



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

FELIPE MOREIRA SZCZPANSKI

**AQUISIÇÃO SÍSMICA DE REFLEXÃO NA PLATAFORMA CONTINENTAL
DE ABROLHOS**

Brasília

2021

FELIPE MOREIRA SZCZPANSKI

**AQUISIÇÃO SÍSMICA DE REFLEXÃO NA PLATAFORMA CONTINENTAL
DE ABROLHOS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à banca examinadora do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, para a obtenção do grau de bacharel em Geofísica.

Orientador: Prof^o Marco Ianniruberto

BRASÍLIA

2021

Agradecimentos

Aos meus Pais, Giovani e Letícia, e ao meu irmão, Kevin, pelo incentivo, por toda confiança e apoio incondicional que foram extremamente importantes e por me ajudarem a ultrapassar todos os obstáculos alcançados ao longo dessa trajetória.

A minha companheira de vida, Maria Eduarda, seu apoio, amor e companheirismo foram fundamentais e fazem meus dias muito mais felizes.

Ao Professor e meu orientador, Marco Ianniruberto, por todo ensinamento e instrução que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação, por toda paciência, compreensão, e pela oportunidade incrível que me forneceu com a realização deste trabalho.

Aos meus companheiros da Universidade que tornaram essa jornada mais leve, por toda força e compreensão.

Aos professores do IG com todos os ensinamentos fornecidos durante toda a graduação.

E, por fim, ao instituto de Geociências e a Universidade de Brasília que contribuíram com todo meu desenvolvimento como geocientista.

RESUMO

A plataforma continental brasileira apresenta uma das suas maiores extensões na região do Arquipélago de Abrolhos, a qual estende-se desde o paralelo de 17°S até 20°S e apresenta largura que atinge 246 km. Durante a última regressão marinha, associada com o último máximo glacial que ocorreu há cerca de 18 mil anos, o nível do mar encontrava-se cerca de 120 - 130 m abaixo do atual, o que determinou exposição subaérea da Plataforma de Abrolhos. Durante os sucessivos ciclos transgressivo-regressivos este trecho da plataforma recebeu sedimentação tanto de tipo carbonática quanto siliciclástica, formando um dos maiores exemplos de sistemas deposicionais tropicais mistos, combinando desenvolvimento de recifes coralígenos com input de sedimentos terrígenos ao longo da plataforma interna. O substrato da região data do Cretáceo Superior e a atual morfologia é sucessão de um complexo vulcânico subjacente. A região de Abrolhos vem sendo estudada a fim de identificar modificações ambientais implantadas durante o processo de subida do nível do mar pós UMG (Último Máximo Glacial) na plataforma continental leste brasileira. A presente pesquisa está centrada na aplicação do método da sísmica de reflexão para caracterização da geometria das estruturas sedimentares da plataforma de Abrolhos. A estratigrafia sísmica de alta resolução tem sido o principal método de investigação de ambientes sedimentares rasos, permitindo individualizar as unidades estratigráficas relevantes para caracterizar estruturas relacionadas com processos sedimentares na plataforma continental. No decorrer da aquisição sísmica foram adquiridos ~585 Km de dados sísmicos monocanal de alta resolução ao longo de 7 linhas, dispostas ao longo dos bancos, aos eixos dos vales não preenchidos do Canal Besnard, assim como em setores mais internos da Depressão de Abrolhos. Na presente pesquisa foram definidas 4 superfícies erosivas associadas a eventos de glaciação anteriores (S1 possivelmente superfície de transgressão máxima, S2 referente ao UMG – estágio de regressão marinha - 2, S3 – estágio de regressão marinha 6, S4 – estágio de regressão marinha 8) e 4 sequências com base nestas superfícies, na definição de fácies sísmicas presentes na região e na configuração de refletores de cada uma delas. Os dados apresentados neste trabalho possuem relevância quanto à investigação da geometria dos depósitos sedimentares holocênicos na Plataforma de Abrolhos, contribuição com o reconhecimento dos estágios de evolução paleogeográfica da Plataforma de Abrolhos, desde o primeiro estágio de incursão marinha até a fase atual.

Palavras-chave: Abrolhos, Sísmica de Reflexão, Paleo-canais, Transgressão Marinha.

ABSTRACT

The Brazilian continental shelf has one of its largest extensions in the Abrolhos Archipelago region, which extends from the parallel of 17°S to 20°S and has a width that reaches 246 km. During the last marine regression, associated with the last glacial maximum that occurred about 18 thousand years ago, the sea level was found about 120 - 130 m below the current level, which determined the sub-air exposure of the Abrolhos Platform. During successive transgressive-regressive cycles, this section of the shelf received both carbonate and siliciclastic sedimentation, forming one of the greatest examples of mixed tropical depositional systems, combining coralline reef development with terrigenous sediment input along the inner shelf. The substratum of the region dates from the Late Cretaceous and the current morphology is a succession of an underlying volcanic complex. The Abrolhos region has been studied in order to identify environmental changes implemented during the post-UMG (Last Glacial Maximum) sea level rise process in the eastern Brazilian continental shelf. This research is focused on the application of the reflection seismic method to characterize the geometry of the sedimentary structures of the Abrolhos platform. High resolution seismic stratigraphy has been the main method of investigation of shallow sedimentary environments, allowing the individualization of relevant stratigraphic units to characterize structures related to sedimentary processes on the continental shelf. During the seismic acquisition ~585 km of high-resolution single-channel seismic data were acquired along 7 lines, arranged along the banks, to the axes of the unfilled valleys of the Besnard Channel, as well as in the innermost sectors of the Abrolhos Depression. In the present research, 4 erosive surfaces associated with previous glaciation events were defined (S1 possibly maximum transgression surface, S2 referring to the UMG - marine regression stage - 2, S3 - marine regression stage 6, S4 - marine regression stage 8) and 4 sequences based on these surfaces, on the definition of seismic facies present in the region and on the configuration of reflectors of each one of them. The data presented in this work are relevant to the investigation of the geometry of Holocene sedimentary deposits in the Abrolhos Platform, contributing to the recognition of the paleogeographic evolution stages of the Abrolhos Platform, from the first stage of marine incursion to the current phase.

Keywords: Abrolhos, Reflection Seismic, Paleo-channels, Marine Transgression.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa batimétrico da plataforma continental na região de Abrolhos com as linhas sísmicas da aquisição.....	13
Figura 2 - Mapa geológico e modelo para o arcabouço tecto-magmático da região do Complexo Vulcânico de Abrolhos, com isóbatas de 200 m e 1000 m incluídas (Sobreira e França, 2006).	16
Figura 3 - Mapa batimétrico da plataforma continental na região de Abrolhos, as linhas sísmicas da aquisição e algumas regiões de interesse como a Depressão de Abrolhos, o canal Besnard e os bancos	17
Figura 4 - Perfil esquemático do sistema plataforma com morfologia principal e distribuição de fácies (D'Agostini 2017).	18
Figura 5 - Localização da região do levantamento sísmico de reflexão com linhas de aquisição em um mapa batimétrico.	20
Figura 6 - Sparker utilizado na aquisição.	22
Figura 7 - Streamer de 8 elementos da Geo Marine Survey Systems.	23
Figura 8 - Fonte Geo-Spark 1000+.....	23
Figura 9 - Mini-Trace II.	24
Figura 10 - Representação de Filtros de Frequência, em gráfico de Amplitude (Eixo y) x Frequência (Eixo x). Fig. 6(a), filtro de passa banda trapezoidal, Fig. 6(b), figura de passa banda caixa, Fig. 6(c), filtro de passa baixa, Fig. 6(d), filtro de passa alt (Yilmaz, 1987).	26
Figura 11 - Esquema do processamento de dados de perfilagem sísmica de alta resolução.....	29
Figura 12 - Deformações elásticas e movimentos de partículas no solo associados à passagem das ondas de corpo (A) Onda P e (B) Onda S (Everett, 2013).	33
Figura 13 - Deformações elásticas e movimentos de partículas no solo associados à passagem das ondas de superfície (A) Onda Rayleigh e (B) Onda Love (Everett, 2013).	35
Figura 14 - Esquema de caminhos de raio de reflexão sobre uma interface horizontal através da qual há um contraste na impedância acústica Z ($Z_2 > Z_1$) (Reynolds, 2011).	37
Figura 15 - Princípio do common mid-point comum sobre (A) uma interface horizontal e (B) uma interface de mergulho (Reynolds, 2011).	38
Figura 16 - Exemplo de sinal de fontes impulsivas (Mgee, 1995).	39
Figura 17 - Padrões de terminações dentro de uma sequência sísmica idealizada (Antunes, 2004; Mitchum et.al 1977).	40
Figura 18 - Padrões de configurações internas de sismofácies (Mitchum et al., 1977).	41
Figura 19 - Transectos sísmicos com ilustrações das sequências sísmicas mapeadas na região da PCA e principais elementos arquiteturais identificados (D'Agostini 2017).	44
Figura 20 - Trechos de seções da aquisição sísmica na região da PCA e principais elementos arquiteturais identificados (Cetto, 2018).	45
Figura 21 - Mapa batimétrico da PCA com a região do perfil sísmico apresentado da linha DEP 01 em vermelho.	46

Figura 22 - Seção sísmica superior com discordâncias erosivas (D1, D2, D3, D4), assoalho oceânico e fundo do Canal Besnard. Perfil sísmico inferior com sequências sísmicas (Sq1, Sq2, Sq3, Sq4) e principais terminações sísmicas.	47
Figura 23 - Mapa batimétrico da PCA com a região do perfil sísmico apresentado da linha DEP 02 em vermelho representando o banco central e em rosa o braço oeste do Canal Besnard.	48
Figura 24 - Trecho da seção sísmica com o banco central localizado entre os braços leste e oeste do Canal Besnard) e recifes associados a trechos de baixa penetração acústica e múltipla com início em ~60 metros.	49
Figura 25 - Trecho da seção sísmica com o braço oeste do Canal Besnard com uma região de deposição de sedimentos holocênicos pós UMG, o início do banco central e uma feição protuberante.	49
Figura 26 - Mapa batimétrico da PCA com a região do perfil sísmico apresentado da linha DEP 03 em vermelho representando o banco oeste e rosa a deposição do braço oeste de Besnard....	50
Figura 27 - Trecho da seção sísmica mostrando o banco oeste e recifes associados a trechos de baixa penetração acústica.	51
Figura 28 - Trecho da seção sísmica mostrando o depósito de sedimentos pós UMG na região do braço oeste do canal Besnard.....	51
Figura 29 - Mapa batimétrico da PCA com a região do perfil sísmico apresentado da linha DEP 03A em vermelho.	52
Figura 30 - Seção sísmica superior com discordâncias erosivas (D1, D2, D3, D4) e assoalho oceânico. Perfil sísmico inferior com sequências sísmicas (Sq1, Sq2, Sq3, Sq4) e principais terminações sísmicas.	53
Figura 31 - Mapa batimétrico da PCA com a região do perfil sísmico apresentado da linha DEP 04 em vermelho.	54
Figura 32 - Seção sísmica superior com discordâncias erosivas (D1, D2, D3, D4) e assoalho. Perfil sísmico inferior com sequências sísmicas (Sq1, Sq2, Sq3, Sq4) e principais terminações sísmicas.....	55
Figura 33 - Mapa batimétrico da PCA com a região do perfil sísmico apresentado da linha DEP 07, em vermelho é representado o perfil maior e em rosa o trecho menor.	56
Figura 34 - Seção sísmica superior com discordâncias erosivas (S1, S2, S3, S4), trecho com aumento de espessura de deposição holocênica, uma feição proeminente à margem da bifurcação do canal Besnard e assoalho oceânico. Perfil sísmico inferior com sequências sísmicas (Sq1, Sq2, Sq3, Sq4) e principais terminações.	57
Figura 35 - Trecho da seção sísmica mostrando trechos de depósitos (a direita preenchimento de canal do braço leste de Besnard, a esquerda depósitos holocênicos) e uma feição proeminente.	58

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	6
1. INTRODUÇÃO	9
1.1 Geofísica em ambientes aquáticos.....	10
1.2 Evolução do Nível do Mar	11
2. ÁREA DE ESTUDO.....	12
2.1 Geologia	14
2.2 Morfologia da região	17
3. METODOLOGIA.....	19
3.1 Aquisição de dados sísmicos	19
3.2 Instrumentação	20
3.1.1 Sparker.....	22
3.1.2 Streamer.....	22
3.1.3 Geo-Spark 1000+.....	23
3.1.4 Mini-Trace II	24
3.3 Processamento.....	24
3.3.1 Filtragem dos Dados.....	25
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	30
4.1 Propriedades físicas da água no mar	30
4.1.1 Temperatura.....	30
4.1.2 Salinidade	30
4.1.3 Pressão	31
4.2 Princípios do método sísmico	31
4.2.1 Ondas sísmicas.....	32
4.2.2 Ondas de corpo	32
4.2.3 Ondas de superfície.....	34
4.3 Sísmica de Reflexão	35
4.4 Sísmica Aquática	38
4.5 Sismoestratigrafia.....	39
5. INTERPRETAÇÃO SÍSMICA.....	42
5.1 Elementos arquiteturais e sequências sísmicas.....	42
5.2 Perfis Sísmicos	45
6. DISCUSSÃO.....	59
7. CONCLUSÃO.....	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1. INTRODUÇÃO

A plataforma continental brasileira apresenta uma das suas maiores extensões na região do Arquipélago de Abrolhos (246 km), com quebra que ocorre em profundidades entre 80 e 90 metros (Bastos et al., 2015), Abrolhos encontra-se na região entre a foz do Rio Doce (coordenada 19°40' de latitude sul) e a foz do Rio Jequitinhonha (coordenada 15°50' de latitude sul), contabilizando-se uma linha de costa de aproximadamente 409 Km, abrangendo os estados da Bahia (257Km) e do Espírito Santo (152Km). A região abriga o maior agrupamento coralíneo e o maior banco de rodolitos do Atlântico Sul, possui uma relação complexa entre a sedimentação siliciclástica e carbonática que caracteriza a plataforma (D'Agostini, 2017). Trabalhos como Melo et al. (1975), Vicalvi et al. (1978), Bastos et al. (2015); D'Agostini et al. (2015; 2017) sugerem que a atual morfologia é herança geológica de um complexo vulcânico subjacente a esta plataforma. Durante a última regressão marinha, associada com o último máximo glacial (UMG) que ocorreu há cerca de 18 mil anos, o nível do mar encontrava-se cerca de 120-130 metros abaixo do atual, o que determinou exposição subaérea da Plataforma de Abrolhos.

A geofísica utiliza a aplicação de métodos indiretos para investigar a subsuperfície a partir das propriedades físicas do meio. Cada método geofísico é baseado em um parâmetro físico (e.g. densidade, velocidade de propagação de ondas elásticas e resistividade elétrica) e a seleção de um método apropriado deve ser baseada nas características físicas e geométricas presumidas da área de estudo. A análise de tais distribuições pode gerar modelos que representam o meio a partir da propriedade física analisada. Os dados obtidos através de uma aquisição geofísica podem revelar como as propriedades físicas da subsuperfície variam vertical e/ou lateralmente. A análise de tais distribuições pode gerar modelos que representam o meio a partir da propriedade física analisada (Reynolds, 2011).

O método geofísico aplicado foi sísmica de reflexão o qual consiste em pulsos de energia sísmica que são refletidos nas interfaces em subsuperfície e registrados em uma incidência quase normal na superfície. Os tempos de viagem são medidos e podem ser convertidos em estimativas de profundidades para as interfaces. Em tais situações, a velocidade varia em função da profundidade, devido às diferentes propriedades físicas das camadas individuais. A velocidade também pode variar horizontalmente, devido a

mudanças litológicas laterais dentro das camadas individuais. A sísmica é o melhor método para avaliar como as propriedades físicas da subsuperfície variam verticalmente. As seções sísmicas agora podem ser produzidas para revelar detalhes de estruturas geológicas em escalas desde as dezenas de metros de deriva até toda a litosfera. (Kearey *et al.*, 2009)

A análise das fácies sísmicas tem como principal objetivo reconhecer os padrões das reflexões sísmicas e suas inter-relações dentro das unidades ou sequências que permitem identificar nos registros sísmicos os fatores geológicos que as geraram (Mitchum *et al.*, 1977a). A estratigrafia sísmica de alta resolução tem sido o principal método de investigação de ambientes sedimentares rasos, permitindo individualizar as unidades estratigráficas relevantes para caracterizar estruturas relacionadas com processos sedimentares na plataforma continental.

O trabalho está inserido no âmbito do projeto “RECONSTRUÇÃO PALEOECOLÓGICA E PALEOAMBIENTAL DA PLATAFORMA CONTINENTAL DE ABROLHOS”, financiado pela CAPES/IODP e coordenado pelo prof. Alex Cardoso Bastos da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), foi realizado em uma parceria entre a Universidade de Brasília (UnB) e a UFES, serão abordados a metodologia e processamento empregados na aquisição sísmica de reflexão para caracterização da morfologia e estruturas da plataforma Continental brasileira na região Abrolhos. Foram adquiridos ~585 Km de dados sísmicos monocanal de alta resolução ao longo de 7 linhas, dispostas ao longo dos bancos, aos eixos dos vales não preenchidos do Canal Besnard, assim como em setores mais internos da Depressão de Abrolhos.

A presente monografia é baseada na interpretação de registros de reflexão sísmica, os objetivos específicos, são: análise da morfologia do fundo marinho, identificação de padrões de refletores e superfícies associadas à última glaciação, localização de paleocanais e identificação de recifes e bancos.

1.1 Geofísica em ambientes aquáticos

Segundo Souza (2008), diversos profissionais (engenheiros, geólogos, oceanógrafos, tecnólogos, hidrólogos) tem requerido cada vez mais informações adicionais de subsuperfície para uma caracterização devida e segura das áreas, além das

informações obtidas por métodos convencionais de investigação como sondagens, testemunhagens e amostragens, que possuem baixa representatividade em área, com isso, os métodos geofísicos na investigação geológica e geotécnica vem ganhando espaço.

As observações geofísicas tem muito a contribuir, pois possibilitam uma visão mais ampla e contínua da subsuperfície investigada, com visualização contínua, em duas ou três dimensões, algumas razões para realizar estudos geofísicos em áreas submersas e integração aos dados dos métodos convencionais de investigação, são elas: a) em estudos geológicos básicos, a necessidade de extrapolar, para as áreas submersas, o conhecimento geológico acumulado nas áreas continentais; b) na pesquisa mineral, a necessidade da busca de recursos minerais para suprir as carências da sociedade, já que muitos dos depósitos continentais encontram-se em fase de esgotamento; c) a necessidade de estudar rios e reservatórios do ponto de vista da navegação, pois muitos desses constituem hoje importantes rotas de transporte de cargas, além do ponto de vista da água potável, já que grande parte da água consumida origina-se destes ambientes; d) a necessidade de estudar os ambientes submersos para dar suporte a projetos de engenharia; e) eventuais interesses arqueológicos (Souza, 2008).

Os métodos geofísicos são indiretos, não-invasivos ou não-destrutivos, com informações extraídas do meio sem que haja qualquer tipo de penetração física. Esta propriedade tem uma relevância especial no que se refere à interferências ambientais e controle legal, visto que temos hoje uma preocupação válida crescente a respeito do cuidado com o meio-ambiente (Souza, 2008).

1.2 Evolução do Nível do Mar

As flutuações do nível relativo do mar constituem elementos importantes na evolução das planícies costeiras brasileiras, sobretudo no Quaternário (Tessler *et al.*, 2005).

As flutuações de nível relativo do mar resultam da eutasia (variações reais de nível marinho), tectonismo e isostasia (mudanças de nível dos continentes). As variações dos paleoníveis oceânicos são controlados por: 1) Modificações no volume total das bacias oceânicas em consequência da tectônica de placas, ocasionando a tectono-eutasia; 2) Variações nos volumes das águas dos oceanos em função das glaciações e deglaciações,

gerando a glácio-eustasia; 3) Deformações da superfície dos oceanos, originando a geóido-eustasia (Souza *et al.*, 2005).

As variações do nível do mar são importantes na definição da morfologia de costa, e na composição sedimentológica do ambiente. Durante os processos de transgressão marinha os sedimentos das regiões de maior profundidade são transportados para a costa e durante a regressão, os sedimentos de regiões menor profundidade são carreados para regiões mais profundas.

A evolução das planícies costeiras durante o período Quaternário foi importante para a variação dos níveis das planícies costeiras do Brasil, modeladas por dois ciclos transgressivos e regressivo, elas são consequência de oscilações relativas do nível do mar. O primeiro ciclo ocorreu durante o Pleistoceno, e atingiu cotas de 8 ± 2 metros acima do nível do mar atual, a partir do máximo transgressivo pleistocênico, o nível do mar recuou até posições ao redor da isóbara de 110 metros abaixo do nível atual, há cerca de 17000 anos A.P. Ao longo desse processo de regressão, a atual plataforma continental foi quase totalmente exposta, sendo sulcada por vales fluviais (Dominguez *et al.*, 1981).

A região do arquipélago de Abrolhos representa uma das maiores extensões da plataforma continental brasileira. Durante a última regressão marinha, associada com o último máximo glacial que ocorreu há cerca de 18 mil anos, o nível do mar encontrava-se cerca de 120-130 metros abaixo do atual, o que determinou exposição subaérea da Plataforma de Abrolhos. Durante os sucessivos ciclos transgressivo-regressivos este trecho da plataforma recebeu sedimentação tanto de tipo carbonática quanto siliciclástica, formando um dos maiores exemplos de sistemas deposicionais tropicais mistos, combinando desenvolvimento de recifes coralígenos com *input* de sedimentos terrígenos ao longo da plataforma interna (Amado-Filho *et al.*, 2012).

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi restrita à depressão de Abrolhos, localizada na região sul de Abrolhos, que representa uma paleolaguna (Vicalvi *et al.*, 1978), com distribuição

sedimentar predominantemente clástica e em seu entorno estruturas coralíneas e rodolitos no fundo.

A plataforma continental brasileira apresenta uma das suas maiores extensões na região do Arquipélago de Abrolhos, a qual consiste em um alargamento da plataforma leste brasileira, essa sendo uma plataforma com morfologia irregular, a qual apresenta largura que atinge 246 km e estende-se desde o paralelo de 17°S até 20°S. A região possui profundidades geralmente menores que 60 metros, apesar de que em algumas áreas essa profundidade é excedida, como na maior parte da quebra de plataforma, onde a profundidade está em torno de 70 metros (Melo *et al.*, 1975).

