

Universidade Federal Fluminense

Departamento de Geologia e Geofísica/Lagemar

Curso de Graduação em Geofísica

MONIQUE CRISTINA DE SÁ CHAVES

**RELAÇÃO DA AMPLITUDE E ECOCARÁTER SÍSMICOS COM O ESTOQUE DE
CARBONO EM UMA BAÍA SUBPOLAR (BAÍA DO ALMIRANTADO, ILHA REI
GEORGE, ARQUIPÉLAGO DAS SHETLANDS DO SUL, ANTÁRTICA MARÍTIMA)**

Niterói

2017

MONIQUE CRISTINA DE SÁ CHAVES

**RELAÇÃO DA AMPLITUDE E ECOCARÁTER SÍSMICOS COM O ESTOQUE DE
CARBONO EM UMA BAÍA SUBPOLAR (BAÍA DO ALMIRANTADO, ILHA REI
GEORGE, ARQUIPÉLAGO DAS SHETLANDS DO SUL, ANTÁRTICA MARÍTIMA)**

Projeto Final II apresentado à Universidade
Federal Fluminense como requisito parcial para a
obtenção do grau Bacharel em Geofísica

Orientador: Humberto Marotta Ribeiro

Co-orientador: Arthur Ayres Neto

Niterói

2017

C512 Chaves, Monique Cristina de Sá
Relação da amplitude e ecocaráter sísmicos com o estoque de carbono em uma baía subpolar (Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Arquipélago das Shetlands do Sul, Antártica Marítima) / Monique Cristina de Sá Chaves. – Niterói : [s.n.], 2017.
50 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geofísica) –
Universidade Federal Fluminense, 2017.

1.Geofísica marinha. 2.Estoque de Carbono Orgânico. 3.Baía do Almirantado. 4.Amplitude sísmica. 5.Ecocaráteres. I.Título.

CDD 551.4608

MONIQUE CRISTINA DE SÁ CHAVES

RELAÇÃO DA AMPLITUDE E ECOCARÁTER SÍSMICOS COM O ESTOQUE DE CARBONO EM UMA BAÍA SUBPOLAR (BAÍA DO ALMIRANTADO, ILHA REI GEORGE, ARQUIPÉLAGO DAS SHETLANDS DO SUL, ANTÁRTICA MARÍTIMA)

Projeto Final II apresentado à Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do grau Bacharel em Geofísica

Aprovado em: ___/___/___

Prof. Dr. Humberto Marotta (Orientador) - UFF

Prof. Dr. Arthur Ayres Neto (Co-Orientador) – UFF

Prof. Dr. José Antônio B. Neto – UFF

Prof. Dr. Rodrigo Coutinho Abuchacra - UERJ

Agradecimentos

À minha família, pais, irmã, avós, tios e primos, que foram essenciais para que obtivesse sucesso durante esses anos de graduação. Obrigado a todo apoio financeiro e emocional ao longo desses anos, a toda dedicação e esforço para que eu pudesse ter uma formação de qualidade. Vocês são a razão de eu ter conseguido chegar até aqui.

Ao meu namorado e amor da minha vida, Vinicius, que sempre me incentivou e me deu força nos momentos que pensei em desistir ou estava triste por alguma nota baixa. E principalmente, muito obrigada por ter me apoiado quando decidi fazer o intercâmbio e ter compreendido que era um passo muito importante para meu crescimento pessoal e profissional. Eu te amo!

Aos amigos que a UFF me presenteou, a turma de 2012.1 que sempre levarei no meu coração, desde o dia do trote até os últimos encontros nos corredores. Em especial, quero agradecer à Camila Lima, Carolina Ferreira, Clara Porto, Danielle Lopes, Eloíse Policarpo, Esthephany Oliveira, Laisa Aguiar, Louise Aguiar e Maíra Cordeiro, que foram meus braços de apoio nessa jornada. Obrigada por todos os momentos de risadas, conselhos, gordices, papos cabeça sobre o futuro, resumos, listas, estudo em conjunto, ajuda no TCC, aventuras nos campos e tudo o mais. Muito obrigada por sempre acreditarem em mim e me fazerem sentir que sou especial. Sentirei uma saudade inexplicável do nosso dia a dia, eu amo vocês!

Agradeço à D. Marlene e a todas as minhas parceiras de república por toda a paciência e amizade que construímos durante esses anos. Muitas entraram e saíram, mas todas são especiais e lembrarei sempre com muito carinho de vocês. D. Marlene, eu não tenho palavras para agradecer a tudo que a senhora fez por mim durante esses anos, praticamente sendo minha mãe durante a semana. Nunca me esquecerei da senhora, muito obrigada!

Agradeço também os meus orientadores, Humberto Marotta e Arthur Ayres Neto, que foram os incentivadores para que este projeto fosse adiante, criando todas as oportunidades de aprendizado e experiências possíveis. Com certeza guardarei tudo que aprendi durante esses pouco mais de três anos de pesquisa para sempre. Agradeço especialmente à FAPERJ pelos dois anos de financiamento da pesquisa, à PROANTAR, INCT, CRIOSFERA e a Prof^a. Rosemary Vieira que foram fundamentais na coleta e análise de dados e testemunhos, fornecendo toda a estrutura necessária para tal, e ao Prof^o. Christian Sanders da Southern Cross University da Austrália, pelo suporte das análises químicas. E também a todos os alunos que me ajudaram imensamente nas atividades de laboratório, treinamentos e tudo o mais. Sou imensamente grata a vocês.

Por fim, agradeço a todos que não foram citados aqui, mas que tiveram alguma parcela de culpa por eu estar encerrando este ciclo tão importante na minha vida. Toda ajuda, mesmo que mínima, foi essencial para que de agora em diante eu possa dar início a essa nova fase. Muito obrigada.

Renda-se, como eu me rendi. Mergulhe no que você não conhece como eu mergulhei. Não se preocupe em entender, viver ultrapassa qualquer entendimento.

Clarisse Lispector

RESUMO

O ciclo do carbono em regiões subpolares vem sendo alvo de estudos nos últimos anos, visto que este tem o poder de reter o calor, um potencial aquecimento nessas regiões pode ocorrer em um futuro próximo, afetando todo o ecossistema presente. Paralelamente, ferramentas geofísicas vêm sendo utilizadas para auxiliar de forma rápida e prática nesses estudos, onde parâmetros acústicos se relacionam ao estoque de carbono orgânico. Neste sentido, levantamentos sísmicos ao longo de toda a Antártica, obtidos através de expedições, acumularam dados de extrema importância que possibilitam correlacionar padrões de reflexão com características do sedimento do fundo marinho, através da impedância acústica e ecocaráteres, viabilizando a caracterização do fundo através de mapas mais quantitativos e confiáveis. O objetivo deste estudo é avaliar a aplicação da utilização de ferramentas acústicas na determinação do teor de COT em sedimentos marinhos de altas latitudes em uma baía subpolar da Antártica Marítima (Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Arquipélago das Shetlands do Sul). Através da aplicação do método sísmico, foi possível mapear o fundo marinho das Ilhas Shetlands do sul, e separá-las em cinco regiões distintas através da identificação de ecocaráteres; e a partir das amplitudes sísmicas, um mapa da Baía do Almirantado foi gerado para estimar os valores de COT da região através da aplicação do modelo descrito por Ayres Neto *et al* (2016).

Palavras chave: Estoque de Carbono Orgânico. Amplitude Sísmica. Ecocaráteres. Baía do Almirantado.

ABSTRACT

The carbon cycle in subpolar regions has been the subject of studies in recent years, since it has the power to retain heat, a potential warming in these regions may occur in the near future, affecting the entire ecosystem. In parallel, geophysical tools have been used to help in a fast and practical way in these studies, where acoustic parameters are related to the organic carbon burial. Seismic surveys throughout Antarctic continent, obtained by expeditions, have accumulated very important data that is possible correlate reflection patterns with seabed sediment characteristics, through acoustic impedance and echocharacters, enabling the characterization of the seabed through more quantitative and reliable maps. The objective of this study is to determine the organic carbon (C) burial in the sediments through the correlation of seismic amplitude and total organic carbon (TOC) analysis in three cores from Admiralty Bay (South Shetlands Islands, Maritime Antarctic). Applying the seismic method, it was possible to map the seabed of the southern Shetland Islands, and separate them into five distinct regions by identifying echocharacters; and from the seismic amplitudes, a map of the Admiralty Bay was generated to estimate the TOC values of the region through the application of the model described by Ayres Neto *et al* (2016).

Key words: Organic Carbon Burial. Seismic Amplitude. Echocharacter. Admiralty Bay.

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1: Área de estudo destacando a Ilha de Rei George (painel menor inferior à direita), a Baía do Almirantado e a localização dos testemunhos (painel maior à esquerda).....	16
Figura 2: Temperaturas médias mensais na EACF entre 1986 e 2013 (CPTEC/INPE).....	16
Figura 3: Contexto tectônico das Ilhas Shetlands do Sul. (1) Ilha Clarence; (2) Ilha Elefante; (3) Ilha Rei George; (4) Ilha Nelson; (5) Ilha Robert; (6) Ilha Greenwich; (7) Ilha Livingston; (8) Ilha Snow; (9) Ilha Smith; (10) Ilha Low e (11) Ilha Deception (Lawver <i>et al.</i> , 1996).....	18
Figura 4: Esquema representativo dos ambientes glacio-marinhos: divisões e processos. (Conceição, 2009 modificado de Aquino, 1992).....	199
Figura 5: Vista panorâmica de uma geleira na Baía do Almirantado, Antártica (Magrani, 2011).....	19
Figura 6: Esquema representativo dos raios incidente, refletido e refratado sobre uma interface e a impedância acústica das camadas (Modificado de Reynolds, 2011).....	21
Figura 7: Propagação das ondas de corpo: (A) Onda P e (B) Onda S (Kearey <i>et al.</i> , 2009)....	23
Figura 8: Constantes elásticas: (A) Módulo de Young; (B): Módulo de compressão; (C): Módulo de rigidez e Módulo axial (Kearey <i>et al.</i> , 2009).....	24

Figura 9: Mapeamento dos horizontes do fundo no software Kingdom para posterior estudo das amplitudes (Magrani, 2011).....	25
Figura 10: Gráfico da concentração de COT a partir das análises geoquímicas vs COT a partir da amplitude sísmica (Ayres Neto <i>et al.</i> , 2016)	27
Figura 11: Princípio de Huygens (Reynolds, 2011).....	28
Figura 12: Atenuação progressiva de um pulso ao longo do tempo (Kearey <i>et al.</i> , 2009 baseado em Anstey, 1997).....	28
Figura 13: Perfis sísmicos dos cinco ecocaráteres encontrados na área de estudo	34
Figura 14: Ecocaráteres das Ilhas Shetlands do Sul, com a Baía do Almirantado em detalhe com a localização dos testemunhos (Eco I: vermelho; Eco II: verde; Eco III: amarelo; Eco IV: azul escuro; Eco V: azul piscina; CF1 20m: branco; CF3 30m: laranja; CF1 60m: azul claro e Alm 33: rosa).....	35
Figura 15: Distribuição do teor de COT (%) da Baía do Almirantado estimado através das amplitudes sísmicas com a localização dos testemunhos em detalhe.....	36
Figura 16: Representação gráfica dos teores de COT (%) ao longo de cada testemunho, dentro da resolução de cm.....	25 37
Tabela 1: Valores de COT (%) observados nas análises geoquímicas em cada testemunho.....	37

LISTA DE SIGLAS

C = carbono

COT = carbono orgânico total

CO = carbono orgânico

Ma = milhões de anos

SGY = formato padrão de dados sísmicos

EACF = Estação Brasileira Comandante Ferraz

Sumário

RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS.....	IX
LISTA DE SIGLAS.....	XI
1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVO GERAL	14
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
3.1. ÁREA E DELINEAMENTO DE ESTUDO	15
3.2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	17
3.3. AMBIENTES GLACIO-MARINHOS.....	18
3.4. SÍSMICA DE ALTA RESOLUÇÃO	21
3.4.2 Velocidade sísmica.....	23
3.4.3. Amplitude Sísmica	25
3.4.4. Atenuação da Amplitude	27
3.5. ECOCARÁTERES.....	29
3.6. CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT).....	30
3.7. MÉTODOS ANALÍTICOS	31
4. RESULTADOS.....	33
5. DISCUSSÃO	38
6. CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

1. Introdução

A caracterização geoacústica de sedimentos marinhos vem sendo alvo de estudos nos últimos anos (ex. Bartholomä, 2006; Cruz *et al.*, 2013; Mendonça *et al.*, 2013; Wöfl *et al.*, 2014; Daniell *et al.*, 2015; Ayres Neto *et al.*, 2016). As propriedades físicas desses sedimentos, especialmente relacionadas à sua massa e porosidade, têm sido amplamente utilizadas como úteis indicadores da composição química, da microestrutura, e até mesmo das condições ambientais prévias e atuais (Kim *et al.*, 2001). Dispositivos hidroacústicos incluindo sonar, batimetria e sísmica permitem, por sua vez, mapeamentos mais detalhados do fundo marinho (ex. Magorrian *et al.*, 1995; Kostylev *et al.*, 2001; Wöfl *et al.*, 2014), além de representarem alternativas mais rápidas e de menor custo em comparação às pouco eficientes técnicas convencionais, baseadas na amostragem de testemunhos. Dentre os atributos acústicos destacam-se a velocidade da onda P (V_p), a densidade (ρ) ou o produto de ambos denominado impedância acústica (Z).

