 2009). É também conhecido como método da soma, pois a geração de cada ponto migrado se resume no somatório das amplitudes ao longo do caminho hiperbólico correspondente ao ponto difrator (Duarte, 2003).

A vantagem deste método é o seu bom desempenho em caso de estruturas extremamente inclinadas. Porém, não é um método adequado para um sinal de entrada com baixa razão sinal-ruído.

No *SeisSpace* o módulo *Kirchhoff Time Mig* está relacionado a aplicação da técnica de migração Kirchhoff em tempo, pós-empilhamento (Figura 5.13). Esta migração requer: um campo de velocidade *RMS* suavizado; o ângulo de migração, que neste caso, é equivalente ao ângulo máximo que se deseja recompor; a abertura do operador, que se relaciona com a distância máxima para qual a energia pode ser espalhada; etc.

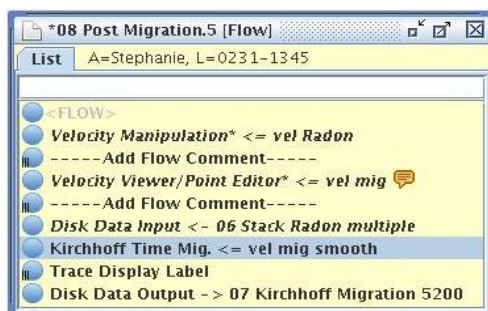


Figura 5.13 Fluxo da etapa de migração Kirchhoff.

5.5 Filtragem Final

Após a migração são aplicados alguns filtros finais com a finalidade de melhorar o imageamento e reduzir ainda mais os ruídos residuais. Os principais filtros que podem ser aplicados ao dado migrado são: *AGC* (*Automatic Gain Control*) e o Filtro Passa-banda.

5.5.1 AGC

Como a amplitude da onda acústica na Terra decai de modo inversamente proporcional à distância da fonte geradora, torna-se mais difícil a visualização das reflexões mais profundas devido a perda de energia da onda. Assim, para efeito apenas de visualização, torna-se necessária a aplicação de uma correção na amplitude dos traços ao longo do tempo. O método utilizado é chamado de Controle Automático de Ganho (AGC) e consiste, resumidamente, em aplicar um tipo de média móvel quadrática em torno do ponto que se deseja corrigir (Yilmaz, 2008).

Para isso, pode-se utilizar o módulo *Automatic Gain Control* do *SeisSpace*.

CAPÍTULO 6 Resultados Obtidos

6.1 Fluxo Básico de Processamento

A partir da explanação feita nos capítulos anteriores com respeito ao processamento e considerando também a geologia da Bacia de Pelotas, pode-se construir o fluxo de processamento proposto na Figura 6.1. Deve-se levar em consideração que não existe um fluxo-padrão, com as etapas a serem consideradas durante o processamento sísmico (Silva, 2004).

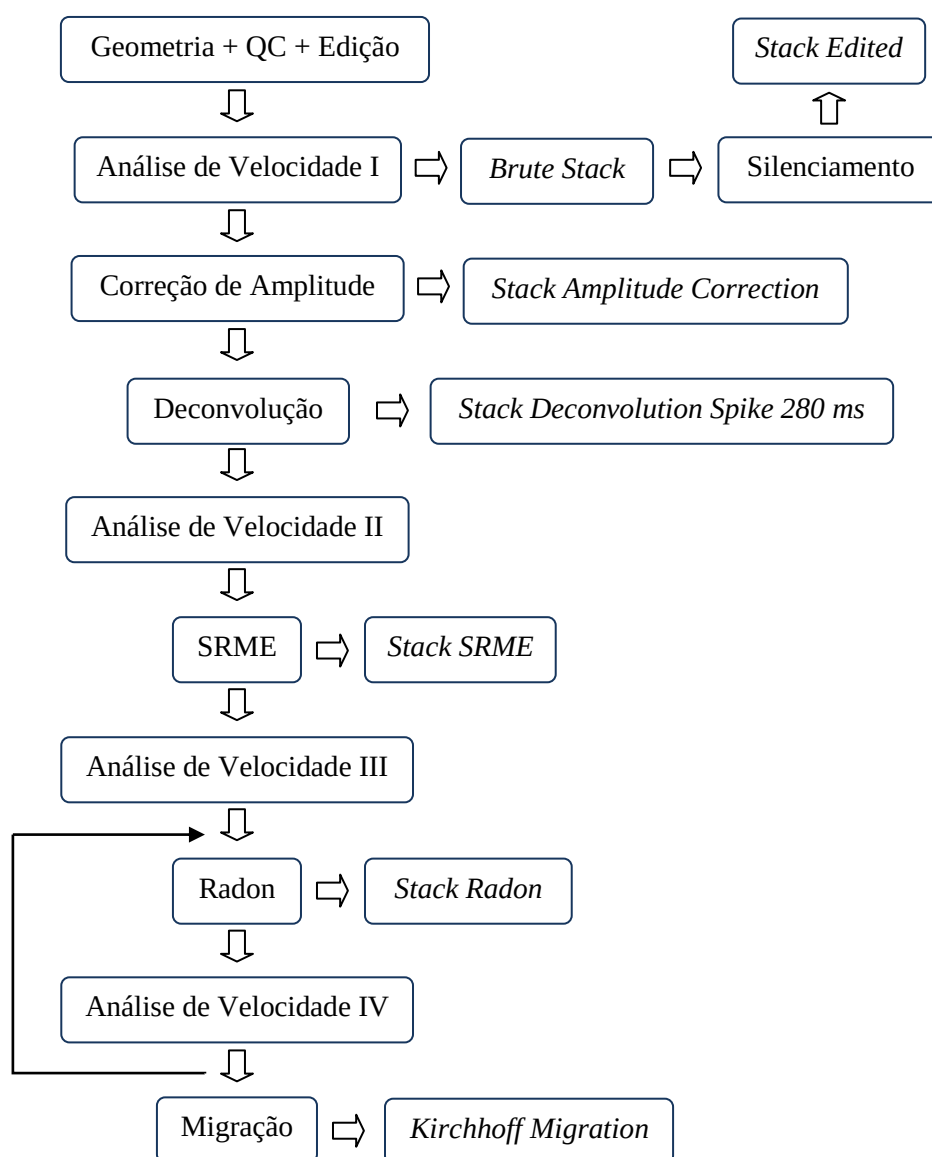


Figura 6.1 Proposta de fluxograma básico para o processamento sísmico de linhas sísmicas da Bacia de Pelotas.

6.2 Resultados Preliminares

A partir do fluxo proposto anteriormente, iniciou-se a etapa de pré-processamento na linha 0231-1345. Do controle de qualidade da geometria da linha, painéis de *shots* puderam ser visualizados com os dados de cada traço carregados em seu *header*.

Durante a edição um filtro passa-banda de 8-20-80-100 Hz foi utilizado para a retirada de ruídos de alta e baixa frequências. Com o dado editado automaticamente, a primeira análise de velocidade é feita a cada 500 *CDPs*, ou seja, a cada 20 km. No *CDP* 365 observa-se a presença da múltipla após 8200 ms de registro (Figura 6.2).