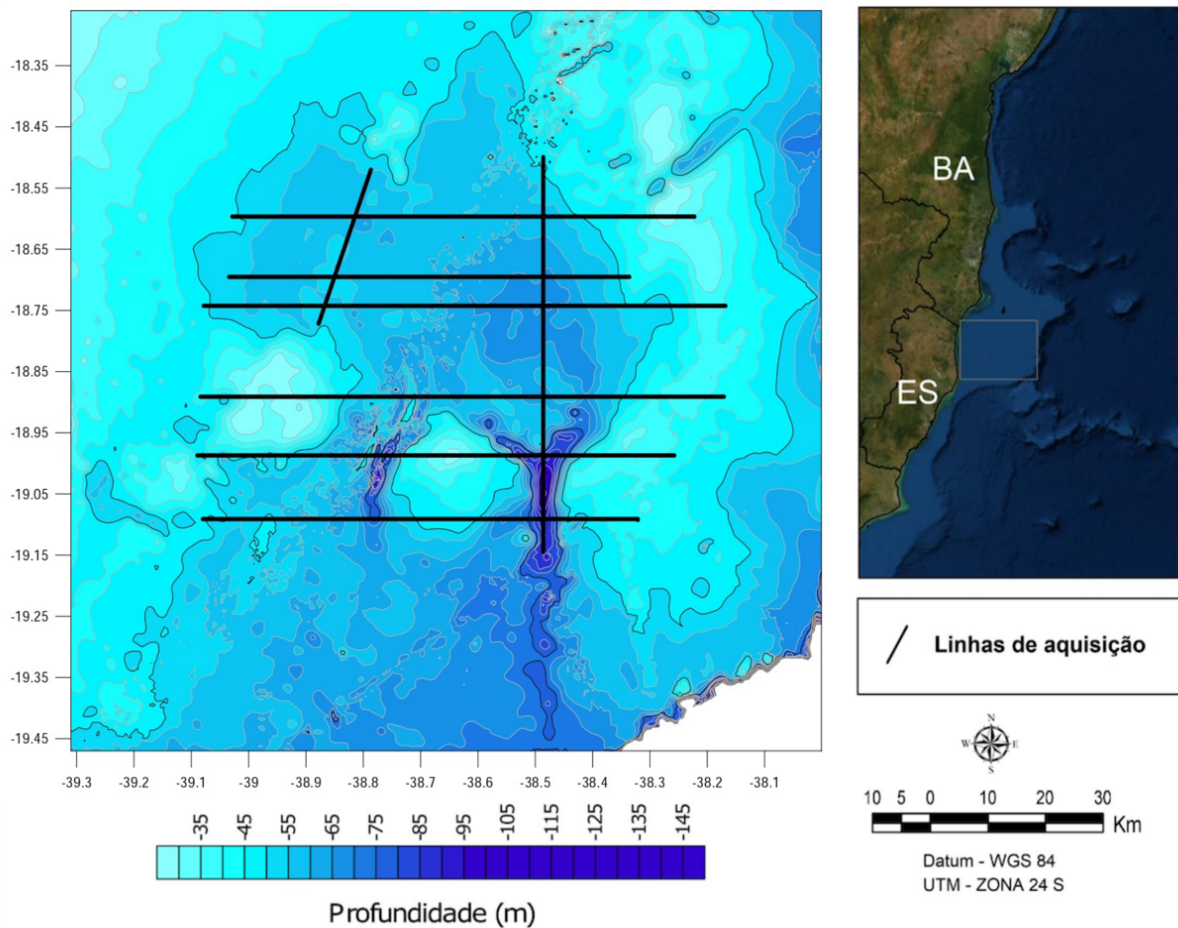


Figura 1 - Mapa batimétrico da plataforma continental na região de Abrolhos com as linhas sísmicas da aquisição.

A plataforma leste do Brasil passou por diversas mudanças em relação ao nível do mar durante o Quaternário e estas mudanças formaram a morfologia e controlaram os parâmetros de sedimentação (Bastos *et al.*, 2015).

2.1 Geologia

Durante os sucessivos ciclos transgressivo-regressivos este trecho da plataforma continental brasileira recebeu sedimentação tanto de tipo carbonática quanto siliciclástica, formando um dos maiores exemplos de sistemas deposicionais tropicais mistos, combinando desenvolvimento de recifes coralígenos com *input* de sedimentos terrígenos ao longo da plataforma interna (Amado-Filho *et al.*, 2012).

O substrato de Abrolhos, data do Cretáceo Superior, as rochas magmáticas, intrusivas em arenito, folhelhos e calcários são das últimas fases do ciclo vulcânico iniciado no Cretáceo Superior (Cordani, 1970). A atual morfologia é sucessão de um complexo vulcânico subjacente.

O Complexo Vulcânico de Abrolhos (CVA) é uma província ígnea basáltica formada durante o Paleógeno na margem continental leste brasileira, no seguimento correspondente às bacias do Espírito Santo, Cumuruxatiba e Mucuri (Sobreira e França, 2006). O alargamento de plataforma está associado ao complexo vulcânico de Abrolhos, formado durante o Paleógeno (Sobreira *et al.*, 2006). O complexo foi implantado sobre a crosta continental estirada dezena de milhões de anos atrás, durante a fase rifte, no Eocretáceo. O magmatismo associado é do tipo básico, intraplaca, de caráter toleítico a alcalino. Os tipos litológicos predominantes são rochas vulcânicas (basaltos), mas também ocorrem rochas intrusivas e vulcanoclásticas (autoclásticas e piroclásticas) e até ultrabásicas. Em sua maior parte, o vulcanismo sucedeu-se em ambiente submarino, e os únicos afloramentos conhecidos das rochas do Complexo ocorrem no Arquipélago de Abrolhos, um grupo de cinco ilhas situadas ao largo da costa sul do Estado da Bahia (Sobreira e França, 2006), como mostrado na figura 2.

A depressão de Abrolhos consistiu em um ambiente lagunar no início do Holoceno e através do Canal Besnard escoava parte da sedimentação terrígena da Plataforma Continental de Abrolhos (PCA) para o talude continental em épocas de níveis de mar baixo (Vicalvi *et al.* 1978). O Canal de Besnard conecta a depressão à encosta em sua extremidade sudeste, apresentando uma lâmina d'água máxima de 100 m (Bastos *et al.*, 2015).

A Depressão de Abrolhos e a plataforma interna são dominadas por sedimentos não consolidados, com leitos de rodolitos ao longo da plataforma média/externa e provavelmente estruturas de recife afogadas em torno da depressão (Melo *et al.*, 1975).

As ocorrências de rochas vulcânicas no complexo, apresentam mergulho em direção ao continente, em que as rochas vulcânicas estão associadas à sedimentação carbonática, já as rochas intrusivas, correspondem a feições discordantes que podem ser interpretadas como diques (associáveis a condutos alimentadores do vulcanismo) e soleiras, que podem ocorrer. Internamente a esta zona principal de ocorrência de rochas vulcânicas, a bacia teria sido preenchida por rochas sedimentares ou ainda por rochas vulcanoclásticas derivadas da erosão das regiões vulcânicas adjacentes (Sobreira e França, 2006), a figura 2 apresenta o mapa geológico da região.

As ilhas de Abrolhos são afloramentos de um alto estrutural chamado de Alto de Santa Bárbara e seus estratos sedimentares pertencem a um sistema deposicional de talude, de idade Cretáceo Superior e Terciário Inferior (Mohriac, 2006).

O Banco Abrolhos é bem conhecido por englobar os mais importantes recifes coralínicos do Atlântico Sul, eles possuem uma particularidade que é o formato, que dá um nome característico para eles de “chapeirões”. São estruturas isoladas que crescem sobre o substrato marinho com uma forma particular de cogumelo (base estreita e o topo expandido lateralmente), possuindo tamanho e dimensões laterais muito variados (Leão *et al.* 2008). Além dessa feição recifal característica do local, também são encontrados pináculos, bancos recifais, parceiros, paleocanais com bioconstruções associadas e buracas (Secchin, 2011).

O conhecimento atual sobre a morfogênese dos recifes de Abrolhos é amplamente derivado das estruturas da plataforma interna que se desenvolveram para cima sobre a paleossuperfície de calcário do Pleistoceno seguindo o aumento do nível do mar pós-glacial durante o Holoceno (Leão e Ginsburg, 1997).

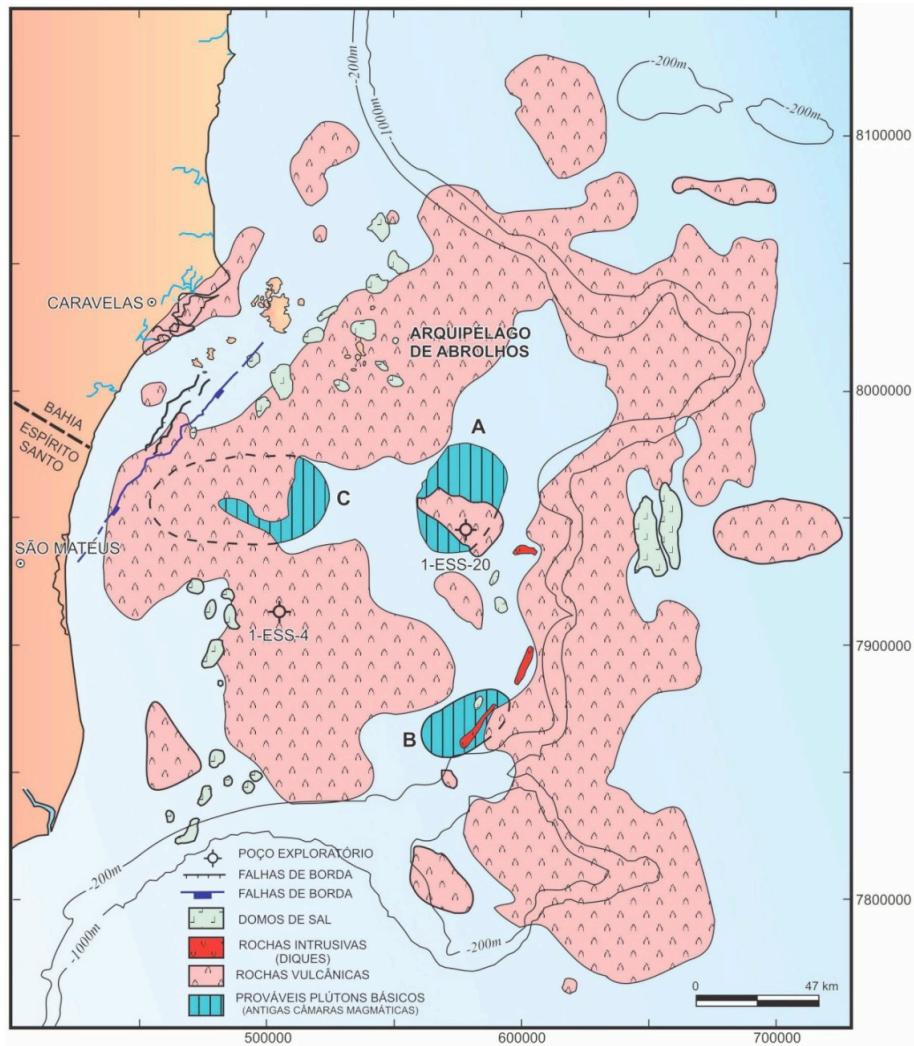


Figura 2 - Mapa geológico e modelo para o arcabouço tecto-magmático da região do Complexo Vulcânico de Abrolhos, com isóbatas de 200 m e 1000 m incluídas (Sobreira e França, 2006).

A Depressão de Abrolhos apresenta algumas importantes regiões de interesse como o Canal Besnard, que teve como função o estabelecimento da reconexão entre a plataforma cárstica e o ambiente com influência marinha e os bancos (leste, central e oeste), a figura 3 apresenta essas regiões no mapa batimétrico.

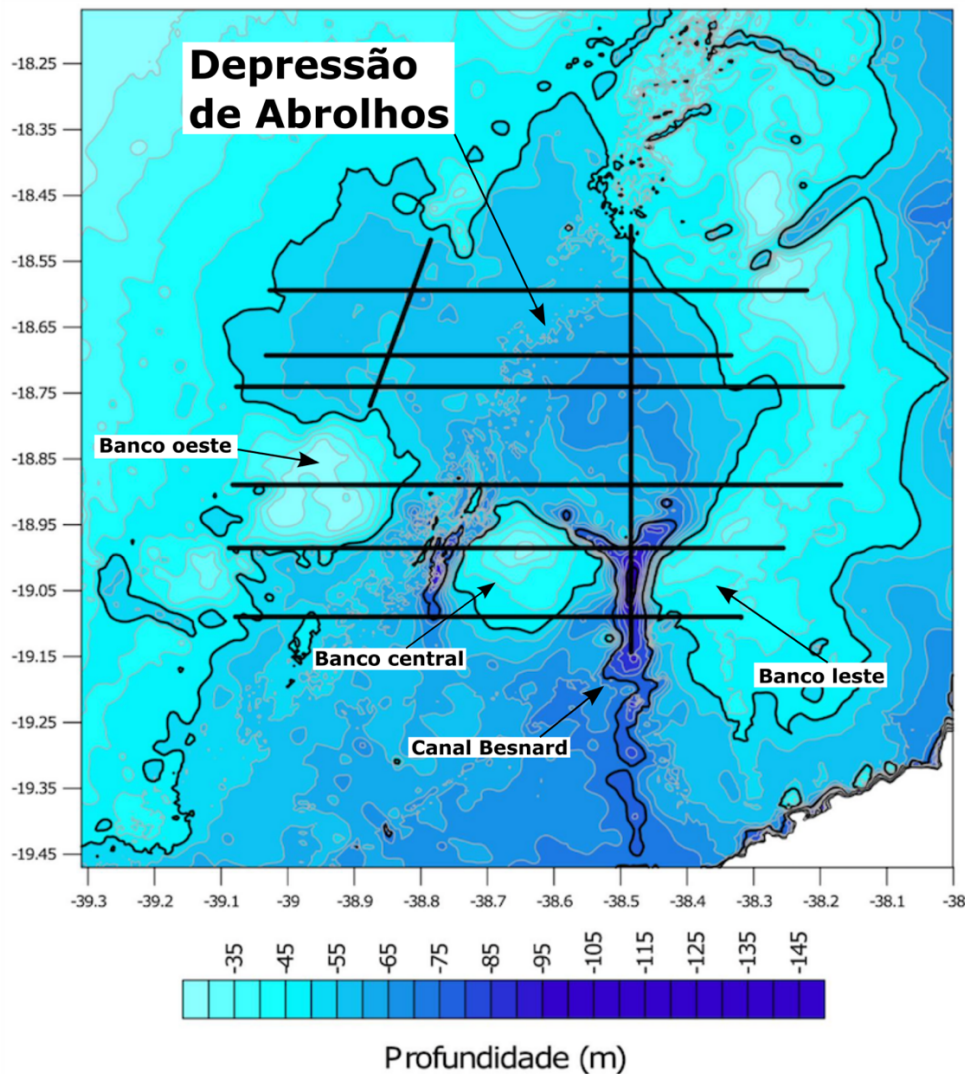


Figura 3 - Mapa batimétrico da plataforma continental na região de Abrolhos, as linhas sísmicas da aquisição e algumas regiões de interesse como a Depressão de Abrolhos, o canal Besnard e os bancos

2.2 Morfologia da região

A geomorfologia e os habitats do fundo do mar associados da plataforma de Abrolhos são altamente heterogêneos (Melo et al., 1975; Vicalvi et al., 1978; Moura et al., 2013; Bastos et al., 2015). Contrastes morfológicos e sedimentológicos agudos estendem-se de perto da costa até a encosta profunda, os sistemas de encosta de plataforma estão associados a esses processos de sedimentação distintos (D'Agostini 2017).

O sistema de encosta da plataforma é caracterizado por um domínio misto de sedimentação, com uma forma sigmoidal e fundo do mar mais regular. Pequenas

estruturas biogênicas de recife ocorrem entre 120-130m de profundidade, mudando para um leito de rodolito que compreende a quebra da plataforma e a plataforma externa. A partir dos 200 m de profundidade, observa-se sedimentação siliciclástica (D'Agostini 2017).

O contraste da morfologia na Plataforma Sul é caracterizado pela Depressão de Abrolhos. O paleorelevo associado a um complexo vulcânico formado durante o Paleógeno, tem um papel importante na morfologia da plataforma atual. A tendência sigmoidal do fundo do mar reflete a contribuição clástica para esta depressão, que drenou sedimentos para a encosta através do Canal de Besnard (Vicalvi et al., 1978).

A atual morfologia sugere que a rede de drenagem estabelecida durante o Último Máximo Glacial direcionava-se para a Depressão de Abrolhos e fazia conexão com a região do talude através do Canal Besnard configurando importantes fisiografias nesta plataforma (Melo et al., 1975; Vicalvi et al., 1978; Bastos et al., 2015; D'Agostini et al., 2015; 2017).

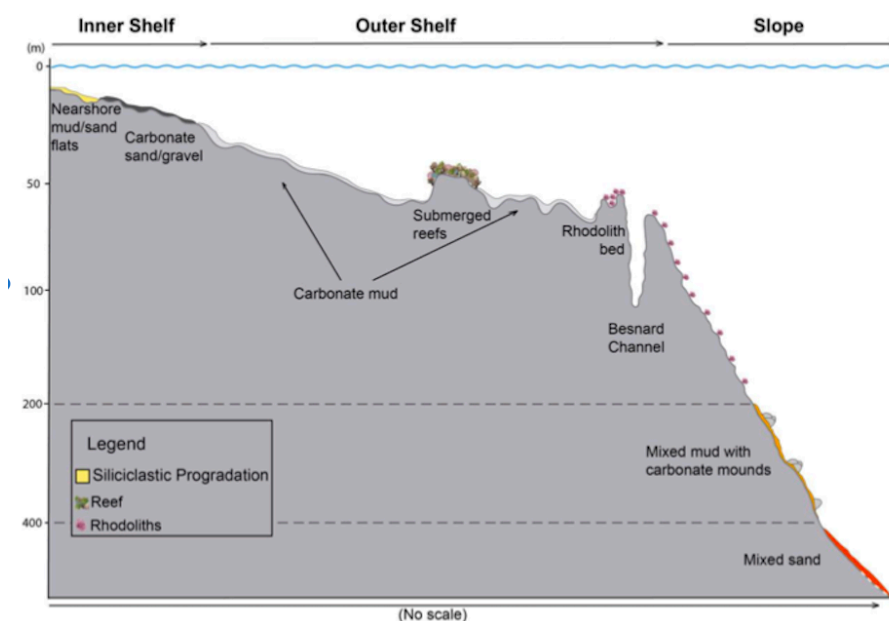


Figura 4 - Perfil esquemático do sistema plataforma com morfologia principal e distribuição de fácies (D'Agostini 2017).

3. METODOLOGIA

Os dados adquiridos no levantamento geofísico são aplicados para estudos da distribuição superficial de sedimentos no fundo do mar e a identificação de estruturas geológicas sub-superficiais, presentes na plataforma continental de Abrolhos.

3.1 Aquisição de dados sísmicos

A aquisição sísmica teve duração de 13 dias com aquisição de cerca de 12 horas diárias, resultando em aproximadamente 585 km de aquisição distribuídos em 59 perfis sísmicos, utilizando-se um perfilador sísmico do tipo *sparker*. A aquisição de dados foi realizada na plataforma continental do Estado do Espírito Santo, abrangendo o litoral de Vitória, próximo ao sul da Bahia, a figura 5 representa o mapa batimétrico da região da plataforma continental com a disposição das linhas de aquisição.

A aquisição sísmica marinha é realizada da seguinte forma: são posicionados, da maneira mais regular possível, uma fonte acústica e sensores responsáveis pela recepção do sinal, conectados a uma embarcação onde estarão presentes a fonte de energia, sistema de posicionamento e o equipamento de registro do sinal. Então o levantamento se inicia com a geração de ondas acústicas a partir da fonte sísmica. Quando estas ondas encontrarem um meio com impedância acústica (abordada mais à frente) distinta, parte dessa energia é refletida e volta à superfície, sendo captada pelos hidrofones, parte é refratada e parte é transmitida para as camadas rochosas subjacentes.

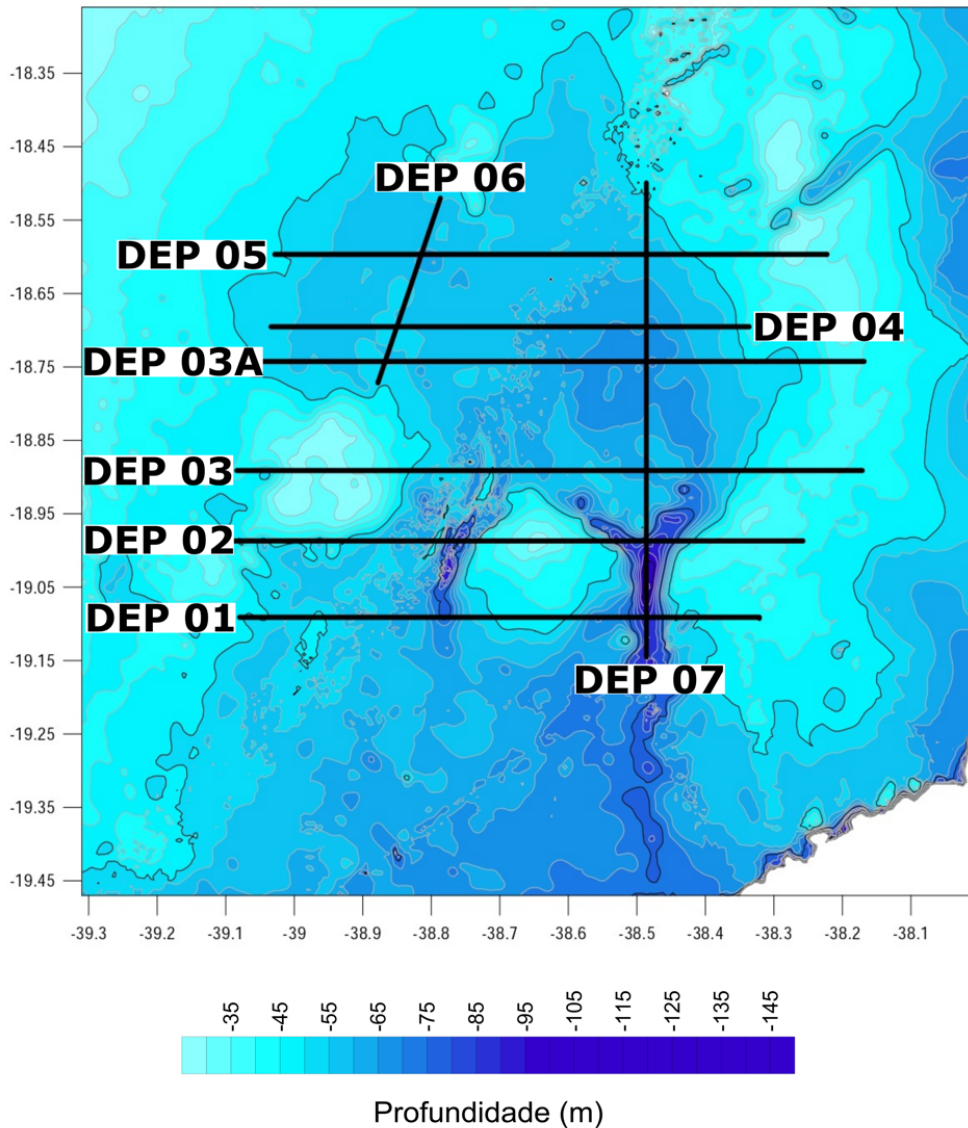


Figura 5 - Localização da região do levantamento sísmico de reflexão com linhas de aquisição em um mapa batimétrico.