A ciclagem de carbono nos oceanos é um componente chave de regulação do clima do planeta (Randerson *et al.*, 2015), pois compostos voláteis deste elemento apresentam a propriedade de reter calor na atmosfera e de contribuir para o aumento da temperatura da biosfera (Solomon *et al.*, 2010). Evidências prévias têm confirmado o papel da ciclagem metabólica entre as vias de apreensão e liberação de gases de C, a partir da síntese e degradação de matéria orgânica respectivamente, para determinar os estoques de C nos sedimentos do fundo dos oceanos (Burdige, 2005). Em escala global, os mares costeiros podem apresentar uma intensa fixação de C, tanto pela produção primária aquática (Duarte & Agustí, 1998; Isla *et al.*, 2002; Mcleod *et al.*, 2011) quanto pelos elevados aportes de matéria orgânica terrestre (Schubert & Calvert, 2001; Syvitski *et al.*, 2005) podendo constituir importantes sumidouros de C (Xuegang *et al.*, 2008). As águas costeiras apresentam processos biogeoquímicos dentre os mais intensos da biosfera, representando 80% de C depositado nos oceanos (Gattuso *et al.*, 1998), e recebendo por ano cerca de 0,4 Gt de carbono orgânico terrestre pelas descargas fluviais (Hedges *et al.*, 1997).

Em latitudes subpolares, as águas da Antártica Marítima podem apresentar altas taxas de produtividade primária durante os meses mais quentes do verão (Varela *et al.*, 2002), enquanto as baixas temperaturas anuais podem contribuir para tornar também elevadas, as taxas de acumulação de C nos sedimentos (Isla *et al.*, 2002). Ecossistemas aquáticos costeiros

na Antártica Marítima entre o arquipélago das Shetlands do Sul e o continente antártico abrangem extensas baías e estreitos, os quais recebem importantes aportes de sedimentos terrígenos carregados pelo movimento das geleiras e por sua água de degelo (Assine & Vesely, 2008). O clima subpolar dessa área é relativamente mais quente e úmido em comparação ao tipicamente polar da porção continental (Bremer *et al.*, 2004), o que também contribui para tornar as águas costeiras mais turvas devido à intensificação do degelo durante o verão austral (Yoon *et al.*, 2010). Ao longo das últimas décadas, as maiores flutuações nas médias anuais de temperatura do hemisfério Sul tem sido observadas em áreas do oceano Austral que incluem a Antártica Marítima (Meredith *et al.*, 2010).

As elevadas taxas de acumulação orgânica (Isla *et al.*, 2002) associadas ao processo de aumento de temperatura próximo ao ponto de descongelamento da água a 0° (Jonsell *et al.*, 2012) tornam, portanto, os estoques de C acumulado nos sedimentos aquáticos subpolares especialmente sensíveis ao aquecimento (Wadham *et al.*, 2012). Além disso, o relevo e a profundidade são importantes fatores direcionadores da sedimentação e da subsequente acumulação de C nessas águas costeiras (Isla *et al.*, 2004). As sucessões demarcadas por variações no caráter acústico e nas correlações regionais podem indicar alterações na sedimentação glaciomarinha (Solli *et al.*, 2006).

As informações obtidas por meio de técnicas isoladas podem não descrever adequadamente as características sedimentares de um determinado local (Ayres Neto, 1998). Por sua vez, a correlação entre os atributos acústicos e os parâmetros de composição ou estrutura do sedimento, comumente obtidos por testemunhos, se tornam relevantes para obtenção de modelagens e caracterizações mais confiáveis do fundo marinho (Buckingham, 2004). Essa integração entre ferramentas geoacústicas e testemunhos sedimentares pode ser especialmente relevante às extrapolações espaciais de processos biogeoquímicos em camadas subsuperficiais dos ecossistemas aquáticos, onde há pouca atenuação do sinal e conseqüentemente perda de amplitudes pouco significativas (Mendonça *et al.*, 2013). Evidências prévias têm indicado a relação entre os parâmetros sísmicos no sedimento e o conteúdo orgânico nos sedimentos de fundo dos ecossistemas aquáticos, tais como em latitudes tropicais (Ayres Neto, 2016; Wölfl *et al.*, 2014; Cruz *et al.*, 2013).

2. Objetivo Geral

Avaliar a aplicação da utilização de ferramentas acústicas na determinação do teor de COT em sedimentos marinhos de altas latitudes em uma baía subpolar da Antártica Marítima (Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Arquipélago das Shetlands do Sul), através do modelo descrito por Ayres Neto *et al* (2016).

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Elaborar uma figura de distribuição de teor de C orgânico no sedimento de fundo da Baía do Almirantado;
- II. Elaborar uma figura dos ecocaráteres identificados na área de estudo e seu entorno;
- III. Determinar a correlação entre amplitude sísmica e as concentrações de COT em quatro testemunhos sedimentares subsuperficiais.

3. Materiais e Métodos

3.1. ÁREA E DELINEAMENTO DE ESTUDO

A área de estudo foi a Baía do Almirantado (Ilha Rei George, Arquipélago das Shetlands do Sul, Antártica Marítima) e suas adjacências no Estreito de Bransfield (Figura 1). O delineamento foi baseado na análise de quatro testemunhos coletados na Baía do Almirantado, bem como na interpretação de 74 linhas sísmicas coletadas tanto nessa baía quanto no entorno do Arquipélago das Shetlands do Sul, no sentido de se detectar uma maior variedade de ecocaráteres presentes e na obtenção das amplitudes sísmicas para aplicar o modelo de Ayres Neto *et al* (2016) e estimar os teores de COT na região. Três testemunhos sedimentares (CF1 20m, CF3 30m e CF1 60m) em torno de 25 cm de profundidade foram coletados em três pontos distintos na enseada Martel da Baía do Almirantado, entre 20 e 60m da Estação Brasileira de Pesquisa Antártica Comandante Ferraz (EACF) (62°05'S e 58°23'W), e outro testemunho sedimentar (ALM 33) em torno de 2,60 m coletado mais ao centro da enseada de Martel.

O Arquipélago das Shetlands do Sul apresenta 62 ilhas, dentre as quais a maior é a Rei George, abrangendo uma área de 1.150 km² delimitada pelas latitudes 62° 54'S / 62 15'S e longitudes 57° 36'W e 59° 00'W a uma distância de 120 km da Península Antártica. A Baía do Almirantado (Figura 2), por sua vez, está localizada na parte central da Ilha Rei George, sendo considerada uma Área Antártica Especialmente Gerenciada (AAGE) estudada há mais de 30 anos pelo Brasil e Polônia, principalmente (Gheller, 2014), com cerca de 362 km², que é dividida entre setores cobertos ou não por gelo permanente (Silva, 2008). É um fiorde alongado com cerca de 16 km de comprimento e 6 km de largura na porção mais estreita, com um sistema ramificado de baías com paredes íngremes do centro da baía em direção a costa (Santos, 2015). As temperaturas médias do ar mensais registradas na EACF entre 1986 e 2013 apresentam uma diferença significativa entre os meses de janeiro e julho (Figura 2).

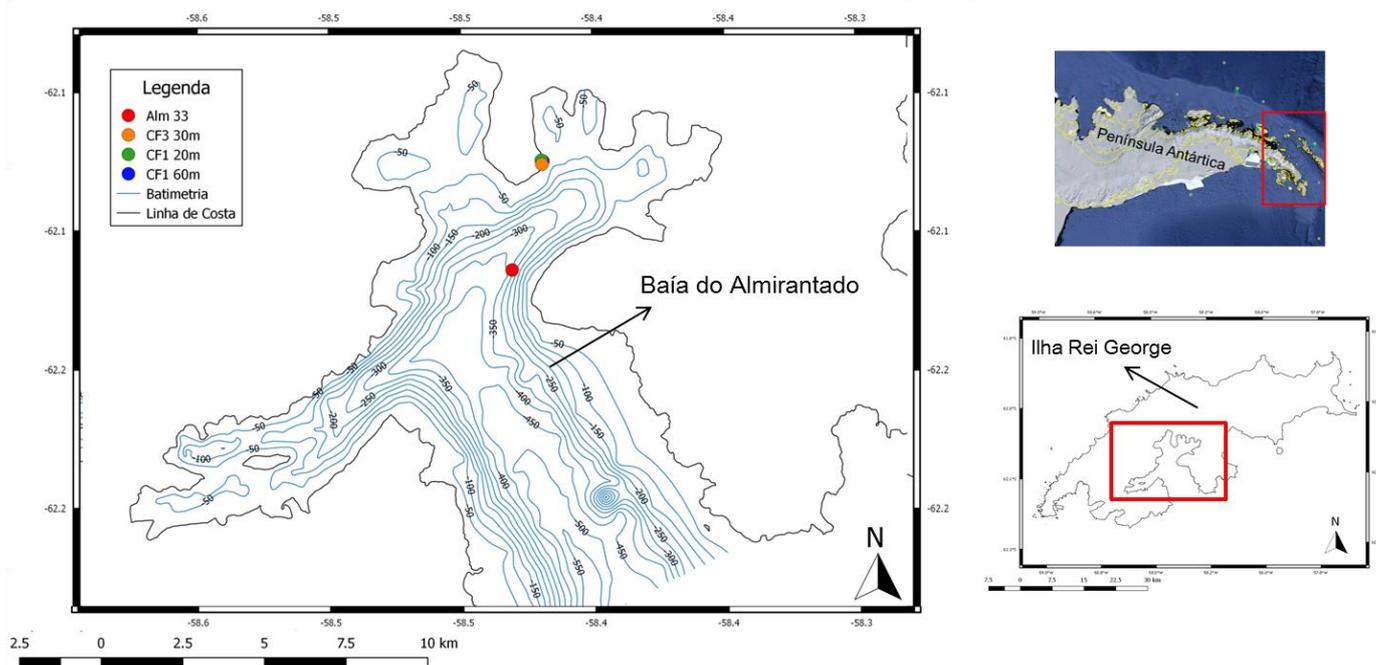


Figura1: Área de estudo destacando a Ilha de Rei George (painel menor inferior à direita), a Baía do Almirantado e a localização dos testemunhos (painel maior à esquerda)

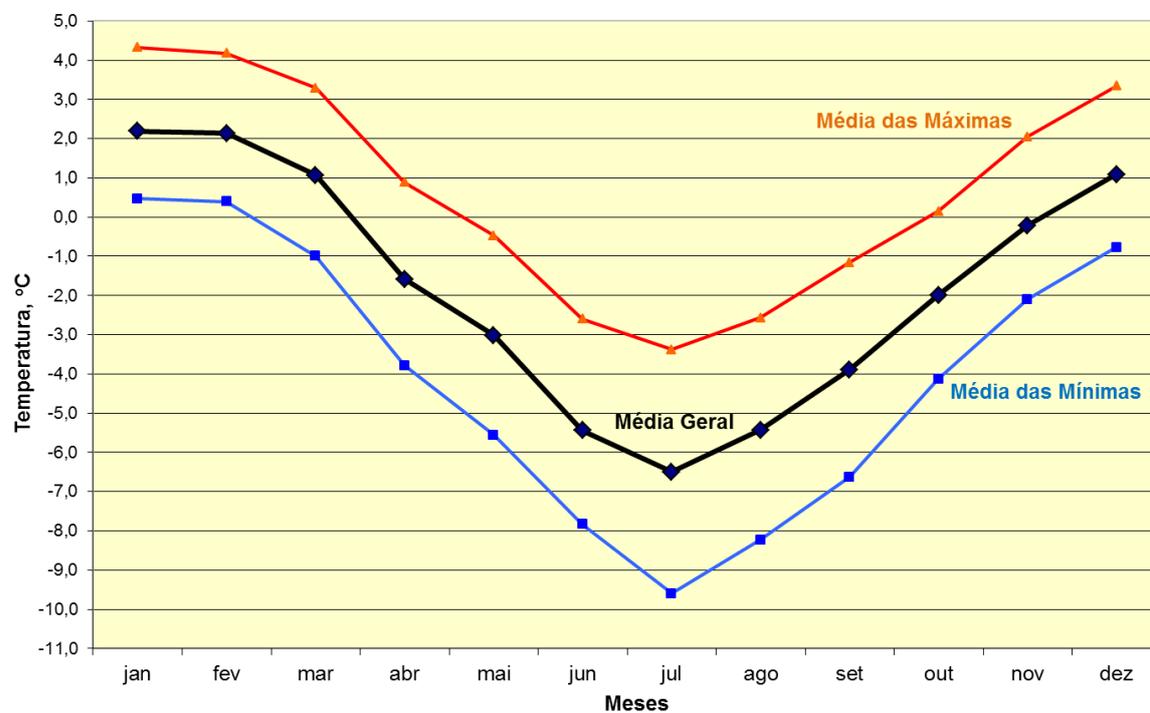


Figura 2: Temperaturas médias mensais na EACF entre 1986 e 2013 (CPTEC/INPE)

3.2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Península Antártica tem sido o local de subducção da litosfera oceânica do Pacífico por no mínimo 150 Ma e provavelmente muito antes da abertura do Gondwana. Sua geologia onshore é composta de um arco magmático e produtos relacionados ao vulcanismo e sedimentos deformados e metamorfizados de uma série de prismas acrecionários (Barker & Camerlenghi, 2002). A atividade de subducção na Fossa das Shetlands do Sul, ao longo da Península Antártica, resultou numa bacia de retroarco com geometria bastante organizada e eixo de espalhamento paralelo à zona de subducção, tendo sua formação culminado na separação entre as Ilhas Shetlands do Sul e a Península Antártica (Zaldívar *et al.*, 2006). A formação do arquipélago é o resultado da atividade magmática gerada pelo processo de subducção entre as placas Phoenix/Drake-Antártida (Figura 3) durante o Meso-Cenozóico. No final do Terciário, o arquipélago passou por um processo extensional regional, tendo originado o Estreito de Bransfield (Smellie *et al.*, 1984; Cande *et al.*, 2000), que é uma bacia marginal formada por rifteamento dentro de um arco vulcânico continental (Lawver *et al.*, 1996).

