



**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA E GEOLOGIA MARINHA – LAGEMAR**

**CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA**

**BRUNO PETROCELLI TEIXEIRA**

**PROCESSAMENTO SÍSMICO APLICADO A DADOS DE ALTA  
RESOLUÇÃO PARA CARACTERIZAÇÃO DE FEIÇÃO GEOLÓGICA DO  
FUNDO OCEÂNICO AO LARGO DE CABO FRIO-RJ**

NITERÓI,

Agosto de 2013

**BRUNO PETROCELLI TEIXEIRA**

**PROCESSAMENTO SÍSMICO APLICADO A DADOS DE ALTA RESOLUÇÃO  
PARA CARACTERIZAÇÃO DE FEIÇÃO GEOLÓGICA DO FUNDO OCEÂNICO  
AO LARGO DE CABO FRIO-RJ**

Monografia referente à disciplina Projeto Final II, apresentada ao curso de graduação em geofísica da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geofísica.

Orientador: Dr. Arthur Ayres Neto

Co-orientador: Dr. Marco Antonio Cetale Santos

NITERÓI,

Agosto de 2013

**BRUNO PETROCELLI TEIXEIRA**

**PROCESSAMENTO SÍSMICO APLICADO A DADOS DE ALTA RESOLUÇÃO  
PARA CARACTERIZAÇÃO DE FEIÇÃO GEOLÓGICA DO FUNDO OCEÂNICO  
AO LARGO DE CABO FRIO-RJ**

Monografia referente à disciplina Projeto Final II, apresentada ao curso de graduação em geofísica da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geofísica.

Aprovada em agosto de 2013.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dr. Arthur Ayres Neto – Lagemar/UFF

---

Dr. Marco Antonio Cetale Santos – Lagemar/UFF

---

Dr. Cleverson Guizan Silva – Lagemar/UFF

---

Dr. Gilberto Tavares M. de Dias – Lagemar/UFF

NITERÓI,

Agosto de 2013



## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Arthur Ayres Neto e co-orientador Marco Antonio Cetale Santos por toda a troca de conhecimento e ajuda durante a realização deste projeto.

Aos professores e avaliadores Cleverton Guizan Silva e Gilberto Tavares M. de Dias por aceitar o pedido para participação da minha banca avaliadora e por todo o conteúdo acrescentado neste projeto.

A minha mãe Mônica Petrocelli Paixão por ter me dado toda a educação necessária e me apoiado durante todo o curso de graduação, permitindo com que eu chegasse até aqui, além de todo o carinho incondicionalmente dado a mim, que lhe é peculiar.

Ao meu pai Vilmar Santana Teixeira que, apesar da distância física, sempre tentou se fazer presente e acompanhar a minha vida, o que eu admiro enormemente e tomo como exemplo.

A minha namorada Natalia Reis de Amorim que tem sido minha companheira durante grande parte do meu curso de graduação, por ter me ajudado a crescer como profissional e por ter me permitido compartilhar momentos importantes da minha vida com uma das mulheres mais fantásticas que eu já conheci.

Aos meus avós paternos Mauriem Santana Teixeira e Maria Olinda das Mercês Teixeira, que ajudaram na minha criação e os quais eu serei eternamente grato por todo o amor, carinho e atenção dedicado a mim durante todos esses anos.

A minha avó Neide Petrocelli Paixão, que sempre fez de tudo para ver a minha felicidade, por ter sempre me ajudado com os afazeres inerentes ao dia a dia e por ter feito de mim um dos maiores apreciadores de seus dotes culinários.

A todos os amigos geofísicos e os respectivos agregados pelos inúmeros ótimos momentos vividos juntos durante o período de faculdade, seja na hora da diversão, seja na hora dos estudos.

E, por fim, a todas as pessoas que de alguma forma ajudaram na minha caminhada ao longo de todos esses anos, fazendo com que eu chegasse até aqui com o conhecimento e capacidade necessária para concluir este projeto da melhor forma possível.

## RESUMO

As técnicas de geofísica vêm sendo bastante exploradas, não só na indústria de óleo e gás, mas também em outras áreas de atuação, como para estudos de engenharia e oceanografia. Para estas, um dos métodos amplamente utilizados é a sísmica de reflexão de alta resolução, que consiste na investigação de estruturas e camadas em pequenas profundidades com alta precisão. Na maioria dos casos, os dados referentes a este método dispensam qualquer tipo de tratamento, sendo interpretados em sua forma bruta. Contudo, o processamento de tais registros pode ser necessário a fim de se obter um aumento de resolução em dados muito ruidosos. Partindo deste princípio, o presente projeto objetiva o processamento e a consequente interpretação de um grupo de linhas sísmicas, adquiridas através de um sistema monocanal de alta resolução. Tais seções estão localizadas próximas a Ilha de Cabo Frio, no ambiente do Alto do Cabo Frio, onde se observa uma feição de difícil caracterização. De acordo com os registros brutos, tal estrutura possui uma interpretação ambígua, uma vez que há evidências tanto para representar um *beachrock*, quanto para indicar um afloramento do embasamento cristalino. Tendo em vista a dificuldade de caracterização da feição supracitada, testou-se algumas técnicas utilizadas no processamento sísmico convencional, visando melhorar a visualização do dado e, conseqüentemente, facilitando sua interpretação. Após submeter às linhas sísmicas um fluxo de processamento contendo todas as etapas que apresentaram melhora na visualização destas seções, pode-se caracterizar com maior propriedade a feição geológica em questão. Sendo assim, de acordo com algumas alterações morfológicas observadas nos dados pós-processados, notou-se que tal feição pode estar associada a um *beachrock*.

Palavras-chave: Sísmica monocanal. Sísmica de alta resolução. Processamento sísmico. Alto de Cabo Frio. Beachrock.

## ABSTRACT

*The geophysical techniques have been quite explored, not only in the oil and gas industry, but also for other areas, as for engineering and oceanography studies. For these, one of the widely used methods is the high resolution reflection seismic, which consists in the investigation of structures and layers in shallow depths with accuracy. In most cases, the data related to this method do not require any treatment, and can be interpreted in its raw form. However, the processing can be necessary to enhance the image in noisy data. Therefore, the objective of this project is the processing and the interpretation of seismic lines, acquired with a high resolution single channel system. Those lines are located near the Cabo Frio Island, in the Cabo Frio High, where can be observed a feature with difficult characterization, showing an ambiguous interpretation. According to the raw data, there are evidences to associate this structure with a beachrock or to indicate an outcrop of the crystalline basement. With the difficulty to characterize the feature mentioned above, some techniques used in the conventional seismic processing were tested, trying to enhance the data visualization, improving the interpretation. After submitting the seismic lines to a flow containing all the processing steps that showed improvement in the visualization of these sections, the characterization of the geological feature concerned could be done more appropriately. Thus, according to some changes observed in the post-processed data, it was noted that this feature could be associated with a beachrock.*

*Keywords: Monochannel seismic. High resolution seismic. Seismic processing. Cabo Frio High. Beachrock.*

## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Uma das seções sísmicas as quais será imposta um fluxo de processamento, visando facilitar a interpretação da feição geológica. Observa-se no registro a estrutura de interesse e seus aspectos complicadores, tornando sua caracterização ambígua.....	<b>02</b>
<b>Figura 2</b> – Localização da área em estudo, a partir do mapa do Brasil. Na figura pode-se observar o Alto do Cabo Frio como a estrutura limítrofe entre as bacias de Santos e Campos (Fonte: Modificado de Mohriak, 2003 <i>apud</i> “ <a href="http://www.caminhosgeologicos.rj.gov.br">http://www.caminhosgeologicos.rj.gov.br</a> ”).....	<b>04</b>
<b>Figura 3</b> – Alto estrutural de Cabo Frio, formado por bloco elevado do embasamento cristalino, falhado, separando os depocentros das bacias de Santos e Campos (Fonte: Mohriak, 2001 <i>apud</i> Marques, 2010).....	<b>05</b>
<b>Figura 4</b> – Mapa de classificação de sedimentos do fundo oceânico na região do Alto de Cabo Frio e adjacências (Fonte: Dias, 2000 <i>apud</i> Borguignon, 2012).....	<b>06</b>
<b>Figura 5</b> – Padrão das isolinhas batimétricas ao longo da costa do Rio de Janeiro, indicando suas inflexões que variam entre as direções E-W (sul da área de estudo) e NE-SW (norte da área de estudo). Em destaque a localização da área de estudo (Fonte: C. M. M. Gomes et al., 2013).....	<b>07</b>
<b>Figura 6</b> – Perfil sísmico ampliado para visualização do afloramento do embasamento acústico, a oeste da Ilha de Cabo Frio, próximo ao litoral do Rio de Janeiro (Fonte: Artusi, 2004).....	<b>07</b>
<b>Figura 7</b> – Seção sísmica apresentando um afloramento de <i>beachrock</i> associado a uma possível aglomeração de recifes de coral, na região de Macau - RN (Fonte: Gomes, 2009)	<b>09</b>
<b>Figura 8</b> – Configuração de aquisição sísmica realizada a partir de um <i>Sub-Bottom Profiler</i> (Fonte: <a href="http://www.geostar-surveys.com">www.geostar-surveys.com</a> ).....	<b>11</b>
<b>Figura 9</b> – Localização de todas as 42 seções sísmicas adquiridas. Em destaque, na cor vermelha, as linhas que serão utilizadas durante o projeto, onde a feição em estudo pode ser vista com maior clareza (destacada em amarelo).....	<b>12</b>
<b>Figura 10</b> – Fluxogramas de processamento sísmico associado a dados de alta resolução adquiridos através de equipamentos monocanal. (a) Marino et al., 2012; (b) Gomes et al., 2010..	<b>15</b>
<b>Figura 11</b> – Seção sísmica (FEC_025) já limitada entre os traços 11890 e 12290, apresentando apenas a feição geológica de interesse.....	<b>17</b>



<b>Figura 12</b> – Espectros de frequência x amplitude referente à linha FEC_025, indicando o pico de frequência e amplitude dentro da banda de frequências dominante.....	<b>19</b>
<b>Figura 13</b> – Espectros de amplitude x frequência referentes: em (a) apenas ao sinal sísmico; (b) apenas ao ruído; e em (c) ao dado sísmico como um todo (sinal e ruído), exemplificando o formato de um filtro do tipo passa-banda e indicando os parâmetros que devem ser utilizados para a filtragem.....	<b>20</b>
<b>Figura 14</b> – Formação de <i>lobes</i> (fenômeno de Gibbs) em um pulso sísmico (wavelet), de acordo com a inclinação da rampa que define a atenuação de amplitude entre os parâmetros de corte e de passagem. Nota-se que quanto mais suave se encontrar a inclinação, menor a aparição de <i>spikes</i> (Fonte: Yilmaz, 2001 <i>apud</i> Sheriff & Geldart, 1995).....	<b>21</b>
<b>Figura 15</b> – Visualização da seção FEC_025 em diferentes estágios durante os testes de parâmetros para o processo de filtragem e seus respectivos espectros de amplitude x frequência. Em (a) o dado bruto, em (b) o dado pós-filtragem e em (c) a diferença entre ambas. Nesta última percebe-se que nenhuma resposta coerente foi eliminada do dado, apenas ruídos aleatórios.....	<b>22</b>
<b>Figura 16</b> – Destaque (vermelho) do ruído associado a onda direta e seu respectivo espectro de amplitude x frequência, calculado apenas para a região em destaque. Observa-se uma distribuição bastante similar com o espectro referente as reflexões principais.....	<b>23</b>
<b>Figura 17</b> – Atenuação do sinal sísmico em um meio isotrópico e homogêneo, em relação ao eixo do tempo. Observa-se a diminuição das amplitudes em função do aumento do raio da frente de onda (Fonte: ANP).....	<b>25</b>
<b>Figura 18</b> – Seções sísmicas e seus respectivos espectros de amplitude x frequência (a) antes da divergência esférica e (b) após rodar tal algoritmo. Nota-se, nos espectros, que as amplitudes foram realçadas ao longo de toda a banda de frequências existente.....	<b>26</b>
<b>Figura 19</b> – Ilustração da etapa de empilhamento sísmico, apresentando em (a) a seção pré empilhada, onde observa-se todos os traços referentes a uma mesma localização, e em (b) o traço resultante pós empilhado indicando o somatório dos traços anteriores, com as amplitudes devidamente balanceadas (Fonte: EAGE).....	<b>27</b>
<b>Figura 20</b> – Tabela ilustrando a existência de mais de um traço por coordenada, além do padrão irregular da amostragem do registro sísmico.....	<b>28</b>

<b>Figura 21</b> – Registros sísmicos (a) antes da etapa de empilhamento e (b) após o <i>stack</i> . Observa-se a perda de resolução da imagem, provavelmente associada a problemas com o posicionamento espacial dos traços que compõem a seção.....	<b>29</b>
<b>Figura 22</b> – Gráfico indicando as possibilidades de utilização dos diferentes métodos de migração sísmica, de acordo com a necessidade que a geologia existente em subsuperfície exige.....	<b>31</b>
<b>Figura 23</b> – Esquema apresentando que para uma frente de onda (semicírculo possuindo valores de tempo exatamente iguais), registros referentes a diferentes reflexões podem ser adquiridos em um sistema onde o receptor e o transmissor fazem parte do mesmo equipamento ( <i>zero-offset</i> ).....	<b>31</b>
<b>Figura 24</b> – Seções sísmicas referentes ao (a) registro pré-migrado e a cada um dos três testes com diferentes velocidades para a etapa de migração, sendo utilizado em (b) 1450 m/s, em (c) 1500 m/s e em (d) 1550 m/s.....	<b>33</b>
<b>Figura 25</b> – Fluxo de processamento composto pelas técnicas que apresentaram melhores resultados e que foi aplicado a todas as linhas sísmicas, exatamente na ordem representada.....	<b>35</b>
<b>Figura 26</b> – Seções sísmicas referentes à linha “FEC_22”, sendo em (a) o dado bruto e em (b) a seção pós-processada.....	<b>37</b>
<b>Figura 27</b> – Seções sísmicas referentes à linha “FEC_23”, sendo em (a) o dado bruto e em (b) a seção pós-processada.....	<b>38</b>
<b>Figura 28</b> – Seções sísmicas referentes à linha “FEC_25”, sendo em (a) o dado bruto e em (b) a seção pós-processada.....	<b>39</b>
<b>Figura 29</b> – Seções sísmicas referentes à linha “FEC_26”, sendo em (a) o dado bruto e em (b) a seção pós-processada.....	<b>40</b>

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>IV</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>V</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	<b>VII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>01</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>03</b>
2.1. GERAL.....	03
2.2. ESPECÍFICO.....	03
<b>3. ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>04</b>
3.1. LOCALIZAÇÃO.....	04
3.2. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	05
<b>4. CARÁTER DOS DADOS</b> .....	<b>10</b>
<b>5. METODOLOGIA</b> .....	<b>12</b>
<b>6. PROCESSAMENTO DOS DADOS</b> .....	<b>14</b>
6.1. PRÉ-PROCESSAMENTO.....	15
6.1.1. Leitura do dado.....	15
6.1.2. Geometria.....	16
6.1.3. Seleção de traços.....	17
6.1.4. Análise espectral.....	18
6.2. FILTRAGEM DE FREQUÊNCIAS.....	19
6.3. CORREÇÃO DAS AMPLITUDES.....	23
6.4. EMPILHAMENTO.....	27
6.5. MIGRAÇÃO.....	30
<b>7. DESENVOLVIMENTO DO FLUXO</b> .....	<b>35</b>
<b>8. INTERPRETAÇÃO DA FEIÇÃO DE INTERESSE</b> .....	<b>36</b>
<b>9. CONCLUSÕES</b> .....	<b>42</b>
<b>10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>43</b>

## 1. INTRODUÇÃO

---

Atualmente, a utilização de técnicas geofísicas não está restrita apenas a indústria de exploração e produção de óleo e gás. Estudos relacionados às disciplinas de engenharia e oceanografia, por exemplo, também demandam serviços de caráter geofísico, tanto para o mercado industrial, quanto para a área de pesquisa. Este fato está relacionado à importância de se obter um melhor entendimento da geologia em subsuperfície, obtido através de tais métodos.

Dentro deste contexto, a sísmica de reflexão é o método de prospecção geofísica mais utilizado atualmente na indústria. Baseado nos mesmos princípios físicos, o método de sísmica rasa diferencia-se do anterior no aspecto das altas frequências utilizadas, o que implica em menores profundidades de investigação, porém com maior resolução. Além disso, o sistema de aquisição dos dados, as fontes acústicas e os receptores, também são distintos.

A grande maioria dos estudos geofísicos consiste nas etapas de aquisição, processamento e interpretação dos dados. Entretanto, os dados de sísmica rasa têm sido utilizados em sua forma bruta, sendo referências ao processamento destes dificilmente abordadas na literatura. Este fato está relacionado ao bom imageamento das estruturas geológicas de subsuperfície por parte deste método, podendo ser realizadas diversas análises nos registros ainda brutos, como por exemplo: indicar a espessura dos sedimentos de estratos rasos, a estratigrafia e interpretar possíveis corpos rochosos encontrados no fundo oceânico.

Mesmo apresentando bons resultados já no dado original, muitas vezes a sísmica rasa apresenta problemas de visualização. Isto ocorre devido à grande quantidade de ruídos ou à elevada perda de amplitude das reflexões com o aumento da profundidade. Sendo assim, a aplicação de um fluxo de processamento pode-se fazer necessária para melhorar esta visualização e a consequente interpretação do dado.

Baseando-se em fluxos de processamento aplicados a sísmicas convencionais, além de outros raros trabalhos existentes sobre o processamento aplicado a registros de alta resolução, desenvolveu-se um fluxo de processamento de acordo com as particularidades dos dados em estudo. A composição foi realizada de acordo com as necessidades apresentadas e com a devida análise dos parâmetros referentes à sísmica rasa, como o comportamento de uma onda de alta frequência.

As linhas sísmicas submetidas a este processamento foram adquiridas a partir de um sistema de perfilador de subfundo (*Sub-Bottom Profiler*), no ambiente da plataforma continental do sudeste do Rio de Janeiro. Em termos geológicos, a área de estudo está localizada em uma região soerguida do embasamento, denominada de Alto do Cabo Frio.

Alguns dos registros sísmicos apresentaram uma feição geológica peculiar, correspondendo a um alto batimétrico de aproximadamente 1,5 metros, que se estende por aproximadamente 6 km na direção NW-SE (figura 1). Entretanto, tal feição apresenta difícil interpretação devido a sua natureza ambígua, o que motiva a realização do processamento dos dados adquiridos. Além de possuir características de um *beachrock*, devido a seu aspecto morfológico e sísmico, pode-se associar também a um afloramento do embasamento cristalino, em virtude de seu grande relevo relativo e do mergulho do refletor, que se estende até o ponto em que há a perda de sinal.