3.2 Instrumentação

Os parâmetros usados na aquisição dos dados sísmicos possibilitaram o estudo do pacote de sedimentos com tempos-duplos de até 200 milissegundos. Segundo Badagola (2008), praticamente todos os sistemas de reflexão sísmica marinha de alta resolução (monocanal), como é o caso deste trabalho, são constituídos por quatro componentes principais:

1. Fonte sísmica (neste trabalho, *Sparker*) através da qual se dá a emissão da onda sísmica, também designado por impulso acústico;
2. Fonte de energia (neste trabalho, *GEO – SPARK 1000+*) que faz acionar a fonte sísmica;
3. Cadeia de hidrofones (*Streamer*) que capta as ondas de pressão do sinal do retorno (eco), convertendo em sinal elétrico (analógico); e
4. Gravador/registrator (neste trabalho, *Mini Trace II*), onde o sinal analógico é convertido em digital seguindo-se a sua gravação e/ou registro, temporário ou permanente.

Foi utilizado um perfilador sísmico do tipo *Sparker*, operando com emissão de energia entre 0 e 600 Joules, intervalo de disparos de 1000 milissegundos, largura do pulso (duração de pulso) de 60 milissegundos e frequência de amostragem em 15000 Hz. Os dados sísmicos foram gravados utilizando o *Mini Trace II*, que registrou as informações de navegação acopladas com um sistema de posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*).

Para a aquisição, foi utilizada a fonte de alimentação *Geo-Spark 1000+*, os dados sísmicos foram gravados utilizando o *Mini Trace II*, que registrou as informações de navegação obtidas pelo GNSS (*Global Navigation Satellite System*), onde foi integrado ao sistema *GeoSuite Acquisition* da *GEO Marine Survey Systems*.

O *Sparker* foi posicionado a 15 m de distância da embarcação, e o *Streamer*, paralelo com uma distância de 3,5 m, a antena GPS foi colocada na parte de cima da embarcação a 10,2 m acima da linha d'água. A embarcação manteve velocidade média de 5 nós.

3.1.1 *Sparker*

O *Sparker* é um equipamento constituído por uma sequência de centelhadores, que ao receberem uma corrente elétrica de alta voltagem geram uma descarga elétrica dentro da água do mar, onde ioniza as moléculas de água criando uma bolha que ao colapsar devido a pressão hidrostática exercida pela água ao redor gera um sinal acústico característico.



Figura 6 - *Sparker* utilizado na aquisição.

3.1.2 *Streamer*

O *Streamer* é um cabo com um conjunto de hidrofones para capturar espectros de altas frequências do sinal emitidos pela fonte, é preenchido com fluidos de baixa densidade e projetado para reboque contínuo na água.



Figura 7 - *Streamer* de 8 elementos da Geo Marine Survey Systems.

3.1.3 *Geo-Spark 1000+*

A fonte de alimentação *Geo-Spark 1000+*, é um equipamento de alta voltagem revolucionária (HV), é baseada em "potência pulsada". O sistema utiliza interruptor de tiristor, que pode gerar curtos pulsos (60 - 200 μ s) de alta tensão de até 15 kA a -5,6 kV a alta taxa de repetição.



Figura 8 - Fonte *Geo-Spark 1000+*.

3.1.4 *Mini-Trace II*

A unidade *Mini-Trace II* é alimentada pelo *Software GeoSuite Acquisition*, é uma unidade de canal duplo que pode ser utilizada com dois cabos *Streamer* de canal único para aumentar a relação sinal-ruído ou a resolução horizontal e é possível registrar dados sísmicos utilizando duas fontes independentes ao mesmo tempo.



Figura 9 - *Mini-Trace II*.

3.3 Processamento

O processamento e interpretação dos dados sísmicos foi realizado através do *software GeoSuite AllWorks* da *GEO Marine Survey Systems*. A interpretação dos perfis sísmicos consistiu no mapeamento dos principais refletores sísmicos visando o reconhecimento e caracterização dos elementos arquiteturais das fácies e unidades sísmicas.

A conversão de tempo duplo de propagação para profundidade foi estimada utilizando velocidade acústica média da água de 1500 m/s.

3.3.1 Filtragem dos Dados

O realce de dados é de suma importância, para melhorar a amplitude de dados mais profundos atenuados, com o uso de funções de ganho, ou, para aplicar filtros de frequência consistindo em filtros onde há no domínio da frequência, uma multiplicação o espectro de amplitude de um dado sísmico pelo o operador do filtro. Os dois tipos de aplicações de realces de dados serão descritos sucintamente a seguir (Yilmaz, 1987).

O Ganho é uma função baseada em escala temporal baseada em um determinado critério. Segundo Yilmaz (1987), há dois tipos de função, a correção de espalhamento geométrico e o *automatic gain control* (AGC) (Yilmaz, 1987).

A Filtragem de frequência é um procedimento que leva a bons resultados. Este procedimento é relacionado, envolve no meio da frequência, a multiplicação do filtro operante com o traço sísmica. Há quatros filtros principais, o passa banda caixa, o passa banda trapezoidal, passa baixa e o passa alta. O passa banda caixa e o trapezoidal são semelhantes, sua diferença é ligada principalmente às amplitudes usadas no filtro, conforme a figura 9 (Yilmaz, 1987).

O Filtro de Frequência é o filtro habitualmente mais usado, devido a frequência de um traço sísmico variar de 70Hz a 10Hz, com o valor central normalmente de 30 Hz, elimina-se ruídos de baixa e alta frequências (Yilmaz,1987).

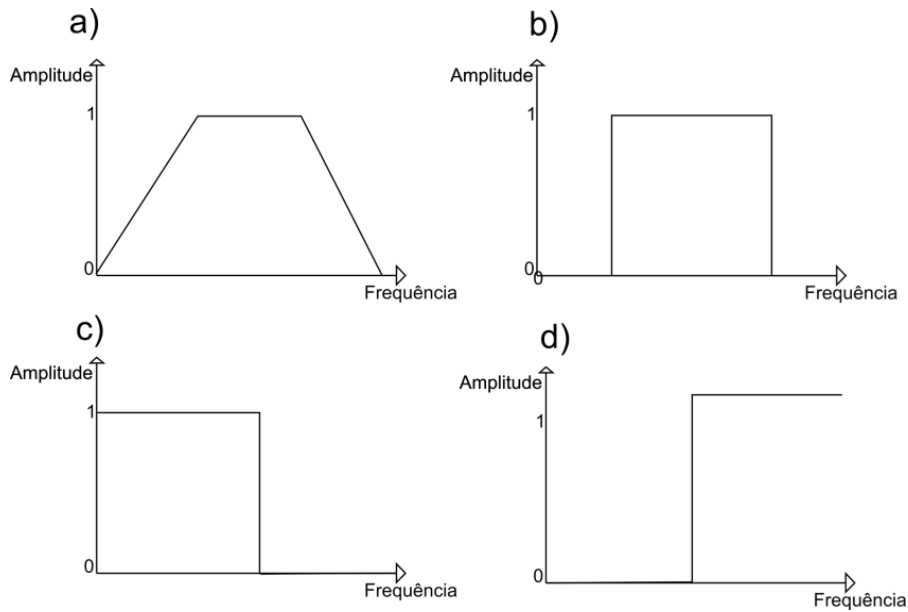


Figura 10 - Representação de Filtros de Frequência, em gráfico de Amplitude (Eixo y) x Frequência (Eixo x). Fig. 6(a), filtro de passa banda trapezoidal, Fig. 6(b), figura de passa banda caixa, Fig. 6(c), filtro de passa baixa, Fig. 6(d), filtro de passa alt (Yilmaz, 1987).

Os seguintes parâmetros utilizados para filtragem e otimização dos dados, de modo que ocorra uma melhor interpretação dos dados. Onde os filtros são descritos de acordo com o manual do *software*.

- ***Mute (cut Water Column)***

O *Mute*, silencia a coluna de água presente no perfil sísmico atual, amostrando apenas os dados a partir do assoalho oceânico nos dados sísmicos. Para o corte manual, é informado a quantos milissegundos antes do assoalho oceânico o sinal deve ser cortado.

- ***Infinite Impulse Response (IRR)***

O filtro IIR pode ser usado para atenuar o conteúdo de frequência indesejada do espectro de sinal, é possível utilizar os filtros passa-baixa, passa-alta e passa-banda. Para os dados presentes neste levantamento, foi utilizado um filtro passa-banda de 200 a 2800 Hz, baseado nas configurações do *Sparker*.

- ***Automatic Gain Control (AGC)***

O AGC compensa a atenuação do sinal escalonando os dados de tal forma que o valor absoluto médio das amplitudes dentro de uma janela especificada será um determinado valor (*Output amplitude level*).

Valores dos parâmetros escolhidos para o AGC:

- *Output amplitude level* (mv) = 2000
- *Clip level* (mv) = 5000
- *AGC window length* (ms) = 33
- *Mid point of the window* (ms) = 17
- *Dead values in a window* = 10
- *Dead level* (mv) = - 5000
- *Percent AGC* (%) = 25

- ***Swell filter***

O *Swell*, filtra a curva do leito marinho aplicando uma média móvel simples, onde a nova posição do fundo do mar é a média dos níveis do fundo do mar dentro da janela atual.

$$\text{assoalho oceânico } (x) = \frac{1}{n} \sum_{i=n/2}^{n/2} \text{assoalho oceânico } (x + i) \quad (1)$$

Nos dados sísmicos foi utilizado este filtro com 12 traços da janela.

- **(TVG)**

O filtro *Time Varying Gain* (TVG), é utilizado para aplicar um ganho constante ao perfil inteiro ou a linear simples. A opção “*Start at seabed*” mudará verticalmente a curva do TVG traço por traço, dependendo da posição do assoalho oceânico.

Valores dos parâmetros escolhidos para o TVG:

- *Time varying gain: start at seabed.*

- *Spherical Divergence*: 0
- *Limit* (mv): - 5000.
- *Start* (db) = 2
- *End* (db) = 10

- ***Median***

O *Median*, pode ser usado para aumentar a coerência horizontal entre traços enquanto filtra dados indesejados, como picos ou rajadas na coluna de água. Este filtro pode ser usado para aumentar o desempenho da ferramenta de localização do fundo do mar em caso de coluna de água barulhenta

- ***Trace Equalization***

O filtro pode compensar as variações de amplitude no perfil. A janela usada para calcular o nível médio do traçado é definida pelo usuário e pode ser vinculada à posição atual do fundo do mar.

Valores dos parâmetros escolhidos para o *Trace Equalization*:

- *Start from seabed*.
- *From* (ms) = 0 *to* (ms) = 150
- *Scaling base*: RMS
- *Output level* (mv) = 2000

O processamento dos dados sísmicos a partir do software *GeoSuite AllWorks* foi realizado da seguinte forma: inicialmente foi utilizada a ferramenta ***mute*** para remoção do sinal na coluna d'água, em seguida foi realizada a filtragem e realce do sinal, com a aplicação do filtro passa-banda ***IRR, AGC, TVG, swell, median*** e, por fim, o ***trace equalization***, a figura 11 representa o esquema de processamento.

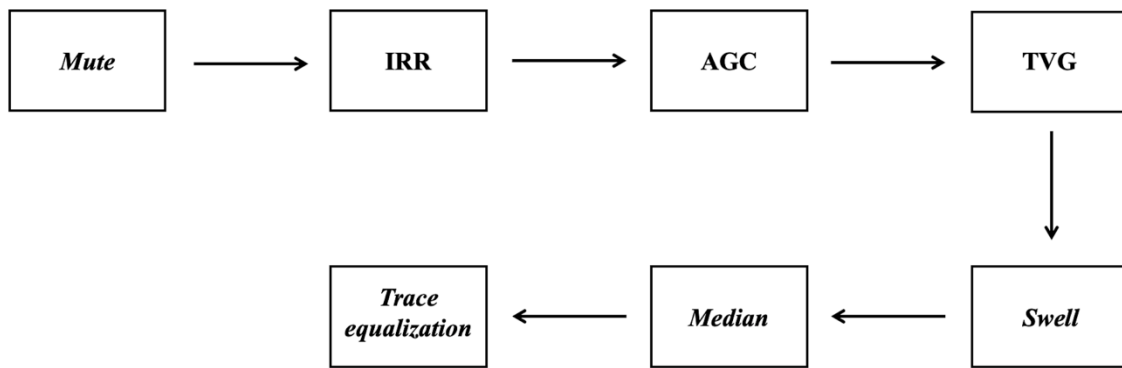


Figura 11 - Esquema do processamento de dados de perfilagem sísmica de alta resolução.

Os dados adquiridos no levantamento geofísico são aplicados para estudos da distribuição superficial de sedimentos no fundo do mar e a identificação de estruturas geológicas sub-superficiais, presentes na plataforma continental de Abrolhos.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Dispondo como base pesquisa bibliográfica, no presente capítulo, serão discutidos aspectos relativos às propriedades físicas da água no mar, princípios do método sísmica de reflexão, sísmica aquática e sismoestratigrafia, tópicos julgados pertinentes e necessários para permitir adequada compreensão e discussão das etapas subsequentes do trabalho.

4.1 Propriedades físicas da água no mar

A água do mar pode ser caracterizada por sua temperatura, pressão e salinidade. A partir dessas três grandezas e da equação do estado da água do mar, pode calcular a densidade, velocidade do som, capacidade de calor ou condutividade elétrica (Dhanak et al., 2016).

4.1.1 Temperatura

A temperatura da água é expressa em graus Celsius e dá uma indicação da energia ou trabalho que foi realizado associado a uma parcela de água. As temperaturas oceanográficas são referenciadas na *International Practical Temperature Scale* de 1968 (IPTS-68). A temperatura oceanográfica tende a variar sistematicamente com a profundidade e latitude, nos trópicos, onde há um excesso da radiação solar de entrada principalmente de ondas curtas sobre a radiação de ondas longas de saída, as águas superficiais são mais quentes do que nas latitudes adjacentes, as águas superficiais em latitudes mais altas são mais frias porque a energia é perdida para a atmosfera e o espaço sideral por meio do fluxo de calor de radiação de onda longa que sai, que excede o fluxo de calor da radiação solar de entrada nessas latitudes (Dhanak et al., 2016). A variação de temperatura é o fator dominante na variação da velocidade de propagação do som na água entre a superfície e o limite inferior da termoclina, passando a ser a pressão o fator dominante para maiores profundidades.

4.1.2 Salinidade

A salinidade é a quantidade total de materiais sólidos em gramas contidos em um quilograma de água do mar, quando todo o carbonato foi convertido em óxido, o bromo e o iodo substituído por cloro, e toda a matéria orgânica completamente oxidada (Dhanak et al., 2016). A distribuição da salinidade oceânica é amplamente controlada pelos

processos de evaporação e precipitação em regiões de oceano aberto, escoamento de rios frescos em zonas costeiras e formação e derretimento de gelo nas regiões polares. A salinidade média da água do oceano é de cerca de 35 gramas de sais por quilograma de água do mar (g / kg). A taxa de variação da velocidade de propagação do som na água é aproximadamente 1.3 m/s para uma variação de 1 ‰ na salinidade. A salinidade é determinada pela instrumentos de condutividade elétrica, temperatura e profundidade (CTD) (Dhanak et al., 2016).

4.1.3 Pressão

A pressão é a força normal por unidade de área exercida pela água ou ar na atmosfera em ambos os lados da unidade de área. A força devida à pressão surge quando ocorre uma diferença de pressão entre dois pontos, essa força é direcionada de alta para baixa pressão. A força é orientada para baixo no gradiente de pressão, visto que o gradiente é direcionado da baixa para a alta pressão. No oceano, a força da gravidade para baixo é equilibrada por uma força gradiente de pressão para cima, a pressão aumenta com o aumento da profundidade. Esse equilíbrio da força da gravidade para baixo e da força do gradiente de pressão para cima, sem movimento, é chamado de equilíbrio hidrostático. A pressão geralmente é medida em conjunto com outras propriedades da água do mar, como temperatura, salinidade e velocidades da corrente (Dhanak et al., 2016).

4.2 Princípios do método sísmico

Nos métodos sísmicos, uma fonte mecânica gera ondas acústicas que se propagam através da subsuperfície, algumas ondas retornarão à superfície após a refração ou reflexão nos limites geológicos em subsolo. Instrumentos distribuídos ao longo da superfície detectam o movimento do solo causado por essas ondas de retorno e medem os tempos de chegada das ondas em intervalos diferentes da fonte. Esses tempos de viagem podem ser convertidos em valores de profundidade e assim mapeando a distribuição de interfaces geológicas em subsuperfície (Kearey et al., 2009). A sísmica é relacionada a propriedade elástica das rochas, uma vez que, a rocha retorna imediatamente para sua forma inicial (Everett, 2013).

4.2.1 Ondas sísmicas

Ondas sísmicas consistem em pacotes de energia de deformação elástica que se propagam radialmente a partir de uma fonte sísmica (Reynolds, 2011). Ondas de corpo e ondas de superfície são as duas principais ondas sísmicas.

4.2.2 Ondas de corpo

As ondas de corpo propagam-se, dois tipos de onda de corpo podem viajar através de um meio elástico: as ondas P, conhecidas como ondas longitudinais, primárias, de impulso ou de compressão e o segundo tipo de onda é a onda S, também conhecida como onda transversal, secundária ou de cisalhamento. As ondas P são alinhadas com a direção da propagação da onda, associadas a mudança no tamanho e proporção de um volume de material elementar, elas oscilam em torno de pontos fixos na direção da propagação das ondas, por esforços de compressão e dilatação. As ondas S são associadas a uma mudança de forma do material, se propagando por cisalhamento em uma direção perpendicular à direção de propagação da onda, podem ser polarizadas porque as partículas oscilam ao longo de uma linha definida perpendicular à direção de propagação, elas podem se propagar apenas em materiais com resistência ao cisalhamento, portanto, não se propagam em fluidos (Kearey et al., 2009; Reynolds, 2011; Everett, 2013). Pode haver dois planos de polarização e, portanto, duas ondas de cisalhamento: as polarizadas verticalmente (SV) e polarizados horizontalmente (SH). Apresentadas na figura 12.

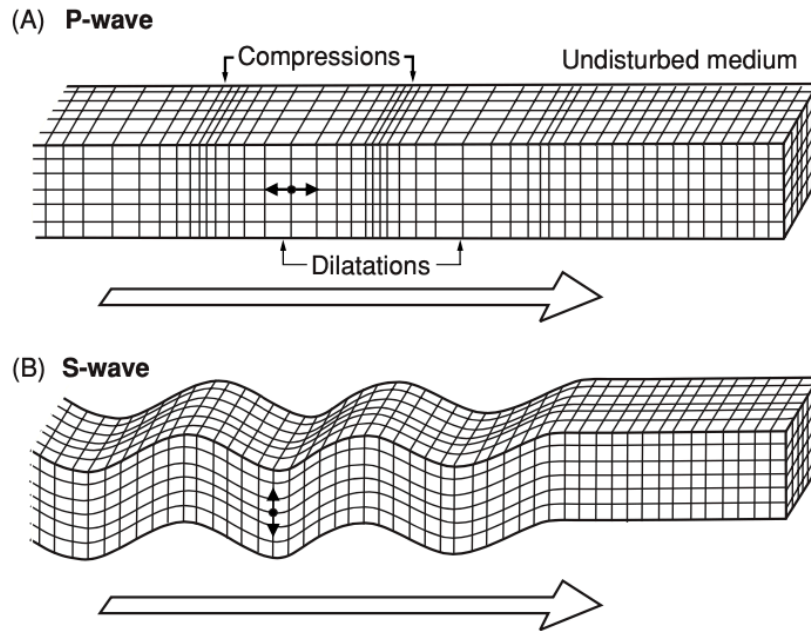


Figura 12 - Deformações elásticas e movimentos de partículas no solo associados à passagem das ondas de corpo (A) Onda P e (B) Onda S (Everett, 2013).

A propagação de ondas sísmicas em solos e rochas é baseada na teoria da elasticidade. As propriedades elásticas dos materiais em subsuperfície são regidas por dois módulos elásticos: o módulo volumétrico ou de *bulk* (k), o qual expressa a relação tensão–deformação, que fornece a resistência de um material a uma tensão de compressão uniforme e o módulo de cisalhamento ou shear modulus (μ), que expressa a resistência do solo quando sofre tensões de cisalhamento. Os dois módulos definem a relação linear entre tensão (*stress*) e deformação do meio (*strain*). (Reynolds, 201; Everett, 2013).

A velocidade de propagação das ondas sísmicas através de meios elásticos são determinadas pelos módulos elásticos e pelas densidades dos materiais que se propagam, as velocidades aumentam com o aumento da densidade (Reynolds, 2011). A velocidade da onda P é expressa por

$$V_p = \sqrt{\frac{k + \mu/3}{\rho}} \quad (2)$$

Onde ρ é a densidade do material. A velocidade da onda S é expressa por

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (3)$$

A razão V_p/V_s é independente da densidade e é relacionada com a razão de Poisson (σ) que mede a deformação transversal e representa a relação entre a deformação lateral e longitudinal (Kearey et al., 2009)

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{2(1 - \sigma)}{1 - 2\sigma}} \quad (4)$$

4.2.3 Ondas de superfície

As ondas que não penetram profundamente são conhecidas como ondas de superfície, das quais existem dois tipos, ondas Rayleigh e ondas Love. As ondas Rayleigh são propagadas por uma combinação de movimentos de partículas paralelas e perpendiculares à direção da propagação (compostas por partículas de ondas P e S), elas viajam ao longo da superfície da Terra com amplitudes que diminuem exponencialmente com a profundidade, possuem velocidade sempre menor que a da onda S. As ondas Love, são caracterizadas por ondas de cisalhamento polarizadas horizontalmente que oscilam transversalmente a direção de propagação (Reynolds, 2011; Everett, 2013). Apresentadas na figura 13.

