



Universidade Federal Fluminense  
Curso de Graduação em Geofísica

FERNANDA VIANA DA CONCEIÇÃO

**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.**

Niterói  
2009

FERNANDA VIANA DA CONCEIÇÃO

**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.**

Projeto Final II apresentado ao curso de Graduação em Geofísica, na Universidade Federal Fluminense, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Geofísica.

**Orientador:** Arthur Ayres Neto.

**Coorientador:** Alúzio Maciel de Oliveira Junior.

Niterói  
2009

C744

Conceição, Fernanda Viana da

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 / Fernanda Viana da Conceição. – Niterói : [s.n.], 2009.

65 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geofísica) – Universidade Federal Fluminense, 2009.

1.Geofísica marinha. 2.Geologia marinha. 3.Granulometria.  
4.Acústica subaquática. I.Título.

CDD 551.4608

## TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado e aprovado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Geofísica, em 18 de dezembro de 2009, examinada por:

---

Capitão-de-Fragata (T) Izabel King Jeck  
Centro de Hidrografia da Marinha/DHN

---

Prof. Dr. Gilberto Dias  
Lagemar/UFF

Niterói  
UFF

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmãos pelo amor, carinho e apoio em casa.

Aos meus avós pela dedicação à minha formação como pessoa.

À minha madrinha pela demonstração de garra.

Aos meus colegas de classe e amigos pela contribuição no meu crescimento profissional e pessoal, em especial aos grandes amigos Rodrigo Pontes e Miguel Redusino pela ajuda durante a confecção deste trabalho.

Ao corpo docente do Lagemar, pela transmissão de conhecimento, em especial ao meu orientador Arthur Ayres pelas oportunidades que me proporcionou e por seus conselhos.

Ao CHM por conceder os dados de multifeixe necessários para a execução deste trabalho, em especial ao cmte. Aluizio pelos ensinamentos transmitidos e aos praças da seção que além do conhecimento técnico, proporcionaram um ótimo ambiente de trabalho em meu período de estágio.

Ao professor Dr. Luciano Fonseca de concessão da licença do software Geocoder 4.1

À empresa Fugro Brasil – Levantamentos e Serviços Submarinos, pelo suporte e autorização para utilizar o software Starfix 9.1

Aos professores Nelson Gruber e Francisco Aquino da UFRGS e ao professor Krzysztof Birkenmajer da *Polish Academy of Sciences* pelo envio de material de consulta para a confecção deste trabalho.

## RESUMO

Os sonares multifeixe, devido à sua capacidade de realizar varredura de áreas ao invés de perfis, acabaram tornando-se uma ferramenta essencial na identificação das feições que compõem o fundo oceânico. Atualmente diversos trabalhos relacionam o sinal acústico gravado não somente à batimetria, extraída do seu tempo de chegada, mas também à intensidade deste retorno, conhecida como *backscatter*. Parte do sinal de retorno é função de características intrínsecas do fundo, como descrito na equação sonar. Eliminando todas as influências externas do sinal é possível estabelecer uma relação entre propriedades físicas do fundo com o sinal de retorno, gerando um modelo de classificação acústica. Para exemplificar o método, foram utilizados dados provenientes do sonar multifeixe modelo EM3000, coletados na enseada de Martel, ilha Rei George, Península Antártica. Esperava-se encontrar uma classificação granulométrica que representasse bem a região, considerando as características geológicas de um ambiente de sedimentação glaciomarinho. Como produto final, foi gerado um mapa de granulometria de acordo com o modelo criado pelo software de classificação acústica Geocoder 4.1, e o resultado foi comparado com as características de amostras de fundo na região. Apesar do modelo mostrar-se coerente com os valores encontrados na análise de uma das amostras coletadas para este trabalho, não foi o suficiente para cumprir com as expectativas, principalmente, por não considerar corretamente a influência da topografia do fundo. Porém este trabalho permite uma discussão sobre a acurácia do método e a validação do modelo final, sugerindo condições ambientais ideais e propondo para próximos trabalhos uma análise preliminar de confiabilidade e aplicação da metodologia.

**Palavras chave:** multifeixe, *backscatter*, classificação acústica, granulometria.

## ABSTRACT

Multibeam echo-sounders due to their swath capability have become a useful tool to identify submarine features. Their acoustic signal carries not only information about sound-target relationship, but also takes into account other information like transmitted and received sound level, acoustic beam patterns and acoustic attenuation in the water column. After subtracting these information, it is possible to analyze the backscatter as a function of the sound/seabed interaction. As an example of this analysis, multibeam backscatter data were processed to generate a seabed textural map of the Martel Inlet, on Admiralty bay, Antarctica. This aim is to represent as accurately as possible the local glaciomarine environment dynamics. The multibeam processed data were used to generate the inversion models in Geocoder 4.1. A final model resulted were compared to three grab samples in the area and a first model generated in previous work. As a result, the final model did not fit as accurately as expected, creating a discussion on the reliability of the method and proper areas for its application.

**Key words:** multibeam, backscatter, acoustic classification, seabed.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 :</b>	Três exemplos de feixe padrão .....	21
<b>Figura 2 :</b>	Espalhamento esférico .....	22
<b>Figura 3 :</b>	Gráfico que relaciona freqüência com a absorção para determinadas temperaturas do oceano .....	22
<b>Figura 4 :</b>	Relação de freqüência de operação com condições ambientais ....	23
<b>Figura 5 :</b>	Geometria do sonar multifeixe .....	25
<b>Figura 6 :</b>	Disposição de arranjos de transmissores e receptores .....	25
<b>Figura 7 :</b>	Formação de feixes .....	26
<b>Figura 8 :</b>	Relação do sinal acústico com o fundo oceânico .....	27
<b>Figura 9 :</b>	Configuração da área de ensonificação .....	28
<b>Figura 10 :</b>	Distribuição da função densidade de probabilidade de acordo com a elevação .....	30
<b>Figura 11 :</b>	Relação entre a intensidade do sinal e a variação angular .....	32
<b>Figura 12 :</b>	Esquema representando um ambiente glaciomarinho com suas subdivisões e processos atuantes .....	34
<b>Figura 13 :</b>	Iceberg com sedimentos removidos por <i>calving</i> .....	36
<b>Figura 14 :</b>	Localização da área de aplicação da classificação acústica .....	37
<b>Figura 15 :</b>	Mapa geológico da baía do Almirantado .....	38
<b>Figura 16 :</b>	Esquema representativo da disposição sedimentar de acordo com a proximidade da geleira.....	39
<b>Figura 17 :</b>	Linhas de navegação do levantamento com o sonar multifeixe .....	41
<b>Figura 18 :</b>	<i>Swath Edit</i> . Visualização dos dados aceitos (verdes) e rejeitados (vermelhos) pelo filtro .....	43
<b>Figura 19 :</b>	Área adjacente a geleira Dobrowski ilustrando a análise dos incrementos para identificar discontinuidades .....	43
<b>Figura 20 :</b>	Batimetria final gerada .....	44
<b>Figura 21 :</b>	Batimetria final 3D .....	45
<b>Figura 22 :</b>	Perfil batimétrico das possíveis frentes pretéritas da geleira Dobrowski .....	46
<b>Figura 23 :</b>	Fluxo de processamento para criação de um modelo de classificação acústica .....	47
<b>Figura 24 :</b>	Correção geométrica Slant range .....	48
<b>Figura 25 :</b>	Janela de modelagem do software Geocoder .....	49
<b>Figura 26 :</b>	Perfis de propriedades do testemunho coletado próximo a EACF....	51
<b>Figura 27 :</b>	Mau acoplamento entre amostra e o tubo do testemunho .....	52

<b>Figura 28 :</b> Mosaico final com valores de intensidades mais baixos na região adjacente a geleira Stenhouse .....	53
<b>Figura 29 :</b> Mapa final de distribuição de sedimentos .....	55
<b>Figura 30 :</b> Modelo de classificação acústica ajustado para a área onde se encontra a amostra EACF .....	56

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b>	Amostras coletadas por Freitas, 2008 .....	50
<b>Tabela 2:</b>	Granulometria de acordo com a escala de Wentworth para as amostras [A] e [B].....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS

$\mu\text{Pa}$	Micro Pascal
AVG	<i>Angle Varing Gain</i>
CHM	Centro de Hidrografia da Marinha
dB	Decibel
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i>
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DTM	<i>Digital Terrain Model</i>
EACF	Estação Antártica Comandante Ferraz
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
GLCM	<i>Gray Level Co-occurrence Matrices</i>
MC	Meridiano Central
MRU	<i>Motion Reference Unit</i>
OPERANTAR	Operação Antártica
PSU	Practical Salinity Unit
QTC	<i>Quester Tangent Company</i>
SVP	<i>Sound Velocity Profiler</i>
UFF	Universidade Federal Fluminense
UNB	<i>University of New Brunswick</i>
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
WGS84	<i>World Geodetic System 1984</i>

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1	OBJETIVO .....	13
<b>2.</b>	<b>ACÚSTICA SUBMARINA NO MAPEAMENTO OCEÂNICO</b> .....	14
<b>3.</b>	<b>PRINCÍPIOS BÁSICOS DA ACÚSTICA SUBMARINA</b> .....	16
3.1	VELOCIDADE E PROPAGAÇÃO DE ONDAS .....	16
3.2	DECIBEL .....	17
<b>4.</b>	<b>EQUAÇÃO SONAR</b> .....	19
4.1	SINAL TRANSMITIDO .....	19
4.2	PERDAS NA TRANSMISSÃO .....	21
<b>5.</b>	<b>SONAR MULTIFEIXE</b> .....	24
5.1	GEOMETRIA DO SONAR .....	24
5.2	FORMAÇÃO DOS FEIXES .....	26
5.3	BACKSCATTER .....	26
<b>6.</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO ACÚSTICA</b> .....	29
6.1	ANÁLISE TEXTURAL .....	29
6.2	FUNÇÃO DA DENSIDADE DE PROBABILIDADE .....	30
6.3	ANÁLISE DE ENERGIA ESPECTRAL .....	31
6.4	ANÁLISE ANGULAR .....	31
<b>7.</b>	<b>AMBIENTES GLACIOMARINHOS</b> .....	33
7.1	SEDIMENTAÇÃO GLACIOMARINHA .....	33
<b>8.</b>	<b>ÁREA DE ESTUDOS: EXEMPLO DE APLICAÇÃO</b> .....	37
<b>9.</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	40
9.1	PROCESSAMENTO DOS DADOS .....	41
9.1.1	Processamento da Batimetria.....	41
9.1.2	Processamento do <i>Backscatter</i> .....	46
9.1.3	Análise da Amostra de fundo .....	50
<b>10.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	53
<b>11.</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	57
<b>12.</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	58
<b>13.</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	60
<b>14.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b> .....	62
<b>15.</b>	<b>ANEXOS</b>	
15.1	Anexo A – Equações da velocidade do som nos oceanos .....	63
15.2	Anexo B – Especificações do sonar multifeixe modelo EM-3000 .....	65
15.3	Anexo C – Mapa textural da baía do Almirantado .....	66

# 1. INTRODUÇÃO

A superfície do nosso planeta possui um domínio subaquático que corresponde aproximadamente a 70% de sua área. O conhecimento das características deste domínio tem sido interesse do homem a muitos anos. A utilização de ondas acústicas para detecção de alvos neste domínio foi primeiramente proposta por Leonardo DaVinci, mas sua aplicação prática teve início durante a Primeira Guerra Mundial, com a criação do sonar (*Sound Navigation and Ranging*). Somente com a Guerra Fria foram desenvolvidos os sonares multifeixe, sendo o *Sea Beam* o primeiro, criado em 1977 (RENARD & ALLENOU, 1979). Desde então a sua tecnologia vem sendo utilizada para fins científicos, industriais e militares.

Sonares ativos possuem como característica o envio de um pulso acústico e gravação de sua resposta, e são classificados de acordo com a configuração de seus sistemas. As cinco categorias principais são: sonares monofeixe, sonares multifeixe, sonar de varredura lateral (*sidescan*), perfilador de subfundo e sistemas de posicionamento acústico (LURTON, 2002).

O sonar multifeixe, devido a sua capacidade de medir a profundidade realizando varredura de áreas ao invés de perfis, acabou se tornando uma ferramenta essencial na identificação das feições que compõem o fundo oceânico. Ultimamente além da utilização do tempo de propagação da onda acústica para obter a profundidade, a intensidade de resposta do pulso acústico tem sido utilizada na classificação do tipo de fundo (ANDERSON, 2008).

## 1.1 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo sobre a utilização do sonar multifeixe na classificação do tipo de fundo oceânico e, posteriormente, apresentar um exemplo desta aplicação na enseada de Martel, localizada na baía do Almirantado, Península Antártica. Esta classificação é realizada através de um modelo que utiliza informações retiradas da intensidade do sinal de retorno (ou *backscatter*), sendo importante considerar todos os parâmetros que influenciam a propagação da onda acústica no mar, e a relação do sinal enviado/recebido pelo equipamento, como descreve a equação sonar.

O processamento dos dados foi realizado em duas etapas como descrito no capítulo 9: processamento da batimetria e processamento do *backscatter*. Como produto final espera-se obter um mapa de distribuição granulométrica da região. Para validar o modelo gerado com o auxílio do software Geocoder 4.1, será realizada uma correlação com quatro amostras de fundo já descritas em trabalhos anteriores e uma amostra descrita neste trabalho.

## 2. ACÚSTICA SUBMARINA NO MAPEAMENTO OCEÂNICO

Acústica submarina pode ser definida como o uso ativo ou passivo do som para o estudo de parâmetros e processos físicos no mar, bem como para avaliar o comportamento e definir organismos marinhos (MEDWIN & CLAY, 1998).

A utilização da acústica submarina no mapeamento oceânico tem como vantagem seu baixo custo em relação a amostragens, sua maior varredura e menor tempo de sondagem. A correlação das propriedades acústicas com sedimentos superficiais do fundo oceânico é realizada desde a década de setenta e ao longo dos anos a importância desta correlação é apontada em diversos estudos (HAMILTON, 1971, 1980; HAMILTON & BACHMAN, 1982; OHTA, 2005, PETERSON *et al*, 2009). Com isso a classificação acústica está se tornando uma ferramenta importante no mapeamento oceânico.

Inicialmente, a classificação do fundo era somente uma análise subjetiva que correlacionava amostras de fundo com o mosaico gerado pelas diferenças de intensidade do sinal de retorno (*backscatter*) principalmente do sonar de varredura lateral (*sidescan sonar*) (HAMILTON, 1980; GOFF *et al*, 2000; COCHRANE & LAFFERTY, 2002). Hoje em dia, além da classificação interpretativa, a classificação estatística é bastante utilizada, pois correlaciona propriedades do fundo oceânico com parâmetros estatísticos extraídos do *backscatter*.

A utilização da classificação acústica varia de acordo com o objetivo da pesquisa. Existem diversas informações que podem ser retiradas dos dados acústicos remotamente medidos como propriedades físicas e geotécnicas do fundo, morfologia e granulometria. (GOFF, 2000; DARTNELL, 2004; COLLIER & BROWN, 2005; BARTHOLOMÄ, 2006; LEE *et al*, 2008). A granulometria e a rugosidade desempenham um papel importante na classificação, pois estas duas características

são indicativas da energia do ambiente, auxiliando o entendimento de alguns processos geológicos atuantes na região. Como o tipo de fundo, junto com a topografia, também ajudam a determinar os limites de algumas comunidades bentônicas (POPULUS, 2006), a caracterização de habitats também é uma aplicação importante da classificação acústica do fundo oceânico (SIWABESSY *et al*, 1999; KOSTYLEV, 2001; SELF *et al*, 2001; ELLINGSEN, 2002; FREITAS, 2003; MCGONIGLE *et al*, 2009), seja ela interpretativa, estatística ou a combinação das duas (EHRHOLD, 2007).

### 3. PRINCÍPIOS BÁSICOS DA ACÚSTICA SUBMARINA

#### 3.1 VELOCIDADE E PROPAGAÇÃO DE ONDAS

Para entender o funcionamento de um sonar é necessário compreender a propagação do som na água. As ondas elásticas ou mecânicas são ondas que não se propagam no vácuo e precisam de um meio sólido ou fluido para sua propagação. Essas ondas podem ser longitudinais ou compressionais (ondas P), quando a movimentação das partículas de um meio ocorre na mesma direção de propagação. Quando essa movimentação ocorre perpendicularmente à sua direção de propagação, a onda é definida como cisalhante (ondas S). Em meio fluido só é possível a propagação de ondas P, como as ondas acústicas que serão estudadas neste trabalho.