O núcleo axial da Ilha Rei George é composto por rochas, provavelmente, do Jurássico Superior e intrusões plutônicas Andinas. A ilha é dividida em um conjunto de blocos de falhas; onde o sistema principal de falhas é paralelo ao comprimento da ilha, com falhas complementares ao longo do comprimento da Baía do Almirantado (Barton, 1964). Rei George é delimitada ao norte pela Passagem de Drake e ao sul é separada da Península Antártica pelo Estreito de Bransfield (Birkenmajer, 1980). A grande calota de gelo que cobre a parte central da ilha tem a forma de uma crista que se estende quase que paralelamente ao longo do litoral norte. Cúpulas de gelo de mais de 300 metros de altura se estendem para o sul, a partir da calota de gelo, ao longo da porção leste e oeste da Baía do Almirantado (Barton, 1964).

Apesar da extensa cobertura de gelo, as várias rochas expostas ao longo da costa da Baía do Almirantado permitem uma boa visualização geral da estrutura geológica da ilha. A falha Ezcurra, que corta a baía, divide a ilha ao norte com domínio Mesozoico e ao sul com domínio Terciário (Birkenmajer, 1980). Almirantado é a maior baía adjacente à Ilha Rei George, sendo submetida à intensa influência glacial sobre sua morfologia do tipo fiorde e ocorrência de depósitos de morainas (Santos *et al.*, 2007).

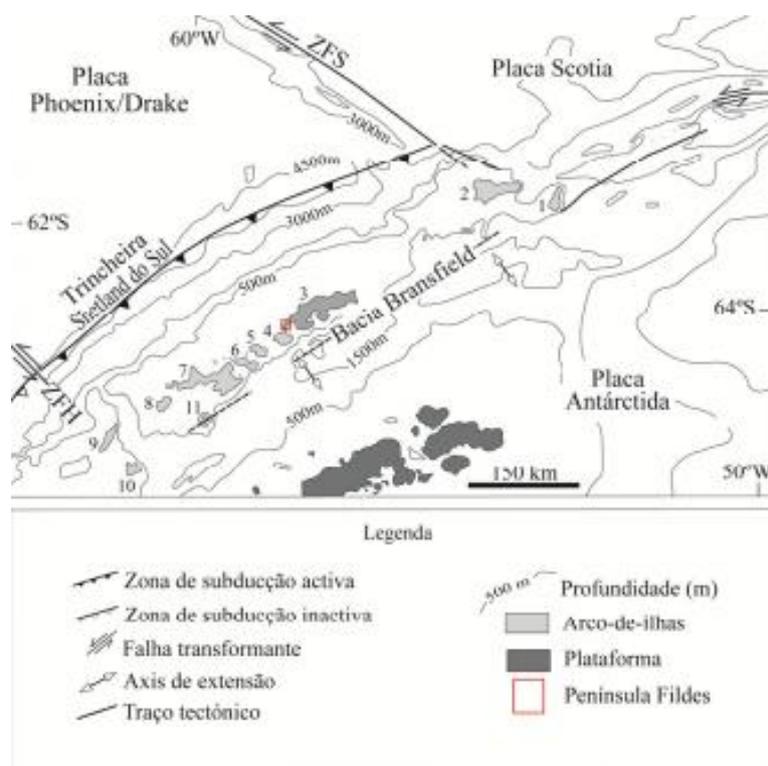


Figura 4: Contexto tectônico das Ilhas Shetlands do Sul. (1) Ilha Clarence; (2) Ilha Elefante; (3) Ilha Rei George; (4) Ilha Nelson; (5) Ilha Robert; (6) Ilha Greenwich; (7) Ilha Livingston; (8) Ilha Snow; (9) Ilha Smith; (10) Ilha Low e (11) Ilha Deception (Lawver *et al.*, 1996)

3.3. AMBIENTES GLACIO-MARINHOS

A Baía do Almirantado é um típico ambiente glacio-marinho, cujas principais fontes de sedimentos são as geleiras, os quais alcançam suas águas diretamente pelo arraste glacial ou por correntes de degelo (Assine & Vesely, 2003). Em ambientes glaciais (Figura 4), o gelo e a água de degelo são os principais meios de transporte, erosão e deposição de sedimentos. Os ambientes glacio-marinhos são divididos em relação a sua posição perante a geleira em: subglacial, proglacial proximal e proglacial distal. O subglacial está relacionado a processos ligados diretamente a dinâmica da geleira; o proglacial proximal envolve processos que sofrem influência da margem da geleira; e o proglacial distal está vinculado a processos marinhos (Assine & Vesely, 2008).

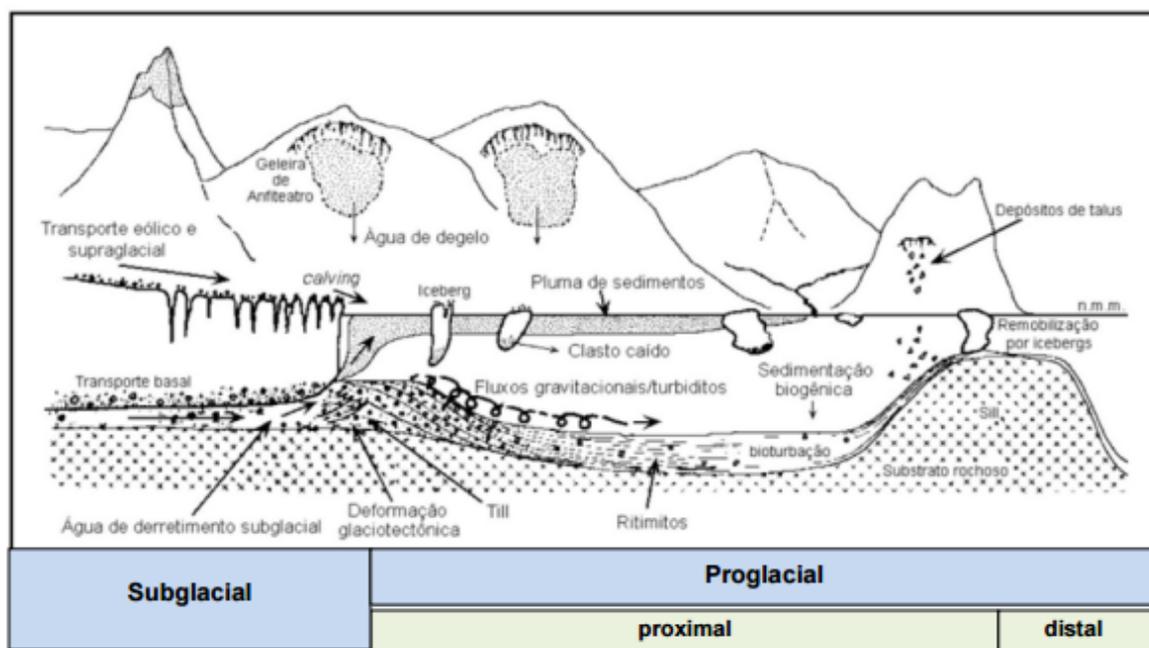


Figura 4: Esquema representativo dos ambientes glacio-marinhos: divisões e processos. (Conceição, 2009 modificado de Aquino, 1992)

As geleiras (Figura 5) constituem massas de gelo formadas por acumulação de neve a partir da compactação e recristalização dos flocos, além de fatores como baixa temperatura, alta taxa de precipitação e baixa taxa de evaporação (Reineck & Singh, 1975). Com elevado poder erosivo, as geleiras desempenham papel importante na escultura do relevo nos ambientes glaciais (Assine & Vesely, 2008).



Figura 5: Vista panorâmica de uma geleira na Baía do Almirantado, Antártica (Magrani, 2011)

Um processo muito importante nesses ambientes é a chuva de detritos (*rain-out*), que ocorre quando a água de degelo, incorporada com sedimentos, é expulsa da geleira e adentra os corpos d'água. A parte mais fina se manifesta na forma de plumas e se mantém em suspensão na água (Conceição, 2009). Além disso, a deposição de água de degelo via correntes subaquosas demanda fluxos de alta energia, e por isso deposita o material mais grosso na forma de lobos. Os leques podem conter taludes muito íngremes, causado pela alta taxa de acumulação sedimentar e a granulometria maior do sedimento, mesmo quando a deposição é totalmente subaquosa (Lønne, 1995).

Outro componente importante nesses ambientes são as correntes de gelo, de movimento relativamente rápido, constituem um fator significativo para a camada de gelo da Antártica. Essas correntes são responsáveis pela maioria do gelo e descarga de sedimentos dentro do manto de gelo e suas margens. Fora dessas correntes, esse movimento e transporte de sedimentos são mais lentos. A maior parte do aporte sedimentar para a plataforma externa e talude superior ocorreu durante o período de glaciação (Solli *et al.*, 2007).

A sedimentação em ambientes glacio-marinhos depende da distância com relação à margem da geleira. Assim, os sedimentos podem se depositar através das geleiras, transportados por *icebergs* ou remobilizados por correntes de acordo com os processos que estejam atuando no corpo d'água (Assine & Vesely, 2008). As morainas (ou morenas) são depósitos formados pela ação direta das geleiras, podendo ser classificadas como terminais, laterais e meridianas, dependendo da posição que ocupa em relação à geleira (Reineck & Singh, 1975). As morainas terminais são formadas pelo acúmulo de detritos nas margens estacionárias de geleiras durante o degelo. Com o recuo da geleira, formam-se cristas que registram o limite máximo atingido pelas últimas fases de avanço glacial. Já as laterais e medianas são formas alongadas típicas de geleiras de vale. As laterais formam-se pelo acúmulo de detritos junto às paredes dos vales, e as medianas desenvolvem-se ao longo da confluência entre duas ou mais geleiras de vale através da junção de suas morainas laterais (Assine & Vesely, 2003). As morainas são constituídas, geralmente, por sedimentos clásticos, grossos e mal selecionados. Isso devido às geleiras erodirem por abrasão ou por remoção de blocos (*plucking*) (Boulton, 1979), o que faz com que as partículas transportadas pelo gelo tenham alta imaturidade textural e mineralógica (Assine & Vesely, 2008).

3.4. SÍSMICA DE ALTA RESOLUÇÃO

O método sísmico é uma técnica geofísica importante para a investigação da superfície e subsuperfície do fundo marinho devido a sua alta precisão, alta resolução e ótima penetração (Telford *et al.*, 1990). Neste sentido, as ondas acústicas são um meio prático para coletar informações através de vibrações mecânicas que se propagam com facilidade na água, o que compensa a atenuação das ondas eletromagnéticas nos oceanos neste aspecto (Lurton, 2002). A sísmica de alta resolução é um método geofísico baseado na emissão dessas ondas, que sofrem reflexão e refração na interface entre meios com propriedades elásticas distintas (Figura 6). Logo, o sinal é refletido quando se depara com um contraste de impedâncias acústicas, que é definido como sendo o produto da velocidade (V) pela densidade (ρ). Parte da energia que não sofre reflexão é transmitida para o meio seguinte (Magrani, 2011).

