

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA

AMANDA BOURGUIGNON CECILIO

**PROCESSAMENTO SÍSMICO E ANÁLISE DE ATRIBUTOS EM DADOS
MONOCANAL DE ALTA RESOLUÇÃO NA BACIA DE BRANSFIELD,
ANTARTICA.**

Niterói

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

AMANDA BOURGUIGNON CECILIO

**PROCESSAMENTO SÍSMICO E ANÁLISE DE ATRIBUTOS EM DADOS
MONOCANAL DE ALTA RESOLUÇÃO NA BACIA DE BRANSFIELD,
ANTARTICA.**

Projeto Final II em Geofísica apresentado à Universidade Federal Fluminense como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Geofísica, sob a orientação do Prof. Dr. Arthur Ayres Neto.

Niterói

2019

AMANDA BOURGUIGNON CECILIO

**PROCESSAMENTO SÍSMICO E ANÁLISE DE ATRIBUTOS EM DADOS
MONOCANAL DE ALTA RESOLUÇÃO NA BACIA DE BRANSFIELD,
ANTARTICA.**

Projeto Final II em Geofísica apresentado à
Universidade Federal Fluminense como exigência
parcial para obtenção do título de Bacharel em
Geofísica, sob a orientação do Prof. Dr. Arthur Ayres
Neto.

Aprovado em __/__/__

Prof. Dr. Arthur Ayres Neto (Orientador)
Universidade Federal Fluminense (UFF)/ Lagemar

Wagner Moreira Lupinacci
Universidade Federal Fluminense (UFF)/ Lagemar

Alberto Garcia de Figueiredo Jr.
Universidade Federal Fluminense (UFF)/ Lagemar

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos deste trabalho não poderiam começar diferente de tantos outros, fazendo honras à grande mulher que me deu a vida e me carregou não apenas por nove meses em sua barriga, mas durante toda a vida, com muito sacrifício, amor e broncas: Inês.

O êxito acadêmico e pessoal alcançado nos últimos anos, também não existiria sem o apoio de outras pessoas importantes da família Bourguignon. E se há algo em que todos concordam sem exceções, é que a mais amada por todos é a nossa matriarca, Tíndia. E, claro, os queridos primos gêmeos, Graziela e Diego. A gêmea, a mais glamurosa de todas as proles, que me ensinou até mesmo a executar as normas técnicas brasileiras para a construção deste texto. O gêmeo, de longe tem o mais excêntrico bom-humor da família.

Ainda considerando o suporte recebido por aqueles que compartilho laços sanguíneos, um último nome não poderia de forma alguma deixar de ser mencionado: Bruno Bourguignon, aqui está o seu merecido parágrafo. Afinal, de todas as palavras que ouvi pela primeira vez na vida, garanto que muitas vieram de você, inclusive a mais importante de todas elas para a existência deste trabalho: geofísica. Obrigada por todo o seu companheirismo (desde a época que eu só sabia falar “Bu”), amizade e claro, broncas também.

Partindo para aquela outra família definida como “a que gente escolhe”, deixo aqui meu imenso agradecimento a todos os meus amigos geocientistas, em especial Lorena, Julia S., Tone, que estiveram ao meu lado desde o início dessa graduação. E todo o time da sala 304 do Instituto de Geociências pelo acolhimento e amizade, dos quais destaco aqui Alan, Mateus, Fabrício e Rodrigo.

Também agradeço a todos os professores que dedicaram seu tempo na minha formação e à equipe do Departamento de Geologia e Geofísica. Em especial, de todo o meu coração aos queridos Alberto Figueiredo e Arthur Ayres por todos os ensinamentos, oportunidades e reconhecimento do meu esforço todo o tempo. Arthur, que além de amigo e orientador deste trabalho, convidou-

me a participar da XXXVI Operação Antártica Brasileira gerenciada pela Marinhado Brasil, instituição essa que deu suporte à aquisição dos dados utilizados neste estudo.

Outra figura importantíssima para este trabalho, a qual devo grande agradecimento é o querido João Bruno, que coorientou o estudo, atuando diretamente em seu desenvolvimento. Mesmo com todas as dificuldades que surgiram no percurso, deu um ótimo suporte, além de ter sido responsável pelo meu aprendizado em novas ferramentas geofísicas que terão grande importância no meu futuro profissional.

Por último, e não menos importante, fica a minha imensa gratidão a família Anjos, que além de ter dado a vida ao meu grande amigo João Victor Anjos, recebeu-me incontáveis vezes em sua casa nos últimos anos me dando o melhor tratamento possível. João dividiu comigo grandes momentos até aqui, bons e ruins, sempre me acalantando com seu carinho e ensinando a levar a vida de uma forma mais bonita. E por também ser estudante de geofísica, contribuiu diretamente com o êxito acadêmico dessa graduação e do presente trabalho.

RESUMO

A motivação deste trabalho surge da ideia de obter um melhor aproveitamento dos dados de sísmica monocanal de alta resolução. Nesse sentido, objetivou-se além de processar as linhas, testar e avaliar a aplicabilidade da extração de atributos sísmicos desse tipo de dado. As linhas sísmicas utilizadas foram adquiridas a partir de um sistema SBP (*Sub Bottom Profiler*), durante a XXXV OPERANTAR gerenciada pela Marinha do Brasil. Tanto para o processamento quanto para a extração dos atributos foi utilizado o pacote de código aberto *Seismic Unix*. O fluxo de processamento adotado envolveu o algoritmo de migração *Stolt*, além da realização da correção da divergência esférica e normalização RMS. Apesar da melhora na qualidade da imagem sísmica após o processamento, os resultados das estatísticas das linhas mostraram que os espaçamentos entre os tiros de SBP não eram constantes, o que pode indicar que o resultado da migração não poderia ser satisfatório. Os atributos foram extraídos nas linhas antes e depois do processamento, atuando como controle para o processamento. O atributo envelope, como era esperado, foi o que apresentou os melhores resultados dentre os atributos avaliados. Os demais atributos não apresentaram resultados que pudessem contribuir para a interpretação. Isso pode ter ocorrido devido ao fato que esses atributos foram pensados para sistemas de aquisição completamente diferentes. Dessa forma, são necessários mais estudos que envolvam a extração de atributos de dados monocanal e a criação de atributos específicos para este tipo de dado. Quanto ao processamento, conclui-se que outras etapas devem ser incluídas futuramente como a regularização e outras filtragens além das testadas, ao passo que o mesmo fluxo de processamento seja utilizado em outros trabalhos.

Palavras chave: Processamento sísmico; sísmica monocanal; atributos sísmicos; Estreito de Bransfield.

ABSTRACT

The motivation for the present study starts from the idea of obtaining best use of high-resolution single channel seismic data. In these terms, the objective was beyond processing the lines, testing and evaluating the applicability of the extraction of seismic attributes of this data type. The seismic lines were acquired from SBP (Sub Bottom Profiler) system during the XXXV OPERANTAR managed by the Brazilian Navy. For both processing and extracting attributes, the Seismic Unix open source package was used. The adopted processing flow involved the Stolt migration algorithm, besides the spherical divergence correction and RMS normalization. Despite the improvement in seismic image quality after processing, the results of the lines statistics showed that the spacing between SBP shots was not constant, which may indicate that the migration result could not be satisfactory. Attributes were extracted on the lines before and after processing, which acted as a control for processing. The envelope attribute, as expected, presented the best results of among them. Other attributes presented unsatisfactory results for almost all lines. This may have been due to the fact these attributes were designed for completely different acquisition systems. Thus, further studies involving the extraction of single channel data attributes and the creation of specific attributes for this type of data are needed. As for processing, it is concluded that some other steps should be included in the future such as regularization and other filtrations besides those tested, such a way as the same processing flow can be used in other works.

Keywords: Seismic processing; single channel seismic; seismic attributes; Bransfield Strait.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ambientes Glaciomarinhos. Fonte: Página Geologia do Brasil, modificado de Hart e Roberts (1994).	5
Figura 2 Exemplo de imagem sísmica de alta resolução. Fonte: Jakobsson et al. (2016)	7
Figura 3. Diferentes tipos de sistemas de investigação marinhos. Fonte: Jakobsson et al. (2016)	10
Figura 4 Constrastes de Impedância acústica e Coeficiente de Reflexão. Fonte: Adaptado de Jakobsson et al. (2016).....	11
Figura 5 Representação das partes real e imaginária do traço sísmico analítico.....	14
Figura 6 Representação do envelope do sinal sísmico (tracejado). Fonte: Adaptado de Chopra e Marfurt, (2005).....	15
Figura 7 Comparativo entre os atributos Fase Instantânea (a) e Cosseno da Fase (b), onde o traço escuro representa o traço sísmico real. Fonte: Barnes (2016).....	16
Figura 8 Uma seção sísmica e seus atributos de amplitude e fase. (a) Dado sísmico convencional; (b) Envelope; (c) Fase Instantânea (d) Cosseno da fase instantânea. Fonte: Adaptado de Barnes(2016)	16
Figura 9 Localização da área de estudo e das respectivas linhas sísmicas e pontos de amostragem geológica.	19
Figura 10 Falhas geológicas e edifícios vulcânicos na bacia de Bransfield Central e oriental. Adaptado de GRÁCIA et al.(1997).....	20
Figura 11 Produtos sedimentares associados a processos sedimentares recentes na Bacia Central de Bransfield. Fonte: Adaptado de García, M. et al.(2011).....	22
Figura 12 Mapa geral da distribuição do tamanho médio do grão dos sedimentos superficiais, com as seguintes classes: areias (tamanho médio $< 3\phi$), areia siltosa (tamanho médio entre 4 e 6 ϕ), argila siltosa (tamanho médio $> 6\phi$). Fonte: Yoon et al. (1992).....	22

Figura 13 Fluxo de processamento adotado.	24
Figura 14 Trecho (<i>zoom</i>) dos tiros de SBP no Estreito de Bransfield para a linha L1.....	25
Figura 15 Trecho do envelope da linha L2 pré-processamento (a) e pós-processamento (b).	26
Figura 16 Envelope da linha L6 pré-processamento (a) e pós-processamento (b) com setas indicando melhorias na morfologia do fundo....	26
Figura 17 Linha L3. Atributos: (a) Amplitude; (b) Envelope.	27
Figura 18 Linha L6. Atributos: (a) Amplitude; (b) Envelope; (c) Frequência.	28

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
3.1 Ambientes Glaciomarinhas	4
3.1.1 Processos sedimentares dominantes.....	5
3.2 Método sísmico de alta resolução	7
3.2.1 Ondas de corpo.....	8
3.2.2 Propriedades elásticas.....	8
3.2.3 Perfiladores de sub-fundo.....	9
3.4 Atributos sísmicos	12
3.4.1 Envelope (Reflection Strength).....	14
3.4.2 Fase instantânea e Cosseno da Fase.....	15
3.4.3 Frequência Instantânea.....	17
3.4.4 Fator de qualidade instantâneo $q(t)$	17
4 AREA DE ESTUDO: Estreito de Bransfield, Antarctica	19
5 METODOLOGIA	23
5.2 Tratamento dos dados sísmicos e extração dos atributos	23
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
6.1 Processamento	25
6.2 Atributos	27
8 CONCLUSÃO	29
9 REFERÊNCIAS	30
APÊNDICE	34

1 INTRODUÇÃO

A indústria *offshore*, principalmente no que tange à exploração e produção de hidrocarbonetos, possui em seus projetos um dos mais altos custos dentre todos os setores industriais. Essa característica se dá pelas complexidades operacionais relacionadas ao ambiente marinho, que dificultam não apenas projetos de engenharia relacionados à instalação de estruturas (por exemplo rede de dutos e plataformas), mas também os estudos geológicos/geofísicos e de meio ambiente.