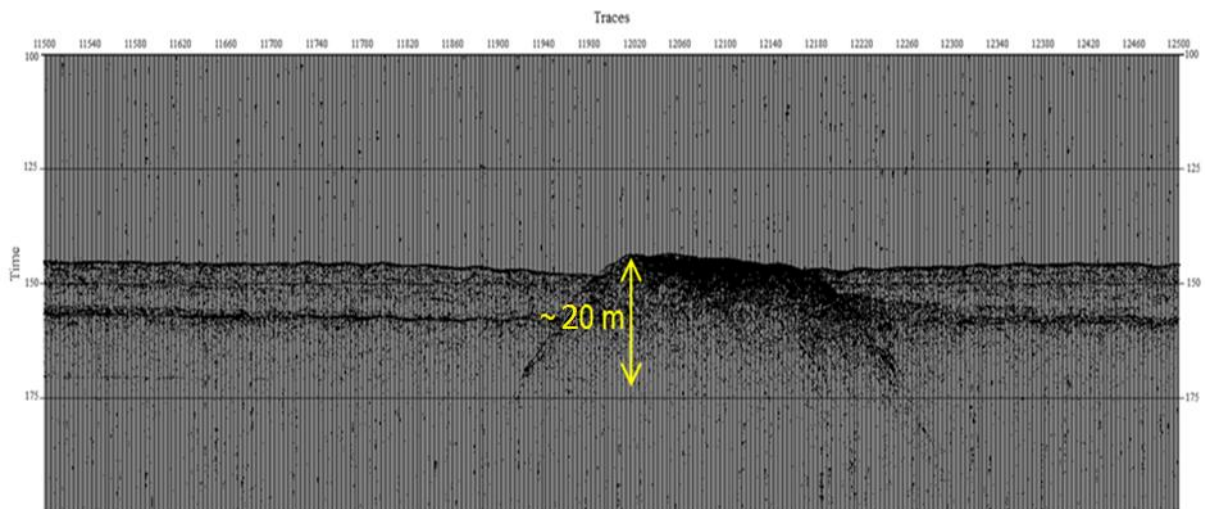


Figura 1: Uma das seções sísmicas as quais será imposta um fluxo de processamento, visando facilitar a interpretação da feição geológica. Observa-se no registro a estrutura de interesse e seus aspectos complicadores, tornando sua caracterização ambígua.

## **2. OBJETIVO**

---

### **2.1. GERAL**

O presente trabalho visa testar diversas técnicas já conhecidas de processamento sísmico, aplicadas a linhas sísmicas convencionais, para os dados de sísmica rasa em estudo. Tal processo visa à melhoria do imageamento sísmico ao largo do Alto do Cabo Frio, o que favorece um melhor entendimento das características do fundo marinho nesta região.

### **2.2. ESPECÍFICO**

Após a realização de todos os testes, foi elaborado um fluxo de processamento único, envolvendo as diversas etapas exploradas, visando obter uma relação sinal/ruído melhor que a encontrada no dado bruto.

A partir do processamento das linhas sísmicas, o alvo deste projeto passou a consistir na interpretação de uma feição geológica aflorante, presente em parte dos dados, visando definir com precisão seu caráter morfológico e sedimentar.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo pode ser definida, em coordenadas geográficas, na posição entre as latitudes 23° 1' 46,58" S e 23° 23' 56,94" S, e entre as longitudes 42° 1' 28,61" W e 41° 32' 38,43" W. Esta região de interesse se estende de aproximadamente 6 km da costa, até uma distância de 68,5 km em direção ao talude. Tal área está inserida no ambiente da plataforma continental interna do Rio de Janeiro, a sudeste da Ilha do Cabo Frio. Em termos geológicos, localiza-se na estrutura que separa as bacias de Santos e Campos, denominada Alto do Cabo Frio (figura 2).

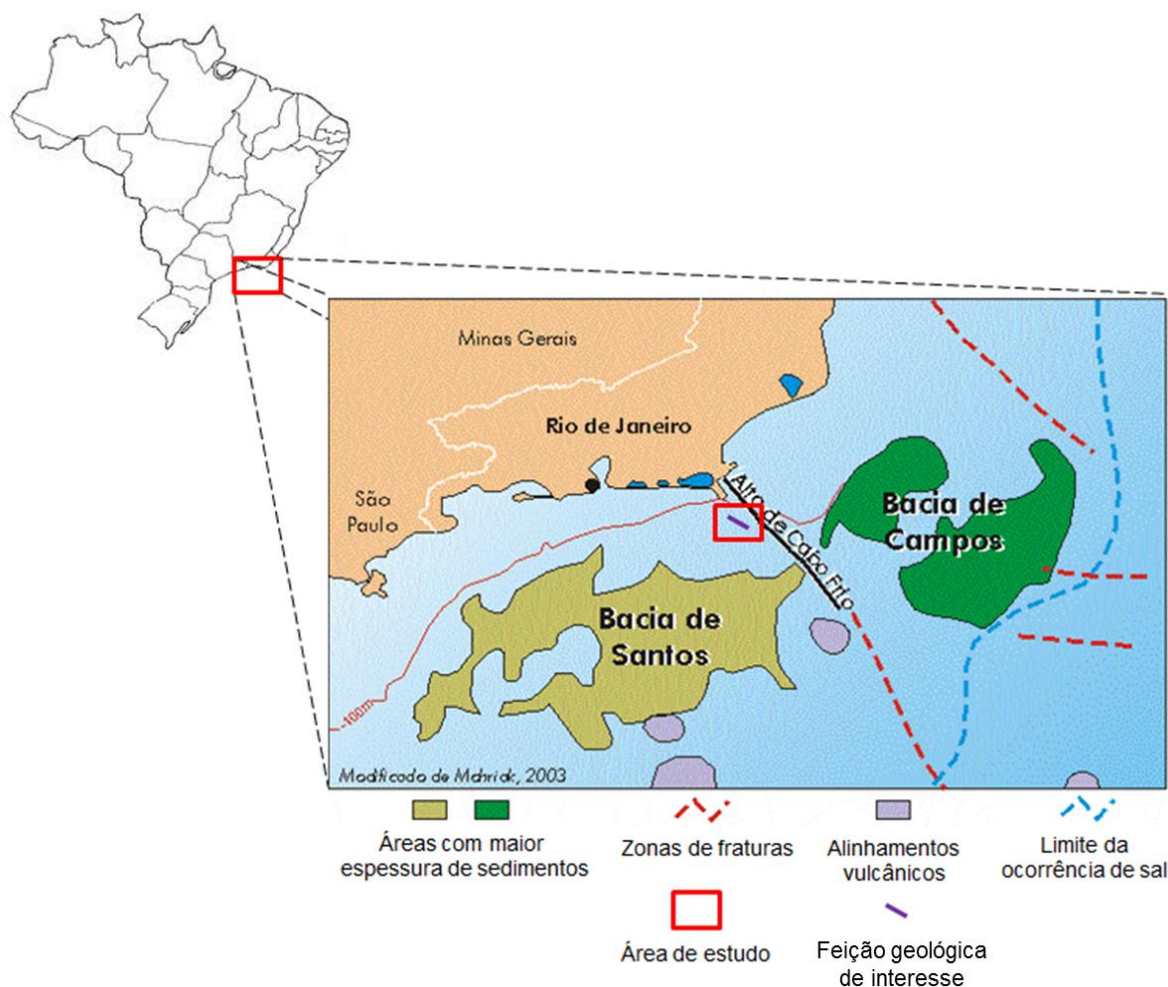


Figura 2: Localização da área em estudo, a partir do mapa do Brasil. Na figura pode-se observar o Alto do Cabo Frio como a estrutura limítrofe entre as bacias de Santos e Campos (Fonte: Modificado de Mohriak, 2003 *apud* “<http://www.caminhosgeologicos.rj.gov.br>”).

### 3.2. CONTEXTO GEOLÓGICO

O Alto do Cabo Frio corresponde a uma feição elevada do embasamento cristalino, sendo seu arranjo estrutural responsável por segmentar os depocentros da porção norte da Bacia de Santos e sul da Bacia de Campos (Marques, 2010), como pode ser visto na figura 3. Esta feição insere-se na região da margem continental, onde é notada a mudança na inflexão das linhas de costa e da plataforma continental, passando de E-W na Bacia de Santos, para NE-SW na Bacia de Campos (Gorini e Alves, 1988 *apud* Marques, 2010).

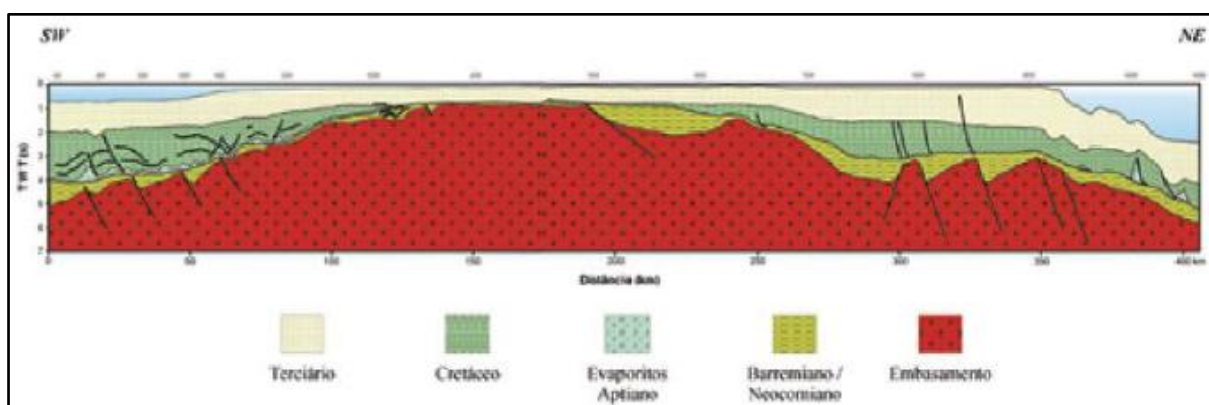


Figura 3: Alto estrutural de Cabo Frio, formado por bloco elevado do embasamento cristalino, falhado, separando os depocentros das bacias de Santos e Campos (Fonte: Mohriak, 2001 *apud* Marques, 2010).

A existência deste alto estrutural foi confirmada por Viviers et al. (1998) a partir da interpretação de mapas paleoecológicos do talude e da planície abissal, confirmando que esta área permaneceu elevada durante o Cretáceo Superior. Além disso, a partir de mapas gravimétricos da margem continental do sudeste do Rio de Janeiro, Dias (1997) e Alves (2002) (*apud* Artusi, 2004) também comprovam a presença da crosta pré-Cambriana do Alto do Cabo Frio.

Por este projeto encontrar-se baseado em dados de sísmica rasa, o estudo a cerca de camadas sedimentares relacionadas a idades mais antigas se tornam dispensáveis, uma vez que a espessura sedimentar caracterizada nos dados adquiridos atinge apenas poucas dezenas de metros. Entretanto, há a ocorrência de estruturas aflorantes relacionadas a rochas do embasamento cristalino, o que indicaria segmentos com idades bastante avançadas, se comparadas às camadas sedimentares do fundo marinho.

De acordo com Dias (2000; *apud* Borguignon, 2012), a área de interesse é de domínio litoclástico, com predomínio de sedimentos lamosos (figura 4). A existência destes



sedimentos mais finos (areia lamosa e lama arenosa) na plataforma continental média, também é comprovada por Artusi (2004), através de amostras do fundo oceânico.

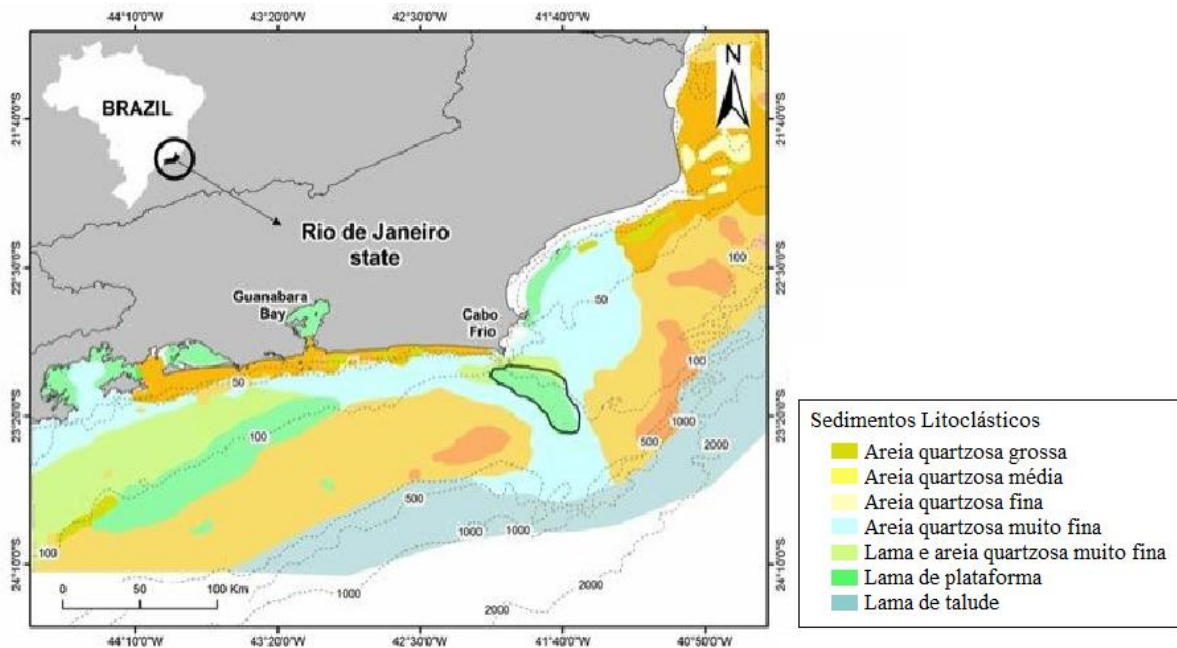


Figura 4: Mapa de classificação de sedimentos do fundo oceânico na região do Alto de Cabo Frio e adjacências (Fonte: Dias, 2000 *apud* Borguignon, 2012).

O gradiente batimétrico da plataforma continental interna do sudeste do Rio de Janeiro possui características bem peculiares na medida em que se aproxima da Ilha do Cabo Frio. Em direção ao norte, próximo à região de Arraial do Cabo, as isóbatas de 100 metros se aproximam da costa, modificando bruscamente o gradiente do fundo oceânico, que passa a ter uma maior declividade. Porém, bem próximo ao litoral, uma inflexão é observada nas isobatimétricas, indicando uma alteração em sua direção. Esta mudança faz com que as isolinhas variem de E-W na bacia de Santos, para NE-SW na bacia de Campos (figura 5).

A morfologia da plataforma continental do sudeste do Rio de Janeiro possui curvas batimétricas dispostas sem grandes inflexões ao longo da laguna de Araruama (oeste da área de estudo), revelando um ambiente bastante monótono, caracterizado por uma relativa homogeneidade topográfica (Muehe & Carvalho, 1993). Entretanto, segundo este mesmo autor, a regularidade topográfica é interrompida nas proximidades ao litoral. Esta irregularidade está associada a elevações topográficas do embasamento cristalino, que aflora no fundo marinho, apresentando-se como testemunho da retrogradação da linha de costa. A partir de dados sísmicos, Artusi (2004) também identificou uma estrutura aflorante, a oeste da Ilha do Cabo Frio, associada a rochas do embasamento, conforme visualizado na figura 6.

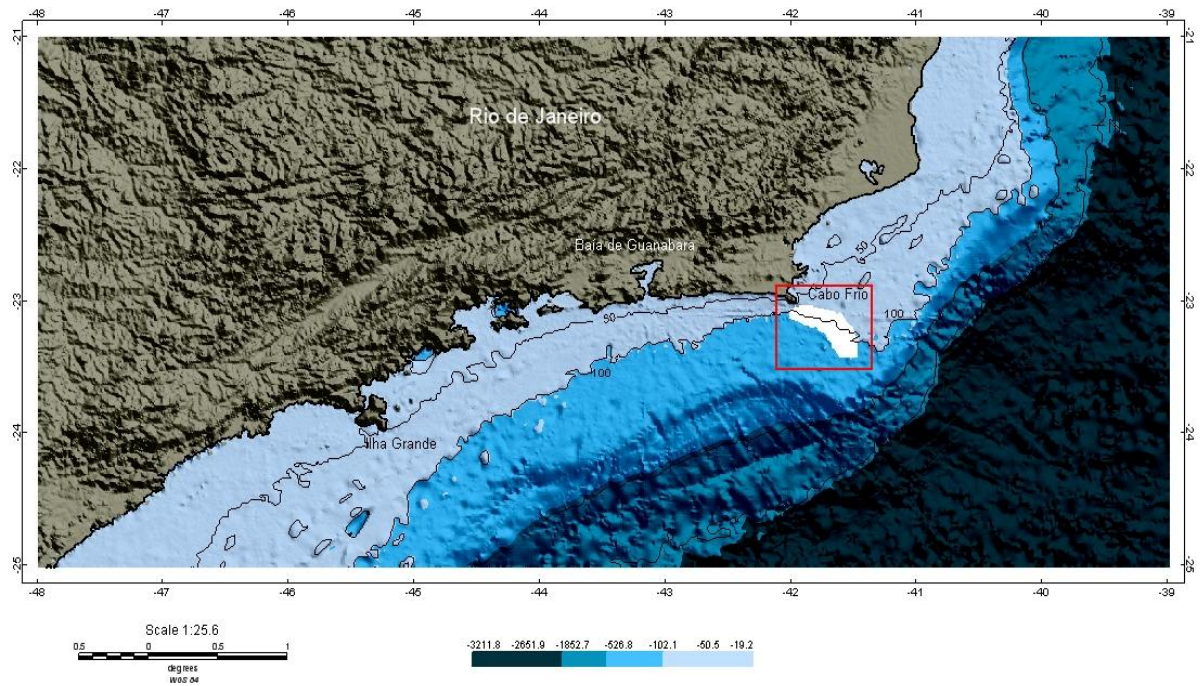


Figura 5: Padrão das isolinhas batimétricas ao longo da costa do Rio de Janeiro, indicando suas inflexões que variam entre as direções E-W (sul da área de estudo) e NE-SW (norte da área de estudo). Em destaque a localização da área de estudo (Fonte: C. M. M. Gomes et al., 2013).

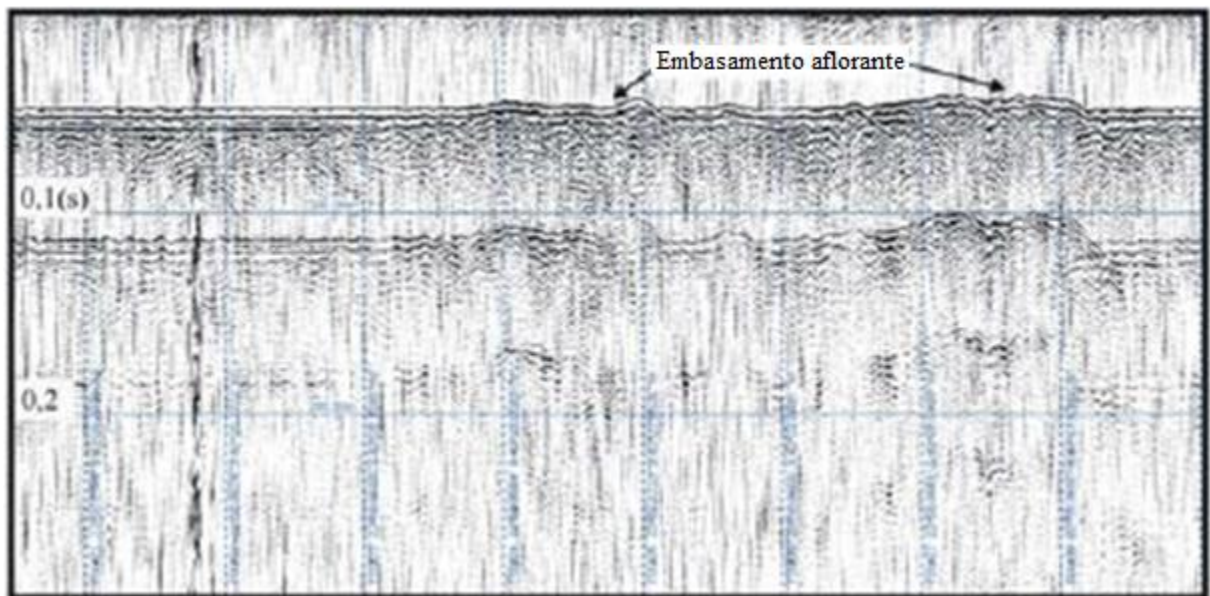


Figura 6: Perfil sísmico ampliado para visualização do afloramento do embasamento acústico, a oeste da Ilha de Cabo Frio, próximo ao litoral do Rio de Janeiro (Fonte: Artusi, 2004).