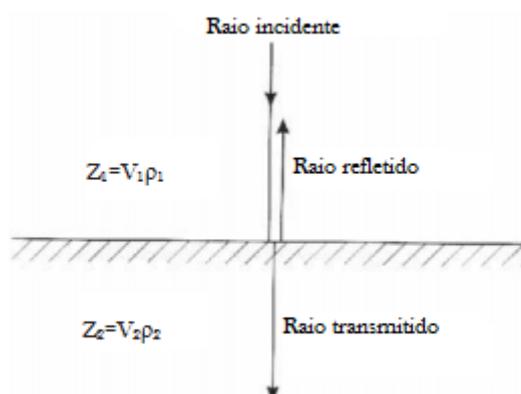


Figura 6: Esquema representativo dos raios incidente, refletido e refratado sobre uma interface e a impedância acústica das camadas (Modificado de Reynolds, 2011)

O coeficiente de reflexão (R) é a propriedade que define a quantidade de energia refletida. Esse coeficiente é calculado a partir da razão entre amplitude da onda refletida A_1 e a amplitude da onda incidente A_0 (Eq. 1).

$$R = \frac{A_1}{A_0} \quad (\text{Eq. 1})$$

Por sua vez, a mudança na velocidade de propagação da onda é devido às propriedades físicas de cada camada. A amplitude desses pulsos dependerá do ângulo de incidência e dos contrastes de impedância acústica de cada camada. Quanto mais rígido for o sedimento, mais elevado será o valor da impedância acústica; e quanto menor for o contraste de impedância, mais energia será transmitida para o meio seguinte (Kearey *et al.*, 2009). Esse contraste determina o espalhamento da energia sísmica em reflexão ou refração de ondas elásticas (Martins, 2001).

A escolha da fonte sísmica, que podem ser de baixa frequência e maior penetração ou alta frequência e menor penetração, depende do objetivo de cada estudo. A sísmica de alta resolução é composta por fontes que possuem altas frequências e pequenos comprimentos de onda, o que resulta em pouca penetração, porém com maior detalhamento em subsuperfície (Telford *et al.*, 1990). O tempo decorrido entre a saída das ondas da fonte e chegada é usado para determinar a disposição estrutural das camadas em subsuperfície (Reynolds, 2011).

O objetivo da exploração sísmica é deduzir informações sobre a rocha, especialmente dos tempos de chegada observados e das variações de amplitude, frequência, fase e forma da onda (Telford *et al.*, 1990), tornando possível mapear as estruturas em subsuperfície, identificar os diferentes tipos de fundo através da definição de ecocaráteres e estudar a distribuição sedimentar no fundo marinho.

3.4.1. Ondas sísmicas

As ondas sísmicas, que consistem em pequenos pacotes de energia de deformação elástica se propagam a partir de qualquer fonte sísmica com velocidades determinadas a partir dos módulos elásticos e densidade dos meios por onde passa (Reynolds, 2011). As ondas se dividem em ondas de corpo e ondas de superfície. Dois tipos de ondas de corpo podem se propagar em um meio elástico. As ondas P (Figura 7A), também chamadas de longitudinais ou ondas de compressão, são as mais importantes na sísmica de exploração. As partículas dos materiais oscilam em torno de um ponto fixo na direção da propagação da onda por compressão ou dilatação. A outra onda de corpo são as ondas S (Figura 7B), transversais ou ondas cisalhantes. O movimento das partículas ocorre na direção transversal à direção de propagação da onda através da tensão de cisalhamento (Reynolds, 2011).

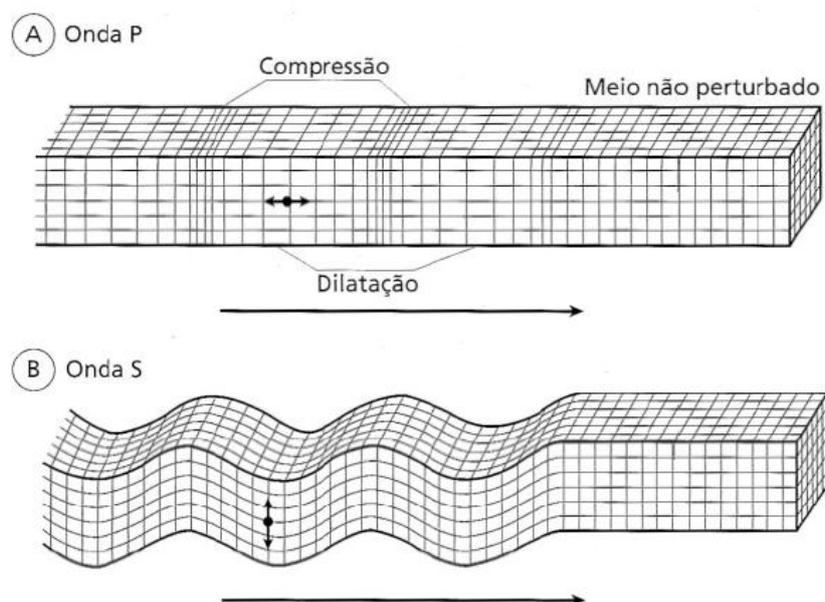


Figura 7: Propagação das ondas de corpo: (A) Onda P e (B) Onda S (Kearey *et al.*, 2009)

3.4.2 Velocidade sísmica

A velocidade de propagação das ondas acústicas é definida em função de suas constantes elásticas, como o módulo de compressão (K), módulo de rigidez (μ), módulo de Young (E) e módulo axial (Ψ) (Ayres Neto, 2000) (Figura 8). Essas constantes variam de acordo com a tensão aplicada num corpo, que irá sofrer uma deformação, definida como a razão entre a variação da forma ou do volume com relação ao original (Reynolds, 2011).

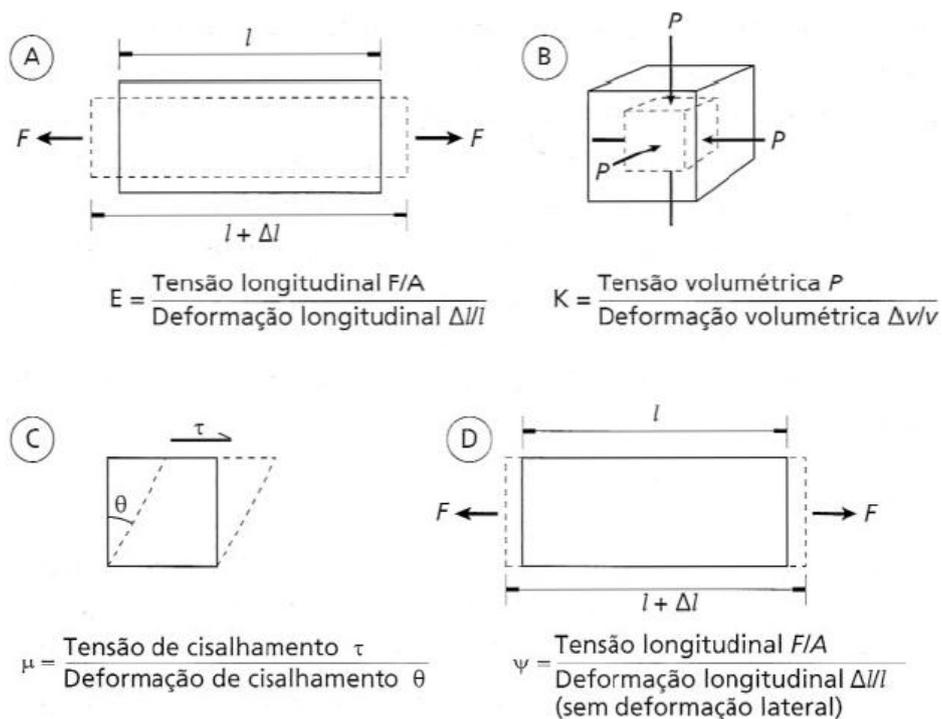


Figura 8: Constantes elásticas: (A) Módulo de Young; (B): Módulo de compressão; (C): Módulo de rigidez e Módulo axial (Kearey *et al.*, 2009)

Nesse sentido, os módulos elásticos, densidades e consequentemente as velocidades sísmicas variam de acordo com a composição, textura, porosidade e tipo de fluido presente em cada rocha. As velocidades de ondas compressoriais e de cisalhamento, V_p e V_s , são importantes por conterem informações sobre as camadas de rochas com respeito ao tempo de propagação da onda em profundidade, o tipo de litologia e a natureza dos fluidos intersticiais (Kearey *et al.*, 2009). A velocidade das ondas compressoriais (Eq. 2), ou longitudinais é definida como:

$$V_p = \sqrt{\frac{k + 4\mu/3}{\rho}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde ρ = densidade do meio

3.4.3. Amplitude Sísmica

As amplitudes sísmicas oriundas do sinal que retorna das ondas acústicas são funções das impedâncias acústicas, que dependem das propriedades elásticas das rochas. A amplitude do sinal que é refletido é função de diversos fatores complexos, por isso uma forma simplificada através das equações de Zoeppritz deu origem a uma relação entre o coeficiente de reflexão e as impedâncias das interfaces (Eq. 3) (Kearey *et al.*, 2009).

$$R = \frac{A_1}{A_0} = \frac{(\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1)}{(\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1)} \quad (\text{Eq. 3})$$

onde Z_1 e Z_2 são as impedâncias acústicas da primeira e segunda camada

A delimitação em alta resolução dos refletores do fundo objetivando obter as amplitudes desse sinal de retorno será construída a partir do *software* Kingdom (Figura 9).

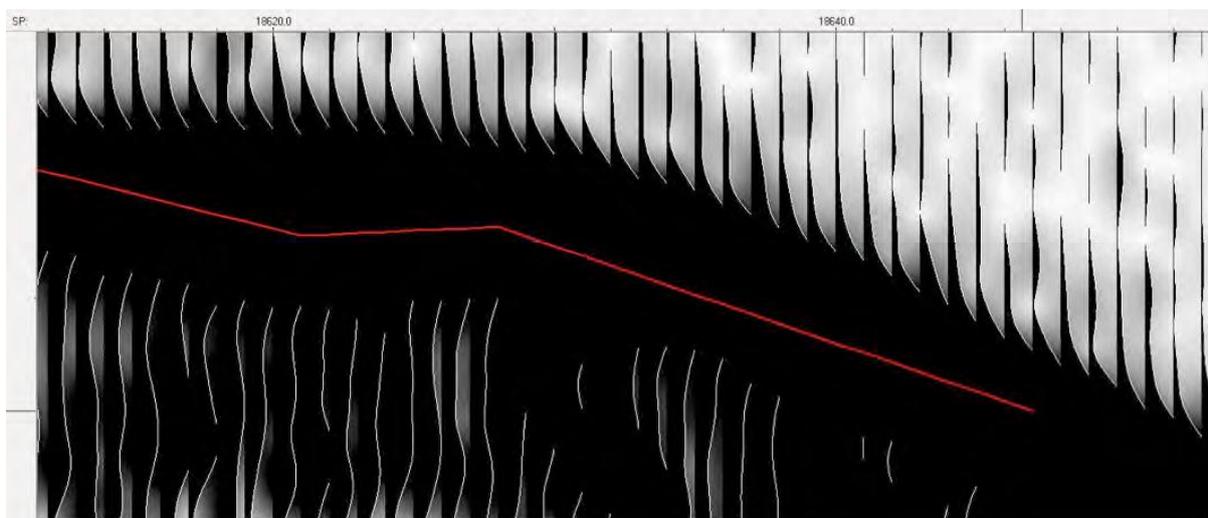


Figura 9: Mapeamento dos horizontes do fundo no *software* Kingdom para posterior estudo das amplitudes (Magrani, 2011)

A interpretação geológica a partir de amplitudes sísmicas, em geral, possui dois objetivos principais: identificar a geometria de estruturas que possam conter acumulações de hidrocarbonetos e correlacioná-las com diferentes tipos de litologia ou sedimentos de fundo (Magrani, 2011).

O estudo realizado por Prskalo (2004) analisa a relação entre as amplitudes sísmicas, velocidades e litologia na interpretação geológica de dados sísmicos. A conclusão do estudo foi que através da análise de velocidade e amplitude sísmica é possível coletar informações úteis sobre a litologia da rocha e a saturação de fluidos, o que implica no reconhecimento de novos campos de hidrocarbonetos, como a descoberta de vários campos de gás no Norte do Mar Adriático.

O estudo de Ayres Neto *et al* (2016) explora a relação entre matéria orgânica sedimentar e resposta acústica de sedimentos marinhos em subsuperfície (resolução de 25 cm), na fronteira ocidental do sistema de ressurgência de Cabo Frio no sudeste do Brasil. Além do levantamento sísmico de alta resolução onde os picos de amplitude foram mapeados, foram feitas várias amostragens de testemunhos em diferentes tipos de ecocarátens observados no dado sísmico. Os testemunhos foram perfilados para se obter parâmetros como V_p e densidade e foram feitas análises para determinar a concentração de COT. A partir desses dados, foram mapeadas as correlações entre COT e algumas propriedades físicas, como a impedância acústica, a velocidade da onda P (V_p), o conteúdo de água e o tamanho médio dos grãos. Para confirmar essas relações foi feito um gráfico de COT determinado em laboratório e o COT predito pela amplitude sísmica (Figura 10), onde se obteve uma elevada correlação.