A distância física entre as frentes de pressão de uma onda que se propaga é definida como comprimento de onda ( $\lambda$ ). O número destas frentes de pressão que passam por um determinado ponto estacionário por unidade de tempo é definido como frequência ( $f$ ).

A velocidade da propagação de uma onda é definida pela relação comprimento de onda X frequência. Esta velocidade ( $C$ ) varia de acordo com algumas propriedades do meio, tais como sua compressibilidade e densidade, como mostra a equação 1. A compressibilidade pode ser representada pela relação pressão de confinamento / deformação volumétrica resultante, que é definida como módulo de incompressibilidade ou módulo de volume ( $k$ ).

Já a densidade característica do meio ( $\rho$ ) irá depender da temperatura, salinidade e pressão da água. A variabilidade desses parâmetros depende de diversos fatores ambientais como o influxo de rios, ação de ondas, ventos, correntes, marés, profundidade, estações do ano e latitude da região.

$$C = \sqrt{k / \rho} \quad (1)$$

Na prática, são utilizadas algumas fórmulas experimentais para determinação local da velocidade do som (Anexo A). Algumas equações como a de Mackenzie e de Coppens, utilizam como parâmetros a salinidade em psu (*Practical Salinity Units* = ‰), temperatura em °C e profundidade em metros. Já equações como a da UNESCO ou a de Del Grosso utilizam a pressão medida em bar e μPa, respectivamente, como parâmetro ao invés da profundidade. E para isso utilizam outras equações experimentais que relacionam pressão com profundidade. A equação da UNESCO é a equação padrão internacional, porém cada equação é válida de acordo com a acurácia necessária do levantamento (ESWARD & ABLITT, 2000).

### 3.2 DECIBEL

O decibel é uma representação logarítmica de alguma propriedade física, que relaciona uma medida a um nível de referência. Em acústica submarina, a utilização desta escala é importante, tendo em vista a diferença de magnitude das medidas. Os parâmetros físicos utilizados nesta escala são pressões ou intensidades.

O valor da pressão acústica define a amplitude de propagação da onda, podendo ser descrita, por exemplo, para uma onda esférica e um meio isotrópico de acordo com a equação 2.

$$p(t) = (p_0/R)e^{(2j\pi f_0(t-R/c))} \quad (2)$$

Sendo, amplitude inicial considerada a 1 metro da fonte ( $p_0$ ) =  $\rho c \omega a_0$ ; R = distância da fonte;  $\rho c$  = impedância característica do meio de propagação como definido por Rayleigh, 1945 (*apud* LURTON, 2002), e  $\omega$  = frequência angular.

Já a intensidade do som é a relação entre pressão acústica e velocidade de propagação, definida pela equação 3, que representa um fluxo de energia por unidade de tempo e de área.

$$I = p_o^2 / 2\rho c \quad (3)$$

Estes valores de pressão ou intensidade são quantificados na escala logarítmica decibel na forma:  $10\log_{10}(P_1/P_2)$ , sendo  $P_1$  a pressão medida na chegada da onda e  $P_2$  a pressão de referência, que é normalmente  $1\mu\text{Pa}$ . Esta notação facilita a quantificação da relação entre sinal transmitido, recebido e suas perdas representada pela equação sonar.

## 4. EQUAÇÃO SONAR

A equação sonar representa a relação sinal/ruído (*echo/noise ratio*) de uma medida acústica, levando em consideração as influências do equipamento utilizado, do meio de propagação do sinal e do alvo desejado (ULRICK, 1983 *apud* ANSLIE, 2008). Esta relação sinal/ruído, representada por EN na equação 4, permite avaliar as contribuições das perdas do sinal e o quanto elas influenciam o sinal de resposta em dB.

$$EN = SL + DI - 2TL - NL + BS \quad (4)$$

Sendo SL = potência do sinal transmitido (*source level*); DI = índice de diretividade (*directivity index*); TL = perdas de transmissão (*transmission loss*); NL = ruído ambiental (*noise level*) e BS = intensidade do sinal de retorno (*backscatter*)

### 4.1 SINAL TRANSMITIDO

A potência do sinal transmitido ou *Source Level* (SL), depende da potência elétrica ( $P_{IN}$ ) de entrada do equipamento e da eficiência do mesmo ao transformar a potência elétrica em pulso acústico e vice-versa, como mostra a equação 5.

$$SL = 10\log_{10}P_{IN} + 10\log_{10}(\text{Eficiência}/100) + 170,8 \quad (5)$$

Porém, esta equação é válida apenas para um pulso onidirecional. Como o pulso em um sonar multifeixe é direcionado, leva-se em consideração a diretividade do feixe (DI). O conhecimento da diretividade é crítico, pois esta determina a forma do feixe padrão (*beam pattern*) do equipamento, e é usada na correção do sinal.

O feixe padrão possui um lóbulo principal e outros lóbulos secundários. A diretividade deste feixe vai variar de acordo com a abertura, a forma (linear, circular), o tamanho do arranjo de transdutores (quantidade de transdutores) e com o comprimento de onda do pulso acústico.

Um transdutor circular, por exemplo, tem a diretividade definida pela equação 6, sendo  $D$  o diâmetro do transdutor e  $\lambda$  o comprimento de onda.

$$DI = 10\log_{10}(\pi D/\lambda) \quad (6)$$

Como mostra a figura 1, quanto maior razão abertura do transdutor/comprimento de onda, maior a diretividade. Logo, com o aumento da banda frequências, e conseqüente aumento do número de lóbulos, o feixe principal destaca-se mais, permitindo melhor resolução.

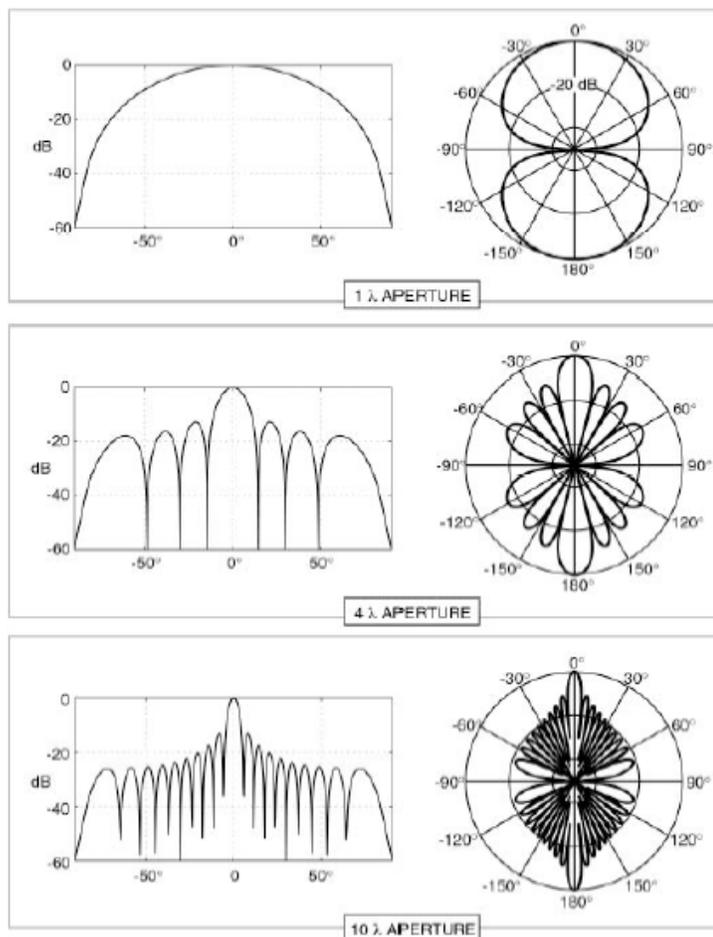


Figura 1 – Três exemplos de feixe padrão. *Acima* abertura do transdutor de  $1\lambda$ ; *No meio* abertura de  $4\lambda$ ; *Abaixo* de  $10\lambda$ . Quanto maior a razão abertura do transdutor/comprimento de onda, melhor a resolução. C. de Moustier®.

## 4.2 PERDAS NA TRANSMISSÃO

Durante a propagação da onda acústica acontecem 2 tipos de perdas principais: a absorção e o espalhamento esférico. Estas perdas de transmissão (*Transmission Loss*) representadas por TL na equação sonar, são definidas pela equação 7.

$$TL = 20\log_{10}(R/R_1m) + \alpha R \quad (7)$$

Como energia se conserva, a intensidade do sinal (equação 3) é inversamente proporcional à área da esfera de propagação, pois a energia do raio

menor deve ser a mesma do raio maior (figura 2). O primeiro termo da equação 7 representa este espalhamento esférico, considerando  $R$  o raio da esfera de propagação e o raio de referencia igual 1m. Como o sinal é transmitido e recebido, esse espalhamento é considerado duas vezes.

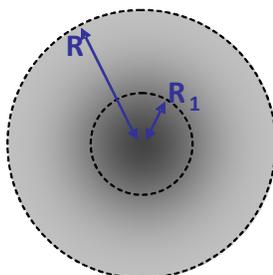


Figura 2 – Espalhamento esférico. Energia na área de raio menor deve ser igual à de raio maior.

Já o segundo termo da equação representa a absorção da energia do sinal no meio de propagação. O coeficiente  $\alpha$  foi definido por François & Garrison em 1982 (*apud* LURTON, 2002), e representa o modelo de atenuação mais utilizado por associar a absorção da energia à viscosidade da água e à dissociação de alguns compostos iônicos. Este coeficiente relaciona freqüência de operação do sonar com a viscosidade da água pura, analisando sua temperatura, e a dissociação de moléculas de sulfato de magnésio e ácido bórico durante a propagação da onda, de acordo com uma fórmula experimental.

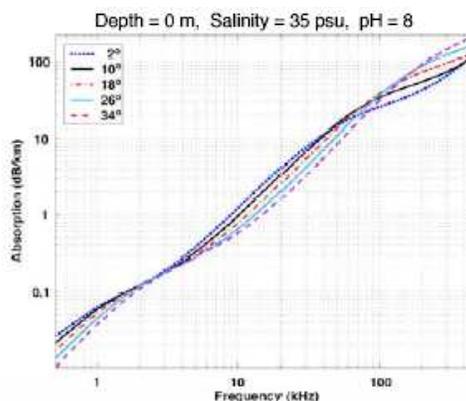


Figura 3 – Gráfico experimental de François & Garrison, 1982 que relaciona freqüência com a absorção para determinadas temperaturas do oceano. (Fonte: UNB Course Material, 2005)

Além do espalhamento esferoidal e da absorção, alguns ruídos ambientais interferem no registro da resposta do fundo. O ruído ambiental (*Noise Level*) aumenta com o aumento da banda de frequência ( $W$ ) e é estimado por Urick (1983) através da observação de condições de mar, ventos e ruídos da embarcação como mostra a equação 8 e a figura 4.

$$NL = N_0 + 10\log_{10}(W) \quad (8)$$

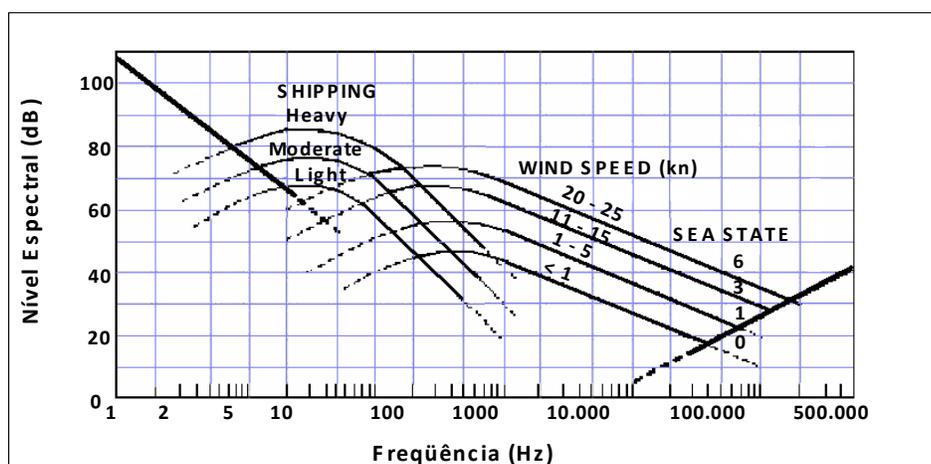


Figura 4 – Adaptado de Urick, 1983. Relação de frequência de operação com condições ambientais. Esta relação define o termo  $N_0$  da equação 8.

Conhecendo o valor de transmissão e estimando os valores de perda do sinal, é possível estimar a resposta do fundo. Ao utilizar o método acústico do sonar multifeixe, essa resposta irá depender de alguns fatores, dentre eles, a área ensonificada que varia de acordo com o tipo de sonar utilizado.

## 5. SONAR MULTIFEIXE

O sonar multifeixe tem grande importância científica, industrial e militar. Ele auxilia projetos na área de engenharia submarina, geologia, biologia marinha (ANDERSON, 2008) e também na pesca, definindo habitats de peixes. Também desempenha um papel importante na construção de cartas náuticas mais acuradas e na navegação submarina. Devido à sua capacidade de realizar varredura de áreas ao invés de perfis acabou se tornando uma ferramenta essencial na identificação das feições que compõem o fundo oceânico, sendo utilizado inclusive por serviços geológicos de diversos países (PICKRILL & BARNES, 2003).

### 5.1 GEOMETRIA DO SONAR MULTIFEIXE

Para compreensão do comportamento da resposta do sinal é importante definir sua geometria de aquisição. A figura 5 mostra a disposição dos feixes a boreste e bombordo do sonar em relação ao seu eixo (*nadir*). O número de feixes do sonar varia de acordo com o modelo do equipamento utilizado. O alcance lateral máximo depende do ângulo máximo de varredura e varia com a profundidade. Quanto maior o ângulo de varredura (*swath angle*), maior o alcance lateral. Em águas rasas, por exemplo, é mais vantajoso manter a abertura máxima para otimizar o tempo de sondagem, porém em águas mais profundas, esse alcance máximo pode prejudicar a resolução do levantamento.

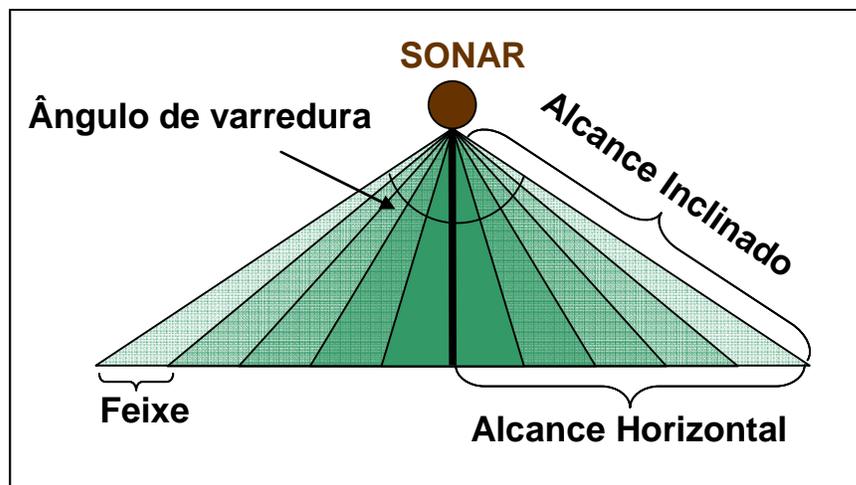


Figura 5 – Geometria do sonar multifeixe.

A transmissão do pulso em um sonar multifeixe se dá através de um arranjo de transmissores posicionados na direção de navegação e a sua recepção ocorre em um arranjo posicionado perpendicularmente, como mostra a figura 6. Dentro dessa configuração, existem alguns tipos de disposição dos transmissores e receptores, como L, T e Mill's cross por exemplo, vão influenciar bastante na formação dos feixes padrão.