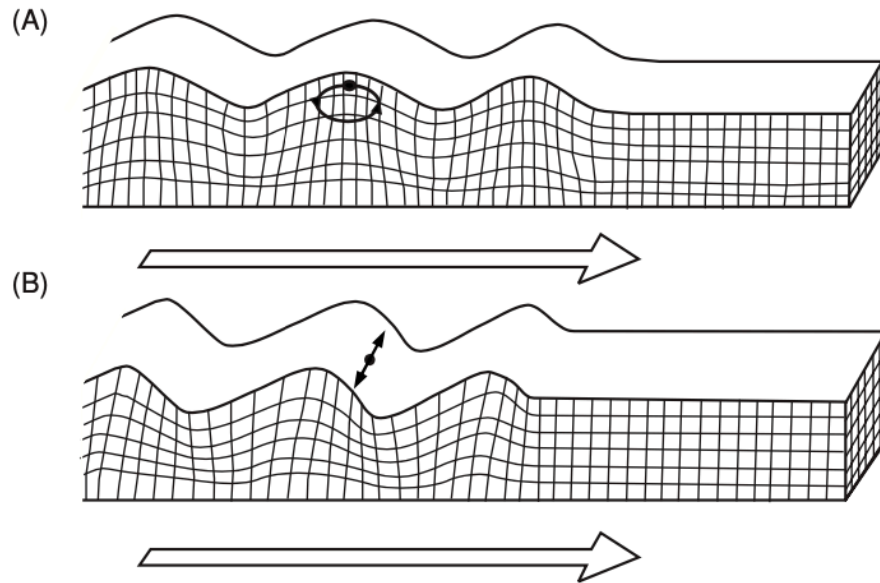


Figura 13 - Deformações elásticas e movimentos de partículas no solo associados à passagem das ondas de superfície (A) Onda Rayleigh e (B) Onda Love (Everett, 2013).

4.3 Sísmica de Reflexão

A sísmica de reflexão é a técnica geofísica mais amplamente usada, desde a década de 1930. Suas aplicações predominantes são a exploração de hidrocarbonetos e a pesquisa em estruturas crustais, com profundidades de penetração de muitos quilômetros alcançadas rotineiramente. Desde 1980, aproximadamente, o método é aplicado cada vez mais em investigações de engenharia e ambientais, onde as profundidades de penetração são inferiores a 200 metros. As aplicações de sísmica de reflexão rasa de alta resolução incluem mapeamento de depósitos quaternários, vales de rocha enterrados e falhas rasas, estudos hidrogeológicos de aquíferos, exploração rasa de carvão, parques eólicos *offshore*, entre outros. O método é utilizado para obter detalhes importantes sobre a geometria das estruturas subterrâneas e sobre as propriedades físicas dos materiais presentes (Reynolds, 1997).

A técnica de reflexão sísmica é baseada em medir o tempo que uma onda sísmica leva para viajar de uma fonte até o solo, onde é refletida de volta à superfície e, em seguida, detectada por um receptor, que também está na superfície em uma posição conhecida, esse tempo é conhecido como “*two-way travel time*” (TWTT) (Reynolds, 1997). A geração e emissão de energia é através de uma fonte controlada propagada sob

a forma de pulsos acústicos, o qual penetram as camadas em subsuperfície e retornam a superfície após ter sofrido reflexão na interface de diferentes camadas, são captadas pelo receptor, registradas e assim gerada a imagem sísmica.

O fenômeno de reflexão ocorre nas interfaces entre os meios com distintas propriedades físicas, com contrastes de impedância acústica (Z) entre as camadas (Souza, 2006), onde é caracterizada pelo produto da densidade (ρ) e velocidade de propagação da onda (v).

$$Z = \rho * v \quad (5)$$

A amplitude do sinal refletido é função de uma complexa interação entre diversos fatores. No entanto, uma simplificação desta relação é definida para ângulos de incidência normal à superfície refletora. O coeficiente de reflexão (R) depende do contraste de impedância acústica entre dois meios físicos definido como a razão entre a amplitude do sinal refletido e a amplitude da onda incidente é dada pela equação. (Sharma, 1997)

$$R = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (6)$$

Se uma fonte sísmica é descarregada em um determinado ponto de disparo S e as ondas refletidas são detectadas em localizações dispostas em uma linha de cada lado do disparo, então os caminhos de raio resultantes são mostrados na Figura 14. Em cada ponto de incidência em uma interface subsuperficial, sobre uma área correspondente à primeira zona de Fresnel. Se mais de um local de disparo for usado, as reflexões que surgem do mesmo ponto na interface serão detectadas em diferentes geofones, O ponto de reflexão é meio caminho entre a fonte e o receptor. A distância da fonte para qualquer receptor é conhecida como *offset* (Reynolds, 1998).

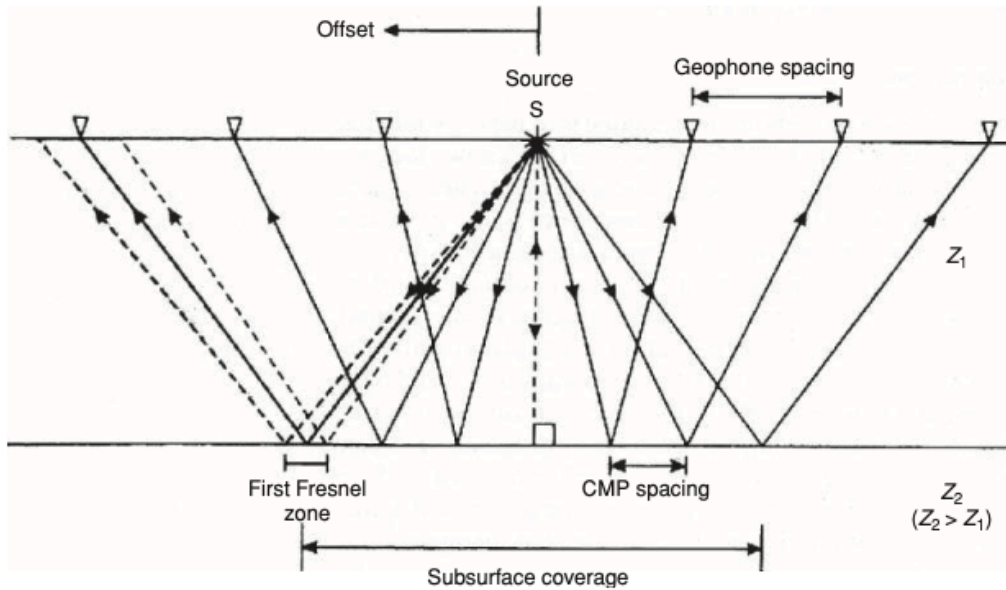


Figura 14 - Esquema de caminhos de raios de reflexão sobre uma interface horizontal através da qual há um contraste na impedância acústica Z ($Z_2 > Z_1$) (Reynolds, 2011).

Se for utilizado mais de um local de disparo, as reflexões que surgem do mesmo ponto na interface serão detectadas em diferentes geofones (Figura 15 (A)), este ponto comum de reflexão é conhecido como *common mid-point* (CMP), em caso de horizontes planos sem variação de velocidade lateral é possível que *common depth point* (CDP) e *common reflection point* (CRP) sejam utilizados como equivalentes a CMP. Se o refletor estiver mergulhando, os pontos de reflexão são realizados ao longo da interface (Figura 15 (B)). De acordo com a Lei de Snell, o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência, por isso o ponto de reflexão se move para cima com maior deslocamento do geofone (Reynolds, 2011).

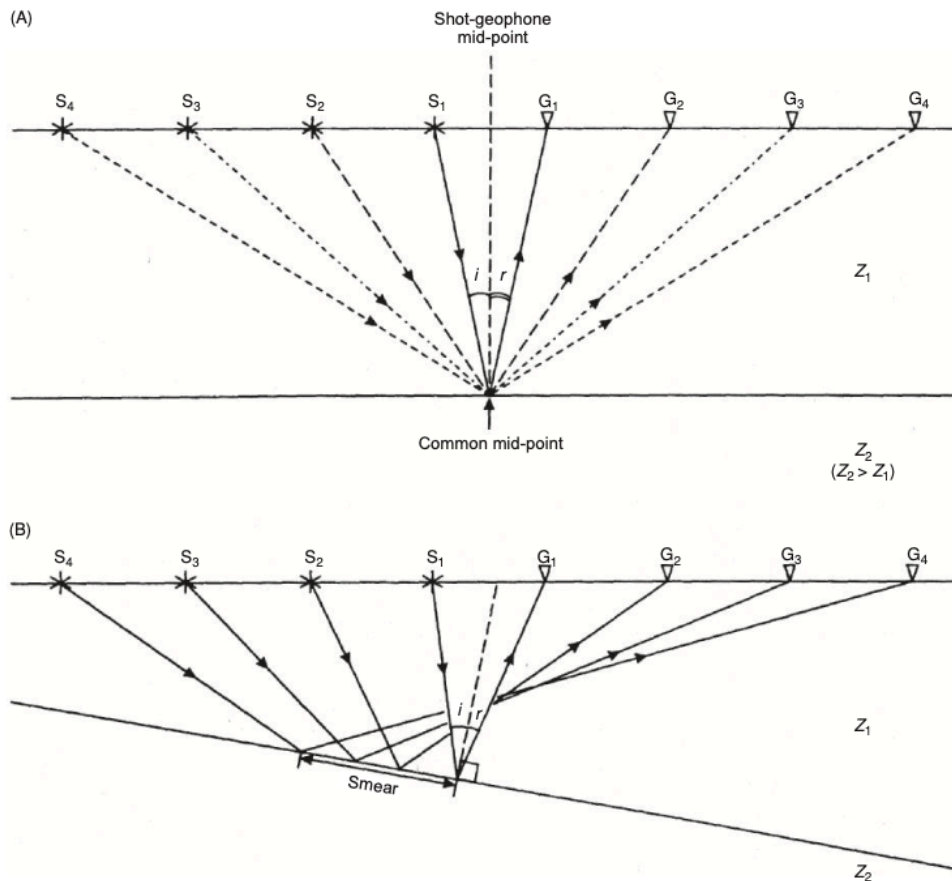


Figura 15 - Princípio do common mid-point comum sobre (A) uma interface horizontal e (B) uma interface de mergulho (Reynolds, 2011).

4.4 Sísmica Aquática

Na investigação sísmica de áreas submersas, o princípio de propagação de ondas acústicas é aplicado diretamente para a compreensão dos fenômenos referentes a propagação das ondas acústicas na água e nos estratos subjacentes (Urlick, 1983).

Existem dois tipos fontes de energia usadas para perfis de reflexão aquática, fontes ressonantes e fontes de impulso. É convencional se referir aos sinais produzidos por fontes ressonantes como pulsos de sonar e aos produzidos por fontes impulsivas como ondas sísmicas. As fontes ressonantes são relacionadas aos instrumentos piezoelétricos em sondas de profundidade e perfis subbottom, já as fontes impulsivas liberam energia em uma explosão repentina, sem prolongação temporal, como air-gun ou descarga elétrica (Mgee, 1995). A figura 16 exemplifica a característica da onda de forma impulsiva.

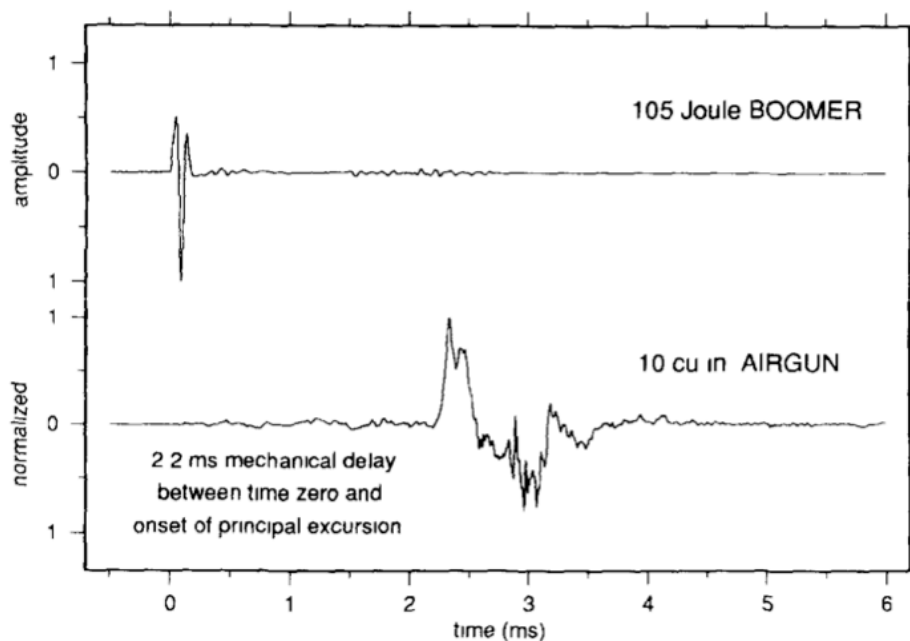


Figura 16 - Exemplo de sinal de fontes impulsivas (Mgee, 1995).

A sismica aquática utiliza hidrofones para captação do sinal, equivalente ao um geofone, embora o princípio de operação seja diferente. Um hidrofone responde a variações na pressão, enquanto um geofone responde ao movimento das partículas terrestres. Os hidrofones podem ser usados em águas abertas, em um poço cheio de água e em condições pantanosas saturadas de água (Reynolds, 1998). Os hidrofones têm uma alta impedância elétrica e, portanto, quaisquer sinais devem passar por transformadores de impedância antes de serem registrados pelos instrumentos.

4.5 Sismoestratigrafia

A análise das fácies sísmicas tem como principal objetivo reconhecer os padrões das reflexões sísmicas e suas inter-relações dentro das unidades ou sequências que permitem identificar nos registros sísmicos os fatores geológicos que as geraram (Mitchum et al., 1977). A geometria e as terminações dos estratos sedimentares possibilitam a identificação de superfícies e tratos de sistemas, além das condições de acomodação no período de deposição (Catuneanu et al., 2006).

Os principais padrões de terminações laterais de reflexões sísmicas mais comumente utilizados nas interpretações sismoestratigráficas são: *lapout*, *onlap*,

downlap, *toplap*, truncamento erosional/estrutural e conformidade, representados na figura 17.

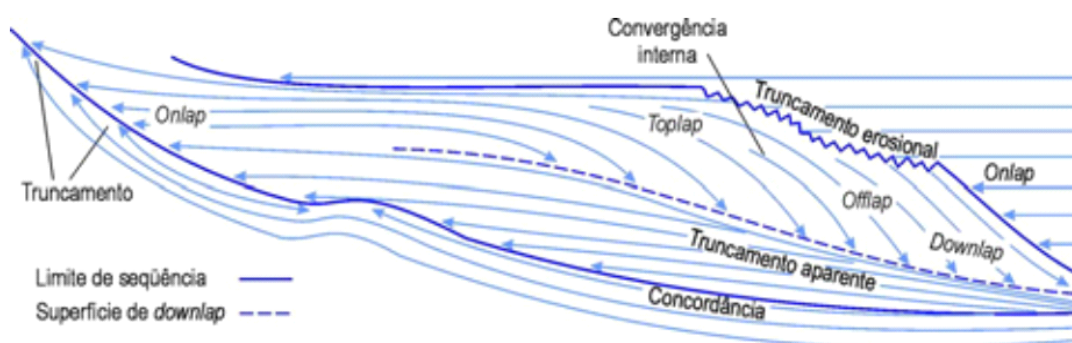


Figura 17 - Padrões de terminações dentro de uma sequência sísmica idealizada (Antunes, 2004; Mitchum et.al 1977).

No *lapout*, as reflexões terminam lateralmente em seu limite deposicional original e que ele é dividido em *baselap* e *toplap*. *Baselap* é quando o *lapout* ocorre no limite inferior, é subdividido em *onlap* e *downlap* e, *toplap* quando ocorre no limite superior da unidade sísmica. O *onlap* é caracterizado pela terminação de refletores horizontais contra uma superfície inclinada, caracterizando uma discordância. O *downlap* é quando os refletores mergulham suavemente contra uma superfície inclinada ou horizontal. *Onlap* e *downlap* podem ser confundidos, nesse caso usa-se o termo mais abrangente de *baselap*. O *toplap* é caracterizado quando os estratos acabam ascendentemente contra camadas superiores e é interpretado como resultado de não-deposição ou erosão muito reduzida.

Um truncamento erosional implica em deposição de camadas e seu consequente basculamento e remoção por erosão, resultando numa superfície discordante. A concordância é quando reflexões de duas unidades sísmicas ou sequências adjacentes se apresentam paralelas com a superfície que as delimitam (Pereira, 2008).

A configuração interna das reflexões sísmicas se tornou um dos parâmetros mais utilizados na sismoestratigrafia. Cada uma delas é interpretada em termos de ambiente deposicional e distribuição de litofácies (Mitchum et al., 1977), elas são apresentadas na figura 18.

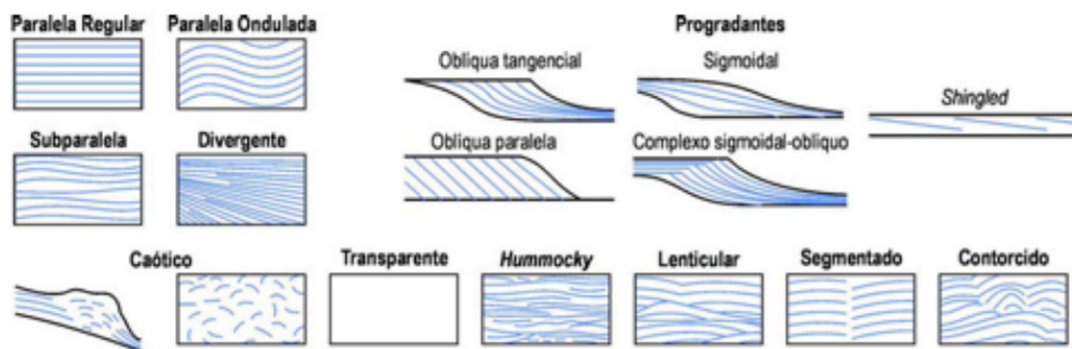


Figura 18 - Padrões de configurações internas de sismofácies (Mitchum et al., 1977).

As configurações paralelas (regular e ondulada) e subparalelas indicam uma taxa de deposição uniforme dos estratos, sobre uma superfície estável ou uniformemente subsidente. A configuração divergente indica uma variação em área na taxa de deposição e/ou inclinação progressiva do substrato. As configurações progradantes (oblíqua tangencial e paralela, sigmoidal, shingled e complexo sigmoidal oblíquo) ocorrem em áreas onde os estratos superpõem-se lateralmente, constituindo assim superfícies inclinadas chamadas cliniformas. As configurações caóticas são constituídas por reflexões discordantes e descontínuas, onde a feição deposicional pode ser reconhecida ou não, podendo evidenciar estratos com dobramentos, pequenas falhas, estruturas de escorregamento ou convolutas. As configurações transparentes indicam intervalos com ausência de reflexão, podendo corresponder a litologia homogênea para o método sísmico ou não estratificada. A configuração *hummocky* apresenta refletos descontínuos, irregulares, subparalelos, possuindo padrão ondulado segmentado (Pereira, 2008).

5. INTERPRETAÇÃO SÍSMICA

Os dados adquiridos no levantamento geofísico são aplicados para estudos da distribuição superficial de sedimentos no fundo do mar e a identificação de estruturas geológicas sub-superficiais, presentes na plataforma continental de Abrolhos. Com os procedimentos realizados descritos na seção da metodologia, foi possível obter resultados relativos da perfilagem sísmica de alta resolução. A perfilagem sísmica foi disposta transversalmente e longitudinalmente aos bancos e aos eixos dos vales não preenchidos do Canal Besnard, demonstrados na figura 3.

A geometria e as terminações dos estratos sedimentares possibilitam a identificação de superfícies e tratos de sistemas, além das condições de acomodação no período de deposição (Catuneanu et al., 2008).

A Plataforma Continental de Abrolhos é considerada um dos maiores exemplos de sedimentação carbonática-siliciclástica no Brasil, é caracterizada pela morfologia complexa e diversidade geomorfológica e sedimentar que inclui recifes de corais rasos e mesofóticos, extensos bancos de rodolitos e sedimentação siliciclástica próximo à costa (Bastos et al., 2015; D'Agostini, 2015; 2017). As fácies sedimentares da região são: recifes submersos, rodolitos, areia/cascalho carbonáticos, lama/areia mistos e lama carbonática.

5.1 Elementos arquiteturais e sequências sísmicas

Com base nos resultados interpretados por Bastos et al. (2013; 2016), D'Agostini (2015; 2017) e Cetto (2018), 3 autores que realizaram levantamentos sísmicos anteriores na região da plataforma de Abrolhos, os perfis revelaram a ocorrência de 4 sequências sísmicas (Sq1, Sq2, Sq3, Sq4) principais, definidas a partir de fácies sísmicas presentes na região e na configuração de refletores de cada uma delas, são limitadas na base e no topo por discordâncias erosivas, onde foram definidas as 4 superfícies erosivas associadas a eventos de glaciação anteriores (D1, D2, D3, D4), D1 possivelmente referente a superfície de transgressão máxima, D2 referente ao Último Máximo glacial – estágio isotópico marinho (MIS) 2, D3 – MIS 6, D4 – MIS 8). Os elementos e características das unidades sísmicas estão descritas abaixo.

Sq1 representa a primeira sequência sísmica, que possui boa correlação lateral em longo da Plataforma Continental, possui configuração interna marcada por clinofomas progradantes com ângulos de mergulho que diminuem em direção à *offshore*, com padrão agradacional com configuração interna caracterizado por refletores paralelos/subparalelos com terminações em onlap sobre Sq2 e em toplap com o fundo marinho.

Sq2 é a segunda sequência sísmica, possui menor variabilidade de fácies com intensidade de reflexões e continuidade lateral limitada em algumas seções. Sq2 possui configurações progradantes e agradacionais com refletores de amplitude média a baixa e formatos subparalelos. Fácies transparente é bastante presente nesta sequência que possui o limite com a Sq3 bem demarcado.

Sq3 é a terceira sequência, possui um padrão agradacional e, ocasionalmente, também progradacional. O limite superior é marcado por uma superfície erosiva irregular com boa continuidade lateral e alta amplitude definindo bem a base de Sq2. São encontradas fácies caótica em algumas regiões de Sq3, assim como fácies transparentes bem como refletores em forma de *onlap* sobre a discordância erosiva no limite com Sq4, refletores sub-paralelos e concordantes em algumas regiões.