Muehe & Carvalho (1993) indicaram a presença de afloramentos recifais, sem grande expressão vertical, no limite externo da faixa central da plataforma continental interna. Contudo, concluíram através de perfis sísmicos que tais feições não estão relacionadas a rochas do embasamento cristalino, uma vez que estas se mantêm alinhadas entre 30 e 40

metros de profundidade em relação à superfície do fundo marinho. Sendo assim, tais estruturas podem estar associadas à *beachrocks* (também conhecidos como arenito de praia), atestando então, a posição de uma antiga linha de costa. Próximo à zona de ressurgência do município de Arraial do Cabo, Castro et al. (2012) também identifica alinhamentos pouco expressivos de *beachrocks*, sendo dois emersos e dois submersos.

Em geral, a composição sedimentar do arenito de praia, segundo Castro et al. (2012), caracteriza-se por areias quartzosas, variando desde fina a grossa, até cascalhos e conchas de moluscos consolidados por cimento carbonático. No caso específico das amostras submersas estudadas pelo mesmo autor, na região da Ilha do Cabo Frio, a composição é de areias quartzosas, calcarenito pobremente selecionado com bioclastos e abundantes cristaloclastos consolidados por cimentos carbonáticos.

Mabesoone (1964; *apud* Castro et al., 2012) indica como processo de litificação formador de tal estrutura, o contato do lençol freático com a água do mar, dissolvendo o carbonato presente nos sedimentos e precipitando-o em forma de calcita. Já Vousdoukas et al. (2007) indica quatro mecanismos diferentes de cimentação de *beachrocks*: (a) direta por precipitação a partir de águas marinhas e meteóricas e *spray* marinho; (b) precipitação de cimento devido à mistura de água doce e salgada no lençol freático costeiro; (c) precipitação de cimento devido à perda de CO<sub>2</sub> da água subterrânea; ou (d) por processos biológicos.

Inicialmente, acreditava-se que estes arenitos eram característicos de ambientes tropicais e subtropicais, o que foi desmentido, uma vez que as condições para sua cimentação podem ocorrer também em climas temperados e frios, como na região que vai de Santa Catarina até a Argentina (Martins et al, 2005). Segundo Vousdoukas et al. (2007), a formação deste tipo de rocha é um fenômeno global e diacrônico.

O mais importante significado paleoambiental que pode-se extrair a partir de estudos em *beachrocks* remete ao seu uso como indicadores relativos do nível do mar (Cabral Neto, 2011). Russel (1962), baseando-se principalmente na zona de ocorrência e a rápida formação, sugere que depósitos destes arenitos de praia podem ser indicadores particularmente sensíveis das variações do nível do mar. Entretanto, o uso de tais rochas para este fim deve ser empregado com bastante cautela. Partindo deste princípio, Hopley (1986; *apud* Cabral Neto, 2011) chama a atenção para três possíveis problemas: (a) a ocorrência de *beachrock* não é rigorosamente restrita à zona de intermarés, uma vez que pode ser formado na zona de *spray*

marinho de supramaré ou na zona de inframaré rasa; (b) a posição do nível do mar obtida destes arenitos em regiões de macromarés pode não ser muito precisa; e (c) tais rochas podem ser confundidas com outros depósitos formados próximos ou nas regiões costeiras.

Vale ressaltar, que pode ser encontrada, junto aos afloramentos submersos de *beachrock*, uma possível aglomeração de recifes de coral, como pode ser visualizado na figura 7. Isto ocorre, pois estes recifes são formados em ambientes tropicais e sobre uma base rígida, condições facilmente encontradas em afloramentos de arenito de praia. Gomes (2009) identificou através de linhas sísmicas, o que seria uma sequência de recifes, possivelmente instalada em uma *beachrock*, na região de Macau, no estado do Rio Grande do Norte.

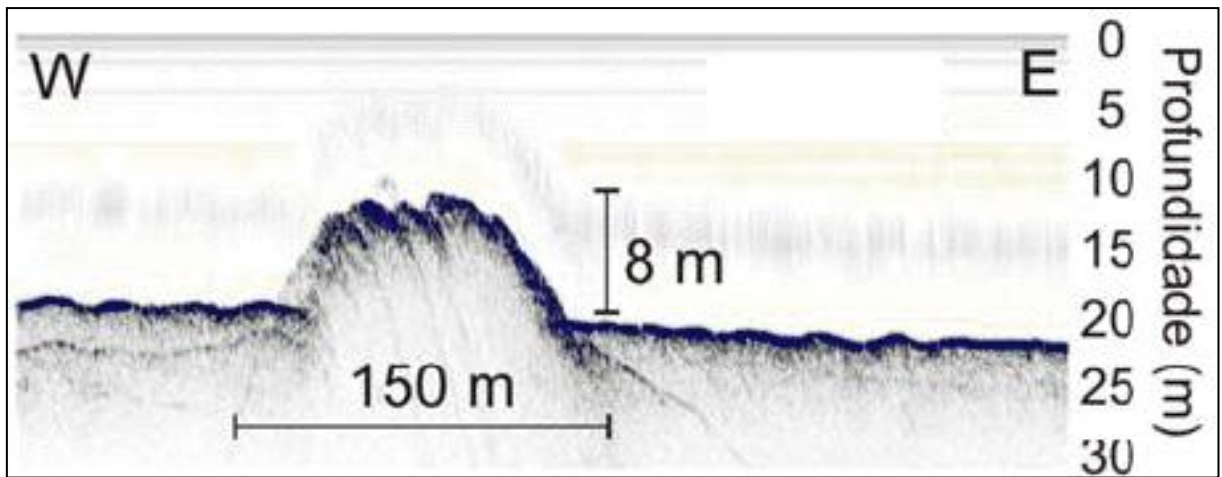


Figura 7: Seção sísmica apresentando um afloramento de *beachrock* associado a uma possível aglomeração de recifes de coral, na região de Macau - RN (Fonte: Gomes, 2009).

#### 4. CARÁTER DOS DADOS

---

A sismica de reflexão vem sendo usada intensivamente pela indústria de petróleo, devido a seu alto poder de resolução da subsuperfície terrestre. Este método consiste na geração de ondas elásticas, posteriormente observando o tempo de chegada destas através de receptores (geofones ou hidrofones), sendo possível determinar a distribuição de velocidade e identificar interfaces onde esta onda foi refletida e refratada (Ayres, 2000). Esta reflexão do sinal sísmico ocorre devido à diferença de impedância acústica entre os diferentes meios em que a onda se propaga, representando uma propriedade da rocha definida pelo produto entre a velocidade e a densidade do material.

Diversos tipos de fontes sísmicas podem ser utilizados para aquisição marinha e terrestre, sendo determinadas de acordo com o objetivo do trabalho (oceanografia, engenharia, indústria do petróleo, etc.). A principal diferença entre cada uma delas está associada à forma do sinal emitido, que é determinado por um espectro de frequências que varia de acordo com o equipamento utilizado. No caso da sismica de alta resolução, também chamada de sismica rasa, este espectro está associado a altas frequências, o que possibilita a aquisição de registros com maior resolução que a sismica convencional. Entretanto, sabendo-se que a Terra absorve mais rapidamente as altas frequências, a capacidade de penetração no solo destas fontes é menor, associado a um alto índice de atenuação do registro sísmico em função do tempo.

A aquisição dos dados sísmicos para o presente estudo ocorreu através do perfilador de sub-fundo (*sub-bottom profiler*) da Geopulse Geoacoustics (tipo *chirp*), modelo composto por unidades de transmissão e recepção. O padrão deste sistema resulta da interação entre o fundo oceânico e o pulso de energia da fonte, sendo o retorno do sinal afetado pelo tipo de sedimento e suas camadas, além das estruturas e topografias de fundo, como exemplificado pela figura 8. Além disso, o *software* utilizado para a aquisição foi o SonarWiz Collection, e todos os equipamentos geofísicos a bordo da embarcação foram posicionados utilizando um sistema DGPS.

Em um sistema do tipo *chirp*, utilizado no *sub-bottom profiler*, o impulso acústico é produzido através da vibração de transdutores piezoelétricos, operando em uma frequência de 3,5 kHz. Estes transdutores são montados em um peixe rebocado dentro da água a uma distância entre 10 e 30 metros do fundo do mar ou no casco de um navio, sendo este último



modelo o adotado neste projeto. A partir deste tipo de sistema é possível obter uma resolução um pouco melhor que 10 centímetros e penetrações no sedimento da ordem de poucas dezenas de metros. Segundo Ayres (2000), as principais características desta fonte são a melhor repetibilidade do sinal emitido e a baixa potência necessária para geração dos sinais, além de serem equipamentos mais simples e compactos, o que permite a operação em embarcações de pequeno porte.

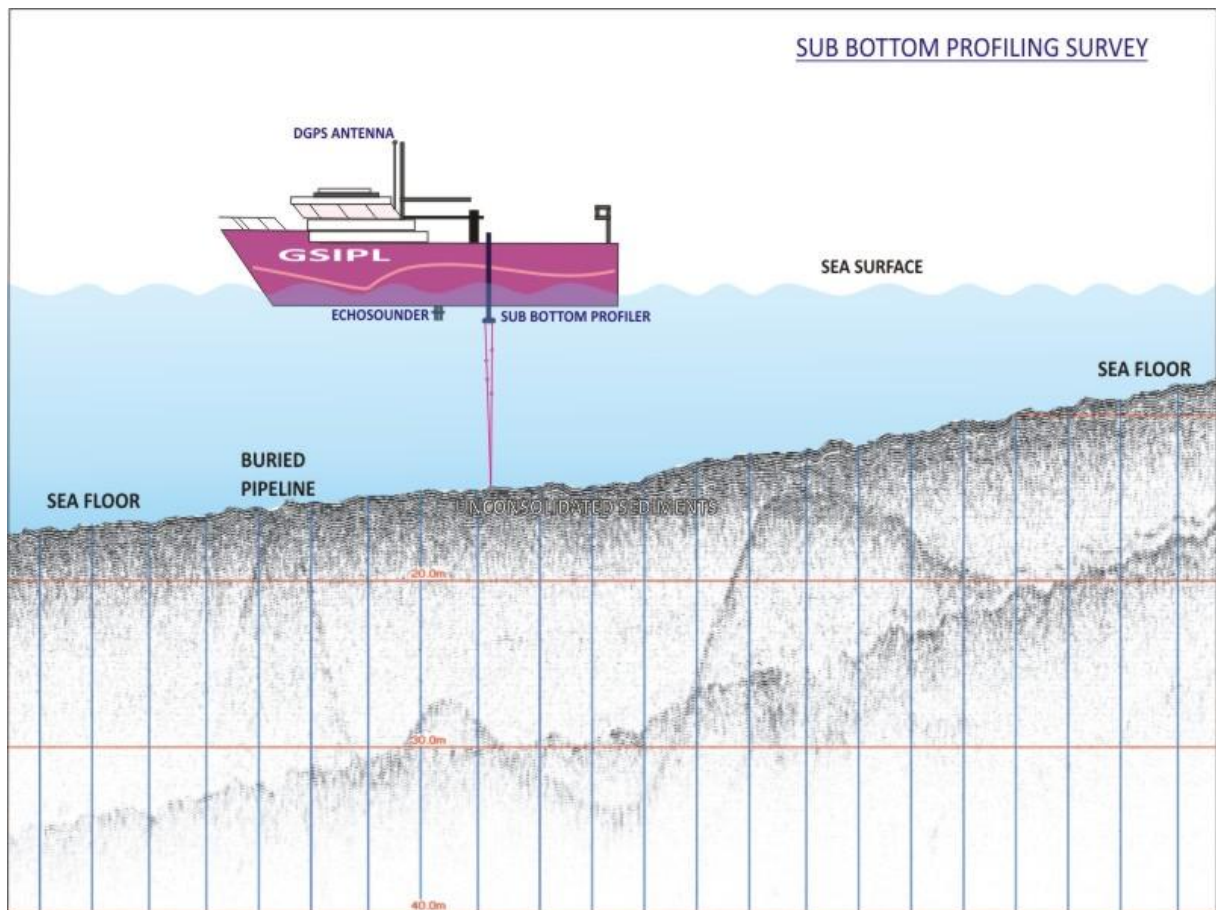


Figura 8: Configuração de aquisição sísmica realizada a partir de um *Sub-Bottom Profiler* (Fonte: [www.geostar-surveys.com](http://www.geostar-surveys.com)).

## 5. METODOLOGIA

Para a elaboração deste projeto foram escolhidas quatro seções sísmicas, de um total de 42 linhas adquiridas. Tal seleção baseou-se na localização destes dados, a fim de observar de maneira mais clara a feição anômala em estudo. Dentro desta configuração, 40 linhas estão espaçadas de 1500 metros entre si e com comprimento variando entre 3 e 20,85 km na direção NE-SW (paralela à linha de costa), além de outras 2 que se encontram direcionadas em SE-NW (perpendiculares à linha de costa), com 30,1 e 35,5 km de comprimento cada. As seções selecionadas encontram-se em destaque na figura 9.

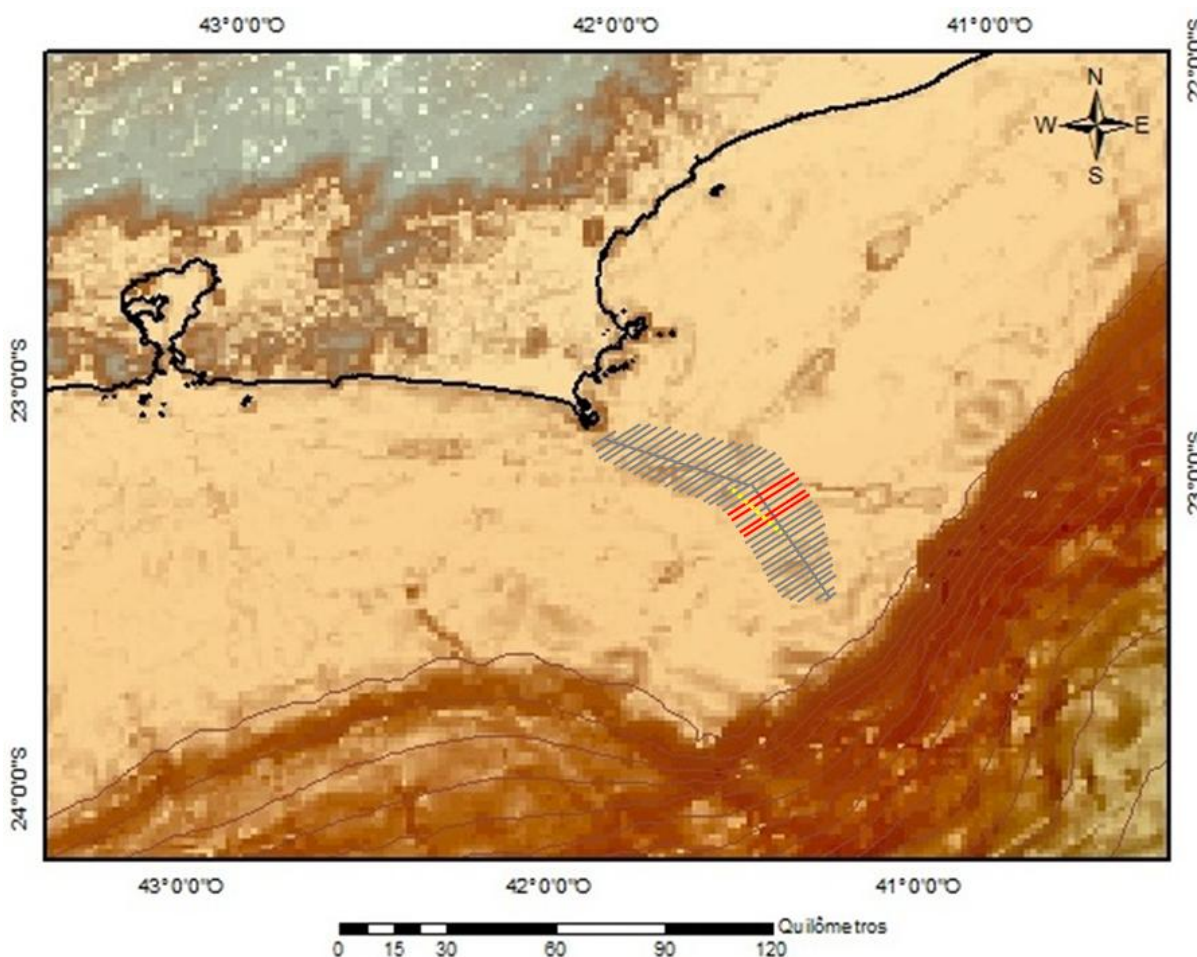


Figura 9: Localização de todas as 42 seções sísmicas adquiridas. Em destaque, na cor vermelha, as linhas que serão utilizadas durante o projeto, onde a feição em estudo pode ser vista com maior clareza (destacada em amarelo).

Dentre as linhas sísmicas destacadas escolheu-se uma em que melhor era visualizada feição geológica de interesse (FEC\_025), onde testou-se todas as etapas de processamento pré-determinadas. A escolha das etapas que foram testadas ocorreu de acordo com o caráter

apresentado pelos dados e a bibliografia utilizada para este projeto, desde a filtragem de frequências, passando pela correção de amplitudes, empilhamento e, por fim, a migração. O *software* utilizado para tal foi o *Seismic Processing Workshop*, mais conhecido como SPW, que foi desenvolvido pela empresa Parallel Geoscience Corporation.

Vale ressaltar que durante os testes associados à etapa de migração utilizou-se de medidas de velocidade de ondas P ( $V_p$ ) de dois testemunhos adquiridos próximo ao local da feição de interesse, visando um melhor resultado desta técnica. Tal dado foi adquirido através do perfilador de testemunhos *Multi-sensor Core Logger* (MSCL) da Geotek, que consiste em um sistema computadorizado para perfilagem de testemunhos. Para a medição das velocidades, o equipamento usufrui de dois transdutores de ultra-som na frequência de 250 kHz, que são posicionados em lados opostos do testemunho, permitindo que a onda emitida em um lado seja detectada no outro.

Posteriormente, ao final dos testes das etapas de processamento convencional, avaliou-se aqueles que apresentaram melhores resultados, organizando a partir destes um fluxo de processamento, o qual foi submetido para o restante dos dados.

Finalmente, já com as quatro seções sísmicas pós-processadas, pode-se interpretar a feição geológica de interesse com maior propriedade, baseado nas alterações sísmicas e morfológicas obtidas nos registros pós-processados.



## 6. PROCESSAMENTO DOS DADOS SÍSMICOS

---

O processamento sísmico desempenha um papel importante no método sísmico, servindo como complemento ao trabalho proveniente da aquisição, melhorando os dados para facilitar a posterior interpretação. O objetivo deste tratamento dos registros sísmicos é produzir uma imagem do alvo de subsuperfície com a maior acurácia possível (Gadallah & Fisher, 2005 *apud* Vasconcellos, 2009).

Apesar da etapa de aquisição sísmica ser de primordial importância, devendo ser muito bem planejada, algumas vezes ela é negligenciada, acreditando-se que o processamento possa resolver qualquer adversidade. Porém, o processo computacional não faz um dado ruim transformar-se em um dado bom (Knapp, 1986 *apud* Brunetta, 2005).

Vale ressaltar que o processamento aplicado a dados de sísmica rasa não é comumente utilizado, uma vez que originalmente possuem alta resolução, sendo muitas vezes interpretados em sua forma bruta. Alguns autores apoiaram-se em fluxos de processamento convencionais e desenvolveram fluxos aplicados à sísmica de alta resolução, de acordo com as particularidades existentes em tal tipo de dado (e.g. Gomes et al., 2010; Marino et al., 2012 – figura 10). Com base em parâmetros como o comportamento de uma onda de alta frequência, impedância acústica, aplicabilidade dos filtros para eliminação de ruídos típicos e recuperação de ganho, pode-se obter um perfil sísmico com qualidade superior ao registro bruto (Marino et al., 2012).