Uma parcela considerável na composição dos custos do setor está na utilização dos métodos diretos de investigação do fundo e subfundo marinho. Isto promove intensamente uma tendência na demanda de busca por alternativas a tornar cada vez menor a dependência desses métodos de investigação e maior o aproveitamento de dados oriundos dos métodos indiretos que, em geral, apresentam menores custos em comparação com os primeiros.

Diante disso, a motivação do presente estudo surgiu a partir da necessidade de continuar avaliando o desenvolvimento de técnicas e metodologias mais eficientes do ponto de vista econômico e de risco de engenharia e ambiental. Sob esta ótica, o uso de ferramentas geofísicas acústicas para caracterização do fundo e subfundo marinho pode ser mais efetivo do que as técnicas diretas, pois permite investigar grandes áreas em relativo curto espaço de tempo.

No que diz respeito à geofísica, a análise de atributos sísmicos no universo da prospecção de hidrocarbonetos tem uma grande aplicabilidade. No entanto, nota-se que a utilização dessa técnica ainda não vem sendo utilizada efetivamente na sísmica de alta resolução. Segundo Santana e Ayres Neto (2015), todos os atributos desenvolvidos até aquele ano vieram de dados sísmicos multicanal 2D ou 3D desenvolvidos para a indústria de óleo e gás e raramente foram aplicados aos dados monocal.

Portanto, esta monografia pretende avaliar a aplicabilidade da extração de atributos em dados sísmicos de alta resolução, dado o sucesso obtido na sísmica convencional. Uma vez que se obtém resultados satisfatórios, esses

dados podem ser utilizados futuramente em estudos de correlação com parâmetros geológicos e geotécnicos.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a aplicabilidade de atributos sísmicos em dado sísmico monocanal de alta resolução, como forma buscar um melhor aproveitamento deste tipo de dado.

Como objetivos específicos são pontuados:

- I. Realizar o processamento de um dado sísmico monocanal de alta resolução;
- II. Desenvolver uma rotina de processamento específica para dados monocanais;
- III. Verificar os efeitos do processamento sísmico na visualização dos atributos;
- IV. Estudar um conjunto de atributos sísmicos e testar quais deles seriam aplicáveis a sísmica monocanal de alta resolução extraídos dos dados utilizados neste estudo;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Ambientes Glaciomarinhos

A geologia define os ambientes glaciais como aqueles onde os agentes de erosão, transporte e deposição de sedimentos são o gelo e as águas derivadas do degelo. Para Menzies (2002), a complexidade e a caoticidade aparentes, bem como a efemeridade geológica, raramente vistas em outros sistemas sedimentares, tornam o ambiente glacial único. Salienta-se que estes últimos, em especial, compõem o ambiente da área de estudo.

Os ambientes glaciomarinhos são definidos por Powell e Domack (2002) como ambientes marinhos em proximidade suficiente ao gelo glacial, sob os quais os sedimentos revelam uma assinatura glacial. Nesses sistemas, as geleiras¹ e os *icebergs* que delas se desprendem atuam como fontes de detritos para locais situados além do domínio costeiro (ASSINE; VESELY, 2008). Os processos atuantes no interior do corpo d'água responsáveis pelo transporte de sedimentos variam de acordo com a distância com relação à margem da geleira.

A classificação para os ambientes glaciomarinhos é dada de acordo com a posição em relação à geleira e ao local de deposição sedimentar (Figura 1): (1) subglaciais, que são afetados por processos e depósitos diretamente vinculados à dinâmica da geleira; (2) proximal, onde os processos sofrem influência da margem da geleira e (3) distal, nos quais dominam efetivamente os processos marinhos.

As correntes de água de degelo e fluxos de gravidade subaquosos são agentes de transporte e deposição neste ambiente (ASSINE; VESELY, 2008). Domack e Powell (2017) acrescentam que processos marinhos como ondas, marés, tempestades podem efetivamente redistribuir os componentes dos sedimentos glaciais. Além disso, sabe-se que uma geleira pode avançar mar adentro através de fiordes. Em plataformas continentais e oceanos rasos, as

¹ As geleiras são massas de gelo formada pela compactação e recristalização da neve precipitada, que se movimentam gradiente abaixo pela ação da gravidade e possuem grande potencial erosivo.

geleiras podem estar completamente aterradas sobre o fundo do mar (*grounded glacier*).

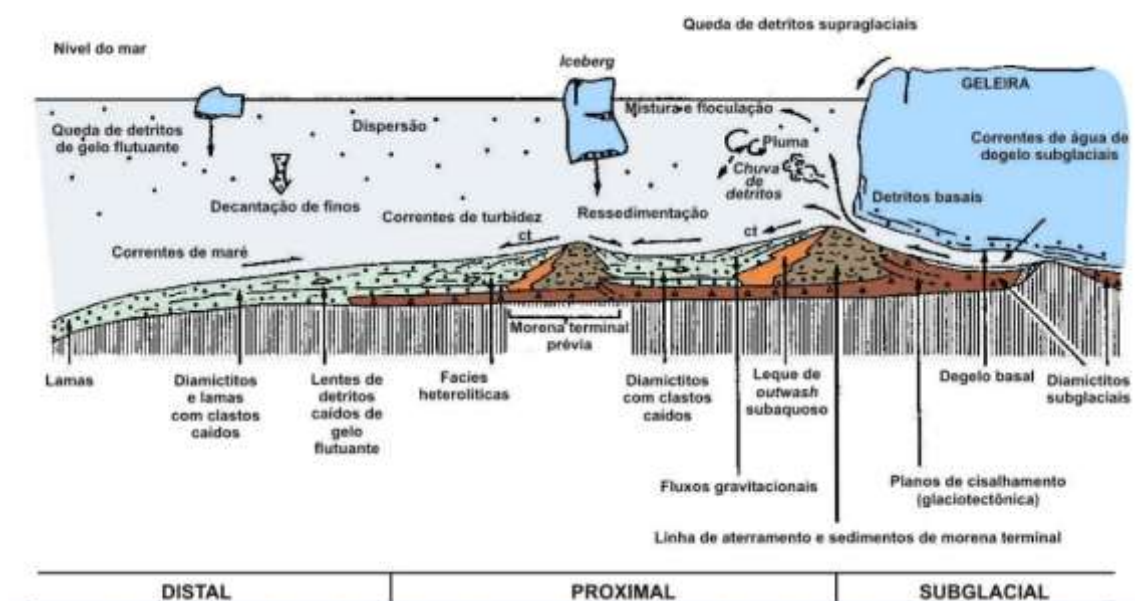


Figura 1: Ambientes Glaciomarinheiros. Fonte: Página Geologia do Brasil², modificado de Hart e Roberts (1994).

As geleiras possuem grande competência em remobilizar sedimentos, de forma que sejam esperadas acumulações de diferentes tipos de sedimentos (cascalhos, areias, lamas) próximos as frentes do gelo. Um dos principais tipos de depósitos dos ambientes glaciais são as morainas, formadas por ação direta das geleiras e constituídas por sedimentos clásticos (*till*) comumente grossos, com baixa seleção granulométrica e abundância de clastos de diferentes formas e tamanhos dispersos numa matriz fina.

3.1.1 Processos sedimentares dominantes

Segundo Hart e Roberts (1994), o ambiente glaciomarinheiro é dominado por sedimentos provenientes de fluxos de gravidade, chuva de detritos, correntes de fundo, com fácies variando de acordo com a distância à margem glacial.

Baseados nos estudos de Eyles et al. (1985), Assine e Vesely (2008) descrevem três importantes processos sedimentares associados às fácies

² Disponível em: <<http://www.geologiado brasil.com.br/pdfs/ambientesglaciais.pdf>>. Acesso em junho, 2019.

glaciomarinhas: tração, ressedimentação gravitacional e chuva de detritos (*rain-out*).

Segundo a definição de Hart e Roberts (1994), na zona subglacial ou na zona marginal, grandes quantidades de material grosso são carregadas por correntes de degelo adentrando ao ambiente marinho, formando bancos de areia e cascalho. Ainda segundo esses autores, a zona proximal é dominada por processos de ressedimentação e chuva de detritos provenientes de *ice-rafteds*³ e suspensão.

A ressedimentação é bastante comum nos ambientes glaciomarinhos e ocorre numa gama contínua de processos gravitacionais, desde deslizamentos e escorregamentos até correntes de turbidez. Os depósitos gerados a partir desse processo constituem grande parte das sucessões glaciomarinhas.

A chuva de detritos ocorre essencialmente quando a água de degelo, carregada de sedimentos, penetra nos corpos d'água e parte da carga sedimentar mais fina ascende na forma de plumas e permanece em suspensão. A decantação da fração fina, combinada a queda dos clastos presentes nos *ice-rafteds*, gera diamictitos.

Na zona distal, apesar de também ocorrer deposição a partir dos *ice-rafteds*, muitos processos não glaciais exercem um papel fundamental. Diamictitos de granulometria fina podem ser encontrados, consistindo de lamas e argilas com ocasionais seixos pingados (*dropstones*).

³*Ice-rafteds* se referem aos blocos de gelo flutuantes que ao se liquefazerem liberam o material continental que estavam transportando.

3.2 Método sísmico de alta resolução

Dentre as ferramentas geofísicas mais importantes que utilizam a propagação de ondas acústicas para o estudo do fundo e subfundo marinho está o método sísmico (AYRES NETO, 2001), sendo a dita sísmica rasa aquela que investiga um ambiente em pequenas profundidades em comparação a convencional aplicada a prospecção de hidrocarbonetos.

Sísmica rasa é normalmente chamada de alta resolução, uma vez que trabalha com espectros de alta frequência, empregando os mesmos princípios da sísmica de reflexão convencional. Dessa forma, o método é baseado na emissão, transmissão e reflexão de ondas acústicas entre meios em que apresentem propriedades elásticas distintas, fornecendo dados sobre a disposição estrutural das camadas abaixo do fundo marinho (Figura 2). Entretanto, os sistemas de aquisição de dados, as fontes acústicas, os espectros de frequências emitidos, os receptores, os sistemas de processamento e até mesmo as formas de apresentação dos dados são diferentes para ambos (GOMES; VITAL; MACEDO, 2011).

