

Luiz Angelo Sobreiro Bulla

**EMPREGO DO SONAR DE VARREDURA LATERAL E DE TÉCNICAS DE
PROCESSAMENTO AUTOMÁTICO DE IMAGENS NA AVALIAÇÃO DE ÁREAS
SUBMETIDAS A PROCESSOS DE DRAGAGENS, RS, BRASIL.**

Tese apresentada ao Instituto de Oceanografia da
Universidade Federal do Rio Grande, como parte
dos requisitos para obtenção do título de Doutor
em Oceanografia Física, Química e Geológica.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Hartmann

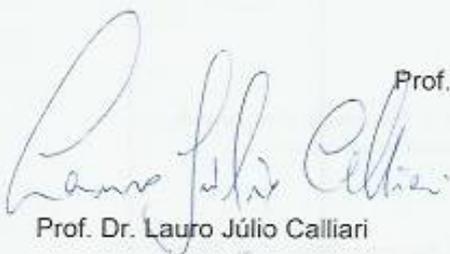
Rio Grande

2009



ATA ESPECIAL P/DEFESA DE TESE DE DOUTORADO 004/09

Às quatorze horas do dia vinte e quatro de agosto do ano dois mil e nove, no Cidec-Sul – Sala Ilhas – Campus Carreiros/FURG, reuniu-se a Comissão Examinadora da Tese de Doutorado de **LUIZ ANGELO SOBREIRO BULLA**, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. Carlos Hartmann Orientador/Presidente – FURG/IO, Prof. Dr. Lauro Júlio Calliari – Co-orientador - FURG/IO, Prof. Dr. Carlos Roney Armanini Tagliani – FURG/IO, Prof. Dr. Iran Carlos Stalliviere Correa – UFRGS/CECO e Prof. Dr. Elírio Ernestino Toldo Jr., UFRGS/CECO - Título da tese: **“EMPREGO DO SONAR DE VARREDURA LATERAL E DE TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO AUTOMÁTICO DE IMAGENS NA AVALIAÇÃO DE ÁREAS SUBMETIDAS A PROCESSOS DE DRAGAGENS, RS, BRASIL”**. Dando início à reunião, o Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Prof. Dr. Mauricio Magalhães Mata, agradeceu a presença de todos e fez a apresentação da Comissão Examinadora. Logo após esclareceu que o candidato terá um tempo de 45 a 60 min. para explanação do tema, e cada membro da Comissão, um máximo de 30 min. para perguntas. A seguir, passou a palavra ao candidato que apresentou o tema e respondeu às perguntas formuladas. Após ampla explanação a Comissão reuniu-se na Sala da Secretaria da Coordenação do Programa, para discussão do conceito a ser atribuído ao candidato. Durante este encontro ficou estabelecido o que segue: As sugestões de todos os membros da Banca Examinadora, que seguem em pareceres em anexo, foram aceitas pelo orientador/candidato para incorporação na versão final a qual deverá ser encaminhada a Secretaria do Programa até o dia 23/09/2009. Foi atribuído ao candidato o conceito de **APROVADO**. Nada mais havendo a tratar, lavrou a presente ata que após lida e aprovado, será assinada pela Comissão Examinadora, pelo candidato e pelo Coordenador do Programa.



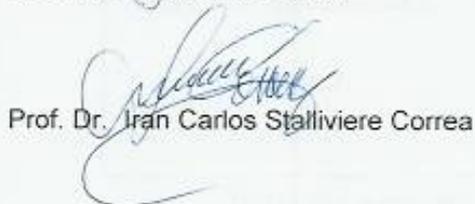
Prof. Dr. Lauro Júlio Calliari



Prof. Dr. Carlos Hartmann
Presidente



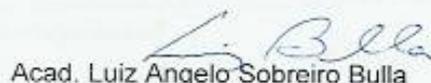
Prof. Dr. Carlos Roney A. Tagliani



Prof. Dr. Iran Carlos Stalliviere Correa



Prof. Dr. Elírio Ernestino Toldo Jr.



Acad. Luiz Angelo Sobreiro Bulla

Catálogo na Fonte

B935e Bulla, L. Angelo S.

Emprego do sonar de varredura lateral e de técnicas de processamento automático de imagens na avaliação de áreas submetidas a processos de dragagens, RS, Brasil. / L. Angelo S. Bulla. – Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande, 2009.

150f.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande. (Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica)

1. Oceanografia. 2. Geofísica 3. Sedimentologia. I. Título.
II. Hartmann, Carlos – Orientador.

CDD 551.46

“Quem nunca errou, nunca tentou.”

Albert Einstein

Dedico esta tese:

à Cris, minha esposa e companheira de todos os momentos,

à Isabela, minha filha e fonte de inspiração,

aos meus pais Eloah (*in memoriam*) e Américo.

AGRADECIMENTOS

Expresso meus agradecimentos a todas as pessoas e entidades públicas e privadas que de alguma forma estiveram envolvidas no desenvolvimento desta tese.

Ao Prof. Dr. Carlos Hartmann, pela oportunidade concedida ao aceitar o desafio de me orientar neste trabalho. Pelo incentivo e companheirismo ao longo de toda essa jornada, quer seja durante as discussões e esclarecimentos fundamentais sobre o tema, como também pela sua participação nas várias jornadas de trabalho de campo.

Ao Prof. Dr. Lauro Calliari, pela co-orientação, incentivo e participação em etapas decisivas desta longa jornada.

Ao Prof. Dr. Carlos Tagliani, por sua valiosa contribuição na ocasião de minha qualificação, quando me proporcionou a oportunidade de iniciar, mesmo que modestamente, no fascinante mundo da geologia.

Aos demais membros da banca examinadora, Prof. Dr. Iran Carlos Stalliviere Corrêa e Prof. Dr. Elírio Ernestino Toldo Jr., pela disponibilidade e participação nesta etapa final do trabalho.

Ao Prof. Gilberto Griep, diretor do LOG/FURG, pela disponibilização de todo apoio logístico do laboratório, por suas participações voluntárias nos trabalhos de campo e por compartilhar de sua valiosa experiência profissional na aplicação de métodos geofísicos.

A todo pessoal do Laboratório de Oceanografia Geológica, pelo apoio e companheirismo demonstrado ao longo destes anos, em especial ao Clabisnei, Manoel, Neusa, Glória, Eduardo, Fred, Miguel, Pedro, Rafael, Curiri, André e demais colegas de curso.

Aos amigos e colegas de curso, José Luiz e Rosa, que de certa forma embarcaram juntos comigo nesta longa viagem por mares nunca antes navegados.

A FURG, e em especial ao CTI, na presença de seus diretores e colegas de trabalho, que me propiciaram de alguma forma, a dispensa de boa parte de meu tempo na dedicação e desenvolvimento deste estudo.

Aos Srs. Victor Della Mea e Leonardo Della Mea e Sra. Verônica Della Mea, diretores da Somar Mineradora e ao Sr. René Caraméz, diretor da Har Engenharia, pela oportunidade e disponibilização de toda infra-estrutura necessária para realização dos trabalhos de campo no rio Jacuí. Estendo os agradecimentos também a todo pessoal destas empresas, os quais demonstraram em todas ocasiões, a disponibilização de preciosas horas de trabalho, com boa vontade e profissionalismo.

Aos Mr. Chris Elliott e Ms. Glenda Wyatt, integrantes do quadro de funcionários da empresa Quester Tangent Corporation, no Canadá, os quais dispensaram valiosa atenção durante minha participação em treinamento naquela empresa.

A minha esposa, Cris e minha filha Isabela, que neste mês completou cinco anos de vida, e que juntas tiveram a paciência indispensável para suportar esta jornada.

SUMÁRIO

Capítulo 1	Introdução	20
1.1	Formas diretas e indiretas de perturbação humana em corpos de água	21
1.2	Localização das áreas de estudo	23
1.2.1	Canal São Gonçalo	24
1.2.2	Região do baixo rio Jacuí	25
1.2.3	Clima e regime de chuvas	27
1.2.4	Geologia do Rio Grande do Sul	28
1.2.4.1	Geologia do canal São Gonçalo	29
1.2.4.2	Geologia do baixo rio Jacuí	29
1.3	O desenvolvimento da acústica sub-aquática	30
1.4	Justificativa	32
1.5	Objetivos	33
1.5.1	Geral	33
1.5.2	Específicos	33
1.6	Hipótese	34
1.7	Estrutura da Tese	34
Capítulo 2	Métodos Acústicos na Caracterização Hidrodinâmica e Sedimentológica	36
2.1	Introdução	36
2.2	Perfilador acústico de correntes por efeito Doppler - ADCP	36
2.3	Sonar de varredura lateral - SVL	38
2.4	Uso de sistemas acústicos de classificação de sedimentos	43
Capítulo 3	Material e Métodos	60
3.1	Introdução	60
3.2	Equipamentos e material	60
3.2.1	Embarcações utilizadas	61
3.2.2	Amostragem geológica	62
3.2.3	Amostragem de água	63

3.2.4	Registros fotográficos georreferenciados obtidos com a câmara Ricoh Caplio 500SE	64
3.2.5	Perfilador acústico de correntes por efeito Doppler (ADCP)	64
3.2.6	Imageamento de fundo com o sonar de varredura lateral - SVL	67
3.2.7	Classificação acústica automática de imagens obtidas com sonar de varredura lateral	71
3.2.8	O <i>software</i> QTC Sideview para classificação acústica	72
3.2.9	O <i>software</i> QTC Clams para interpolação de dados	76
3.3	Aquisição de dados.....	78
3.3.1	Metodologia de aquisição de dados com ADCP.....	78
3.3.2	Metodologia de aquisição de dados com SVL.....	79
Capítulo 4 – Resultados e Discussão.....		82
4.1	Introdução.....	82
4.2	Análise dos dados obtidos com o ADCP	82
4.2.1	Considerações gerais sobre a dinâmica da área	86
4.2.2	Análise das secções ADCP	89
4.3	Análise das imagens obtidas com o SVL	98
4.3.1	Classificação das feições submersas	98
4.3.2	Levantamento sonográfico do rio Jacuí	99
4.3.3	Levantamento sonográfico do canal São Gonçalo	107
4.4	Classificação acústica das superfícies de fundo.....	112
4.4.1	Coleta de amostras e classificação dos sedimentos.....	113
4.4.2	Aplicação do software de classificação acústica no canal São Gonçalo.....	113
Capítulo 5 – Conclusões.....		123
5.1	Conclusões	123
5.2	Limitações do tema	126
5.3	Trabalhos futuros.....	127
Referências Bibliográficas		129

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1:	Localização da área de estudo: (a) região do baixo Jacuí; (b) Canal São Gonçalo.	22
Figura 1.2:	Nível da água na eclusa do canal São Gonçalo. Fonte: Agência Lagoa Mirim UFPEL.....	24
Figura 1.3:	Nível da água no rio Jacuí, cidade de Charqueadas. Fonte: Somar, régua oficial SPH.....	25
Figura 1.4ab:	a) Classificação climática do estado; b) Faixas de precipitação anual. Fonte: http://coralx.ufsm.br/ifcrs/clima.htm#chuva	26
Figura 2.1:	Retro espalhamento de fundo S_B como função do ângulo de varredura, para uma frequência de 100 kHz. As letras representam o tipo de sedimento encontrado de acordo com a Tabela 2.1. Fonte: Mckinney & Anderson, 1964.....	41
Figura 2.2:	Mecanismos de espalhamento acústico no fundo, incluindo a refração na interface água-sedimento, além da atenuação e espalhamento no volume de sedimento. Fonte: Jackson et al (1986)	43
Figura 2.3:	Ângulos de incidência maior (azul) e menor (vermelho) que o ângulo crítico Fonte: Jackson et al (1986)	44
Figura 2.4ab:	a) Curvas representativas da resposta angular para Stellwagen Bank e b) para Cape Race Channel. Fonte: Clarke et al, 1997	45
Figura 2.5:	Primeiro e segundo ecos usados pelo sistema RoxAnn. A energia das regiões sombreadas é integrada para formar dois índices: E_1 para formar o primeiro eco e E_2 para o segundo. Fonte: Hamilton et al (1999)	45
Figura 2.6ab:	Representação num sistema de informações geográficas (SIG) das classes acústicas A, B e C, mostrando em (a) grupos de afinidade sedimentar e (b) grupos de afinidade biológica. Fonte: Freitas et al, 2003	48
Figura 2.7:	Sistemas de classificação de ecos e imagens acústicas com diferenças na preparação dos dados, controle de qualidade, compensação e geração das características, mas seguem o mesmo processo para análise dos	

	componentes principais e agrupamentos. Fonte: Preston et al, 2004.....	49
Figura 2.8:	Classes acústicas representadas em cores primárias, obtidas através de dados de sonar de varredura lateral, sonar multifeixe e ecossonda. Fonte: Preston et al, 2004.....	50
Figura 2.9:	Classes acústicas apresentadas em escala de similaridade de cores, interpoladas por categorias. Fonte: Preston et al, 2004.....	51
Figura 2.10:	Representação esquemática da geometria de aquisição de dados e dos registros de amplitude dos sinais acústicos. Fonte: Collier & Brown, 2005	52
Figura 3.1abcd:	Embarcações utilizadas para aquisição de dados e amostragens. (a) Embarcação de serviço no rio Jacuí; (b) Lancha Larus no canal São Gonçalo; (c) Embarcação de apoio no canal São Gonçalo	58
Figura 3.2:	Draga tipo van Veen com amostra de sedimento	59
Figura 3.3:	Garrafa van Dorn utilizada nas coletas de amostra de água	60
Figura 3.4:	Câmara fotográfica Caplio 500SE com GPS acoplado	61
Figura 3.5:	ADCP Sontek. Fonte: http://www.sontek.com/princop/adp/adppo.htm	62
Figura 3.6:	Comparação esquemática de uma vertical de molinetes e um conjunto de células de profundidade usadas num ADCP. Modificado de RDINSTRUMENTS, 1996.....	62
Figura 3.7:	Esboço mostrando as subsecções do rio não medidas pelo ADCP. Modificado de Morlock (1996).	63
Figura 3.8:	Representação esquemática de como é construída a imagem do SVL à medida que a embarcação se desloca ao longo do perfil (Fonseca, 1996).....	64
Figura 3.9:	Geometria da aquisição de dados do SVL. Representação do canal esquerdo. (Souza, 1988)	64
Figura 3.10:	Sonar de varredura lateral com alta resolução de imagem da superfície de fundo, adquiridas com baixo ângulo de varredura, resultando em áreas sombreadas, usadas para detecção de objetos (Michaels, 2007)	65
Figura 3.11:	O eco captado pelo SVL apresenta variações em função do ângulo de incidência, topografia, sombras, textura superficial e composição dos substratos (Michaels, 2007)	67
Figura 3.12:	Representação esquemática do funcionamento de um sistema automático de classificação acústica de superfícies. Modificado de Michaels (2007).....	68

Figura 3.13:	Sequência simplificada do sistema de classificação acústica automática QTC Sideview [®] (Gleason et al, 2006)	69
Figura 3.14:	Representação das classes no Q-espço. Fonte: Quester Tangent Corporation.....	73
Figura 3.15abcd:	Procedimento para utilização do ADCP. (a) Fixado no suporte flutuante; (b) vista dos transdutores; (c) posição de operação ao lado da embarcação e (d) controle operacional.....	74
Figura 3.16abc:	(a) Embarcação utilizada com o sonar no rio Jacuí; (b) vista do peixe no convés e (c) fixado na proa da embarcação.....	76
Figura 3.17:	Lancha Larus e o sonar no convés, durante os preparativos para campanha no canal São Gonçalo.....	76
Figura 4.1:	Localização das secções transversais ao rio onde foram obtidos os perfis com ADCP e das coletas de água para análise de MS, realizados em novembro de 2008	80
Figura 4.2ab:	Variação do nível da água, (a) 06/11/2008; (b) 14/02/2009	82
Figura 4.3abc:	(a) Cais da Somar e a ocorrência dos depósitos de sedimentos; (b) gretas de contração; (c) depósito recente de lama nos degraus do pier	83
Figura 4.4:	Vazão estimada pelo ADCP para cada secção, para os períodos de cheia e normal	84
Figura 4.5ab:	Transporte de MS para cada secção. (a) período de cheia; (b) período normal.....	84
Figura 4.6ab:	Perfis de ADCP da secção 14, com valores de profundidade (m), largura do rio (m) e escala de cores à direita representando os valores de velocidades (cm/s). (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008	85
Figura 4.7ab:	Perfil ADCP 1. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.....	85
Figura 4.8ab:	Perfil ADCP 2. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.....	86
Figura 4.9ab:	Perfil ADCP 3, a montante da ilha das Cabras. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008	87
Figura 4.10ab:	Perfil ADCP 4, a montante da ilha dos Dorneles. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008	87
Figura 4.11ab:	Perfil ADCP 13, entre a ilha dos Dorneles e o município de Triunfo. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.....	88