A escolha de cada uma das etapas testadas não foi baseada apenas nos fluxos de tais autores, mas também de acordo com a necessidade apresentada pelas seções sísmicas estudadas. Além disso, também foram considerados o tipo de aquisição e suas devidas particularidades, tais como: taxa de amostragem, banda de frequência e profundidade de investigação.

O fluxo proposto para a elaboração dos testes foi dividido em cinco grandes etapas, sendo cada uma com suas subdivisões, e avaliando diferentes valores para os diversos parâmetros inerentes a cada técnica. A utilização de cada estágio para o desenvolvimento do fluxo final foi determinada de acordo com a eficácia demonstrada por cada tipo de tratamento aplicado.

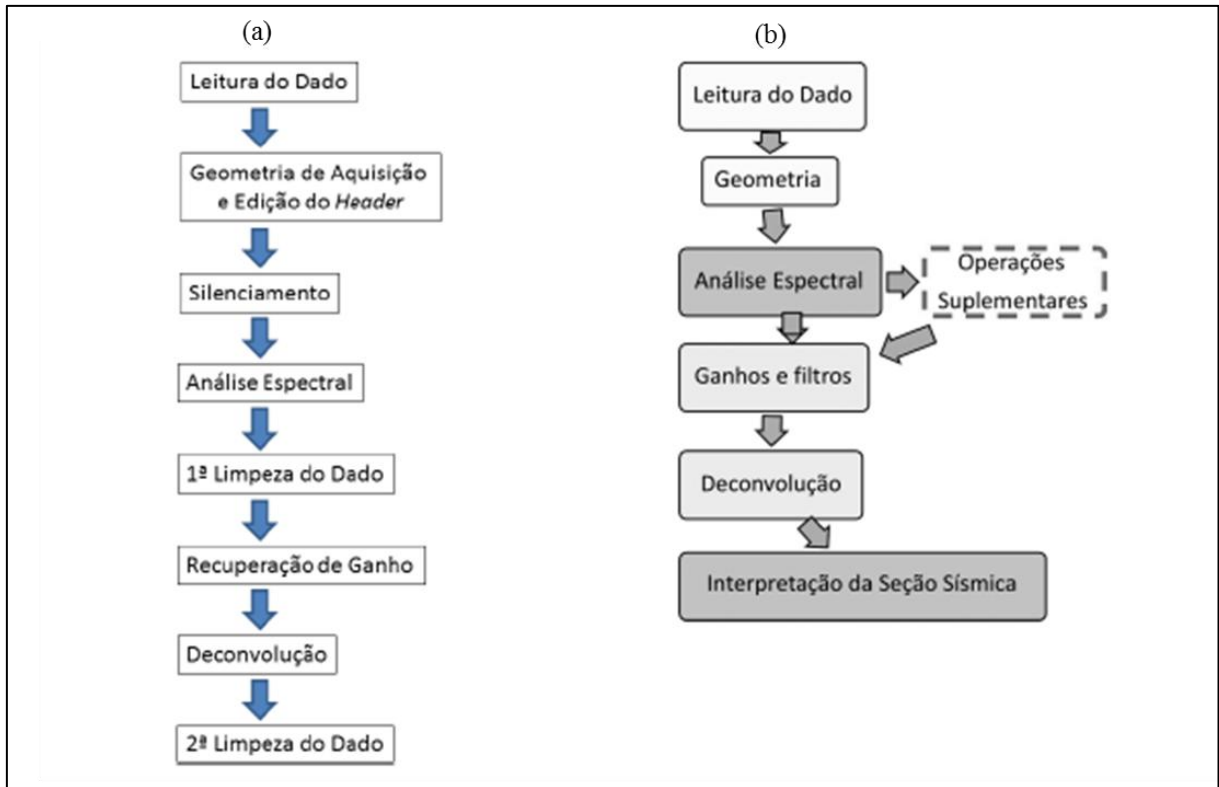


Figura 10: Fluxogramas de processamento sísmico associado a dados de alta resolução adquiridos através de equipamentos monocal. (a) Marino et al., 2012; (b) Gomes et al., 2010.

## 6.1. PRÉ-PROCESSAMENTO

### 6.1.1. LEITURA DO DADO

Os arquivos obtidos pelo sistema sísmico monocal foram gravados em formato SEG-Y. Este foi desenvolvido pela *Society of Exploration Geophysics* (SEG), sendo o mais comum utilizado na indústria. O padrão oficial do SEG-Y consiste em quatro principais componentes: (a) um cabeçalho (*header*) do tipo EBCDIC, onde podem ser descritas as informações gerais sobre o perfil do registro e sobre as etapas de processamento aplicadas a ele; (b) o *bin header*, que contém informações importantes a respeito do dado; (c) o *trace header*, que contém informações sobre a geometria de aquisição; e (d) o dado sísmico.

Apesar da maioria dos *softwares* de processamento sísmico possuir um formato interno diferente do SEG-Y, não foi necessário realizar qualquer transformação, uma vez que o software utilizado trabalha diretamente com o formato convencional supracitado.

Entretanto, para processar um arquivo SEG Y com o SPW requer-se a criação de um pequeno arquivo de formato *index* (.indx), que auxilia na conexão entre o dado sísmico e o próprio *software*. Para tal, necessita-se localizar e indicar a posição de diversos elementos importantes no *header* do arquivo, definindo algumas características referentes à aquisição do dado.

Esta etapa demanda extrema atenção, uma vez que caso algum parâmetro não seja localizado no cabeçalho do dado deve-se adicionar tais informações durante a etapa de geometria, para evitar que o processamento das linhas seja comprometido.

### **6.1.2. GEOMETRIA**

Esta etapa consiste na anexação e verificação da geometria no cabeçalho de cada linha sísmica, certificando-se de que todos os dados (localização de cada traço por coordenadas X e Y, número de traços, distância entre traços, localização da fonte e do receptor, elevações, etc.) estão corretamente inseridos na tabela. Deve-se tomar bastante cuidado com este estágio do processamento, pois qualquer falha na geometria pode colocar todo o processamento em questionamento (Brunetta, 2005).

Geralmente, não há grandes prejuízos na formatação do dado, uma vez que a tecnologia atual permite, por exemplo, a interação entre os softwares de aquisição com os de posicionamento. Assim, todas as correções necessárias são realizadas em tempo real, e o georreferenciamento dos traços dificilmente é posicionado de forma errada. Entretanto algumas imprecisões nas informações sismoestratigráficas podem ser acumuladas durante a aquisição. Uma delas é a inconstância da velocidade da embarcação na escala de tempo de registro dos traços sísmicos, o que pode acarretar uma grande variação da distância entre os traços (Gomes et al., 2010).

No caso dos dados utilizados neste projeto, notou-se que alguns dos parâmetros de aquisição não estavam corretamente representados no *header*. Sendo assim, foi necessário adicionar manualmente tais valores, para que nenhuma etapa do processamento fosse prejudicada ao longo dos testes.

### 6.1.3. SELEÇÃO DE TRAÇOS

Quando a quantidade de traços ou a taxa de amostragem em uma seção é excessiva, conforme é observado no presente projeto, o tempo demandado para cada um dos testes se torna extenso, retardando a adaptação do fluxo de processamento. A solução para tal dificuldade foi limitar os registros em número de traços de acordo com a zona de interesse, focando apenas a feição geológica em estudo (figura 11). Esta etapa foi de extrema importância para a continuidade do processamento, uma vez que otimizou em grande escala o tempo gasto ao realizar cada um dos estágios posteriores, principalmente para a técnica de migração.

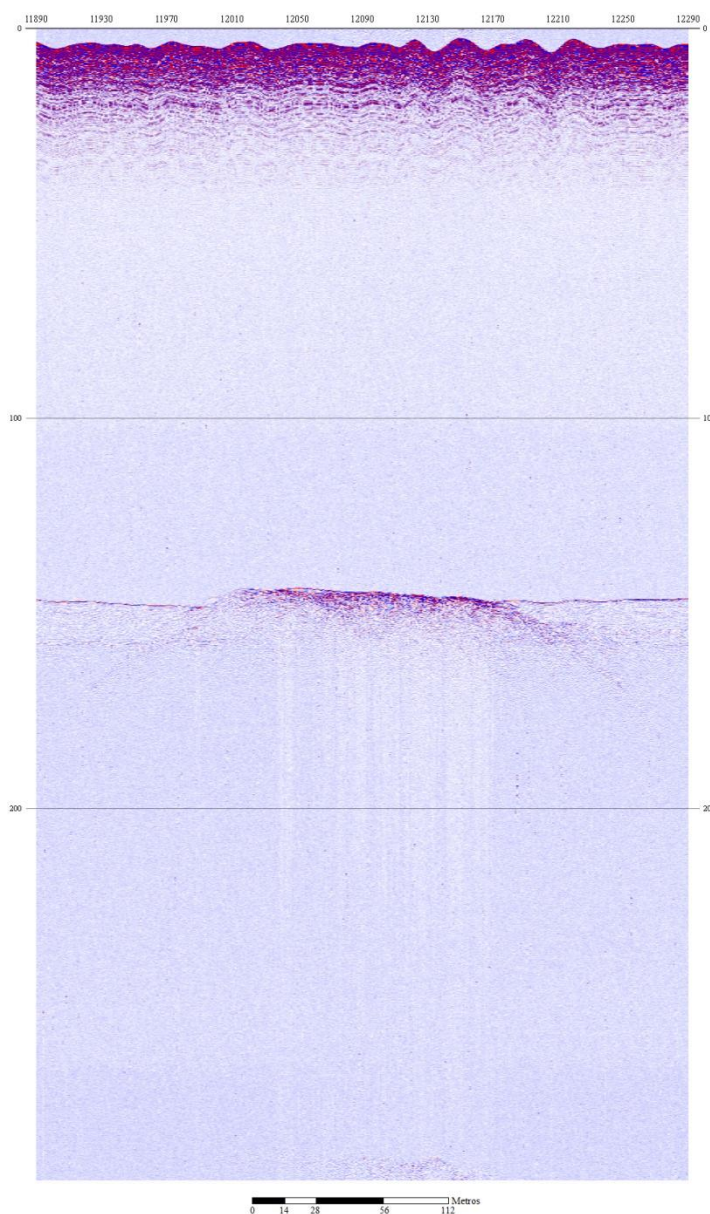


Figura 2: Seção sísmica (FEC\_025) já limitada entre os traços 11890 e 12290, apresentando apenas a feição geológica de interesse.

#### 6.1.4. ANÁLISE ESPECTRAL

A existência de ruídos é inevitável em qualquer tipo de registro sísmico, podendo ser visualizado na seção sísmica bruta ou através de análise espectral. A partir da visualização e correlação dos espectros de amplitude, tempo e frequência pode-se obter informações mais precisas, visando uma melhor equalização das amplitudes no registro sísmico (Gomes et al., 2010). Sendo assim, este estágio determina o início dos processos voltados para filtragem de frequências e correção de amplitudes.

A partir de um espectro de amplitude x frequência, por exemplo, pode-se determinar o intervalo de frequências dominantes do dado. Esta banda predominante é responsável por conter os maiores valores de amplitude, que por sua vez representam a presença de refletores sísmicos. Sendo assim, a partir da análise deste espectro pode-se realizar com maior precisão a seleção dos parâmetros para a aplicação de filtros.

De acordo com a análise espectral da linha teste observou-se uma banda predominante de frequências bem definida entre os valores 2500 e 6000 Hz, conforme visualizado na figura 12. Dentre outros fatores importantes notou-se um pico significativo de amplitude nas baixas frequências, próximo a 0 Hz, que possivelmente está associado a ruído. Além disso, observou-se que a frequência máxima existente no espectro é de aproximadamente 31250 Hz, obedecendo o Teorema de Nyquist, que diz que a frequência de amostragem do sinal deve ser maior a duas vezes a maior frequência do espectro desse sinal. Tal frequência pode ser obtida através da equação:

$$f_n = \frac{1}{2T_x}$$

Onde  $f_n$  é a frequência de Nyquist e  $T_x$  a taxa de amostragem, sendo para os dados deste projeto 16  $\mu$ s.

Vale ressaltar, que é de suma importância a utilização desta análise logo após a realização de cada técnica de processamento relacionada a algum de tipo filtragem, pois através deste espectro tem-se uma melhor percepção de como o dado foi tratado. Com isso, pode-se observar a necessidade da aplicação de novos filtros e ganhos após cada etapa do processamento.

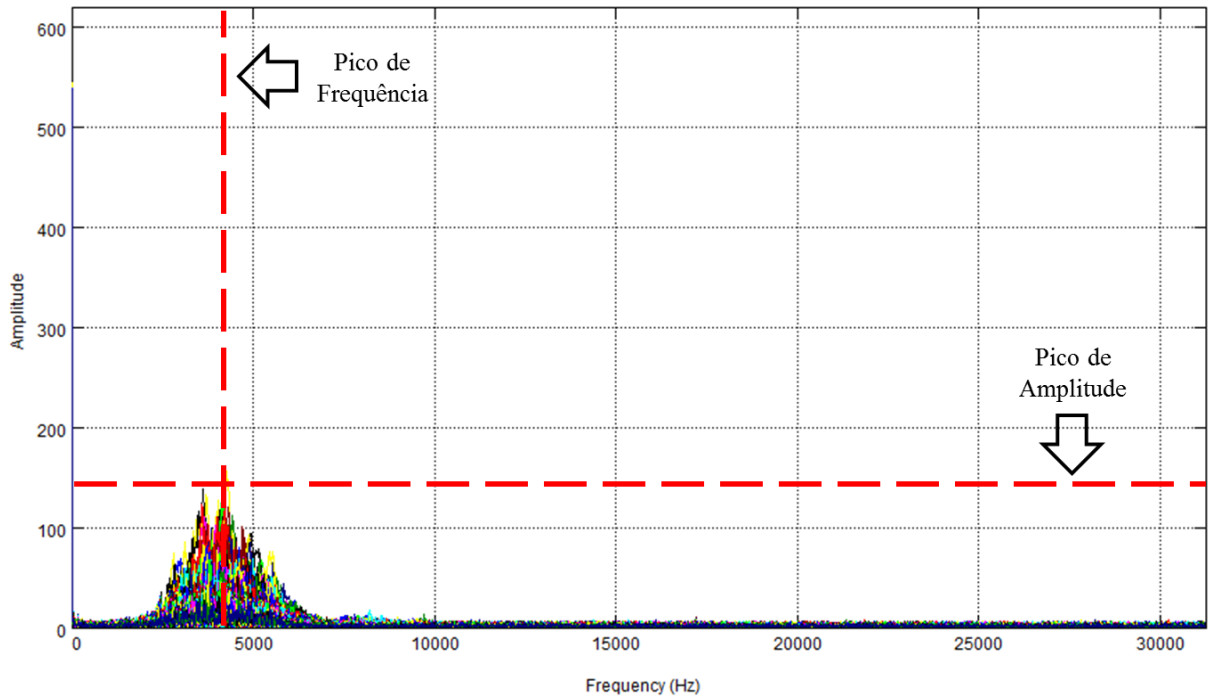


Figura 3: Espectros de frequência x amplitude referente à linha FEC\_025, indicando o pico de frequência e amplitude dentro da banda de frequências dominante.

## 6.2. FILTRAGEM DE FREQUÊNCIAS

O procedimento de filtragem é muito comum em fluxogramas de processamento sísmico, sendo empregado em diversas etapas do tratamento dos dados com o intuito de evitar frequências geradas artificialmente (Brunetta, 2005). Portanto, o objetivo principal desta etapa consiste em aumentar a relação sinal/ruído, melhorando a visualização dos refletores na seção sísmica.

Diversos tipos de filtros de frequência podem ser encontrados nos *softwares* de processamento sísmico, tais como: passa alta, passa baixa, passa banda e filtro *notch*. Eles diferenciam-se quanto à faixa de frequência em que são aplicados, o que depende do caráter do dado e de quais frequências deseja-se trabalhar. Enquanto os filtros passa alta e passa baixa são aplicados visando eliminar somente baixas e altas frequências, respectivamente, o passa banda e o filtro *notch* empenham-se em suprimir bandas delimitadas de frequência.

Entretanto, os ruídos podem apresentar conteúdo tanto a cima, quanto abaixo da banda de frequências predominante. Sendo assim, o filtro do tipo passa-banda é o mais apropriado método de filtragem a ser utilizado para atenuação de artefatos desta natureza, uma vez que

objetiva limitar o dado sísmico a uma determinada gama de frequências, com o intuito de remover qualquer sinal desnecessário abaixo e acima da banda principal, resultando no aumento de resolução dos refletores no registro sísmico.

O *software* SPW disponibiliza dois tipos de filtro passa-banda diferentes, o filtro convencional e o *butterworth*, sendo a diferença entre estes relacionada à definição da rampa de atenuação de frequências. O mais simples é o filtro passa-banda convencional onde, através da análise espectral, estima-se a posição de quatro valores: frequência baixa de corte (corta baixa), frequência baixa de passagem (passa baixa), frequência alta de corte (corta alta) e frequência alta de passagem (passa alta), conforme visto na figura 13. Os valores de corte (alta e baixa) atuam eliminando completamente todas as frequências referentes aos extremos do filtro utilizado, sendo preservadas em sua totalidade na zona central. Já na rampa, entre os valores de passagem e de corte, a supressão de frequências ocorre gradualmente em direção ao valor de corte.

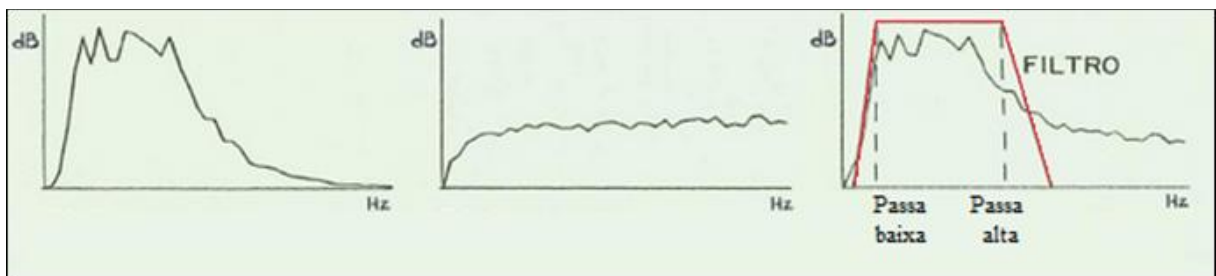


Figura 4: Espectros de amplitude x frequência referentes: em (a) apenas ao sinal sísmico; (b) apenas ao ruído; e em (c) ao dado sísmico como um todo (sinal e ruído), exemplificando o formato de um filtro do tipo passa-banda e indicando os parâmetros que devem ser utilizados para a filtragem.

Já o filtro *butterworth* é projetado para ter uma resposta de frequência mais plana possível entre os valores de passagem (Sanchis, 2010 *apud* Storbakk, 2012). Para este é necessária apenas a definição dos valores de passagem (baixa e alta), sendo a taxa de atenuação da rampa definida em dB/oitava (decibéis por oitava), onde cada oitava representa a duplicação da frequência selecionada. Normalmente, utiliza-se para este parâmetro valores menores de frequência baixa de passagem, se comparado ao de passa alta, a fim de se obter uma melhor proporção para o filtro (Storbakk, 2012). Os valores que geralmente são utilizados para tais parâmetros são 18 e 36 dB/oitava, sendo o primeiro utilizado para o passa baixa e o segundo para o passa alta. Tais valores são considerados bastante robustos para qualquer tipo de dado sísmico (Fletcher, 2009 *apud* Storbakk, 2012).