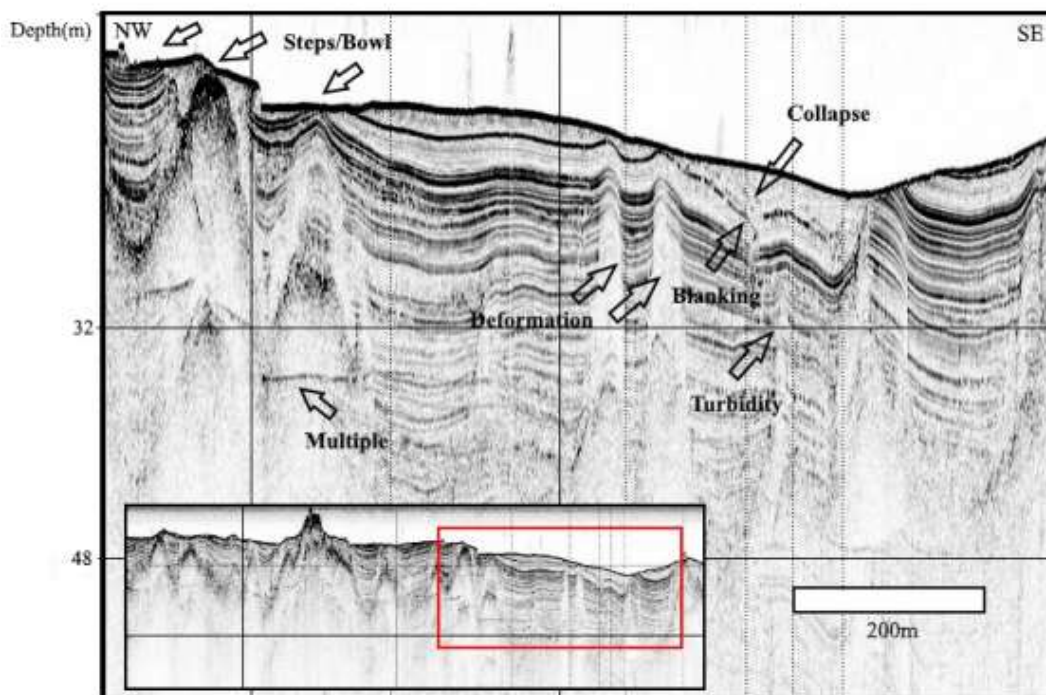


Figura 2: Exemplo de imagem sísmica de alta resolução. Fonte: Jakobsson et al. (2016)

A frequência escolhida é um fator determinante na resolução vertical dos dados e na penetração do sinal emitido, que apresentam uma relação inversamente proporcional, o que significa dizer que quanto menor a frequência operante é maior o comprimento de onda e menor resolução das camadas. No entanto, é maior a penetração nesse caso.

3.2.1 Ondas de corpo

As ondas podem ser classificadas quanto a sua forma de propagação. As ondas ditas de corpo, de grande relevância neste estudo, são classificadas em dois tipos: (1) as ondas P, também conhecidas como primárias, compressionais ou longitudinais, as quais a propagação se dá na mesma direção em que as partículas de rocha vibram; e (2) as ondas S, também ditas secundárias, cisalhantes ou transversais.

Na utilização dos métodos sísmicos marinhos, as primeiras são as mais importantes, uma vez que as ondas S não se propagam em fluidos, além do fato de que as ondas compressionais apresentam maior velocidade de propagação do que as ondas cisalhantes, favorecendo assim a melhor qualidade do registro sísmico (ROSA, 2010).

As ondas acústicas são do tipo onda P, quanto as formas de propagação e mecânicas segundo a sua natureza, isto é, se originam a partir da perturbação de um meio material. A propagação se dá por compressões locais e dilatações passadas ponto-a-ponto por causa das propriedades elásticas do meio propagante a uma determinada velocidade (LURTON, 2002).

3.2.2 Propriedades elásticas

Da teoria da elasticidade tem-se a Lei de *Hook*, que descreve a relação entre a tensão e a deformação de um material elástico. A primeira tem dimensão de força por unidade de área e a segunda corresponde a uma variação relativa de volume ou comprimento, tratando-se de uma grandeza adimensional.

No que diz respeito a propagação de ondas acústicas, um aspecto fundamental da lei de *Hook* é a premissa de que o meio é perfeitamente elástico, isto é, as deformações são temporárias fazendo com que o meio retorne ao seu

estado original (ROSA, 2010). Neste contexto, Schon (2011) traz os chamados módulos de elasticidade de um material isotrópico:

- Módulo de compressão (k): razão entre a pressão hidrostática e a deformação volumétrica sofrida por um corpo sujeito a pressão;
- Módulo de cisalhamento (ou rigidez) (μ): razão entre a tensão aplicada e deformação cisalhantes;
- Módulo de *Young* (E): razão entre a tensão e a deformação de um corpo em um estado de tensão uniaxial;
- Razão de *Poisson* (ν): razão entre a deformação lateral e a deformação axial em um estado de tensão uniaxial;

As propriedades elásticas das rochas e sedimentos são dominadas pelas características da rocha sólida como presença de poros e de fraturas e pelos fluidos contidos. No caso dos sedimentos inconsolidados, que podem ser classificados em coesivos (e.g. argilas, margas) e não coesivos (e.g. areias, cascalhos), o comportamento elástico depende de diversas condições físicas do contato entre as partículas como efeitos da fricção e fenômenos físico-químicos. Ambas as condições existem no caso dos não-coesivos. Para os coesivos, os fenômenos físico-químicos são dominantes. (SCHON, 2011).

3.2.3 Perfiladores de subfundo

Perfiladores de subfundo (*SBP- Sub Bottom Profilers*) são sistemas de investigação sísmica que tem por finalidade investigar uma espessura na ordem de dezenas de metros logo abaixo do fundo marinho. Normalmente trabalham numa faixa de frequência de 1-10kHz e, em geral, os equipamentos são compactos possibilitando a utilização de embarcações de pequeno porte.

Dentro do contexto da acústica submarina, os *SBP's* são comumente designados como eco sondas em decorrência da sua natureza tipicamente monocanal. No entanto, operam em frequências bem menores quando comparados aos ecobatímetros, (LURTON, 2002). A Figura 3 ilustra os diferentes tipos de sistemas de investigação marinha.

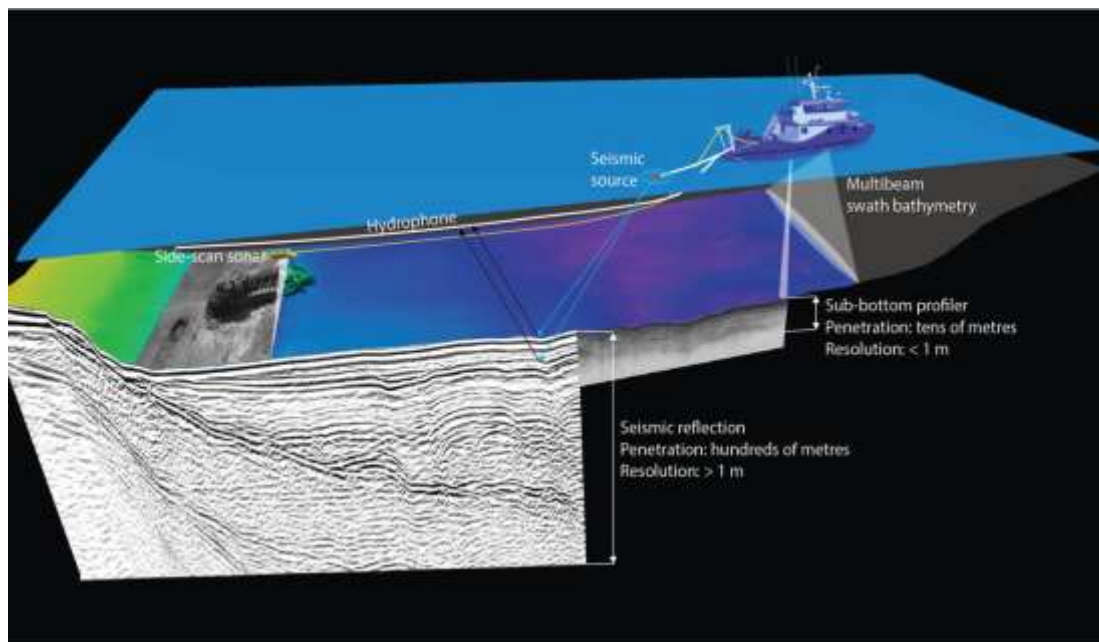


Figura 3: Diferentes tipos de sistemas de investigação marinhos. Fonte: Jakobsson et al. (2016)

Os perfiladores gravam o eco provenientes das interfaces entre camadas sedimentares, que correspondem às mudanças de impedância acústica, nas quais uma parte da energia incidente é refletida e a outra parte é transmitida às camadas mais profundas.

A impedância acústica (Z) de um meio de propagação é o produto da velocidade e da densidade do meio. A quantidade de energia refletida (ou perdida) quando o som passa de um meio para outro de maior impedância é amplamente determinada pelos contrastes de impedância (HAMILTON, 1970). O coeficiente de reflexão R pode ser definido entre dois meios de respectivas impedâncias Z_1 e Z_2 (incidência vertical):

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (3.1)$$

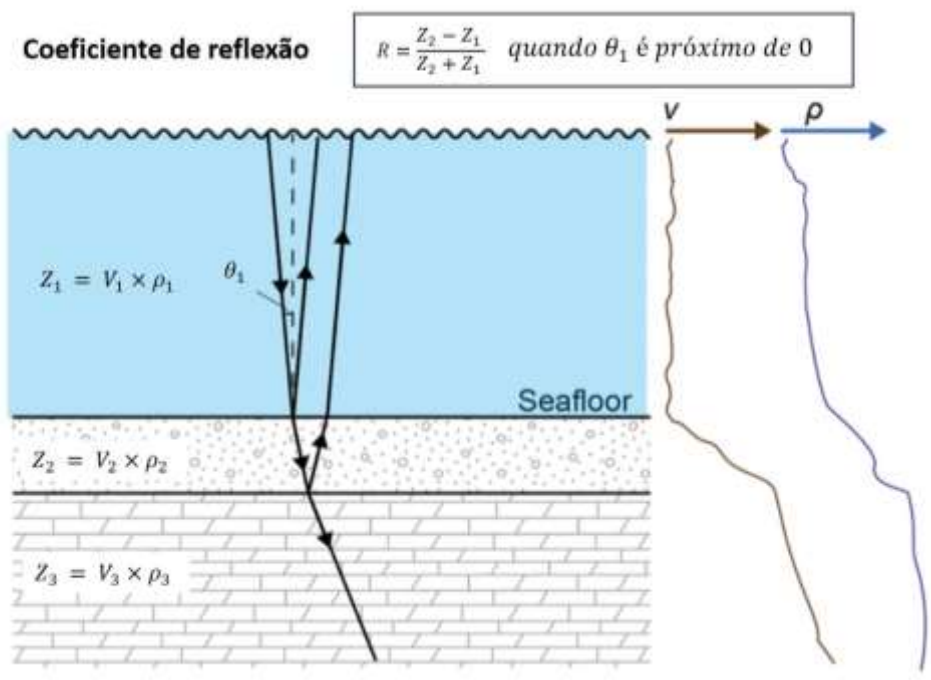


Figura 4: Contrastes de Impedância acústica e Coeficiente de Reflexão. Fonte: Adaptado de Jakobsson et al. (2016).

Dos tipos de fonte acústica empregadas na sísmica de alta resolução, os perfiladores usam as chamadas fontes ressonantes que, por sua vez, se utilizam das propriedades piezo-elétricas de alguns cristais para a geração do sinal acústico através de transdutores. Essas fontes são utilizadas nos levantamentos hidrográficos e nos levantamentos de subfundo.