Sq4 é a última sequência sísmica, encarada como uma sequência basal, é caracterizada por uma superfície altamente irregular e de média a alta amplitude, Sq4 apresenta um padrão agradacional e levemente retrogradacional, com refletores sub-paralelos. O detalhamento dos elementos arquiteturais de Sq4 foi dificultado pela atenuação do sinal acústico e por vezes foi difícil encontrar continuidade da sequência.

As figuras 19 e 20 representam os dados sísmicos da região da plataforma continental de Abrolhos interpretados por D'Agostini (2017) e Cetto (2018) que auxiliaram nas interpretações sísmicas e definiram sequências estratigráficas e superfícies erosivas relacionadas a estágios isotópicos marinhos.

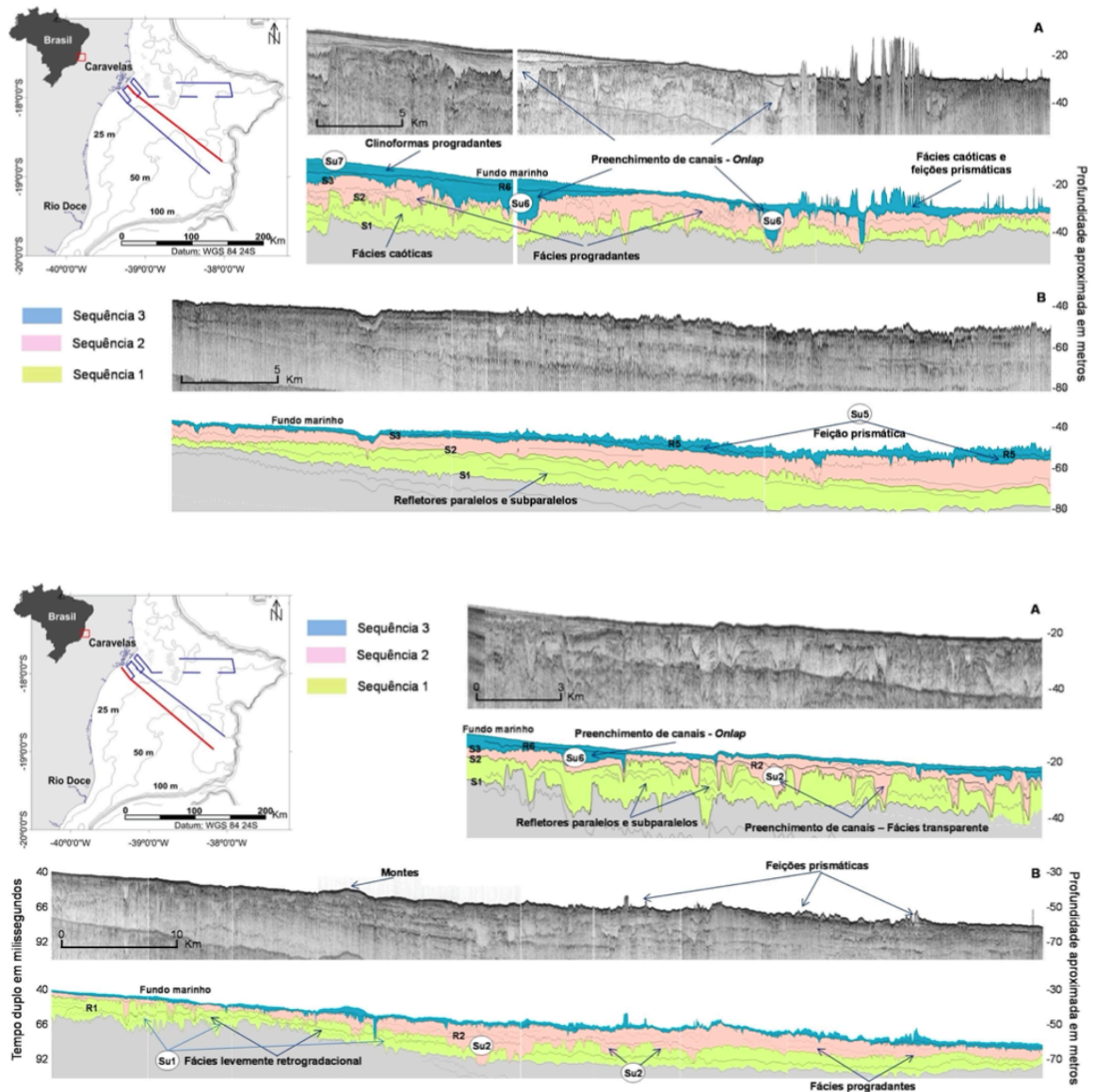


Figura 19 - Transectos sísmicos com ilustrações das sequências sísmicas mapeadas na região da PCA e principais elementos arquiteturais identificados (D'Agostini 2017).

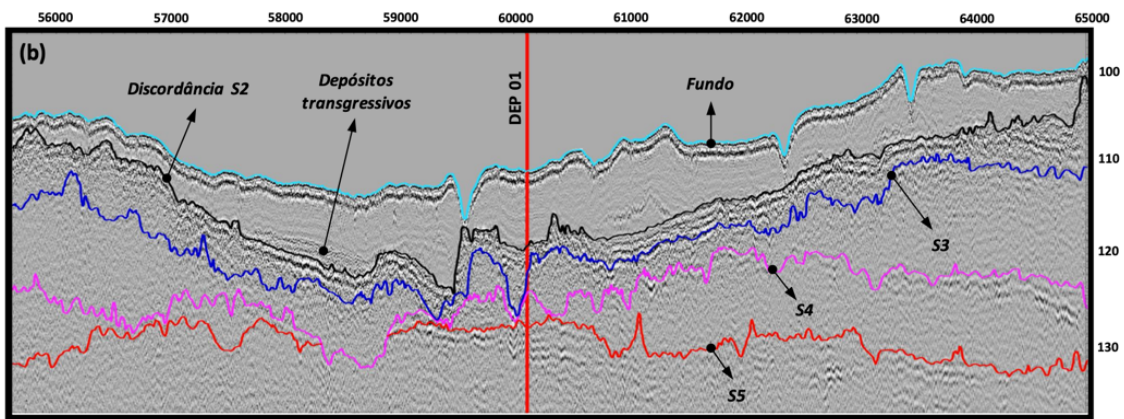
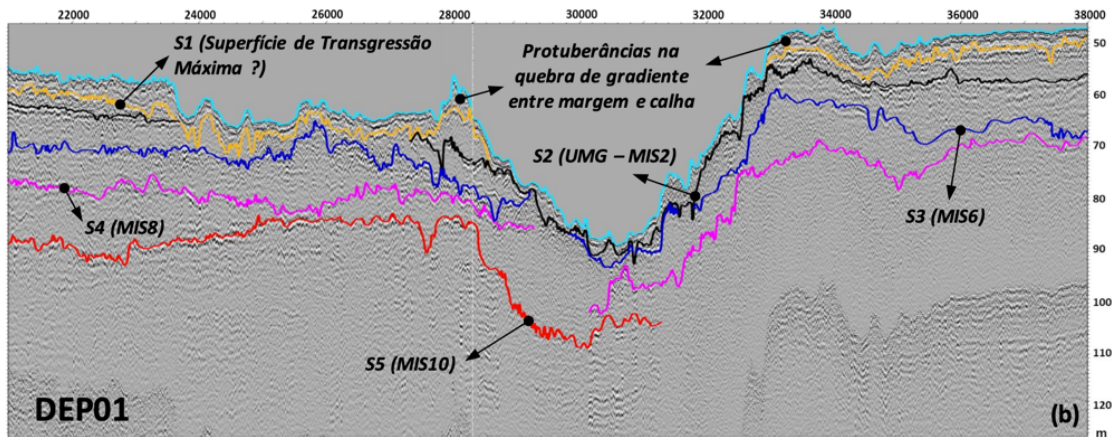


Figura 20 - Trechos de seções da aquisição sísmica na região da PCA e principais elementos arquiteturais identificados (Cetto, 2018).

5.2 Perfis Sísmicos

A seguir, são apresentados alguns perfis sísmicos escolhidos nas linhas de aquisição que representam a região da PCA, como suas superfícies erosivas, sequências sísmicas, principais terminações e fácies sísmicas. As linhas DEP 01, 02, 03, 03A e 04 estão no sentido O-L e a linha DEP 07 no sentido N-S.

Linha DEP 01

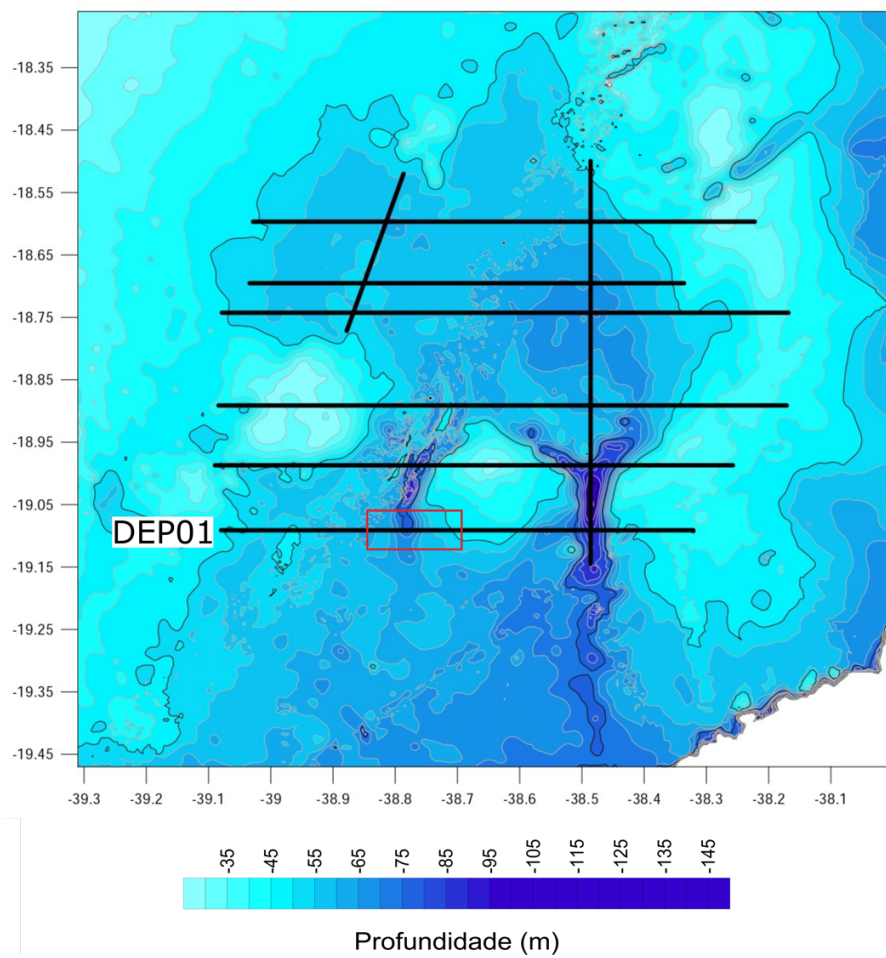
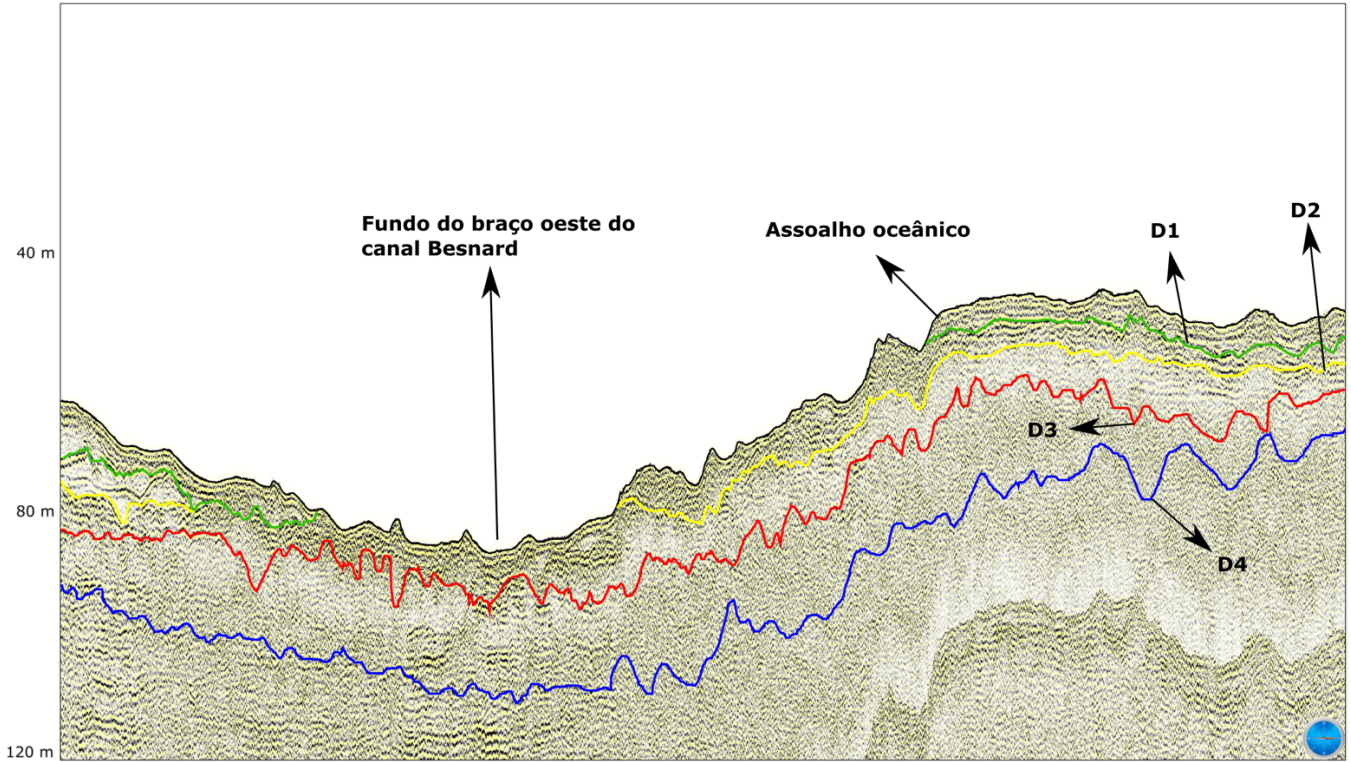


Figura 21 - Mapa batimétrico da PCA com a região do perfil sísmico apresentado da linha DEP 01 em vermelho.

19.07650097 S
38.79332681 W

19.07691042 S
38.77032847 W



19.07650097 S
38.79332681 W

19.07691042 S
38.77032847 W

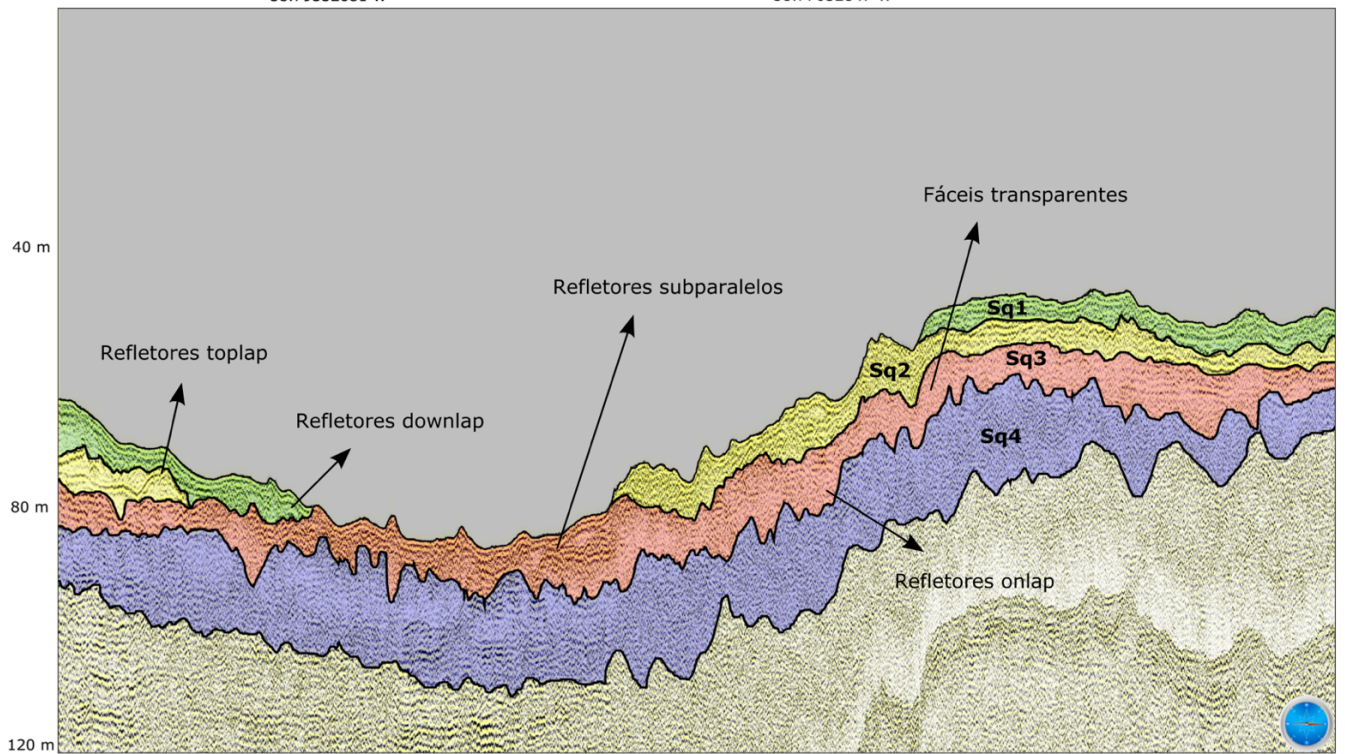


Figura 22 - Seção sísmica superior com discordâncias erosivas (D1, D2, D3, D4), assoalho oceânico e fundo do Canal Besnard. Perfil sísmico inferior com seqüências sísmicas (Sq1, Sq2, Sq3, Sq4) e principais terminações sísmicas.

Linha DEP 02

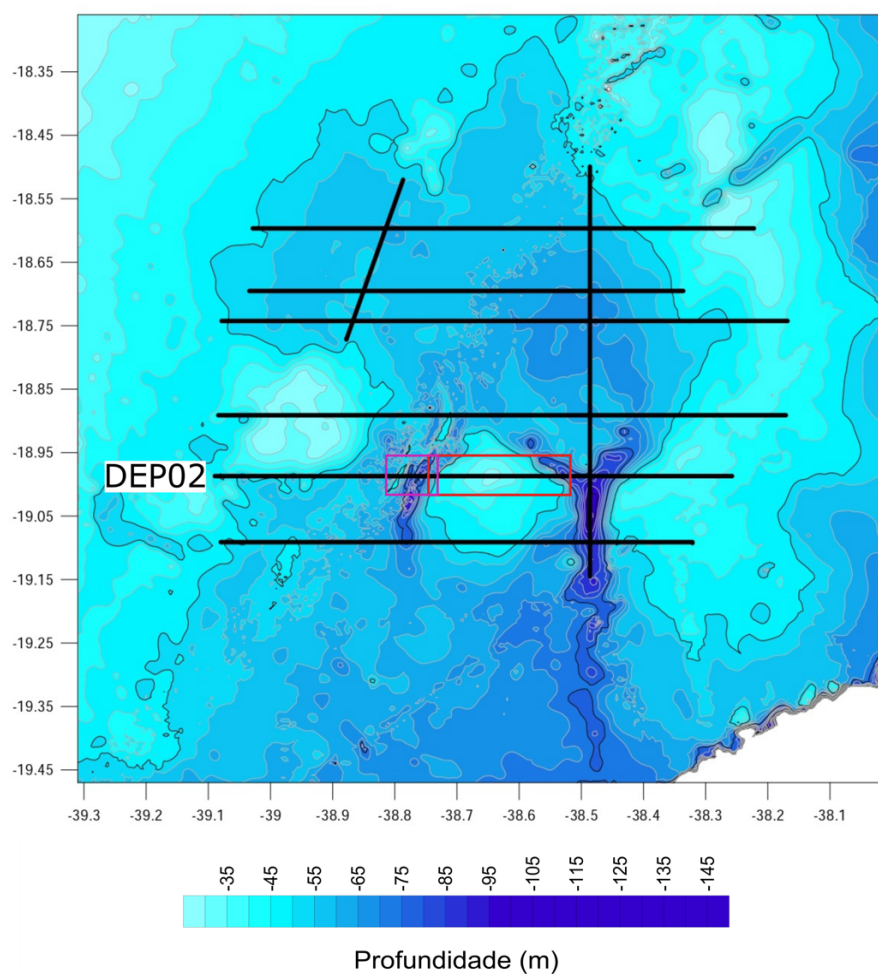


Figura 23 - Mapa batimétrico da PCA com a região do perfil sísmico apresentado da linha DEP 02 em vermelho representando o banco central e em rosa o braço oeste do Canal Besnard.