Vale ressaltar, que para ambos os filtros, a utilização de valores de frequência de passagem muito próximos pode comprometer o registro sísmico, uma vez que possibilita a geração de artefatos (Brunetta, 2005). Além disso, a rampa que define a atenuação de amplitude deve ser suave o suficiente para que não haja formação de artefatos ruidosos (*lobes*), de acordo com o Fenômeno de Gibbs (figura 14). Segundo Chelotti et al. (2009), este fenômeno está relacionado ao ruído existente devido à superposição residual das formas de onda das séries de Fourier.

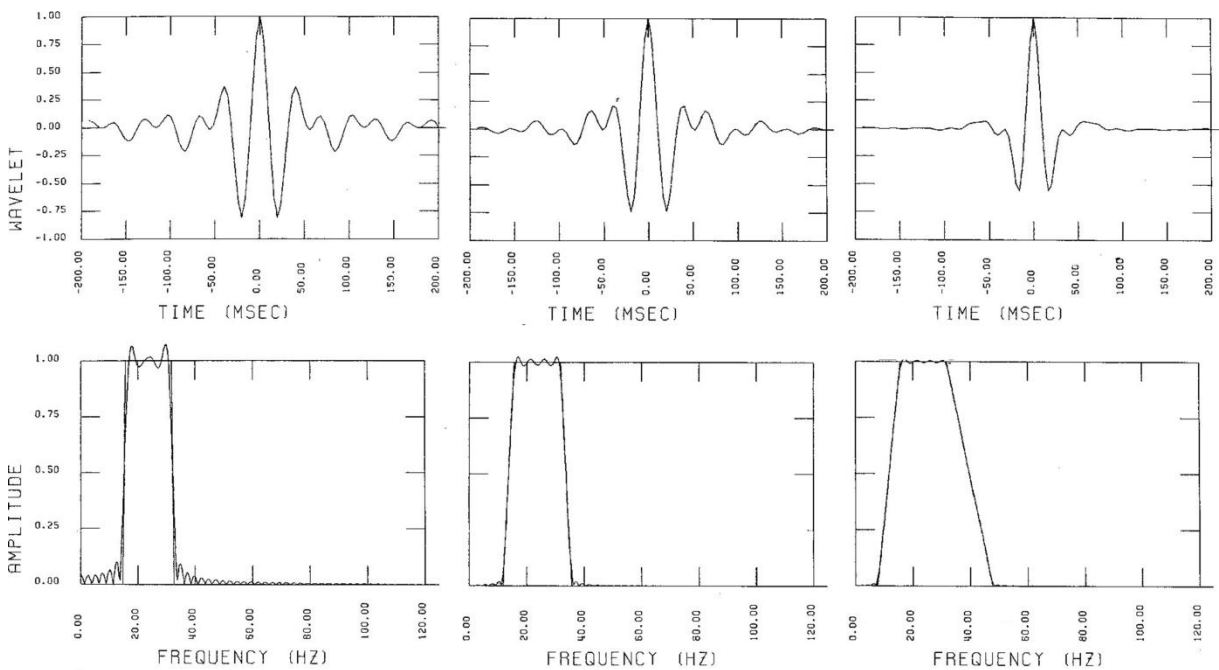


Figura 5: Formação de *lobes* (fenômeno de Gibbs) em um pulso sísmico (wavelet), de acordo com a inclinação da rampa que define a atenuação de amplitude entre os parâmetros de corte e de passagem. Nota-se que quanto mais suave se encontrar a inclinação, menor a aparição de *spikes* (Fonte: Yilmaz, 2001 *apud* Sheriff & Geldart, 1995).

De acordo com os testes realizados para esta etapa, a filtragem que apresentou melhor resultado foi a do tipo *butterworth*, com os valores de corte delimitados em 2,5 e 6 kHz, e a rampa de atenuação sendo definida por 18 e 36 dB/oitava, respectivamente. Tal filtro foi utilizado no desenvolvimento do fluxo de processamento final, contendo exatamente os parâmetros supracitados.

Para realizar um controle de qualidade desta etapa é necessário avaliar se a filtragem elimina, não só ruídos, mas também reflexões referentes a estruturas geológicas reais. Uma das maneiras para efetuar esta avaliação é a partir do cálculo da subtração entre o registro pós-filtrado e o dado de entrada. Com o resultado é possível verificar se há alguma continuidade



entre as reflexões, o que permitiria concluir que os parâmetros utilizados no filtro não foram bem determinados, já que esta coerência indica que reflexões de interesse estão sendo eliminadas pela filtragem. Os parâmetros estarão bem determinados uma vez que esta subtração não apresente nenhuma coerência em sua visualização, conforme visto na figura 15.

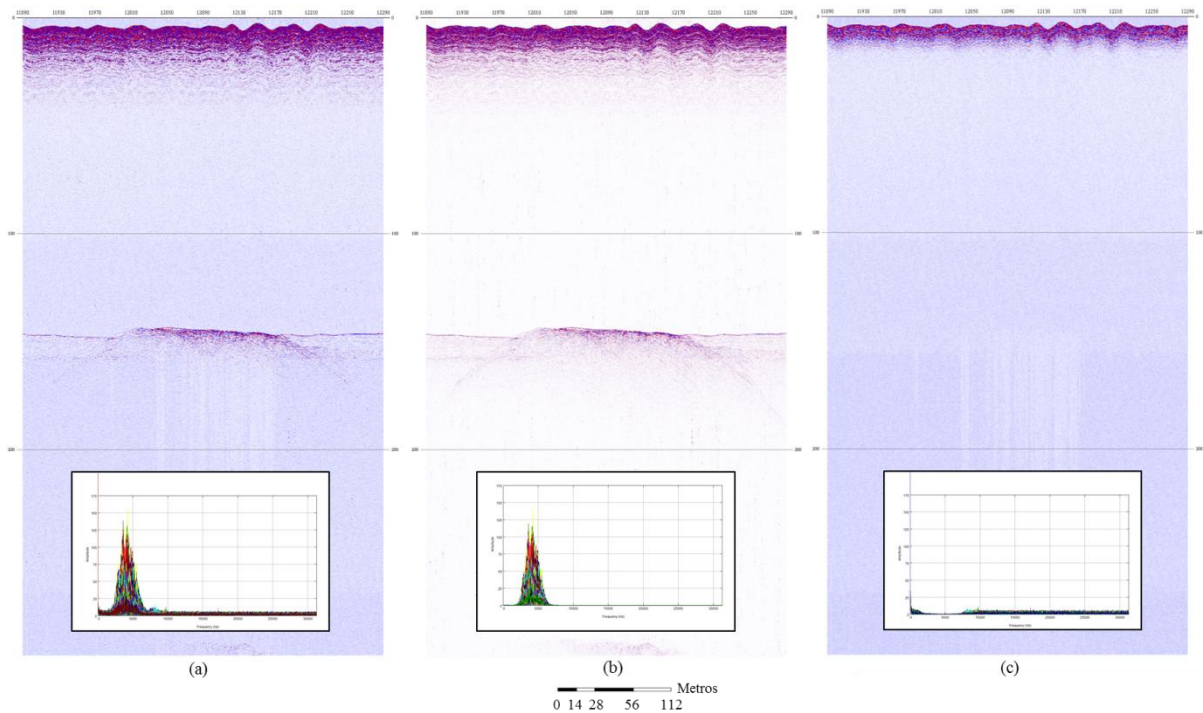


Figura 15: Visualização da seção FEC\_025 em diferentes estágios durante os testes de parâmetros para o processo de filtragem e seus respectivos espectros de amplitude x frequência. Em (a) o dado bruto, em (b) o dado pós-filtragem e em (c) a diferença entre ambas. Nesta última percebe-se que nenhuma resposta coerente foi eliminada do dado, apenas ruídos aleatórios.

Vale ressaltar que o ruído existente na parte superior do registro não pode ser removido durante esta etapa, devido ao caráter da banda de frequências desse sinal. Esta apresenta-se aproximadamente nas mesmas frequências das reflexões primárias, porém com maiores valores de amplitude, conforme destacado na figura 16. Sendo assim, para a eliminação de tal ruído, parte das reflexões primárias também seria perdida, o que resultaria em maiores dificuldades na interpretação desta linha sísmica. De acordo com as características do equipamento utilizado na aquisição e do espectro de amplitude por frequência deste ruído, pode-se associá-lo a ondas diretas, ou seja, ondas sísmicas que se deslocaram diretamente do transmissor para o receptor.

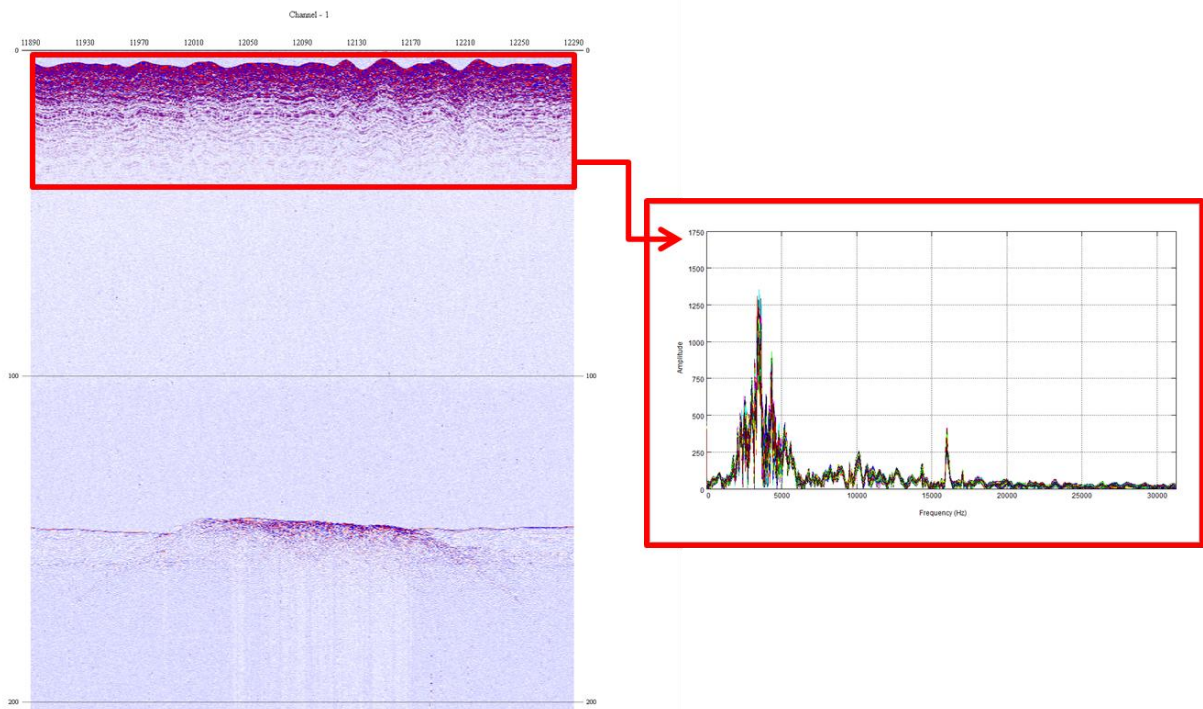


Figura 16: Destaque (vermelho) do ruído associado a onda direta e seu respectivo espectro de amplitude x frequência, calculado apenas para a região em destaque. Observa-se uma distribuição bastante similar com o espectro referente as reflexões principais.

### 6.3. CORREÇÃO DAS AMPLITUDES

Esta etapa, assim como a filtragem, pode ser aplicada em diferentes momentos do processamento, com a finalidade de corrigir as amplitudes do registro sísmico. Exemplificando esta aplicação tem-se o estágio após a demultipla (atenuação das múltiplas do dado sísmico), quando é criada uma variação de amplitudes em uma janela do tempo duplo dificultando a visualização do resultado após este tratamento, sendo necessária uma equalização do ganho (Gomes, 2009).

Uma grande variedade de algoritmos de ganho de amplitudes pode ser encontrada nos mais diversos *softwares* de processamento sísmico. Alguns estão relacionados ao decaimento da energia em relação à profundidade ou a diferenças laterais de amplitude, o que os torna dependentes das características do dado. Entretanto, também existem funções de ganho independentes ao caráter do registro, sendo baseados em funções escalares, onde através da aplicação da respectiva função inversa remove-se o ganho aplicado e obtém-se o dado original. Apesar de não permitir sua própria eliminação através de funções inversas, o algoritmo vinculado ao dado original apresenta um melhor balanceamento das amplitudes.

Como as seções sísmicas em estudo apresentam claramente um rápido decaimento de energia em relação à profundidade, as funções a serem testadas devem estar diretamente relacionadas a esta peculiaridade. As funções propostas são (I) a compensação da divergência esférica e (II) o *automatic gain control* (AGC), tendo ambas relação com o decaimento de energia no domínio do tempo.

Para um melhor entendimento a cerca das características destas funções de ganho, deve-se entender as peculiaridades da onda sísmica ao se propagar em subsuperfície, de acordo com as particularidades do meio. A onda sísmica, ao se propagar no interior da Terra, sofre alguns efeitos que contribuem para a perda de energia e atenuação do sinal, ou seja, ocorre o decaimento da amplitude (Vasconcellos, 2009). Dentre estes efeitos podem ser destacados a divergência esférica, a absorção e as perdas por transmissão.

A divergência esférica consiste no efeito onde ocorre a diminuição de amplitude do sinal, de acordo com a expansão da frente de onda, indicando a perda de energia por parte da onda elástica (figura 17). Para explicar de maneira simples, pode-se tomar uma fonte de onda pontual, gerando um campo de ondas em formato esférico em um meio isotrópico e homogêneo. De acordo com a lei da conservação da energia, a intensidade da energia ( $\rho$ ) é inversamente proporcional ao quadrado do raio ( $r$ ) da frente de onda, logo:

$$\rho \propto \frac{1}{r^2}$$

Sabendo-se que a amplitude ( $A$ ) da onda sísmica é proporcional à raiz quadrada da intensidade de energia, então:

$$A \propto \sqrt{\frac{1}{r^2}}$$
$$A \propto \frac{1}{r} = \frac{1}{vt}$$

Sendo  $t$  o tempo de percurso e  $v$  a velocidade do meio, nota-se que quanto maior o tempo percorrido, menor será a amplitude do sinal.

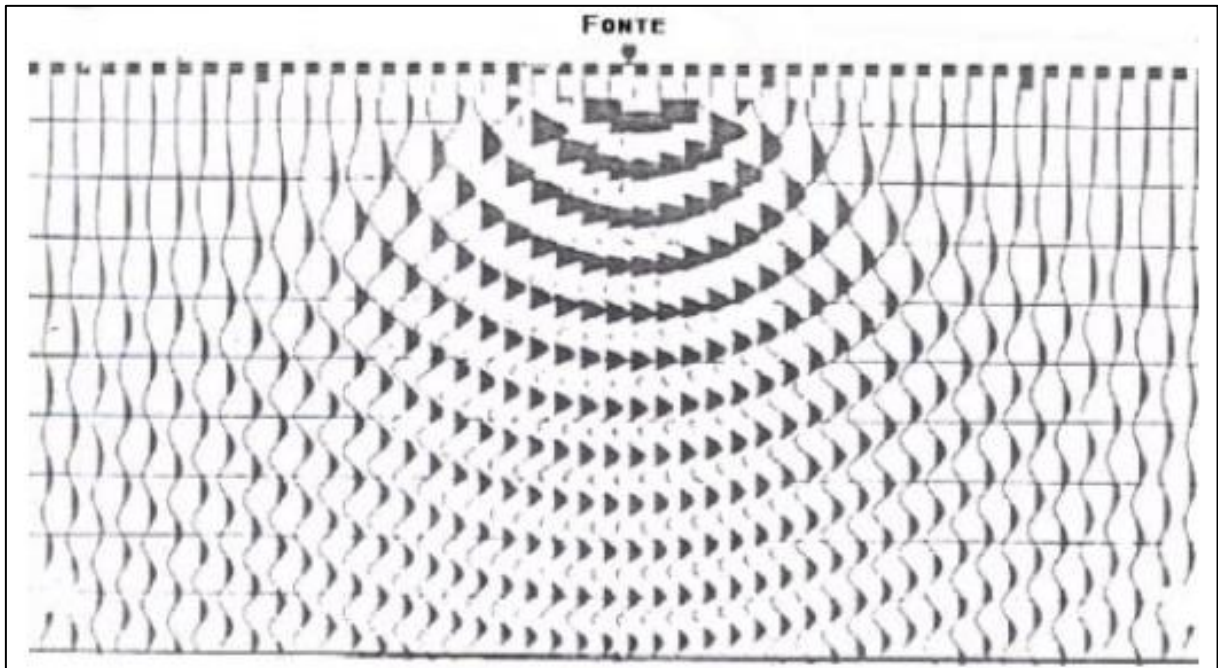


Figura 17: Atenuação do sinal sísmico em um meio isotrópico e homogêneo, em relação ao eixo do tempo. Observa-se a diminuição das amplitudes em função do aumento do raio da frente de onda (Fonte: ANP).

Entretanto, a Terra não possui padrão homogêneo e isotrópico. A subsuperfície terrestre é muito mais complexa, contendo estratificações com características peculiares, apresentando diferentes valores de velocidade para a onda sísmica. Considerando que estas velocidades sejam constantes dentro da mesma camada – velocidade intervalar – e aumentando de acordo com a profundidade do estrato, à medida que se propaga, o raio da frente de onda sofre um aumento maior se comparado a meios isotrópicos, devido à refração da onda. A este efeito dá-se o nome de espalhamento geométrico.

Outros dois fatores referem-se ao decaimento da intensidade da onda elástica: a absorção e as transmissões. A primeira consiste na dissipação de energia da onda no meio, transformando a energia em calor, devido às propriedades intrínsecas da rocha. A energia mecânica é convertida em movimento de fricção intergranular, sendo então irreversível de acordo com o comportamento inelástico das rochas (Vasconcellos, 2009). Já a segunda relaciona-se ao contato da frente de onda com uma interface, quando parte da energia é refletida e outra é transmitida, contribuindo com a atenuação da onda.

Para a correção da perda de amplitude em função do tempo, no caso da divergência esférica, deve-se realizar uma equalização do dado em relação ao eixo temporal. Sendo assim, aplica-se um fator de escala de ganho sobre a curva média de decaimento das amplitudes baseada em todos os traços sísmicos (Gomes, 2009). Os parâmetros necessários para esta

etapa consistem em um valor multiplicador e um expoente, tanto para o tempo, quanto para a velocidade, que se fazem presentes na equação anteriormente descrita (página 24). Porém, como não foram utilizados modelos de velocidade durante este projeto, usufruiu-se apenas dos fatores referentes ao tempo, sendo utilizado para o fator multiplicador e o expoente os valores 10 e 5, respectivamente. Esta correção foi aplicada logo após a etapa de filtragem, fazendo com que as reflexões tornassem-se mais aparentes, uma vez que as amplitudes foram realçadas, conforme visualizado nos espectros de amplitude x frequência apresentados na figura 18.