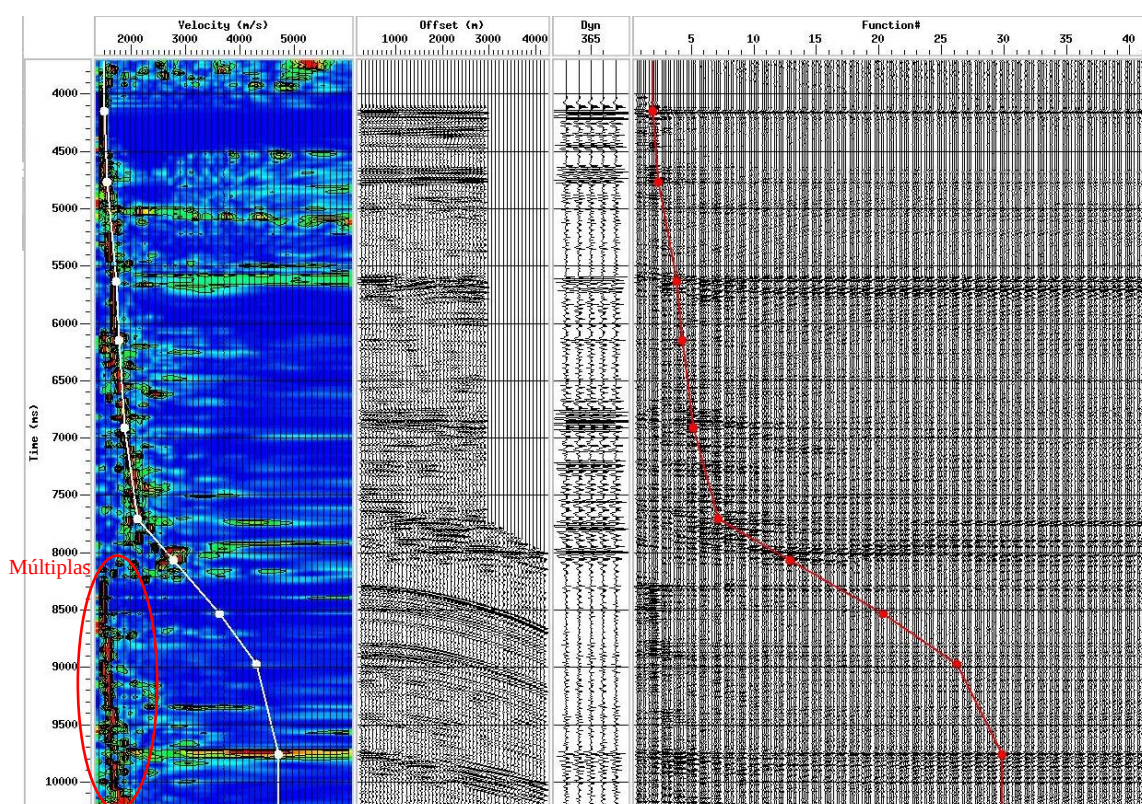


Figura 6.2 Análise de velocidade preliminar do *CDP* 365.

Da interpolação linear destas análises de velocidade, obteve-se um campo de velocidade preliminar. Deste modelo de velocidade *RMS* estimado, pode-se adquirir uma seção empilhada bruta. Nesta seção criou-se o *wb_time* que eliminaria todas as informações indesejadas acima da reflexão do fundo do mar (Figura 6.3).

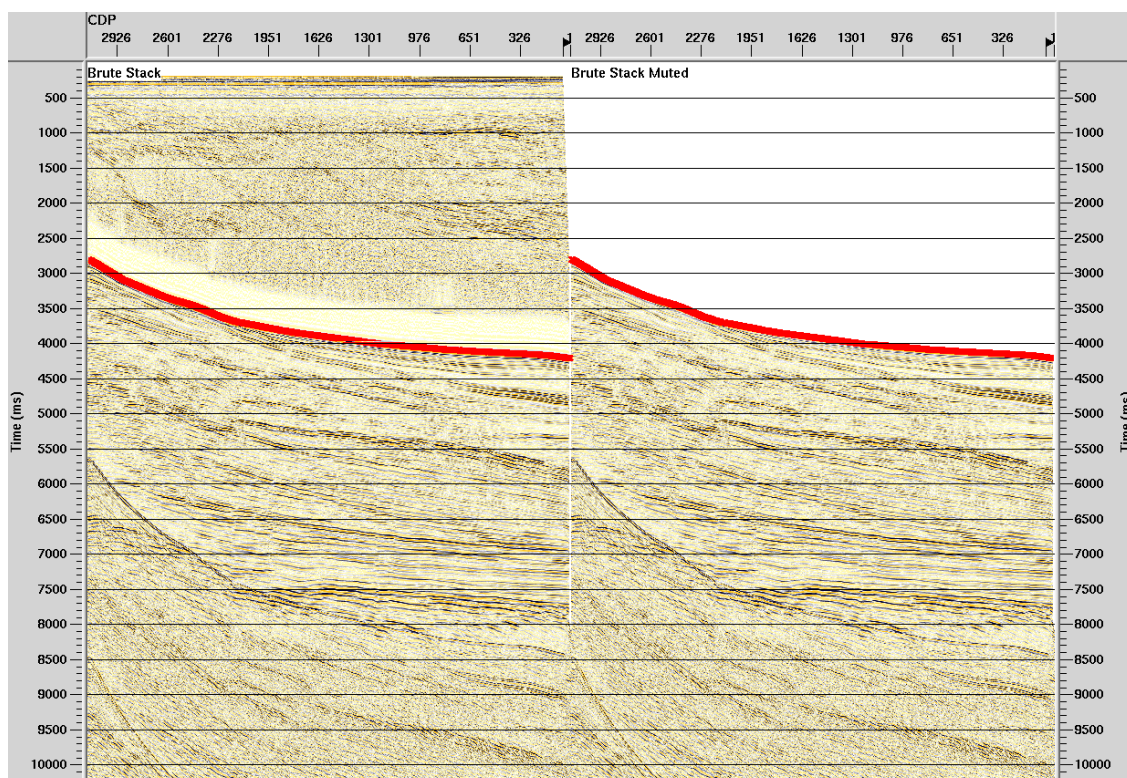


Figura 6.3 *Brute stack* antes e depois do silenciamento.

Como descrito no Capítulo 3.8, a linha sísmica sob submetida a correção de amplitude devido ao espalhamento geométrico após a criação do campo de velocidade preliminar (Figura 6.4).

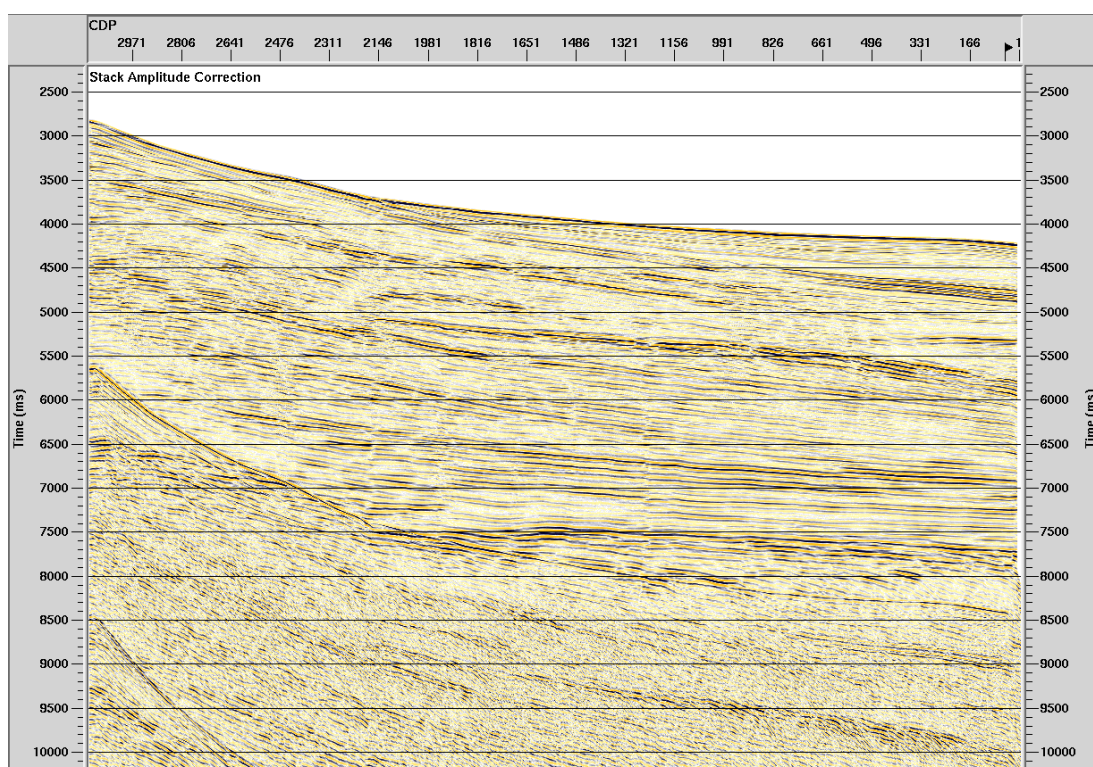


Figura 6.4 Correção de Amplitude.

Na etapa seguinte, a remoção da assinatura da fonte é feita através da aplicação da deconvolução impulsiva com um operador de 280 ms. Pode-se observar um incremento na razão sinal/ruído, e uma melhora na definição dos refletores na seção sísmica gerada após a deconvolução (Figura 6.5). Esta melhora ocorre principalmente devido a uma mudança no espectro de frequências (Figura 6.6).