Segundo Ayres Neto (2001), um aspecto que diferencia as fontes ressonantes das fontes sísmicas como *boomer* e *sparkers*, é que as últimas necessitam de um receptor (hidrofonos). Já as primeiras são ao mesmo tempo emissoras e receptoras do sinal sísmico.

Uma metodologia de interpretação de dados de SBP ainda muito utilizada é a proposta por Damuth (1975), na qual diferentes padrões de reflexões sísmicas (“eco-caráter”) podem ser demarcados dependendo das características do tipo de fundo e subfundo (e.g. espessura das camadas e coeficiente de reflexão) do local investigado.

Contudo, outras possibilidades de técnicas de tratamento e interpretação dos dados obtidos a partir desses sistemas de investigação podem ser também exploradas, como a utilização da análise de atributos sísmicos. Segundo Cunha

(2019b), os dados de SBP devem ser tratados como sísmica de alta resolução monocal em zero offset, a qual traz o contraste de impedância acústica das sismofácies de subfundo.

3.4 Atributos sísmicos

Os atributos sísmicos podem ser definidos como quaisquer quantidades medidas ou computadas a partir dos dados sísmicos. A análise de atributos é uma ferramenta de grande relevância na interpretação dos dados sísmicos multicanal, pois uma das suas funções é realçar informações de interesse dos geocientistas não facilmente observadas no dado sísmico em amplitude, como estruturas geológicas, feições estratigráficas e indicadores diretos de hidrocarbonetos.

Desde a sua introdução efetiva no início dos anos 70, o estudo dos atributos sísmicos percorreu um longo caminho e sua utilização fez-se presente principalmente na exploração e na caracterização de reservatórios (SUBRAHMANYAM, 2008). Com o crescimento acelerado de novos atributos, tanto em número quanto em variedade nas últimas três décadas, muitos autores vêm medindo esforços no sentido de criar classificações para os atributos sísmicos, como Taner (1992), Chen e Sidney (1997), Liner et al. (2004).

Marfurt (2018) utiliza a definição de atributos sugerida por Liner et al. (2004): “medidas específicas dos elementos geométricos, cinemáticos, dinâmicos ou estatísticos do dado sísmico” e explica que os atributos geométricos incluem as medidas de mergulho (*dip*), curvatura, convergência e continuidade dos refletores. Os cinemáticos envolvem medidas de velocidade intervalar e anisotrópica. As medidas de magnitude da frequência, fase e atenuação se referem aos atributos dinâmicos. Por último, tem-se os atributos estatísticos que incluem, por exemplo, a amplitude RMS (*Root Mean Square*).

Uma importante família de atributos para este trabalho envolve os atributos *post-stack* ou “pós-empilhamento”, uma vez que os dados aqui utilizados são de sísmica de alta resolução e os atributos pré-empilhamento necessitam, para serem calculados, de algumas informações inexistentes nos

dados de SBP como os *offsets* (distâncias entre a fonte e o receptor). A sísmica monocanal é considerada uma condição especial de “zero offset”.

Para a compreensão da computação de um determinado conjunto de atributos, é essencial a apresentação do conceito da análise do traço sísmico complexo introduzido por Taner, Koehler e Sheriff (1979), que trata o traço sísmico $x(t)$ como a parte real de um traço analítico (ou complexo) que por sua vez é definido como:

$$z(t) = x(t) + ix^*(t), \quad (3.2)$$

no qual o termo $x^*(t) = y(t)$ representa a componente imaginária (Figura 5), resultado da transformada de Hilbert $H[x(t)]$. O traço real $x(t)$ pode ser expresso em função da amplitude instantânea $a(t)$ e fase $\phi(t)$:

$$x(t) = a(t) \cos[\phi(t)], \quad (3.3a)$$

$$x(t) = a(t) \cos(2\pi ft + \theta), \quad (3.3b)$$

no qual f e θ são, respectivamente, frequência e fase constante. Note que a equação (3.3b) representa uma oscilação harmônica. Dadas estas equações, o traço sísmico complexo pode também escrito como:

$$z(t) = x(t) + iy(t) = a(t)e^{i\phi(t)}. \quad (3.4)$$

A análise do traço sísmico complexo possibilita a separação das informações de fase e de amplitude do dado sísmico, de onde derivam todos os atributos do traço complexo, que configuram uma categoria na taxonomia de atributos estabelecida por alguns autores (BARNES, 2007).

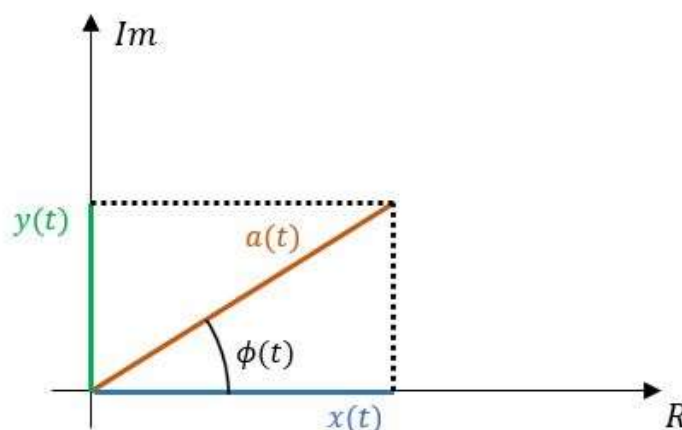


Figura 5
Representação das partes real e imaginária do traço sísmico analítico.

Também são definidos, a partir do traço complexo, os chamados atributos instantâneos (e.g. amplitude, fase e frequência instantâneos). O espectro dos atributos sísmicos varia, portanto, desde as mais simples medidas da forma da onda as mais sofisticadas estimativas de anisotropia azimutal, atenuação e intensidade da difração (MARFURT, 2018). Nos tópicos a seguir são definidos os atributos que foram utilizados neste estudo.

3.4.1 Envelope (*Reflection Strength*)

Taner, Koehler e Sheriff (1979) também mostram que partindo da equação (3.4), se $x(t)$ e $y(t)$ são conhecidos, tem-se as seguintes soluções para $a(t)$ e $\phi(t)$:

$$a(t) = \sqrt{x^2(t) + y^2(t)} = |z(t)|, \quad (3.5)$$

$$\phi(t) = \arctg \left[\frac{y(t)}{x(t)} \right]. \quad (3.6)$$

O envelope do sinal ou a energia total instantânea é a amplitude instantânea $a(t)$. Trata-se de um atributo independente da fase que apresenta apenas as amplitudes positivas (varia de 0 a máxima amplitude do traço). Taner et al. (2001) listam algumas características evidenciadas a partir da utilização deste atributo. Destas, são destacadas a seguir apenas as que são relevantes para este estudo:

1. Contrastes de impedância acústica, conseqüentemente, a refletividade;
2. Principais mudanças no ambiente deposicional;
3. Correlação espacial entre porosidade e outras variações litológicas.

O cálculo das derivadas primeira e segunda do envelope também são atributos comumente utilizados na interpretação sísmica. A primeira mostra a variação da energia refletida nas interfaces e permite observar como o meio interage com a onda através da absorção, consistindo em um bom detector de efeitos de absorção. A segunda derivada pode ser entendida como uma medida da “nitidez” (*sharpness*⁴) do pico do envelope (TANER et al., 2001)(Figura 6).

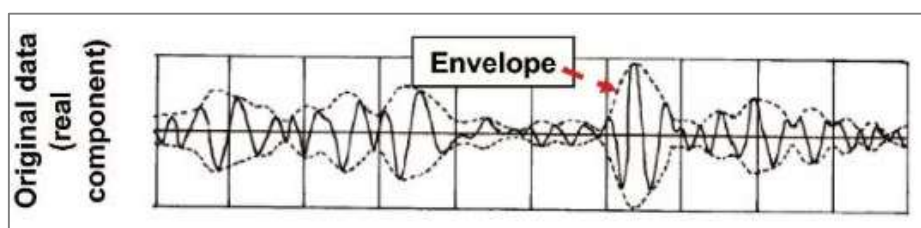


Figura 6: Representação do envelope do sinal sísmico (tracejado). Fonte: Adaptado de Chopra e Marfurt, (2005).

3.4.2 Fase instantânea e Cosseno da Fase

A fase instantânea é definida pela equação (3.6). O cosseno da fase pode ser isolado da equação (3.3a) assumindo o seguinte resultado:

$$\cos \phi (t) = \frac{x(t)}{a(t)}, \quad (3.7)$$

A escala do dado de saída varia de -1 a 1, não contendo informações de amplitude. Segundo Barnes (2007), o atributo funciona como um controle de ganho automático perfeito (AGC), uma vez que os contrastes de amplitude são

⁴ Da acústica, no inglês *sharpness* é entendido como uma medida do conteúdo de altas frequências de um som. Quanto maior a proporção de altas frequências, mais “agudo” (*sharper*) é o som.

removidos. Na Figura 7 é possível observar o ganho atribuído pelo cosseno da fase quando é comparado ao traço real (amplitude).

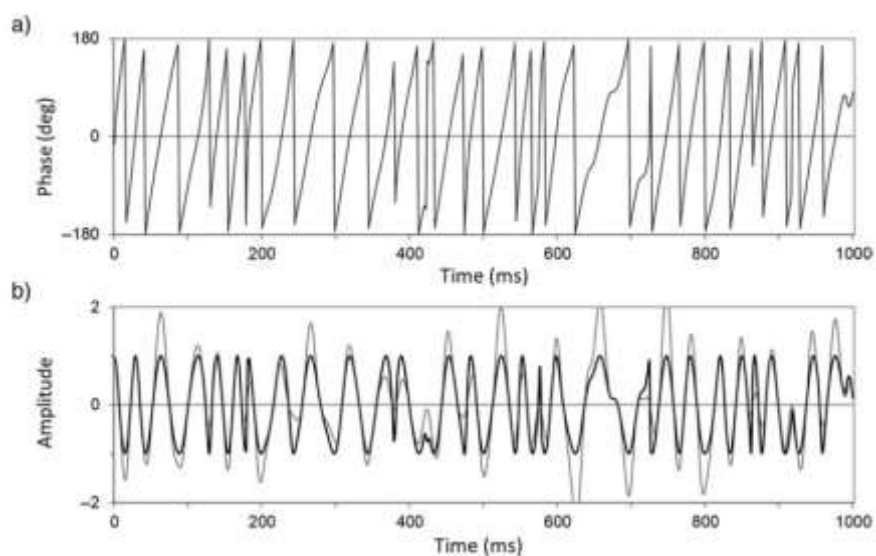


Figura 7: Comparativo entre os atributos Fase Instantânea (a) e Cosseno da Fase (b), onde o traço escuro representa o traço sísmico real. Fonte: Barnes (2016)