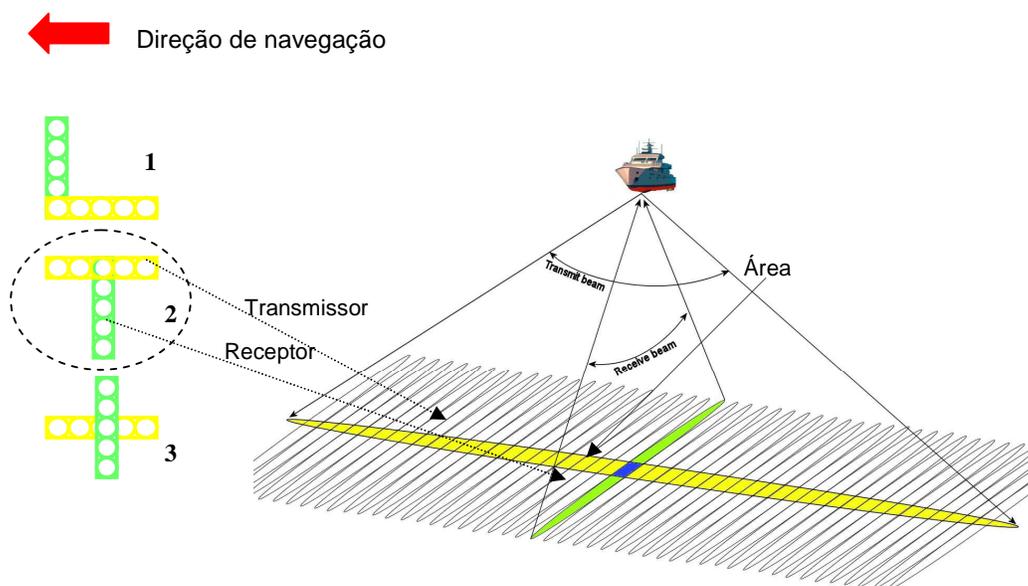


Figura 6 – À direita, transmissão perpendicular à recepção do pulso acústico em um sonar multifeixe. (©2008 by Applied Microsystems, Canadá). À esquerda, disposição de arranjos de transmissores e receptores, em L (1), T (2) e Mill's cross (3). A configuração 2 é a presente no modelo de equipamento utilizado neste trabalho, EM 3000.

## 5.2 FORMAÇÃO DOS FEIXES

Cada feixe do sonar representa uma série temporal. A formação dos feixes também varia de acordo com o equipamento utilizado. Esta se dá através da relação do espaço entre os receptores em um arranjo, com o ângulo de chegada das frentes de onda. Para cada ângulo em determinado tempo, haverá frentes de onda de mesma fase que serão somadas em uma série temporal de acordo com o método matemático que conseguir o menor tamanho de feixe e a melhor resolução. (RØNHØVDE, 1999).

O método utilizado pelo sonar multifeixe utilizado neste trabalho é o FFT, de acordo com as especificações do equipamento descritas no Anexo B. Este método avalia, para um determinado tempo, todas as direções de chegada do sinal e realiza soma destes retornos. (figura 7)

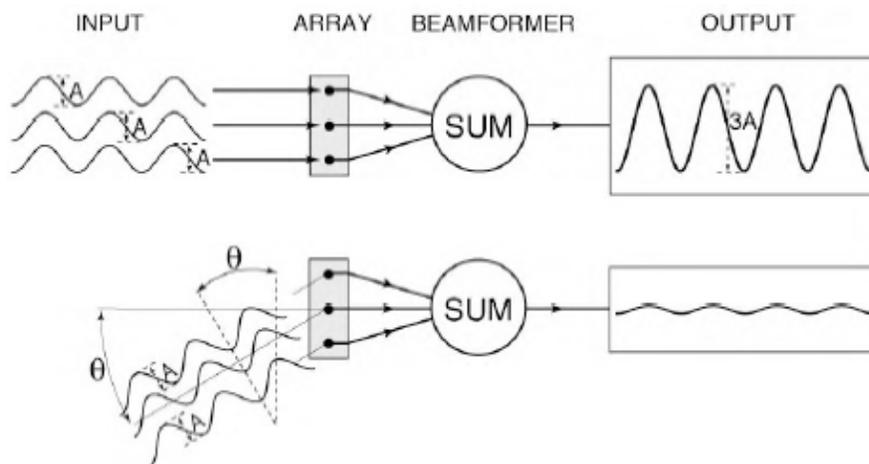


Figura 7 – Formação de feixes. Método utilizado nos dados deste trabalho: FFT. Quanto mais próximo do nadir, maior a amplitude do sinal, pois a diferença de fase colabora para a soma destrutiva do sinal. C. de Moustier®.

## 5.3 BACKSCATTER

O retro-espalhamento (*backscatter*) é o sinal acústico que retorna após interação com o fundo (figura 8). Como o multifeixe ensonifica áreas de varredura, as

intensidades deste sinal são representadas por áreas, comumente em forma de mosaico. A grande vantagem de usar o multifeixe ao invés do sonar de varredura lateral (*sidescan*) é que ele possui uma acurácia espacial maior, pois ele grava batimetria junto com o *backscatter* (BRISSETTE & CLARKE, 1999).

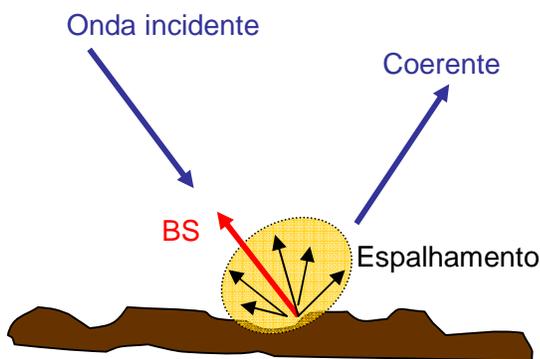


Figura 8 – Relação do sinal acústico com o fundo oceânico. Onda incide e espalha ao interagir com o fundo. O sinal de retorno é o *backscatter*.

Após considerar todas as variáveis relacionadas na equação sonar (4), que influenciam o *backscatter*, é possível atribuir uma contribuição do fundo na resposta do sinal de retorno. De acordo com a equação 9, o *backscatter* é formado a partir da área de ensonificação (AE) e da característica intrínseca do fundo ( $S_B$ ).

$$BS = S_B + 10\log_{10}(AE) \quad (9)$$

A área de ensonificação do fundo varia de acordo com a disposição dos transdutores e aumenta com o aumento do ângulo do feixe e da profundidade (LURTON, 2002). Porém ela pode ser definida como uma relação entre o alcance inclinado ( $R$ ), com o tamanho do pulso ( $\tau$ ), o ângulo incidência rasante (*grazing angle* =  $\beta$ ) e o ângulo de abertura do feixe ( $\phi$ ) como mostram a equação 10 e a figura 9.

$$AE = \varphi R c \tau / 2 \cos \beta \quad (10)$$

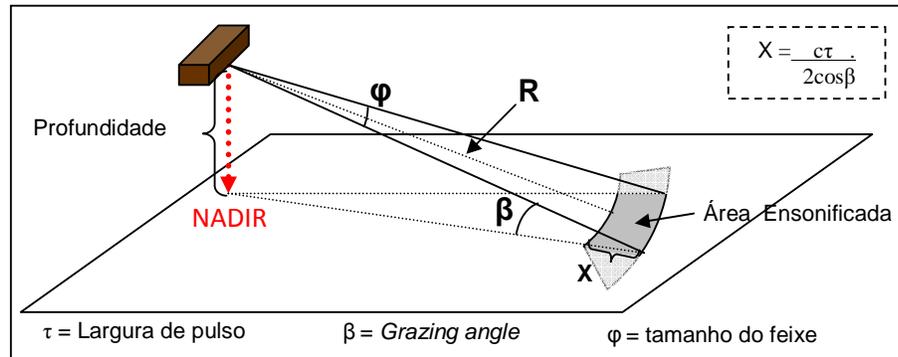


Figura 9 – Configuração da área de ensonificação.

Com a área de ensonificação definida, a outra parte do sinal que retorna ao sonar leva informações intrínsecas do fundo, como por exemplo, a granulometria e a rugosidade. Esta parte do sinal é utilizada na classificação de fundo oceânico, como descrito no capítulo 6.

## 6. CLASSIFICAÇÃO ACÚSTICA

A classificação do tipo de fundo oceânico é aplicada em diversas áreas como geologia e biologia marinha, engenharia submarina e hidrografia. Com isso a acústica submarina aplicada à classificação de fundo vem desenvolvendo tecnologias que otimizam os levantamentos, reduzindo tempo e custo de operação (ANDERSON, 2008).

Dentro da utilização da intensidade do sinal de retorno para classificar o fundo, existem quatro tipos principais de análises: análise textural, função da densidade da probabilidade, análise de do espectro de energia e análise angular.

### 6.1 ANÁLISE TEXTURAL

A análise textural caracteriza-se por retirar as informações dos pixels presentes no mosaico do *backscatter*, normalmente ignorando a geometria dos feixes formadores do mosaico. Dentro desta análise existem diversos algoritmos de processamento. Um dos mais conhecidos e utilizados é o de matrizes de co-ocorrência de níveis de cinza (*gray level co-occurrence matrices*) ou apenas GLCM, definido por Haralick, 1979 (*apud* TUCERYAN & JAIN, 1998) que atribui os valores do fenômeno em questão a tons de cinza. Neste método é realizada a correlação dos pixels de uma imagem com os seus vizinhos, em diversas direções. Com este método é possível retirar diversos parâmetros como energia, entropia, contrastes e homogeneidade.

Estes parâmetros inicialmente foram correlacionados com propriedades do fundo como rugosidade e granulometria, em levantamentos com o *sidescan* sonar (GOFF, 2000; COLLIER, 2005). Atualmente alguns softwares como o QTC e o

Geocoders utilizam esse método aplicado ao sinal de retorno do sonar multifeixe, como ferramenta para auxiliar na classificação acústica.

## 6.2 ANÁLISE DA FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE

A função densidade de probabilidade descreve a relação sinal/ruído, que varia dentre outros fatores, de acordo com a rugosidade do fundo. A rugosidade é uma medida relativa ao comprimento de onda do sinal. Considerando a rugosidade uma variável aleatória de média igual a zero, de acordo com Demer, 2009, ao analisar a razão variância/média no tempo, é possível determinar o grau de aleatoriedade do fenômeno.

O desvio padrão da rugosidade obedece a uma Gaussiana. Como mostra a figura 10, considerando o mesmo comprimento de onda, quanto maior a esbelteza da curva, maior seu desvio padrão e menos rugoso é o fundo.

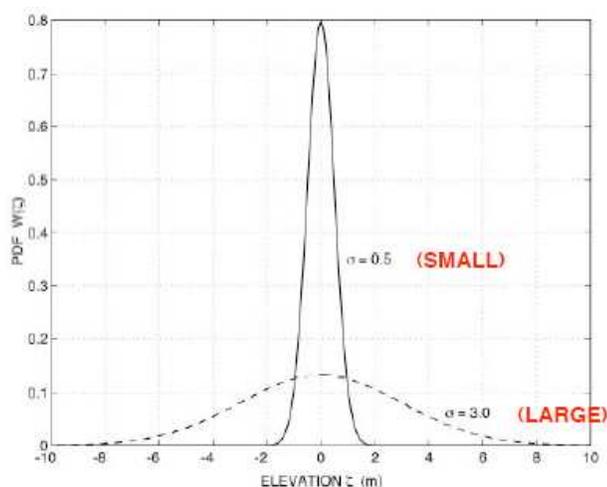


Figura 10 – Distribuição da função densidade de probabilidade de acordo com a elevação. Alto valor de desvio padrão, menor a rugosidade.

Logo, a função densidade de probabilidade permite inferir uma rugosidade ao fundo oceânico para um determinado comprimento de onda a partir da relação sinal/ruído do sinal de retorno.

### 6.3 ANÁLISE DO ESPECTRO DE ENERGIA

A análise do espectro de energia utiliza uma série de intensidades do backscatter delimitadas em uma área e realiza um processamento com o método da transformada de Fourier. Isto permite que para cada área delimitada, seja quantificada a distribuição de energia por banda de comprimento de onda. (PACE & GAO, 1988, *apud* OLIVEIRA JUNIOR, 2007)

Essa relação energia/comprimento de onda, pode ser associada às variações na topografia e no tipo de fundo. Quando associada a outros parâmetros, a análise da energia espectral apresenta um bom resultado na classificação acústica de fundo (OLIVEIRA JUNIOR, 2007).

### 6.4 ANÁLISE ANGULAR

Na análise angular, considera-se que o ângulo de incidência altera a intensidade da resposta do fundo: quanto maior o ângulo, menor a intensidade do sinal. Além disso, algumas propriedades do fundo como a rugosidade, impedância água/fundo e volume podem influenciar mais ou menos, com variação na angulação e área ensonificada (CLARKE *et al*, 1997). De acordo com Hamilton (1980) cada tipo de fundo interage de maneira diferente com o sinal acústico.

O modelo abaixo (figura 11) é um exemplo da análise angular do tamanho do grão. Este modelo foi gerado no software Matlab para o curso de multifeixe da UNB de acordo com o manual de modelagem acústica submarina para sinais de alta frequência do Laboratório de Física Aplicada da Universidade de Washington.

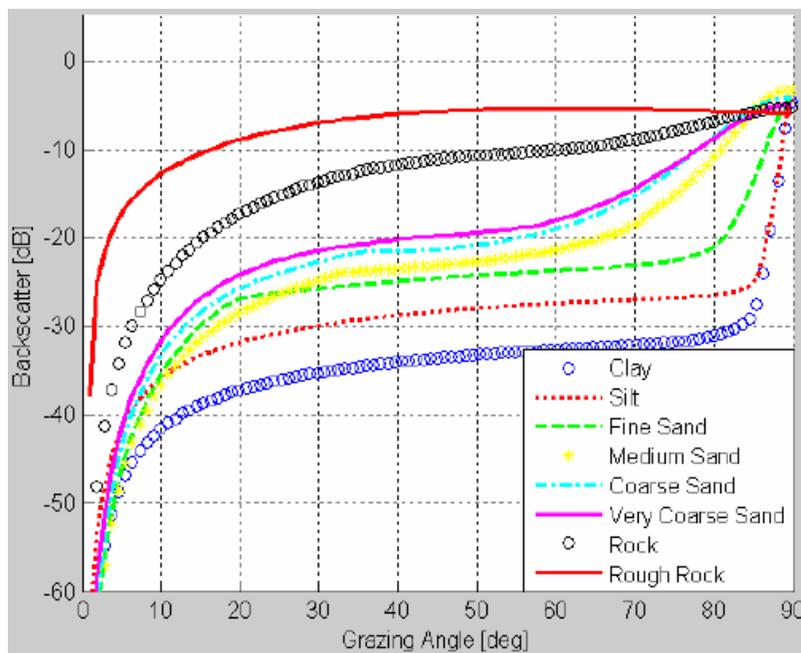


Figura 11 – Relação entre a intensidade do sinal e a variação angular. Cada tipo de fundo se comporta de maneira diferente com a variação angular. (UNB Training Course, 2005)

Alguns autores constataram experimentalmente que os “*low grazing angles*” (ângulos maiores que  $60^\circ$ ) são mais importantes na classificação de fundo, pois eles têm um maior número de amostras devido à sua maior área ensonificada. E ao contrário de um levantamento batimétrico, para classificar o fundo oceânico, os feixes centrais estatisticamente não apresentam a melhor resposta. (HELLEQUIN, 2003; OLIVEIRA JR. & CLARKE, 2007).

A classificação realizada neste trabalho na enseada de Martel, como exemplo de aplicação do método, terá como principal análise a angular. Para uma resposta mais satisfatória, os resultados da inversão do modelo serão comparados a amostras de fundo e a classificação por análise textural. Os capítulos seguintes discorrerão sobre o ambiente de sedimentação atual que se encontra a área de estudo e os processamentos e resultados da classificação acústica.

## 7. AMBIENTES GLACIOMARINHOS

A área de estudo do presente trabalho possui a dinâmica de um ambiente glaciomarinho. Este ambiente caracteriza-se pela interação entre os processos de ambientes glaciais e marinhos. Ambientes glaciais são locais onde o gelo e as águas derivadas do degelo são os principais agentes de transporte e deposição de sedimentos. A disposição e movimentação das geleiras são fatores fundamentais na escultura do relevo observado neste tipo de ambiente.