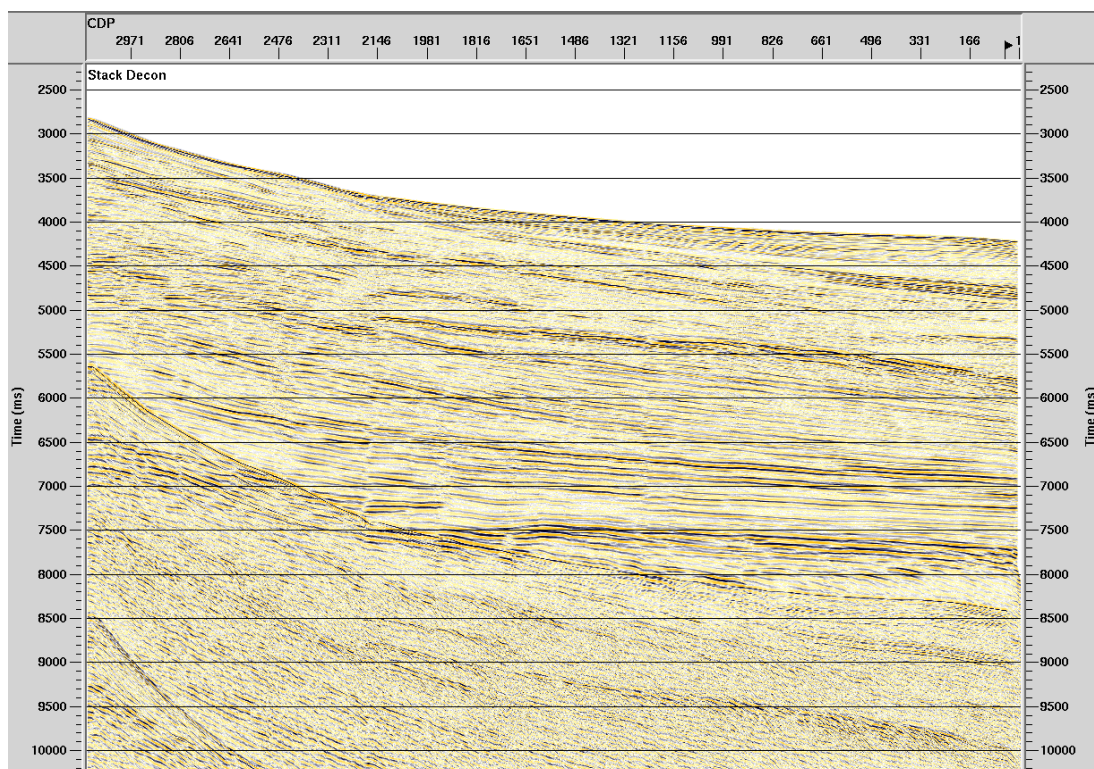


Figura 6.5 Deconvolução impulsiva.

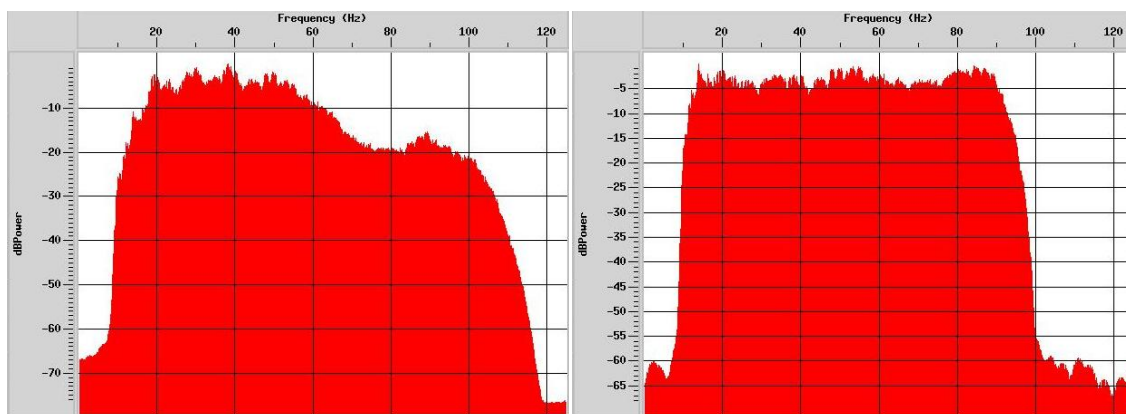


Figura 6.6 Modificação do espectro de frequência após a deconvolução no *FFID* 82.

Uma nova análise de velocidade é realizada com um novo incremento entre *CDPs*. O espaçamento é diminuído para um intervalo de 250 *CDPs* devido a maior resolução

temporal observada após a etapa de deconvolução. O campo de velocidade desta nova análise pode ser observado na Figura 6.7.

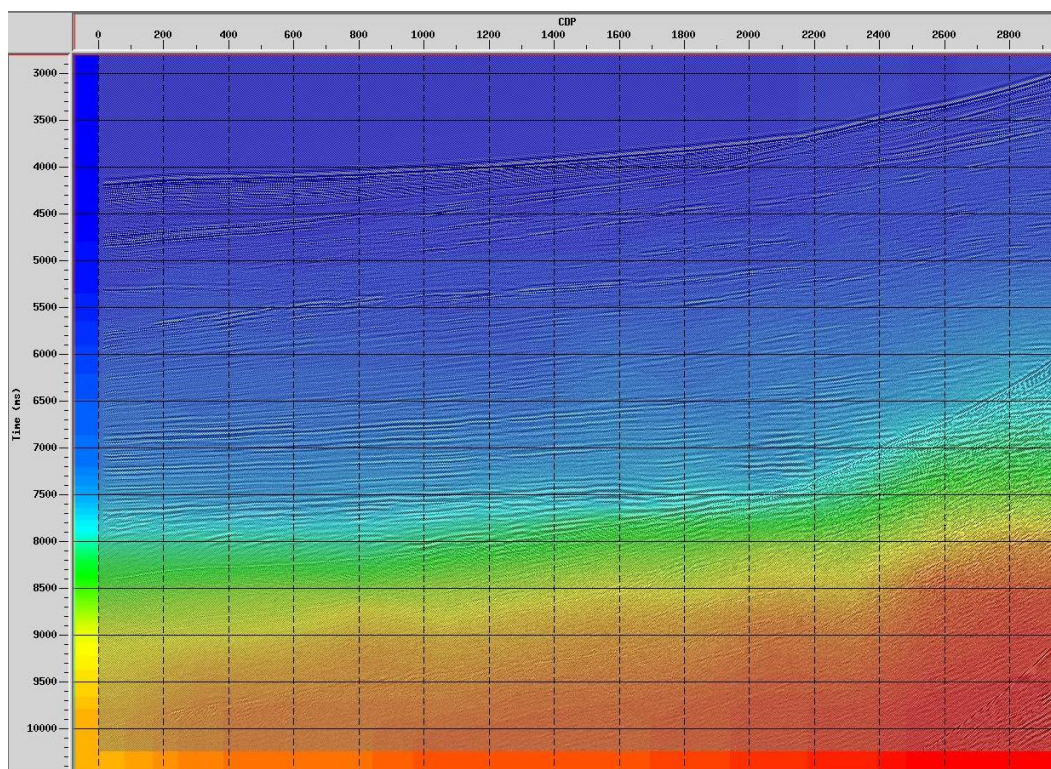


Figura 6.7 Campo de velocidade após a etapa de deconvolução (*vel decon*).

Durante esta segunda análise de velocidade, tabela de velocidade da múltipla também é criada com o intuito de predizê-la durante a fase de implementação da técnica *SRME* (Figura 6.8).

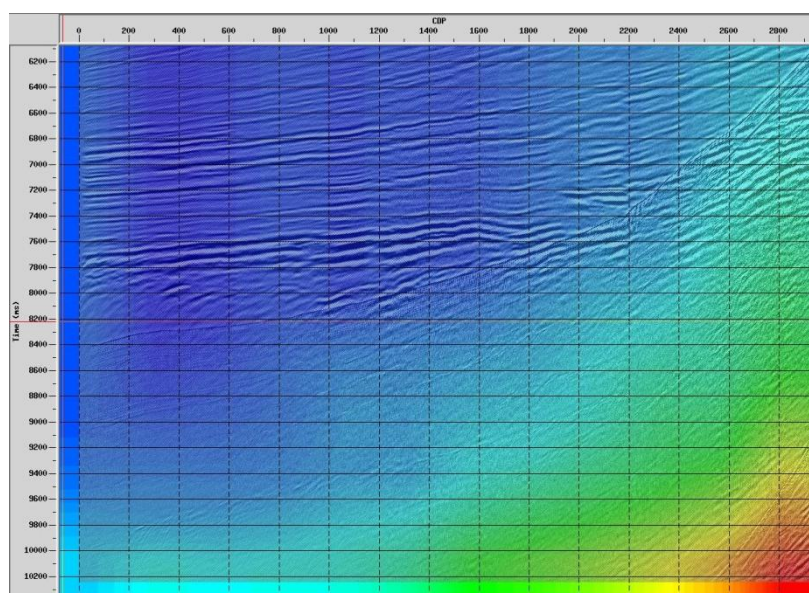


Figura 6.8 Campo de velocidade das múltiplas (*vel decon multiple*).