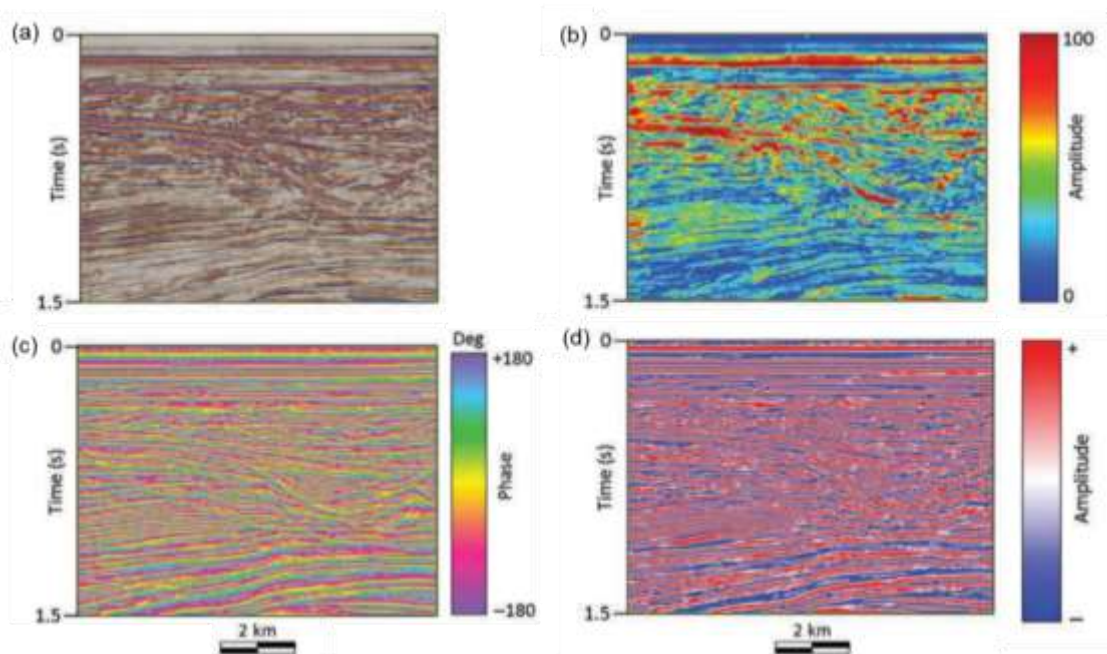


Figura 8: Uma seção sísmica e seus atributos de amplitude e fase. (a) Dado sísmico convencional; (b) Envelope; (c) Fase Instantânea (d) Cosseno da fase instantânea. Fonte: Adaptado de Barnes (2016).

3.4.3 Frequência Instantânea

A frequência instantânea, definida pela equação (3.8), é utilizada na exploração de óleo e gás como indicador de hidrocarbonetos, pelas anomalias de baixa frequência, efeito este que é por vezes acentuado pelas areais inconsolidadas do reservatório, devido ao conteúdo de óleo nos poros (TANER et al., 2001).

$$f(t) = \frac{d\phi(t)}{dt}. \quad (3.8)$$

A primeira derivada da frequência instantânea é o atributo conhecido como aceleração da fase e pode destacar um rápido aumento da frequência, melhorando a resolução dos indicadores de camadas delgadas (*thin beds*). Também mostra o efeito de absorção da onda pela rápida dispersão da frequência nas camadas de sedimentos inconsolidados. (RADOMILLE; AYRES NETO, 2015).

3.4.4 Fator de qualidade instantâneo $q(t)$

Barnes (2016) apresenta o atributo fator de qualidade instantâneo definido por Tonn (1991) como:

$$q(t) = - \frac{\pi f(t)}{\sigma(t)}, \quad (3.10)$$

$$\sigma(t) = \frac{d}{dt} \ln a(t) = \frac{a'(t)}{a(t)}, \quad (3.11)$$

no qual $f(t)$ é a frequência instantânea e $\sigma(t)$ é a derivada no tempo do logaritmo do envelope (Equação 3.11).

O comportamento da atenuação da onda sísmica está relacionado ao fator de qualidade do meio (fator Q). Este parâmetro reúne informações sobre as rochas como suas características litológicas, físicas e de saturação de fluidos e é inversamente proporcional a atenuação. A amplitude instantânea de uma onda plana monocromática de frequência f se propagando em um meio

homogêneo atenuante com um fator de qualidade Q é dada aproximadamente por:

$$a(t) = a_0 e^{-\frac{\pi f t}{Q}}, \quad (3.12)$$

no qual a_0 é a amplitude inicial. Realizando algumas operações matemáticas a equação (3.12) é possível isolar o fator Q :

$$Q = -\frac{\pi f}{\sigma} \quad (3.13)$$

Estendendo a ideia do fator Q para os sedimentos é possível inferir que, no caso dos arenosos, quanto maior a porosidade, maior a absorção de energia, e, conseqüentemente, menor o fator Q .

4 AREA DE ESTUDO: ESTREITO DE BRANSFIELD, ANTÁRTICA

O Estreito de Bransfield se localiza geograficamente entre o extremo norte da Península Antártica e as Ilhas Shetland do Sul, onde se insere a Bacia de Bransfield (Figura 9). A região possui uma configuração geológica altamente complexa por estar situada próxima a limites das placas Antártica e da América do Sul, além de uma série de outras pequenas placas tectônicas. Diante disso, essa bacia tem sua formação massivamente discutida por diversos autores como: Barker, (1982), Gamboa (1988), Galindo-Zaldívar et al. (2004), Garcia et al. (2008) e muitos outros desde a década de 60.

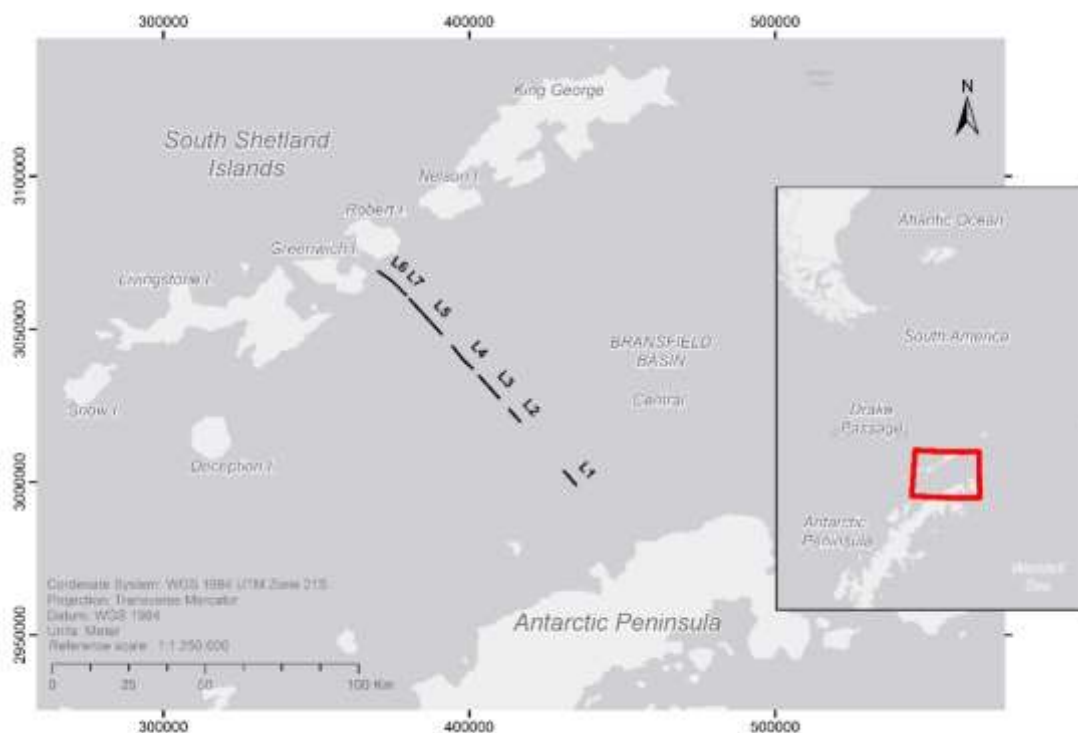


Figura 9: Localização da área de estudo e das respectivas linhas sísmicas e pontos de amostragem geológica.

Barker e Austin (1994) afirmam que o estreito de Bransfield é visto como uma bacia extensional, de morfologia assimétrica, formada atrás do extinto arco de ilhas das Shetland do Sul, mas que apesar da sua posição atual em cima de uma zona de subducção, o estreito não seria considerado uma bacia de *back-arc*, pois não está associado a um arco vulcânico ativo, apesar de tratarem-na

como tal. Segundo Barker (1982), a extensão teria iniciado há aproximadamente 4-5 Ma.

O estreito conta com uma cadeia linear de edifícios vulcânicos ao longo do eixo da bacia, onde a porção central atinge profundidades superiores a 2000m. A presença de falhamento normal, vulcanismo ativo e sismicidade confirmam a ocorrência atual da extensão (BARKER et al., 2003).

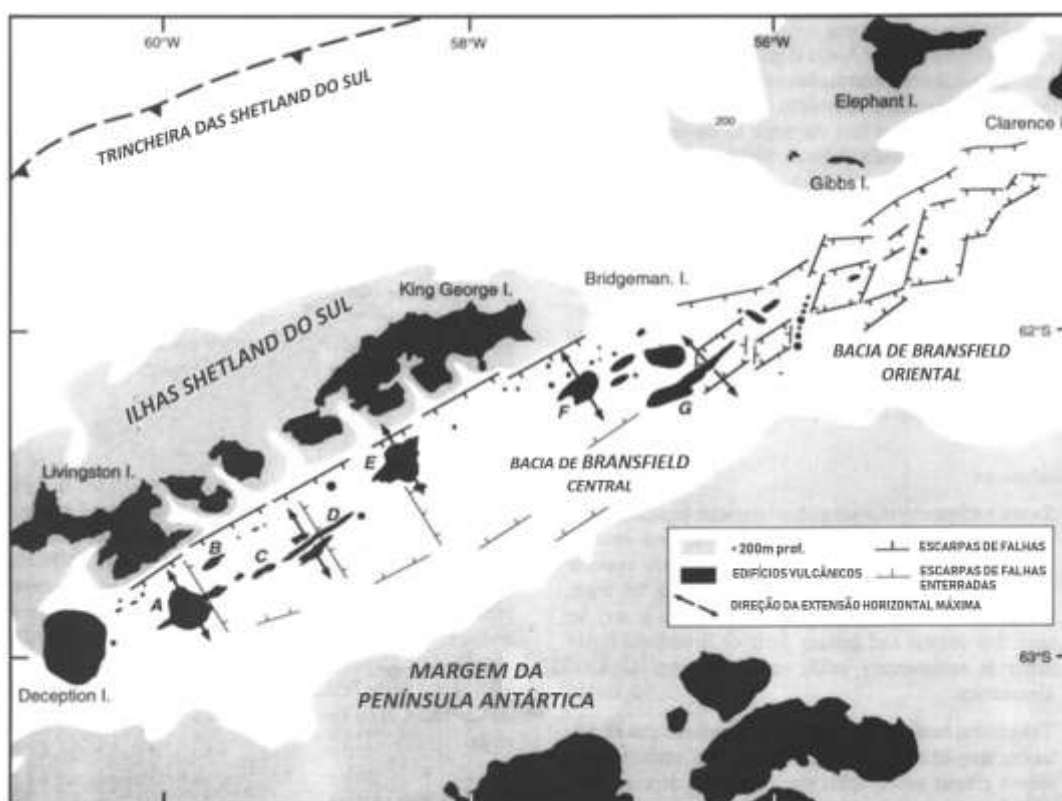


Figura 10: Falhas geológicas e edifícios vulcânicos na bacia de Bransfield Central e oriental. Adaptado de GRÀCIA et al.(1997).