As geleiras são definidas pela acumulação e compactação da neve associada à água de degelo e detritos, formados através da combinação de fatores como a baixa temperatura ambiente, a alta taxa de precipitação e a baixíssima taxa de evaporação (REINECK & SINGH, 1975). O padrão primário da erosão abaixo de uma geleira é controlado pelo regime termal basal. Ou seja, as variações de temperatura controlam as taxas de deformação do gelo e da quantidade de água de degelo, que lubrificará o substrato.

### 7.1 SEDIMENTAÇÃO GLACIOMARINHA

Nos ambientes glaciomarinhos (figura 12) a principal fonte de sedimentos são as geleiras. A deposição sedimentar varia de acordo com a distância em relação à margem da geleira. Deste modo, os sedimentos podem ser depositados pelas geleiras ou transportados por *icebergs*<sup>1</sup>, ou remobilizados por correntes de acordo com os processos atuantes no interior do corpo d'água. (BENTLEY, 1987 *apud* ASSINE & VESELY, 2008).

<sup>1</sup>*Iceberg* é o termo dado ao bloco de gelo desprendido de uma geleira. Seu processo de formação recebe o nome de *calving*.

Segundo alguns autores a geleira erode por abrasão ou por remoção de blocos (*plucking*). O segundo processo é quantitativamente mais importante, sendo ainda responsável pela produção dos objetos que causam abrasão (EMBLETON & KING, 1975 apud ASSINE & VESELY, 2008). Além da ação direta do gelo, fluxos de água de degelo também exercem papel erosivo importante.

De acordo com Assine & Vesely, 2008, os ambientes glaciomarinhos podem ser subdivididos basicamente em três tipos de acordo com a posição em relação à geleira (figura 12):

- 1) Subglacial: processos e depósitos diretamente vinculados à dinâmica da geleira.
- 2) Proglacial proximal: processos sofrem grande influência da margem da geleira.
- 3) Proglacial distal: dominam os processos marinhos.

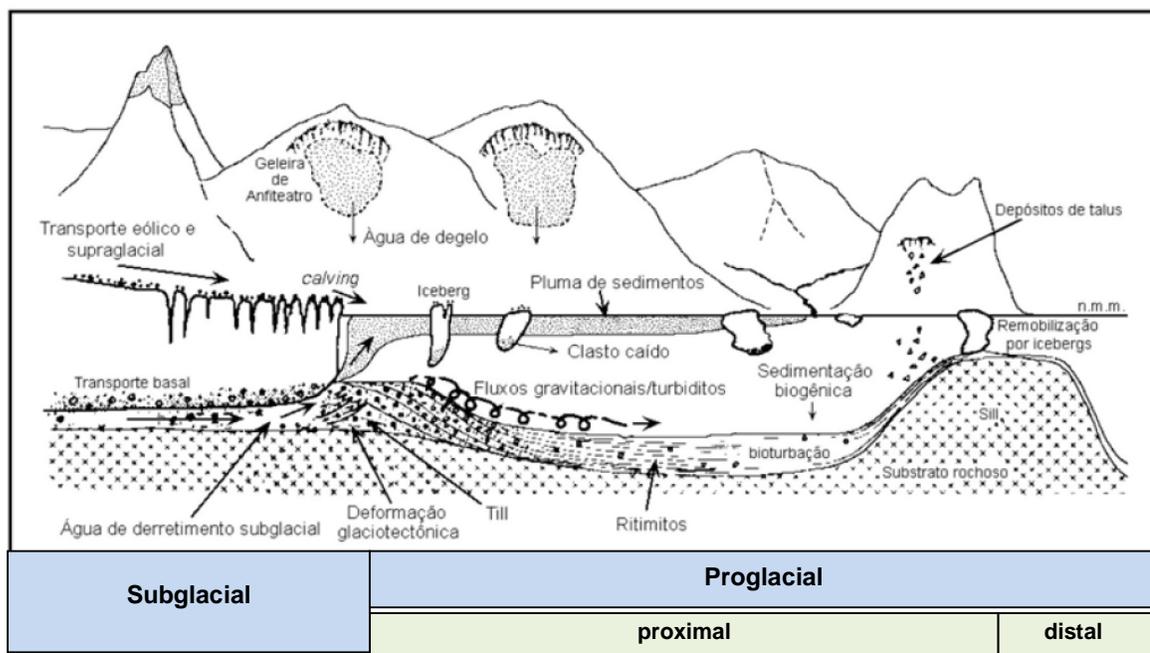


Figura 12 – Esquema representando um ambiente glaciomarinho com suas subdivisões e processos atuantes. (Modificado de Aquino, 1992)

Na zona Subglacial as geleiras desempenham o papel principal na deposição sedimentar, construindo principalmente as feições de morainas ou morenas. Estas feições são cristas lineares de detritos glaciais que acompanha lateralmente a geleira, ou arqueada, junto à sua margem frontal indicando a movimentação de suas frentes (REINECK & SINGH, 1975).

Sedimentos da zona proglacial são provenientes de material transportado pela geleira, que é retrabalhado por correntes de água de degelo e por fluxos de gravidade subaquosos, ou ainda por plumas de suspensão. As fácies sedimentares resultantes, de acordo com Eyles *et al.* (1985) (*apud* ASSINE & VESELY, 2008) surgem da combinação de três processos: tração, ressedimentação gravitacional e chuva de detritos (*rain-out*).

Chuva de detritos (*rain-out*) é um dos processos mais comuns no ambiente glaciomarinho, responsável pela formação de espessos pacotes de diamictitos. Quando jatos de água de degelo carregados de sedimentos são expulsos da geleira e penetram no corpo d'água, parte da carga sedimentar, normalmente a mais fina, ascende na forma de plumas e permanece em suspensão na água. A decantação da fração fina, combinada à queda de clastos de *icebergs* (figura 13) ou de plataformas de gelo, gera diamictitos maciços ou pouco estratificados.



Figura 13 – Iceberg com sedimentos removidos por *calving*, na enseada de Martel.

Já a deposição por correntes subaquosas de água de degelo envolve fluxos contínuos de alta energia, que depositam a fração mais grossa sob a forma de lobos. Devido à alta taxa de sedimentação e à granulometria grossa das partículas, os leques podem apresentar taludes deposicionais íngremes, mesmo onde a deposição é inteiramente subaquosa.

A região da enseada de Martel apresenta características como a presença de grandes geleiras em seu entorno, que permite esperar uma relação entre o modelo geológico previsto e a classificação acústica gerada pelo *backscatter* do multifeixe. Também é possível comparar os resultados encontrados neste trabalho, com uma proposta de classificação sedimentar para a região sugerido por Gruber, 1989, como mostra o anexo C.

## 8. ÁREA DE ESTUDOS: EXEMPLO DE APLICAÇÃO

A área onde será realizada a classificação acústica do fundo (figura 14) é enseada de Martel, na Baía do Almirantado, localizada na Ilha Rei George, Arquipélago Shetland do Sul, Península Antártica.

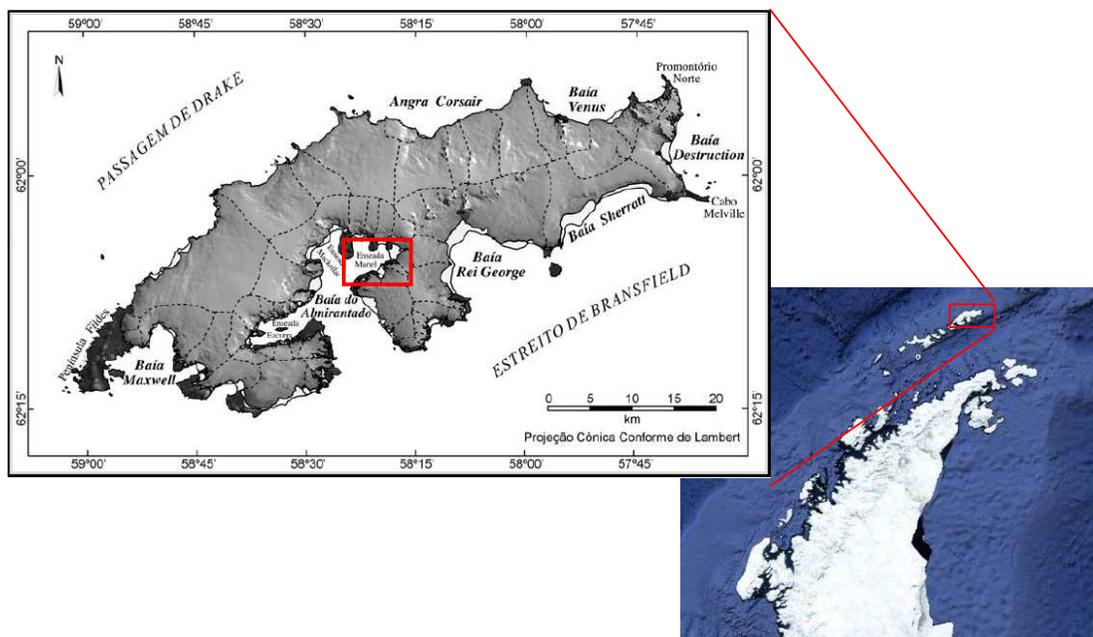


Figura 14 – Localização da área de aplicação da classificação acústica.

A ilha Rei George é o maior membro das ilhas Shetlands do Sul na Península Antártica. A baía do Almirantado representa o maior sistema de fiordes<sup>2</sup> desta ilha, possuindo ao sul conexão com o Estreito de Bransfield e ao norte três “embaixamentos” representados pelas: as enseadas de Ezcurra, de Mackellar e de Martel. A geologia regional se enquadra em um modelo tectônico que possui dinâmica de zona de subducção, com bacias de retroarco e um rift ativo no estreito de Bransfield. (BIRKENMAJER, 2003) Como mostra o mapa na figura 15, a enseada de Martel é cercada por rochas metavulcânicas e metassedimentares do grupo *Martel Inlet*.

<sup>2</sup> Fiorde é uma feição estuarina marinha formada em antigos vales glaciais que se caracteriza pela extensa entrada do mar ladeado por costões com paredes abruptas. Apresentam extensos afloramentos de rochas, expostas pela ação erosiva do gelo durante períodos glaciais com nível do mar rebaixado eustaticamente. (Fonte: Glossário Geológico UNB)



O grupo Martel Inlet é formado por cinco complexos vulcânicos que se superpõem a partir dos centros vulcânicos das formações: *Keller Península, Visa Anchorage, Domeyko Glacier, Ulman Spur e Goetel Glacier*.

O vulcanismo dessa região é originado da subducção da crosta oceânica do Pacífico sob a crosta continental da Antártica. A composição das lavas varia de andesitos basálticos à riolitos e a cloritização é comum neste grupo (BIRKENMAJER, 2003). Estas rochas de entorno da enseada de Martel são as fontes de sedimentos remobilizados pelas geleiras.

De acordo com a dinâmica deste tipo de ambiente espera-se que o cascalho grosso e a areia tendam a se acumular junto às frentes do gelo, mas podem também ocorrer pequenas acumulações de forma esparsa. As correntes de água de degelo subglacial distribuem, a partir da frente da geleira depósitos de cascalho, areia e lama (AQUINO,1992). Lamas se estendem das frentes de quebra da geleira para o interior dos fiordes e para além, mas torna-se laminado, devido às baixas taxas de sedimentação, floculação e bioturbação. (figura 16)

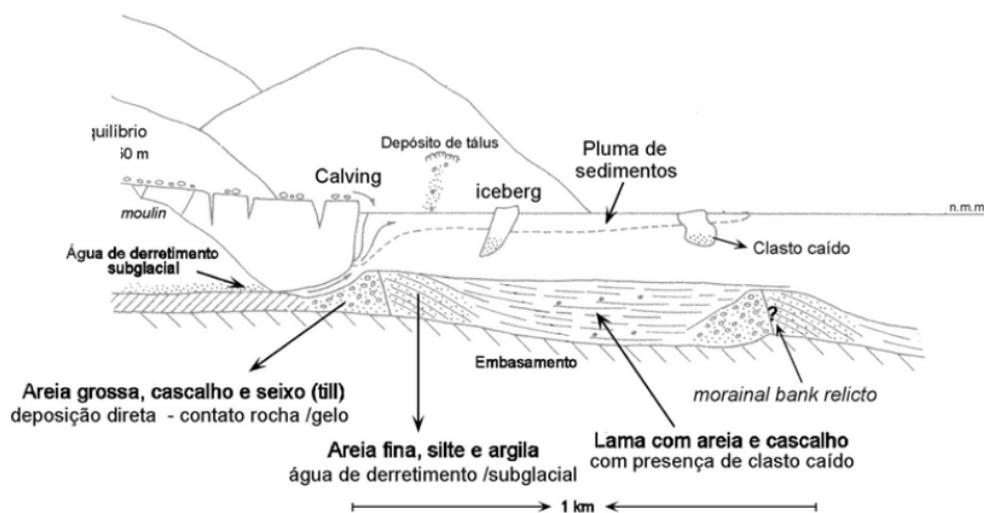


Figura 16 – Esquema representativo da disposição sedimentar de acordo com a proximidade da geleira. (Aquino, 1992)

## 9. METODOLOGIA

Os dados de multifeixe que foram utilizados no presente trabalho são provenientes do sonar multifeixe EM 3000 modelo da Kongsberg Maritime<sup>3</sup> e foram fornecidos pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Além dos dados de multifeixe, foi realizado um levantamento de amostras de fundo já existentes na região para comparação com a resposta acústica e o modelo geológico esperado.

As sondagens realizadas pela equipe do CHM com o sonar multifeixe ocorreram entre os dias 3 e 25 de outubro de 2008 à bordo da lancha Skua na enseada de Martel. Foram percorridas 349 linhas de multifeixe recobrando a área total como mostra a figura 17. Para garantir a qualidade do levantamento, a skua contava com o sistema DGPS Nav2050, o sensor de movimento MRU5, o sensor de atitude ou *gyro* Seapath 20. Foram lançados alguns perfiladores de velocidade SVPs (*Sound Velocity Profile*) modelo Digibar PRO e foram constatadas baixíssimas variações na velocidade do som na água, como esperado para esta região. O posicionamento das linhas derivado do DGPS foi realizado no datum WGS84 e em coordenadas geográficas.

<sup>3</sup> Características físicas e parâmetros de funcionamento do EM3000 encontram-se no ANEXO B.

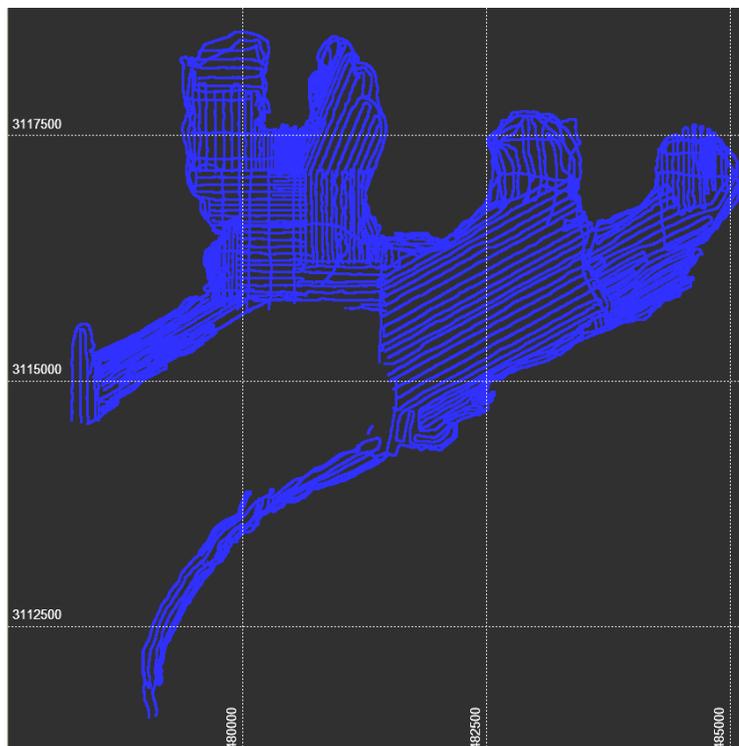


Figura 17 – Linhas de navegação do levantamento com o sonar multifeixe.