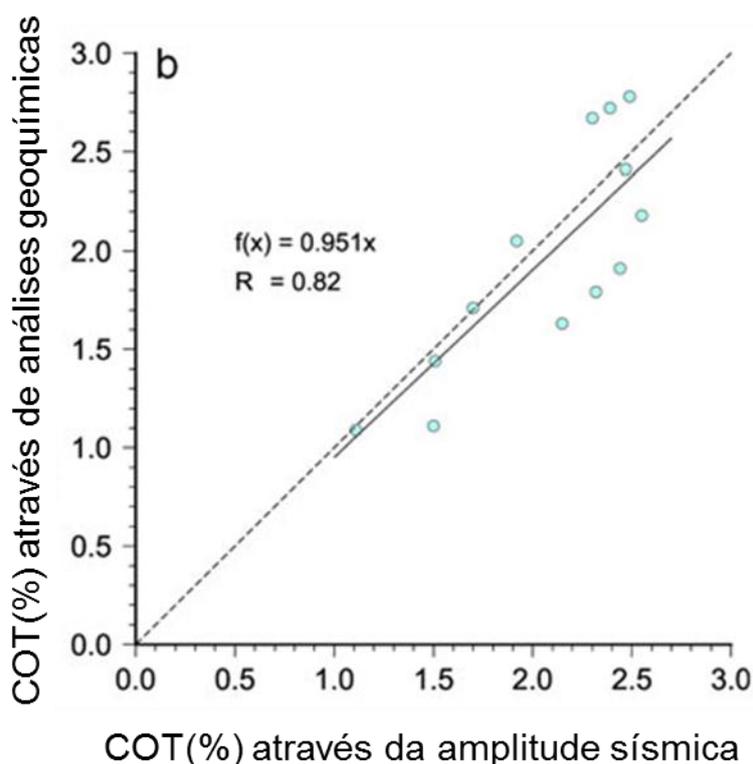


Figura 10: Gráfico da concentração de COT a partir das análises geoquímicas vs COT a partir da amplitude sísmica (Ayres Neto *et al.*, 2016)

3.4.4. Atenuação da Amplitude

Os dois principais efeitos associados à atenuação da amplitude sísmica é o espalhamento esférico e o coeficiente de absorção. Segundo o Princípio de Huygens (Figura 11), quando um pulso se propaga através de um meio homogêneo, a energia original que saiu da fonte, se distribui de forma esférica, a frente de onda, com um raio que se expande com o tempo. Cada ponto dessa frente de onda se comporta como uma nova fonte, que juntas vão se transformar em uma nova frente de onda e assim sucessivamente, definido como espalhamento esférico (Reynolds, 2011). Sendo r o raio percorrido ao longo da trajetória, a energia contida nele decai em função de r^{-2} e a amplitude da onda decai em r^{-1} (Kearey *et al.*, 2009).

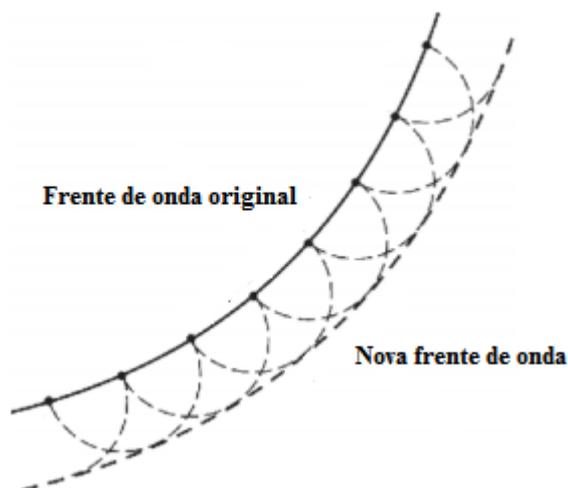


Figura 12: Princípio de Huygens (Reynolds 2011)

Outra causa de atenuação da energia é devido ao terreno não ser perfeitamente elástico. A energia é absorvida pelo meio gradualmente ao longo da trajetória do raio (Figura 11) em função das perdas internas causadas pela fricção dos materiais em subsuperfície, até que toda energia desapareça. O coeficiente de absorção é definido como a fração da energia perdida ao longo de uma distância equivalente a um comprimento de onda completo (Kearey *et al.*, 2009). As frequências mais altas sofrem maiores atenuações do que as frequências mais baixas devido às altas velocidades serem absorvidas por causa do efeito de compactação dos sedimentos. Por isso, a resolução vertical, que é uma medida da capacidade para reconhecer refletores individuais pouco espaçados, diminui em função da profundidade (Kearey *et al.*, 2009).

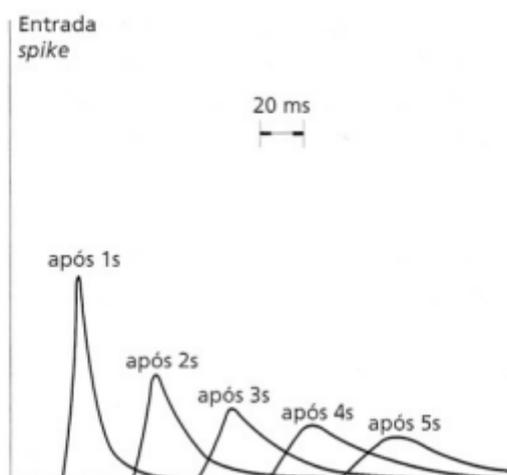


Figura 13: Atenuação progressiva de um pulso ao longo do tempo (Kearey *et al.*, 2009 baseado em Anstey, 1997)

3.5. ECOCARÁTERES

A interação entre o pulso de energia emitido pela fonte acústica de alta resolução e o fundo do mar gera um conjunto de características físicas do eco refletido, as quais são denominadas de ecocaráteres ou ecofácies. O retorno do eco é produzido pelo contraste de impedância acústica entre os meios, que está intimamente ligado ao tipo de sedimento (granulometria, compactação, etc.), as camadas em subsuperfície (espessura das camadas, coeficiente de reflexão, reflexões internas, etc.) e a morfologia do fundo (variações laterais, extensão das camadas, etc.) (Junior *et al.*, 2009).

Estudos mostram que ecogramas contínuos gravados em alta frequência (3.5 – 12 kHz) fornecem uma valiosa ferramenta para o estudo de processos de sedimentação da superfície e subsuperfície do fundo marinho. Ao construir um mapa de ecocaráteres, muitas vezes é possível determinar os tipos e influências regionais dos vários processos de sedimentação, como correntes de turbidez, correntes de contorno, fluxo de detritos e etc (Damuth, 1980). Portanto, a correlação entre os padrões apresentados pelos dados geofísicos e a distribuição sedimentar permite selecionar padrões sonográficos e ecocaráteres sísmicos que apresentam sedimentos e processos sedimentares de características semelhantes (Damuth, 1980; Ayres Neto, 2000).

A análise de ecocaráteres é importante para a caracterização e mapeamento acústico do fundo marinho. A combinação dos ecocaráteres e sonogramas permite a interpretação dos processos sedimentares atuantes no ambiente (Magrani, 2011). Logo, diferentes tipos de ecocaráteres e de padrões sonográficos podem ser definidos de acordo com seus padrões de reflexão e os mesmos serem correlacionados com o tamanho e a textura dos sedimentos de fundo (Junior *et al.*, 2009).

No estudo realizado por Magrani (2011) foram adquiridos dados sísmicos de alta resolução e testemunhos na região do Estreito de Bransfield, Baías do Almirantado e Maxwell e Ilha Rei George. As amostras foram perfiladas para obter os valores de V_p , densidade e impedância ao longo dos testemunhos. Além disso, foi feita a análise sedimentológica de cada amostra. Como resultado, foi observado que a região situada a SW da área de estudo respondeu com maiores amplitudes sísmicas em função de sua maior impedância. Foram também identificados cinco tipos de ecocaráteres, possibilitando a criação de um mapa de distribuição sedimentar baseado nos ecocaráteres da área.

3.6. CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT)

Na natureza, o carbono pode ser de origem orgânica ou inorgânica. O carbono orgânico, por sua vez, se divide em carbono orgânico detrital e carbono orgânico particulado da biota (COP-biota), que em conjunto formam o carbono orgânico total (COT). Por outro lado, o carbono inorgânico, no ambiente aquático pode ocorrer de três formas: carbono inorgânico “livre” ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3$), íons bicarbonato (HCO) e carbonato (CO_3), onde todas estas estão relacionadas ao pH do meio. A soma das três formas de carbono inorgânico presentes neste tipo de ambiente é chamada carbono inorgânico total (Esteves, 1998).

A presença natural do C orgânico ocorre a partir da produção primária de biomassa sintetizada pelos organismos. Nos solos e sedimentos, se apresenta uma variedade desse tipo de carbono que vão desde elementos recém-depositados, como folhas e micro-organismos a carcaças de animais. (Rheinheimer *et al.*, 2007). Já o C inorgânico representa os estoques de C em compostos que por vezes são mediados por seres vivos, como as carapaças de calcários, entretanto sua produção é feita através de reações físico-químicas (Esteves, 1998). O estoque de carbono orgânico tende a ser maior em sistemas menores e mais produtivos (Kastowski *et al.*, 2011), e sua preservação depende diretamente de fatores como oxigênio, fonte de sedimentos, tempo de exposição e temperatura (Sobek *et al.*, 2009; Gudasz *et al.*, 2010, 2012; Cardoso *et al.*, 2014).

A quantificação do teor de COT depende da forma controlada de destruição da matéria orgânica nos sedimentos, podendo ser feita quimicamente por meio da oxidação química, através do processo de acidificação, onde os carbonatos e bicarbonatos são eliminados e CO_2 é liberado, ou através de temperaturas elevadas (entre 450°C e 600°C). O objetivo é quantificar o dióxido de carbono liberado e medir a fração de COT de acordo com a presença de carbonatos inorgânicos (Mota, 2012). Portanto, o teor de COT é determinado pela diferença entre os teores de carbono inorgânico medidos e o carbono total; e pode ser classificado como: muito baixo (até 0,5%), baixo (0,5-1,0%), médio (1,0-3,0%) e alto ($>3,0\%$) (Tissot & Welte, 1984). Além disso, o carbono orgânico tem um efeito profundo nas propriedades físicas do sedimento, o qual podem se aderir a grãos finos, como argila, aumentando assim a capacidade de absorção de água do material. Portanto, a correlação entre COT e o tamanho médio dos grãos é positiva e inversamente proporcional, onde o COT é

maior quando o tamanho do grão diminui. Uma correlação positiva também é observada entre COT e o conteúdo de água (Cruz *et al.*, 2013).

3.7. MÉTODOS ANALÍTICOS

Testemunhos de sedimento de fundo foram coletados para determinar: o estoque de C, análise físico-química do sedimento e o mapeamento geofísico da área.

3.7.1) Os testemunhos próximos a EACF foram coletados pelo pesquisador Isaac Santos em três profundidades (20 m, 30 m e 60 m) na margem da Baía do Almirantado. Após a coleta, os testemunhos foram fatiados em intervalos de um centímetro e as fatias armazenadas em placas Petri seladas e mantidas em freezer durante todo o processo. A secagem foi procedida em estufa a 50 °C até alcançar peso constante, enquanto a pesagem em balança com precisão de 0,0001. Já o testemunho ALM 33 foi coletado durante a Operantar 32, em 2013. A amostragem foi feita em intervalos de um centímetro até o primeiro metro e em intervalos três centímetros até o final, armazenadas em tubos falcon e mantidas em freezer. A pesagem também foi feita em balança de precisão com quatro casas decimais e logo em seguida foram colocadas para secar no liofilizador. O conteúdo de C orgânico foi determinado por meio de um analisador CHN em amostras previamente maceradas, depositadas em cápsulas de estanho, e outra parte em cápsula de prata e submetidas à descarbonatação com HCl a 15% para retirar o carbonato presente como descrito por (Schumarcher, 2002). O conteúdo de água será determinado a partir da diferença entre o peso úmido e seco. O estoque será determinado a partir da concentração de carbono orgânico por peso úmido. As análises aconteceram no *Centre for Coastal Biogeochemistry, School of Environmental Science and Management* na Southern Cross University, Australia.

3.7.2) A caracterização do fundo foi feita através da análise e interpretação de 74 linhas sísmicas da Baía do Almirantado e seu entorno, adquiridas pelo projeto *Identificação de mudanças ambientais e climáticas mediante registros sedimentares e biogeoquímicos na Ilhas Shetlands do Sul, Antártica*, durante as Operantar 32 e 33, em 2013 e 2014 respectivamente. Os dados sísmicos coletados em campo através do equipamento EM 302 foram baseados em

baixa frequência de geração de som devido à interação não-linear na coluna de água de dois feixes de som de alta intensidade em frequências mais altas. O sinal resultante tem uma largura de banda relativamente elevada (~ 80%), o perfil de feixe estreito (perto dos sinais de alta frequência transmitidos) e não os lóbulos laterais. Todas essas características resultam em uma alta resolução espacial nos perfis de sedimento. O feixe estreito também resulta em menores níveis de reverberação e, portanto, maior a penetração. Para a visualização desses dados utilizou-se o *software* Kingdom, um programa de interpretação sísmica que permite trabalhar com dados em formato SGY. Este também permite a determinação de atributos sísmicos como amplitude. Finalizada a interpretação sísmica, utilizou-se o MicroStation, um *software* para modelagem, arquitetura, engenharia, construção e operação de todos os tipos de infraestrutura, fornecendo interação com modelos 3D e desenhos e mapas 2D; onde será feito o mapa dos ecocaracteres obtidos através da interpretação sísmica. Posteriormente, um mapa de COT foi feito através de dados de amplitude sísmica no *software* Surfer, a partir da aplicação do modelo descrito no artigo de Ayres Neto *et al* (2016), para ao final ser comparado com os resultados das análises químicas realizadas em laboratório.