6.3 Resultados das Técnicas de Supressão das Múltiplas

Para a realização da técnica *SRME*, gerou-se uma seção sísmica denominada *Near Trace*. Esta seção é obtida colocando lado a lado o primeiro canal de cada *shot*, considerando, portanto, esta uma “seção *zero-offset*”. Na Figura 6.9 observa-se o fluxo que foi definido para adquirir tal seção. Este tipo de seção é importante para estabelecer a superfície do fundo marinho (função *Seafloor*) que serve de base para predizer as múltiplas (Figura 6.10).

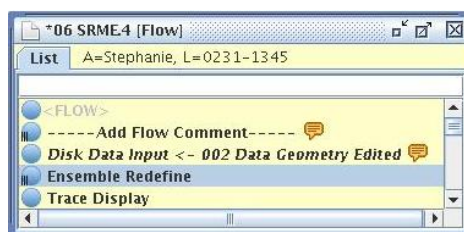


Figura 6.9 Fluxo para criar a seção *Near-trace*.

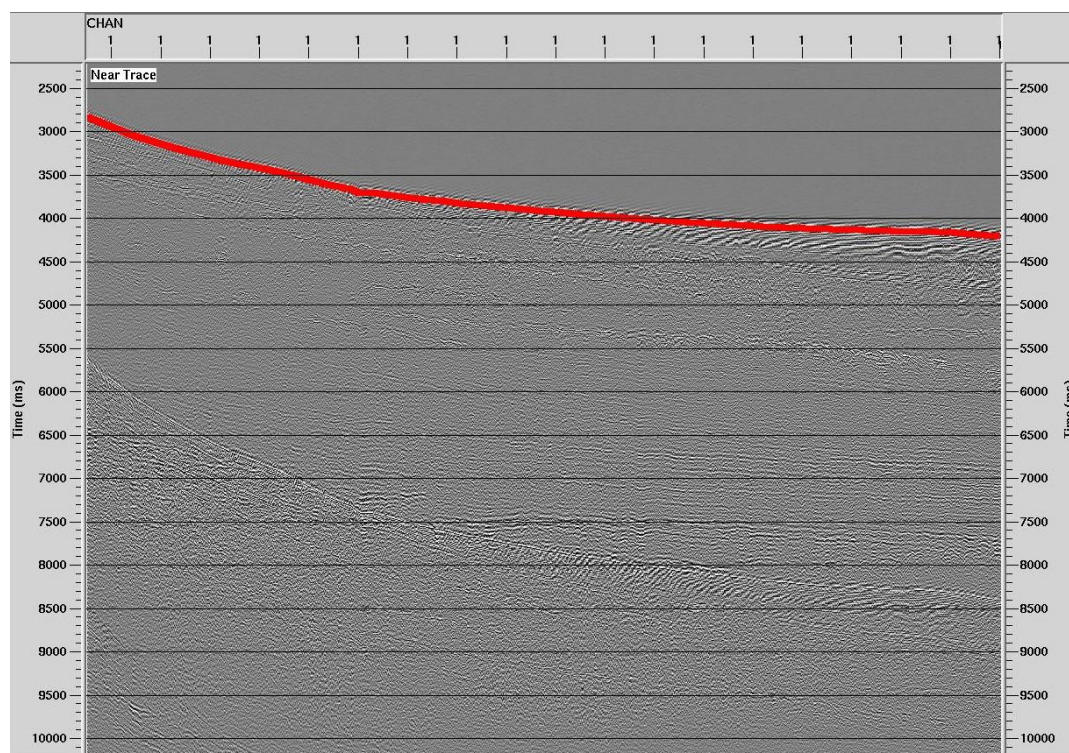


Figura 6.10 Seção *Near-trace* e o fundo marinho.

Como resultado desta técnica obtém-se a Figura 6.11. Nota-se que a supressão da múltipla referente ao fundo marinho é somente efetiva na parte intermediária da seção empilhada.

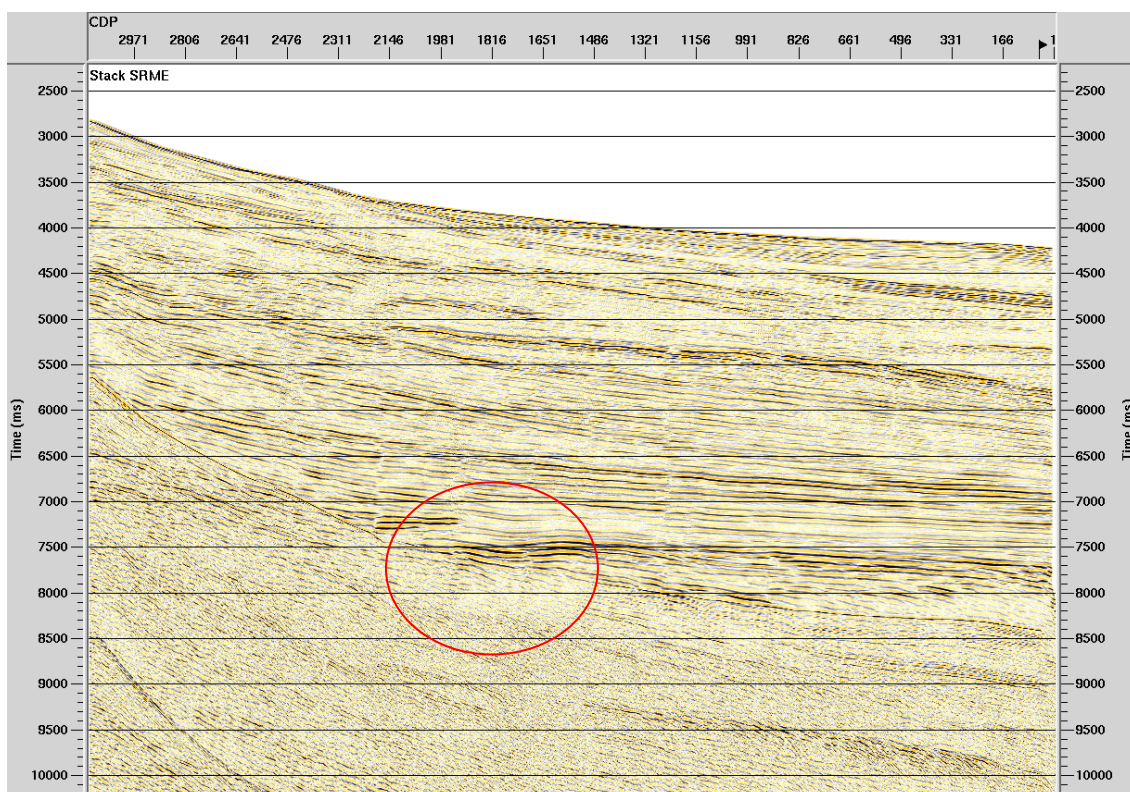


Figura 6.11 Resultado da técnica *SRME* após a deconvolução. Em vermelho, a região que a múltipla foi atenuada.

Após a aplicação da técnica *SRME*, uma terceira análise de velocidade com incremento de 125 *CDPs* é realizada. O campo de velocidade obtido desta análise pode ser visualizado na Figura 6.12. A filtragem Radon é realizada em seguida (Figura 6.13).