Devido às condições extremas do local, não foi possível montar uma estação maregráfica com uma régua de maré, pois o gelo no local removia e entortava a régua. Por conta disso foi utilizado um marógrafo de pressão para medir as variações de maré durante todo o levantamento.

Para cumprir com o objetivo do trabalho de classificar acusticamente o fundo oceânico da enseada de Martel, o processamento dos dados foram realizados em 3 etapas: o processamento da batimetria, o processamento do *backscatter* e a análise da amostra coletada.

### 9.1.1 Processamento da batimetria

A batimetria multifeixe deste trabalho foi processada com o auxílio da suíte de processamento Starfix 9.1 da empresa Fugro. Esta ferramenta permite que o processamento de cada sensor seja feito separadamente, e posteriormente unidos

através das suas posições relativas ao centro de referência da embarcação denominadas *offsets*.

Primeiramente foi utilizado o software VBAProc para carregar as linhas do sonar multifeixe em seu formato bruto (\*.all) e iniciar o processamento para cada sensor. A posição gravada no sistema DGPS, foi analisada para corrigir efeitos de eventuais saltos de posicionamento, e convertida em coordenadas métricas com projeção UTM (MC= 57S). Logo em seguida foi verificado sensor de movimento MRU realizando a correção de *pitch* e *roll*, com um filtro que remove os dados espúrios.

Durante esta etapa de processamento foi feita correção do aproamento (*heading*) e do *heave*. Devido as boas condições de mar e climáticas no local, o *heave* não sofreu variações abruptas, colaborando para um melhor resultado final. A redução da maré também foi realizada de maneira satisfatória, permitindo assim a continuidade nos dados entre uma linha e outra.

Antes de unir todos os dados destes sensores aos dados de multifeixe, foi realizada uma correção primeiramente automática, com a passagem de um filtro específico para remoção de alguns spikes<sup>4</sup>. Logo em seguida, foi realizada uma edição manual ao longo da varredura do multifeixe, na ferramenta denominada *Swath Edit*. Nesta etapa do processamento, os feixes foram agrupados em intervalos de 5 segundos e os spikes remanescentes foram removidos manualmente. Esta etapa ocorreu em todas as linhas individualmente (figura 18).

<sup>4</sup> Spikes são dados anômalos, com valores muito diferentes em relação aos pontos vizinhos.

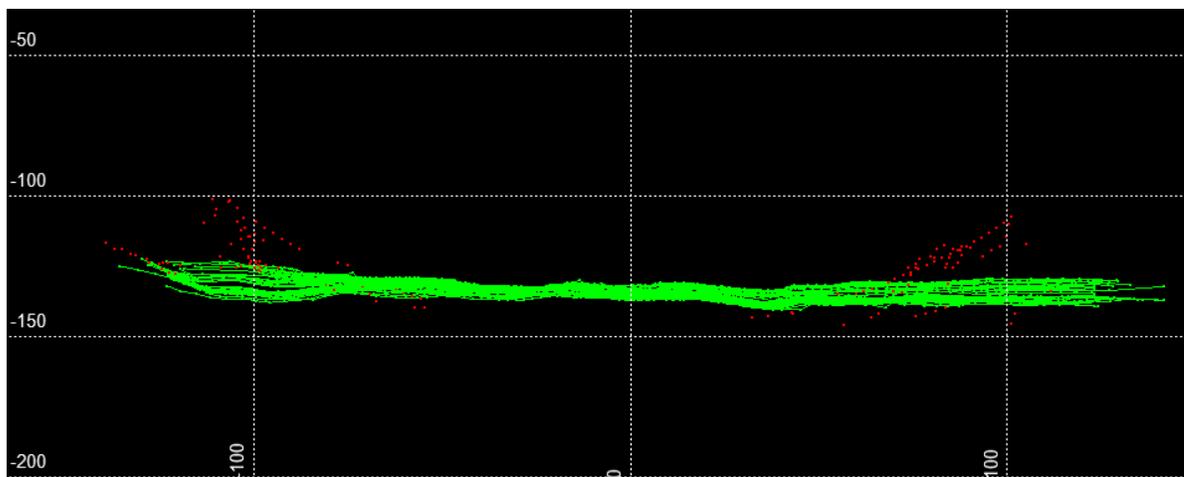


Figura 18 - *Swath Edit*. Visualização dos dados aceitos (verdes) e rejeitados (vermelhos) pelo filtro. A remoção manual foi feita nesta janela *Cross Section*, que contém 5 segundos de dados.

Após o processamento de cada sensor separadamente foi realizada a união (*merge*) dos mesmos com o dado do sensor multifeixe e estes foram carregados no software *WorkBench* da suíte Starfix 9.1. Nesta ferramenta é possível observar todas as linhas do levantamento e através da aplicação de uma paleta de cores global espaçada por incrementos de 10 centímetros (figura 19) foi possível identificar discontinuidades.

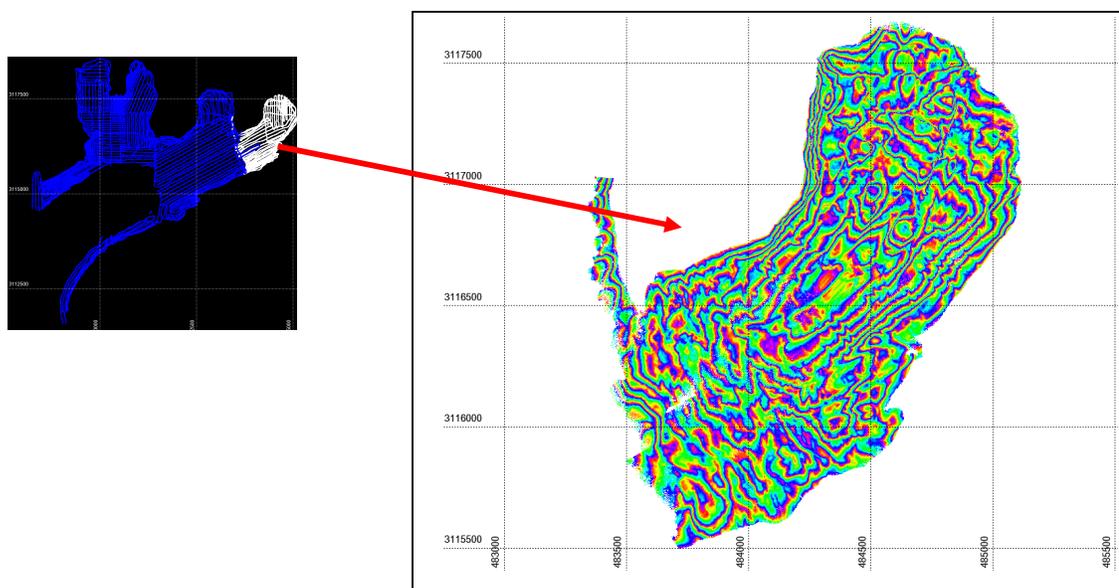


Figure 19 – Área adjacente a geleira Dobrowski ilustrando a análise dos incrementos para identificar discontinuidades. A descontinuidade representa algum Spike não removido ou possíveis erros de *pitch*, *roll*, *heave*, *heading* ou maré.

Com estas discontinuidades corrigidas foi possível unir os dados da sondagem e gerar um modelo digital de terreno (MDT). A área de estudos foi subdividida em 5 áreas menores. Para cada um dessas áreas foram testados alguns valores de espaçamento da malha de valores de batimetria (grid), métodos de interpolação e graus de amaciamento. Cada grid teve os parâmetros selecionados de acordo com a topografia da área. O DTM final possui um grid de 5m de espaçamento, interpolado através do método dos mínimos quadrados com 3 iterações e com suavização de fator 4, como mostram as figuras 20 e 21.

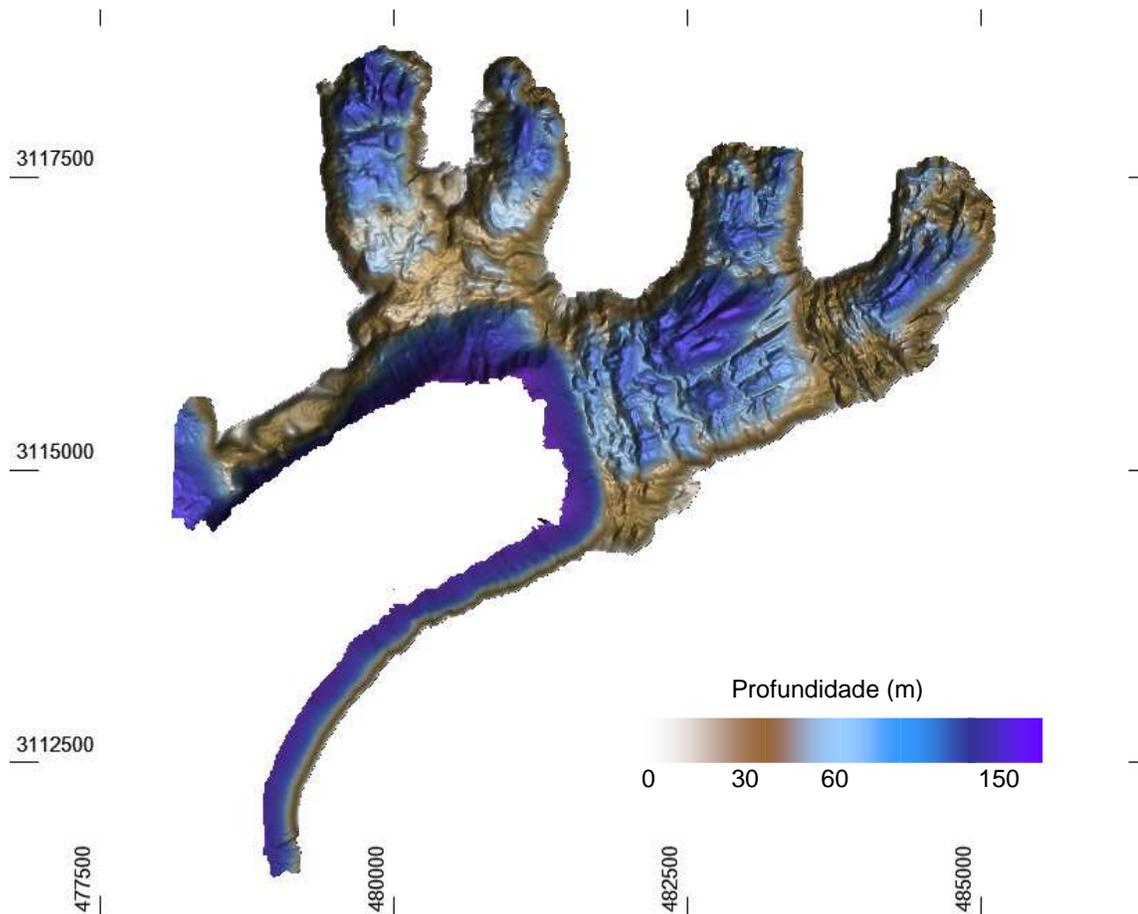


Figura 20 – Batimetria final gerada.

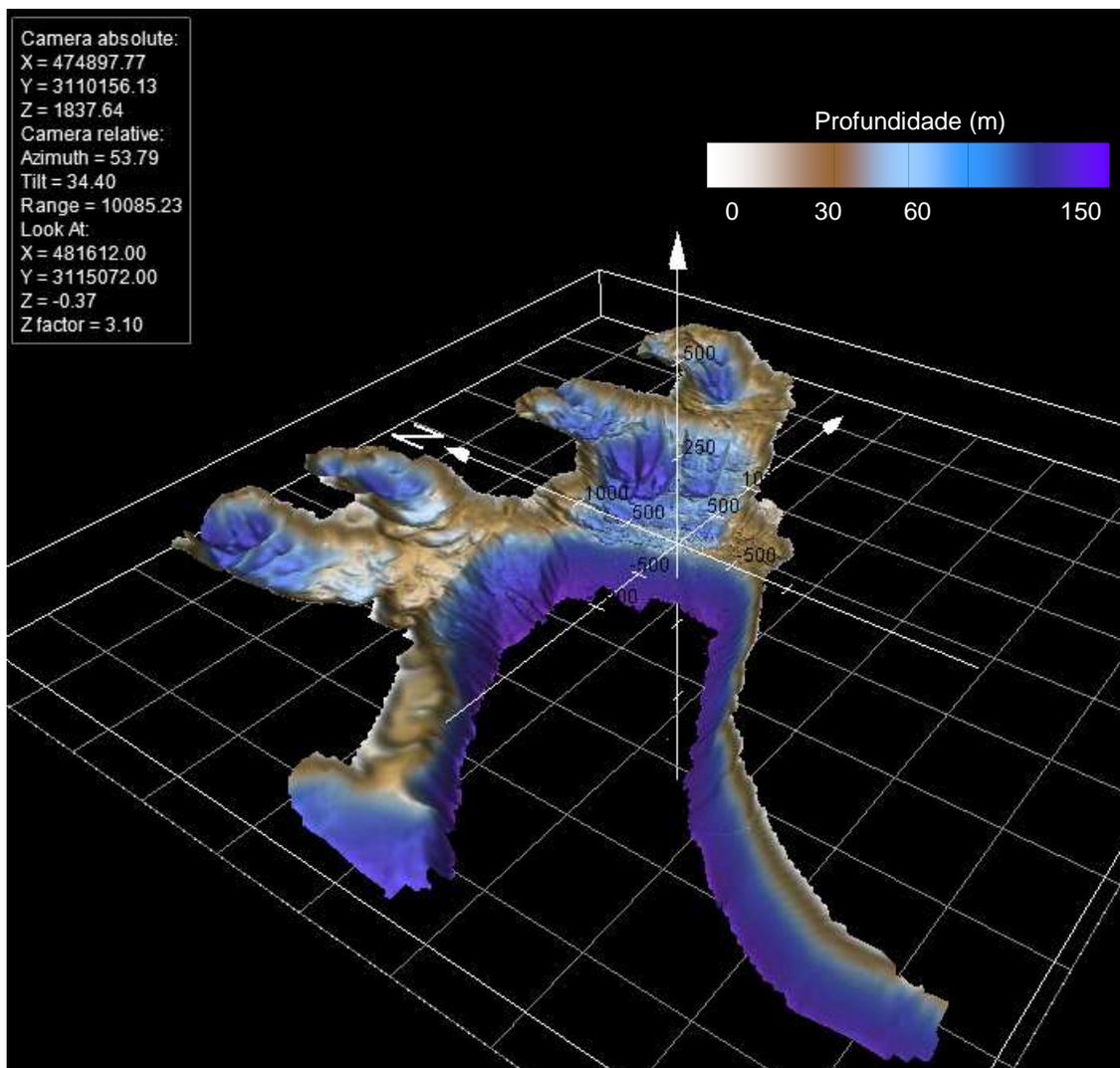


Figura 21 – Batimetria final 3D.

Este modelo digital de terreno (MDT) possui grande importância tanto no processamento do *backscatter* quanto na observação de feições do relevo submarino, mostrando evidências para o estudo da dinâmica local. Na figura 22, por exemplo, é possível observar feições que podem ser associadas a morainas ou morenas, provavelmente geradas pelo avanço e recuo da geleira Dobrowolski.