4. RESULTADOS

4.4. ANÁLISE GEOFÍSICA

4.1.2. Ecocaráteres

Foram identificados cinco tipos de ecocaráteres ao longo das Ilhas Shetlands do Sul, incluindo a Baía do Almirantado (Figura 13), a fim de construir uma figura da distribuição de ecocaráteres da região. O Eco I se caracteriza por um tipo de fundo bem definido, pouco reflexivo e com estratificações bem delineadas. Já o Eco II, é definido por um fundo pouco reflexivo e bastante difuso sem refletores subsuperficiais. O Eco III por sua vez é do tipo hiperbólico, evidenciando um fundo com morfologia bastante irregular. O Eco IV se assemelha bastante ao Eco II, diferenciando-se principalmente pela intensidade da reflexão (mais forte). O Eco V caracteriza-se por um fundo marinho pouco reflexivo, bem definido com refletores subsuperficiais lateralmente descontínuos.

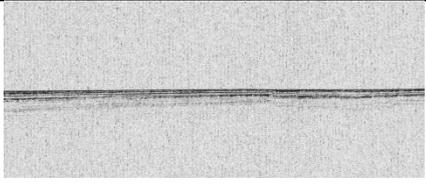
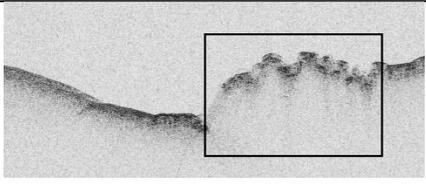
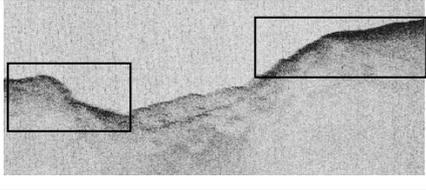
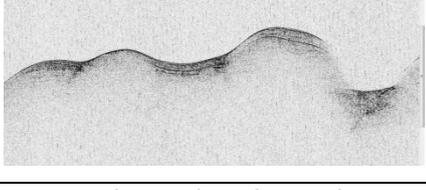
ECO	DESCRIÇÃO	(EXEMPLO)
I	Ecocaráter do tipo estratificado	
II	Ecocaráter do tipo difuso, pouco reflexivo, sem refletores subsuperficiais	
III	Ecocaráter do tipo hiperbólico	
IV	Ecocaráter do tipo difuso, muito reflexivo, sem refletores subsuperficiais	
V	Ecocaráter do tipo pouco reflexivo com refletores subsuperficiais descontínuos	

Figura 13: Perfis sísmicos dos cinco ecocaráteres encontrados na área de estudo

A partir da classificação e caracterização de cada ecocaráter, o mapa de toda a área do arquipélago (Figura 14) permite uma visualização completa da distribuição de cada eco ao longo da margem continental das Ilhas Shetland do Sul, incluindo a área de estudo (Baía do Almirantado), assim como a localização dos testemunhos analisados.

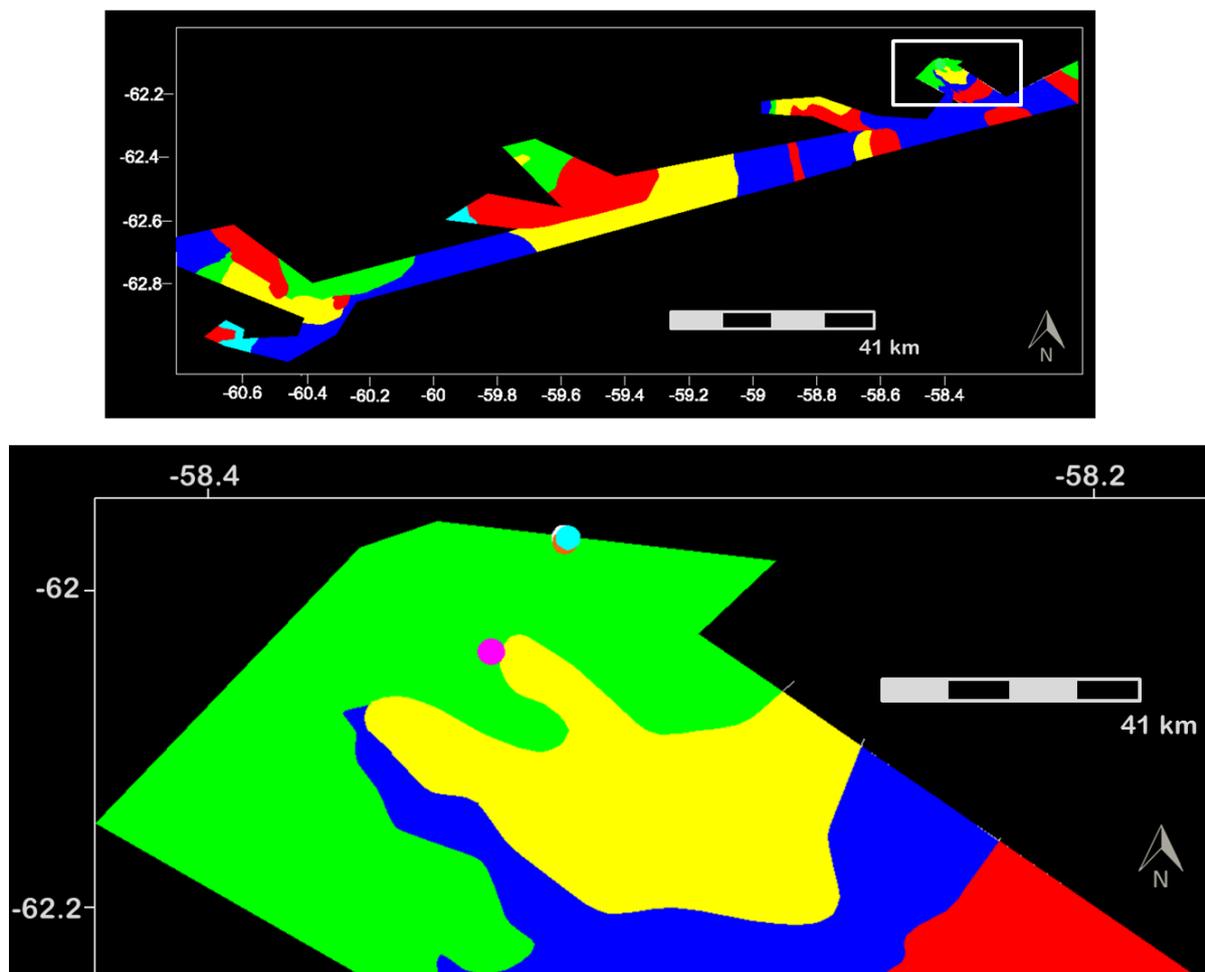


Figura 14: Ecocaráteres do Arquipélago das Shetlands do Sul (painel menor superior) com a área de estudo em detalhe (painel maior inferior) com a localização dos testemunhos (Eco I: vermelho; Eco II: verde; Eco III: amarelo; Eco IV: azul escuro; Eco V: azul piscina; CF1 20m: branco; CF3 30m: laranja; CF1 60m: azul claro e Alm 33: rosa)

4.1.3. Estoque de carbono estimado através da amplitude sísmica

A partir da interpretação sísmica e o mapeamento do fundo utilizando o *software* Kingdom e o modelo descrito por Ayres Neto *et al* (2016), um mapa de COT (%) estimado a partir das amplitudes sísmicas da Baía do Almirantado (Figura 15) foi criado utilizando o *software* Surfer, onde pode-se observar no detalhe a Enseada de Martel, onde os testemunhos foram coletados.

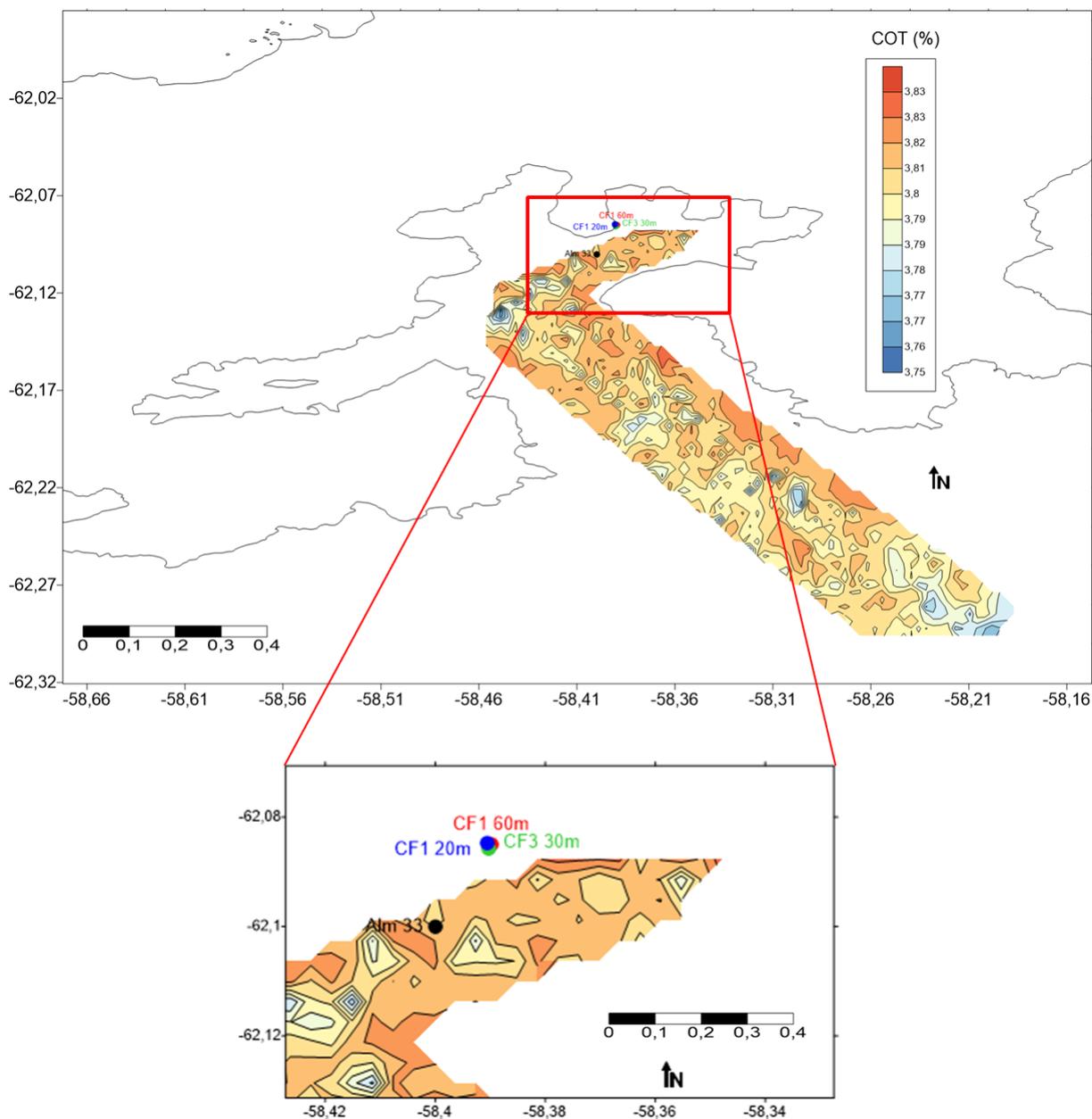


Figura 15: Distribuição do teor de COT (%) da Baía do Almirantado estimado através das amplitudes sísmicas com a localização dos testemunhos em detalhe

4.5. Estoque de carbono observado através de análise geoquímica

Como descrito na seção 3.7.1, nas análises geoquímicas dos testemunhos foram observados os seguintes valores médios de concentração de COT:

Tabela 1: Valores de COT (%) observados nas análises geoquímicas em cada testemunho e seus respectivos desvios padrões

Testemunho	Valor Médio COT Observado (%)	Desvio Padrão (%)
CF1 20m	8,0	1,0
CF3 30m	4,3	0,5
CF1 60m	8,3	0,9
ALM 33	0,4	0,2
Média Geral:	5,2	0,6

Nos testemunhos CF1 20m e CF1 60m, os teores de COT observados foram em média 8,0%. Já no testemunho CF3 30m, esses valores caem pela metade, 4,3%, e no ALM 33 a média é de 0,4%. Com relação ao desvio padrão, podemos considerar que o desvio é baixo, o que significa que os valores médios observados não divergem de maneira considerável ao longo de cada testemunho (Figura 16).