Os dados utilizados neste estudo foram adquiridos na região central do estreito de Bransfield (Central Bransfield Basin), separada das porções ocidental e oriental por feições morfológicas, que ocorrem aproximadamente alinhadas com as Ilhas Deception e Bridgeman (Figura 10) (GRÀCIA et al., 1997). No lado da Península Antártica, a quebra da plataforma ocorre em aproximadamente 250m (ANDERSON, 1999).

Na porção norte da bacia, baía e fiordes despejam grandes quantidades de água de degelo com sedimentos de granulometria fina na bacia,

especialmente durante o verão austral (YOON et al., 1992). Esses sedimentos lamosos são geralmente transportados, além da plataforma para as zonas abissais da bacia através das plumas de água turbida ou, carregados pelos *icebergs* (Madejski e Rakusa-Suszczewski, 1990 apud YOON et al., 1992) e se misturam com vazas silicosas, que por sua vez compõe primariamente os sedimentos das áreas de mar profundo. Sedimentos grossos também podem ser adicionados também graças a ação dos *ice-rafteds*.

Anderson e Bartek (1990) afirmam que as concentrações destes componentes variam bastante na região como resultado de junção de diversos processos, como circulação oceanográfica e propriedades da massa de água, das rotas de deriva dos *icebergs*. Os três principais minerais identificados nas argilas são clorita, esmectita e illita. Com menor frequência podem ser encontrados caulinita e outros minerais acessórios como quartzos, feldspatos e piroxênios.

Segundo Anderson (1999), após o período do ultimo máximo glacial, os processos subglaciais nas calhas glaciais da plataforma continental e no talude foram progressivamente substituídos por processos glaciomarinhos proglacias e, mais tarde, por processos marinhos plenos (e.g. deslizamentos, correntes de turbidez e de contorno), à medida que a camada de gelo e os ambientes sedimentares associados migravam para o sul. A Figura 11 exhibe os depósitos resultantes dessa transição (última deglaciação e interglacial atual).

A Figura 12 mostra as zonas de distribuição do tamanho médio de grão dos sedimentos superficiais no Estreito de Bransfield. Yoon et. al. (1992) concluíram que a distribuição dos minerais de argila na área de estudo é controlada pelos fatores clima e fortes gradientes climáticos; vulcanismo, propriedades da massa de água; e litologia do substrato.

5 METODOLOGIA

O conjunto de dados utilizados no presente trabalho é composto de 7 linhas sísmicas de alta resolução (Figura 9) adquiridos a partir de um sistema *SBP 120 (Sub-Bottom Profiler)*, operando na banda de frequência de 2,5-6,5KHz, fabricado pela empresa *Kongsberg* que conta com conjunto de transdutores instalados no casco da embarcação.

Esses dados foram adquiridos durante as expedições antárticas OPERANTAR XXXIII e XXXIV, a bordo do Navio Almirante Maximiano pertencente a Marinha do Brasil, onde foram executadas atividades do projeto: “Uso de Registros Sedimentares e Biogeoquímicos como indicativos de mudanças climáticas e ambientais nas Ilhas Shetland do Sul e Península Antártica” (Edital PROANTAR 64/2013).

5.1 Tratamento dos dados sísmicos e cálculo dos atributos

O tratamento das linhas sísmicas foi realizado utilizando o pacote de *softwares* de código aberto *Seismic Unix* mantido pela Colorado School of Mines nos Estados Unidos. O fluxo de processamento adotado é mostrado na Figura 13. O *script* desenvolvido para este trabalho foi desenvolvido por Cunha (2019) e se encontra no apêndice.

Vale ressaltar que para o desenvolvimento do fluxo de processamento adotado foi dado um enfoque maior a zona onde se encontra o leito marinho, uma vez que se objetiva futuramente utilizar os dados processados em estudos que busquem a correlação entre os atributos e parâmetros geológicos e geotécnicos de sedimentos marinhos superficiais.

A etapa da geometria foi necessária, pois o algoritmo de migração Stolt necessita como entrada dos valores de CDP⁵ (*Common Depth Point*) mínimo e máximo. Nos dados sísmicos utilizados neste trabalho não existem pares fonte-receptor, portanto, cada linha sísmica apresentava um único valor de CDP. Dito

⁵*Common Depth Point* é o nome dado a um método, desenvolvido inicialmente por Mayne (1962), que consiste no registro de diversas reflexões originadas num mesmo ponto em subsuperfície (CDP), obtidas através de diferentes *offsets*.

isso, a solução para a utilização do algoritmo foi a enumeração da variável CDP de um à quantidade de tiros disparados.

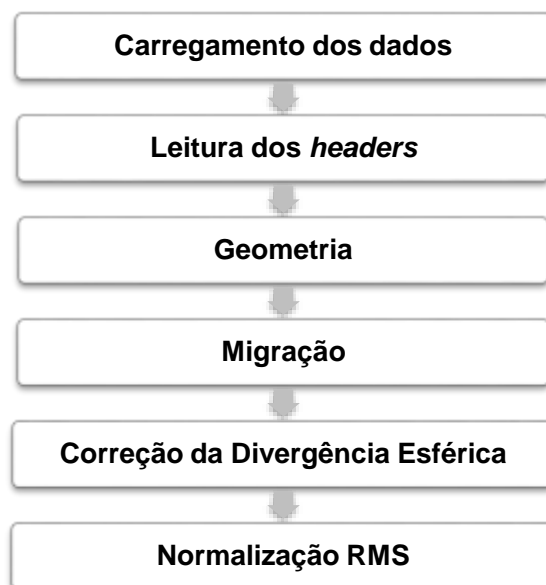


Figura 13: Fluxo de processamento adotado.

A utilização da migração sísmica é um processo que tem a função de melhorar a relação sinal-ruído, corrigindo distorções de registro de reflexões e localizando os eventos nas suas verdadeiras posições espaciais. O algoritmo utilizado foi o desenvolvido por Stolt (1978).

Se considerarmos um meio homogêneo e isotrópico, a onda gerada por uma fonte pontual propaga-se na forma de uma esfera que se expande – espalhamento geométrico ou divergência esférica – de forma que ocorra um decaimento da amplitude do sinal, no qual é inversamente proporcional ao quadrado da distância percorrida pela onda (ROSA, 2010). Para a correção desse efeito, foi utilizada a função *sdivcor* (Ver Apêndice).

Cunha (2019b) desenvolveu uma biblioteca usando a linguagem Python, exclusivamente voltada para manipulação dados de sísmica de alta resolução. Utilizando-se desse recurso, algumas estatísticas de controle do processamento foram realizadas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos primeiramente os resultados do processamento das linhas sísmicas e, em seguida dos atributos sísmicos, respectivamente, nas seções 6.1 e 6.2. Algumas linhas foram escolhidas para exibição do processamento e outras para a demonstração da extração de atributos. Algumas estatísticas de controle de qualidade dos resultados do processamento também são apresentadas.

6.1 Processamento

Durante a execução do processamento das linhas, a geração de estatísticas de controle revelou que algumas características dos dados utilizados não poderiam garantir que fossem obtidos resultados satisfatórios na extração dos atributos. Apesar da melhora significativa observada na imagem sísmica pós-processamento (Figuras 15 e 16), as plotagens dos tiros de SBP para as linhas demonstraram que o espaçamento entre eles não ocorre de forma constante (Figura 14).

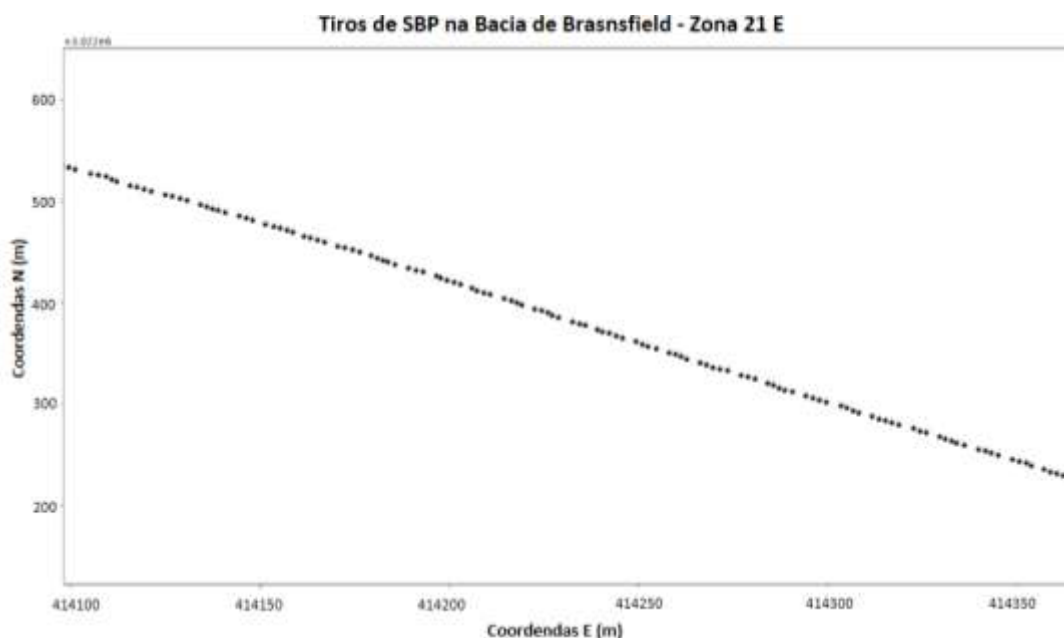


Figura 14: Trecho (zoom) dos tiros de SBP no Estreito de Bransfield para a linha L1.

Essa condição é de fundamental importância para garantir que a migração sísmica forneça o real posicionamento das feições de fundo. Isso pode ocorrer

devido ao fato do equipamento de aquisição utilizado aumenta automaticamente a taxa de disparo à medida que a coluna d'água aumenta de profundidade.

Outra explicação plausível para esses espaçamentos diferenciados é a sincronização entre os vários sistemas geofísicos a bordo, que é controlada por uma ferramenta específica (*K-Sinc*) e determina o momento em que cada um dos equipamentos (por exemplo, ecobatímetro multifeixe, monofeixe e SBP) devem ser disparados otimizando a aquisição dos dados.

Foi observado que a melhor forma de avaliar os resultados do processamento é através da visualização do envelope das linhas. A Figura 15 mostra como o processamento foi capaz de minimizar as hipérboles (artefato associado à difração da onda) identificadas na linha L2, garantindo um melhor entendimento da morfologia do fundo naquele local.