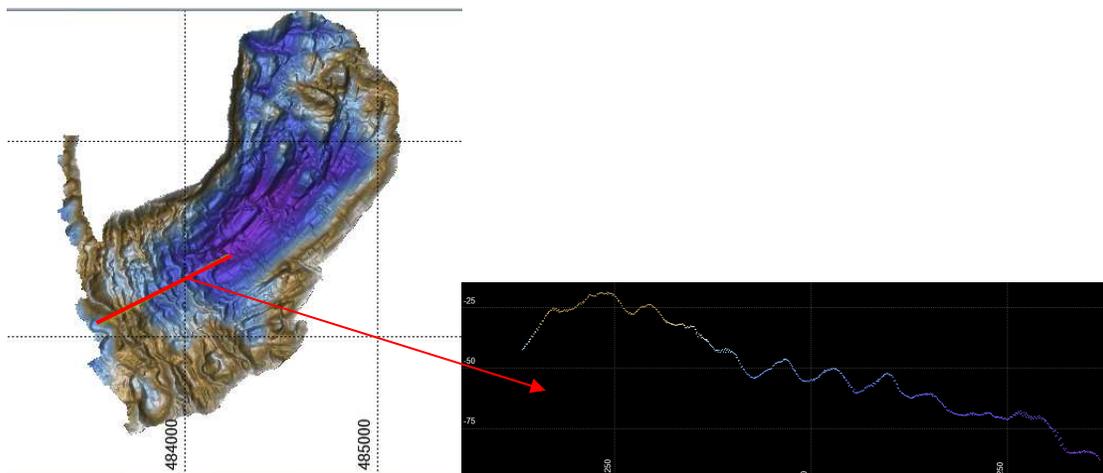


Figura 22 – Perfil batimétrico das possíveis frentes pretéritas da geleira Dobrowski.

### 9.1.2 Processamento do *backscatter*

Para o processamento dos dados referentes à intensidade de retorno (*backscatter*) foi utilizado o software de processamento Geocoder 4.1. Este software trabalha com o dado multifeixe em seu formato bruto (\*.all), e realiza correções importantes de modo a retirar influências externas ao fundo oceânico (FONSECA & CALDER, 2007).

A seqüência de correções aplicadas segue o fluxograma proposto por Conceição (2009), com algumas adaptações como mostra a figura 23. Inicialmente os dados foram separados por áreas, assim como para o processamento da batimetria, para o melhor funcionamento do software.

Após definir o meridiano central do levantamento e o tipo de dado importado (série temporal – feixes), as linhas foram carregadas no software. Todas as informações sobre o equipamento utilizado e algumas configurações como o coeficiente de absorção utilizado e velocidade do som, foram inseridas no software.

Os filtros aplicados ao dado tem o objetivo de eliminar qualquer influência que não seja a do fundo oceânico, como diz a teoria mostrada nos capítulos 3, 4 e 5 deste trabalho.

A batimetria processada, como explicado na seção anterior, foi importada para o software a fim de auxiliar a correção geométrica e os ganhos, que variam com a distância da fonte (AVG). A correção geométrica *Slant range* permite transformar a série temporal das intensidades de reflexões em distâncias horizontais da fonte, sendo por isso importante saber a batimetria da região, para que esta correção não seja feita para um fundo plano, como ocorre na figura 24, extraída de Beaudoin *et al* (2002). A correção realizada para equalizar os ganhos em todos os feixes, o AVG, também necessita dos valores de batimetria como entrada para a realização de uma correção mais acurada.

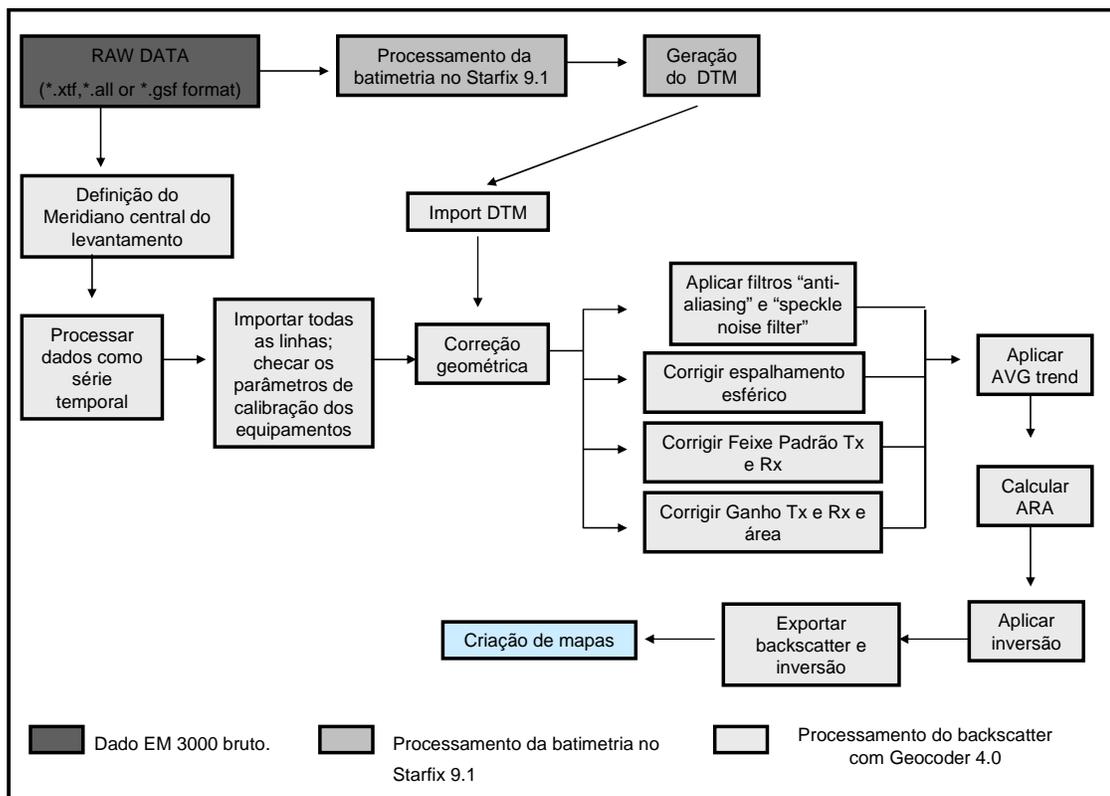


Figura 23 – Fluxo de processamento para criação de um modelo de classificação acústica, utilizando a intensidade do sinal de retorno de um sonar multifeixe. (Adaptado de Conceição, 2009)

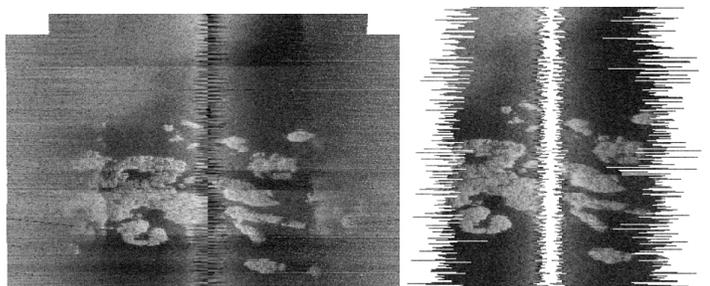


Figura 24 – Correção geométrica *Slant range*. Sem correção batimétrica; Considera-se fundo plano (à esquerda) e com correção batimétrica local (à direita). (Beaudoin *et al*, 2002)

As correções de espalhamento esférico e absorção foram realizadas como mostra o fluxograma, bem como as correções relativas ao envio e recepção do sinal (ganhos). O filtro *anti-aliasing* foi aplicado para reduzir o efeito de Alias. Isto permite a geração de mosaicos de alta resolução.

Apos todas estas correções foi realizada a análise angular para o mosaico final. De acordo com Fonseca & Calder (2007), mesmo perdendo um pouco de resolução em uma análise angular, é possível o mapeamento do fundo oceânico. Foram escolhidos retângulos (*pacthes*) de 30 tiros de comprimento e toda faixa angular para cada um dos lados a partir do *nadir*. Como mostra a figura 25, para cada lado (bombordo e boreste) há uma curva: ângulo *versus* intensidade do sinal de retorno. O modelo gerado pelo software é uma curva, formada a partir de parâmetros como velocidade, frequência, densidade, rugosidade, granulometria, porosidade e tortuosidade.

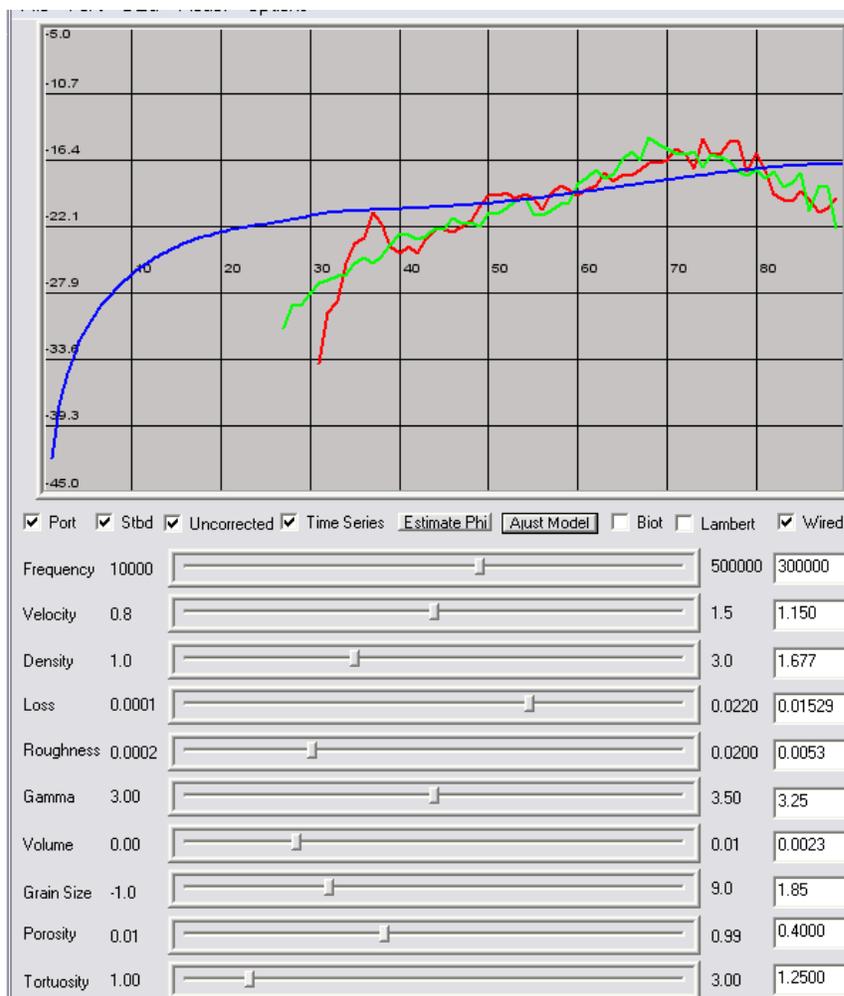


Figura 25 - Janela de modelagem do software Geocoder. A curva azul é o modelo gerado, a vermelha é referente aos dados do retângulo a boreste e a verde, a bombordo. Este modelo pode ser ajustado manualmente ou automaticamente pelo software.

O modelo final possui informações de todos os parâmetros acima. Qualquer informação *a priori* sobre algum parâmetro pode ser entrada para geração de algum modelo. Como não havia nenhuma informação, a inversão do modelo foi realizada automaticamente, com os parâmetros interligados, ou seja, qualquer mudança de um parâmetro para ajustar a curva influencia todos os outros. Os resultados serão expostos no capítulo 10.

### 9.1.3 Análise da Amostra de fundo

Além do testemunho descrito nesta seção, foram utilizadas informações de três testemunhos coletados por Freitas (2008) para comparar com o modelo proposto na figura 29. De acordo com Freitas 2008, os pontos de amostragem [1], [2] e [3] tinham as seguintes informações:

**Tabela 1:** Amostras coletadas por Freitas, 2008.

<b>Amostra</b>	<b>Sedimentos finos (%) Silte e argila</b>	<b>Sedimentos grosseiros (%) Areia e grânulo</b>
[1] Ferraz	60	40
[2] Ponta Ulmann	94	6
[3] Botany Point	94	6

Já a amostra analisada neste trabalho foi coletada em novembro de 2009, durante a OPERANTAR 28 pelo projeto Seasoam. Esta amostra foi coletada com um testemunhador a gravidade a uma profundidade de 35,7m e localiza-se próximo à estação antártica brasileira Cmte Ferraz (EACF) nas coordenadas 62° 04,9843' S e 058° 22.6826' W.

Para análise da amostra (denominada amostra EACF) foram realizadas uma perfilagem do testemunho e a granulometria de parte da amostra. A perfilagem foi realizada no *Multi Sensor Core Logger* no Laboratório de Sedimentologia da UFF e obteve como resposta valores para velocidade da onda P, densidade, susceptibilidade magnética, impedância e porosidade. As curvas referentes a estas propriedades medidas encontram-se na figura 26.

Devido ao mau acoplamento da amostra no tubo do testemunho (figura 27) os valores medidos de velocidade de onda P não foram satisfatórios, influenciando também a qualidade dos dados de impedância. Acredita-se que esse mau

acoplamento tenha ocorrido devido ao fato da amostra estar congelada ao ter sido coletada, e ao analisada já ter sido descongelada.

Já os dados de densidade e susceptibilidade magnética obtiveram uma boa resposta, sendo a última, um bom indicativo de sedimentos de origem terrígena, pelos seus valores (POTTER, 2005). Esta resposta se aproxima do modelo geológico esperado para a região: sedimentos compostos por minerais ferromagnesianos provenientes das rochas constituintes do entorno da enseada de Martel.

Os valores de porosidade que foram calculados pelo equipamento, tomaram como parâmetro a densidade característica de um carbonato, logo os valores encontrados neste perfil também não possuem acurácia significativa, apesar de possuir uma tendência coerente com as demais curvas.

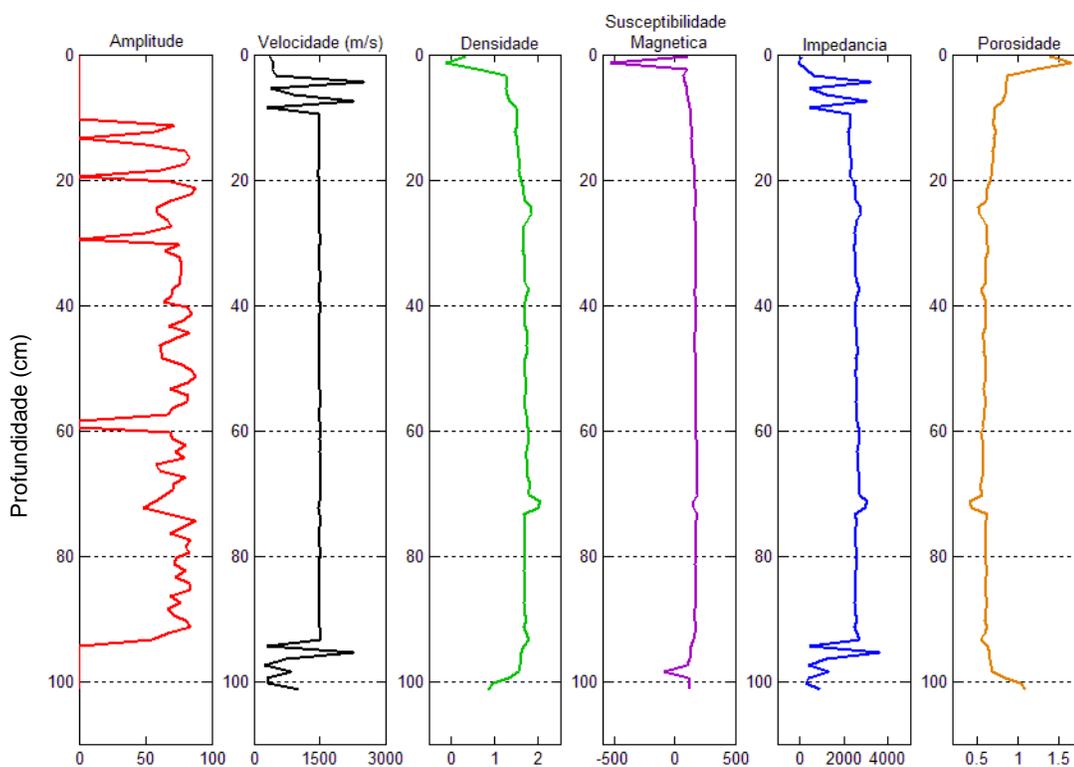


Figura 26 – Perfis de propriedades do testemunho coletado próximo a EACF.



Figura 27 – Mau acoplamento entre amostra e o tubo do testemunho.