Figura 4.12ab: Perfil ADCP 5, à direita da ilha dos Dornelles. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008	88
Figura 4.13ab: Perfil ADCP 12, a esquerda da ilha dos Dornelles. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008	88
Figura 4.14ab: Perfil ADCP 6, a jusante da ilha dos Dorneles. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.....	90
Figura 4.15ab: Perfil ADCP 7, a montante da ilha do Araújo. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008	91
Figura 4.16ab: Perfil ADCP 8, entre a ilha do Araújo e a margem do rio no município de Charqueadas. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008	92
Figura 4.17ab: Perfil ADCP 10, entre a ilha do Araújo e a margem do rio no município de Triunfo. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.....	93
Figura 4.18ab: Perfil ADCP 11, entre a ilha do Araújo e a margem do rio no município de Triunfo. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.....	93
Figura 4.19ab: Perfil ADCP 9, a jusante da ilha do Araújo. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.....	94
Figura 4.20: Mosaico das imagens obtidas com o sonar de varredural lateral num trecho do rio Jacuí, dentro da área estudada	95
Figura 4.21: Curvas aproximadas para erosão e deposição de material uniforme em relação à granulacão e a velocidade. Modificado de Hjulstrom (1939).....	95
Figura 4.22: (1) <i>Ondulações de fundo</i> (dunas grandes) mostrando a direção da corrente num evento de alta descarga; (2) ondulações menores (dunas pequenas), mas com a mesma orientação das maiores; (3) registro mostrando a reposição de material com efeito característico denominado marca de cometa.....	96
Figura 4.23: (1a) Cicatrizes deixadas pela draga de sucção; (1b) cicatrizes com manchas de sedimentos repostos; (2) e (4) mancha tipo marca de cometa; (3) ondulações formadas na nova camada de sedimentos (dunas pequenas)...	97
Figura 4.24: (a) Feições de fundo irregulares sem marcas de dragagem; (b) Perfis de velocidades com os valores superficiais máximos em época de cheia; (c) Posição da Imagem 017 na seqüência de navegação com o peixe	98
Figura 4.25: Marcas produzidas por draga de corte em diferentes períodos. (1) Marcas recentes, mas com cobertura de sedimentos;	

	(2) marcas recentes com retirada do sedimento repostos;	
	(3) Posição das imagens com relação ao rio	98
Figura 5.26:	(1) Registro de alta refletividade do sinal acústico;	
	(2) Posição da imagem com relação ao rio	98
Figura 4.27:	(1) Trecho próximo ao porto de Pelotas; (2) Trecho começando após a ponte rodoviária e se estendendo após a eclusa até a ilha da Brigadeira	99
Figura 4.28:	(1) Marcas de draga de sucção; (2) Linha bem definida da margem do canal .	100
Figura 4.29:	(1) Posição da linha de margem; (2) Linha bem definida do canal de navegação; (3) marcas de draga de corte	101
Figura 4.30:	(1) Linha do canal de navegação; (2) Trecho onde as linhas do canal desaparecem	102
Figura 4.31:	Padrões variados de dunas em (1) e (2); (3) Reposição de sedimentos entre as cavas das ondulações	103
Figura 4.32:	Diagrama de Shepard.....	105
Figura 4.33:	(a) Imagem geral da área foco; (b) trecho 1 desde o sangradouro na laguna dos Patos até o porto de Pelotas; (c) trecho 2 nas proximidades da barragem, jusante e montante; (d) trecho 3 até a ilha da Brigadeira.....	106
Figura 4.34:	Mapa 1 com a localização das amostras A1 e A2, indicando a presença de silte (lama). Fotos georreferenciadas das amostras obtidas <i>in situ</i> com a câmera CAPLIO 500SE.....	107
Figura 4.35:	Mapa 1 com a localização das amostras A4 e A8, indicando a presença de areia média e grossa. Fotos georreferenciadas das amostras obtidas <i>in situ</i> com a câmera CAPLIO 500SE.....	108
Figura 4.36:	Mapa 2 mostrando a distribuição dos sedimentos no leito do canal, de acordo com a classificação obtida através da aplicação dos softwares QTC Sideview [®] e QTC Clams [®]	110
Figura 4.37:	Mapa 4 mostrando o deslocamento da pluma do canal Santa Bárbara, e a concentração de sedimento da classe 2 classificado como lama.....	111
Figura 4.38:	Localização das amostras S35, S56 e S61, indicando a presença de areia grossa. Fotos georreferenciadas obtidas das amostras <i>in situ</i> com a câmera CAPLIO 500SE	112
Figura 4.39:	Localização das amostras S36, A38 e S41, indicando a presença silte (lama). Fotos georreferenciadas das amostras obtidas <i>in situ</i> com a câmera	

CAPLIO 500SE.....113

Figura 4.40: Localização das amostras S4 (areia grossa), S6 (areia muito fina) e S9 (areia média); Fotos georreferenciadas das amostras obtidas *in situ* com a câmara CAPLIO 500SE. Contorno bem definido da Ilha da Brigadeira115

LISTA DE SÍMBOLOS/UNIDADES

°C	grau Celsius
cm	centímetro
cm/s	centímetro por segundo
dB	decibel
he	hectare
hp	horse power
I_i	Intensidade da onda incidente
I_s	Intensidade da onda do retro espalhamento
km	quilômetro
km ²	quilômetro quadrado
km/h	quilômetro por hora
km/s	quilômetro por segundo
<i>l</i>	litro
m	metro
m ²	metro quadrado
mHz	megaHertz
mg	miligrama
mg/ <i>l</i>	miligrama por litro
m/s	metro por segundo
m ³ /s	metro cúbico por segundo
mm	milímetro
s	segundo
ton	tonelada
ton/h	tonelada por hora

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1:	Descrição simplificada dos sedimentos classificados. Fonte: Mckinney & Anderson (1964).	42
Tabela 3.1:	Características texturais e amplitude, extraídas pelos algoritmos usados no <i>software</i> QTC Sideview®. Modificado de Preston et al (2004).....	71
Tabela 4.1:	Perfis de ADCP obtidos em 06/11/2008 e em 14/02/2009. V _m = Velocidade média; MS = Material em suspensão.....	81
Tabela 4.2:	Classificação das dunas proposta por Ashley (1990).....	85
Tabela 4.3:	Análise sedimentológica segundo Folk & Ward, Shepard e a classificação acústica proposta com suas respectivas cores.....	102

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1:	Intensidade do sinal do retro espalhamento acústico.	41
--------------	---	----

RESUMO

Esta Tese tem como objetivo avaliar a distribuição sedimentar e o comportamento hidrodinâmico de duas áreas, uma no rio Jacuí e outra no canal São Gonçalo, onde ocorrem atividades de extração de areia para uso na construção civil. Foram utilizadas técnicas de prospecção acústica na aquisição de dados com a utilização de equipamentos geofísicos tais como o sonar de varredura lateral, perfilador de correntes por efeito Doppler e principalmente, a aplicação de um sistema de classificação automática de superfícies submersas. Na classificação acústica foi utilizado o *software* QTC Sideview[®] que utiliza como fonte de dados os sonogramas produzidos pelo sonar. Além disso, foram obtidas imagens das amostras *in situ* utilizando uma câmera digital com GPS acoplado, com a finalidade de comparar os resultados da classificação com a amostra real. O processo de classificação acústica de fundo definiu a existência de quatro classes principais de sedimentos, variando desde areia grossa até silte. Os arquivos com as classes obtidas são exportados no formato ASCII, podendo ser mapeadas em qualquer ferramenta SIG. Esta abordagem foi utilizada apenas na área do canal São Gonçalo, em função da melhor qualidade e uniformidade dos dados obtidos com o sonar de varredura lateral nesta região. No rio Jacuí, os sonogramas não apresentaram um padrão de qualidade suficiente para o uso no sistema de classificação automático. Mesmo assim, as imagens se mostraram adequadas para análise visual, permitindo observar estruturas naturais do fundo, além daquelas causadas pelos equipamentos mineradores, viabilizando sua utilização no gerenciamento dos procedimentos de dragagem. Dados obtidos com o perfilador acústico de correntes e de coleta de amostras de água em dois períodos distintos, de cheia (novembro 2008) e normal (fevereiro 2009), permitiram avaliar aspectos hidrodinâmicos e quantificar o material transportado em suspensão ao longo da área estudada no rio Jacuí. Os valores de velocidade de correntes obtidos em épocas diferentes permitiram caracterizar a vazão do rio em situações extremas e constatar a existência de energia suficiente para a reposição de sedimentos da classe areia. Tal constatação pode ser observada visualmente nas imagens geradas pelo sonar, nas duas áreas estudadas. O trabalho mostra a importância do uso combinado de métodos de aquisição e tratamento de dados, no auxílio e dimensionamento dos impactos ambientais causados por atividades antrópicas. Além de ampliar o conhecimento geológico e hidrodinâmico destes corpos d'água, os resultados obtidos servem como subsídio para a orientação do uso sustentável destes complexos ambientes naturais.

Palavras-chave: Sonar de varredura lateral; perfilador acústico por efeito Doppler; classificação automática de sedimentos de fundo; sedimentologia; hidrodinâmica.

ABSTRACT

The aim of this thesis was to evaluate sediment distribution and hydrodynamic behavior of two areas, located at the Jacuí river and the São Gonçalo channel, where sand is extracted for use in construction. Acoustic prospection techniques were utilized for data acquisition, using geophysical equipments such as side scan sonars and acoustic Doppler current profilers, and mainly by applying a submerged surfaces automatic classification system. For acoustic classification, the QTC Sideview[®] software was utilized, which employs sonar-produced sonograms as the data source. Also, images of samples were obtained *in situ* using a digital camera with built-in GPS, in order to compare classification results with the actual samples. The acoustic bottom classification process defined the existence of four main sediment classes, varying from coarse sand to silt. Archives containing the obtained classes were exported in ASCII format, with the possibility of being mapped in any GIS tool. This approach was used only for the São Gonçalo channel, due to the higher quality and uniformity of data obtained with the side scan sonar at this region. At Jacuí river, sonograms did not present sufficient quality for use in the automatic classification system. In any case, images were adequate for visual analysis, permitting the observation of the riverbed's natural structures as well as structures resulting from the mining equipment, and allowing their use for management of dredging procedures. Data obtained with the acoustic current profiler and water samples collected at two distinct periods, when the river was flooded (November 2008) and normal (February 2009), allowed evaluation of hydrodynamic aspects and quantification of suspended material transported along the studied area of the Jacuí river. Current velocity values obtained at different periods permitted characterization of river outflow in extreme situations, and the existence of sufficient energy for sediment (class "sand") reposition was observed. Such observation can be noted visually in the sonar-generated images, at the two studied areas. This work shows the importance of combining different data acquisition and treatment methods, in order to aid and dimension environmental impacts caused by human activities. Besides increasing geological and hydrodynamic knowledge of these water bodies, the obtained results will also help guide a sustainable use of these natural environmental complexes.

Keywords: Side scan sonar; acoustic Doppler current profiler; bottom sediment automatic classification; sedimentology; hydrodynamics.

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

As áreas submersas são feições naturais de extrema importância para o desenvolvimento da vida em nosso planeta. Desempenham uma série de funções tanto no aspecto social como em termos de ecossistemas. Podemos citar como exemplos o consumo de água pela população, saneamento e saúde, agricultura, navegação, indústria, além de propiciar atividades recreativas, culturais e espirituais. A degradação induzida pelo ser humano tem alterado profundamente o funcionamento dos sistemas aquáticos em quase todos os continentes. Os abusos sofridos têm servido de alerta para a saúde dos mananciais, a qual pode ser definida como sendo a sua capacidade, e de seus ecossistemas associados, em desempenhar suas funções naturais. Pensando desta forma, pode-se dizer que a saúde do ambiente aquático é uma medida da saúde de suas águas, a qual vem a fornecer uma indicação da saúde do meio ambiente e conseqüentemente da sociedade. Nossos valores econômicos, sociais e culturais estarão ameaçados e potencialmente comprometidos, a não ser que a saúde destes ambientes seja mantida através de práticas ecologicamente sustentáveis.

No passado, a busca por subsídios que viessem a satisfazer as necessidades humanas, não considerava a importância da manutenção dos ecossistemas aquáticos, com destaque para os interiores. Em muitos casos, as atividades humanas levavam a um conjunto de impactos não intencionais, comprometendo a variabilidade natural dos mananciais, sua complexidade e integridade estrutural, além da preservação da funcionalidade destes ecossistemas. Muitas atividades humanas incorporam um contexto de paisagem, exigindo localidades específicas para certas formas e práticas. Por exemplo, os grandes centros urbanos estão localizados junto a corpos aquáticos. Rotas comerciais preferenciais têm como ponto chave os grandes terminais portuários instalados ou a margens de rios ou em áreas estuarinas. Não é por acaso que as antigas civilizações se desenvolveram ao longo dos grandes rios e estuários do mundo, buscando estas facilidades.

1.1 FORMAS DIRETAS E INDIRETAS DE PERTURBAÇÃO HUMANA EM CORPOS D'ÁGUA

As mudanças fazem parte da dinâmica do ecossistema no contexto integral e natural de sua paisagem. Entretanto, a forte presença humana tem sido a forma dominante das perturbações geomorfológicas e biológicas dos sistemas aquáticos. A interferência antrópica tem modificado a natureza e a taxa de ajustamento dos sistemas aquáticos, alterando a distribuição espacial e temporal das formas e processos dos mesmos, exercendo maior influência do que os ajustamentos causados pelas mudanças climáticas, embora eventos naturais extremos continuem a ser uma causa significativa destas mudanças.

As modificações antrópicas causadas aos atributos biofísicos dos sistemas aquáticos podem ser diretas ou indiretas. Embora muitas das modificações diretas sejam planejadas, as modificações indiretas são impensadas. Modificações diretas no leito ou margens tem, normalmente tomado a forma de atividades de aproveitamento de seus recursos, como por exemplo, suprimento de água, geração de energia, extração de areia e cascalho, ou ainda projetos de trabalhos de engenharia estrutural, como a construção de muros de contenção, para amenizar os efeitos de inundações. A derrubada da vegetação ribeirinha e a retirada de madeira, geralmente tem acompanhado estas atividades.

Impactos humanos indiretos referem-se aos ajustamentos realizados como respostas secundárias às mudanças do entorno do canal que venham a modificar a vazão e/ou carga de sedimentos do corpo de água. Estes impactos dizem respeito principalmente às mudanças na cobertura do solo que, conseqüentemente venham a modificar a natureza, o balanço e a interação do fluxo de água e/ou sedimentos. De uma forma geral, o impacto de mudanças indiretas em termos de represamento, antecede aqueles associados com as modificações humanas diretas nos cursos de rios. Embora estes impactos possam parecer menos dramáticos do que as reações causadas por perturbações diretas, seus efeitos são onipresentes e de longo alcance, sendo percebidos com considerável atraso.

Dentre as formas de perturbações antrópicas em cursos de rios e canais, podemos citar como exemplos:

- a regulação hidrodinâmica do rio, causada pela retenção de água por represas e sistemas de desvio das águas para irrigação na agricultura e abastecimento de centros urbanos;
- modificações no canal, causada pela canalização do rio, incluindo trabalhos de controle de enchentes, estruturas de estabilização de fundo e margens, e realinhamento do canal; extração

de areia e cascalho para construção civil e programas de dragagens para manutenção de canais de navegação;

- mudanças no uso da terra, através de desmatamento, reflorestamento e alterações nas práticas de agricultura como, por exemplo, a conversão de áreas de pastagem em áreas aráveis, com seus sistemas de drenagem e irrigação associados;

- dragagens de manutenção dos canais de navegação em regiões portuárias, etc.

A vegetação existente ao longo dos rios, ou mata ciliar, tem grande importância já que funciona como obstáculo natural ao escoamento das águas que ficam retidas e em seguida absorvidas pelo solo, evitando que uma quantidade grande de partículas sólidas sejam arrastadas e depositadas no seu leito. Além de evitar o assoreamento do leito, a mata ciliar consiste num ecossistema peculiar que abriga uma diversidade na flora e fauna de vital importância para o equilíbrio de toda uma região.

No Rio Grande do Sul são várias as áreas onde as atividades acima relatadas se desenvolvem. Uma destas áreas é o rio Jacuí, principal rio de uma extensa bacia de drenagem do estado e que tem implicações com a Laguna dos Patos, estuário e oceano adjacente através do transporte de sedimentos em suspensão além de outras implicações. Outra área é o canal São Gonçalo onde é feita a dragagem de areia para construção civil. Parte do material em suspensão é barrado na região do estuário da laguna dos Patos, devido à entrada de água salgada, que causa a floculação e formação de uma camada de lama no talvegue dos canais do sistema portuário que, de tempos em tempos, deve ser retirada devido às dificuldades de navegação.

No caso do rio Jacuí, a concessão para a extração deste mineral ao longo de seu leito na região do baixo Jacuí, é da empresa Sociedade Mineradora Ltda (SOMAR) que explora este mineral desde a década de 80, utilizando dragas de concha e mais recentemente de sucção. A extração da areia é feita seguindo os padrões ambientais da Fundação Estadual de Pesquisa e Meio Ambiente (FEPAM), órgão responsável pelo licenciamento deste tipo de atividade em nosso estado.