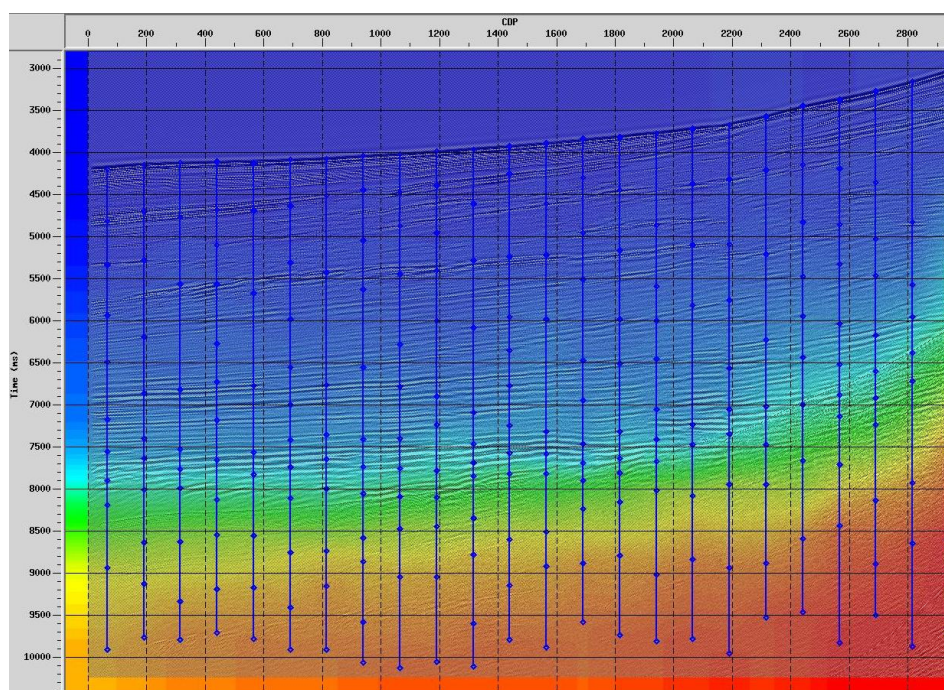


Figura 6.12 Campo de velocidade após a técnica *SRME* (*vel SRME*).

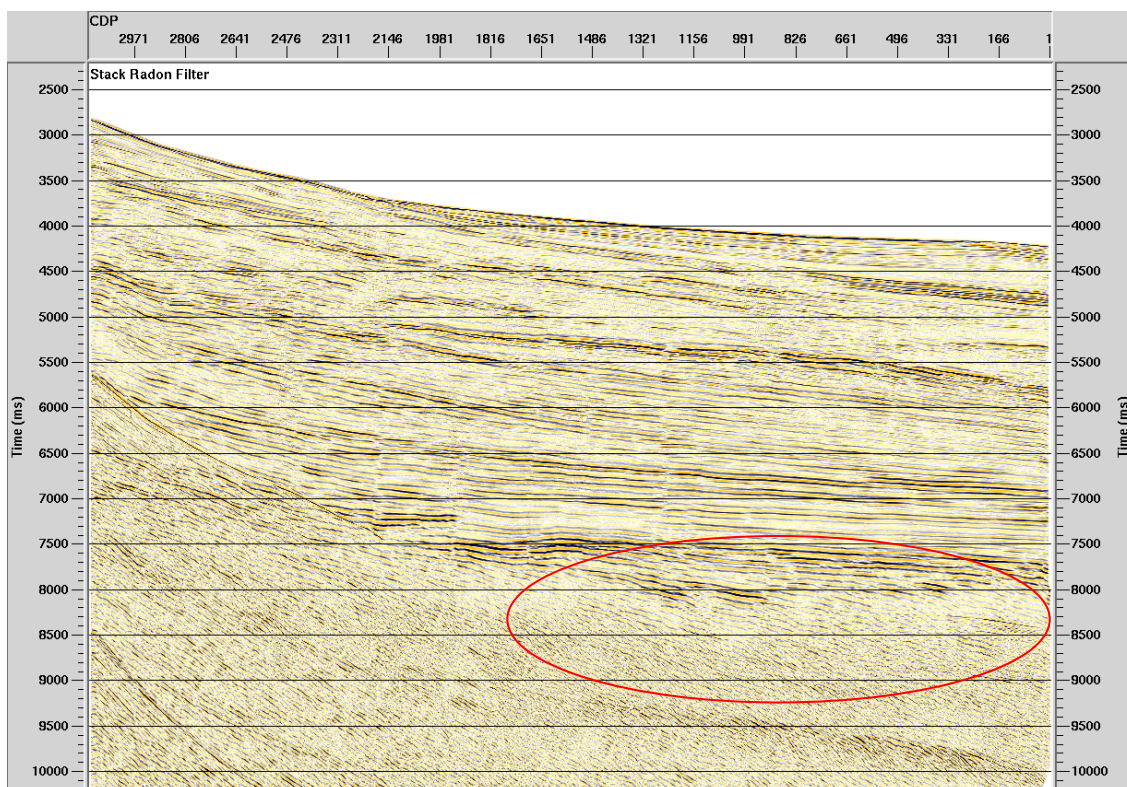


Figura 6.13 Resultado da filtragem Radon associada a técnica *SRME*. Em vermelho, a região que as múltiplas foram atenuadas.

Com o intuito de obter a melhor imagem da subsuperfície, uma quarta tabela de velocidade é construída a cada 125 *CDPs*. Este campo de velocidade é suavizado para a criação do *stack* do processo de migração Kirchhoff (Figura 6.15). Os parâmetros para a suavização são modificados dentro do módulo *Velocity Viewer/Point Editor* (Figura 6.14).

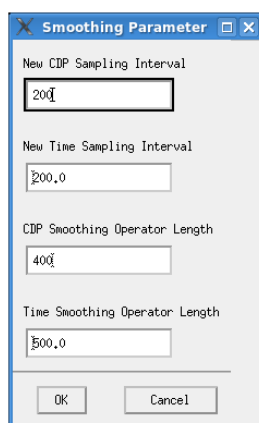


Figura 6.14 Parâmetros para a suavização do campo de velocidade.

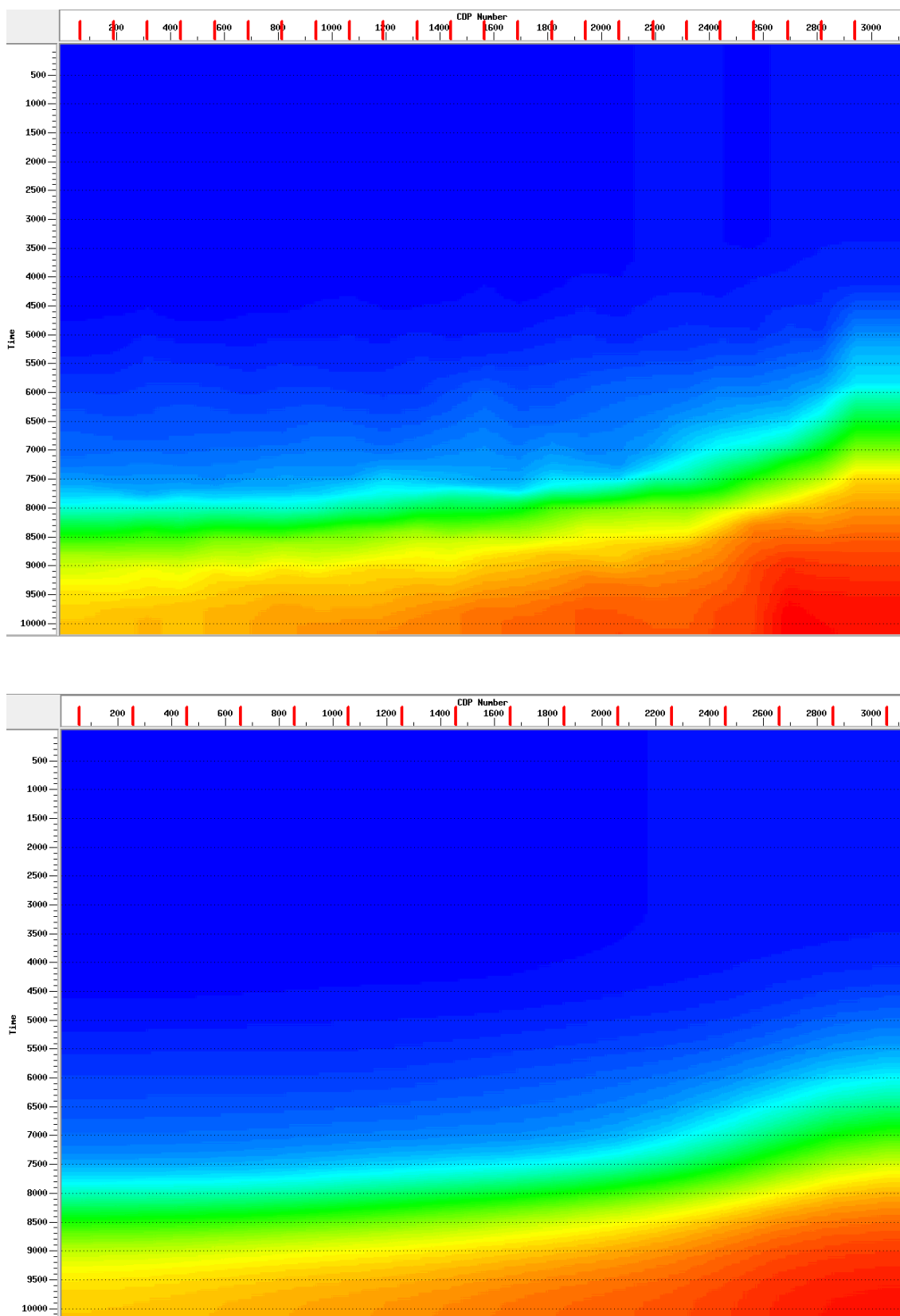


Figura 6.15 Campo de velocidade antes e depois da suavização.