Antes da realização da granulometria, a amostra ficou secando durante 24 horas em um forno a 50°C. Foram realizadas análises granulométricas para duas subamostras, uma entre 0-10cm [A] e outra entre 70-80cm [B]. As mesmas foram peneiradas e as frações menores que 1,00 mm foram classificadas como grãos finos. Os resultados da análise estão descritos na tabela abaixo:

**Tabela 2:** Granulometria de acordo com a escala de Wentworth para as amostras [A] e [B].

Classificação		[A] – de 0 a 10 cm	[B] – de 70 a 80 cm
Seixo		31	-----
Grânulo	4,00 –	6	9
Areia grossa	2,00 –	14	16
Finos	<	49	75

## 10. RESULTADOS

A batimetria final gerada no Starfix foi satisfatória e detalhou a irregularidade do fundo permitindo a observação de diversas feições do fundo oceânico, tais como morainas, que representam a movimentação das geleiras.

Em relação à resposta do backscatter, alguns problemas foram encontrados. Inicialmente o mosaico final gerado apresentou intensidades menores nos dados adquiridos nos dias 3 e 5 de outubro (figura 28). Acredita-se que a potência do equipamento tenha sido ajustada de maneira diferente para esses dias, afinal o foco deste levantamento foi para a construção de uma carta batimétrica na região. Isso colaborou para que o modelo de classificação para esta região não fosse satisfatório o suficiente, como esperado.

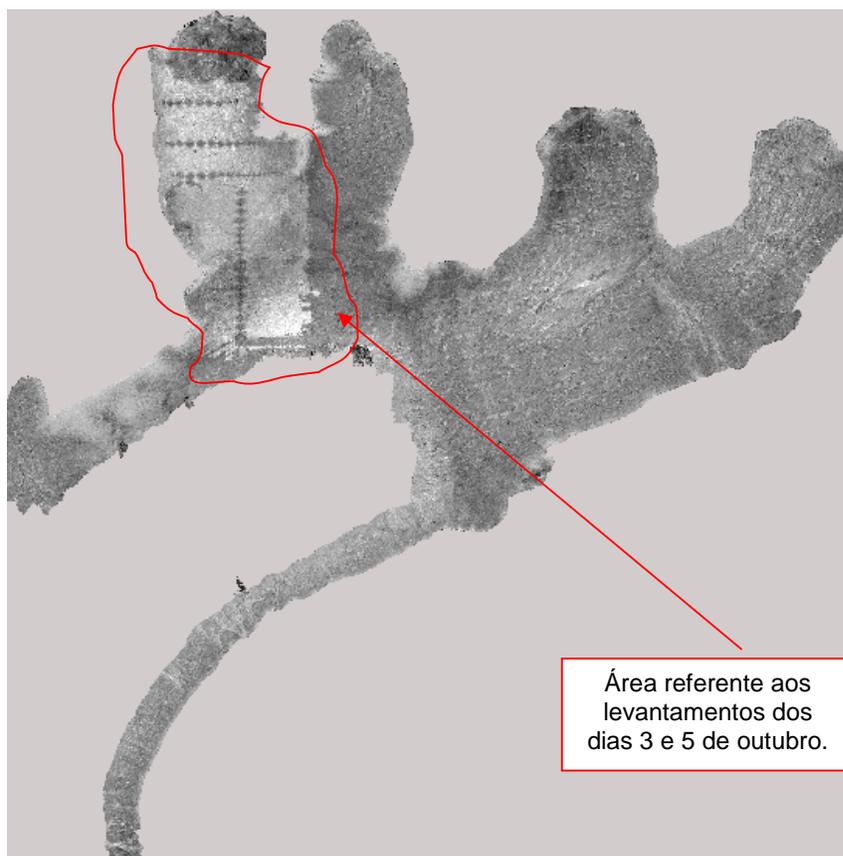


Figura 28 – Mosaico final com valores de intensidades mais baixos na região adjacente a geleira Stenhouse.

Outro problema encontrado foi no software Geocoder. A versão do software disponibilizada para este trabalho não realizou a correção da batimetria corretamente no dado. Esta correção é essencial para que o modelo possa ser validado.

A inversão do modelo de granulometria foi gerada para toda a área, porém deve-se desconsiderar a área demarcada na figura 28. O modelo do software gerou como resposta um valor de tamanho de grão na escala *phi* para um retângulo. Como visto nas amostras coletadas na região e esperado para este tipo de ambiente, não há uma seleção granulométrica bem definida. Logo, a extrapolação de uma classificação única para uma área grande e heterogênea pode gerar resultados duvidosos.

Além disso, o software não realiza classificação de grãos maiores que  $-1 \text{ phi}$ . Isso interfere na classificação de grãos grosseiros, que são abundantes em ambientes glaciais, tendo em vista a má seleção de geleiras. Os valores de *phi* equivalentes em milímetros estão na figura 29 junto ao mapa final de classificação acústica de sedimentos.

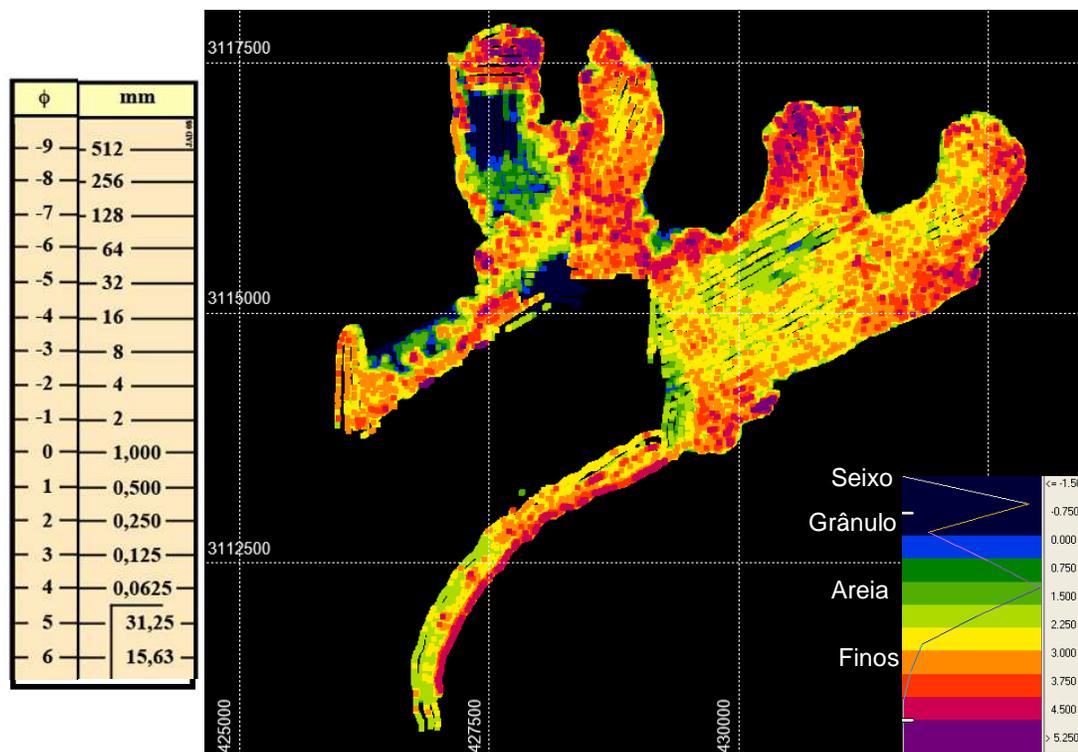


Figura 29 – Mapa final de distribuição de sedimentos.

No mapa acima é possível perceber algumas tendências, porém como o software não corrigiu a batimetria adequadamente, acredita-se que essas tendências sejam marcadas mais fortemente pela topografia do fundo do que pelo tipo de grão em si.

Mesmo com todos estes problemas, o modelo gerado para a região da amostra analisada neste trabalho se aproxima do observado durante a análise de laboratório. Como o modelo gera apenas uma classificação granulométrica para cada retângulo, assume-se que a classe escolhida representa o maior número de observações em um tipo grão. Em todas as amostras, sejam as citadas de outros trabalhos ou a analisada neste, há uma maior concentração de sedimentos finos.

Os valores de  $\phi$  encontrados pelo modelo foram 2,19 para as amostras já analisadas realizadas por Freitas (2008) Ferraz e 2,20 para Botany Point e Ponta Ulmann, condizendo com o descrito pelo autor.

Os valores assumidos no modelo apresentam semelhanças às características físicas da amostra descrita e perfilada. A figura 30 mostra a curva ajustada para o retângulo onde se encontra a amostra analisada neste trabalho. O valor de  $\phi$  encontrado pelo modelo foi de 2,2 que representa uma areia fina. Tanto na amostra [A] quanto na [B] há predominância de sedimentos finos (menores que 1,0 mm).

Além disso, a densidade estimada pelo modelo é de 1,54, enquanto a média das densidades encontradas através da perfilagem no intervalo entre 5 e 15cm da amostra foi 1,53.

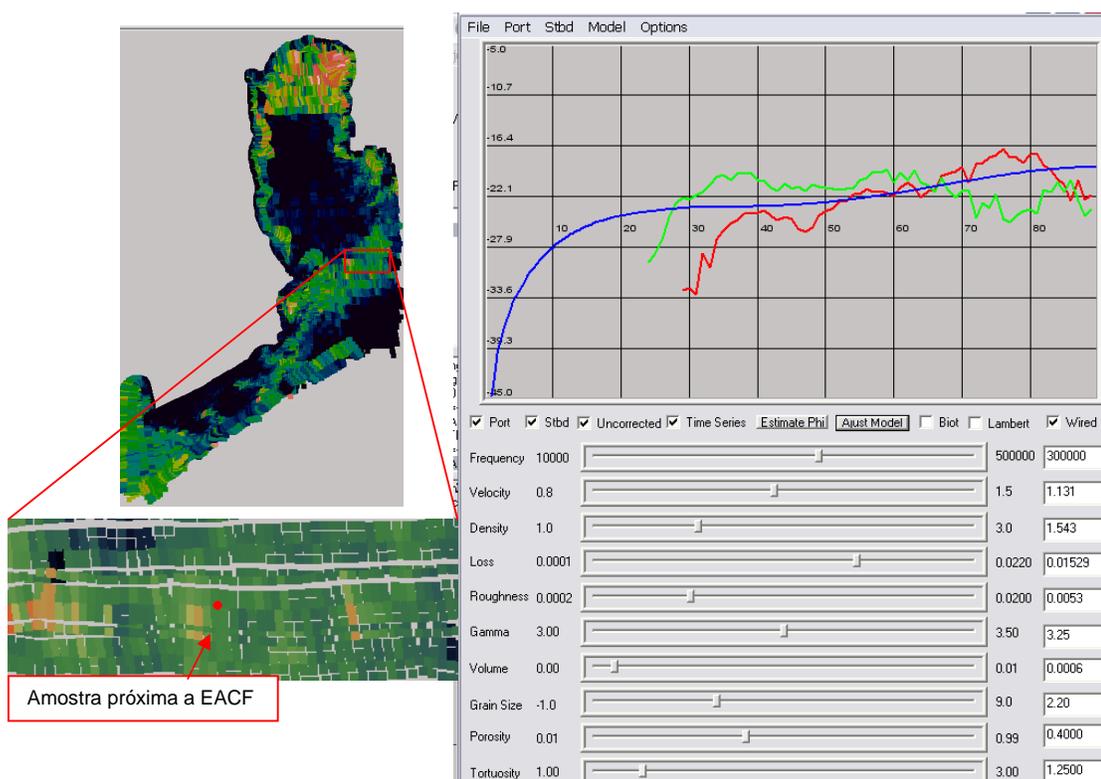


Figura 30 – Modelo de classificação acústica ajustado para a área onde se encontra a amostra EACF.

## 11. CONCLUSÃO

O sonar multifeixe é uma ferramenta essencial na identificação das feições que compõem o fundo oceânico, e possui grande importância na classificação acústica, a partir do estudo do *backscatter*. Para extrair informações do sinal é necessária compreensão da formação do mesmo, suas perdas e influências na resposta. A equação sonar define esta relação de sinal enviado/recebido, facilitando assim a compreensão dos filtros necessários para a classificação acústica.

O método de classificação acústica utilizado neste trabalho possui vantagens como a presença de valores batimétricos associados à valores de backscatter e a varredura de grandes áreas. A desvantagem é definir apenas uma classe para toda varredura de uma área, principalmente uma área com uma diversidade granulométrica considerável.

Neste trabalho ocorreram alguns problemas na classificação devido à propriedades intrínsecas dos dados utilizados que alteraram a energia de retorno, e ao funcionamento indevido do software utilizado para classificação acústica. Porém vale ressaltar que apesar de alguns empecilhos, o modelo final coincidiu com algumas amostras, principalmente para a área da amostra EACF e as tendências deposicionais classificadas no modelo mostraram-se coerente com a batimetria.

Os resultados encontrados neste trabalho não puderam ser devidamente comparados à proposta de classificação de fundo da região proposta por Gruber, 1989 (Anexo C). Além de todos os fatores citados acima, a classificação de Gruber não define áreas com granulometria únicas como no modelo gerado, mas sim classes com mais de uma característica dominante, como por exemplo, “areia com cascalho” e “lama arenosa”.

## 12. DISCUSSÃO

A análise angular é importante, pois permite a visualização de propriedades do fundo marinho que uma classificação textural apenas não é capaz de observar. Kågesten (2008) observou que a intensidade do sinal de retorno mostrou ser mais uma função do tamanho do grão para grãos mais finos entre areias e silte, sendo quanto mais fino menos sinal retorna. Já para grãos mais grosseiros como grânulos e seixos o sinal de retorno sofre influencia não só da granulometria, mas também da rugosidade e dureza. Com isso se for analisada apenas a média da intensidade de retorno das reflexões, como ocorre em uma classificação textural, uma areia grosseira pode apresentar mesma resposta que um fundo duro com matações. Por isso é importante considerar fatores como o ângulo de resposta.

O método de classificação acústica utilizado pode se tornar mais eficiente em condições mais adequadas. De acordo com Clarke (2007), a análise angular funciona melhor em áreas mais homogêneas em grandes escalas.

Para validar o modelo gerado pela classificação ainda é necessária a realização de amostras geológicas. Porém ainda não se sabe até que ponto deve-se considerar qualquer informação como acurada seja ela uma amostra geológica ou um modelo de software. De acordo com Galloway *et al* (2008) a posição de um amostrador também está sujeita a diversas variáveis que afetam a acurácia da medida, que variam desde o sistema de posicionamento da embarcação até a atuação de correntes no arrasto submarino do amostrador. Esta incerteza em alguns cenários de configuração complexa do fundo oceânico pode gerar dúvidas sobre a confiabilidade de um modelo de classificação para a região.

O software utilizado gera como modelo uma classificação granulométrica baseada em propriedades físicas interconectadas. Este modelo classifica os

sedimentos pelo seu tamanho, com uma escala phi variando de -1 a 9. Porém não se sabe até que ponto é vantajosa esse tipo de classificação quando se tem um fundo muito heterogêneo. A definição de classes acústicas ao invés de um modelo automático, pode ser vantajosa em áreas aonde não há uma granulometria única bem definida, como por exemplo uma região de lama arenosa.