Uma das maiores preocupações da empresa e do órgão licenciador, está na possibilidade deste tipo de atividade impactar o meio e principalmente causar danos às margens. De acordo com a legislação, a mineração não deve ocorrer fora dos limites estabelecidos, que em termos gerais, fica a uma distância de 50 m a partir das margens. Observa-se que em certas áreas das margens do rio, ocorrem processos erosivos nos períodos de cheia, independente desta atividade, já que nestas áreas não são realizadas dragagens.

A SOMAR iniciou sua atividade de mineração em agosto de 1984. Em 1986 adquiriu as áreas e obteve quatorze (14) concessões de Lavra Mineral, as quais foram posteriormente alocadas em três agrupamentos mineiros, denominados GM N^o 185, GM N^o 186 e GM N^o 187.

No canal São Gonçalo a lavra de extração de areia é de concessão da empresa Areal Baronesa Extração e Comércio de Areia Ltda, com sede na cidade de Pelotas que retira o mineral e o disponibiliza para as cidades de Pelotas, Rio Grande e arredores. A média de produção mensal de 2008 foi de 6000 m³ por mês. Neste processo são utilizadas somente dragas de sucção.

1.2 LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

Esta tese se desenvolve basicamente em duas áreas preferenciais onde processos de dragagem para retirada de areia são realizados por empresas que suprem deste material as cidades de Porto Alegre, Pelotas, Rio Grande e arredores. Estas áreas estão localizadas na região do baixo rio Jacuí e em parte do canal São Gonçalo (Fig. 1.1ab).

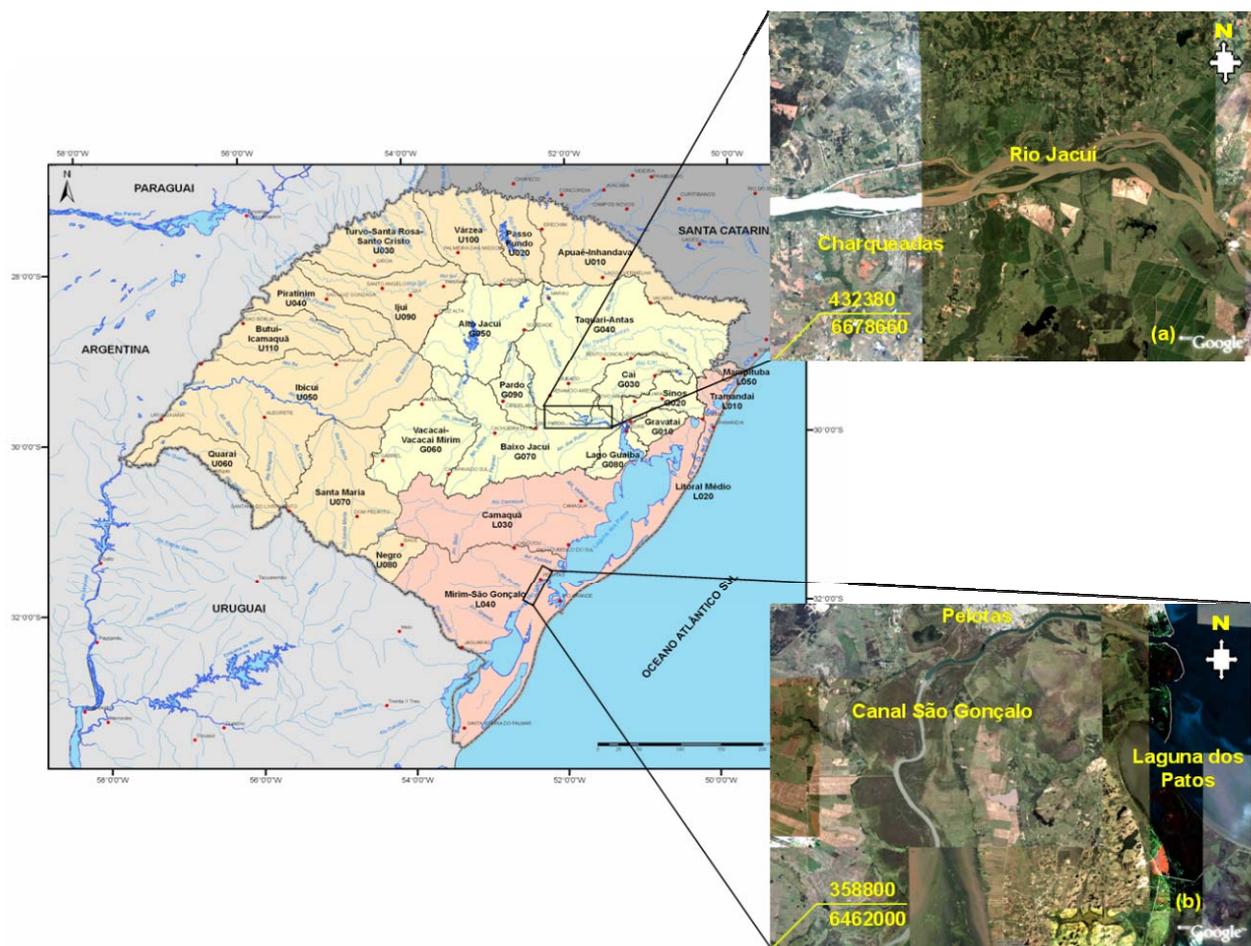


Figura 1.1ab. Localização da área de estudo: (a) região do Baixo rio Jacuí; (b) Canal São Gonçalo.

1.2.1. Canal São Gonçalo

O canal São Gonçalo está localizado entre as coordenadas 31°46' e 32°01' de latitude sul e 52°13' e 52°27' de longitude oeste, na divisa dos municípios de Rio Grande e Pelotas. Funciona como elo de ligação entre a lagoa Mirim e a laguna dos Patos, fazendo parte da província costeira do Rio Grande do Sul. Apresenta um traçado sinuoso característico de rios meandantes, com comportamento hidrodinâmico variado, influenciado pela inversão de fluxo sazonal causado pela incidência de chuvas e regime de ventos dominantes na região. (Fig. 1.1b).

Vieira (1982) descreveu em seu trabalho a existência de dois grandes sistemas fluviais no Rio Grande do Sul, denominados Bacias do Sudeste e Bacias do Uruguai. Esta última também conhecida como Bacia Oriental Sul Riograndense que se divide em dois complexos hidrográficos que abastecem o sistema lagunar Patos-Mirim. Segundo Ávila (1994), a bacia do complexo hidrográfico Mirim experimenta chuvas ao longo de todo o ano sem apresentar uma estação seca definida, mas sofre forte influência da ocorrência do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS). Quando este ocorre, produz precipitação pluvial acima da média climatológica com destaque para os meses de outubro, novembro e dezembro.

O regime de ventos tem papel importante nos níveis de água do complexo lagunar em função da duração, direção e intensidade dos mesmos. Os ventos dominantes são os de nordeste e sudoeste, sendo que os de nordeste ocorrem com maior frequência na primavera e no verão e os de sudoeste no período de inverno. As velocidades mais elevadas ocorrem nestas direções e predominantemente nos meses de primavera. Os ventos de NE provocam o abaixamento dos níveis da água na extremidade sul, no sangradouro, e impelem as águas salinas em direção à lagoa Mirim e os ventos de SW ocasionam a elevação dos níveis da água no sul do canal, forçando o escoamento para a laguna dos Patos. Quando existem reservas de água doce na lagoa Mirim, os efeitos dos ventos de NE podem ser apenas de represamento, persistindo a declividade do canal em sentido descendente para a laguna dos Patos (Vieira, 1982).

A régua da Agência Lagoa Mirim – UFPEL, localizada na eclusa do canal, mostra a variação de nível observada durante o período de 2002 a 2007, com o valor máximo registrado em setembro de 2002, quando a cota ultrapassou a marca de 2,5 m, conforme mostrado na Figura 1.2. Neste mesmo mês, o nível registrado no rio Jacuí, superou a marca de 3,5 m.

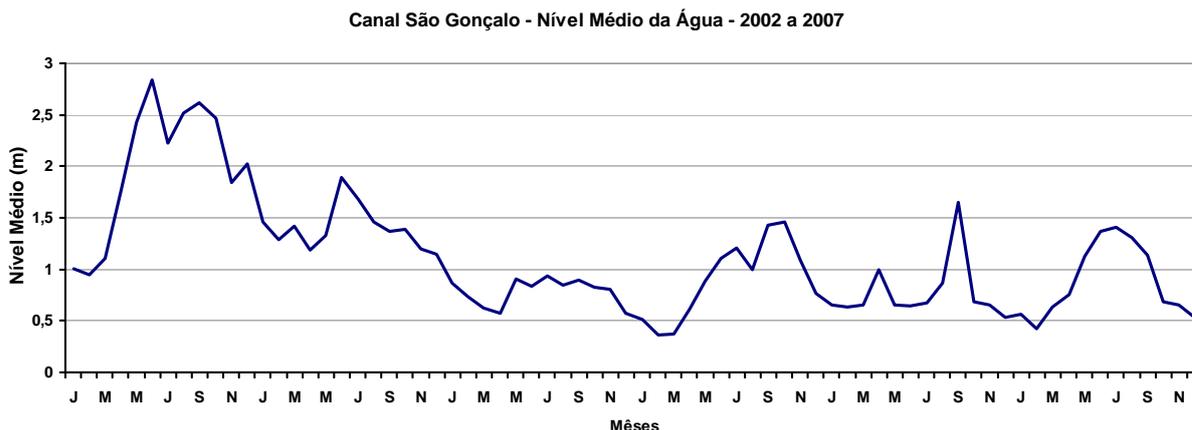


Figura 1.2. Nível da água na eclusa do canal São Gonçalo. Fonte: Agência Lagoa Mirim UFPEL.

1.2.2 Região do baixo rio Jacuí

A Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí situa-se na porção centro-leste do Estado do Rio Grande do Sul, abrangendo as províncias geomorfológicas do Planalto Meridional, Depressão Central e Escudo Sul-rio-grandense. Possui área de 17.345 km², abrangendo municípios como Charqueadas, Eldorado do Sul, Guaíba, Minas do Leão, Rio Pardo, Santa Cruz do Sul e Triunfo, tendo como principais cursos de água os arroios Irapuã, Capané, Botucacaí, Capivari, do Conde, dos Ratos, dos Cachorros, Ibacurú além dos rios Taquari e Jacuí.

O rio Jacuí tem um trecho navegável de 352km, de Porto Alegre até a montante do município de Cachoeira do Sul, apresentando três cursos naturais: superior, médio e inferior. Seu curso inferior tem a direção geral Oeste-Leste, até encontrar à leste, sua foz no rio Guaíba. Devido à importância social e econômica para o Estado como navegação, abastecimento, geração de energia e de problemas com as cheias e estiagens, o rio Jacuí tem atraído grande interesse de autoridades governamentais e instituições as mais variadas. A área de concessão para extração de areia quartzosa abrange o município de Charqueadas, distando de Porto Alegre, seu principal centro consumidor, em torno de 50 km por via fluvial (Fig. 1.1a).

O rio Jacuí desenvolve-se em vales profundos e estreitos. A vegetação existente encontra-se bastante alterada e degradada em relação à sua condição original e distribui-se de forma rarefeita e esparsa nas encostas do rio e das montanhas. Em função disso a fauna vertebrada local encontra-se também, bastante descaracterizada em relação ao que foi originalmente, sendo representada principalmente por pequenos roedores, aves, répteis e anfíbios comuns em todo o estado (Schulz & Leal, 2009). No fundo dos vales ocorrem planícies aluviais que, no entorno do rio Jacuí são ocupadas por cultura de arroz, quando a propriedade é de média a grande extensão

(acima de 50 hectares), ou por cultura de fumo e de subsistência quando a propriedade é pequena.

Na área do rio Jacuí que compreende a cidade de Charqueadas predomina a pequena propriedade, imprensada entre o rio e as encostas do vale. O padrão de vida das famílias que ocupam este local destoa do padrão médio existente na região. São agricultores com tradição de subsistência e de baixa escolaridade, que tem sua renda pessoal dependente, quase que exclusivamente das atividades desenvolvidas na propriedade. As técnicas agrícolas utilizadas são muito precárias, sendo comuns agressões ao meio ambiente como queimadas indiscriminadas e corte de vegetação em áreas de preservação.

De acordo com a régua oficial da Superintendência de Portos e Hidrovias (SPH) de Charqueadas (SOMAR, 2009), verifica-se que os períodos de enchente ocorrem quase sempre nos meses de Junho a Novembro, Inverno/Primavera e de seca no Verão/Outono meses de Janeiro a Maio, quando o nível médio é da ordem de 1,00 m, (Fig. 1.3). Os picos apresentados correspondem aos meses de Setembro, com destaque para os anos de 2002 e 2005, quando ocorreram também os maiores níveis registrados no canal São Gonçalo. Comparando as duas regiões observa-se sempre um nível maior para o rio Jacuí. Em 2002, a diferença foi de aproximadamente 0,5 m, mas em 2005 esta diferença se aproximou da marca de 2m.

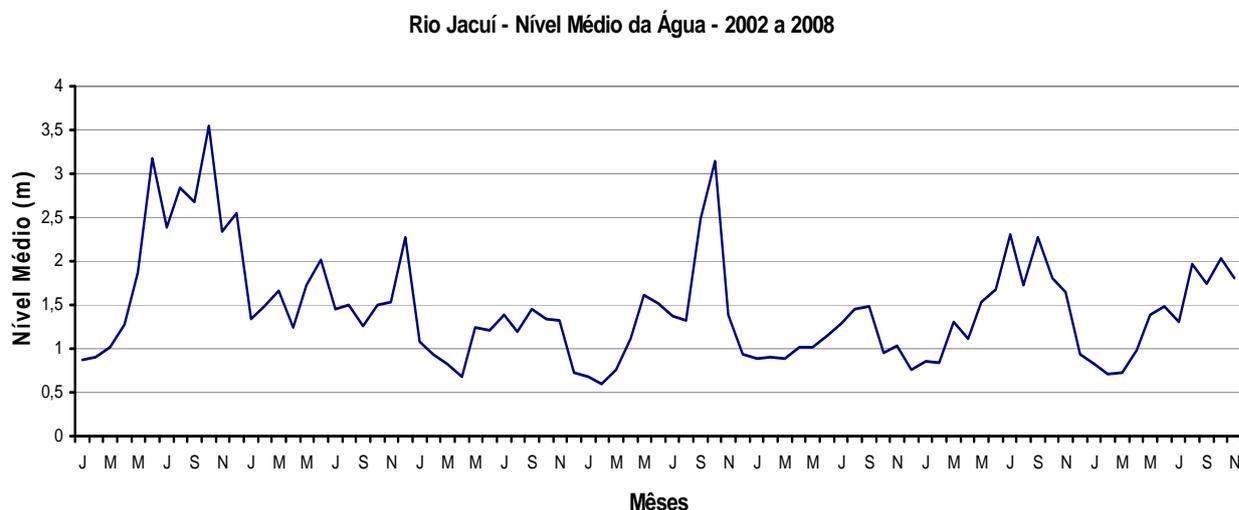


Figura 1.3. Nível da água do rio Jacuí, na cidade de Charqueadas. Fonte: SOMAR, 2009, Régua oficial DNIT.

Para o autor, o relevo regional caracterizado por superfícies e formas simples, não interfere a ponto de criar diferenciações muito importantes na pluviometria anual. Somente áreas restritas estão fora do balizamento de 1.250 a 2.000 mm. Em área próxima de São Francisco de Paula, situada acima de 900 m de altitude, na borda da escarpa do Planalto das Araucárias, a barlavento das correntes perturbadoras de origem polar, chove 2.500 mm aproximadamente, o mais alto índice pluviométrico da Região Sul.

1.2.4. Geologia do Rio Grande do Sul

Segundo Kaul (1990) o Rio Grande do Sul é constituído por terrenos rochosos, com sua origem relacionada a diferentes períodos de formação da crosta terrestre. Do Arqueano anterior aos tempos cenozóicos, os processos magmáticos, metamórficos e sedimentares, aliados aos movimentos tectônicos, deram origem a uma crosta mais estável, com predomínio crescente da atividade sedimentogênica sobre as atividades ígneo-metamórficas. Geologicamente o estado se caracteriza como sendo uma região que abrange três grandes domínios geológicos: terrenos pré-cambriânicos, bacia do Paraná e cobertura de sedimentos cenozóicos.

Os terrenos pré-cambriânicos se caracterizam por agrupar uma grande diversidade de tipos de rochas, formadas desde os primórdios dos tempos geológicos no Arqueano (3 bilhões de anos atrás) até o Cenozóico (500 milhões de anos atrás). Trata-se de rochas ortometamórficas e parametamórficas de alto, médio ou baixo grau de metamorfismo, rochas ígneas granitóides e de sequências de cobertura de natureza vulcanossedimentar pouco frequentes.