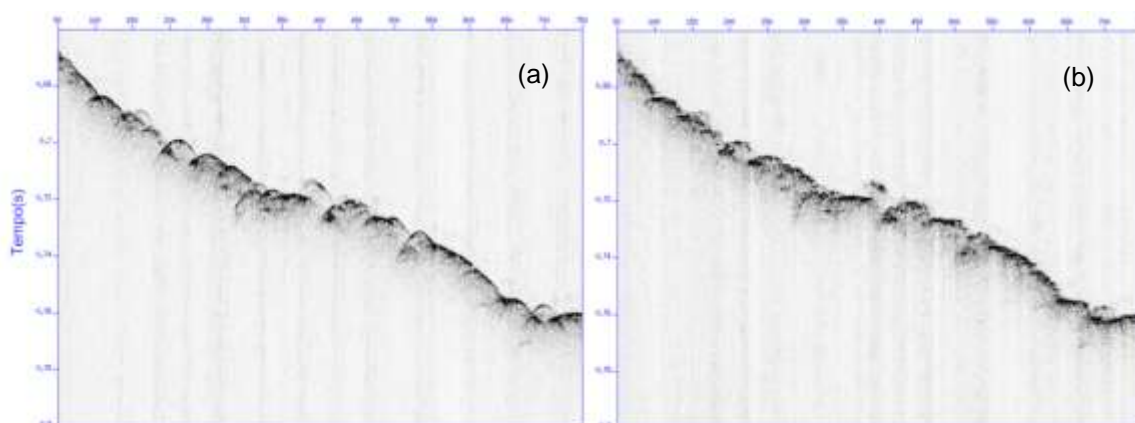


Figura 15: Trecho do envelope da linha L2 pré-processamento (a) e pós-processamento (b).

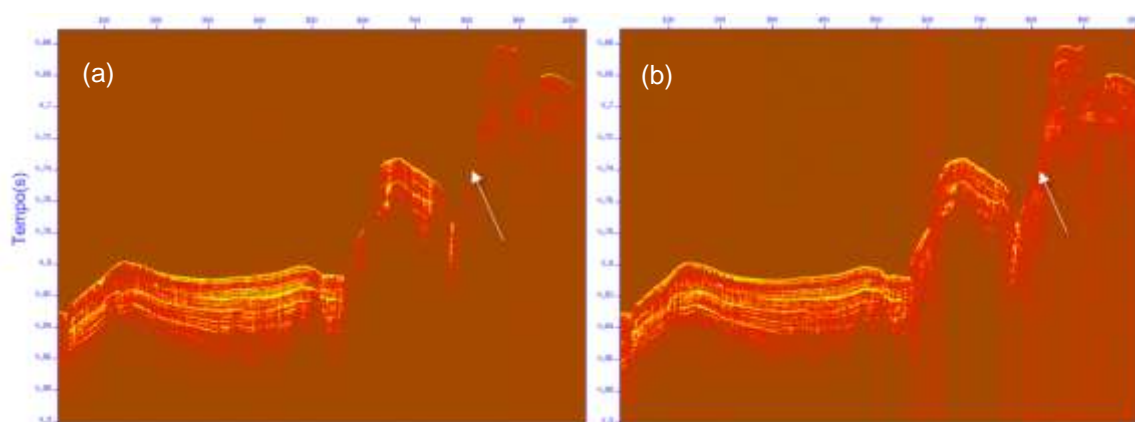


Figura 16: Envelope da linha L6 pré-processamento (a) e pós-processamento (b) com setas indicando melhorias na morfologia do fundo.

6.2 Atributos

Apesar das eventualidades referentes ao espaçamento dos tiros, as Figuras 17 e 18 mostram que, de fato, houve uma melhora significativa na apresentação dos atributos das linhas processadas em relação às não processadas.

A utilização do atributo envelope em dados de SBP já é bastante utilizada pela indústria. É comum encontrar este atributo exibido nas telas a bordo durante os levantamentos, dado sua ótima apresentação de definição do fundo e das camadas. Isso acontece devido ao fato dele ser um atributo de energia e só apresentar as amplitudes positivas. Dessa forma, esse foi o atributo que apresentou os resultados mais satisfatórios.

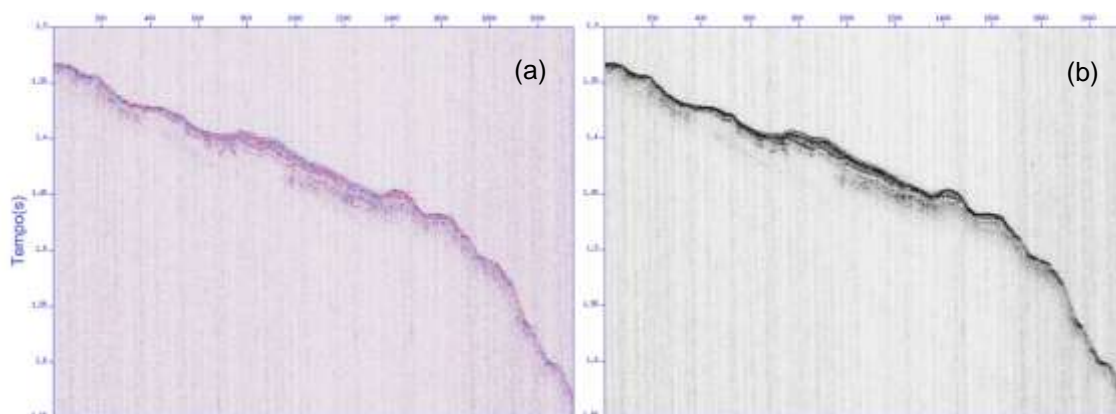


Figura 17: Linha L3. Atributos: (a) Amplitude; (b) Envelope.

A extração do atributo frequência apresentou resultados razoavelmente interpretáveis, sendo os melhores de para a linha L6 (Figura 18), apesar de uma quantidade muito grande de ruído. A utilização de um filtro passa banda foi testada, mas essa etapa não se faz presente no fluxo final adotado, pois não foram visualizadas melhorias consideráveis.

Os atributos de fase, cosseno da fase e fator de qualidade Q não apresentaram resultados interpretáveis. Em alguns casos se quer era possível identificar o leito marinho na imagem. Dessa forma, é necessário o desenvolvimento de novas metodologias para o uso desses atributos em dados de sísmica monocanal de alta resolução.

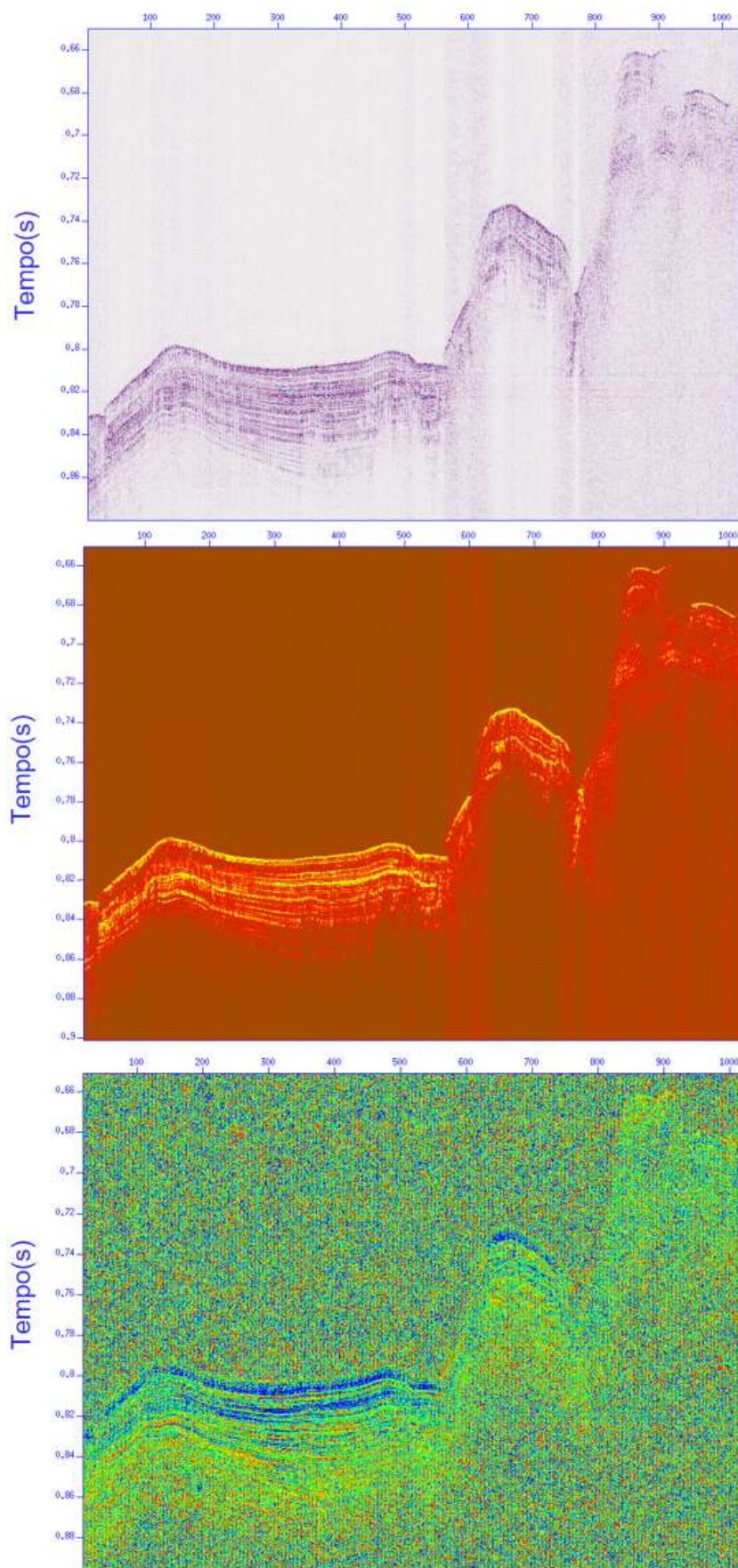


Figura 18: Linha L6. Atributos: (a) Amplitude; (b) Envelope; (c) Frequência.

8 CONCLUSÃO

Melhorias nas imagens pós-processamento foram observadas em todas as linhas sísmicas. No entanto, o fluxo de processamento utilizado deve ser ainda aprimorado para a utilização em trabalhos futuros. Uma sugestão é a adição de algumas etapas como outras técnicas de filtragem, além das testadas, com o objetivo de reduzir o ruído, que apesar da sua presença ser comum nesse tipo de dado, é possível a minimização.

A partir da observação das estatísticas de controle dos espaçamentos entre os tiros de SBP, conclui-se que para o resultado da migração ser satisfatório é necessária uma regularização. Este processo ainda não é utilizado na indústria em dados monocanal em comparação com seu amplo uso em dados multicanal.

O atributo envelope foi o que obteve o melhor comportamento em todas as linhas, dadas as suas características de computação. Uma vez que os sistemas de aquisição são essencialmente distintos, o que justifica a ideia de que técnicas de processamento devem ser melhor adaptadas para esse tipo de dado, o mesmo deve ocorrer para os atributos.

Existe a necessidade do desenvolvimento de outros estudos que caminhem nesse sentido e uma avaliação da possibilidade da criação de novos atributos pensados exclusivamente para dados de SBP, fato que é evidenciado pelos resultados não satisfatórios para os atributos fase, cosseno da fase e fator de qualidade Q.