Propõe-se para uma próxima análise, que seja de conhecimento *a priori* as informações sobre ganhos e potências inseridos durante a aquisição, e avaliação das incertezas tanto nas medidas indiretas e modelagens, quanto nas incertezas de uma amostragem. Vale lembrar que é importante considerar a escala de levantamento, pois a avaliação de um evento de maneira local ou global pode fazer toda a diferença na interpretação dos resultados finais.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J.T. *et al.* Acoustic seabed classification: current practice and future directions. *ICES Journal of Marine Science*, v. 65, p. 1004–1011, 2008.
- AINSLIE, M.A. The sonar equations: definitions, dimensions and units of individual terms. In : *Acoustic's 2008*, Paris.
- ASSINE, M.L.; VESELY, F.F. Ambientes Glaciais. In: PEDREIRA, A.J *et al* *Ambientes de Sedimentação do Brasil*. São Paulo: Ed. Beca, 2008. 330p.
- BARTHOLOMÄ, A. Acoustic bottom detection and seabed classification in the German Bight, southern North Sea. *Geo-Marine Letters*. v. 26, p. 177–184. 2006.
- BIRKENMAJER K. Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica): A geological monograph. *Studia Geologica Polonica*. v. 120, p. 5–73. 2003.
- BRISSETTE, M.B.; CLARKE, J.E.H. Sidescan Versus Echosounder Object Detection: A comparative Analysis. In : U.S. Hydrographic Conference, 1999, Mobile, AL, USA. 11pp
- CLARKE, J.H.; DANFORTH, B.W.; VALENTINE, P. Areal seabed classification using Backscatter angular response at 95KHz. In : NATO SACLANT Conference, 1997, Lerici, Italy.
- COCHRANE, G.R.; LAFFERTY, K.D. Use of acoustic classification of sidescan sonar data for mapping benthic habitat in the Northern Channel Islands, California. *Continental Shelf Research*. v. 22, p. 683–690, 2002.
- COLLIER, J.S.; BROWN, C.J. Correlation of sidescan backscatter with grain size distribution of surficial seabed sediments. *Marine Geology*. v. 214, p. 431–449, 2005.
- CONCEIÇÃO, F.V. Processing workflow of multibeam backscatter data from EM 3000 for sediment classification analysis. In : 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 2009, Salvador, Bahia, Brasil.
- DARTNELL, P.; GARDNER, J.V. Predicting Seafloor Facies from Multibeam Bathymetry and Backscatter Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. v. 70, n. 9, p. 1081–1091, 2004.
- DEMER, D.A. *et al.* A statistical–spectral method for echo classification. *ICES Journal of Marine Science*. Advance Access. v. 66, p. 1–10, 2009.
- EHRHOLD, A. Mapping shallow coastal benthic habitats using acoustic methods. *MESH project*. Coastal environment and planning directorate. 54p. 2007.
- ELLINGSEN, K.E.; GRAY, J.S.; BJØRNBOM, E. Acoustic classification of seabed habitats using the QTC VIEW system. *ICES Journal of Marine Science*, v. 59, p. 825–835, 2002.
- ESWARD, T.; ABLITT, J. Speed of Sound in Sea–Water. *Technical Guide*. National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, UK. 2000.
- FONSECA, L.; CALDER, B.R. Clustering Acoustic Backscatter in the Angular Response Space. In: U.S. HYDROGRAPHIC CONFERENCE, 2007, Norfolk, USA.
- FREITAS, F.S. *Distribuição do fósforo (P) em sedimentos recentes da baía do Almirantado, Península Antártica*. 2008. 84 f. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação) Curso de Oceanografia. Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2008.
- FREITAS, R. *et al.* Acoustic seabed classification of marine habitats: studies in the western coastal–shelf area of Portugal. *ICES Journal of Marine Science*, v. 60, p. 599–608, 2003.

- GALLOWAY, J.L. Habitat Mapping of British Columbia with Acoustic Seabed Classification. In : Canadian Hydrographic Conference and National Surveyors Conference, 2008, Victoria, Canadá.
- GOFF, J.A.; OLSON, H.C.; DUNCAN, C.S. Correlation of side-scan backscatter intensity with grain size distribution of shelf sediments, New Jersey margin. *Geo-Marine Letters*. v. 20, p. 43–49, 2000.
- GRUBER, N.L.S. *Contribuição ao estudo da sedimentação glaciomarinha da baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica*. 1989. 174p. Dissertação (Mestrado) Curso de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS.
- HAMILTON, E.L. Geoacoustic modeling of the seafloor. *Journal of The Acoustical Society of America*. v. 68, n. 5, p. 1313–1340, 1980.
- HAMILTON, E.L. Prediction of in-situ acoustic and elastic properties of marine sediments. *Geophysics*. v. 36, n. 2, p. 266–284, 1971.
- HAMILTON, E.L.; BACHMAN, R.T. Sound velocity and related properties of marine sediments. *Journal of The Acoustical Society of America*. v. 72, n. 6, p. 1891–1904, 1982.
- HELLEQUIN, L. Processing of High-Frequency Multibeam Echo Sounder Data for Seafloor Characterization. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. v. 30, p. 78–89, 2003.
- KÅGESTEN, G. Geological seafloor mapping with backscatter data from a multibeam echo sounder. 2008. 38p. Thesis (Master of Environmental and Aquatic Engineering) – Department of Earth Sciences, Uppsala University, Sweden.
- KOSTYLEV, V. E. Benthic habitat mapping on the Scotian Shelf based on multibeam bathymetry, surficial geology and sea floor photographs. *Marine Ecology Progress Series*. v. 219, p. 121–137, 2001.
- LEE, G.H. *et al.* The acoustic diversity of the seabed based on the similarity index computed from Chirp seismic data. *ICES Journal of Marine Science*. v. 66, p. 227–236, 2008.
- LURTON, Xavier. *An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications*. London: Praxis, 2002.
- MCGONIGLE, C. *et al.* Evaluation of image-based multibeam sonar backscatter classification for benthic habitat discrimination and mapping at Stanton Banks, UK. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. v. 81, p. 423–437, 2009.
- MEDWIN, H.; CLAY, C.S. *Fundamentals of Acoustical Oceanography*. Boston: Academic Press, 1998.
- OHTA, K. *et al.* Inversion for seabed geoacoustic properties in shallow water experiments. *Acoustical Science & Technology*. v. 26, n. 4, p. 326–337, 2005.
- OLIVEIRA JUNIOR, A.M. *Maximizing the coverage and utility of multibeam backscatter for seafloor classification*. 2007. 112p. Thesis (Master of Science in Engineering) – Graduate Academic Unit of Geodesy and Geomatics Engineering, The University of New Brunswick, Canada. 2007.
- OLIVEIRA JUNIOR, A.M.; CLARKE, J.H. Recovering wide angular sector multibeam backscatter. In : United States Hydrographic Conference, 2007, Norfolk, VA.
- PETERSON, M.L.; GREENBERG, A.R.; McCOOL, B.A. In situ measurement of permeability. *Journal of The Acoustical Society of America*. v. 125, n. 4, p. 123–127, 2009.
- PICKRILL, R.; BARNES, P. Managing the seabed with multibeam mapping: learning from Canadian experience. *Water & Atmosphere*. v. 11, n.4, p. 7–9, 2003.

POPULUS, J. *et al.* Towards prediction of seabed habitats. 16p 2006.

POTTER, D.K. Magnetic Susceptibility as a Rapid, Nondestructive Technique for Improved Rcal anda Scal Parameter Prediction. In : International Symposium of the Society of Core Analysts, 2005, Toronto, Canada.

RAKUSA–SUSZCZEWSKI, S. The hidrography of Admiralty Bay and its inlets, coves and lagoons (King George Island, Antarctic). *Polish Polar Research*, v. 16, p. 61–70, 1995.

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

RENARD, V.; ALLENOU, J.P. Sea Beam, multi–beam echosounding in "Jean CHARCOT": description, evaluation and first results. *The International Hidrographic Review*, v. 56, p. 35–67, 1979.

RØNHØVDE, A *et al.* High–resolution beamforming for multibeam echo sounders using raw EM3000 data. In: MTS/IEEE OCEANS'99 CONFERENCE, Seattle, 1999. Proceedings... Seattle: IEE Oceans, 1999. v. 2, p. 923–930.

SELF, R.F.L. *et al.* Effects of macrofauna on acoustic backscatter from the seabed: field manipulations in West Sound, Orcas Island, WA, USA. *Journal of Marine Research*. v. 59, p. 991–1020, 2001.

SIWABESSY, J. *et al.* Seabed habitat classification. In: International Conference on High Resolution Surveys in Shallow Water, 1, 1999, Sydney.

TUCERYAN, M.; JAIN, A.K. Texture Analysis. In: CHEN, C.H.; PAU, L.F.; WANG, P.S.P. *The Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision*. Singapore: World Scientific Publishing Co., 1998. p. 207–248.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

CLARKE, J.H. *et al.* 39<sup>th</sup> OMG/ CCOM Multibeam Training Course. 2005. [course materials]

SEABEAM. *Multibeam Sonar: Theory of Operation*. 1999.

UNIVERSITY OF WASHINGTON, Applied Physics Laboratory. *APL-UW High-Frequency Ocean Environmental Acoustic Models Handbook*. 1994.

<[http://www.appliedmicrosystems.com/Applications/By\\_Technology/Multi-beam\\_System.aspx](http://www.appliedmicrosystems.com/Applications/By_Technology/Multi-beam_System.aspx)>

<<http://www.igc.usp.br/glacial/glossario.htm>>

<<http://e-groups.unb.br/ig/glossario/>>

<<http://www.aprh.pt/rgci/glossario/escala.html>>

## ANEXO A

Equações utilizadas para calculo da velocidade do som nos oceanos (Esward & Ablitt, 2000):

### - Makenzie -

$$C(D,T,S) = 1448,96 + 4,591T - 5,304 \times 10^{-2}T^2 + 2,374 \times 10^{-4}T^3 + 1,340(S - 35) + 1,630 \times 10^{-2}D + 1,675 \times 10^{-7}D^2 - 1,025 \times 10^{-2}T(S-35) - 7,139 \times 10^{-13}TD^3$$

Sendo, D = profundidade [m]; T = temperatura [°C]; S = Salinidade [psu].  
Válida para temperatura de 2 a 30 °C, salinidade de 25 a 40 ‰ e profundidade de 0 a 8000 m.

### - Coppens -

$$C(D,S,t) = C(0,S,t) + (16,23 + 0,253t)D + (0,213 - 0,1t)D^2 + [0,016 + 0,0002(S - 35)](S - 35)tD$$

$$C(0,S,t) = 1449,05 + 45,7t - 5,21t^2 + 0,23t^3 + (1,333 - 0,126t + 0,009t^2)(S - 35)$$

Sendo, D = profundidade [m]; t = T/10; T = temperatura [°C]; S = Salinidade [psu].  
Válida para temperatura de 0 a 35 °C, salinidade de 0 a 45 ‰ e profundidade de 0 a 4000 m.

### - UNESCO -

$$C(S,T,P) = C_w(T,P) + A(T,P)S + B(T,P)S^{3/2} + D(T,P)S^2$$

$$C_w(T,P) = (C_{00} + C_{01}T + C_{02}T^2 + C_{03}T^3 + C_{04}T^4 + C_{05}T^5) + (C_{10} + C_{11}T + C_{12}T^2 + C_{13}T^3 + C_{14}T^4)P + (C_{20} + C_{21}T + C_{22}T^2 + C_{23}T^3 + C_{24}T^4)P^2 + (C_{30} + C_{31}T + C_{32}T^2)P^3$$

$$A(T,P) = (A_{00} + A_{01}T + A_{02}T^2 + A_{03}T^3 + A_{04}T^4) + (A_{10} + A_{11}T + A_{12}T^2 + A_{13}T^3 + A_{14}T^4)P + (A_{20} + A_{21}T + A_{22}T^2 + A_{23}T^3)P^2 + (A_{30} + A_{31}T + A_{32}T^2)P^3$$

$$B(T,P) = B_{00} + B_{01}T + (B_{10} + B_{11}T)P$$

$$D(T,P) = D_{00} + D_{10}P$$

Sendo, P = pressão [bar]; T = temperatura [°C]; S = Salinidade [psu].  
Válida para temperatura de 0 a 40 °C, salinidade de 0 a 40 ‰ e pressão de 0 a 1000 bar.

Coefficientes:

$$\begin{aligned}
C00 &= 1402,388 & C01 &= 5,03830 & C02 &= -5,81090e^{-2} & C03 &= 3,3432e^{-4} \\
C04 &= -1,47797e^{-6} & C05 &= 3,1419e^{-9} & C10 &= 0,153563 & C11 &= 6,8999e^{-4} \\
C12 &= -8,1829e^{-6} & C13 &= 1,3632e^{-7} & C14 &= -6,1260e^{-10} & C20 &= 3,1260e^{-5} \\
C21 &= -1,7111e^{-6} & C22 &= 2,5986e^{-8} & C23 &= -2,5353 e^{-10} & C24 &= 1,0415E-12 \\
C30 &= -9,7729e^{-9} & C31 &= 3,8513e^{-10} & C32 &= -2,3654e^{-12} & A00 &= 1,389 \\
A01 &= -1,262e^{-2} & A02 &= 7,166e^{-5} & A03 &= 2,008e^{-6} & A04 &= -3,21e^{-8} \\
A10 &= 9,4742e^{-5} & A11 &= -1,2583e^{-5} & A12 &= -6,4928e^{-8} & A13 &= 1,0515e^{-8} \\
A14 &= -2,0142e^{-10} & A20 &= -3,9064e^{-7} & A21 &= 9,1061e^{-9} & A22 &= -1,6009 e^{-10} \\
A23 &= 7,994e^{-12} & A30 &= 1,100e^{-10} & A31 &= 6,651e^{-12} & A32 &= -3,391e^{-13} \\
B00 &= -1,922e^{-2} & B01 &= -4,42e^{-5} & B10 &= 7,3637 e^{-5} & B11 &= 1,7950e^{-7} \\
D00 &= 1,727e^{-3} & D10 &= -7,9836e^{-6}
\end{aligned}$$

- Dell Grosso -

$$C(S,T,P) = C_{000} + \Delta C_T + \Delta C_S + \Delta C_P + \Delta C_{STP}$$

$$\Delta C_T(T) = C_{T1}T + C_{T2}T^2 + C_{T3}T^3$$

$$\Delta C_S(S) = C_{S1}S + C_{S2}S^2$$

$$\Delta C_P(P) = C_{P1}P + C_{P2}P^2 + C_{P3}P^3$$

$$\Delta C_{STP}(S,T,P) = C_{TP}TP + C_{T3P}T^3P + C_{TP2}TP^2 + C_{T2P2}T^2P^2 + C_{TP3}TP^3 + C_{ST}ST + C_{ST2}ST^2 + C_{STP}STP + C_{S2TP}S^2TP + C_{S2P2}S^2P^2$$

Sendo, P = pressão [kPa]; T = temperatura [°C]; S = Salinidade [psu].  
Válida para temperatura de 0 a 30 °C, salinidade de 30 a 40 ‰ e pressão de 0 a 1000 kg/cm<sup>2</sup>.

Coeficientes:

$$\begin{aligned}
C000 &= 1402,92 & CT1 &= 0,5012285e^1 & CT2 &= -0,551184e^{-1} & CT3 &= 0,221649e^{-3} \\
CS1 &= 0,1329530e^{-1} & CS2 &= 0,1288598e^{-3} & CP1 &= 0,1560592 & CP2 &= 0,2449993e^{-4} \\
CP3 &= -0,8833959e^{-8} & CST &= -0,1275936e^{-1} & CTP &= 0,6353509e^{-2} & CT2P2 &= 0,2656174e^{-7} \\
CTP2 &= -0,1593895 e^{-5} & CTP3 &= 0,5222483 e^{-9} & CT3P &= -0,4383615e^{-6} & CS2P2 &= -0,1616745e^{-8} \\
CST2 &= 0,9688441 e^{-4} & CS2TP &= 0,4857614 e^{-5} & CSTP &= -0,3406824e^{-3}
\end{aligned}$$

## ANEXO B

Tabela com especificações do sonar multifeixe EM 3000 (Kongsberg Maintenance Manual, 2004).

<b>Transdutor (Sonar Head)</b>	Frequência de operação	300 kHz
	Tamanho do feixe	1,5 ° x 1,5 °
	Espaçamento entre feixes	0,9 °
	Ângulo de varredura máxima	130 °
	Profundidade máxima (alcance)	150 m
	Varredura lateral máxima	> 200 m
	Máximo nº de feixes por tiro	125
	Máxima taxa de tiro	40 Hz
	Resolução vertical	±1 cm
	Acurácia vertical	< 5cm
	Método de formação de feixes	FFT
	Tamanho do pulso	150 µS
	<b>Transmissor</b>	Largura de feixe <i>alongtrack</i>
Nº de transmissores no arranjo		56
Amplitude de transmissão ( <i>Source Level</i> )		214 dB
Lóbulos laterais		< -22 dB
<b>Receptor</b>	Largura de feixe <i>alongtrack</i>	30 °
	Largura de feixe <i>acrosstrack</i>	1,5 °
	Nº de receptores no arranjo	80 x 3
	Lóbulos laterais	< -20 dB
	Largura de banda ( <i>bandwidth</i> )	8 kHz

**ANEXO C** – Mapa textural da baía do Almirantado proposto por Gruber, 1989.