O domínio da bacia do Paraná se caracteriza por ser o mais amplo domínio geológico do sul do Brasil, pertencente a grande estrutura de dimensões continentais, implantada em terrenos pré-Cambriânicos a partir do Siluriano Inferior. Pode ser dividido em duas grandes áreas, a das formações sedimentares, acumuladas desde o Siluriano Inferior até o Triássico, e a dos imensos derrames de lavas que cobriam estas formações a partir do Jurássico Superior.

O domínio da cobertura de sedimentos cenozóicos corresponde aos sedimentos predominantemente holocênicos, que se concentram em diferentes áreas do Estado, principalmente na região costeira.

1.2.4.1. Geologia do canal São Gonçalo

A planície aluvial do canal São Gonçalo ocupa uma depressão plana com largura variável entre 6 e 14 km, com 80 km de comprimento alongada na direção sudoeste-nordeste, com cotas oscilando entre 2 e 4 m. A região situada a oeste desta depressão é constituída por pelo menos dois amplos terraços que cedem lugar às terras altas da Serra do Sudeste (afloramento do Embasamento Cristalino). O terraço mais antigo (20 a 30 m) apresenta uma superfície suavemente ondulada enquanto que o mais jovem (9 a 15 m) é relativamente plano. Ambos são dissecados pela drenagem que neles escavou amplos vales de fundo plano que mantém continuidade com a depressão aluvial do canal São Gonçalo. Ao longo de seu curso, o canal recebe afluentes pelas margens leste e oeste. Os mais importantes são o rio Piratini e os arroios Contrabandista, Fragata, Padre Doutor e Pelotas, todos na margem oeste. A feição morfológica que mais se destaca são os inúmeros canais temporários, que constituem uma rede na porção sul da planície de inundação (Vieira, 1982). Schonhofem (1969), refere-se a eles como parte de um sistema de escoamento superficial atuando por ocasião das cheias, dando vazão às águas em direção a laguna dos Patos.

A serra do Sudeste é constituída por terrenos que integram o complexo granítico-migmático-metamórfico de idade pré-cambriana. Nas adjacências da planície do São Gonçalo, está representado por migmatitos homogêneos e heterogêneos de composição diorítica a granodiorítica, entrecortados por corpos graníticos. Estas rochas são a principal fonte dos sedimentos que se acumularam e ainda se acumulam na bacia costeira adjacente. Depósitos aluviais e coluviais areno-silto-argilosos recobrem as encostas do embasamento cristalino e se interligam com as demais acumulações sedimentares que se expõem na planície costeira (Delaney, 1965). A formação Graxaim, que nesta área constitui o terraço inferior lagunar, é constituída por amplos leques aluviais e deltas subaéreos compostos por areias feldspáticas grosseiras a médias, conglomerados petromíticos contendo intercalações argilosas. Os depósitos de canal, barras de meandros, diques marginais e de rompimento de diques são arenosos e Arno-sílticos, enquanto que os de planície de inundação, canais abandonados e banhados são mais ricos em silte, argila e matéria orgânica (Delaney, 1965).

1.2.4.2. Geologia do baixo rio Jacuí

A área do baixo rio Jacuí, sob o ponto de vista geológico, localiza-se sobre rochas gonduânicas pertencentes à depressão periférica do Rio Grande do Sul, que se caracterizam por sua origem sedimentar, depositadas em paleo-superfícies paleozóicas e pré-cambrianas, apresentando-se na forma de estratos sub-horizontalizados e afetados posteriormente por um tectonismo rígido. Ao sul desta área ocorrem os afloramentos das rochas do escudo Sul-Riograndense, de idade pré-cambriana e que foram responsáveis pelo aporte de sedimentos para a formação da bacia do Paraná. Ao norte situa-se o planalto das lavas basálticas, constituído pela formação Serra Geral, que se desenvolveu no período Jurássico com os sucessivos derrames de magma basáltico.

As rochas do escudo cristalino afloram ao sul da cidade de Charqueadas e sua litologia é determinada predominantemente por granitos e rochas gnáissicas. Estas rochas apresentam um contorno nítido apesar de frequentemente estarem encobertas por material de alteração.

Rochas do grupo Itararé fazem parte da porção basal. A sequência gonduânica permocarbonífera originalmente preencheu os paleovales existentes no escudo cristalino. Sua litologia é muito variável, ocorrendo conglomerados, arenitos, siltitos, varzitos e ocasionalmente pequenas lâminas e lentes de carvão. O contato inferior com o embasamento cristalino é discordante e o superior, com a formação Rio Bonito, é transicional.

A formação Rio Bonito assenta-se sobre o grupo Itararé ou na falta deste, diretamente sobre o embasamento cristalino. Sua litologia compõe-se de arenitos quartzosos finos e médios, com matriz siltica e estratificações cruzadas acaneladas, plano-paralelas e lenticulares. Na porção basal conglomerados de pouca espessura, de matriz areno-siltica e clastos de rochas graníticas e gnáissicas intercalam-se como níveis de arenitos.

Os depósitos de sedimentos quaternários da área dividem-se em dois tipos predominantes: coluviões e aluviões. Os primeiros têm sua fonte de sedimentos areno-argilosos na intemperização das rochas graníticas e gnáissicas que formam o maciço rochoso ao sul. Os aluviões são encontrados ao longo da maior parte dos cursos d'água e adquirem maior expressão nas margens do rio Jacuí. O material que constitui estes aluviões em geral é argiloso ou siltoso, havendo inclusões de areia. A consistência das argilas é baixa na superfície, porém aumenta gradativamente com a profundidade.

(Fonte: http://www.riogrande.com.br/municipios/charqueadas/charqueadas_geologia.htm).

1.3. O DESENVOLVIMENTO DA ACÚSTICA SUB-AQUÁTICA

A transmissão de dados e imagens através de sistemas de satélites tem possibilitado a disseminação do conhecimento das mais remotas áreas da superfície terrestre. Este feito se tornou possível devido ao avanço tecnológico dos sistemas de comunicação e transmissão de dados a longa distância, os quais usam as ondas eletromagnéticas como agente principal. Estas ondas podem se propagar tanto no vácuo como na atmosfera terrestre, mas encontram na água, um meio totalmente inadequado para sua utilização. Como a água possui boa condutividade à corrente elétrica, causa forte atenuação a este tipo de energia, diminuindo seu alcance e, conseqüentemente sua utilização. Por outro lado, as ondas acústicas necessitam de um meio físico que possibilitem a sua propagação. Neste sentido, a água permite a sua propagação com facilidade, compensando em muito as limitações de uso das ondas eletromagnéticas, tanto nos oceanos, mares, como em rios, lagoas e lagos (água doce).

As ondas acústicas apresentam velocidade de transmissão na água em torno de quatro a cinco vezes maior do que no ar, sendo submetidas a baixa atenuação e, em consequência disso, podendo alcançar longas distâncias. Em contrapartida, o meio aquoso possibilita a perturbação do sinal acústico por ruídos externos oriundos de outras fontes, ou até mesmo pelo eco indesejável, tirando proveito das mesmas vantagens obtidas para a transmissão do sinal acústico.

A facilidade com a qual as ondas acústicas se propagam na água é conhecida de longa data. De acordo com Urick (1983), a primeira referência a propagação do som na água foi feita em 1490 por Leonardo Da Vinci quando este escreveu: *"se você parar seu barco e colocar a ponta de um longo tubo na água e colocar seu ouvido na outra extremidade, você escutará outros barcos a uma longa distância do seu"*. Entretanto, o uso real do som em ambientes subaquáticos é bem mais recente, e os primeiros dispositivos usados de forma eficiente foram os sistemas passivos de detecção desenvolvidos durante a primeira guerra mundial. Atualmente estes sistemas são predominantemente ativos, ou seja, transmitem um sinal característico que será refletido por um alvo e posteriormente recebido pelo receptor.

Os avanços tecnológicos, no que diz respeito ao desenvolvimento de novos equipamentos, fizeram com que a quantidade e o tipo de aplicações tenham crescido também. Pode-se dizer de forma simplificada, que atualmente a utilização da acústica submersa desempenha papel similar àquele das ondas de rádio e radar na atmosfera e no espaço, embora com performance menor. Inicialmente usadas para detectar e localizar obstáculos e alvos, para fins militares, com o tempo também passaram a serem usadas em atividades pesqueiras; medidas

das características de ambientes aquáticos como hidrodinâmica e geomorfologia; transmissão de sinais de instrumentação científica e também de comunicação entre submarinos, por exemplo.

A principal diferença entre usar ondas eletromagnéticas no ar e as ondas acústicas na água consiste nas restrições causadas pelo meio de propagação. Para Lurton (2004), apesar dos meios aquosos serem de um modo geral favoráveis à propagação das ondas acústicas, estes ainda causam algumas limitações, como segue:

- Atenuação do sinal transmitido devido à absorção das ondas sonoras na água, limitando as distâncias atingíveis por determinados sistemas;

- Baixa velocidade de propagação, em torno de 1.500 m/s, quando comparada com a velocidade de propagação das ondas de radar no espaço (300.000 km/s);

- Perturbações na propagação devido às variações na velocidade do som e as reflexões nas interfaces com o fundo e a superfície;

- Deformação do sinal transmitido com flutuações relacionadas à heterogeneidade do meio, interfaces entre múltiplos caminhos, mudanças de frequências por efeito Doppler;

- Ruídos ambientais, os quais tendem a mascarar a parte boa do sinal, originados de fontes artificiais como outras embarcações, ou naturais como vulcões, atividades sísmicas, organismos vivos, entre outros.

Em todas as aplicações de sistemas atuais usados para detecção e localização, o sinal transmitido é enviado pelo sonar até o alvo. Ao atingir o alvo, este sinal sofre um retro-espalhamento acústico e retorna ao sistema receptor. Este processo de retro-espalhamento é sempre complexo e dependente da estrutura física do alvo e de suas dimensões, além do ângulo de incidência e frequência do sinal. O eco vindo do alvo é sempre associado com uma série contínua de sinais retro-espalhados por objetos presentes no meio de propagação e nas interfaces, mascarando o sinal real. Fenômeno este conhecido como reverberação.

Acústica subaquática atualmente faz parte das principais atividades humanas na água. Sua tecnologia é essencial no domínio de ambientes marinhos, quer seja no campo científico, militar ou industrial. Acústica submersa permite vários tipos de aplicações (detecção, rastreamento, transmissão e medição) numa grande faixa de escalas. Dentre elas destacam-se as aplicações militares e posteriormente, as civis.

1.4 JUSTIFICATIVA

A necessidade de material de construção é fundamental para o desenvolvimento dos centros urbanos e a dragagem em áreas portuárias é fundamental para a preservação da profundidade dos canais de navegação. A areia para a construção civil é um dos itens principais para esta atividade. Quanto mais próxima do local a ser utilizado ocorrer a sua extração, menor é o custo para o usuário final. No Rio Grande do Sul a areia para uso na construção civil é extraída de vários locais. Entre estes destacamos os leitos do rio Jacui e do canal São Gonçalo, onde este material existe em grande quantidade, sendo acumulado ao longo do tempo transportado pelo rio, principalmente nos períodos de enchente, como produto da desagregação das rochas graníticas que compõe o escudo Sul-rio-grandense.

Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM/MME (Sumário Mineral/2000), a mineração em leitos de rios (canais) é responsável por noventa por cento da produção brasileira de areia. Os 10% restantes são obtidos pela lavra em planícies de inundação, depósitos lacustres e em horizontes de rochas alteradas.

Assim sendo, esta tese trata de mostrar a utilidade e esclarecer o potencial de uso das novas tecnologias para a aquisição de dados de forma confiável e rápida, a fim de facilitar e auxiliar no gerenciamento de áreas onde existe a ação do homem e que de certa forma afetam o meio.

Neste sentido, equipamentos como o sonar de varredura lateral (SVL), e perfilador acústico de correntes por efeito Doppler (ADCP), além de softwares classificadores como os utilizados neste estudo (QTC Sideview[®] e QTC Clams[®]) se apresentam como meios adequados para realizar o monitoramento de rios e canais em curto espaço de tempo, indicando áreas de maior acúmulo de material e, desta forma, indicando os locais de futuras dragagens para extração do bem mineral. Além disso as imagens podem ser utilizadas para monitorar a morfologia do canal, reconhecer tipo de fundo e delimitação das margens.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Geral

Este trabalho tem como objetivo investigar a aplicabilidade de utilização de métodos geofísicos no gerenciamento de áreas submersas, submetidas à exploração mineral e dragagem de manutenção.

1.5.2 Específicos

1. Elaborar mapas geomorfológicos das feições de fundo com base nas imagens do SVL e dados associados;
2. Analisar a sedimentologia das áreas submersas a partir da aplicação de sistemas acústicos de classificação automática de fundo, usando como base de dados os sonogramas produzidos pelo SVL, a fim de fornecer subsídios para futuros planos de prospecção mineral e nas obras de dragagem em áreas fluviais, lagunares e estuarinas;
3. Realizar a identificação de processos hidrodinâmicos deposicionais a partir das imagens geradas pelo SVL e de perfis hidrodinâmicos gerados através de ADCPs.

1.6 HIPÓTESE

Portanto, considerando a possibilidade de utilização das técnicas descritas e a necessidade de haver um acompanhamento real de áreas mineradas e das dragagens de manutenção dos canais de navegação, pode-se considerar o seguinte tema de investigação:

“O uso de técnicas de mapeamento sonográfico sequencial, associadas a métodos geofísicos hidrodinâmicos e sedimentológicos, permitirá verificar a diferenciação e evolução morfo-sedimentar de ambientes submersos, submetidos a processos de dragagem”.

1.7 ESTRUTURA DA TESE

Com o intuito de abordar o tema proposto, ou seja, a investigação das áreas de estudo através de métodos geofísicos de imageamento e perfilagem, elaborou-se esta tese, a qual é apresentada dentro de uma estrutura acadêmica já consolidada e amplamente difundida. Neste sentido, este trabalho está dividido em cinco capítulos.

No primeiro capítulo o tema proposto é abordado dando um enfoque geral da interferência humana nos sistemas aquáticos fluviais e estuarinos em função das atividades de dragagem desenvolvidas nestas áreas. Faz-se uma descrição sucinta das áreas estudadas, como também dos fundamentos que norteiam a aplicação da acústica subaquática.

No segundo capítulo trata dos trabalhos que antecedem esta tese, com relação às aplicações de métodos geofísicos relacionados ao uso e interpretação de imagens de sonar de varredura lateral, ao uso de perfiladores de correntes por efeito Doppler. Finalizando, aborda-se a utilização de sistemas automáticos de classificação acústica de superfícies submersas, destacando este último, como sendo um tema bastante recente e inovador, principalmente por usar como base de dados as imagens geradas pelo sonar de varredura lateral.

No terceiro capítulo são apresentados os equipamentos utilizados durante as campanhas de aquisição de dados, bem como seus princípios de funcionamento e aplicação e suas vantagens e desvantagens.

No quarto capítulo são apresentados na forma de imagens, gráficos e tabelas, os resultados obtidos e processados durante as campanhas realizadas nas áreas de estudo, tanto no rio Jacuí como no canal São Gonçalo. Com base nestes resultados, pode-se analisar e entender certos processos hidrodinâmicos e sedimentológicos característicos de ambientes fluviais.

No quinto e último capítulo fez-se o fechamento do estudo proposto, onde é descrita a aplicabilidade dos resultados alcançados, como também as limitações e dificuldades encontradas na execução dos trabalhos. Finalizando este capítulo são apresentadas as recomendações para trabalhos futuros, dentre as quais espera-se dar continuidade na aplicação da metodologia proposta.

CAPITULO 2

MÉTODOS ACÚSTICOS NA CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA E SEDIMENTOLÓGICA

2.1 INTRODUÇÃO

Segundo Souza (2006), os métodos geofísicos constituem um conjunto de métodos indiretos de investigação que apresentam especial relevância quando da investigação de áreas submersas e que se destacam dos métodos convencionais pelas seguintes razões:

- possibilitam fácil acesso aos locais de interesse, principalmente quando se trata de investigações de áreas submersas, onde os procedimentos de acesso à superfície de fundo, são sempre mais complexos, quando comparados às atividades de investigação na superfície terrestre;
- permitem a observação contínua da superfície de fundo, (dependendo do método utilizado) ao longo de um perfil, ao contrário de sondagens, amostragens, testemunhagens, que são métodos comumente pontuais;
- viabilizam a rápida observação de grandes áreas, já que a aquisição de dados é realizada em embarcação com deslocamento à velocidade a partir de 6 km/h;
- facilidade de geração e propagação de ondas acústicas na coluna d'água;
- possibilitam a caracterização da superfície de fundo.

2.2 PERFILADOR ACÚSTICO DE CORRENTES POR EFEITO DOPPLER – ADCP

A literatura disponível sobre a utilidade do ADCP, afirma que seu uso é muito bem justificado, em situações que apresentem dificuldades para o trabalho com métodos tradicionais tais como: períodos de cheias, seções descontínuas, em grandes rios, etc. Suas vantagens são inquestionáveis, em comparação aos métodos convencionais. Entre outras podemos citar: maior quantidade e qualidade dos dados; maior precisão; medição em tempo real; alta taxa de reprodutibilidade; mais rapidez; menos mão de obra.