As técnicas de processamento aplicadas foram desenvolvidas inicialmente para a sísmica multicanal. Dessa forma, ainda há muito o que se trabalhar para adaptar essas técnicas aos dados de SBP, uma vez que se pretende que os dados processados neste trabalho sejam utilizados em trabalhos futuros na correlação com atributos geológicos e geotécnicos.

9 REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. B. Antarctic Marine Geology. New York: [s.n.], 1999.

ANDERSON, J.B.; BARTEK, L.R. Interpretation of glacial marine deposits and the stratigraphic record of Antarctica's glacial, climatic, and oceanographic history: Problems, progress, and future needs. In: Cooper, A.K. and Webb, P.N. (Eds.), International Workshop Antarctic Offshore Acoustic Stratigraphy. U.S. Geological Survey Open-File Report, 1990.

ASSINE, M. L.; VESELY, F. F. Ambientes glaciais. Ambientes de Sedimentação Siliciclástica do Brasil. São Paulo: Ed. Beca, 2008.

AYRES NETO, Arthur. Resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. v. 18, n. 3, 2001.

AYRES NETO, A. et al. Geotechnical Influence on the Acoustic Properties of Marine Sediments of the Santos Basin, Brazil. Marine Georesources and Geotechnology, v. 31, n. 2, p. 125–136, 2013.

BARKER, D. H. N. et al. Backarc basin evolution and cordilleran orogenesis: Insights from new ocean-bottom seismograph refraction profiling in Bransfield Strait, Antarctica. Geology, v. 31, n. 2, p. 107–110, 2003.

BARKER, P. F. The Cenozoic subduction history of the Pacific margin of the Antarctic Peninsula: ridge crest–trench interactions. Journal of the Geological Society, v. 139, n. 6, p. 787–801, 1982.

BARNES, A. E. A tutorial on complex seismic trace analysis. GEOPHYSICS, 2007.

BARNES, A. E. Handbook of Poststack Seismic Attributes. [s.l: s.n.].

CHEN, Q.; SIDNEY, S. Seismic attribute technology for reservoir forecasting and monitoring. The Leading Edge, v. 16, n. 5, p. 445–448, 1997.

CHOPRA, S.; MARFURT, K. J. Seismic attributes — A historical perspective. GEOPHYSICS, 2005.

CUNHA, J., B., Seismic Unix Routine for processing SBP Sub Bottom

Profiling files, 2019a. Disponível em: <<https://github.com/jbcunha/susbp>>.

CUNHA, J. B., AYRES NETO, A., Seismic inversion of an Antarctic Sampling using python sbppy and shallow high resolution seismic In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 16., 2019, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: SBGF, 2019b.

DAMUTH, J. E. Echo character of the western equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments. *Marine Geology*, 1975.

DOMACK, E. W.; POWELL, R. Modern Glaciomarine Environments and Sediments: An Antarctic Perspective. *An Antarctic Perspective*. [s.l.] Elsevier Ltd, 2017.

GALINDO-ZALDÍVAR, J. et al. Tectonic development of the Bransfield Basin and its prolongation to the South Scotia Ridge, northern Antarctic Peninsula. *Marine Geology*, v. 206, n. 1–4, p. 267–282, 2004.

GAMBOA, L.A.P; BARROCAS, S.L; MALDONADO, P.R. Investigações Geofísicas no Estreito de Bransfield e Mar de Bellingshausen – Antártica. IN Belém, Sociedade Brasileira de Geologia p. 2343-2357. 1988.

GARCÍA, M. et al. New insights on the post-rift seismic stratigraphic architecture and sedimentary evolution of the Antarctic Peninsula margin (Central Bransfield Basin). *Marine Geology*, v. 251, n. 3–4, p. 167–182, 2008.

GARCÍA, M. et al. Sediment lithofacies, processes and sedimentary models in the Central Bransfield Basin, Antarctic Peninsula, since the Last Glacial Maximum. *Marine Geology*, v. 290, n. 1–4, p. 1–16, 2011.

GOMES, M. P.; VITAL, H.; MACEDO, J. W. DE P. Fluxo de processamento aplicado a dados de sísmica de alta resolução em ambiente de plataforma continental. Exemplo: Macau-RN. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 29, n. 1, p. 173–186, 2011.

GRÀCIA, E. et al. Central and eastern Bransfield basins (Antarctica) from high-resolution swath-bathymetry data. *Antarctic Science*, v. 9, n. 2, p. 168–180,

1997.

HAMILTON, E. L. Sound velocity and related properties of marine sediments, North Pacific. *Journal of Geophysical Research*, v. 75, n. 23, p. 4423–4446, 1970.

HART, J. K.; ROBERTS, D. H. Criteria to distinguish between subglacial glaciotectonic and glaciomarine sedimentation, I. Deformation styles and sedimentology. *Sedimentary Geology*, v. 91, n. 1–4, p. 191–213, 1994.

JACKSON, D. R. et al. *High-Frequency Seafloor Acoustics*. [s.l: s.n.]. v. 122

JAKOBSSON, M. et al. *Mapping submarine glacial landforms using acoustic methods*. Geological Society, London, Memoirs, 2016.

LINER, C. et al. *SPICE: A new general seismic attribute*. 2004

LURTON, X. *An Introduction to Underwater Acoustics*. Springer Science & Business Media, fev. 2002.

MARFURT, K. J. *Seismic Attributes as the Framework for Data Integration Throughout the Oilfield Life Cycle*. [s.l: s.n.].

MENZIES, J. *Glacial environments — Modern and past*. *Modern and Past Glacial Environments*, p. 1–13, 2002.

POWELL, R.; DOMACK, G. W. *Modern glaciomarine environments*. In: *Modern and Past Glacial Environments*. [s.l: s.n.].

RADOMILLE SANTANA, F.; AYRES NETO, A. Use of seismic attributes for sediment classification. *The Journal of Engineering*, v. 2015whereb, n. 4, p. 134–148, 2015.

ROSA, A. L. R. *Análise do Sinal Sísmico*. 1^a ed. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica (SBGf), 2010.

SCHON, J. H. *Handbook of Petroleum Exploration and Production: Physical properties of rocks*. Amsterdam: Elsevier, 2011

SOUZA, L. A. P. DE. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. [s.l: s.n.].

SUBRAHMANYAM, D.; RAO, P. H. Seismic Attributes- A Review. 7th International Conference & Exposition on Petroleum Geophysics, 2008.

TANER, M. T. Attributes Revisited. Rock Solid Images, 1992.

TANER, M. T. et al. Seismic attributes revisited. p. 1104–1106, 2001.

TANER, M. T.; KOEHLER, F.; SHERIFF, R. E. Complex seismic trace analysis. GEOPHYSICS, 1979.

YOON, H. I. et al. Distribution, provenance, and dispersal pattern of clay minerals in surface sediments, Bransfield Strait, Antarctica. Geo-Marine Letters, v. 12, n. 4, p. 223–227, 1992.

APÊNDICE

Script utilizado para o processamento e extração dos atributos das linhas sísmicas:

```

1 #Entra com o sgy e exibe,
2 segyread >l7.su tape=l7.sgy
3 suximage <l7.su perc=99.5 title="raw"
4
5 #Geometria
6 suchw <l7.su key1=cdp key2=tracr a=0 b=1 c=0 d=1 e=1 f=1 >l7cdp.su
7 surange <l7cdp.su
8 sushift <l7cdp.su >l7cdpdelrt.su tmin=0.0 tmax=1.3 dt=40 fill=0.0
9 suximage <l7cdpdelrt.su perc=99.5 title="cdpdelrt"
10
11 #Migracao, div esf e normalizacao
12 sustolt <l7cdpdelrt.su >l7mig1500.su cdpmin=1 cdpmax=1619 dxcdp=4.0 timg=0.0 wimg=1500.0 fmax=10416 verbose=1
13 #suximage <l7mig1500.su perc=99.5 title="migrated 1500m/s"
14 sudivcor <l7mig1500.su >l7divcor.su
15 #suximage <l7divcor.su perc=99.5 title="divcor"
16 sunormalize <l7divcor.su >l7norm.su
17 #surange <l7norm.su
18 suwind <l7norm.su key=cdp min=1 max=1619 tmin=0.8 tmax=1.3 | suximage perc=99.5 title="l7 Normalizada"
19
20 #Atributos
21 #suattributes
22
23 #1 Envelope
24 suattributes <l7norm.su >l7env.su
25 suattributes <l7cdpdelrt.su >l7envraw.su
26 suwind <l7env.su key=cdp min=1 max=1619 tmin=0.8 tmax=1.3 | suximage perc=99.5 title="l7 env"
27 suwind <l7envraw.su key=cdp min=1 max=1619 tmin=0.8 tmax=1.3 | suximage perc=99.5 title=" l7 env raw"
28
29 #2 Frequencia Instantanea
30 suattributes <l7norm.su mode=freq >l7freq.su
31 suattributes <l7cdpdelrt.su mode=freq >l7freqraw.su
32 suwind <l7freq.su key=cdp min=1 max=1619 tmin=0.8 tmax=1.3 | suximage perc=75 title="l7 freq"
33 suwind <l7freqraw.su key=cdp min=1 max=1619 tmin=0.8 tmax=1.3 | suximage perc=75 title=" l7 freq raw"
34
35 #3 Cosseno da fase
36 suattributes <l7norm.su mode=normamp >l7normamp.su
37 suattributes <l7cdpdelrt.su mode=normamp >l7normampraw.su
38 suwind <l7normamp.su key=cdp min=1 max=1619 tmin=0.8 tmax=1.3 | suximage perc=75 title="l7 Cos da Fase"
39 suwind <l7normamp.su key=cdp min=1 max=1619 tmin=0.8 tmax=1.3 | suximage perc=75 title=" l7 cos da Fase raw"
40
41 #4 Fase instantanea
42 suattributes <l7norm.su mode=phase >l7phase.su
43 suwind <l7phase.su key=cdp min=1 max=1619 tmin=0.8 tmax=1.3 | suximage perc=70 title="l7 Fase Inst"
44
45
46 #5 Primeira Derivada do Envelope
47 suattributes <l7norm.su mode=fdenv >l7fdenv.su
48 suwind <l7fdenv.su key=cdp min=1 max=1619 tmin=0.8 tmax=1.3 | suximage perc=99.5 title="l7 fdenv"
49
50 #6 Segunda Derivada do Envelope
51 suattributes <l7norm.su mode=sdenv >l7sdenv.su
52 suwind <l7sdenv.su key=cdp min=1 max=1619 tmin=0.8 tmax=1.3 | suximage perc=99.5 title="l7 sdenv"
53
54 #7 Fator Q
55 suattributes <l7norm.su mode=q Ins. >l7q.su
56 suwind <l7q.su key=cdp min=1 max=1619 tmin=0.8 tmax=1.3 | suximage perc=75 title="l7 Fator q"
57
58 #Convertendo o su em sgy novamente
59
60 #gerar a partir do arquivo normalizado final os headers para edição antes da saída
61 segyhdrs <l7norm.su
62 #gera um binary.par
63 bhedtopar < binary outpar=binary.par
64 #edita o binary.par para bater o number of samples e sobrescreve
65 setbhed bfile=binary par=binary.par
66 #escreve a saída sgy
67 segywrite tape=l7norm.sgy <l7norm.su
68

```