18.98501728 S
38.72092050 W

18.98507265 S
38.65594032 W

18.98500650 S
38.61303115 W

18.98467445 S
38.55782002 W

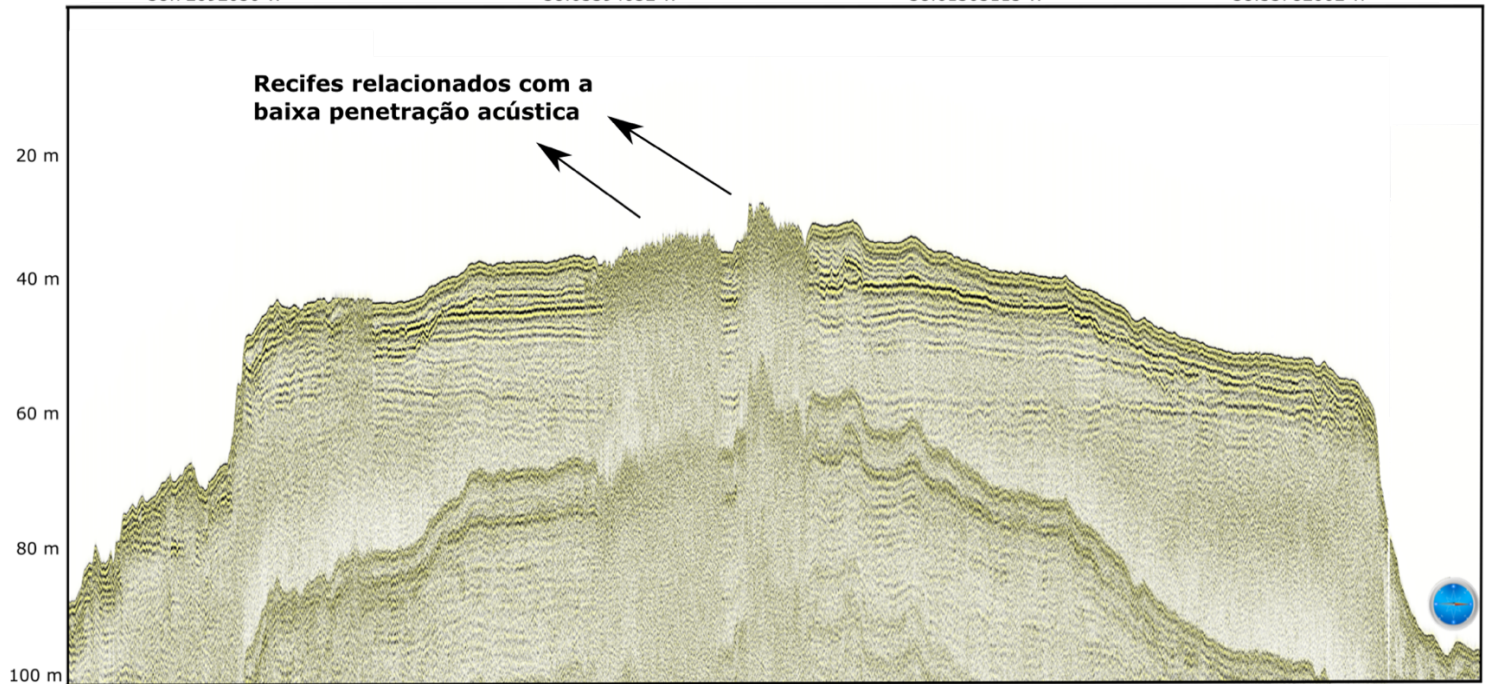


Figura 24 - Trecho da seção sísmica com o banco central localizado entre os braços leste e oeste do Canal Besnard) e recifes associados a trechos de baixa penetração acústica e múltipla com início em ~60 metros.

18.98522401 S
38.80694074 W

18.98519072 S
38.77220609 W

18.98517542 S
38.73815447 W

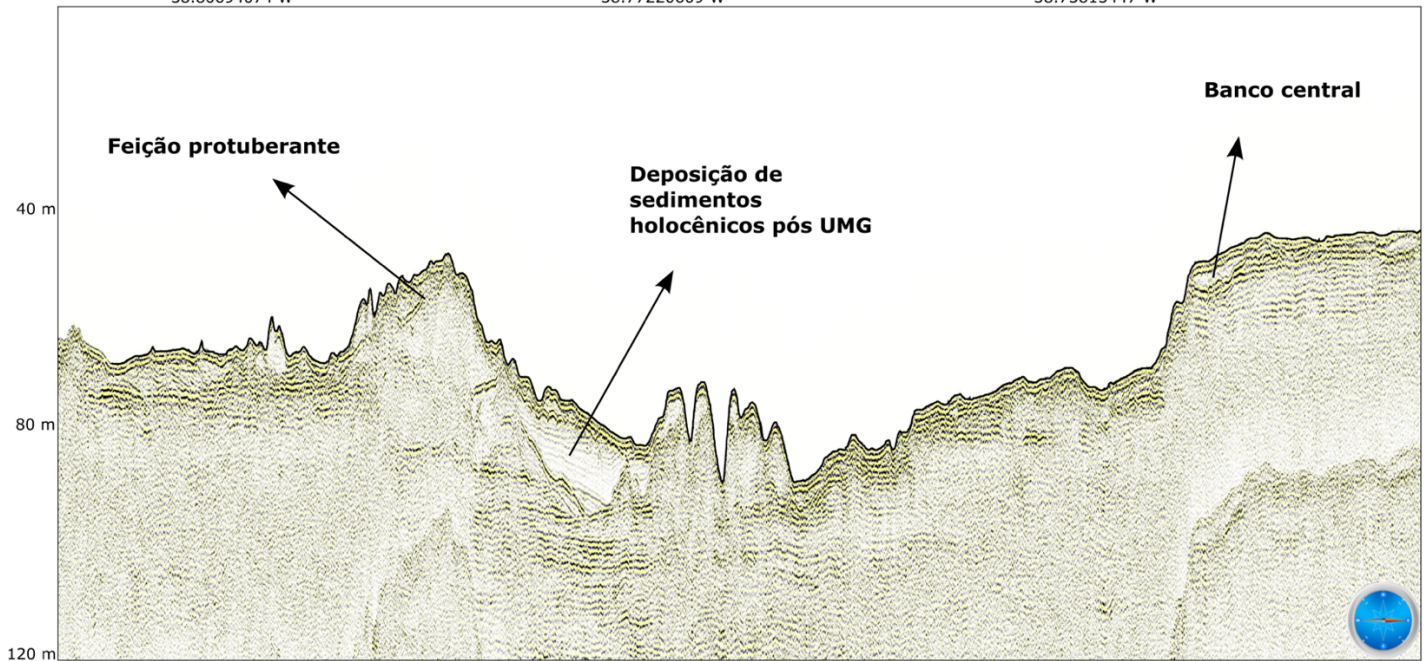


Figura 25 - Trecho da seção sísmica com o braço oeste do Canal Besnard com uma região de deposição de sedimentos holocênicos pós UMG, o início do banco central e uma feição protuberante.

Linha DEP 03

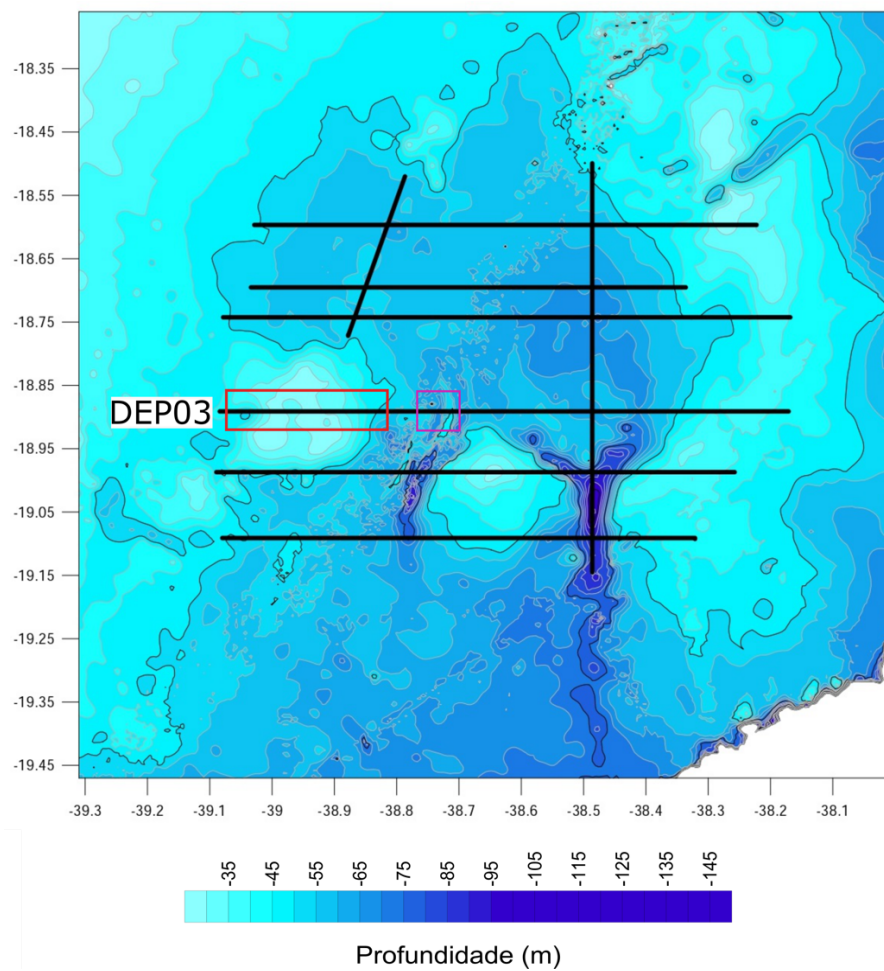


Figura 26 - Mapa batimétrico da PCA com a região do perfil sísmico apresentado da linha DEP 03 em vermelho representando o banco oeste e rosa a deposição do braço oeste de Besnard.

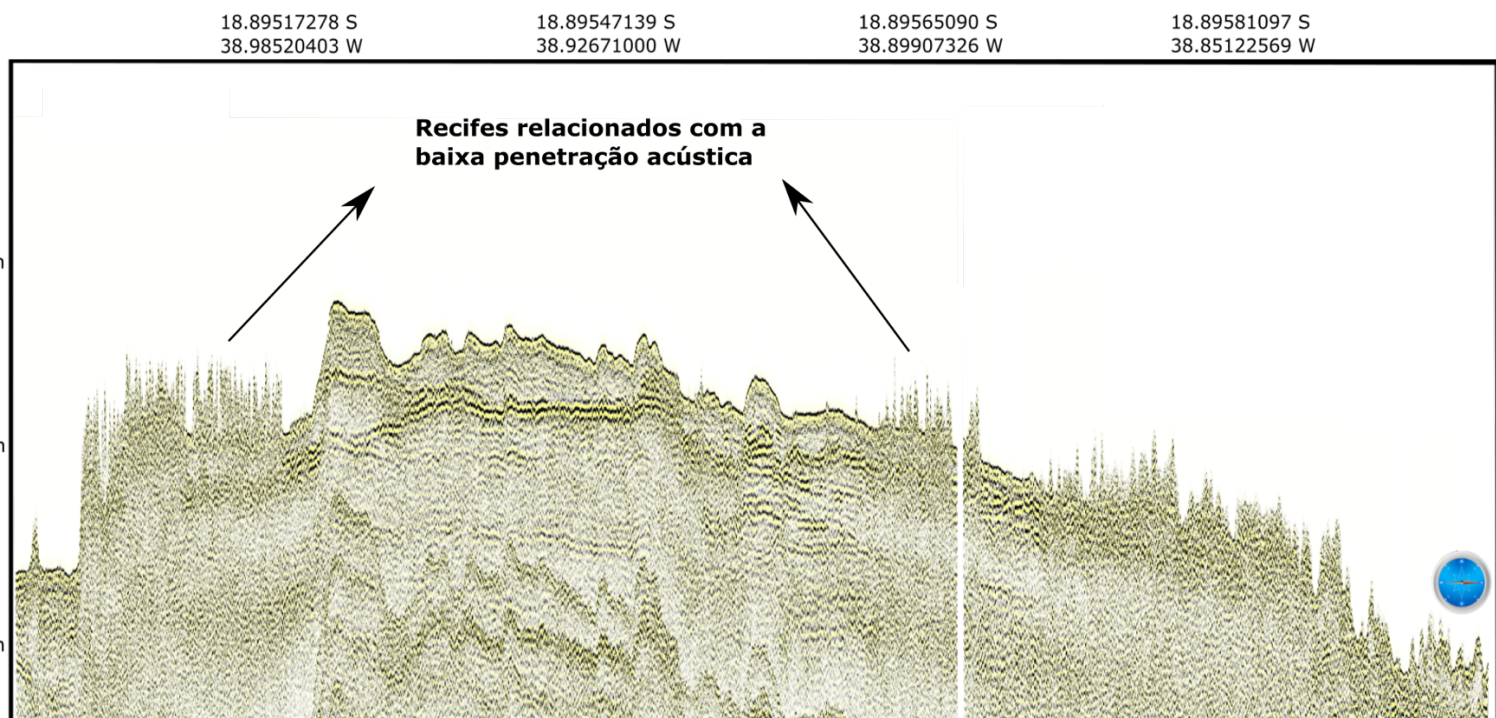


Figura 27 - Trecho da seção sísmica mostrando o banco oeste e recifes associados a trechos de baixa penetração acústica.

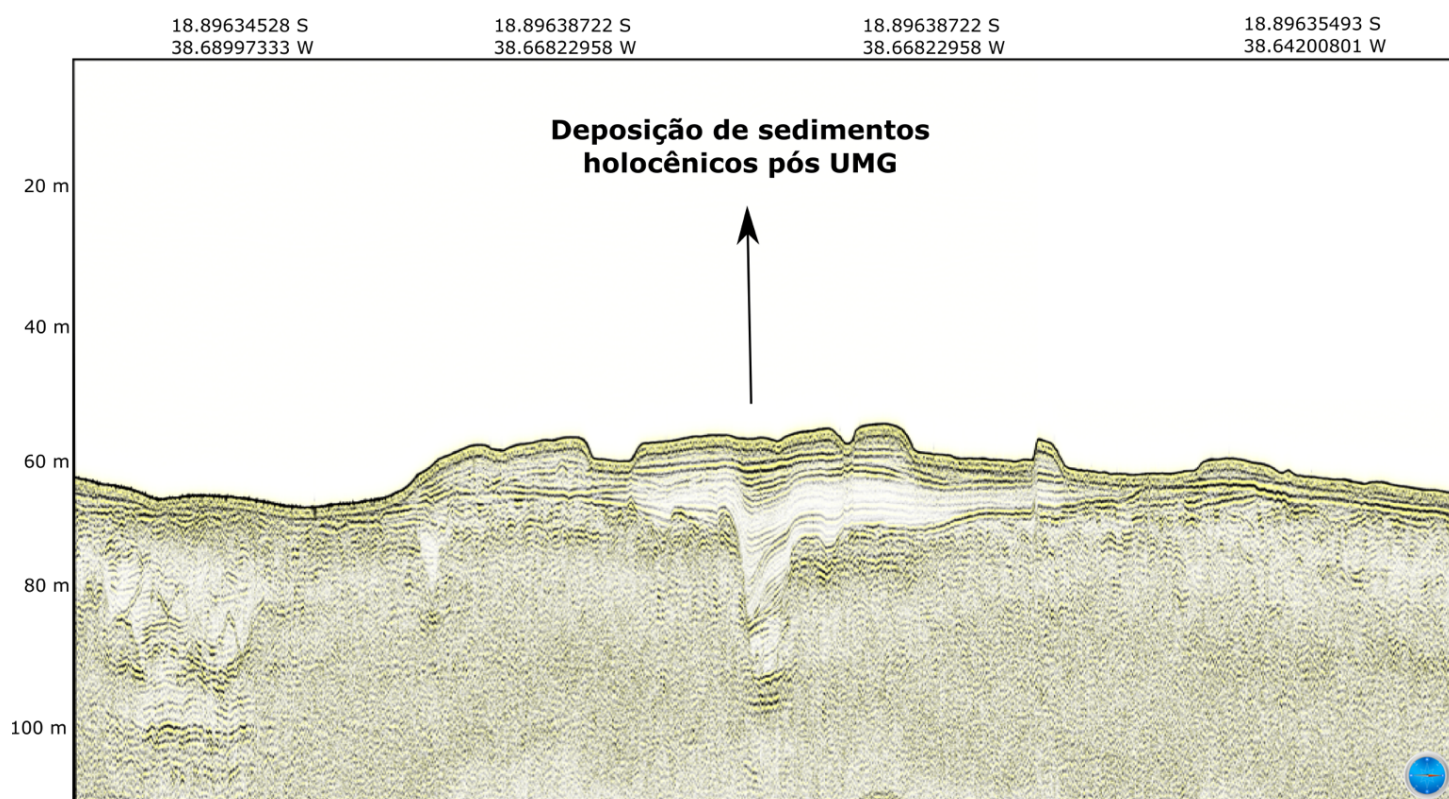


Figura 28 - Trecho da seção sísmica mostrando o depósito de sedimentos pós UMG na região do braço oeste do canal Besnard.

Linha DEP 3A

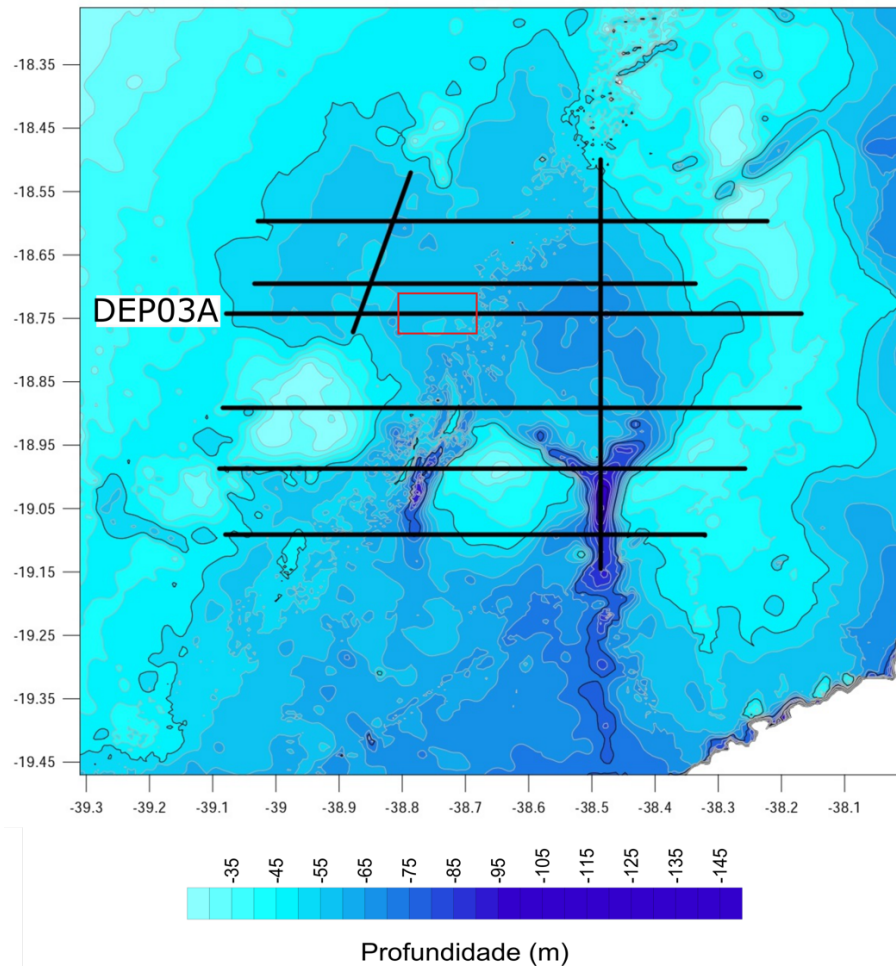


Figura 29 - Mapa batimétrico da PCA com a região do perfil sísmico apresentado da linha DEP 03A em vermelho.

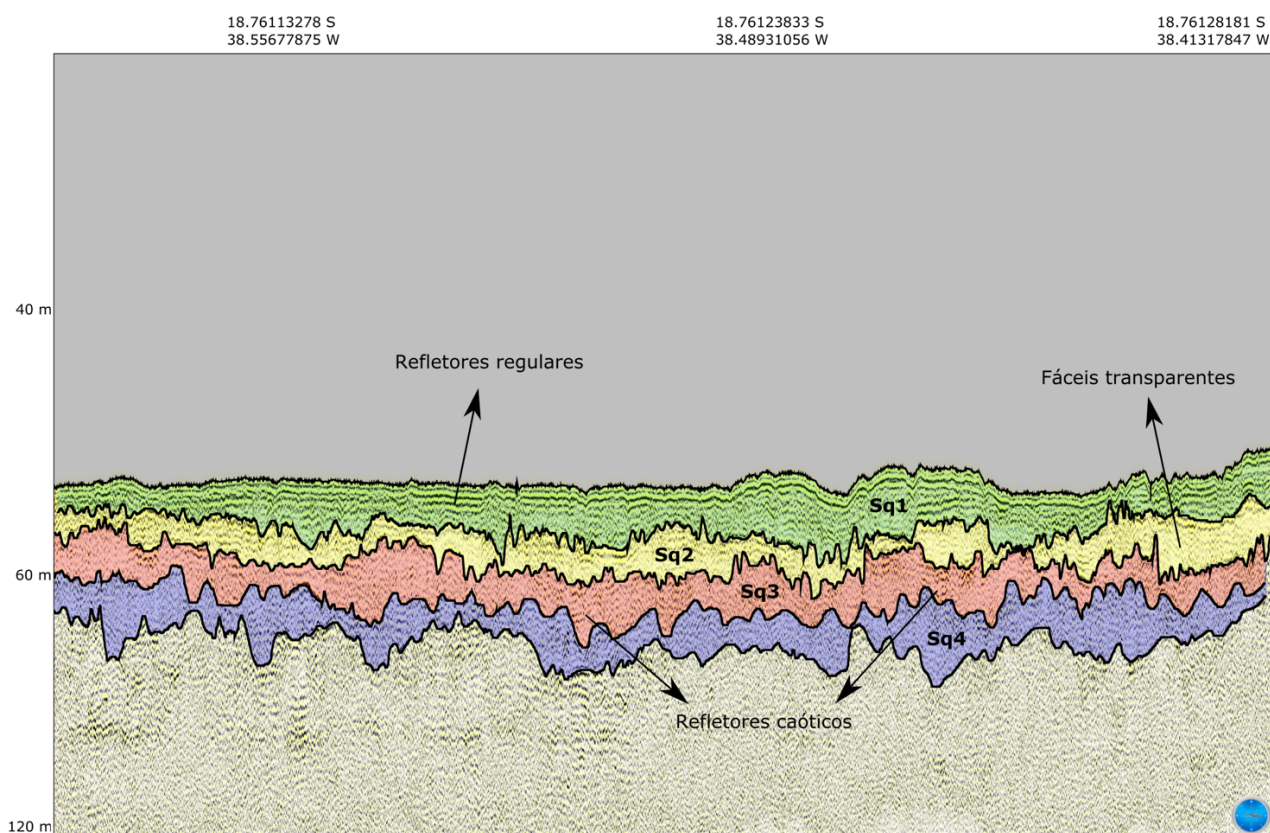
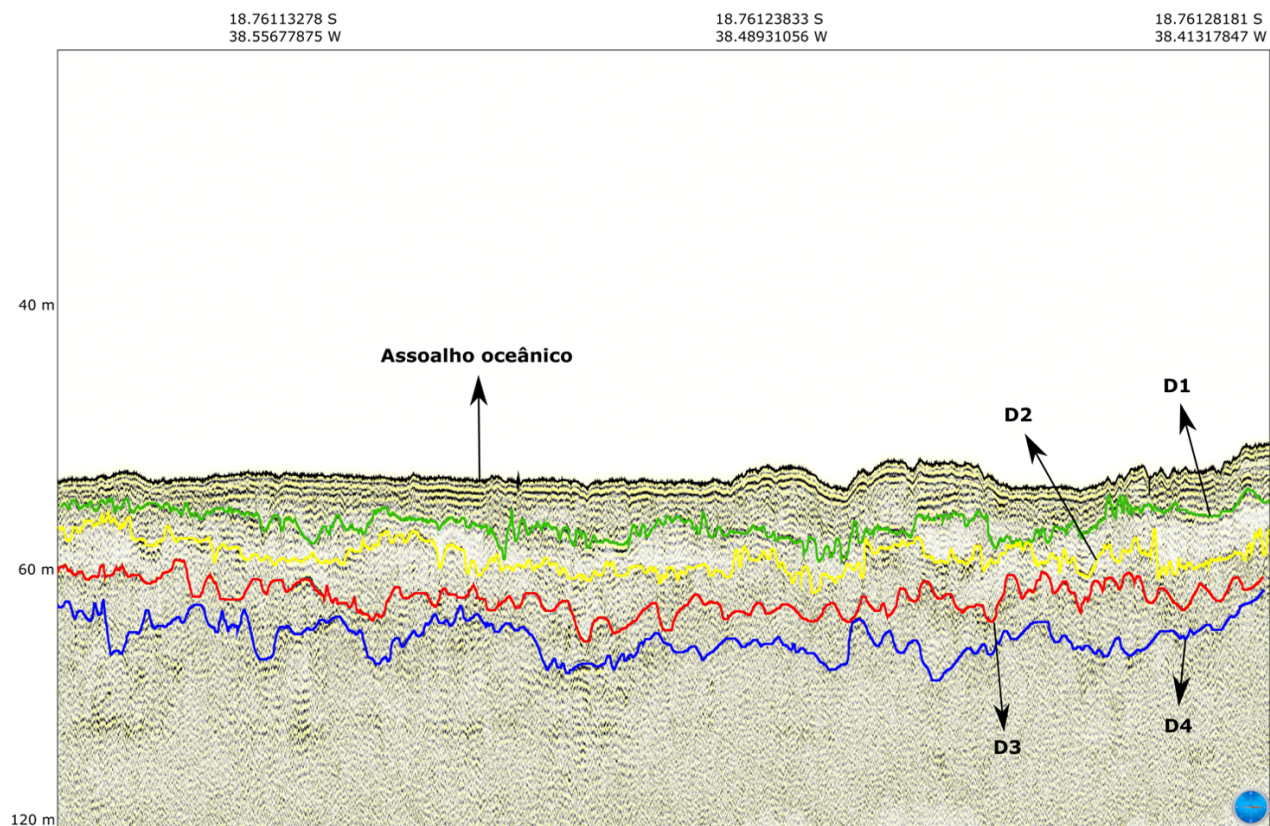


Figura 30 - Seção sísmica superior com discordâncias erosivas (D1, D2, D3, D4) e assoalho oceânico. Perfil sísmico inferior com sequências sísmicas (Sq1, Sq2, Sq3, Sq4) e principais terminações sísmicas.