Simpson & Oltmann (1993) apresentam um sistema ADCP desenvolvido e testado pelo United States Geological Survey (USGS) para medição de vazão em ambientes aquáticos. Dados

de velocidade e profundidade são processados vetorialmente por *software* específico utilizados para calcular a vazão no trecho transversal do rio onde a embarcação realizou as medições. As medições de vazão usando o ADCP foram comparadas com medições realizadas através de um medidor de velocidades ultrassônico, no rio Sacramento, Califórnia, as quais apresentaram diferenças menores do que 2%. Os autores destacam a vantagem do ADCP com relação ao baixo tempo empregado nas medições (2 minutos usando o ADCP, contra 1 hora ou mais com métodos convencionais), sem precisar de linhas auxiliares para posicionamento da embarcação. Outra grande vantagem está na sua capacidade em medir vazões em ambientes estuarinos, sujeitos a variações hidrodinâmicas muito rápidas em função das marés.

Simpson (2001) comenta que ambientes afetados por marés podem sofrer mudanças na vazão que superam os 100% em intervalos de tempo menores do que 15 minutos. Além de serem muito mais rápidos, os sistemas acústicos se destacam também pela qualidade dos dados medidos. Em muitos casos, os sistemas ADCPs se apresentam como opção única em situações onde o acesso é difícil e limitado.

Trenaman & Marsden (2003) relatam as vantagens em usar um perfilador acústico de correntes por efeito Doppler fixado horizontalmente junto à margem de rios ou canais. Como principais aplicações os autores destacam: medição de vazão em rios e canais; aplicação em portos e enseadas, onde instrumentos fixados junto ao cais, monitoram canais de navegação a fim de garantir a navegabilidade com segurança; em estuários para definir padrões de circulação complexos; monitoramento de correntes junto às plataformas de petróleo e monitoramento de reservatórios de hidrelétricas.

Schettini & Zaleski (2004) realizaram experimentos no estuário do rio Itajaí-Açú utilizando o ADCP para determinação da concentração de material particulado em suspensão (MS) na água. Aproveitaram-se do fato de que o retro espalhamento acústico utilizado para se estimar a concentração de MS é um subproduto das medições de velocidades, o que torna possível se obter informações sobre o MS sem a necessidade de sensores extras para medição do retro espalhamento ótico. Os resultados obtidos foram considerados promissores, principalmente no que diz respeito à resolução espacial e temporal da coleta de dados.

Muste & Spasojevic (2004) destacam as vantagens em se usar um ADCP para medição de velocidades e vazões em águas rasas como rios e canais, apesar das primeiras gerações destes instrumentos terem sido empregadas para medições de correntes em oceanos e estuários. Destaca também o crescente interesse em se expandir a utilização do ADCP para determinação de parâmetros de turbulência em rios para investigar sua influência no transporte de sedimentos,

efeitos de correntezas, preservação de habitat, dissipação de energia e disponibilizar dados para simulações numéricas.

Wall et al (2006) abordam a possibilidade de utilizar os dados obtidos pelo ADCP para quantificar o material particulado em suspensão (MS) em certas condições ambientais, principalmente quando a coleta de material para análise não pode ser feita. Através de medidas de intensidade do eco e de velocidades, pode-se estimar quantitativamente o MS em locais que apresentam variações hidrodinâmicas em curto espaço de tempo.

Guerra et al (2006) utilizaram um ADCP operando na frequência de 600 kHz, para medir velocidade e direção de correntes e intensidade do eco, com o equipamento preso à lateral do barco, um CTD para medir temperatura e condutividade da água, integrado a um sensor de turbidez, e uma garrafa *Van Dorn*, para coletas de amostras de água para determinação da concentração de material particulado em suspensão. Estes dados foram usados para calibrar o sensor de turbidez.

Dias et al (2008) utilizaram um perfilador acústico de correntes operando na frequência de 1,5 MHz, para avaliação em tempo real da intensidade e direção das correntes locais, no estuário do rio Jaguaribe, Ceará. Os dados coletados serviram de base para análise do comportamento do MS devido às variações sazonais do ciclo hidrológico na região estudada.

2.3 SONAR DE VARREDURA LATERAL – SVL

O sonar de varredura lateral tem sido muito utilizado em todo o mundo em pesquisas subaquáticas para o reconhecimento do tipo de fundo, como o estudo realizado por Quaresma et al (2000), na caracterização da ocorrência de padrões geológicos na porção sul da Baía da Guanabara, o qual contribuiu muito para o entendimento dos processos sedimentares atuantes na região.

Mckinney et al (1974), através de imagens de sonar de varredura lateral e análise de sedimentos de fundo, obtiveram um mapa detalhado da superfície de fundo da plataforma continental americana próximo à Nova Jérsei. Foram identificados afloramentos rochosos e elevações alinhadas, formadas por faixas alongadas de sedimentos grossos alternados por faixas de sedimentos finos com marcas onduladas de pequeno porte.

Em trabalho realizado no litoral do Rio Grande do Sul, Calliari & Abreu (1984) utilizaram registros de sonar de varredura lateral associados à amostragem superficial de fundo, para mapear a cobertura sedimentar da região adjacente à cidade do Rio Grande. Os registros

obtidos mostram a evidência do predomínio de fácies arenosas com concentrações de cascalho e areia biodetrítica na forma de corpos e pontos. Nesta mesma região Calliari et al (1994) realizaram imageamento e amostragem de sedimentos de fundo simultâneos de um afloramento de *beachrock* (Parcel do Carpinteiro). Foram obtidas 23 milhas náuticas de registros contínuos de SVL nesta área, que associados com as características sedimentológicas das amostras possibilitaram na identificação de cinco padrões sonográficos passíveis de serem correlacionados com outras áreas da plataforma sul-rio-grandense.

Green (1986) utilizou o SVL para descrever a morfologia de parte de um campo submarino de dunas a aproximadamente 20 m de profundidade, com área de 1,5 por 1,5 km, localizados na plataforma continental interna, ao sul da *Mid Atlantic Bight*. Foram identificados padrões sonográficos em duas escalas distintas. Numa escala maior foram identificadas as dunas submersas principais sobre o embasamento rochoso. Já em escala menor, as imagens mostram claramente as sombras acústicas de *megaripples* na parte superior destes bancos arenosos.

Sborshchikov et al (1995), através de investigações geológicas e geofísicas usando perfilador sísmico de múltiplos canais, sonar de varredura lateral e observações com submersível tripulado, desenvolveram estudo mais detalhado sobre uma montanha submersa localizada sobre uma zona de deformação intraplaca, na região norte do Oceano Índico. Descoberto no início da década de setenta, o *seamount* conhecido com *Afanasy Nikitin* possui topografia elevada de forma oval, se estendendo em torno de 500 km na direção norte sul, com 3500 m acima da planície abissal que nesta região se encontra a 5000 m de profundidade. As imagens obtidas com o SVL, associadas à inspeção visual através do submersível, revelaram o vulcão principal superposto a feições tectônicas, as quais os autores atribuem a deformações mais recentes da placa. Os registros do SVL também mostram feições lineares com orientação sub-latitudinal cortando a elevação vulcânica. Junto com estas estruturas lineares também foram observadas feições ovais isométricas, as quais os autores interpretaram como bordas de fluxos de lavas preservados.

Vora et al (1996) empregaram técnicas de visualização do fundo submerso através do SVL para analisar feições morfológicas existentes na plataforma continental ocidental da Índia. Identificaram elevações que variavam de 1 a 12 m de altura e 0,1 a 2,6 km de largura, localizadas na borda da plataforma. Apesar destas feições já terem sido identificadas em trabalhos anteriores, os autores constataram a sua magnitude real através das imagens do SVL, sendo surpreendidos com a sua extensão. Com um comprimento superior aos 1300 km, estas feições se

destacam como uma das maiores e mais interessantes barreiras reliquias do mundo, já que os mesmos atribuem sua origem às flutuações pleistocênicas do nível do mar.

Thornton et al (1998) aplicaram métodos geofísicos (batimetria e imagens de SVL) para medir as variações morfológicas de pequena escala relacionadas às variações climáticas, a fim de determinar sua influência na hidrodinâmica da zona próxima à praia. Três sequências distintas foram examinadas dentro do experimento DUCK94, nas quais foram observados diferentes tipos de fundo e tamanho de ondulações, devido às variações nos regimes de ondas e correntes. Grandes variações temporais na morfologia de pequena escala foram encontradas em resposta às mudanças nos regimes de ondas e correntes causados pela passagem de uma tempestade. Os dados batimétricos possibilitaram observações da morfologia de pequena escala apenas na região localizada diretamente abaixo do equipamento, ao passo que com o SVL, as observações se estenderam até 15 m para ambos os lados.

Tessler & Souza (1998), desenvolveram um trabalho no sistema Cananéia-Iguapé – SP, com o objetivo de fornecer informações sobre as inter-relações entre a distribuição dos sedimentos de fundo, ao longo dos canais localizados à retaguarda da linha de costa atual do litoral sul paulista, e os mecanismos de circulação geral da área, condicionados principalmente pela ação das correntes geradas pelas marés e a variação temporal da descarga de água doce no sistema. Foram executados cerca de 170 km lineares de perfis distribuídos ao longo de todos os canais do sistema. Para isso foram empregadas técnicas geofísicas como o SVL e perfilagem sísmica contínua. Dentre as feições sedimentares identificadas nas superfícies de fundo, os autores destacam as ocorrências de marcas onduladas de grande porte com 1 a 2 m de altura e comprimento de onda variando de 20 a 30 m, resultantes da dinâmica junto ao fundo dos canais, sob forte influência das correntes de maré, sobre sedimentos predominantemente arenosos.

Em estudo realizado na parte norte da plataforma continental da Califórnia, Wright et al (1999), analisaram características de fundo através do uso de câmera e SVL. Rugosidades da ordem de 2 cm foram notadas como feições predominantes. O objetivo do estudo foi de melhorar o entendimento dos mecanismos hidrodinâmicos que suspendem, transportam e depositam os sedimentos finos em diferentes escalas espacial e temporal em área próxima a foz do rio Eel.

Garcia-Gil et al (2000) usaram um SVL de alta resolução, operando com frequência de 500 kHz, para mapear a superfície de fundo da Ria de Pontevedra na Espanha. Os autores atribuem ao uso do equipamento de alta resolução a identificação de quatro diferentes padrões correlacionados com a textura do fundo. O primeiro com reflexões isoladas, foi interpretado como afloramentos do embasamento rochosos metamórficos e graníticos. O segundo, com forte

retro espalhamento acústico ocorreu onde a textura dos sedimentos apresentava granulação grossa, tais como areia grossa e cascalho. Formações de *megaripples* também foram observadas em alguns lugares. Para os autores, estas formações podem ter sido geradas durante períodos de alta energia (tempestades). O terceiro padrão, ao contrário do segundo, apresentou fraco retro espalhamento acústico, sendo associado a áreas de textura sedimentar fina, tais como areia fina e lama. Estes sedimentos ocorreram em áreas onde as condições hidrodinâmicas permitiam a deposição dos sedimentos. O quarto e último padrão, apresentando respostas acústicas diferentes, ora com fraco e ora com forte retro espalhamento, foi correlacionado com porções intercaladas de diferentes sedimentos associados a ocorrência de fortes correntes de fundo.

Hennings et al (2000) investigaram o comportamento da direção das correntes de maré em função da presença de *sand waves* submarinas. Através de imagens geradas pelo SVL pode-se constatar a formação de um ângulo entre as linhas de crista das *mega ripples* e a própria linha de crista da *sand wave*. A existência deste ângulo significa que mudanças de direção das correntes que cruzam as *sand waves* podem acontecer. Os autores destacam a importância dos dados coletados através do SVL e de um sistema de bóias (ASIB) que derivaram através de grandes *sand waves*, dentro do projeto C-STAR, evidenciando os relevantes processos hidrodinâmicos no sul do Mar do Norte.

Embora a presença de *canyons* erosivos em margens passivas de altas latitudes não seja usual, Taylor et al (2000) identificam dez *canyons* junto à borda da estreita plataforma na margem norte da Noruega, na altura das ilhas Lofoten, usando um sonar de varredura *Gloria* de longo alcance, perfiladores sísmicos de 3,5 kHz e batimetria detalhada. Os dados associados permitiram aos autores fazer uma descrição detalhada da morfologia dos *canyons*, como por exemplo: sua proporção comprimento largura de 4:1; identificar a sua inclinação máxima de 13° no seu interior e próxima de 0° na planície abissal; as bases dos *canyons* geralmente horizontais e planas; a parte superior tem forma arredondada, conduzindo a um canal relativamente estreito.

Mchugh & Ryan (2000) usaram imagens de SVL associadas com dados batimétricos além de técnicas de filmagem subaquática para analisar e identificar os processos hidrodinâmicos erosivos e deposicionais que ocorrem nos canais do Monterey Fan na Califórnia. Identificaram uma série de feições de fundo, as quais auxiliaram no entendimento da dinâmica sedimentar que ocorre naqueles canais.

Woodruff et al (2001), em estudo realizado no estuário do rio Hudson, caracterizaram a distribuição espacial dos depósitos sazonais de sedimentos nesta região, antes, durante e logo após os eventos de cheia. Utilizaram imagens obtidas pelo SVL em conjunto com amostras de

sedimentos para identificar padrões deposicionais longitudinais e transversais, quantificar a massa de sedimentos depositados depois do evento de cheia e avaliar os mecanismos de aprisionamento de sedimentos identificados em estudos de modelagem.

Anthony & Leth (2002) trabalharam com dados coletados com SVL na frequência de 100 kHz, a fim de caracterizar a morfologia de fundo do Mar do Norte, próximo à costa oeste da Dinamarca. Identificaram várias feições morfológicas de fundo consideradas de grande escala, sendo a maior delas cadeia de bancos conectados a face de praia, com espaçamentos de 3 a 4 km e altura de 3 a 4 m, as quais formam um ângulo oblíquo com a costa e indo além da área estudada. Outras feições de fundo com orientação transversal à costa e com espaçamentos entre 350 a 700 m e altura variando de 1 a 3 m, foram encontradas com maior frequência na área estudada. Os autores descrevem estas feições como sendo similares a dunas, classificadas por eles como grandes *sand waves*. Agrupamentos de grandes e médias dunas também foram encontrados, geralmente apresentando orientação transversal à costa. Embora a morfologia observada representa a migração das grandes dunas para o norte, indicando ser essa a principal direção do transporte de sedimentos, algumas das menores dunas indicavam mudanças periódicas de transporte de sedimentos em direção ao sul. Comparando as imagens de SVL obtidas em dois períodos diferentes mostraram pequenas mudanças na disposição das feições de fundo.

Huvenne et al (2002), em estudo realizado na província de Porcupine Seabight, (Atlântico Nordeste), usaram um sistema operando na frequência de 30 kHz para identificar estruturas de grandes montes submersos, numa profundidade que variava de 500 a 1200 m. As imagens produzidas pelo SVL, além de permitir a visualização da morfologia de fundo, serviram como banco de dados para a aplicação de técnicas de análise de imagens. Para isso, foi utilizado o *software TexAn*, o qual usa um algoritmo baseado em matrizes de co-ocorrência de níveis de cinza (GLCMs).

Ao estudar o fundo marinho da baía da Ilha Grande-RJ, Belo (2002) estimou as velocidades de fluxos associadas à ação de correntes de fundo e de ondas, a partir de parâmetros obtidos das formas de fundo observadas em registros de sonar de varredura lateral, e com base em diagramas relacionando o diâmetro médio dos grãos, a profundidade e o tipo de estrutura presente. Em outro estudo nesta região, Belo et al (2002) investigaram aspectos do relevo submarino e da sedimentologia com base em sísmica de alta resolução (*sub-bottom profile* 7,0 kHz e SVL 100 kHz). Foram identificados vários padrões sedimentares superficiais de fundo (eco fácies), como afloramentos rochosos e canais de fundo, onde o relevo submarino é

relativamente complexo. Os padrões sedimentares consistem em transições de um tipo mais grosseiro, associado a ambientes de sedimentação de maior energia, para tipos mais finos, associados a ambientes de sedimentação de menor energia, intercalados por tipos transitórios.

Kelley et al (2003) mapearam parte do Golfo de Maine entre o Canadá e Massachusetts, usando SVL e sísmica de reflexão, junto com amostras de fundo e testemunhos, a fim de localizar e avaliar reservas de areia na plataforma interna. Várias amostras de sedimentos foram coletadas e analisadas em laboratório, para posteriormente auxiliar na interpretação das imagens geradas pelo SVL. A quantificação das reservas mapeadas foi feita em função dos testemunhos obtidos em lugares predefinidos.

2.4 USO DE SISTEMAS ACÚSTICOS DE CLASSIFICAÇÃO DE SEDIMENTOS

O mundo natural está estruturado hierarquicamente, e os processos dentro das regiões naturais operam sobre uma série de escalas espaciais e temporais. O gerenciamento dos impactos de origem antrópica causados nos ecossistemas aquáticos exige que estas regiões sejam identificadas e mapeadas sobre um conjunto de escalas hierarquicamente agrupadas.