A seção migrada é obtida através do campo de velocidade suavizado (Figura 6.16) e pode ser comparado com a seção de referência pertencente ao projeto UFF/REPSOL (Figura 6.17).

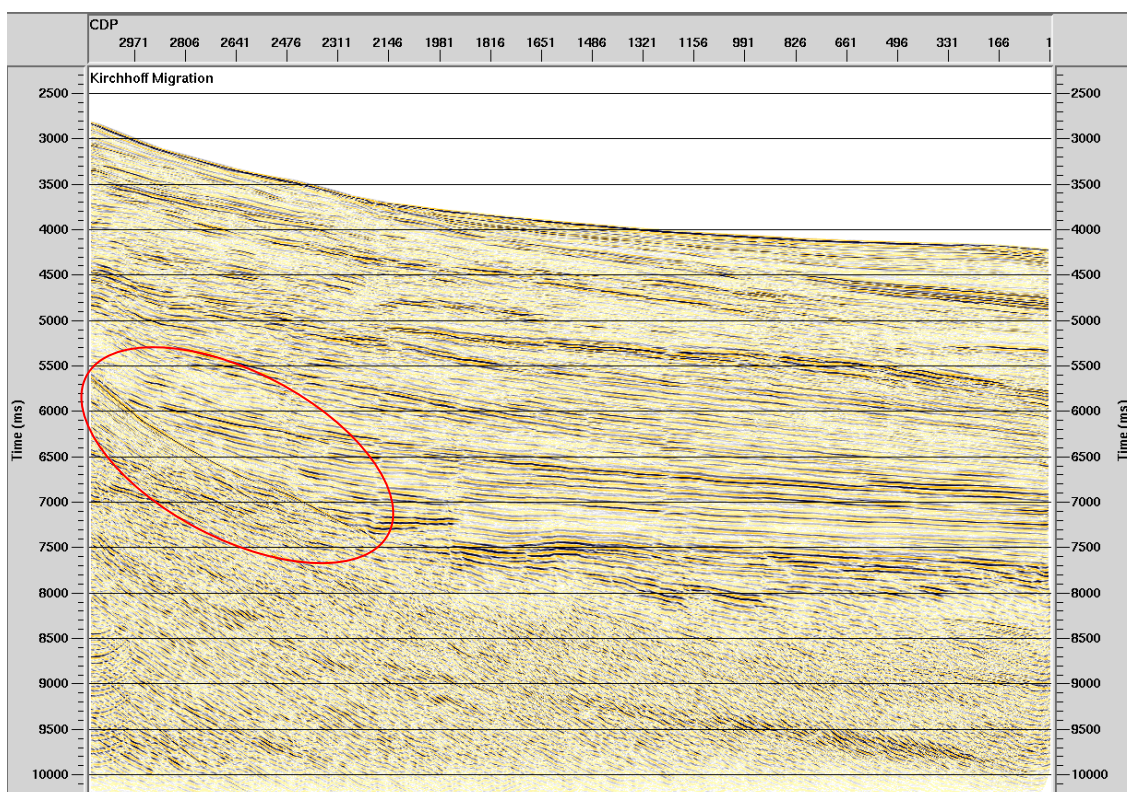


Figura 6.16 *Stack* final migrado.

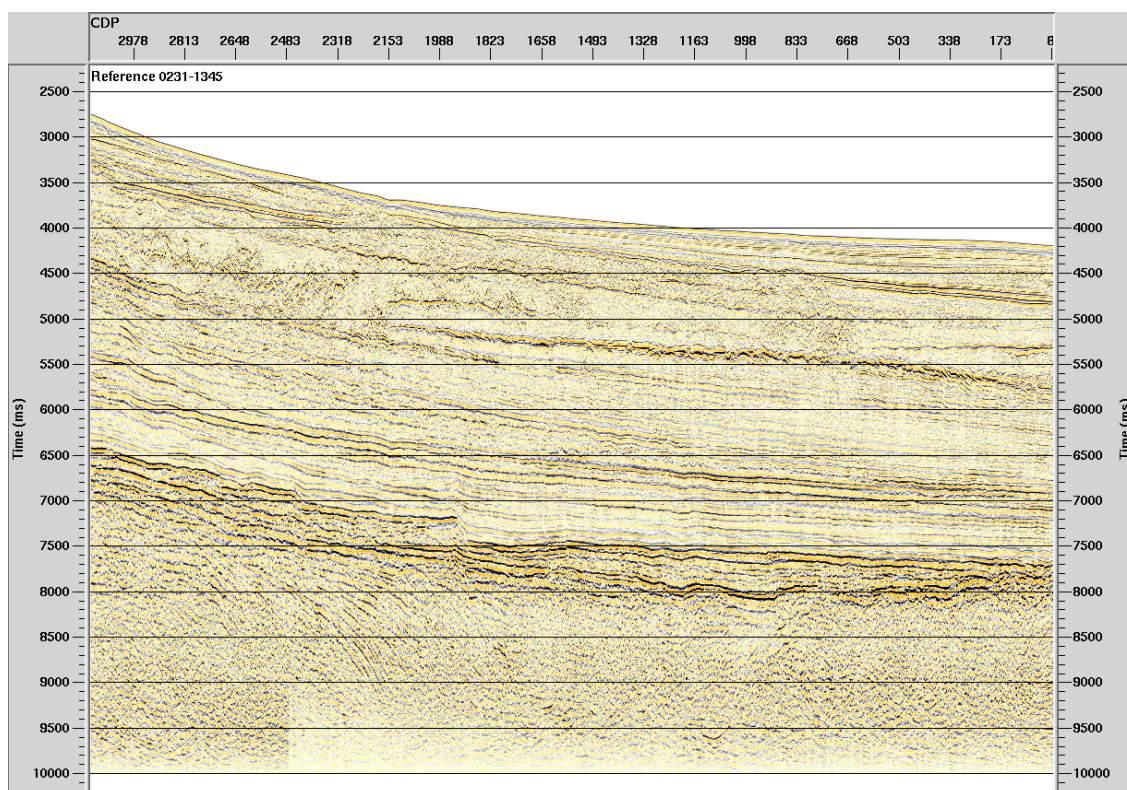


Figura 6.17 Seção de referência da linha 0231-1345.

Nota-se na seção final migrada uma região em vermelho em que a múltipla ainda é persistente, apesar de conseguir definir melhor os refletores mais rasos (até 7500 ms) da linha 0231-1345.

CAPÍTULO 7 Conclusões

Este trabalho pormenorizou etapas importantes que devem ser levadas em consideração no processamento da linha sísmica 0231-1345 da Bacia de Pelotas. O objetivo do processamento de dados sísmicos é produzir uma imagem mais acurada do alvo em subsuperfície. Portanto, durante o desenvolvimento deste trabalho, inúmeras seções sísmicas foram geradas para monitorar as modificações feitas a cada etapa do fluxo de processamento, além de buscar a definição da melhor parametrização.

Notou-se que há a uma grande necessidade de remoção de múltiplas para melhor definir os refletores da seção sísmica. Com esse objetivo, foram utilizados os módulos associados as técnicas *SRME* e filtragem Radon do *software SeisSpace*.

A técnica *SRME* não se mostrou eficiente na atenuação de múltiplas. Já a filtragem Radon de alta resolução foi eficaz na supressão de múltiplas na parte profunda e plana da linha 0231-1345.

Concluiu-se que cada técnica possui suas vantagens e desvantagens. Deste ponto de partida, notou-se o porquê de não se utilizar somente uma técnica para a supressão das múltiplas, mas sim combinar 2 ou 3 ferramentas sincronamente.

Observou-se que os métodos de atenuação de múltiplas nunca são completamente eficazes, ou seja, a múltipla nunca é completamente suprimida do dado de entrada. Então, para futuros trabalhos enxerga-se também a necessidade de um estudo aprofundado nesta área com o intuito de desenvolver uma ferramenta eficaz na remoção das múltiplas do dado sísmico proveniente da aquisição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, A.S. 2005. Processamento de Dados Sísmicos do Golfo do México Usando o *Seismic Unix*. Trabalho de Graduação. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil. 67 p.