Linha DEP 04

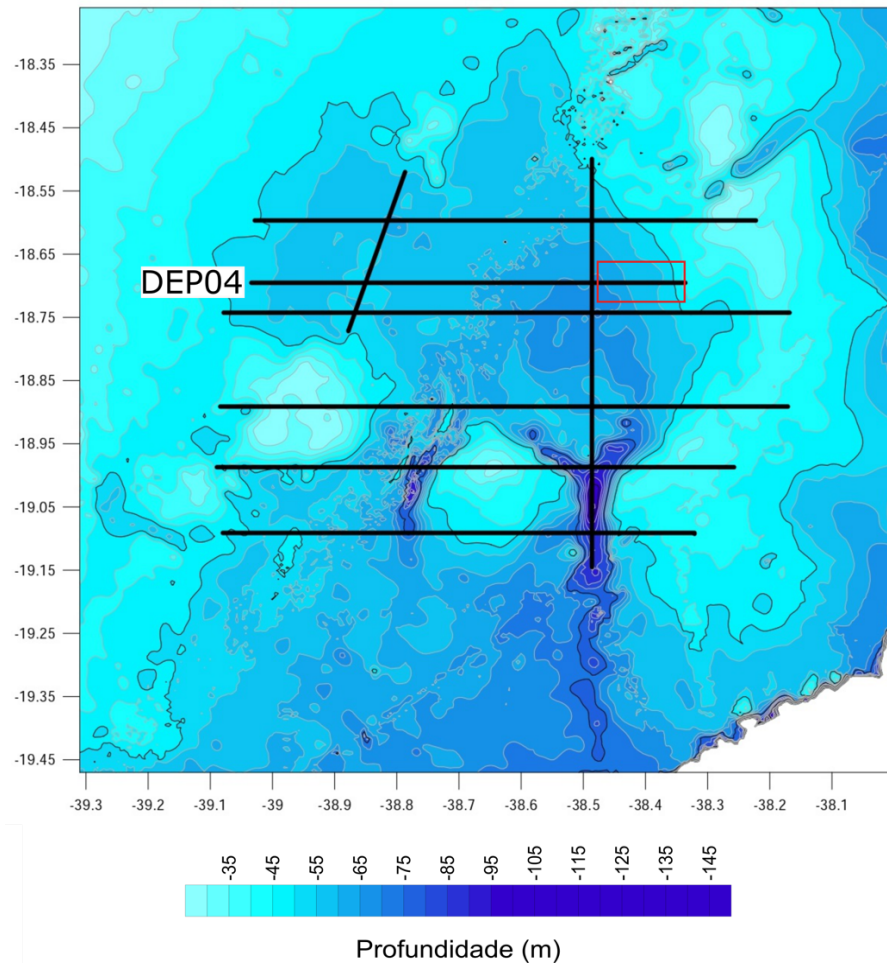


Figura 31 - Mapa batimétrico da PCA com a região do perfil sísmico apresentado da linha DEP 04 em vermelho.

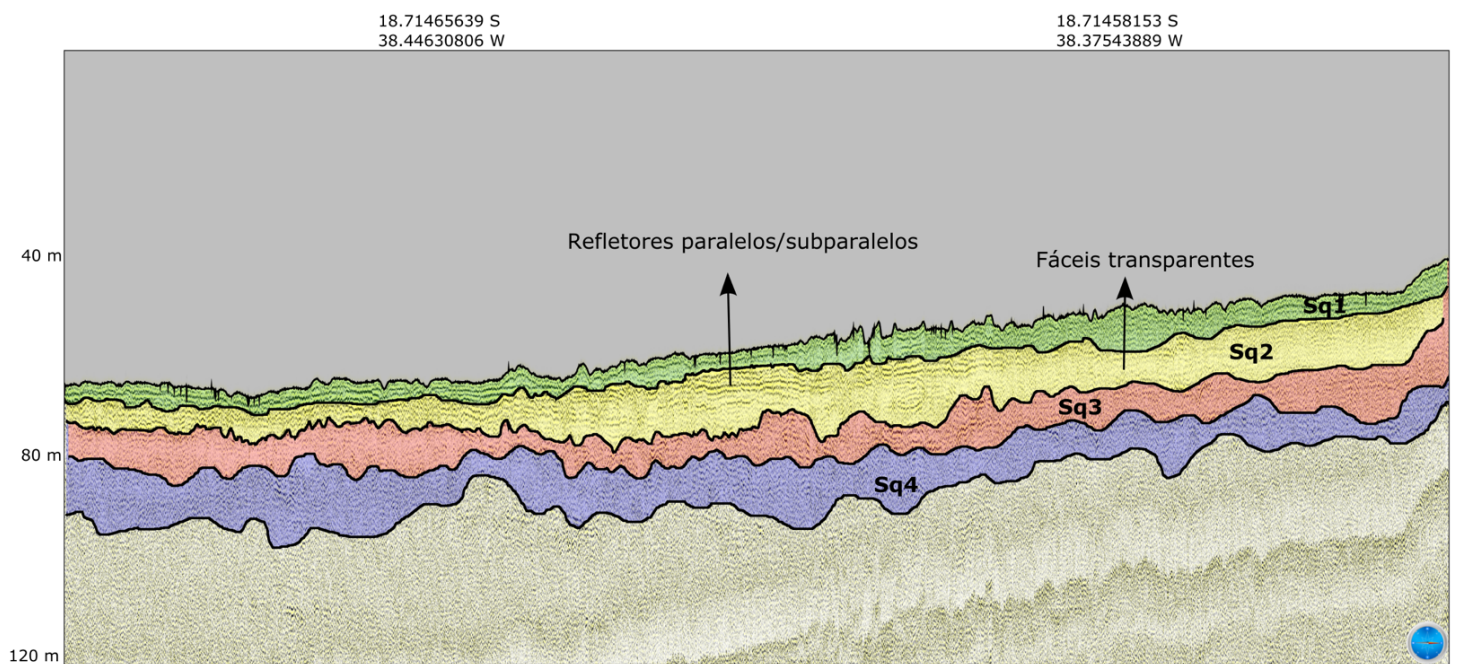
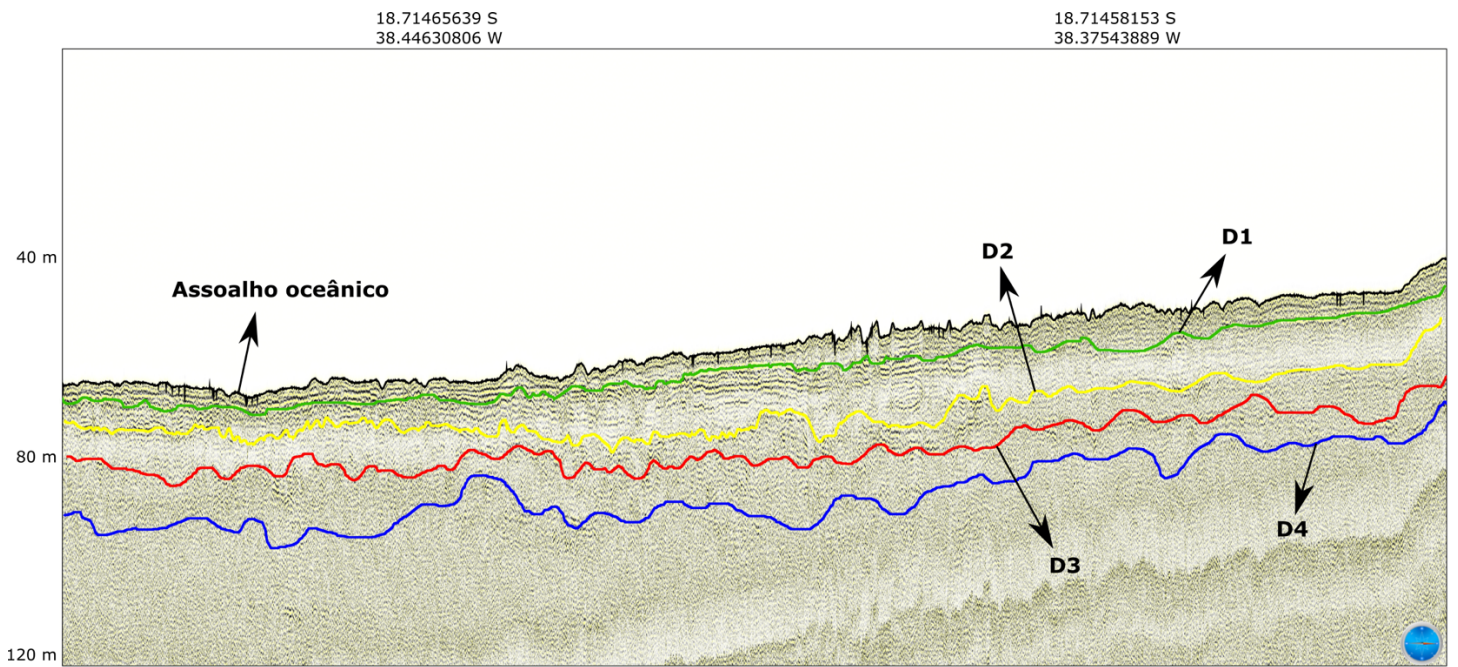


Figura 32 - Seção sísmica superior com discordâncias erosivas (D1, D2, D3, D4) e assoalho. Perfil sísmico inferior com seqüências sísmicas (Sq1, Sq2, Sq3, Sq4) e principais terminações sísmicas.

Linha DEP 07

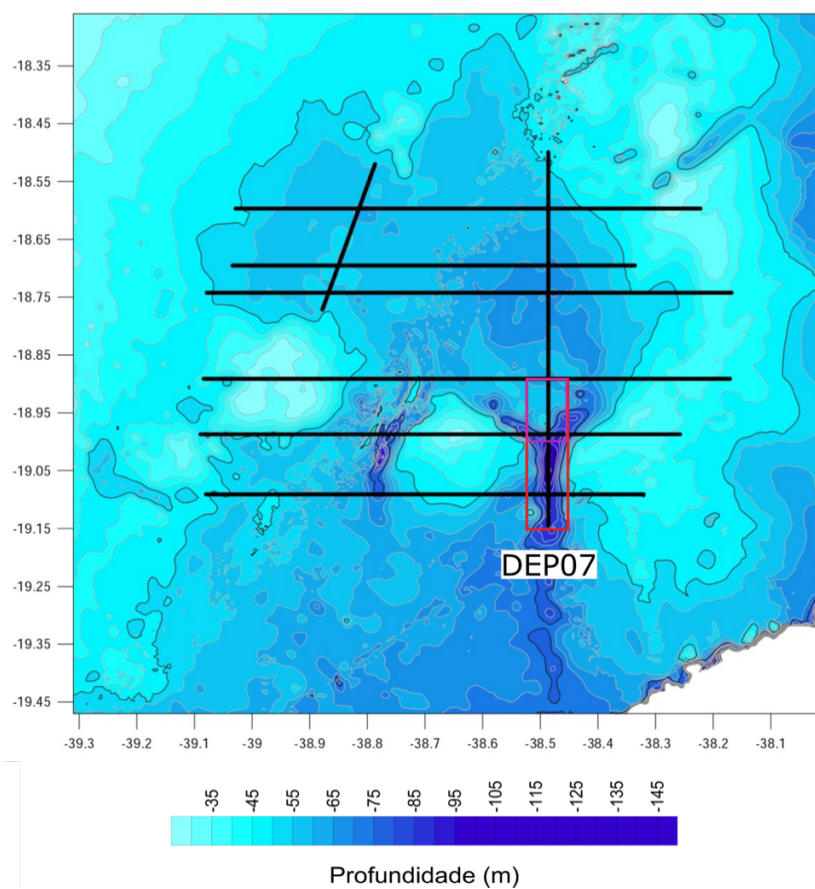


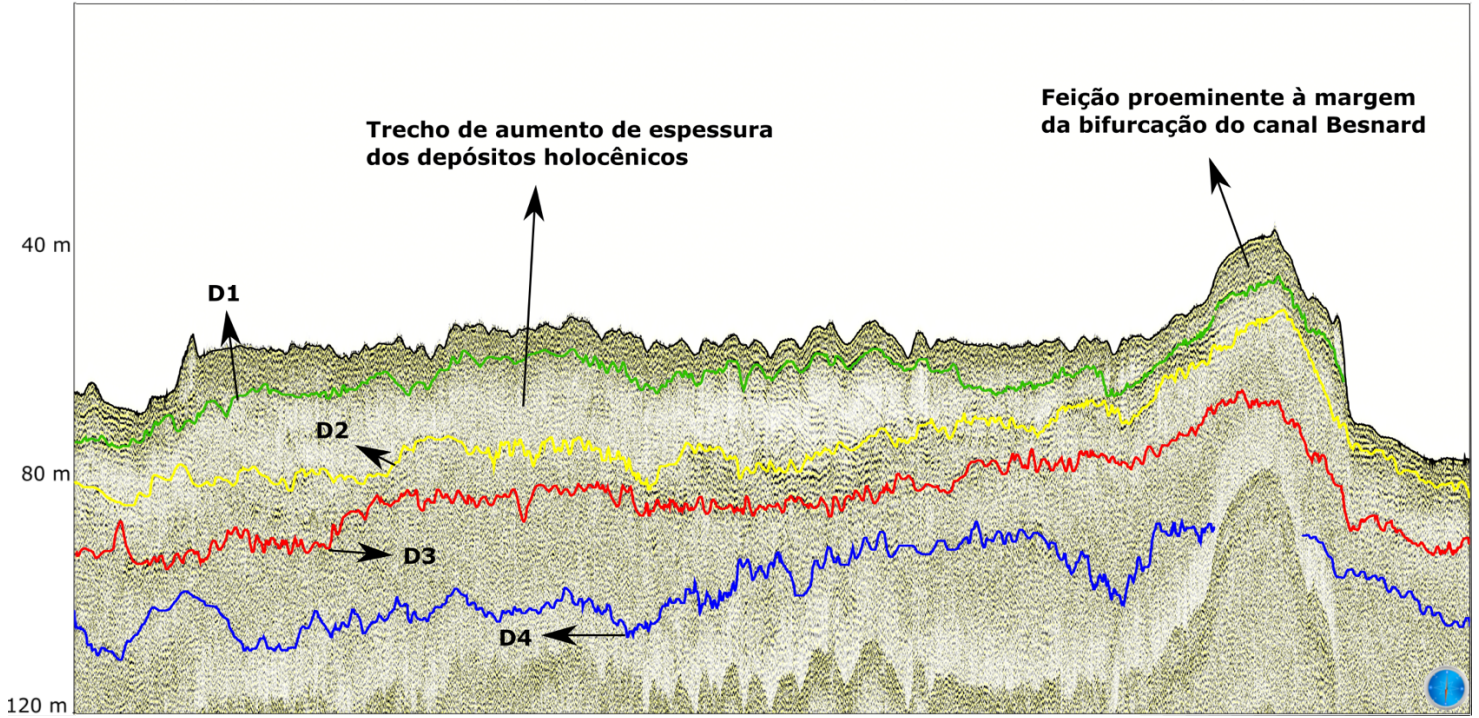
Figura 33 - Mapa batimétrico da PCA com a região do perfil sísmico apresentado da linha DEP 07, em vermelho é representado o perfil maior e em rosa o trecho menor.

18.90755889 S
38.48733625 W

18.92575972 S
38.48728764 W

18.94345472 S
38.48720014 W

18.96085972 S
38.48731250 W



18.90755889 S
38.48733625 W

18.92575972 S
38.48728764 W

18.94345472 S
38.48720014 W

18.96085972 S
38.48731250 W

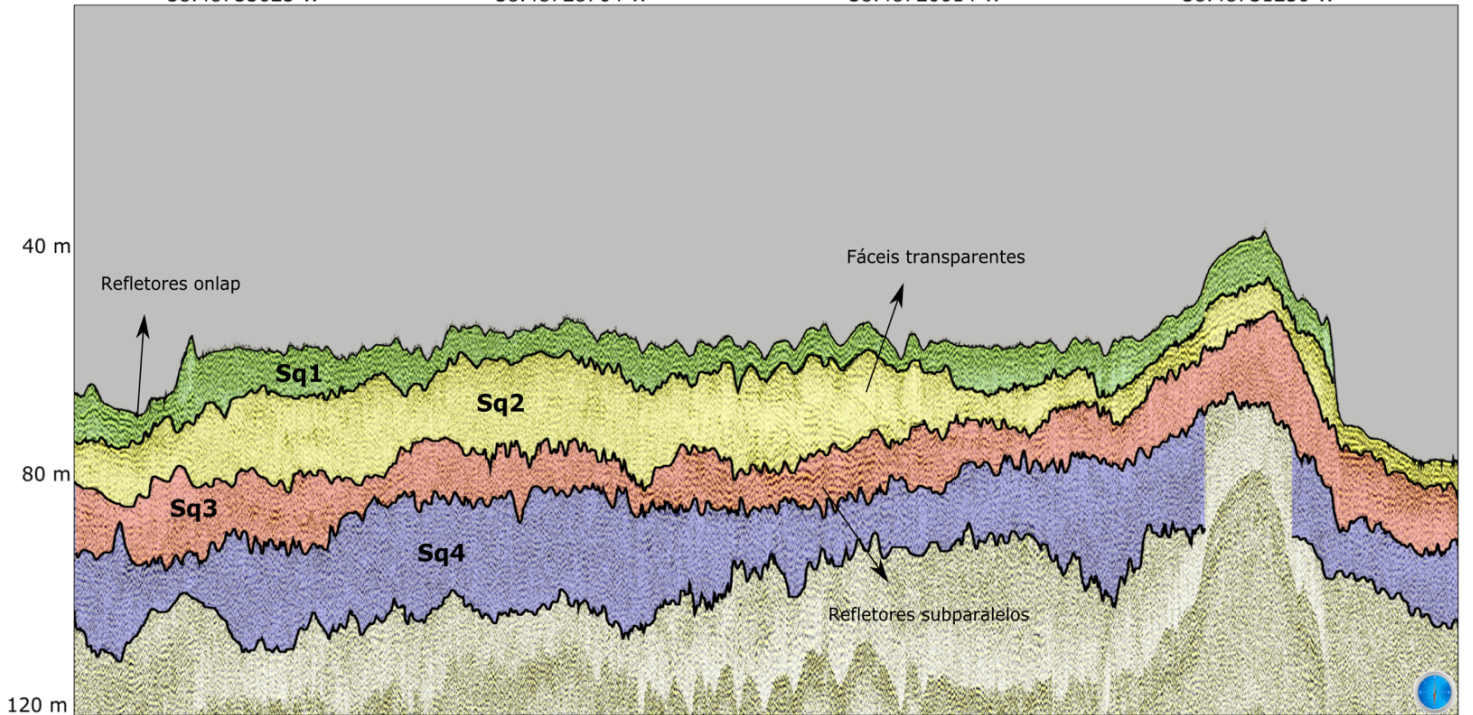


Figura 34 - Seção sísmica superior com discordâncias erosivas (S1, S2, S3, S4), trecho com aumento de espessura de deposição holocênica, uma feição proeminente à margem da bifurcação do canal Besnard e assoalho oceânico. Perfil sísmico inferior com sequências sísmicas (Sq1, Sq2, Sq3, Sq4) e principais terminações.