Anderson et al (2002), consideram a acústica como sendo a ferramenta de sensoriamento remoto mais eficiente para o mapeamento e monitoramento das superfícies submersas de grandes áreas, fornecendo inclusive os dados que servirão como base para a classificação e mapeamento dos recursos marinhos. Atualmente, dados acústicos podem ser usados para criar modelos de elevação digital em escalas, que podem cobrir áreas que variam de metros até milhares de quilômetros quadrados, gerando paisagens marinhas em perspectivas antes nunca vistas. Além disso, o retro-espalhamento do sinal acústico proveniente da superfície submersa pode ser usado para a classificação dos sedimentos que compõem estas superfícies. Com este fim, sistemas acústicos que utilizam ecosondas e tecnologias semelhantes estão sendo usados de forma crescente para avaliar, caracterizar e mapear os ambientes formados por superfícies submersas.

Os primeiros trabalhos realizados nesta área foram baseados em sistemas que utilizavam a incidência da onda acústica na direção normal à superfície e classificavam a mesma em função da rugosidade e dureza de seus componentes. Recentemente, sistemas acústicos como o sonar de varredura lateral e multifeixes que trabalham com a incidência do feixe sonoro em direção oblíqua ao fundo, estão sendo usados para classificar e mapear acusticamente as paisagens subaquáticas.

O uso do SVL aumentou consideravelmente a área de cobertura espacial, tornando possível a obtenção de dados através de grandes áreas de cobertura em intervalos de tempo bem menores do que quando se utilizam ecossondas de feixe único fazendo com que os gastos relacionados a embarcação e pessoal sofressem redução significativa.

Existem três demandas principais para a classificação de fundo, ou seja, para a confecção de cartas náuticas, atenderem a demandas comercial/ambiental e para fins militares.

Um método de classificação relativamente simples é usado para as cartas náuticas com propósitos de navegação, basicamente determinando a composição do fundo. Uma lista de classificações pode ser encontrada na Carta INT 1 (IHO, 2005). As informações necessárias são usadas para definir onde ancorar, para determinar o tipo de fundo e quanto cabo usar, para ajudar a fixar os dispositivos de ancoragem e para fornecer um controle adicional à navegação.

Com relação a demanda comercial/ambiental, uma classificação mais detalhada, geralmente obtida através do uso de *software* específico é usada na engenharia *offshore* para assentamento de plataformas de petróleo, bóias e paredes de contenção oceânica, exploração mineral, pesca industrial, arqueologia submarina e salvatagem.

Usuários militares contam com informações adicionais detalhadas a respeito do tipo de fundo para operações anfíbias, medidas defensivas contra minas, evitando áreas desfavoráveis para operações militares, operações com submarinos e anti-submarinos, através da seleção de áreas seguras para operações junto ao fundo do mar e desempenho acústico de sonares.

Estudos desenvolvidos por Hamilton et al (1956), já abordavam o assunto a respeito da determinação das propriedades físicas dos sedimentos marinhos, como densidade, porosidade e diâmetro médio. A ênfase do método adotado consistia em determinar as propriedades acústicas como velocidade e atenuação do som em amostras superficiais de sedimentos através de medições feitas *in situ* e laboratório. Para as medições *in situ* foram utilizados pequenos transdutores inseridos nos sedimentos do fundo marinho por mergulhadores, e para as medições em laboratório foi utilizada uma câmara de ressonância. Os valores de velocidades obtidos pelos dois métodos apresentaram um coeficiente de correlação de 0,9.

Mckinney & Anderson (1964) trabalharam com medições do retro espalhamento do som proveniente do fundo do oceano em águas rasas (menos de 200 pés ou 60 metros) para diferentes localizações ao longo da costa americana. Os resultados foram apresentados num gráfico que relaciona a intensidade do retro espalhamento com o ângulo de varredura (*grazing angle*), para lama, areia e cascalho. As frequências usadas variaram de 12,5 até 290 kHz e o ângulo de

varredura variou de 1,0° até 90°. Uma ampla variedade de areias foi encontrada, desde areia fina até areia grossa. A Figura 2.1 é uma das primeiras apresentadas com este tipo de correlação.

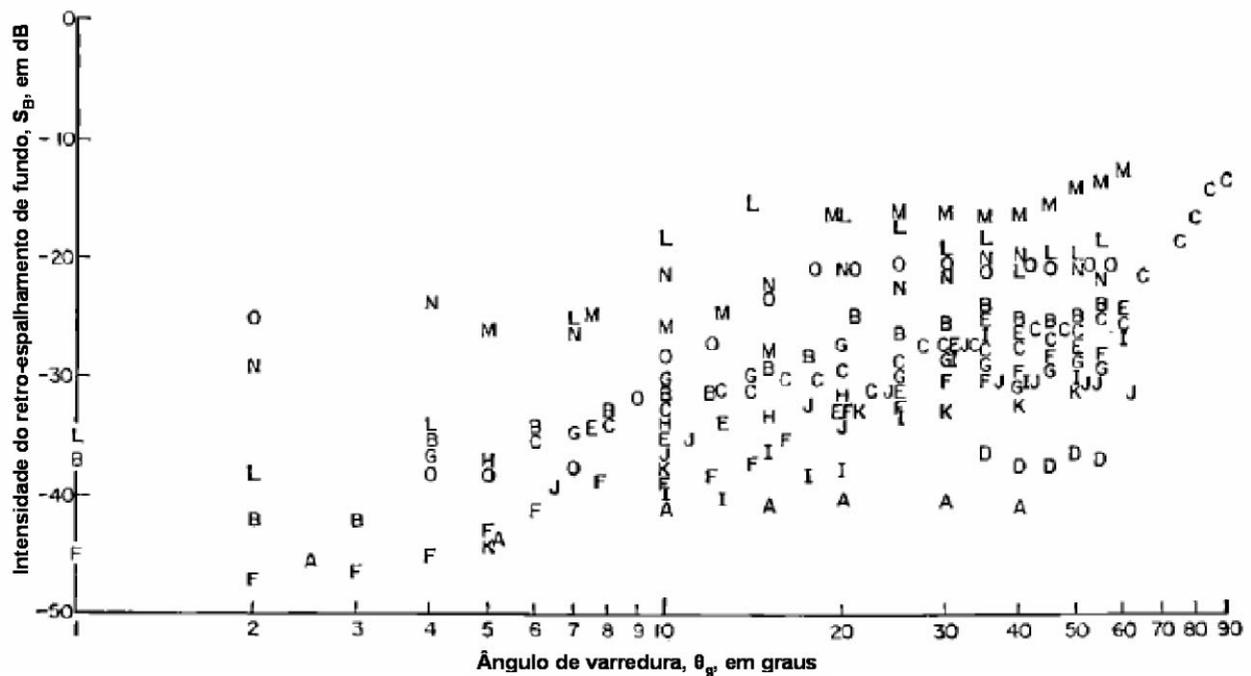


Figura 2.1. Retro espalhamento de fundo S_B como função do ângulo de varredura, para uma frequência de 100 kHz. As letras representam o tipo de sedimento encontrado de acordo com a Tabela 2.1. Modificado de Mckinney & Anderson (1964).

As letras apresentadas no gráfico para identificação do sedimento encontrado são as mesmas usadas na Tabela 2.1, onde é dada uma descrição simplificada dos sedimentos.

A intensidade do sinal do retro espalhamento por unidade de área é definida como sendo:

$$S_B = 10 \log_{10} (I_S / I_i) \quad (2.1)$$

onde I_i é a intensidade da onda incidente e I_S é a intensidade da onda do retro espalhamento. Como I_S será sempre menor do que I_i , a razão I_S / I_i será sempre menor do que a unidade, resultando assim num valor negativo para S_B . Desta forma, quanto mais próximo de zero for seu valor, mais forte será o retro espalhamento acústico.

Tabela 2.1. Descrição simplificada dos sedimentos classificados.
 Fonte: Mckinney & Anderson (1964)

Área	Descrição do Sedimento	Diâmetro Médio (mm)	d/λ	Areia	Porcentagem Silte	Argila	Cascalho e Conchas
A	Lama fina arenosa	0,002	0,00013	26	...	74	...
B	Argila média arenosa	0,011	0,00074	35	16	48	...
C	Areia fina lamosa	0,013	0,00087	40	28	32	...
D	Lama muito fina arenosa	0,017	0,00113	46	31	23	...
E	Areia fina siltosa	0,068	0,00454	69	19	8	4
F	Areia média argilosa	0,10	0,00667	72	10	17	...
G	Areia fina lamosa	0,148	0,00987	84	8	8	...
H	Lama-Areia	0,23	0,0154	90	5	...	5
I	Areia	0,24	0,016	97	2	1	...
J	Areia média	0,4	0,0266	91	1	...	8
K	Areia média	0,4	0,0266	...	...	...	...
L	Cascalho arenoso	3,2	0,213	33	...	2	65
M	Cascalho arenoso	4,2	0,28	28	1	1	70
N	Rocha sólida	...	...	...	...	...	...
O	Coral sólido, grande porção de coral em crescimento	...	...	94	2	2	...

O gráfico da Figura 2.1. mostra a incidência de sedimentos lamosos na sua parte inferior, onde os valores de S_B são menores. Por outro lado, os valores classificados como areia aparecem concentrados na parte central do gráfico, em função da maior energia de retro espalhamento que retorna ao transdutor. As melhores respostas encontradas foram dentro do intervalo angular de 5° a 60° . Cabe destacar que naquela época, não se tinha um estudo teórico que pudesse ser usado como comparação.

Haralick et al (1973) descreveram uma família de características texturais que aparentemente apresentavam aplicabilidade para muitos tipos de imagens. Tais características baseavam-se estatisticamente numa distribuição de frequências relativas, as quais descrevem com que frequência um tom de cinza irá aparecer num espaço específico com relação a outro tom de cinza na imagem. Este estudo serviu de base para a aplicação da matriz de co-ocorrência de níveis de cinza, a qual captura as mudanças nos níveis de cinza que ocorrem entre *pixels* vizinhos.

Pace & Dyer (1979), desenvolveram um estudo a fim de explorar a capacidade de se usar um determinado número de feições texturais da superfície de fundo para caracterizar pequenas áreas de registros de SVL, viabilizando a identificação de fundo dentro de um contexto sedimentar. Inicialmente dividiram a superfície de fundo em duas categorias: um fundo sedimentar totalmente plano e um fundo com estruturas geológicas, como por exemplo, *sand*

waves. Consideraram que como o retorno acústico proveniente de um fundo sedimentar plano, devido a um pulso acústico com pequeno ângulo de varredura, depende da rugosidade do fundo, então esta resposta acústica está relacionada, em parte, ao tamanho da partícula dos sedimentos. Desta forma, concluíram que a distribuição do nível de sinal sobre uma área de registro do SVL deve conter informações estatísticas da rugosidade do fundo. Os autores trabalharam com 8 áreas selecionadas nas imagens do SVL e, cada uma delas subdividida em 20 sub-áreas, gerando um total de 160 sub-áreas. A quantificação da textura de cada sub-área, após a aplicação de procedimentos de redução de dados, gerou o que os autores chamaram de vetor de características.

Jackson et al (1986) desenvolveram um modelo matemático para analisar a influência da inclinação da superfície e o volume dos sedimentos de fundo no retro-espalhamento acústico causado pelo fundo oceânico. A Figura 2.2 mostra os mecanismos de espalhamento acústico de fundo, na interface água-sedimento e o espalhamento dentro da camada sedimentar, onde se observam os efeitos da refração e atenuação da onda sonora.



Figura 2.2. Mecanismos de espalhamento acústico no fundo, incluindo a refração na interface água-sedimento, além da atenuação e espalhamento no volume de sedimento. Modificado de Jackson et al (1986)

Em sedimentos não consolidados, o espalhamento devido ao volume do sedimento, geralmente é mais importante do que aquele causado pela rugosidade do mesmo, exceto para os pontos próximos à incidência normal do feixe acústico e para os ângulos de varredura menores do que o ângulo crítico. Para fundos compostos por areias, o espalhamento devido à rugosidade apresenta maior importância do que o causado pelo volume de sedimento. O ângulo crítico é definido como sendo o ângulo de incidência que fornece um ângulo de refração de 90° (Fig. 2.3).

Quando o ângulo de incidência é menor do que o ângulo crítico, parte da onda sonora

sofre reflexão e parte sofre refração. Neste caso, se o ângulo de incidência é igual ao crítico, a refração se dará a 90° . Quando o ângulo de incidência é maior do que o ângulo crítico, toda a onda sonora será refletida.

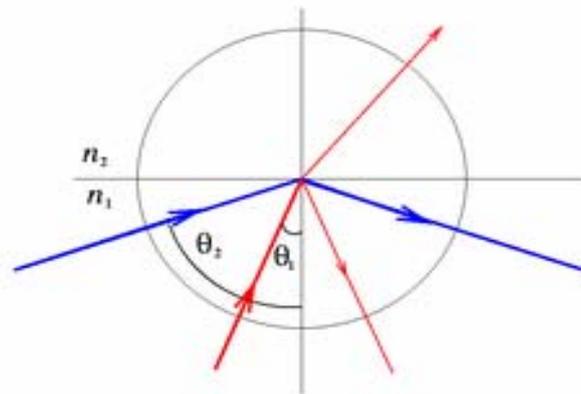


Figura 2.3. Ângulos de incidência maior (azul) e menor (vermelho) que o ângulo crítico.
Fonte: Jackson et al (1986).

Clarke et al (1997) propuseram um método de classificação de sedimentos baseado na intensidade do retro espalhamento sonoro causado pela superfície submersa como função do ângulo de varredura, ou resposta angular, como preferiram chamar. Os autores afirmam que, para a frequência usada no estudo (95 kHz), a resposta angular da superfície representam propriedades inerentes ao fundo submerso. A fim de produzir um mapeamento geológico padrão, foi necessário gerar um mapa de retro espalhamento normalizado. A normalização foi a primeira forma de tentar remover a variação média no retro espalhamento causado pelo ângulo de abertura. Isto foi feito assumindo uma resposta Lambertiana para ângulos de varredura inferiores a 65° e um controle de ganho automático para ângulos de varredura maiores. O método se mostrou adequado para separar com clareza as respostas obtidas num intervalo de -30 até -40 dB para sedimentos lamosos encontrados em bacias, daquelas obtidas num intervalo de -15 até -25 dB relacionadas a areia grossa e cascalho, presentes no topo de bancos e margens. Estes materiais apresentaram pouca variação na intensidade média do retro espalhamento, mas mostraram diferenças óbvias em suas propriedades, quando observadas em amostras de sedimentos e fotografias da superfície de fundo.

Os autores apresentam os tipos de curvas representativas das respostas angulares obtidas em dois lugares distintos na mesma região, sendo uma caracterizada pela presença de bancos e bacias (*Stellwagen Bank*) e a outra numa zona de canal (*Cape Race Channel*). A Figura 2.4ab mostra estas curvas para as duas áreas analisadas. Os dados utilizados foram obtidos com um sonar multifeixe com abertura de cada feixe de $3,3^\circ$.

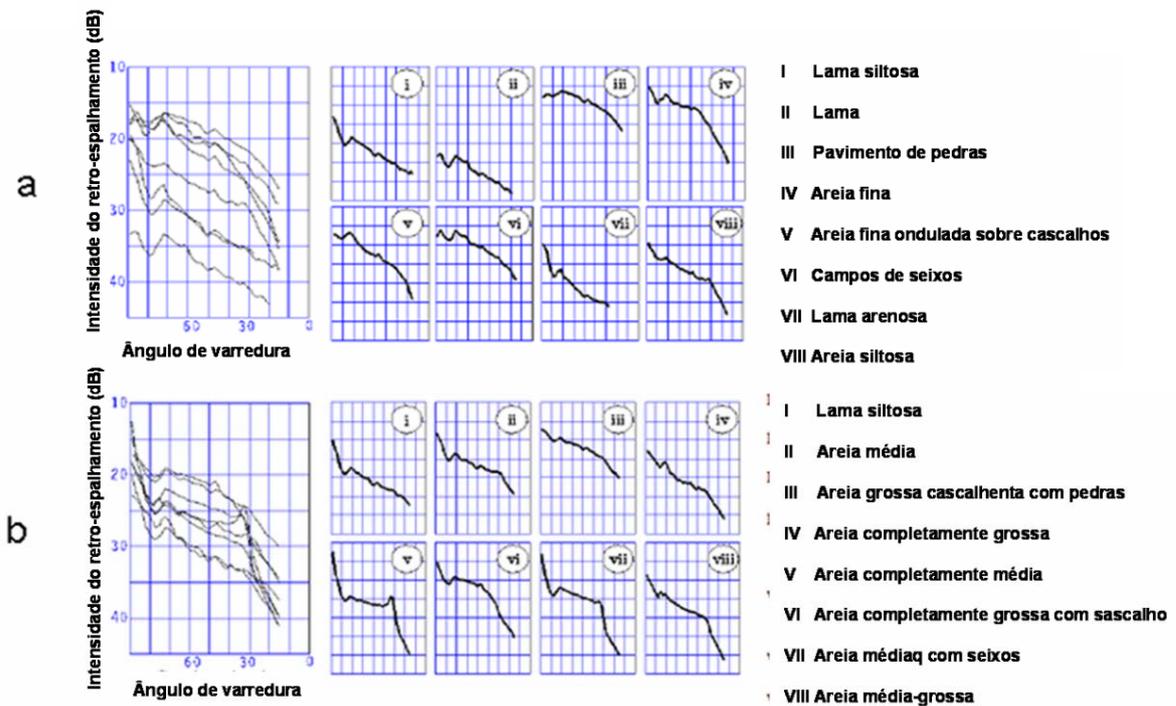


Figura 2.4ab. a) Curvas representativas da resposta angular para Stellwagen Bank e b) para Cape Race Channel. Modificado de Clarke et al, 1997.