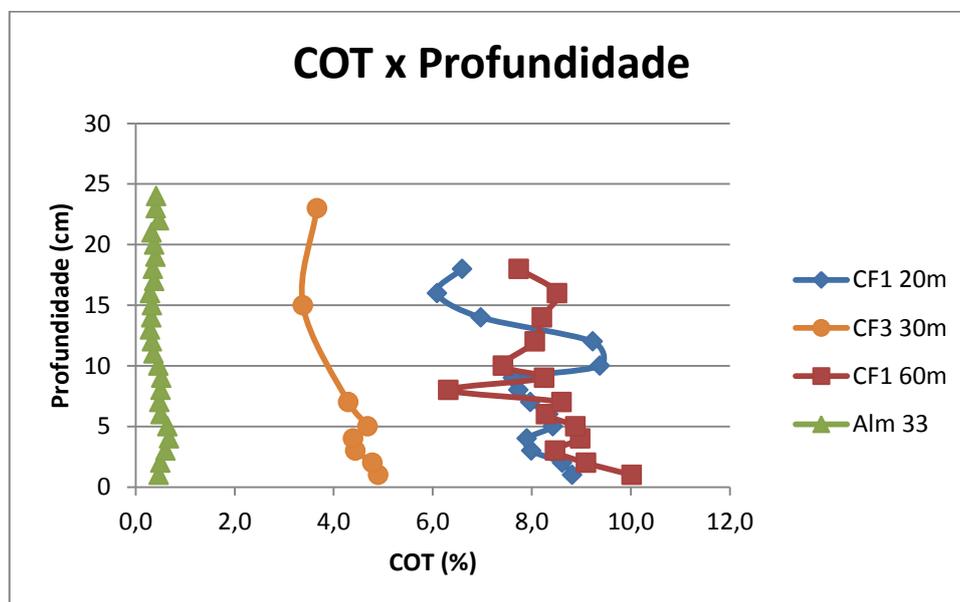


Figura 26: Teores de COT (%) ao longo de até 25 cm de profundidade de cada testemunho

5. DISCUSSÃO

As concentrações de COT estimadas a partir do método das amplitudes sísmicas geraram um padrão relativamente homogêneo em toda a malha de levantamento. De acordo com a classificação de Tissot & Welte (1984), os teores de carbono orgânico tanto estimados quanto observados podem ser considerados elevados, uma vez que alcançaram valores acima de 3,0%, com exceção do testemunho ALM 33, onde o teor médio encontrado foi menor que 1%. Apesar desta classificação geral, e do desvio padrão ser baixo ao longo de cada testemunho, os valores absolutos das concentrações de COT observadas nos testemunhos CF1 20, CF3 30 e CF1 60 foram muito elevados quando comparados aos valores encontrados em estudos anteriores nos solos do interior Baía do Almirantado (Teixeira *et al.*, 2010; Francelino *et al.*, 2011; Gheller, 2014), onde a média de carbono orgânico está entre 0,3-0,7%; exceto o ALM 33 em que foram observados teores de 0,4% de COT. Esses altos teores de COT (>6%) nos testemunhos coletados no fundo da baía à margem da EACF, são, muito provavelmente, devido a grande atividade de algas e outros organismos que habitam essa região. Portanto, nos quatro testemunhos os valores de COT observados e os estimados pela amplitude sísmica são bastante contrastantes, o que evidencia uma alta variabilidade espacial intraecossistêmica.

Já com relação aos ecocaráteres, (Figura 14), os quatro testemunhos se encontram no Eco II, o qual representa um ambiente com sedimentação do tipo silte arenosa, com aproximadamente 35% de conteúdo de areia, que se localiza predominantemente nas regiões mais rasas da margem continental das Ilhas Shetlands do Sul (Magrani, 2011). Este mesmo tipo de ecofície, caracterizado pela baixa reflexão, foi observado na Bacia de Vitória (Espírito Santo, Brasil) através da aplicação de métodos acústicos, onde também evidenciou um ambiente composto por sedimentos finos (Junior *et al.*, 2009). É importante destacar que a geomorfologia do fundo marinho está associada às variações nos processos de sedimentação, ou seja, a forma do transporte e retrabalhamento do sedimento (onde nos ambientes glacio-marinhos se dá através do movimento das geleiras e água de degelo), as áreas fontes e a variação das densidades dos pacotes sedimentares (Ramalho, 2016). Isto permite dizer, que em um local onde o tipo de sedimento é majoritariamente o mesmo, podem ocorrer diferentes tipos de ecocaráteres, como por exemplo na Baía de Port Foster, (Ilha Deception, Antártica) (Ramalho, 2016).

Entretanto, como podem ser observados na Figura 15, os testemunhos CF1 20m, CF3 30m e CF1 60m se localizam fora da área de cobertura do mapa, o que impede a correlação

dos teores de COT estimados através da amplitude sísmica com os observados pelas análises geoquímicas. Já os teores de COT observados no testemunho ALM 33, localizado dentro da malha do mapa, foi cerca de 10 vezes mais baixo do que os valores estimados a partir do modelo de Ayres Neto *et al* (2016) construído nos mares costeiros tropicais, revelando grande discrepância entre esses dados observados e estimados. Portanto, pode-se inferir que não há influência do tipo de ecocaráter, no estoque de carbono orgânico da área de estudo, visto que os valores de COT dos quatro testemunhos coletados no mesmo ecocaráter divergem entre si.

Portanto, pode-se observar que houve uma superestimativa do modelo aplicado, pois os valores de COT estimados não possuem correlação com os valores de COT observados, diferentemente dos resultados obtido por Ayres Neto *et al* (2016), o que nos leva a afirmar que o modelo deve ser ajustado.

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho, o método sísmico foi utilizado para mapear o fundo marinho das Ilhas Shetlands do sul, permitindo separá-las em cinco regiões distintas através da identificação dos ecocaráteres, que reflete diretamente no tipo de sedimentação, propriedades das camadas e morfologia do ambiente. Além disso, foi gerado um mapa da Baía do Almirantado utilizando as amplitudes sísmicas, que está relacionada com a impedância acústica entre as camadas, para estimar os valores de COT da região através da aplicação do modelo descrito por Ayres Neto *et al* (2016). Entretanto, foi possível comparar os resultados de apenas um testemunho dentre os quatro utilizados neste estudo, onde os valores de COT observados e estimados foram extremamente discrepantes.

Conclui-se, portanto, que houve uma superestimativa do modelo aplicado neste estudo, e por isso, deve ser ajustado e calibrado para ambientes glacio-marinhos a fim de se obter uma correlação confiável e coerente entre o COT estimado pela amplitude sísmica e o COT observado nos testemunhos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSINE, M. L., VESELY, F. F. **Ambientes Glaciais**. Ambientes de Sedimentação do Brasil. São Paulo: Ed. Beca, 2003.

ASSINE, M. L.; VESELY, F. F. **Ambientes Glaciais**. In: PEDREIRA DA SILVA, A.J.; ARAGÃO, A.N.F.; MAGALHÃES, A.J.C. Ambientes de Sedimentação Siliciclástica do Brasil. São Paulo: Ed. Beca, p. 24-51. 2008.

AYRES NETO, A. **Relationships between physical properties and sedimentological parameters of near surface marine sediments and their applicability in the solution of engineering and environmental problems**. PhD Thesis, University of Kiel, Germany, 126 pp. 1998.

AYRES NETO, A. **Uso da Sísmica de Reflexão de Alta Resolução e da Sonografia na Exploração Mineral Submarina**. Revista Brasileira de Geofísica, Vol. 18 (3), p. 241-256. 2000.

AYRES NETO, A.; MOTA, B. B.; BELÉM, A. L.; ALBUQUERQUE, A. L.; CAPILLA, R. **Seismic peak amplitude as a predictor of TOC content in shallow marine sediments**. Geo-Mar Lett. 2016.

BARCELLOS R. L.; FURTADO, V .V. **Processo sedimentar atual e a distribuição de carbono e nitrogênio orgânicos no Canal de São Sebastião (SP) e plataforma interna adjacente**. Revista Brasileira de Oceanografia, Vol. 47(2), p. 207-221. 1999.

BARKER, P. F; CAMERLENGHI, A. **Glacial History of the Antarctic Peninsula from Pacific Margin Sediments**. In Barker, P.F., Camerlenghi, A.; Acton, G. D.; Ramsay, A.T.S. (Eds.), Proceedings of the Ocean Drilling Program. Scientific Results, Vol. 178, p. 1–40. 2002.

BARTON, C. M. **The Geology of the South Shetland Islands – III. The stratigraphy of King George Island**. British Antarctic Survey Scientific Reports, 44. 1964.

BARTHOLOMÄ, A. **Acoustic bottom detection and seabed classification in the German Bight, southern North Sea**. Geo-Mar Lett, Vol. 26, p. 177-184. 2006.

BIRKENMAJER, K. **Geology of Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands) – An outline.** Polish Polar Research, Vol 1, p. 29-54. 1980.

BOULTON, G. S. **Processes of glacial erosion on different substrata.** Journal of Glaciology, Vol. 22, p. 15-38. 1979.

BREMER, U. F.; ARIGONY-NETO, J.; SIMÕES, J. C. **Teledeteccão de mudanças nas bacias de drenagem do gelo da ilha Rei George, Shetlands do Sul, Antártica, entre 1956 e 2000.** Pesquisa Antártica Brasileira, Vol. 4, p. 37-48. 2004.

BUCKINGHAM, M. J. **A three-parameter dispersion relationship for Biot's fast compressional wave in marine sediment.** The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 116, p. 769-776. 2004.

BURDIGE, D. J. **Burrial of terrestrial organic matter in marine sediments.** Global Biogeochemical Cycles. 2005.

CARDOSO, S. J., ENRICH-PRAST, A., PACE, M. L., ROLAND, F. **Do models of organic carbon mineralization extrapolate to warmer tropical sediments?** Limnology and Oceanography, Vol. 59(1), p. 48–54. 2014.

CANDE, S. R.; STOCK, J. M.; MÜLLER, R. D.; ISHIHARA, T. **Cenozoic motion between East and West Antarctica.** Nature, 404, 145-150. 2000.

CONCEIÇÃO, F. V. **Utilização do *backscatter* de sonares multifeixe na classificação acústica do fundo oceânico: um exemplo de aplicação na enseada de Martel, Baía do Almirantado, Península Antártica.** Universidade Federal Fluminense. P. 33-36. 2009.

CRUZ, A. P. S.; BARBOSA, C. F.; AYRES NETO, A.; ALBUQUERQUE, A. L. S. **Physical and geochemical properties of centennial marine sediments of the continental shelf of southeast Brazil.** GeochimBras Vol. 27, p. 1-12. 2013.

DAMUTH, J. E. **Use of high-frequency (3.5–12 kHz) echograms in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep-sea: A review.** Marine Geology, Vol. 8, p. 51-75. 1980.

DOMACK, E. W.; ISHMAN, S. **Oceanographic and physiographic controls on modern sedimentation within Antarctic fjords.** Geological Society of America Bulletin Vol. 5, p. 1175- 1189. 1993.

DANIELL, J.; SIWABESSY, J.; NICHOL, S.; BROOKE, B. **Insights into environmental drivers of acoustic angular response using a self-organising map and hierarchical clustering.** *Geo-Mar Lett*, Vol. 35, p. 387-403. 2015.

DUARTE, C.M.; AGUSTI, S. **The CO₂ balance in unproductive aquatic ecosystems.** *Science*. 1998.

ESTEVEZ, F. S. **Fundamentos de Limnologia.** Interciência. Segunda edição, Cap. 11 e 12, p. 53- 63. 1998.

FRANCELINO, M. R.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; FERNANDES FILHO, E. I.; SOUZA, J. J. L. L.; COSTA, L. M. **Geomorphology and soil distribution under paraglacial conditions in an ice-free area of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica.** *Elsevier, Catena*, Vol. 85, p. 194-204. 2011.

GATTUSO, J. P.; FRANKIGNOULLE, M.; WOLLAST, R. **Carbon and carbonate metabolism in coastal aquatic ecosystems.** *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, Vol. 29, p. 405–34. 1998.

GHELLER, P. F. **A meiofauna da Baía do Almirantado e áreas adjacentes no Estreito de Bransfield, com ênfase em Nematoda.** Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Biológica, Universidade de São Paulo, São Paulo. P. 31-34. 2014.

GUDASZ, C., BASTVIKEN, D.; STEGER, K.; PREMKE, K.; SOBEK, S.; TRANVIK, L. J. **Temperature-controlled organic carbon mineralization in lake sediments.** *Nature*, Vol. 466(7305), p. 478–81. 2010.

GUDASZ, C.; BASTVIKEN, D.; PREMKE, K.; STEGER, K.; TRANVIK, L. J. **Constrained microbial processing of allochthonous organic carbon in boreal lake sediments.** *Limnology and Oceanography*, Vol. 57(1), p. 163. 2012.