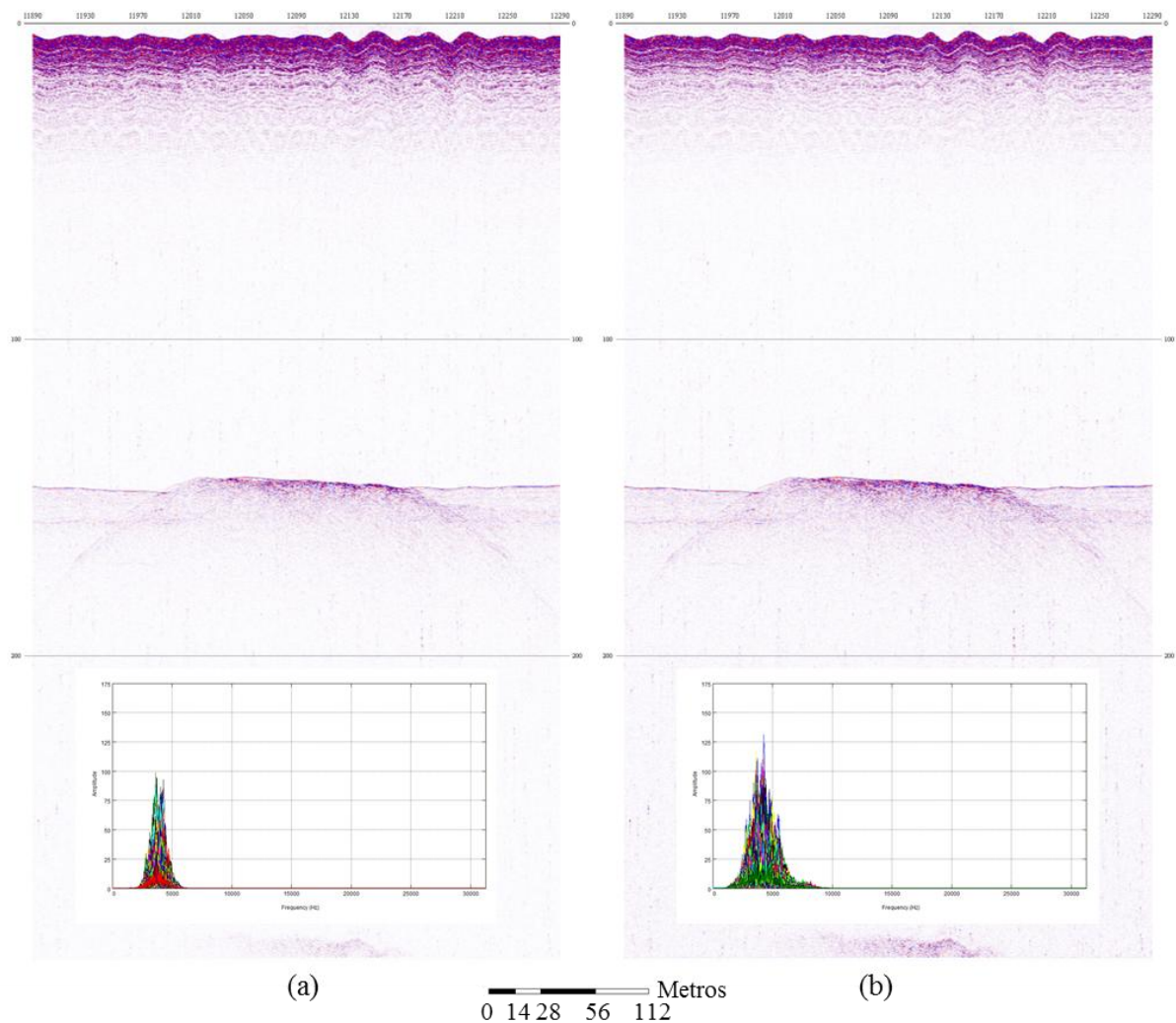


Figura 18: Seções sísmicas e seus respectivos espectros de amplitude x frequência (a) antes da divergência esférica e (b) após rodar tal algoritmo. Nota-se, nos espectros, que as amplitudes foram realçadas ao longo de toda a banda de frequências existente.

O outro algoritmo testado, o AGC, também consiste em uma distribuição equalizada das amplitudes na direção do eixo do tempo. Porém, envolve a definição do comprimento de uma



janela móvel no tempo. Sendo assim, os cálculos são realizados em torno da média das amplitudes e aplicados a cada amostra do traço sísmico. Deve ser criteriosa a escolha do tamanho da janela, uma vez que quanto maior este comprimento, menor será o efeito desta função. Este método pode ser utilizado durante qualquer uma das etapas do processamento, uma vez que não compromete o registro sísmico e pode ser removido quando necessário. Porém, a utilização deste algoritmo é usualmente aplicada apenas após o processamento dos dados ser concluído, com a finalidade apenas de melhorar a visualização do registro sísmico.

Vale ressaltar, que durante um projeto de processamento sísmico convencional, a correção de amplitudes ocorre posteriormente a aplicação da migração, uma vez que determinados algoritmos desta podem apresentar certo balanceamento das amplitudes. Entretanto, para este projeto notou-se que não houve diferença alguma entre utilizar a correção de amplitudes antes ou após o estágio de migração, uma vez que comparando ambos os testes nenhum contraste pode ser observado.

#### 6.4. EMPILHAMENTO

O empilhamento sísmico consiste em um somatório de todos os traços referentes a uma mesma localização (CMP – *common mid point* – no caso de sísmica multicanal 2D), gerando um único traço resultante, como ilustrado na figura 19. Para que este não apresente amplitudes desbalanceadas, o valor da soma das amplitudes pode ser dividido pelo número total de traços em cada posição. Nota-se que esta etapa visa à eliminação de ruídos aleatórios, uma vez que os ruídos coerentes são somados construtivamente e visualizados na seção final.

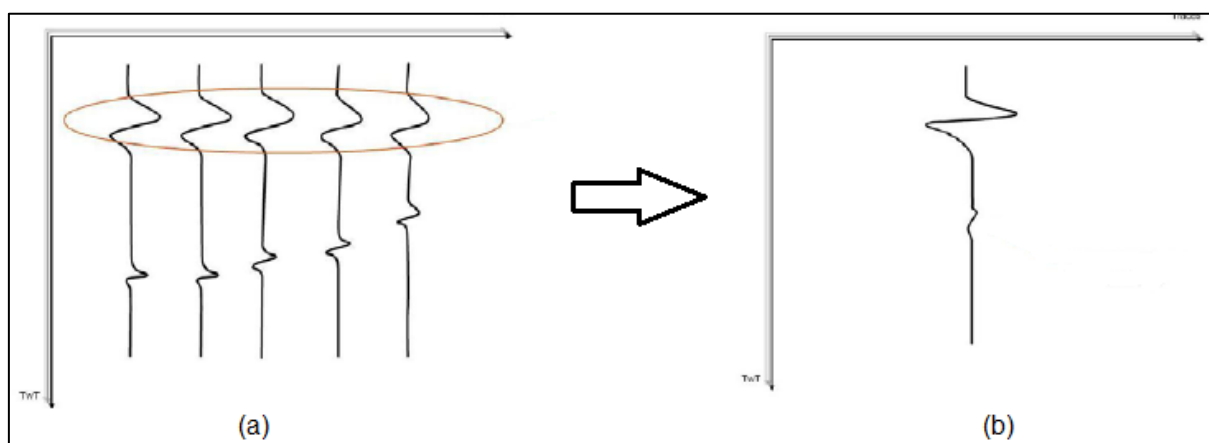


Figura 19: Ilustração da etapa de empilhamento sísmico, apresentando em (a) a seção pré empilhada, onde observa-se todos os traços referentes a uma mesma localização, e em (b) o traço resultante pós empilhado indicando o somatório dos traços anteriores, com as amplitudes devidamente balanceadas (Fonte: EAGE).

No processamento sísmico convencional, esta etapa deve ser realizada após a horizontalização dos refletores, que é provocado através da correção NMO (*Normal moveout*). Esta técnica é utilizada para corrigir a forma hiperbólica dos refletores, que indica que quanto maior o afastamento entre transmissor e receptor (*offset*), maior a demora da onda sísmica em ser registrada. Entretanto, os sismogramas obtidos através de um equipamento monocanal apresentam refletores em sua posição de origem já no dado bruto, uma vez que em um só equipamento funciona tanto o receptor, como o transmissor. Esta configuração determina que o *offset* seja igual à zero, ou seja, não há diferença no tempo de chegada devido ao afastamento. Sendo assim, a correção NMO é desnecessária para o tratamento deste tipo de registro, e o empilhamento pode ser realizado sem maiores problemas.

A partir da análise do *header* das seções sísmicas pôde-se notar que existe mais de um traço para cada valor de coordenada (figura 20), o que teoricamente não ocorre em dados adquiridos com equipamentos monocanal. Também foi observado, que a quantidade de traços para cada coordenada não possui repetições regulares, o que provavelmente está associado à variação de velocidade da embarcação no ato da aquisição. Baseando-se nestes fatores e nas particularidades existentes na geometria de uma aquisição monocanal, assumiu-se que a técnica de empilhamento (*stack*) poderia ser testada, visando o aumento da relação sinal/ruído do dado sísmico.

Trace#	SRCX	SRCY
1	22632004	741961106
2	22632004	741961106
3	22632004	741961106
4	22632157	741961240
5	22632157	741961240
6	22632473	741961502
7	22632473	741961502
8	22632473	741961502
9	22632473	741961502
10	22632473	741961502
11	22632636	741961647
12	22632636	741961647
13	22632636	741961647
14	22632800	741961790
15	22632800	741961790
16	22632800	741961790
17	22632800	741961790
18	22632800	741961790
19	22632961	741961928
20	22632961	741961928

Figura 20: Tabela ilustrando a existência de mais de um traço por coordenada, além do padrão irregular da amostragem do registro sísmico.

Entretanto, notou-se que ao invés desta etapa aumentar a resolução da sísmica, como esperado, ocorreu uma diminuição brusca desta resolução, onde a continuidade lateral dos refletores foi comprometida (figura 21). Este problema está provavelmente associado ao fato de que, apesar de existir mais de um traço referente à mesma coordenada, cada um destes traços diz respeito a uma diferente posição no espaço. Isto pode ser explicado por algumas particularidades existentes durante a aquisição dos dados, onde se observou que o tempo de atualização do posicionamento realizado pelo DGPS era mais longo que o intervalo de tempo referente a cada tiro, ou seja, mais de um registro era adquirido antes de uma nova atualização deste equipamento. Porém, partindo do princípio que a embarcação esteve sempre em movimento durante o levantamento, confirma-se que há diferença na localização de cada traço sísmico, o que explica a perda de resolução do registro pós-empilhado ao somá-los.

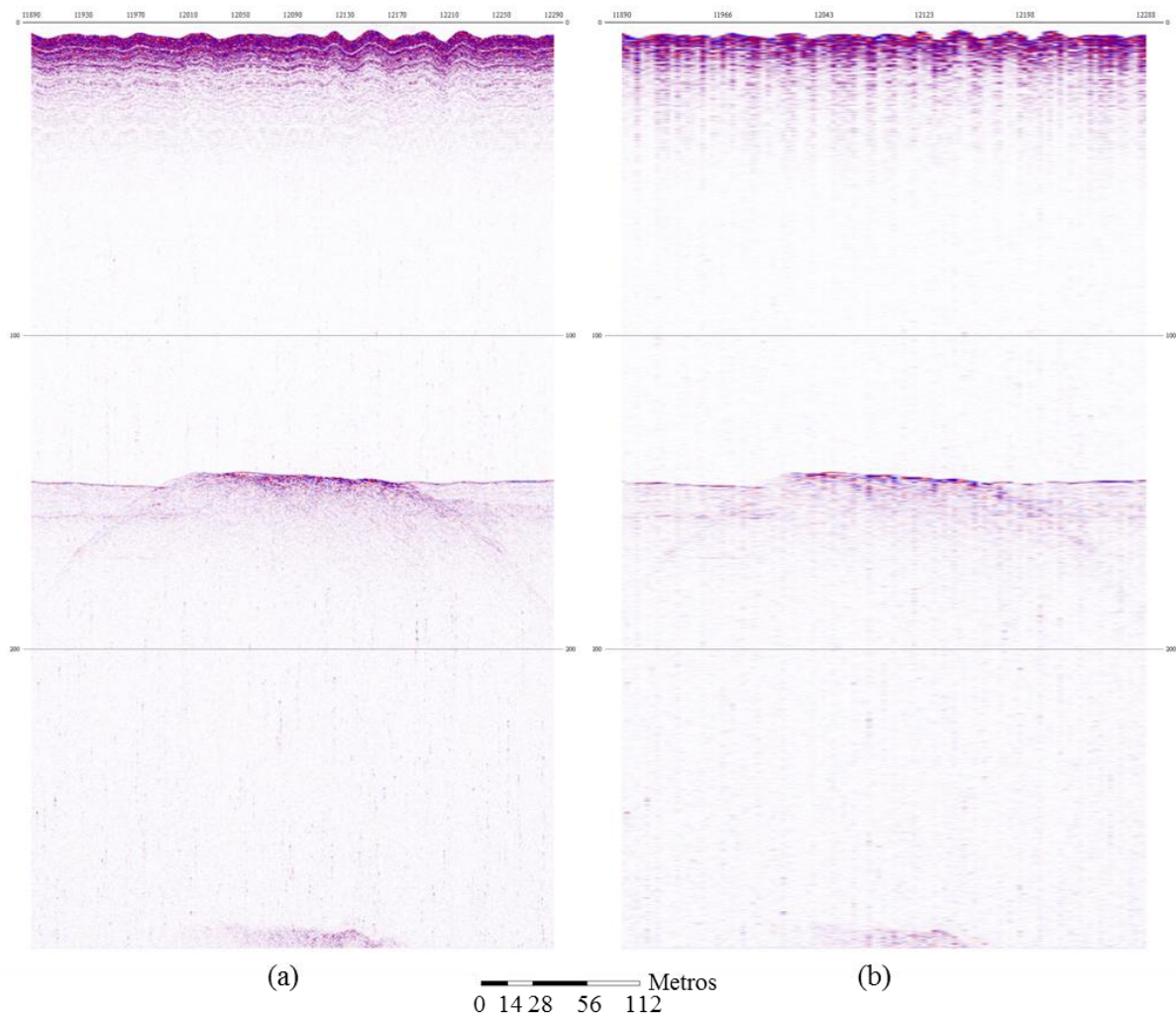


Figura 21: Registros sísmicos (a) antes da etapa de empilhamento e (b) após o *stack*. Observa-se a perda de resolução da imagem, provavelmente associada a problemas com o posicionamento espacial dos traços que compõem a seção.



## 6.5. MIGRAÇÃO

A migração sísmica é um processo que em geral tem por base a equação da onda, visando à reconstrução da seção sísmica para que os eventos reflexivos sejam deslocados para sua posição correta em relação à superfície e ao tempo (Kearey and Brooks, 1991). Segundo Ferreira (2009), este processo busca corrigir os eventos das seções sísmicas, deslocando as reflexões primárias para suas verdadeiras posições espaciais e colapsando as difrações, produzindo uma imagem sísmica que possibilite uma melhor interpretação do dado sísmico, ou seja, proporciona uma maior similaridade entre a seção sísmica migrada e a seção geológica.

Segundo Ferreira & Furtado (2011), este método opera em dois aspectos distintos do dado sísmico: tempo de trânsito e amplitude. Para o primeiro, que carrega informações da estrutura geológica do meio e de suas velocidades, a migração age reposicionando as reflexões tanto em suas coordenadas de superfície, quanto nas coordenadas de tempo. Já na amplitude, que diz respeito ao contraste das propriedades das camadas que definem a interface de reflexão (litologia ou tipo de fluido intraestrato), a técnica de migração atua corrigindo efeitos de propagação da onda e fornecendo valores de amplitude que representam o conjunto das propriedades petrofísicas do meio.

Segundo Yilmaz (2001), a classificação dos tipos de migração deve-se a dimensão (2D ou 3D), ao caráter do dado de entrada (empilhado ou não-empilhado) ou a dimensão do eixo y do registro (tempo ou profundidade). A escolha do tipo de migração a ser utilizado depende das características existentes na geologia da região, de acordo com a figura 22.

A migração pós-empilhamento é geralmente empregada em seções empilhadas de afastamento nulo, onde fonte e receptor estão localizados na mesma posição espacial (Ferrari & Furtado, 2011), sendo relacionadas a estruturas geológicas menos complexas. Já a migração pré-empilhamento é aplicada a configurações onde há afastamento entre fonte e receptor, associado a uma maior complexidade estrutural em subsuperfície. Já a diferença entre a migração em tempo e profundidade diz respeito à variação de velocidade lateral das camadas geológicas em subsuperfície, sendo a segunda utilizada para os casos mais complexos. Sendo assim, como os dados do presente projeto não estão associados a estruturas geológicas complexas e não há grande variação lateral de velocidade nas camadas, a técnica de migração aplicada foi do tipo pós-empilhamento em tempo.

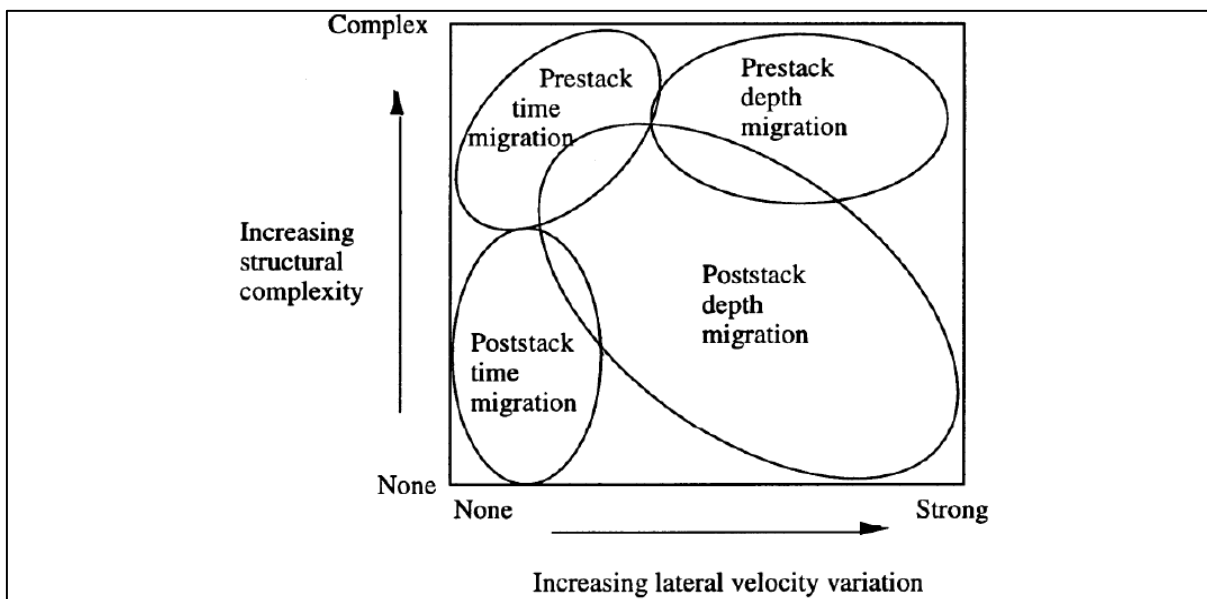


Figura 22: Gráfico indicando as possibilidades de utilização dos diferentes métodos de migração sísmica, de acordo com a necessidade que a geologia existente em subsuperfície exige.

A utilização desta técnica durante o projeto é explicada pelo fato de que nos dados em estudo observa-se que o refletor referente à feição aflorante apresenta uma “raiz”, que pode estar associada a uma possível difração. Isto ocorre devido ao caráter esférico da frente de onda (explicado pelo princípio de Huygens), onde o traço sísmico proveniente de equipamentos monocanal apresenta informações não só da subsuperfície imediatamente abaixo a embarcação, como também a partir de superfícies inclinadas e/ou pontos difratores, conforme ilustrado na figura 23.