Hamilton et al (1999) realizaram um estudo comparativo entre as categorias de fundo obtidas através da aplicação de dois sistemas de classificação acústica, ou seja, *RoxAnn* e *QTC-View 4*. O trabalho foi desenvolvido numa lagoa localizada na *Great Barrier Reef*, Austrália. O sistema de classificação *RoxAnn* se baseia no cômputo da energia que retorna à ecossonda como mostrado na Figura 2.5, enquanto que o sistema *QTC-View* calcula os parâmetros que configuram o primeiro eco.

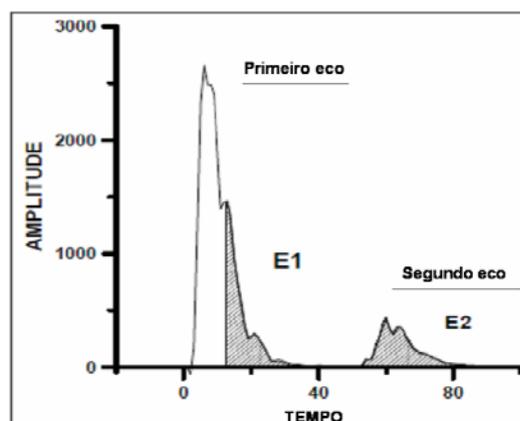


Figura 2.5. Primeiro e segundo ecos usados pelo sistema *RoxAnn*. A energia das regiões sombreadas é integrada para formar dois índices: E_1 para formar o primeiro eco e E_2 para o segundo. Modificado de Hamilton et al (1999).

O índice E_1 é obtido através da integral do primeiro eco, desde seu pico até o seu fim (área sombreada da figura) e representa a rugosidade da superfície de fundo. O índice E_2 é obtido pela integral de todo o segundo eco e representa a dureza da superfície de fundo. Para proceder a classificação dos sedimentos pelos nomes, tal como areia ou lama, o usuário deve fazer uma classificação supervisionada. Neste caso, o primeiro passo seria coletar respostas acústicas de áreas preliminarmente conhecidas.

Segundo os autores, o sistema *QTC-View* apresentou uma série de vantagens sobre o *RoxAnn*, destacando que o primeiro fornece uma classificação automática com estimativa de um índice de confiança, enquanto que o segundo se baseia numa calibração manual conduzida pelo usuário. Além disso, as classes de fundo geradas pelo *QTC-View* apresentaram propriedades texturais e de tamanho de grão bastante consistentes, enquanto que as classes apresentadas pelo *RoxAnn* foram difíceis de serem definidas. Outra limitação constatada no sistema *RoxAnn*, foi a sua forte dependência da velocidade da embarcação, a qual afetou principalmente, o segundo eco em função de sua menor energia.

Para os autores, a qualidade dos resultados obtidos depende em muito da habilidade e experiência do usuário e do tipo de produto final que se quer chegar. Aparentemente, os dados obtidos pelo *QTC-View* forneceram uma classificação melhor do que através do *RoxAnn*, com menor consumo de tempo e esforço por parte do usuário.

Rukavina (2001) usou um sistema de classificação acústica de fundo *RoxAnn*, a fim de mapear os vários tipos de sedimentos encontrados nos Grandes Lagos e seus canais de conexão. O mapeamento feito com este sistema possibilitou localizar sedimentos finos, os quais são associados à presença de contaminantes.

Anderson et al (2002) empregaram o sistema de classificação acústica *QTC View* série IV para caracterizar e mapear *habitats* marinhos em águas costeiras de *Newfoundland*. O sistema foi calibrado previamente em outra área, na localidade de *Placentia Bay*, em *habitats* identificados durante um programa de pesquisa com veículo submersível. Desta forma, quatro *habitats* diferentes foram usados para a calibragem do sistema: lama, cascalho, rocha e macroalgas sobre rochas. Estes diferentes *habitats* foram utilizados como um catálogo pré-existente para uma classificação feita em tempo real de *habitats* marinhos na região de *Bonavista Bay*. Esta metodologia caracteriza o que chamamos de “classificação supervisionada”. Oito tipos diferentes de *habitats* marinhos foram identificados: *lama, cascalho solto, cascalho, rocha, algas esparças/seixos, macroalgas, relevo muito inclinado coberto por cascalho e fragmentos de madeira*. Os *habitats* dominantes na área estudada foram *rocha*, seguido pelo *algas*

esparças/seixos e relevo muito inclinado coberto por cascalho. O *habitat* classificado como *fragmentos de madeira* foi identificado dentro de uma pequena área costeira historicamente associada a atividades de beneficiamento de madeira.

Hellequin et al (2003) destacam as ecossondas multifeixe, entre os vários sistemas existentes de mapeamento acústico, devido a sua capacidade em fornecer tanto um mapa batimétrico como imagens geradas pelo retro espalhamento acústico da área investigada. Os autores alertam para a necessidade de se remover os efeitos repetitivos oriundos do feixe sonoro, arranjos irregulares e normalização imprecisa da área insonificada, a fim de favorecer as análises quantitativas de imagens obtidas pelo retro espalhamento adequado.

Kenny et al (2003) abordam a ampla variedade de tecnologias para mapeamento de superfícies submersas, com relação a eficiência destes sistemas em diferentes *habitats* bênticos em diferentes escalas espaciais. Destacam as vantagens do SVL em função da ampla área de cobertura possibilitando a confecção de mapas de alta resolução espacial. Destacam que para mapeamentos de grande escala, tanto o SVL como o multifeixe, se destacam por apresentarem a melhor relação custo-benefício para discriminar diferentes processos dinâmicos e diferentes tipos de sedimentos.

Rocha (2003), utilizou um sistema classificador de fundo *RoxAnn* para analisar dados obtidos através de ecobatímetro em levantamento feito na Baía de Santos. Em seu trabalho a autora não conseguiu estabelecer uma correlação entre os resultados obtidos com sistema de classificação acústica e as características sedimentológicas da superfície de fundo.

Freitas *et al* (2003) usaram dois sistemas de classificação de fundo que utilizam ecossonda de feixe único (*QTC View séries IV e V*), a fim de identificar e mapear gradientes bio sedimentares numa área da plataforma interna na costa oeste de Portugal. A área estudada apresenta inclinação moderada, com profundidade variando de 30 a 90 m, num eixo de 3,5 km, posicionado perpendicularmente à linha de costa. Apresenta uma superfície de fundo plana com características sedimentares relacionada a finos, além de variações biológicas. Foram coletadas amostras de fundo em 20 lugares diferentes, para análise de tamanho de grão e identificação de comunidades de macrofauna. Os dados acústicos foram analisados e classificados em classes acústicas distintas pelo *software QTC Impact*, para depois serem mapeados e agrupados por afinidades. A Figura 2.6ab apresenta a distribuição das três classes acústicas encontradas (A, B e C) e a posição das amostras distribuídas em grupos de afinidade sedimentar e biológica.

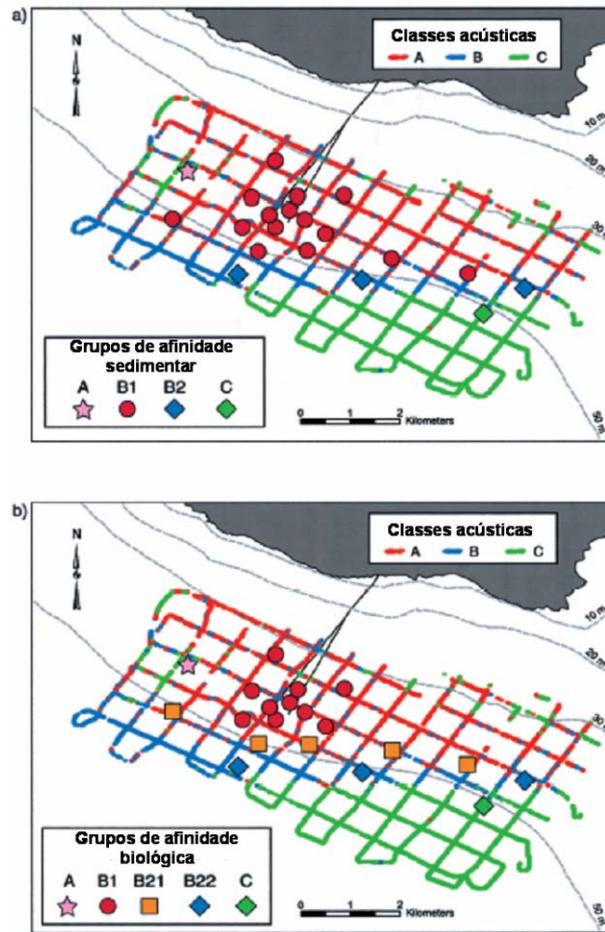


Figura 2.6ab. Representação num sistema de informações geográficas (SIG) das classes acústicas A, B e C, mostrando em (a) grupos de afinidade sedimentar e (b) grupos de afinidade biológica. Fonte: Freitas et al, 2003.

Ao incluir todos os locais das amostras no mapa, os autores dividiram as mesmas em grupos sedimentares A (amostra 13), C (amostra 19) e B₁, B₂ para as amostras restantes (Fig. 2.6a). A amostra 13 foi a única classificada como areia média e a amostra 19, com uma fração silte – argilosa muito maior do que as demais. As amostras do grupo B₁ foram classificadas como areia fina, e as do grupo B₂ foram classificadas como areia muito fina siltosa.

Gleason et al (2003) desenvolveram estudos para determinar se áreas conhecidas como sendo de abundante presença de garoupas, podem ser classificadas através de assinaturas acústicas características. Para isso usaram um sistema comercial de aquisição de dados acústicos (*QTC View Series V*), num levantamento feito numa área próxima ao *Carysfort Reef, Florida Keys*. Os dados acústicos foram processados pelo software *QTC Impact*, resultando em três classes acústicas principais, as quais cobriam mais de 90 % da área investigada. Para identificação das classes através de amostragem real, foram feitas inspeções *in situ* com mergulhadores, os quais coletaram amostras de sedimentos e imagens. As informações obtidas

identificaram uma das classes como sendo de substrato duro, e as outras duas associadas a sedimentos não consolidados. Os autores concluíram que, a assinatura acústica de uma superfície, como a obtida através de sistemas de classificação acústica, se apresentou como ferramenta de grande potencial para localização e mapeamento de áreas associadas à *habitats* desta espécie.

Humborstad et al (2004), utilizaram um sistema *RoxAnn* para classificação de fundo associado à imagens obtidas com SVL e vídeo subaquático para localização de local de pesquisa e avaliar os efeitos físicos causados por redes de arrasto no Mar de Barents. Os autores constataram que, devido a intensa atividade pesqueira utilizando técnicas de arrasto, criaram sulcos visíveis pelo SVL e câmaras de vídeo. Foram observadas mudanças nas propriedades acústicas da superfície de fundo através do aumento da sua rugosidade e diminuição da sua dureza. Os autores destacam a importância de utilizar diferentes ferramentas para avaliação de áreas onde a configuração de fundo não é conhecida, ou apresenta topografia bem variada.

Preston et al (2004) em trabalho realizado com dados acústicos obtidos com uma sonda Suzuki ES2025, um sonar de varredura lateral Klein 5500 e um sonar multifeixe Reson 8101, processaram os dados com os softwares QTC View, QTC Sideview e QTC Multiview, respectivamente. Cada porção retangular gera um FFV, que por sua vez representa um ponto no espaço tridimensional (Q-espço), após passar pela análise dos componentes principais. A Figura 2.7 mostra como o processo de classificação se unifica na etapa da produção dos FFVs.

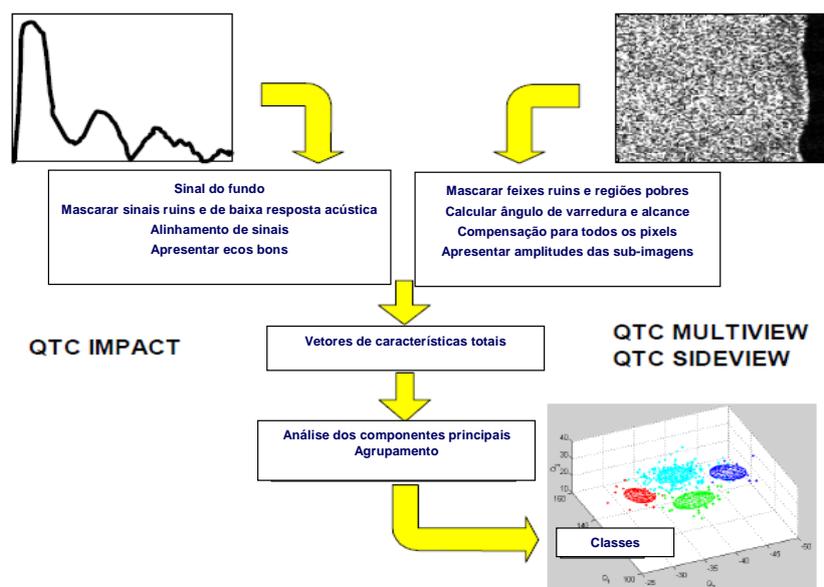


Figura 2.7. Sistemas de classificação de ecos e imagens acústicas com diferenças na preparação dos dados, controle de qualidade, compensação e geração das características, mas seguem o mesmo processo para análise dos componentes principais e agrupamentos. Fonte: Preston *et al*, 2004.

Cada conjunto de dados foi separado em seis agrupamentos (não supervisionados), usando técnicas iterativas de máximas probabilidades. Três gráficos mostram estas classes na Figura 2.8, onde são observadas algumas regiões não classificadas para os dados do sonar de varredura. Estas faixas não classificadas correspondem à zona do sonograma localizada logo abaixo do sonar (zona cega). O processo de agrupamento atribuiu uma cor primária para cada classe quando esta foi criada, sem considerar sua posição no Q-espço. Outra forma de representação das classes é feita dentro de uma escala de similaridade entre as cores. Neste caso, os Q-espços vizinhos aparentam similaridade de cores que, em alguns casos são quase imperceptíveis, como é mostrado na Figura 2.9. Cabe destacar que nesta figura, é observada outra alteração importante relacionada à interpolação por categorias. Com classes, a única interpolação significativa deve resultar em número inteiro, diferentemente do que quando se trabalha com variáveis contínuas.

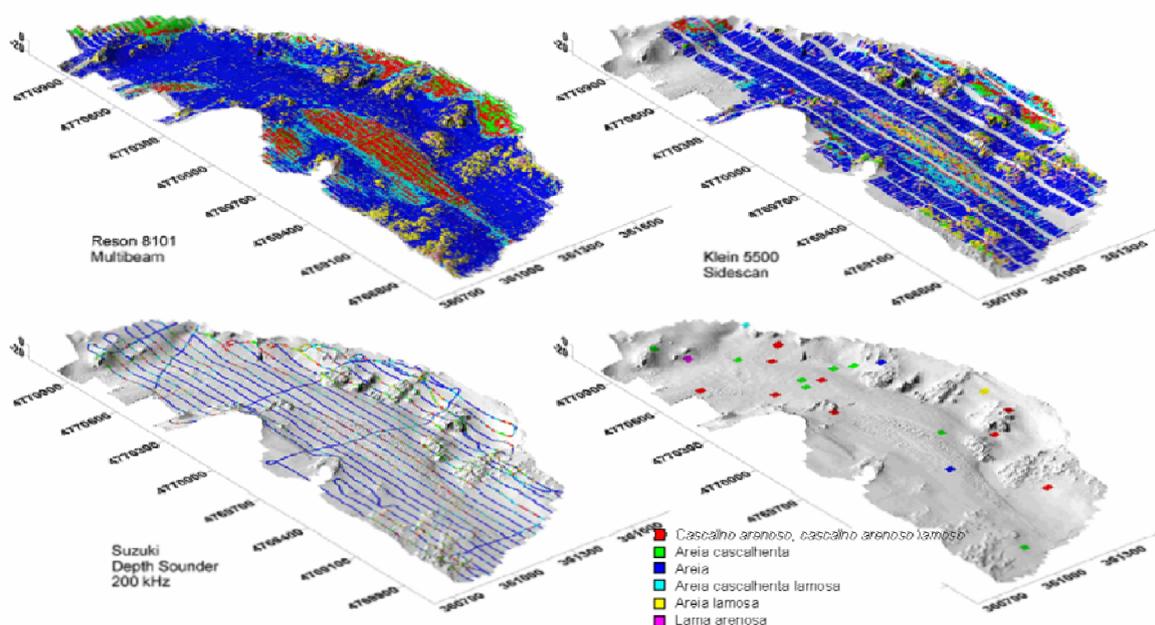


Figura 2.8. Classes acústicas representadas em cores primárias, obtidas através de dados de sonar de varredura lateral, sonar multifeixe e ecossonda para Portsmouth harbour, New Hampshire. Modificado de Preston et al, 2004.