Alves, R.C.C. 2008. Aplicação de Técnicas de Tratamento e Interpretação de Dados Sísmicos Oriundos da Bacia do Jequitinhonha, BA-BR. Trabalho de Graduação. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil. 64 p.

Ávila, R.M. 2010. Reprocessamento de Dado Sísmico 2D da Bacia do Parnaíba. Dissertação de Mestrado. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 66 p.

Ayres, A. 2007. Aula 6 de Métodos Acústicos. Universidade Federal Fluminense.

Barboza, E.G.; Rosa, M.L.C.C. & Ayup-Zouain, R.N. 2008. Cronoestratigrafia da Bacia de Pelotas: uma revisão das sequências deposicionais. *In: GRAVEL*, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p.125-138.

Bueno, G.V. 2004. Diacronismo de eventos no rifte Sul-Atlântico. *In: Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p.203-229.

Bueno, G.V; Zacharias, A.A.; Oreiro, S.G.; Cupertino, J.A.; Falkenheim, F.U.H. & Neto, M.A.M. 2007. Bacia de Pelotas. *In: Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p.551-559.

Chaouch, A. 2010. Advanced Seismic Data Processing. Total Professeurs Associés. France. 166 p.

Corrêa, T.B.S. 2004. Evolução Espaço-Temporal dos Principais Depocentros da Sequência Sedimentar Marinha da Bacia de Pelotas. Trabalho de Graduação. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 45 p.

Costa, F.B. 2007. Processamento e Interpretação de Dados Sísmicos 2D na Bacia do Jequitinhonha. Trabalho de Graduação. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil. 74 p.

Duarte, O.O. 2003. Dicionário Enciclopédico Inglês-Português de Geofísica e Geologia. Brasil: Rio de Janeiro, Petrobras. 2ª edição. 352 p.

Elboth, T. & Hermansen, D. Attenuation of noise in marine seismic data. Disponível em: http://prosjekt.ffi.no/1137/De-noising_marine_seismic.pdf. Acesso em: Outubro de 2010.

Fontana, R.L. 1990. Desenvolvimento Termomecânico da Bacia de Pelotas e Parte Sul da Plataforma de Florianópolis. *In*: Raja Gabaglia, G.P. & Milani, E.J. (eds) Origem e Evolução de bacias sedimentares. Petrobras, p. 377-400.

Fontana, R.L. 1996. Geotectônica e Sismoestratigrafia da Bacia de Pelotas e Plataforma de Florianópolis. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. 214 p.

Gadallah, M.R. & Fisher, R. 2009. Exploration Geophysics: An Introduction. Springer, 262 p.

Gamboa, J.F. 2007. Aplicações do Método de Superfície Comum de Reflexão (CRS) ao Processamento Sísmico. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil. 187 p.

Hampson, D. 1986. Inverse velocity stacking for multiple estimation. SEG Annual Meeting Abstracts, 422-424.

Kelamis, P.G. & Verschuur, D.J. 2000. Surface-related multiple elimination on land seismic data – Strategies via case studies. Geophysics, vol. 65, n. 03, p. 719-734.

Long, A.; Zhao, P.; Gatley, P.; Cooke, D.; van Borselen, R.; Schonewille, M. & Heege, R. 2005. Multiple Removal Success in the Carnarvon Basin with SRME. *Appea Journal*, p. 399-405.

Maciel, R.C. 2007. Deconvolução Preditiva Multicanal de Reflexões Múltiplas no Domínio CRS. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil. 82 p.

Milani, E.J.; Rangel, H.D.; Bueno, G.V.; Stica, J.M.; Winter, W.R.; Caixeta, J.M. & Neto, O.C.P. 2007. Bacias Sedimentares Brasileiras – Cartas Estratigráficas. *In: Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 02, p. 183-205.

Mohriak, W.U. 2003. Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira. *In: Bizzi, L.A.; Schobbenhaus, C.; Vidotti, R.M. & Gonçalves, J.H. (eds.) Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. CPRM, Brasília, p. 87-165.

Moldoveanu-Constantinescu, C. 2006. Coherent Noise Attenuation Using Radon Techniques. Master of Science. University of Alberta, Canada. 112 p.

Novaes, F. C. 2007. Processamento de Dados Sísmicos da Bacia de Campos Utilizando Deconvolução Multicanal para a Supressão de Múltiplas. Trabalho de Graduação. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil. 59 p.

Oliveira, L.B. 2009. Análise de Velocidades em Profundidade Através da Técnica de Migração Kirchhoff. Trabalho de Graduação. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil. 42 p.

Oliveira, L.R. 2009. Deconvolução de Reflexões Múltiplas Associadas à Região do Talude Continental. Trabalho de Graduação. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil. 44 p.

Oreiro, S.G. 2008. Considerações sobre os *Seawards Dipping Reflectors* da Bacia de Pelotas. IV Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados. Foz do Iguaçu, PR.

Rosa, M.L.C.C.; Ayup-Zouain, R.N. & Barboza, E.G. 2006. Utilização de Seções Sísmicas 2D na Identificação de Zonas de Escapes de Fluidos. *In: GRAVEL*, Porto Alegre, n. 04, p. 109-118, Dezembro.

Rosa, M.L.C.C. 2009. Análise Gravimétrica e Magnetométrica da Região Sul da Província Costeira do Rio Grande do Sul, Setor Sudoeste da Bacia de Pelotas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. 79 p.

Santos, R.A. 2010. Apostila Métodos Sísmicos de Reflexão. Universidade Federal Fluminense.

Silva, M.G. 2004. Processamento de Dados Sísmicos da Bacia do Tacutu. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil. 126 p.

Thomas, J.E. 2001. Fundamentos de Engenharia de Petróleo. Rio de Janeiro, Petrobras, 271 p.

Thomas, J.E. 2003. Velocidade Sísmicas. Rio de Janeiro, Petrobras, 118 p.

Torres, T.C. 2008. Processamento e Interpretação de Dados Sísmicos 2-D da Bacia de Camamu. Trabalho de Graduação. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil. 48 p.

Vasconcellos, G.D. 2009. Processamento de Dados Sísmicos Sintéticos de um Modelo de Sal Utilizando o Software SPW. Trabalho de Graduação. Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil. 59 p.

Verschuur, D.J. 2009. Surface-Related Multiple Removal in Seismic Data by a Data-Driven Methodology. Disponível em: <http://promitheas.iacm.forth.gr/uam2009/lectures/> Acesso em: Setembro de 2010.

Yilmaz, O. 2008. Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data. Series: Investigations in Geophysics, vol. 01. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa – OK, USA.

Xavier, M.S.; Nascimento, L. & Melo, R. 2010. Multiples Attenuation Applied to Deep Water Data Using Surface Related Multiple Elimination Technique – SRME. In: Rio Oil & Gas Expo and Conference 2010, Rio de Janeiro.

ANEXO I Fluxos de processamento utilizados no SeisSpace®

Abaixo, constam os fluxos utilizados em cada etapa do processamento sísmico. O módulo ----- *Add Flow Comment* ----- é utilizado somente para subdividir os fluxos.