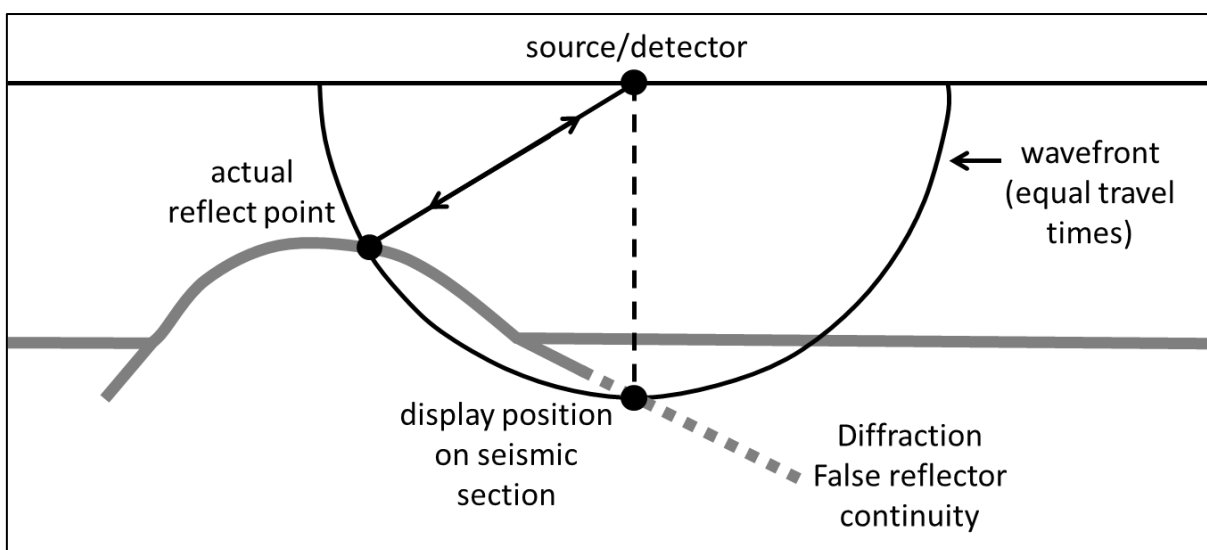


Figura 23: Esquema apresentando que para uma frente de onda (semicírculo possuindo valores de tempo exatamente iguais), registros referentes a diferentes reflexões podem ser adquiridos em um sistema onde o receptor e o transmissor fazem parte do mesmo equipamento (*zero-offset*).

Uma vasta gama de algoritmos de migração pode ser vista nos *softwares* de processamento sísmico, entretanto apenas dois deles são encontrados no SPW: (I) Kirchoff e (II) *Phase shift*.

A migração pelo método de Kirchoff fundamenta-se na soma ou espalhamento ponderado de amplitudes ao longo de curvas de tempo de trânsito de difração ou curvas isócronas, sendo bastante versátil, uma vez que se pode migrar dados completos ou apenas parte deles (Ferreira, 2009). Detalhadamente, esta migração resulta do antigo método estatístico do empilhamento de difrações, o qual trabalha empilhando as amplitudes dos dados de entrada ( $x, t$ ) ao longo de uma hipérbole de difrações, cuja curvatura é governada por uma função velocidade (Ferreira & Furtado, 2011). A consistência deste método provém da descoberta, por parte de Schneider (1798), de uma solução exata para a equação da onda acústica através da integral de Kirchoff, transformando o método que era estatístico, em determinístico.

Já o *phase shift* é um dos algoritmos mais simples e econômicos, sendo portanto, uma das mais rápidas técnicas de migração. Introduzido por Gazdag (1978; *apud* Mohanty, 2010), este método opera no domínio FK (frequência – número de onda) e baseia-se no processo contínuo de propagação da frente de onda de uma determinada profundidade para outra mais abaixo, a partir de uma operação de mudança de fase. Entretanto, este tipo de migração não funciona muito bem em casos onde há grandes variações laterais de velocidade, sendo necessário recorrer ao algoritmo de *phase shift plus interpolation* (PSPI), uma vez que este processa com maior precisão tais variações.

O método escolhido para a realização dos testes foi a migração por *phase shift*, já que nota-se um baixo grau de complexidade estrutural na área de estudo, além de não existir grandes variações de velocidade lateral. Outra motivação para tal escolha foi a maior rapidez deste método em detrimento ao método de Kirchoff, o que otimizou o tempo gasto durante a realização de cada teste. Além disso, não foi possível realizar os testes para este outro algoritmo devido a complicações computacionais com o *software*.

Para a obtenção de um bom resultado por parte da migração é necessário uma análise de velocidades detalhada. Porém, para realizá-la é necessário se trabalhar com a diferença entre os tempos de trânsito para cada *offset*, o que não é possível por se tratar de dados monocal, ou seja, como o transmissor e o receptor fazem parte do mesmo equipamento, o *offset* é

sempre zero. Sendo assim, de acordo com as medidas de velocidade referentes aos dois testemunhos perfilados na região, percebeu-se que a velocidade das camadas mais superficiais do fundo oceânico, próximo à feição geológica de interesse, varia entre 1450 e 1550 m/s. Sendo assim, utilizou-se de um valor constante de velocidade para a realização dos testes desta etapa, onde três diferentes valores foram experimentados: 1450, 1500 e 1550 m/s (figura 24).

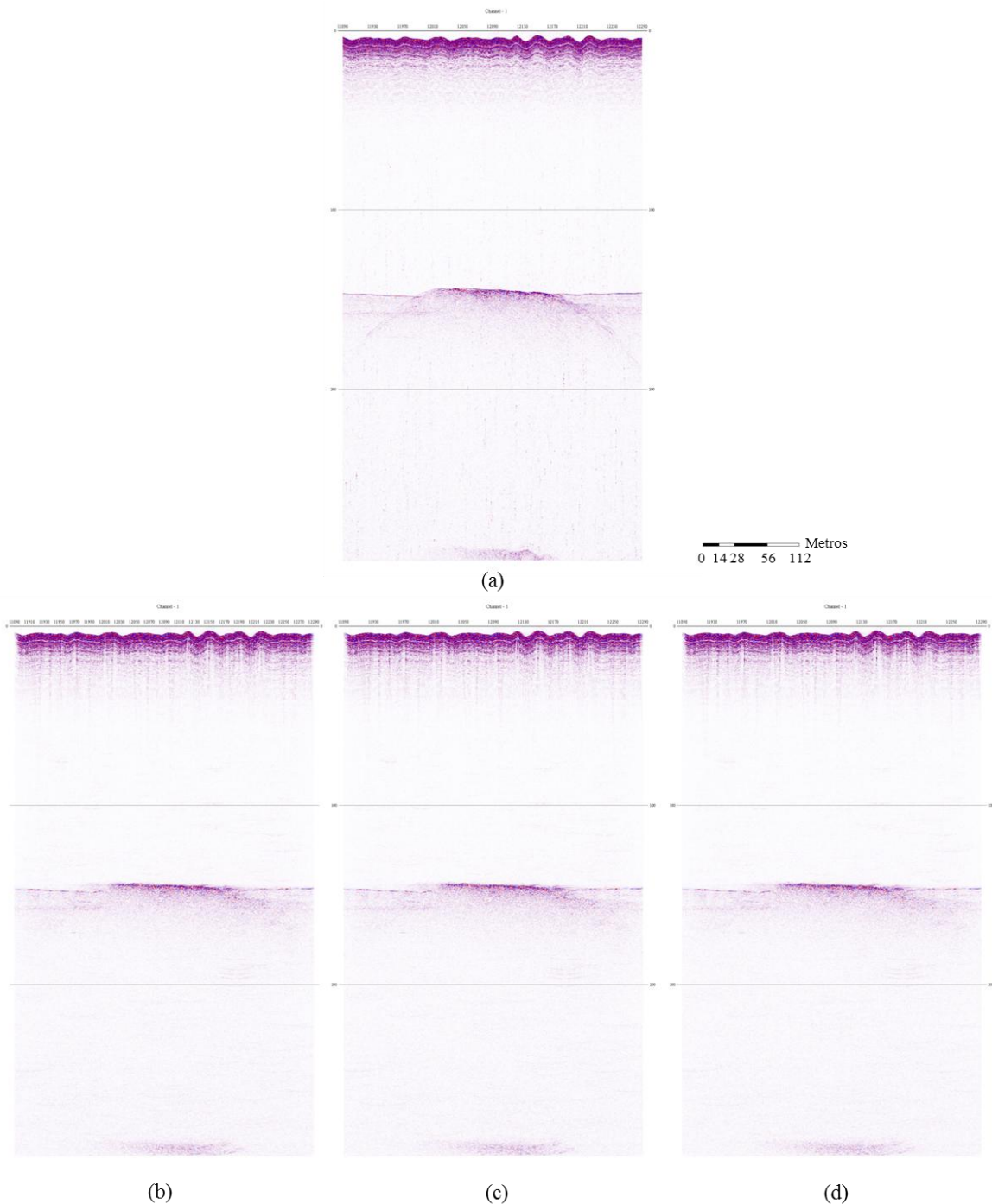


Figura 24: Seções sísmicas referentes ao (a) registro pré-migrado e a cada um dos três testes com diferentes velocidades para a etapa de migração, sendo utilizado em (b) 1450 m/s, em (c) 1500 m/s e em (d) 1550 m/s.

O resultado para cada um destes testes foi bastante similar, sendo o que utilizou a velocidade de 1450 m/s apresentando uma aparência levemente mais suave da reflexão da feição geológica de interesse. Sendo assim, tal velocidade foi eleita como sendo a que melhor representa o fundo marinho nesta região onde a estrutura aflora.

Nota-se que em todos os três resultados há uma perda da continuidade lateral da reflexão referente ao fundo oceânico e da camada inferior, o que prejudica a qualidade do imageamento. Entretanto, esta etapa foi de extrema importância, uma vez que confirmou que a “raíz” do afloramento está associada a difrações da onda. Esta afirmação pode ser provada considerando que todo este sinal associado a difrações foi colapsado, o que alterou diretamente o caráter morfológico da feição de interesse.

## 7. DESENVOLVIMENTO DO FLUXO

---

A finalização de todos os testes propostos anteriormente possibilitou a construção de um fluxo de processamento que melhor representa as necessidades dos dados, visando obter um aumento de resolução da sísmica e uma melhor visualização da continuidade lateral dos refletores referentes ao fundo oceânico e as camadas inferiores. Tal fluxo foi desenvolvido de acordo com as etapas que apresentaram bons resultados, como a filtragem de frequências, divergência esférica e migração pelo algoritmo de *phase shift*, além de ignorar as técnicas que prejudicaram a resolução sísmica, como o empilhamento (figura 25).

A escolha da ordem de utilização de cada técnica baseou-se nas bibliografias estudadas referentes a processamento de dados sísmicos convencionais e de alta resolução, com pequenas alterações de acordo com as necessidades apresentadas pelos registros deste projeto.

No que diz respeito aos parâmetros associados a cada etapa, foram utilizados os mesmos que exibiram efeitos positivos na linha teste, uma vez que os registros possuem mesma configuração de aquisição e são localizados espacialmente bem próximos uns aos outros.

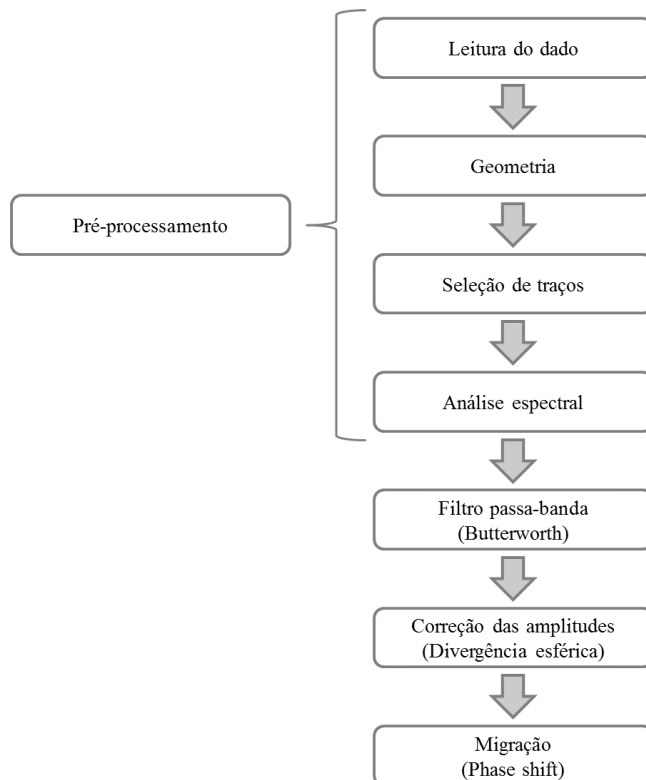


Figura 25: Fluxo de processamento composto pelas técnicas que apresentaram melhores resultados e que foi aplicado a todas as linhas sísmicas, exatamente na ordem representada.

## 8. INTERPRETAÇÃO DA FEIÇÃO DE INTERESSE

---

Com a finalização do processamento de todas as seções sísmicas do projeto, de acordo com o fluxo descrito no item anterior, foi possível obter registros com maior resolução, podendo ser observadas alterações na estrutura morfológica e sísmica da feição em estudo, como visualizado nas figuras 26, 27, 28 e 29. Tais mudanças permitiram uma maior precisão na definição do caráter deste afloramento rochoso, indicando se está associado a um *beachrock* ou a um afloramento do embasamento.

O resultado do processamento da linha sísmica “FEC\_22” não foi satisfatório, uma vez que nesta região a estrutura de interesse não se encontrava aflorante (figura 26). Entretanto, nota-se que houve uma leve alteração na morfologia da feição, uma vez que esta apresentou um caráter mais plano, indicando que as bordas da estrutura poderiam estar associadas a pequenos registros referentes à difração, que foram colapsadas.

Já o tratamento da seção “FEC\_23” não apresentou bons resultados, uma vez que o registro final apresentou resolução bastante prejudicada, como pode ser visualizado na figura 27. Entretanto, nota-se um padrão particular no que diz respeito ao mergulho da feição geológica para cada um dos lados. Do lado direito da estrutura nota-se que o algoritmo de migração fez com que o mergulho do refletor fosse colapsado, indicando que este pode estar associado a difrações da onda sísmica. Já do lado esquerdo, onde esta extensão exprime um maior contraste de amplitude, verifica-se que o algoritmo de migração não funcionou de maneira eficiente, já que ainda consegue-se visualizar um certo prosseguimento do refletor, mesmo que bastante prejudicado. De acordo com esta interpretação, pode-se sugerir que há uma extensão da estrutura aflorante para o seu lado esquerdo, porém não para o seu lado direito.

O processamento da linha “FEC\_25” é considerado de extrema importância, uma vez que o afloramento aparece bastante proeminente nesta área. Após ser tratado, o registro sísmico demonstrou alterações fundamentais para a interpretação da feição geológica, já que sua continuidade lateral não é notada na versão pós-processada do dado (figura 28). Isto indica que tal extensão está associada a difrações e foram colapsadas quando aplicada a etapa de migração. Outro fator que pode ser notado é que a camada imediatamente após a reflexão do fundo marinho – que cruzava as difrações – permaneceu aparente, demonstrando que a

estrutura não encontra-se sobreposta a esta camada, sendo associada a profundidades mais rasas.

Por fim, o resultado da aplicação do fluxo de processamento para a última linha proposta, a “FEC\_26”, apresentou-se de forma semelhante ao anterior, ratificando as importantes conclusões obtidas desta outra seção. Sendo assim, observa-se o total colapso das difrações associadas à continuidade lateral da estrutura geológica de interesse, além da conservação das camadas que interceptavam tais reflexões (figura 29).

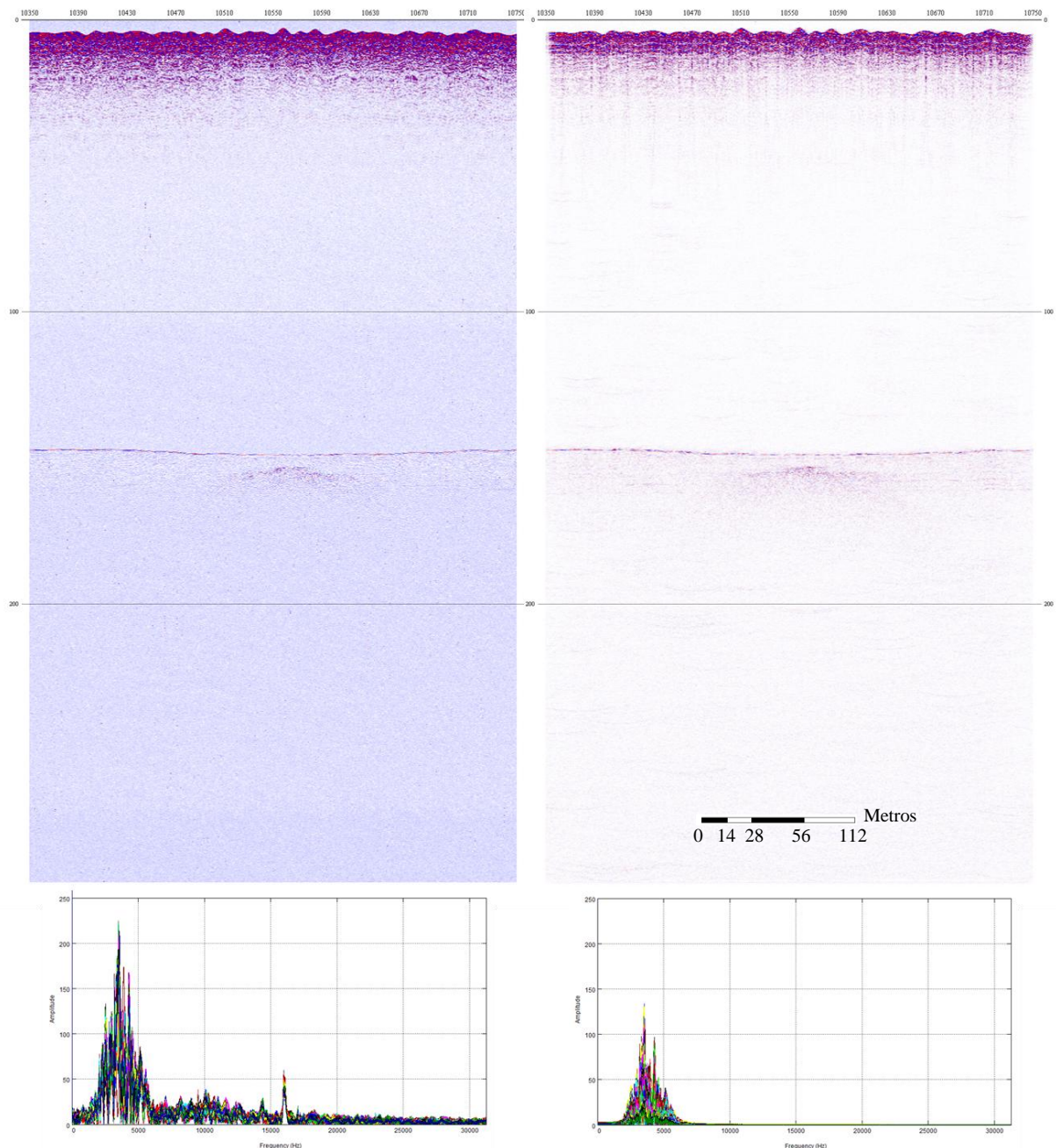


Figura 26: Seções sísmicas referentes a linha “FEC\_22”, sendo em (a) o dado bruto e em (b) a seção pós-processada.