18.92575972 S
38.48728764 W

18.96085972 S
38.48731250 W

19.02232157 S
38.48702659 W

19.09666542 S
38.48676014 W

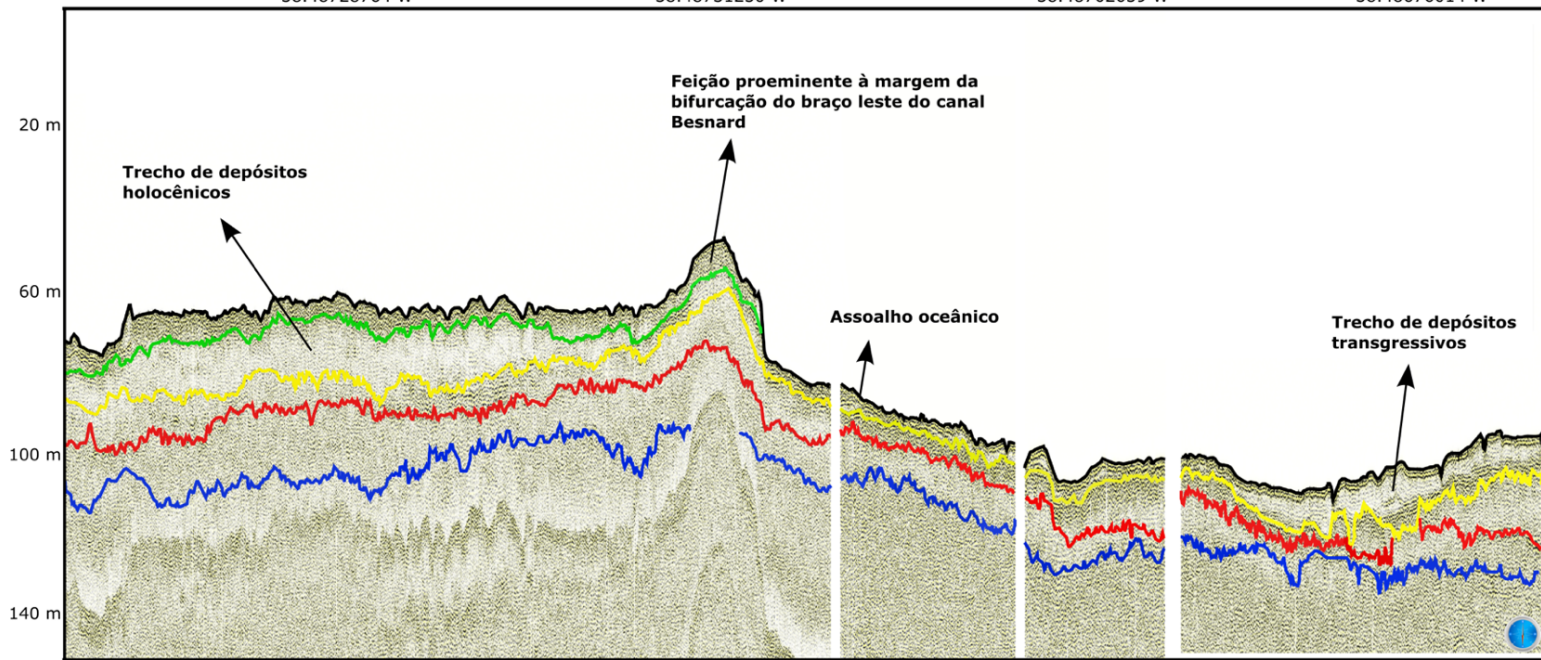


Figura 35 - Trecho da seção sísmica mostrando trechos de depósitos (a direita preenchimento de canal do braço leste de Besnard, a esquerda depósitos holocênicos) e uma feição proeminente.

6. DISCUSSÃO

A análise sismoestratigráfica das sequências deposicionais mapeadas ao longo da PCA indica que a atual morfologia desta plataforma é influenciada por topografias antecedentes desde os últimos 300 mil anos (D'Agostini, 2017).

A arquitetura sísmica corresponde a sucessões de eventos deposicionais que resultaram no empilhamento de 4 principais sequências sísmicas mapeadas (Sq1, Sq2, Sq3 e Sq4), no topo e na base, sugerem a atuação de processos erosivos relacionados a longos períodos de exposição subaérea.

Com auxílio dos trabalhos de Bastos *et al.* (2013; 2016), D'Agostini (2015; 2017) e Cetto (2018) foram realizadas as interpretações das sequências sísmicas. A sequência mapeada como Sq1 possui deposição possivelmente referente ao período de transgressão máxima da Plataforma Continental de Abrolhos, as configurações transparentes e prismáticas nestes depósitos indicam um predomínio de carbonatos que foram depositados durante a transgressão marinha e atual níveis de mar alto (D'Agostini *et al.*, 2015). As sequências Sq2, Sq3 e Sq4 foram interpretadas por Bastos *et al.* (2013; 2016) como discordâncias subaéreas formadas durante os estágios isotópicos marinhos (MIS), 2, 6 e 8.

As sequências sísmicas mapeadas e limitadas pelas discordâncias subaéreas D1, D2, D3 e D4 representam sequências deposicionais formadas durante as oscilações dos ciclos glacio-eustáticos.

A interpretação sismoestratigráfica reconheceu a sequência mais rasa Sq1 possivelmente referente a superfície de transgressão máxima, Sq2 como uma discordância erosiva representativa do limite superior do Pleistoceno, associada aos eventos de exposição subaérea e/ou erosão fluvial do Último Máximo Glacial - estágio MIS2 e nas discordâncias mais profundas, correlacionáveis com eventos de glaciação anteriores nas superfícies Sq3 associadas com MIS 6 e Sq4 associadas com MIS 8.

Os paleocanais presentes apresentam um importante indicador para a análise da evolução dos processos que construíram o sistema fluvial. Os paleo-canais encontrados apresentam seus arcaibouços definidos pela superfície erosiva base de D2 (UMG), com

expressão batimétrica na morfologia de fundo, os maiores pronunciamentos nas incisões fluviais são no Canal Besnard, que é uma feição bastante importante no contexto fisiográfico da região. Foi possível identificar a disposição dos braços oeste e leste de Besnard e considera-se que a maturidade do braço oeste é maior que a maturidade do braço leste.

Nos perfis sísmicos em trechos que abrangem altos topográficos como no banco central (localizado entre os braços oeste e leste do Canal Besnard) e no banco situado à oeste-sudeste da Depressão de Abrolhos, é visualizada atenuação do sinal, com baixa penetração do sinal acústico, segundo Cetto (2018) no contexto da área de estudo, essa atenuação do sinal associa-se possivelmente à construções biogênicas, correspondentes aos recifes que foram afogados durante a transgressão holocênica. É possível observar essas regiões recifais nas figuras 24 e 27.

7. CONCLUSÃO

No presente trabalho foi analisado o emprego da sísmica de reflexão para análise da morfologia do fundo marinho, identificação de padrões de refletores e feições deposicionais associadas à última glaciação, localização de paleocanais e identificação de recifes e bancos na região da Plataforma Continental de Abrolhos. A sísmica de alta resolução na Depressão de Abrolhos apresentou dados inéditos da região, com grande importância científica e complementa estudos realizados em áreas próximas.

A interpretação sísmica possibilitou a identificação de 4 superfícies principais, definidas a partir de fácies sísmicas presentes na região e na configuração de refletores de cada uma delas, limitadas na base e no topo por discordâncias erosivas, são elas: D1 possivelmente referente a superfície de transgressão máxima, D2 referente ao referente ao Último Máximo Glacial – estágio isotópico marinho 2, D3 e D4 referentes aos estágios isotópicos marinhos 6 e 8. Tal como a caracterização das fácies sísmicas, os principais padrões de terminações sísmicas encontradas foram: refletores onlap, downlap, toplap, refletores subparalelos, refletores regulares, refletores caóticos, fácies transparentes. Também foi realizada a apresentação da morfologia dos bancos (central e oeste), paleocanais com arcabouços definidos pela superfície erosiva base de Sq2 e estruturas recifais verificadas por trechos de atenuação do sinal encontradas em regiões de protuberância topográfica. No contexto geológico possibilitaram a inferência dos padrões deposicionais Holocênicos pós UMG, compreensão da evolução de sistemas carbonáticos-siliciclásticos mistos durante o Quaternário Superior, contribuição com o reconhecimento dos estágios de evolução paleogeográfica da Plataforma de Abrolhos, desde o primeiro estágio de incursão marinha até a fase atual, o desenvolvimento de estruturas recifais que ocorrem preferencialmente sobre antigos depósitos costeiros. Propiciando, portanto, uma provável compreensão dessa região e a avaliação de sua complexidade.

Os resultados obtidos estão de acordo com àqueles postulados por Bastos *et al.* (2013; 2016), D'Agostini (2015; 2017) e Cetto (2018), quanto à sismoestratigrafia, paleotopografia, a sedimentação característica da região. Por fim, com os resultados obtidos nessa monografia, sugere-se a coleta de testemunhos de sondagem da região para correlacionar as respostas obtidas pelo método geofísico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO-FILHO, G. M., MOURA, R. L., BASTOS, A. C., SALGADO, L. T., SUMIDA, P. Y., GUTH, A. Z., FRANCINI-FILHO, R. B., PEREIRA-FILHO, G. H., ABRANTES, D. P., BRASILEIRO, P. S., BAHIA, R. G., LEAL, R. N., KAUFMAN, L., KLEYPAS, J. A., FARINA, M. & BAHIA, R. G. Rhodolith beds are major CaCO₃ bio-factories in the tropical South West Atlantic. *PloS one*, 7(4), e35171, 2012.

ARTUSI, L., FIGUEIREDO JR, A. G. Sismoestratigrafia rasa da plataforma continental de Cabo Frio – Araruma – RJ. *Revista brasileira de geofísica* (2007) 25(Supl. 1): 7-16. 10 p, 2007.

AYRES, N. A. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. *Revista Brasileira de Geofísica*. Vol. 18(3). p 241, 2000.

BASTOS, A. C., MOURA, R. L., AMADO-FILHO, G. M., D'AGOSTINI, D. P., SECCHIN, N. A., FRANCINI-FILHO, R. B., & THOMPSON, F. L. Buracas: novel and unusual sinkhole-like features in the Abrolhos Bank. *Continental Shelf Research*, 70, 118-125, 2013.

BASTOS, A. C., QUARESMA, V. S., MARANGONI, M. B., D'AGOSTINI, D. P., BOURGUIGNON, S. N., CETTO, P. H., COLLINS, M. Shelf morphology as an indicator of sedimentary regimes: A synthesis from a mixed siliciclastic-carbonate shelf on the eastern Brazilian margin, 2015.

BASTOS, A. C., AMADO-FILHO, G. M., MOURA, R. L., SAMPAIO, F. M., BASSI, D., & BRAGA, J. C. Origin and sedimentary evolution of sinkholes (buracas) in the Abrolhos continental shelf, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 462, 101-111, 2016.

BERTOLDI, L. P. Mapamento do fundo marinho na região da Depressão de Abrolhos, localizada ao sul do banco de Abrolhos-Bahia/Brasil. Projeto de trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em oceanografia e ecologia da Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, 49 p, 2013.

BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG*, 2003.

Boletim da Sociedade Brasileira de Geofísica. Sísmica marinha: aquisição. ISSN 2177-9090, 2012.

CATUNEANU, O. Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls. *Journal of African Earth Sciences*, 35(1), 1-43, 2002.

CATUNEANU, O. *Principles of Sequence Stratigraphy*, Oxford, Elsevier, 2006.

CATUNEANU, O., ABREU, V., BHATTACHARYA, J. P., BLUM, M. D., DALRYMPLE, R. W., ERIKSSON, P. G., FIELDING, W.L., FISHER, W.E., GALLOWAY, M.R., GIBLING, K.A., GILSK, J.M., HOLBROOK, R., JORDAN, C.G.ST.C., KENDALL, B., MACURDAO, O.J., MARTINSEN, A.D.,

MIALLQ, J.E., NEALB, D., NUMMEDALR, L. POMARS, H.W., POSAMENTIERT, B.R., PRATTU, J.F., SARGV, K.W., SHANLEYW, R.J., STEELH, A., STRASSERX, M.E. TUCKERY, & GILES, K. A. Towards the standardization of sequence stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, 92, 1-33, 2009.

CETTO, P. H., BASTOS, A. C., IANNIRUBERTO, M. Patamares, recifes mesofóticos e paleocanais: evidências de variabilidade eustáticas pós UMG na plataforma continental sul de Abrolhos, Espírito Santo – Brasil. Poster apresentado no I Simpósio Brasileiro de geologia e geofísica marinha. 1 p, 2018.

CORDANI U.G., BLAZECOVIC A., 1970. Idades Radiométricas das Rochas Vulcânicas dos Abrolhos. In: SBG, Congr. Bras.Geol. XXIV, Anais, p.265-270, 1970.

CORDANI, U. G; SATO, K. Crustal Evolution of the South American Platform, based on Nd isotopic systematics on granitoid rocks, 2000.

CORDANI, U. G; TEIXEIRA, W. Proterozoic accretionary belts in the Amazonian Craton. *The Geological Society of America*.2007 in Hatcher, R.D., Jr., Carlson, M.P., McBride, J.H., and Martínez-Catalán, J.R., eds., *4-D Framework of Continental Crust: Geological Society of America Memoir*. 2007.

DHANAK, M. R., XIROS. N. I. *Springer Handbook of Ocean Engineering*, 1345p, 2016.

D'AGOSTINI, D. P., BASTOS, A. C., REIS, A. T. 2015. The modern mixed carbonate-siliciclastic Abrolhos shelf: implications for a mixed depositional model. *Journal of Sedimentary Research*, 2015, v. 85, 124-139. 16 p, 2015.

D'AGOSTINI, D. P. 2017. A Plataforma Continental de Abrolhos: contexto paleoambiental, sismoestratigrafia e domínios sedimentares. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em oceanografia ambiental da Universidade do Espírito Santo, UFES, 139 p, 2017.

DOMINGUEZ, J.M.L., WANLESS, H.R. Facies architecture of a falling sea-level strandplain, Doce River coast, Brazil. In: Swift, D.J.P., Oertel, G.F., Tillman, R.W., Thorne, J.A. (Eds.), *Shelf Sand and Sandstone Bodies: Geometry, Facies and Sequence Stratigraphy*, vol. 14. International Association of Sedimentologists Special Publication, pp. 259e281, 1991.

DOMINGUEZ, J.M.L., MARTIN, L., BITTENCOURT, A.C.S.P. Sea-level history and the Quaternary evolution of river mouth e associated beach-ridge plains along the east-southeast coast of Brazil: a summary. In: Nummedal, D., Pilkey, D.H., Howard, J.D. (Eds.), *Sea-level Fluctuation and Coastal evolution*.Tulsa, Okla, SEPM Geology, pp. 115e127 (SEPM Special Publication, N. 41), 1987.

DOMINGUEZ, J.M.L. The coastal zone of Brazil. In: Dillenburg, S., Hesp, P.A. (Eds.), *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Lecture Notes in Earth Sciences. Springer, Berlim, pp. 17e51, 2009.

EVERETT, M. E. *Near-Surface Applied Geophysics*. Cambridge University Press, 1a edição, 442 pp, 2013.

HOLZ, M. Estratigrafia de sequências. Departamento de geofísica, Instituto de Geociências da UFBA. 17 p, 2013.

KEAREY, P; BROOKS, M.; HILL, I. An Introduction to Geophysical Exploration. Third Edition. BlackWell Science. 265p. 2002.

Leão, Z. M. A. N., & Ginsburg, R. N. Living reefs surrounded by siliciclastic sediments: the Abrolhos coastal reefs, Bahia, Brazil. In Proc 8th Int Coral Reef Symp (Vol. 2, pp. 1767-1772), 1997.

LEÃO, Z. M. A. N. Abrolhos, BA - O complexo recifal mais extenso do Atlântico Sul. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D. de A.; Queiroz, E. T.; Winge, M.; Berbert- Born, M. L. C.. Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil. Brasília: DNPM, 2002. p 345-359, 2002.

LEÃO Z. M. A. N.; OLIVEIRA M. D M; KIKUCH R. K. P. Os recifes de coral da APA Ponta da Baleia, Bahia. OLAM Ciência & Tecnologia - Rio Claro / SP, Brasil, Ano VIII, Vol. 8, nº.1, p. 287-315, 2008.

MELGAÇO, P. P. P. de S. Análise Morfológica do Alto de Cabo Frio e sua Influência na Sedimentação na Porção Sul da Bacia de Campos. Monografia apresentada para título de bacharel em Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2010.

MELO U.; SUMMERHAYES C. P.; ELLIS J. P. Salvador to Vitoria, Southeastern Brazil. Contr. Sedimentology, 4. Parte IV. p. 78-116, 1975.

MCGEE, T. M. High-Resolution Marine Reflection profiling for engineering and environmental purposes. Part A: Acquiring analogue seismic signals. J. Appl. Geophys. 33(4):271-285, 1995.

MCNEE, E.D., WEIR, G.W. Terminology for stratification and cross-stratification in sedimentary rocks. Bulletin of the Geological Society of America, 64: 381-389, 1953.

MITCHUM JR. R. M., VAIL, P. R., SANGREE, J. B. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 6: Seismic stratigraphy interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequence. In: PAYTON, C. E. (ed.). Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration, AAPG Memoir 26. Edwards Brothers Inc. Ann Arbor, Michigan. p. 117-133, 1977.

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

MOHRIAK, W.U. Interpretação geológica e geofísica da Bacia do Espírito Santo e da região de Abrolhos: petrografia, datação radiométrica e visualização sísmica das rochas vulcânicas. Boletim Geociências. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 133-142, nov. 2005/maio 2006.

MOHRIAK, W. U. Recursos energéticos associados à ativação tectônica mesozóico-cenozóica da América do Sul. A Evolução tectônica da Faixa Brasília. In Capítulo XVIII - Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. p 293-319, 2004.

MOTOKI, A., MOTOKI, K. F., & DE MELO, D. P. Caracterização da morfologia submarina da Cadeia Vitória-Trindade e áreas adjacentes, ES, com base na batimetria predita do TOPO versão 14.1. Revista Brasileira de Geomorfologia, 13(2), 2012.

MOURA, R. L., SECCHIN, N. A., AMADO-FILHO, G. M., FRANCINI-FILHO, R. B., FREITAS, M. O., MINTE-VERA, C. V., TEIXEIRA, J.B., THOMPSON, F.L., DUTRA, G.F., SUMIDA, P.Y.G., GUTH, A.Z., LOPES, R.M., AND BASTOS, A.C. & GUTH, A. Z. Spatial patterns of benthic megahabitats and conservation planning in the Abrolhos Bank. Continental Shelf Research, 70, 109-117, 2013.

MUEHE, D. O arquipélago de Abrolhos: geomorfologia e aspectos gerais. Departamento de Geografia, UFRJ. 12 p. Neto, A. A. 2001. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. Brazilian Journal of Geophysics, vol 18(3), 16 p, 2000.

NETO, A. N. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. Brazilian Journal of Geophysics, vol. 18 (3), 2001.

OLIVEIRA, L. C. de, Oliveira, R. M. A. G. de, Pereira, E. Seismic characteristics of the onshore Abrolhos magmatism, East-Brazilian continental margin. Marine and Petroleum Geology. 10.1016/j.marpetgeo.2017.10.016, 2017.

PEREIRA, C. M. Reconhecimento e mapeamento de fácies sísmicas em perfis sísmicos localizados na Lagoa dos Patos, RS – Brasil. Programa de pós-graduação em geociências Da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 73 p, 2008.

REYNOLDS, J. M. An introduction to applied and environmental geophysics. John Wiley and Sons, 2ª reimpressão. 796p, 1998.

SECCHIN, N. A. Mapeamento de Habitats Marinhos na Plataforma dos Abrolhos. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós- Graduação Oceanografia Ambiental, UFES, 72 pp, 2011.

SCHREINER, S., SOUZA, M. B. F. M., MIGLIORELLI, J. P. R. 2009. Modelo digital da geomorfologia do fundo oceânico do centro-sul da Bacia do Espírito Santo e norte da Bacia de Campos. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 17, n. 2, p. 365-369, maio/nov, 5p, 2009.

SHARMA, P.V. Environmental and Engineering Geophysics. Cambridge University Press. 475 ppSouza, L. A. P. 2006. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. Tese de doutorado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 311 p, 1997.

SOBREIRA, F. F. S., FRANÇA, R. L. Um modelo tectono-magmático para a região do Complexo Vulcânico de Abrolhos. . Boletim de geociências da Petrobrás, v. 14, n. 1, p. 143-147, nov. 2005/maio. 2006. 10 p, 2006.

SOUZA, L. A. P. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. Tese de doutorado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 311 p, 2006

SOUZA, L. A. P. A investigação sísmica de áreas submersas rasas: Parte 1 – Fundamentos e demandas. Artigo técnico, boletim da Sociedade Brasileira de Geociências. 10 p, 2008.

SUGUIO, K. Geologia do Quaternário e mudanças ambientais. Oficina de Textos, 2001.

SUGUIO, K., Martin, L., Bittencourt, A. C. S. P., Dominguez, J. M. L., Flexor J. M., Azevedo, A. E. G. Flutuações do nível relativo do mar durante o quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira, 1985.

SOUZA, C.R. de G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A.M.S.; OLIVEIRA, P.E. (eds.). Quaternário do Brasil. Holos Editora, Ribeirão Preto (SP). 378 p, 2005.

SUGUIO, K.; SALLUN, A. E. M. ; SOARES, E. A. A. . Período Quaternário: ?Quo Vadis??. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 35, n.3, p. 427-432, 2005.

TAGLIARI, C. V. Ambientes de sedimentação mista (siliciclástica e carbonática), cicloestratigrafia e halocinese durante o albio, plataforma de Regência, bacia do Espírito Santo. Programa de pós-graduação em geologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos. 211 p, 2013.

TEIXEIRA, B. P. Processamento Sísmico aplicado a dados de alta resolução para caracterização de feição geológica do fundo oceânico ao largo de Cabo Frio-RJ. Monografia apresentada para título de bacharel em Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2013.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. Applied Geophysics. 2nd ed. Cambridge University Press, New York. 859p, 1990.

TESSLER, M.G. E GOYA, S.C. Processos Costeiros Condicionantes do litoral Brasileiro. Revista do Departamento de Geografia, 2005.

TSCHIEDEL, F. E. Aspectos fisiográficos, sedimentológicos e estruturais do fundo marinho em uma área da porção central da bacia do Espírito Santo. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em oceanografia ambiental da Universidade do Espírito Santo, UFES, 149 p, 2012.

VICALVI, M. A., COSTA, M. P. A., KOWSMANN, R. O. Depressão de Abrolhos: uma paleolaguna holocênica na plataforma continental leste brasileira. Bolm Téc. Petrobrás, v. 21, p. 279-286, 1978.

SHERIFF, R. E., GELDART, L. P., Exploration seismology. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, xv, 592 p, 1995.

YILMAZ, O., Seismic Data processing, SEG., 1989.