00a Seg-D Input

SEG-D Input

Trace Display Label

Disk Data Output - > 000 Raw Data 0231-1345(1)

00b Seg-Y Input

SEG-Y Input

Trace Display Label

Disk Data Output - > 00 Reference 0231-1345

01 Spreadsheet

2D Marine Geometry Spreadsheet

02 Load Geometry

Disk Data Input < - 000 Raw Data 0231-1345(1)

Resample/Desample

Inline Geom Header Load

Trace Display Label

Disk Data Output - > 001 Data Geometry

----- *Add Flow Comment* -----

Disk Data Input < - 001 Data Geometry

Trace Header Math (QC_Geom = aoffset/1500)

Trace Display

03 Edit Traces

Disk Data Input < - 001 Data Geometry

Interactive Spectral Analysis

----- *Add Flow Comment* -----

Disk Data Input < - 001 Data Geometry (CHAN/FFID)

Bandpass Filter (8-20-80-100 Hz)

Spike & Noise Burst Edit

Spike & Noise Burst Edit

Disk Data Output - > 901 Temp Data

Disk Data Input < - 901 Temp Data (FFID/CHAN)

Spike & Noise Burst Edit

Spike & Noise Burst Edit

Trace Display Label

Disk Data Output < - 002 Data Geometry Edited

----- Add Flow Comment -----

Disk Data Input < - 001 Data Geometry

Disk Data Insert < - 002 Data Geometry Edited

Trace Display

12 Spectral Analysis

Disk Data Input < - 001 Data Geometry

Disk Data Insert < - 002 Data Geometry Edited

Interactive Spectral Analysis

09 Velocity Analysis

2D Supergather Formation < - 002 Data Geometry Edited (500 CDP)

Bandpass Filter (8-15-50-70)

Automatic Gain Control

Velocity Analysis Precompute

Disk Data Output - > 901 Temp Data

----- Add Flow Comment -----

Disk Data Input < - 901 Temp Data

Velocity Analysis <= vel brute

----- Add Flow Comment -----

Volume Viewer/Editor <= vel brute

10 Stack

Disk Data Input < - 001 Data Geometry

Normal Moveout Correction (vel brute)

CDP/Ensemble Stack

Trace Display Label

Disk Data Output - > 01 Brute Stack

----- Add Flow Comment -----

Disk Data Input < - 001 Data Geometry

Trace Muting <= wb_time

Normal Moveout Correction (vel brute)

CDP/Ensemble Stack

Trace Display Label

Disk Data Output - > 01 Brute Stack Muted

10 Stack

Disk Data Input < - 002 Data Geometry Edited

Trace Muting <= wb_time

Normal Moveout Correction (vel brute)

CDP/Ensemble Stack

Trace Display Label

Disk Data Output - > 02 Stack Geometry Edited

11 View Stack

Disk Data Input < - 01 Brute Stack

Disk Data Insert < - 02 Stack Geometry Edited

Trace Display

04 Amplitude Correction

Disk Data Input < - 002 Data Geometry Edited

Automatic Gain Control

Trace Display

----- Add Flow Comment -----

Disk Data Input < - 002 Data Geometry Edited

Parameter Test

Offset Amplitude Recovery <= vel brute

Trace Display

----- Add Flow Comment -----

Disk Data Input < - 002 Data Geometry Edited

Offset Amplitude Recovery <= vel brute
Surface Consistent Amps <= Decon_Win (Input)
 ----- Add Flow Comment -----
Disk Data Input < - 002 Data Geometry Edited
Offset Amplitude Recovery <= vel brute
Surface Consistent Amps (Compute and Apply)
Trace Display Label
Disk Data Output - > 003 Data Amplitude Correction

10 Stack

Disk Data Input < - 003 Data Amplitude Correction
Trace Muting <= wb_time
Normal Moveout Correction (vel brute)
CDP/Ensemble Stack
Trace Display Label
Disk Data Output - > 03 Stack Amplitude Correction

11 View Stack

Disk Data Input < - 02 Stack Geometry Edited
Disk Data Insert < - 03 Stack Amplitude Correction
Trace Display

05 Decon

Disk Data Input < - 003 Data Amplitude Correction
Surface Consistent Decon <= Decon_Win (280 ms)
Bandpass Filter (8-20-80-100 Hz)
Spike & Noise Burst Edit
Trace Display Label
Disk Data Output - > 004 Data Decon 280 ms

12 Spectral Analysis

Disk Data Input < - 003 Data Amplitude Correction
Disk Data Insert < - 004 Data Decon 280 ms
Interactive Spectral Analysis

09 Velocity Analysis*2D Supergather Formation < - 004 Data Decon 280 ms (250 CDP)**Bandpass Filter (8-15-50-70)**Automatic Gain Control**Velocity Analysis Precompute <= vel brute**Disk Data Output - > 901 Temp Data**----- Add Flow Comment -----**Disk Data Input < - 901 Temp Data**Velocity Analysis <= vel decon**----- Add Flow Comment -----**Volume Viewer/Editor <= vel decon***10 Stack***Disk Data Input < - 004 Data Decon 280 ms**Trace Muting <= wb_time**Normal Moveout Correction (vel decon)**CDP/Ensemble Stack**Trace Display Label**Disk Data Output - >04 Stack Decon 280 ms***11 View Stack***Disk Data Input < - 03 Stack Amplitude Correction**Disk Data Insert < - 04 Stack Decon 280 ms**Trace Display***09 Velocity Analysis***2D Supergather Formation < - 004 Data Decon 280 ms (250 CDP)**Bandpass Filter (8-15-50-70)**Automatic Gain Control**Velocity Analysis Precompute**Disk Data Output - > 901 Temp Data**----- Add Flow Comment -----**Disk Data Input < - 901 Temp Data**Velocity Analysis <= vel decon multiple**----- Add Flow Comment -----*

Volume Viewer/Editor <= vel decon multiple

06 SRME

Disk Data Input < - 004 Data Decon 280 ms

Ensemble Redefine

Trace Display

----- Add Flow Comment -----

Disk Data Input < - 004 Data Decon 280 ms

Trace Muting

SRME Regularization <= vel decon multiple

Trace Display Label

Disk Data Output - > SRME 1 - Regular Data

----- Add Flow Comment -----

Disk Data Input < - SRME 1 - Regular Data

SRME Macro

Trace Display Label

Disk Data Output - > SRME 2 - Predicted Multiples

----- Add Flow Comment -----

Disk Data Input < - 004 Data Decon 280 ms

Disk Data Insert < - SRME 2 - Predicted Multiples

Inline Sort

SRME Un-Regularization <= vel decon multiple

Trace Display Label

Disk Data Output - > SRME 3 - Unregular Data

----- Add Flow Comment -----

Disk Data Input < - SRME 3 - Unregular Data

SRME Match Filter <= Seafloor

SRME Adaptative Subtraction

Trace Display Label

Disk Data Output - > 005 Data SRME

09 Velocity Analysis

2D Supergather Formation < - 005 Data SRME (125 CDP)

Bandpass Filter (8-15-50-70)

Automatic Gain Control

Velocity Analysis Precompute <= vel decon

Disk Data Output < - 901 Temp Data

----- Add Flow Comment -----

Disk Data Input < - 901 Temp Data

Velocity Analysis <= vel SRME

----- Add Flow Comment -----

Volume Viewer/Editor <= vel SRME

10 Stack

Disk Data Input < - 005 Data SRME

Trace Muting <= wb_time

Normal Moveout Correction (vel SRME)

CDP/Ensemble Stack

Trace Display Label

Disk Data Output - > 05 Stack SRME

11 View Stack

Disk Data Input < - 04 Stack Decon

Disk Data Insert < - 05 Stack SRME

Trace Display

07 Radon Filter

Disk Data Input < - 005 Data SRME (100 CDP)

Normal Moveout Correction (vel SRME)

Automatic Gain Control

Interactive Radon/Tau-P Analysis <= Radon Filter

----- Add Flow Comment -----

Disk Data Input < - 005 Data SRME

Normal Moveout Correction (vel SRME)

Automatic Gain Control

Radon Filter <= Radon Filter

Automatic Gain Control

Normal Moveout Correction (vel SRME)

Trace Display Label

Disk Data Output - > 006 Data Radon Filter

09 Velocity Analysis

2D Supergather Formation < - 006 Data Radon Filter (125 CDP)

Bandpass Filter (8-15-50-70)

Automatic Gain Control

Velocity Analysis Precompute <= vel SRME

Disk Data Output - > 901 Temp Data

----- Add Flow Comment -----

Disk Data Input < - 901 Temp Data

Velocity Analysis <= vel Radon

----- Add Flow Comment -----

Volume Viewer/Editor <= vel Radon

10 Stack

Disk Data Input < - 006 Data Radon

Trace Muting <= wb_time

Normal Moveout Correction (vel Radon)

CDP/Ensemble Stack

Trace Display Label

Disk Data Output - > 06 Stack Radon Filter

11 View Stack

Disk Data Input < - 05 Stack SRME

Disk Data Insert < - 06 Stack Radon Filter

Trace Display

08 Post Migration

Velocity Manipulation <= vel Radon

----- Add Flow Comment -----

Velocity Viewer/Point Editor <= vel mig

----- Add Flow Comment -----

Disk Data Input < - 06 Stack Radon Filter

Kirchhoff Time Migration <= vel mig smooth (5200)

Trace Display Label

Disk Data Output - > 07 Stack Kirchhoff Migration

11 View Stack

Disk Data Input < - 06 Stack Radon Filter

Disk Data Insert < - 07 Stack Kirchhoff Migration

Trace Display

----- Add Flow Comment -----

Disk Data Input < - 00 Reference 0231-1345 (CDP 1-3115)

Disk Data Insert < - 07 Stack Kirchhoff Migration

Trace Display