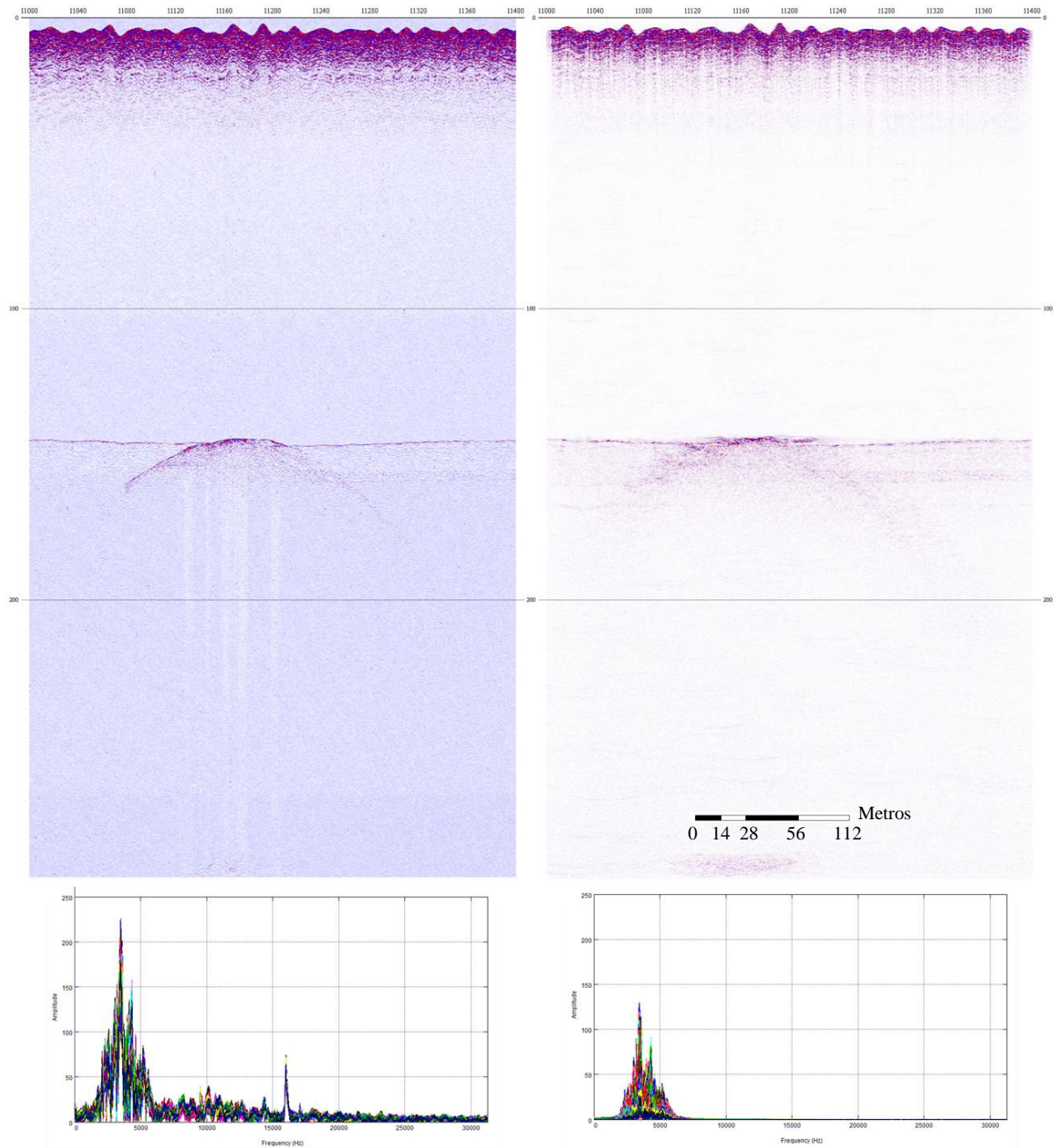


Figura 27: Seções sísmicas referentes a linha “FEC\_23”, sendo em (a) o dado bruto e em (b) a seção pós-processada.

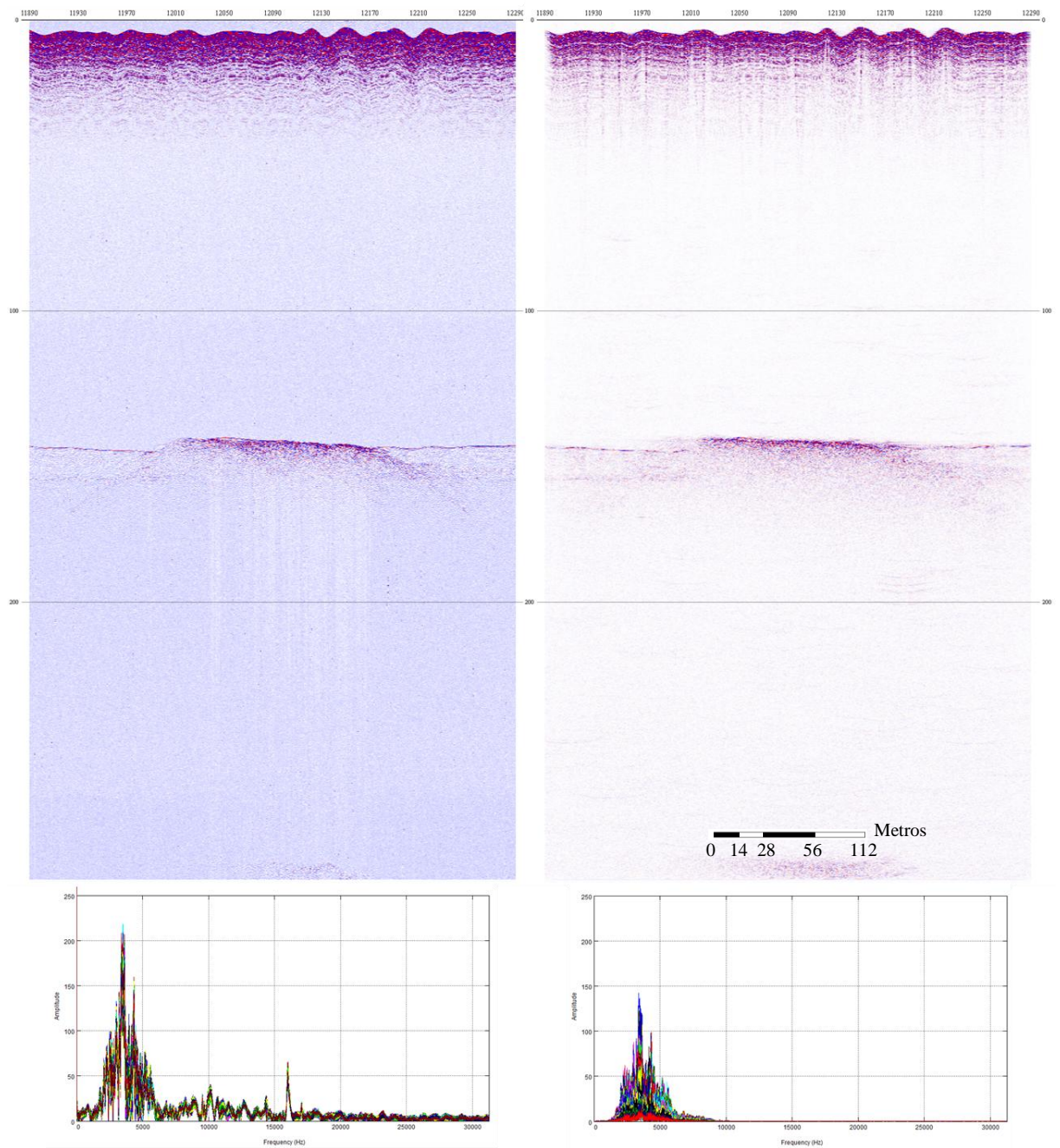


Figura 28: Seções sísmicas referentes a linha “FEC\_25”, sendo em (a) o dado bruto e em (b) a seção pós-processada.



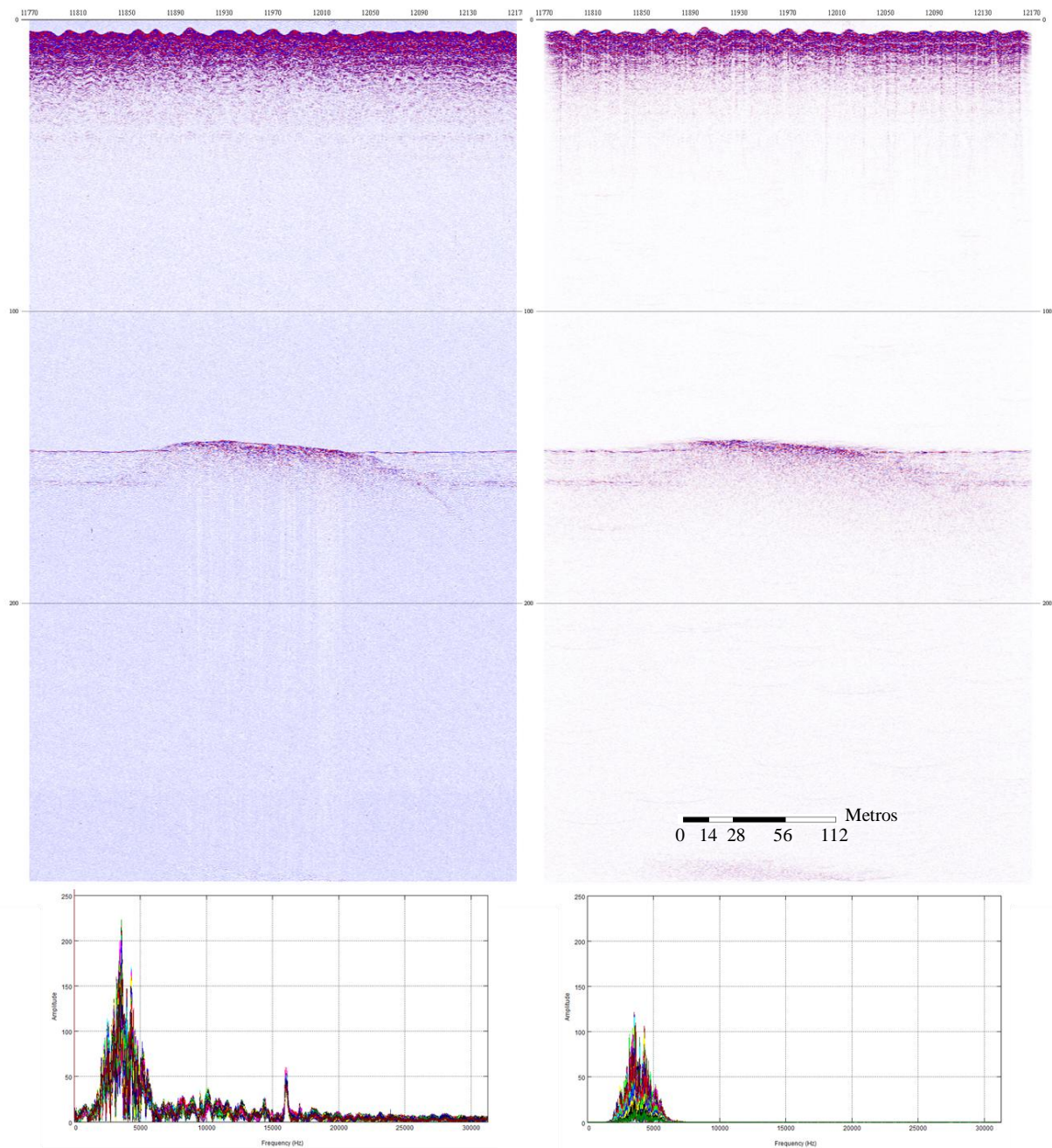


Figura 29: Seções sísmicas referentes a linha “FEC\_26”, sendo em (a) o dado bruto e em (b) a seção pós-processada.

De acordo com as interpretações individuais de cada seção sísmica, somada as referências bibliográficas estudadas, pode-se caracterizar da melhor forma possível a estrutura de interesse. A primeira indicação importante a ser notada está associada aos registros anteriores a etapa de migração, principalmente nas linhas FEC\_25 e FEC\_26, onde se observa um cruzamento entre a camada inferior ao fundo oceânico e a continuidade lateral do refletor referente à feição de interesse. Apesar de não estar associado ao registro sísmico final, deve-se atentar para este fato, pois este indica que esta extensão da estrutura possivelmente está

associada a uma difração. Tal afirmação é comprovada na seção após a aplicação da migração, quando são colapsadas as difrações e a reflexão associada à camada abaixo do fundo é mantida.

Além disso, verifica-se que imediatamente abaixo à estrutura aflorante, a resposta sísmica é bastante ruidosa, apontando que tal feição está associada a um maior contraste de impedância acústica. Portanto, tal estrutura pode estar relacionada a rochas mais densas e litificadas, diferentemente do material litoclástico encontrado em grande parte do fundo marinho da região. Tais características podem ser encontradas tanto em rochas do embasamento cristalino, quanto em *beachrocks*.

Entretanto, a principal alteração morfológica e sísmica desta estrutura está associada ao fato da etapa de migração ter colapsado os mergulhos dos afloramentos, indicando que estes estão associados a difrações da onda, que refletem na parte inclinada da feição e registram falsas extensões laterais. A partir deste resultado deduz-se com maior precisão as características desta estrutura, uma vez que seu caráter morfológico foi modificado, passando a apresentar um baixo relevo relativo, contrastando com a alta espessura observada no dado bruto. Sendo assim, pode-se associar tal feição a um *beachrock*, de acordo com as seguintes evidências: (a) seu caráter sísmico apresentado na seção pós-processada, (b) a alteração da morfologia após a aplicação do método de migração, (c) a preservação das camadas que anteriormente cruzavam as difrações nos registros finais e (d) seu alinhamento com a linha de costa e com as isóbatas ao longo de vários metros.

## 9. CONCLUSÕES

---

O objetivo geral deste projeto foi alcançado, uma vez que os testes das técnicas de processamento convencional aplicados aos dados monocanal funcionaram e apresentaram resultados satisfatórios. Porém, a etapa de migração se destacou exibindo alterações sísmicas e morfológicas essenciais para a posterior caracterização da estrutura geológica de interesse, uma vez que atuou colapsando a falsa “raiz” do afloramento e revelou um baixo relevo relativo para a estrutura de interesse.

A partir das técnicas que apresentaram bons resultados – filtragem de frequências, compensação da divergência esférica e migração – construiu-se um fluxo de processamento que foi aplicado às outras três linhas sísmicas. Vale ressaltar que apenas uma das etapas experimentadas não expressou melhora na resolução do registro sísmico, o empilhamento, o que resultou na exclusão deste do fluxo de processamento final.

Após a aplicação do fluxo as outras seções sísmicas observou-se que tais resultados complementaram e ampararam a caracterização da feição de estudo, ratificando as interpretações obtidas através da linha teste – colapso das difrações – ou acrescentando mais informações, o que permitiu uma análise mais precisa dos registros.

Finalmente, após a análise qualitativa de todas as seções pós-processadas pode-se inferir com maior precisão o caráter morfológico e sedimentar da estrutura de interesse, podendo associá-la a um *beachrock*. Diversas observações contribuíram para que tal interpretação fosse possível, sendo as principais evidências a alteração morfológica da estrutura, que através do colapso das difrações resultou em um menor relevo relativo, e o alinhamento da feição com a linha de costa por um longo trajeto, indicando uma paleolinha de costa.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- ARTUSI, L. 2004. Geologia, geomorfologia e sismoestratigrafia rasa da plataforma continental ao largo da Laguna de Araruama – RJ. Lagamar, Universidade Federal Fluminense – UFF (Dissertação de mestrado).
- AYRES, A. N. 2001. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. *Brazilian Journal of Geophysics*, vol. 18 (3).
- BORQUIGNON, B. M. 2012. Influência do carbono orgânico total (COT) nas propriedades acústicas dos sedimentos marinhos superficiais. Universidade Federal Fluminense – RJ (Monografia de graduação). p. 12-16.
- BRUNETTA, R. 2005. O processamento da sísmica de reflexão rasa – desafios encontrados no estudo de modelos análogos a reservatórios fraturados. Universidade Federal do Paraná – PR (Dissertação de mestrado).
- CASTRO, J. W. A., SUGUIO, K., CUNHA, A. M., GUEDES, E., TÂMEGA, F. T. S., RODRIGUEZ, R. R. 2012. Rochas de praia (beachrocks) da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo: Registro geológico ímpar da transição pleistoceno – holoceno no estado do Rio de Janeiro. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, vol. 35(1): p. 236-241.
- CHELOTTI, L., ACOSTA, N., FOSTER, M., 2009. Procesamiento Sísmico de Reflexión. p. 11.
- FERREIRA, D. G. 2009. Processamento sísmico convencional e CRS-2D de dados reais da Bacia do Amazonas. Universidade Federal do Pará – PA (Monografia de graduação). p. 75-80
- FERREIRA, D. G., FURTADO, R. S. 2011. Processamento de dados sísmicos reais da Bacia do Amazonas utilizando as migrações de Kirchoff pós e pré-empilhamento em tempo. IV Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás.
- GOMES, C. M. M., AYRES, A., BELÉM, A. L. 2013. Caracterização de ecos e estruturas indicativas de paleoambientes através de sísmica da alta resolução na região de Cabo Frio, RJ.

- GOMES, M. P. 2009. Aquisição, processamento e análise de dados de sísmica de alta resolução na plataforma continental norte do Rio Grande do Norte: Vale Inciso do Rio Açu. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN (Dissertação de mestrado). p. 56-75
- GOMES, M. P., VITAL, H., MACEDO, J. W. P. 2010. Fluxo de processamento aplicado a dados de sísmica de alta resolução em ambiente de plataforma continental. Exemplo: Macau-RN. Revista Brasileira de Geofísica, vol. 29(1): p. 173-186.
- IZAAC, C. N. 2011. Beachrocks do Rio Grande do Norte: Correlação entre os depósitos costeiros e os de zona de costa-afora com base na faciologia, petrografia e diagênese. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN (Dissertação de mestrado). p. 41-58.
- MANSUR, K. L., RAMOS, R. R. C., GODOY, J. M. O., NASCIMENTO, V. M. R. 2011. Beachrock de Jaconé, Maricá e Saquarema – RJ: importância para a história da ciência e para o conhecimento geológico. Revista Brasileira de Geociências, vol. 41(2): p. 280-303.
- MARINO, I. K., CETALE, M. A. S., SILVA, C. G. 2012. Processamento aplicado a sísmica de alta resolução. Estudo de Caso: Baía de Guanabara – RJ. V Simpósio Brasileiro de Geofísica.
- MARQUES, R. S. 2010. Evolução morfotectônica e significado estratigráfico do Alto de Cabo Frio no contexto da segmentação das bacias de Campos e Santos. Lagemar, Universidade Federal Fluminense – UFF (Dissertação de mestrado). p. 44-51.
- MARTINS, L.R.; MARTINS, I.I. & URIEN, C.M. 2005. Sand Bodies of the Santa Catarina Inner Continental Shelf, Brasil. Gravel, vol. 3: p. 103-108.
- MEDEIROS, D. A. Um resumo teórico sobre tipos de migração sísmica 2D. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.
- MOHANTY, P. R. Imaging subsurface geological features with seismic migration – A numerical study. J. Ind. Geophy. Union, vol. 14, nº.1, pag 15-20.



- MUEHE, D., CARVALHO, V. G. 1993. Geomorfologia, cobertura sedimentar e transporte de sedimentos na plataforma continental interna entre a Ponta de Saquarema e o Cabo Frio (RJ). *Boletim do Instituto de Oceanografia*, vol. 41(1/2): p. 1-12.
- RUSSEL R.J. 1962. Origin of beachrock. *Z. Geomorphology*, 6: p. 1–16.
- SHERIFF, R. E., GELDART, L. P. 1995. *Exploration Seismology*. Second edition. Chap. 9.
- STORBAKK, S. 2012. De-noising of marine seismic data. University of Oslo (Master Thesis). p 25-27.
- THOMAS, B. 2D Seismic data processing with Seismic Unix. Cap. 4 e 5.
- VASCONCELLOS, G. D. 2009. Processamento de dados sísmicos sintéticos de um modelo de sal utilizando o software SPW. Universidade Federal Fluminense – UFF (Monografia de graduação). p. 9-24.
- VIVIERS, M. C.; AZEVEDO, R.L.M. de 1988. The southeastern area of the brazilian continental margin: its evolution during the middle and late cretaceous as indicated by paleoecological data. *Revista Brasileira de Geociências*, 18: p. 291-298.
- VOUSDOUKAS, M.I., VELEGRAKIS, A.F., PLOMARITIS, T.A. 2007. Beachrock occurrence, characteristics, formation mechanisms and impacts. *Earth-Science Reviews*, 85: p. 23-46.