HEDGES, J. I.; KEIL, R. G.; BENNER, R. **What happens to terrestrial organic matter in the ocean?** *Org. Geochem*, Vol. 27, p. 195–212. 1997.

ISLA, E.; MASQUÉ, P.; PALANQUES, A.; SANCHEZ-CABEZA, J. A.; BRUACH, J. M.; GUILLÉN, J.; PUIG, P. **Sediment accumulation rates and carbon burrial in the bottom sediment in a high-productivity area: Gerlache Strait (Antarctica).** Deep-Sea Research II, Vol. 49, p. 3275–3287. 2002.

ISLA, E.; MASQUÉ, P.; PALANQUES, A.; GUILLÉN, J.; PUIG, P.; SANCHEZ-CABEZA, J. A. **Sedimentation of biogenic constituents during the last century in western Bransfield and Gerlache Straits, Antarctica: a relation to currents, primary production, and sea floor relief.** Marine Geology, Vol. 209, p. 1-4. 2004.

JONSELL, U.Y.; NAVARRO, F.J.; BAÑÓN, M.; LAPAZARAN, J.J.; OTERO, J. **Sensitivity of a distributed temperature-radiation index melt model based on AWS observation sand surface energy balance fluxes, Hurd Peninsula glaciers, Livingston Island, Antarctica.** The Cryosphere, Vol. 6, p. 539-552. 2012.

JUNIOR, P. V.; BASTOS, A. C.; PIZZIN, B. F.; GAVA, R. D.; QUARESMA, V. S.; SILVA, C. G. **Sonar de Varredura Lateral e Sísmica de Alta Resolução Aplicados no Estudo de Ecofácies na Baía de Vitória – ES.** Revista Brasileira de Geofísica, Vol. 27(3), p. 411-425. 2009.

KASTOWSKI, M.; HINDERER, M.; VECSEI, A. **Long-term carbon burial in European lakes: Analysis and estimate.** Global Biogeochemical Cycles, Vol. 25 (3). 2011.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **Geofísica de Exploração.** Cap. 3, p. 53-74. 2009.

KIM, D. C.; SUNG, J. Y.; PARK, S. C.; LEE, G. H.; CHOI, J. H.; KIM, G. Y.; SEO, Y. K.; KIM, J. C. **Physical and acoustic properties of shelf sediments, the South Sea of Korea.** Marine Geology, Vol. 179, p. 39-50. 2001.

KOSTYLEV, V. E.; TODD, B. J.; FADER, G. B. J.; COURTNEY, R. C.; CAMERON, G. D. M.; PICKRILL, R. A. **Benthic habitat mapping on the Scotian Shelf based on multibeam bathymetry, surficial geology and seafloor photographs.** Mar EcolProgSer, Vol. 219, p. 121–137. 2001.

LAWVER, A. L.; SLOAN, B. J.; BARKER, D. H. N.; GHIDELLA, M.; VON HERZEN, R. P.; KELLER, R. A.; KLINKHAMMER, G. P.; CHIN, C. S. **Distributed, Active Extension in Bransfield Basin, Antarctic Peninsula: Evidence from Multibeam Bathymetry.** GSA Today, Vol. 6(11), p. 1-5. 1996

LØNNE, I. Sedimentary facies and depositional architecture of ice-contact glaciomarine systems. **Sedimentary Geology**, Vol. 98, p. 13-43, 1995.

LURTON, X. **An Introduction to Underwater Acoustics: Principle and Applications**. London: Praxis. 2002.

MACEDO, H.C.; FIGUEIREDO JR, A.G.; MACHADO, J. C. **Propriedades acústicas (velocidade de propagação e coeficiente de atenuação) de sedimentos marinhos coletados nas proximidades da Ilha do Cabo Frio, RJ**. Revista Brasileira de Geofísica, Vol. 27(2), p. 195-204. 2009.

MAGRANI, F. J. G. **Ecocaráteres sísmicos e correlação sedimentar na margem continental do Arquipélago das Shetlands do Sul, Antártica**. Universidade Federal Fluminense, Nitéroi. P. 17-52. 2011.

MENDONÇA, R.; KOSTEN, S.; SOBEK, S.; COLE J. J.; BASTOS, A. C.; ALBUQUERQUE, A. L.; CARDOSO, S. J.; ROLAND, F. **Carbon Sequestration in a Large Hydroelectric Reservoir: An Integrative Seismic Approach**. Ecosystems. 2013.

MAGORRIAN, B. H.; SERVICE, M.; CLARKE, W. **An acoustic bottom classification survey of Strangford Lough, Northern Ireland**. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom Vol. 75, p. 987–992. 1995.

MARTINS, J. L. **Noções do Método Sísmico e de Resolução Sísmica. Estratigrafia de Sequências. Fundamentos e Aplicações**, p. 43-70, 2001.

MCLEOD, E.; CHMURA, G. L.; BOUILLON, S.; SALM, R.; BJÖRK, M.; DUARTE, C. M.; LOVELOCK, C. E.; SCHLESINGER, W. H.; SILLIMAN, R. **A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂**. Ecological Society of America: Frontiers in Ecology and the Environment Vol. 9, p. 552-560. 2011.

MEREDITH, M. P.; WALLACE, M. I.; STAMMERJOHN, S. E.; RENFREW, I. A., CLARKE, A.; VENABLES, H. J.; SHOOSMITH, D. R., SOUSTER, T.; LENG, M. J. **Changes in the freshwater composition of the upper ocean west of the Antarctic Peninsula during the first decade of the 21st century**. Progress in Oceanography Vol. 87, p. 127-143. 2010.

MOTA, B. B. **Influencia do Carbono Orgânico Total (COT) nas propriedades acústicas dos sedimentos marinhos superficiais.** Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2012.

PRSKALO, S. **Application of Relations between Seismic Amplitude, Velocity and Lithology in Geological Interpretation of Seismic Data.** Journal of Hungarian Geomathematics, Vol. 2, p. 51-68. 2004.

RAKUSA-SUSZCZEWSKI S.; BATTKE, Z.; CISAK J. **Morphometry of the Admiralty Bay Shores and Basin.** In: RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S.; (Ed.). The Maritime Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay, POLISH POLAR RESEARCH, Vol. 16(1-2), p. 27-30. Warsaw. 1993.

RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. **Flow of matter in the Admiralty Bay area, King George Island, Maritime Antarctic.** Proc. NIPR Symp. Polar Biol., 1995.

RAMALHO, D. C. S. **Caracterização de sedimentos vulcanoglaciomarinhos pelo método de eco-caracter na Baía de Port Foster – Deception Island – Antártica.** Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha) - Departamento de Geologia e Geofísica Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2016.

RANDERSON, J. T.; LINDSAY, K.; MUNOZ, E.; FU, W.; MOORE, J. K.; HOFFMAN, F. M.; MAHOWALD, N. M.; DONEY, S. C. **Multicentury changes in ocean and land contributions to the climate-carbon feedback.** Global Biogeochemical Cycles. Vol. 29(6), p. 744-759. 2015

REINECK, H. E.; SINGH, L. B. **Depositional Sedimentary Environments.** Berlin: Springer-Verlag, 1975.

REYNOLDS, J. M. **An Introduction to Applied and Environmental Geophysics.** Second Edition. Cap. 4, p. 143-177. 2011.

RHEINHEIMER, D.; CAMPOS, B.; GIACOMINI, S.; CONCEIÇÃO, P. **Comparação de métodos de determinação de carbono orgânico total no solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. Vol. 32, p. 435-440. 2008.

SANTOS, I. R., SILVA-FILHO, E. V., SCHAEFER, C. E. G. R., ALBUQUERQUE-FLHO, M. R., CAMPOS, L. S. **Heavy metal contamination in coastal sediments and soil near the**

Brazilian Antarctic Station, King George Island. Marine Pollution Bulletin, Vol. 50, p. 185-194. 2005.

SANTOS, I. R.; FÁVARO, D. I. T.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SILVA FILHO, E. V. **Sediment geochemistry in coastal maritime Antarctica (Admiralty Bay, King George Island): Evidence from rare earths and other elements.** Marine Chemistry. Vol. 107, p. 464-474. 2007.

SANTOS, L. C. D. **Heterogeneidade especial da $p\text{CO}_2$ e sua relação com a temperatura e salinidade nas águas costeiras superficiais da Antártica Marítima no início do verão.** Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2015.

SCHUBERT, C. J.; CALVART, S. E. **Nitrogen and carbon isotopic composition of marine and terrestrial organic matter in Arctic Ocean sediments: implications for nutrient utilization and organic matter composition.** Deep-Sea Research I. Vol. 48, p. 789-810. 2001.

SCHUMACHER, B. A. **Methods for the Determination of Total Organic Carbon (TOC) in Soils and Sediments.** NCEA-C- 1282 EMASC-001. 2002.

SILVA, R. M. G.D. **Acúmulo de metais-traço no sedimento e em organismos da megafauna bentônica na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica.** 2008.

SMELLIE, J. L.; PANKHURST, R.; THOMSON, M. R. A.; DAVIES, R. **The Geology of the South Shetland Islands: Stratigraphy, geochemistry and evolution.** British Antarctic Survey Scientific Reports. Vol. 87. 1984.

SOBEK, S., DURISCH-KAISER, E., ZURBRUGG, R., WONGFUN, N., WESSELS, M., PASCHE, N., WEHRLI, B. **Organic carbon burial efficiency in lake sediments controlled by oxygen exposure time and sediment source.** Limnology and Oceanography, Vol. 54(6), p. 2243. 2009.

SOLOMON, S.; DANIEL, J. S.; SANFORD, T. J.; MURPHY, D. M.; PLATTNER, G. K.; KNUTTI, R.; FRIEDLINGSTEIN, P. **Persistence of climate changes due to a range of greenhouse gases.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. Vol. 107, p. 18354-18359. 2010.

SOLLI, K.; KUVAAS, B.; KRISTOFFERSEN, Y.; LEITCHENKOV, G.; GUSEVA, J.; GANDJUKHIN, V. **Seismic morphology and distribution of inferred glaciomarine deposits along the East Antarctic continental margin, 20°E-60°E.** Marine Geology. Vol. 237, p. 207–223. 2007.

SYVITSKI, J. P. M.; VOROSMARTY, C. J.; KETTNER, A. J.; GREEN, P. **Impact of Humans on the Flux of Terrestrial Sediment to the Global Coastal Ocean.** Science. Vol. 308(5720), p. 376-380. 2005.

TEIXEIRA, L. C. R. S.; PEIXOTO, R. S.; CURY, J. C.; SUL, W. J.; PELLIZARI, V. H. TIEDJE, J.; ROSADO, A. S. **Bacterial diversity in rhizosphere soil from Antarctic vascular plants of Admiralty Bay, Maritime Antarctica.** The ISME Journal, Vol. 4, p. 989-1001. 2010.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied Geophysics.** Second Edition, Cap. 4, p. 136-158. 1990.

TISSOT, B. P. & WELTE, D. H. **Petroleum Formation and Occurrence.** Springer. Second Edition. 1984.

VARELA, M.; FERNANDEZ, E.; SERRET, P. **Size-fractionated phytoplankton biomass and primary production in the Gerlache and south Bransfield Straits (Antarctic Peninsula) in Austral summer 1995–1996.** Deep-Sea Research II. Vol. 49, p. 749-768. 2002.

WADHAM, J. L.; ARNDT, S.; TULACZYK, S.; STIBAL, M.; TRANTER, M.; TELLING, J.; LIS, G. P.; LAWSON, E.; RIDGWELL, A.; DUBNICK, A.; SHARP, M. J.; ANESIO, A. M.; BUTLER, C. E. H. **Potential methane reservoirs beneath Antarctica.** Nature. Vol. 488, p. 633-637. 2012.

WÖLFL, A-C.; LIM, C. H.; HASS, H. C.; LINDHORST, S.; TOSONOTTO, G.; LETTMANN, K. A.; KUHN, G.; WOLFF, J-O.; ABELE, D. **Distribution and characteristics of marine habitats in a subpolar bay based on hydroacoustics and bedshear stress estimates—Potter Cove, King George Island, Antarctica.** Geo-Mar Lett. Vol. 34, p. 435-446. 2014.

XUEGANG, L.; HUAMAO, Y.; NING, L.; JINMING, S. **Organic carbon source and burial during the past one hundred years in Jiaozhou Bay, North China.** Journal of Environmental Sciences. Vol. 20, p. 551-557. 2008.

YOON, H. I.; YOO, K.; BAK, Y.; LIM, H. S.; KIM, Y.; LEE, J. I. **Late Holocene cyclic glaciomarine sedimentation in a subpolar fjord of the South Shetlands Islands, Antarctica, and its paleoceanographic significance: Sedimentological, geochemical...** Geological Society of America Bulletin. Vol. 122(7-8), p. 1298-1307. 2010.

ZALDÍVAR, J. G.; GAMBOA, L.; MALDONADO, A.; NAKAO, S.; BOCHU, Y. **Bransfield Basin Tectonic Evolution.** Antarctica: Contributions to Global Earth Sciences. Cap. 5, p. 243-248. 2006.