Para os autores, tanto o QTC Multiview[®] como o QTC Sideview[®], definiram classes perceptíveis através de seus métodos de compensação, com exceção nas áreas de alto relevo, onde as classes do Multiview são percebidas mais facilmente do que no Sideview, com destaque para as áreas representadas pela cor marrom relacionadas à *bare rock* (rocha exposta ao Sol). Isto se deve ao fato do Multiview utilizar os dados de profundidade e o Sideview não.

As imagens provenientes do sonar multifeixe incorporam os dados de batimetria calculados a partir do ângulo de varredura de cada feixe. Desta forma, ângulos de varredura para toda a imagem *raster* podem ser determinados. No caso do sonar de varredura isto não acontece, forçando a assumir um fundo plano. Sendo assim, a capacidade de compensação dos efeitos angulares é menor neste último.

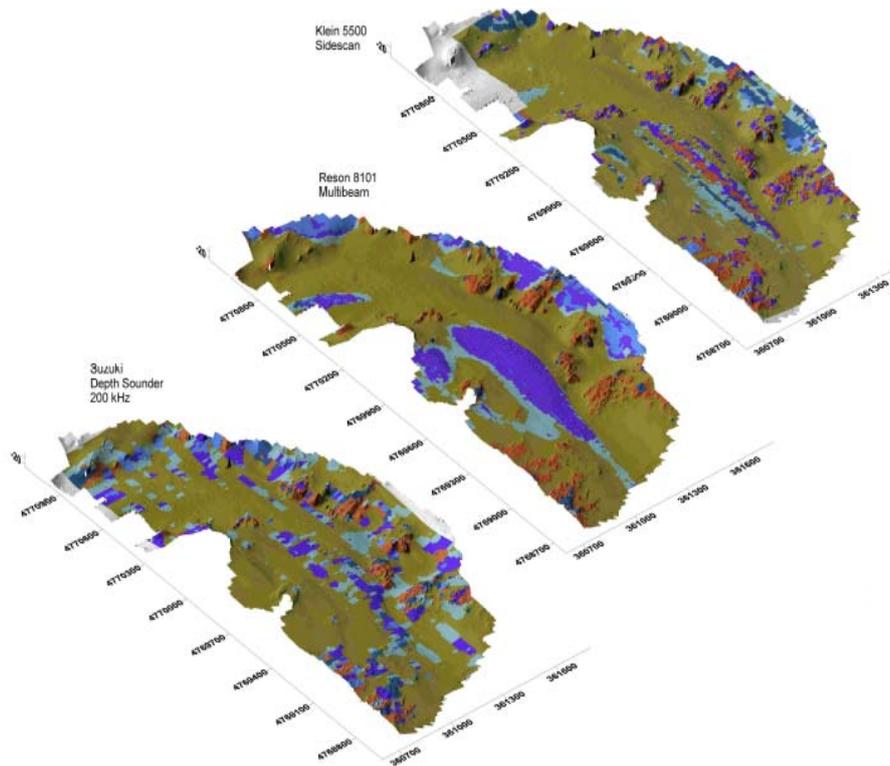


Figura 2.9. Classes acústicas apresentadas em escala de similaridade de cores, interpoladas por classes, para Portsmouth harbour, New Hampshire. Fonte: Preston et al, 2004.

Van Walree et al (2005) aplicaram uma metodologia de caracterização acústica da superfície submersa baseada em parâmetros estatísticos, energéticos, fractal e espectral, e testaram contra amostras verdadeiras de sedimentos de fundo na região do Mar do Norte, a noroeste da Holanda. A área estudada apresenta uma diversidade sedimentar variando desde mole e lamoso (lama arenosa), até duro e rugoso (cascalho arenoso). Os autores usaram duas ecossondas operando nas frequências de 66 e 150 kHz. Encontraram correlações significativas entre o caráter dos ecos e as amostras de sedimentos, com destaque para o tamanho de grão. Aplicando análise dos componentes principais, associada com um algoritmo de agrupamento, foi possível extrair informações úteis dos parâmetros analisados e classificar os sedimentos em quatro classes distintas. Uma comparação direta com as amostras verdadeiras, revelaram que as principais categorias de sedimentos como lama, areia e cascalho, puderam ser diferenciadas nas

duas frequências utilizadas, mas que são percebidas com mais clareza quando se trabalha com a frequência de 150 kHz.

Collier & Brown (2005) realizaram um estudo comparativo com dados obtidos através de SVL e ecossonda de feixe único. Este último, para posterior processamento em *software* específico para classificação da superfície de fundo. O imageamento acústico de superfícies submersas pode conter reflexões especulares (verdadeiras) e sombras acústicas geradas pela superfície de fundo, como também retro-espalhamento acústico que podem ser gerados por irregularidades da superfície ou pela heterogeneidade dos sedimentos localizados numa pequena camada do fundo (volume de reverberação), desde que haja similaridade de escalas com o comprimento de onda. Para os autores, tanto a rugosidade da superfície como a heterogeneidade interna, podem estar diretamente relacionadas ao tamanho de grão ou a outros fatores como estrutura sedimentar, presença de organismos vivos ou bolhas de gás. A situação pode ser mais complexa quando feições de fundo como ondulações, alteram o ângulo de varredura, causando dependência azimutal no retro-espalhamento superficial. Para o espalhamento volumétrico, a intensidade do sinal retro-espalhado sofre influência da profundidade de penetração do mesmo, a qual é função da frequência acústica e da atenuação acústica causada pelo sedimento. Esta última não deve ocorrer além do ângulo crítico, porque toda reflexão do sinal acústico ocorre dentro do sedimento.

A Figura 2.10 apresenta as diferenças na geometria de aquisição de dados entre o sistema de classificação de superfícies de *fundo RoxAnn*, já descrito neste texto em trabalhos anteriores, e o sonar de varredura lateral.

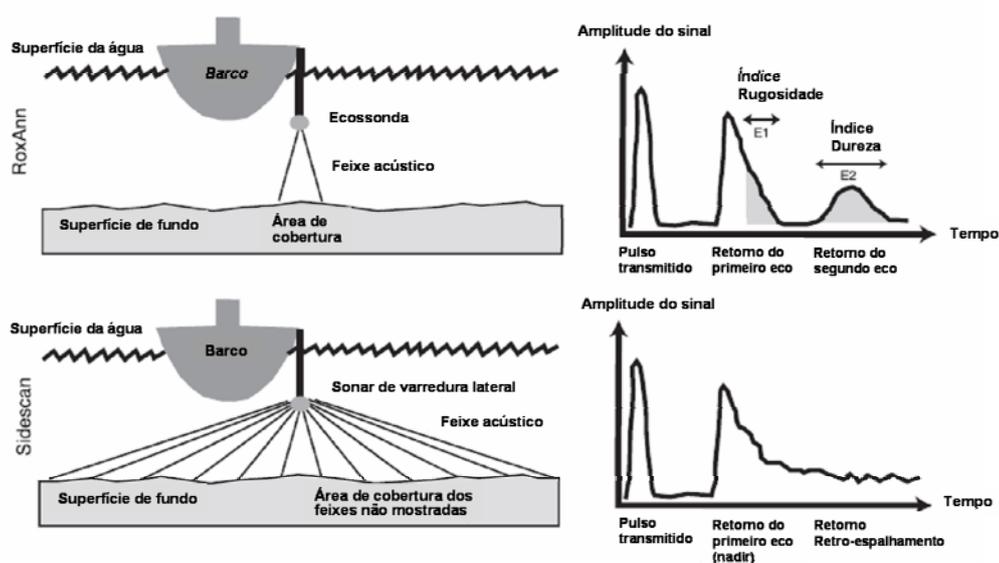


Figura 2.10. Representação esquemática da geometria de aquisição de dados e dos registros de amplitude dos sinais acústicos. Modificado de Collier & Brown (2005).

O SVL opera emitindo a energia acústica na forma de leque, permitindo a aquisição de dados sobre uma ampla área de cobertura, limitada pela abertura do ângulo de varredura, enquanto que a ecossonda emite o sinal acústico num ângulo de abertura muito próximo do *nadir*. Neste trabalho, os autores usaram apenas as imagens produzidas pelo SVL, sem processamento adicional. Os padrões de reflexão observados nas imagens foram associados com amostras de fundo para identificação dos sedimentos, e comparados com a classificação obtida através do sistema *RoxAnn*. Os índices E_1 , relacionado à rugosidade da superfície, apresentaram-se similares às imagens do sonar de varredura onde padrões refletivos de maior intensidade foram observados. O mesmo não aconteceu com o índice E_2 , relacionado à dureza da superfície. Trabalhos anteriores já apresentavam resultados não tão bons com relação ao segundo eco em função de sua menor energia.

Freitas et al (2005) aplicaram um sistema de discriminação (ou classificação) acústica de fundo (*QTC View série IV*) para identificar e mapear a diversidade acústica de fundo no canal da barra da Ria de Aveiro, na costa oeste de Portugal. A profundidade do canal variou de 5 a 15m, atingindo ocasionalmente 25 m em áreas específicas localizadas transversalmente na entrada do canal. Segundo os autores estas profundidades máximas se deve à escavações provocadas por fortes correntes de marés, que podem atingir 3 m/s. Os resultados obtidos confirmaram a sensibilidade apresentada pelo sistema de classificação acústica utilizado para caracterizar a granulometria sedimentar, além de demonstrar sua eficiência em avaliar e mapear habitats em águas relativamente rasas. A distribuição dos sedimentos superficiais na entrada do canal e em áreas adjacentes na plataforma interna, mostraram com clareza as forças hidrodinâmicas dominantes, com areia grossa e cascalho no canal de navegação, areia média na entrada do mesmo e areia fina na plataforma. A diminuição do tamanho das partículas de sedimento em direção a plataforma, acompanhou a redução da velocidade de corrente na mesma direção. Este gradiente de tamanho de grão foi observado nos padrões de diversidade acústica, resultando numa forte concordância entre a distribuição espacial das classes acústicas e os padrões sedimentares. As quatro classes encontradas corresponderam aos três principais sedimentos não consolidados, areias grossa, média e fina, além de um fundo rígido. Os autores destacam a importância do método apresentado no estudo, principalmente quando a área investigada apresenta dificuldades para a obtenção de amostras de sedimentos através de amostradores de fundo, ou na obtenção de imagens através de fotografias ou filmagens submersas, devido a presença de fortes correntes e intenso movimento de navios.

Wienberg & Bartholoma (2005), em estudo desenvolvido na parte externa do estuário do rio *Weser*, na costa alemã do Mar do Norte, usaram o sistema de classificação acústica de fundo *QTC View/Impact*, numa área de 9 km², onde a profundidade varia de 6 a 20 m. A área investigada compreende parte do canal de navegação, sujeito a dragagens de manutenção periódicas, bem como um local utilizado para despejo do material dragado. Os dados acústicos, depois de processados, foram classificados em três classes identificadas como segue: (1) areia fina a média com baixo conteúdo de fragmentos de conchas; (2) areia média com moderado conteúdo de fragmentos de conchas; e (3) areia média a grossa com alto conteúdo de fragmentos de conchas. Este trabalho mostra a importância em conhecer o tipo de superfície de fundo, tanto das áreas a serem dragadas como as áreas próximas, as quais poderiam servir como possíveis locais de despejo do material dragado.

Biffard et al (2007) discutem e revisam métodos para remover ruídos e distorções que venham a interferir na resposta acústica proveniente da superfície submersa, para que esta possa servir como base para a classificação de fundo. Estas distorções são causadas em função da profundidade da água e inclinação da superfície de fundo. Os ruídos geralmente são causados por parâmetros do sistema. O processo de classificação exige que o feixe sonoro de retorno seja rico em informações do fundo e com o mínimo possível de ruído e distorções. Os ruídos podem ser suprimidos através de filtros, mas estes filtros também não podem causar distorções no eco. A profundidade da água aumenta o tempo de duração do eco, enquanto que uma superfície de fundo inclinada causa certo alongamento do eco. Para os autores, o eco é parcialmente coerente, e a sua componente coerente assemelha-se ao pulso sonoro transmitido, enquanto que a componente incoerente é confusa devido aos efeitos causados por interferências. Isto leva a uma variabilidade de *ping a ping*, a qual mascara a forma e outras características do eco que possam ser usadas para diferenciar os vários tipos de superfície de fundo.

Neste contexto os autores Biffard et al *op cit* fazem um breve resumo dos métodos de classificação baseados no eco obtido através de eco sondas. Os ecos pré-processados servem de matéria prima para geração dos dados estatísticos através de algoritmos específicos, que capturam as principais características do eco, as quais são ricas em informações dos sedimentos. Depois de garantida a sua qualidade, os ecos são agrupados antes da geração das características. A seguir, cada agrupamento de ecos, leva a um ponto num espaço de características (vetor característico), cuja dimensionalidade é geralmente reduzida por procedimentos estatísticos de múltiplas variáveis. Nos *softwares* da *Quester Tangent Corporation*, estas características são reduzidas, através da análise dos componentes principais, em três eixos para depois serem

agrupadas em classes distintas. Os autores salientam que, variáveis geoacústicas tais como tamanho de grão, não podem, de um modo geral, serem especificadas com base apenas na análise do eco. Uma superfície geralmente é dividida em classes através da comparação com amostras verdadeiras de fundo (classificação supervisionada), ou os registros são divididos em agrupamentos naturais antes de serem comparados com as amostras de fundo (classificação não supervisionada).

CAPITULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 INTRODUÇÃO

O conhecimento da superfície de fundo dos ambientes de águas rasas tem vital importância como subsídio ao desenvolvimento de várias atividades como: navegação (rios e canais); mapeamento ambiental; prospecção mineral; arqueologia subaquática; obras civis em áreas submersas; etc. Em rios e canais estes estudos desenvolvem-se em ambientes com coluna d'água menor que 50 m, e em muitos casos menores que até 20 m (Hogarth, 2003). Nestes casos, exige-se comumente a obtenção de dados com alta resolução, alta precisão e com completa cobertura, de forma que fique evidenciada toda e qualquer característica relevante ou significativa do ambiente estudado. A partir da necessidade do desenvolvimento da investigação geológica nestes ambientes, decorre o desenvolvimento de instrumentos de investigação de pequeno porte e de embarcações apropriadas para navegação nestes ambientes rasos.

3.2 EQUIPAMENTOS E MATERIAL

Nesta pesquisa foram utilizados os seguintes equipamentos e materiais:

- Sonar de varredura lateral (SVL), modelo *Marine Sonic* de alta frequência (300 kHz);
- Perfilador acústico de correntes por efeito *Doppler* (ADCP), modelo *Sontek* de 1500 kHz;
- Amostrador geológico tipo *van Veen*, com capacidade de 20 l;
- Garrafa horizontal tipo *van Dorn*, com capacidade de 5 l;
- GPS de navegação modelo *Garmin III*.
- Câmera digital *Ricoh CAPLIO 500SE* equipada com GPS;
- *Softwares* QTC Sideview[®] e QTC Clams[®] para classificação automática de sedimentos de fundo e representação gráfica da distribuição dos mesmos.
- Embarcações utilizadas na aquisição de dados com ADCP, SVL e amostragens geológicas.

3.2.1 EMBARCAÇÕES UTILIZADAS

Durante os trabalhos desenvolvidos no rio Jacuí, uma embarcação de casco de alumínio semelhante à mostrada na Figura 3.1, com motor de popa de 100 hp, foi utilizada no trabalho para reboque do sonar. A facilidade de manobra, rapidez, pouco calado, o bom espaço interior e a potência do motor de popa, foram importantes nas observações realizadas.

No canal São Gonçalo, na primeira campanha foi utilizada a lancha Larus desta Universidade (Fig. 3.1b), a qual reúne todos requisitos para o bom desempenho de trabalhos embarcados de longa duração. Além disso, possui equipamentos de apoio como bombas, guinchos entre outros, que permitem o manuseio de instrumentos de pequeno e médio porte.

Em outras campanhas, quando a lancha Larus não estava disponível, foi alugado um barco tendo como ponto de apoio, um ancoradouro próximo ao canal São Gonçalo (Fig. 3.1c). Esta última embarcação não apresentava instalações adequadas para trabalhar com o sonar, mas foi útil durante os trabalhos de coletas de sedimentos.

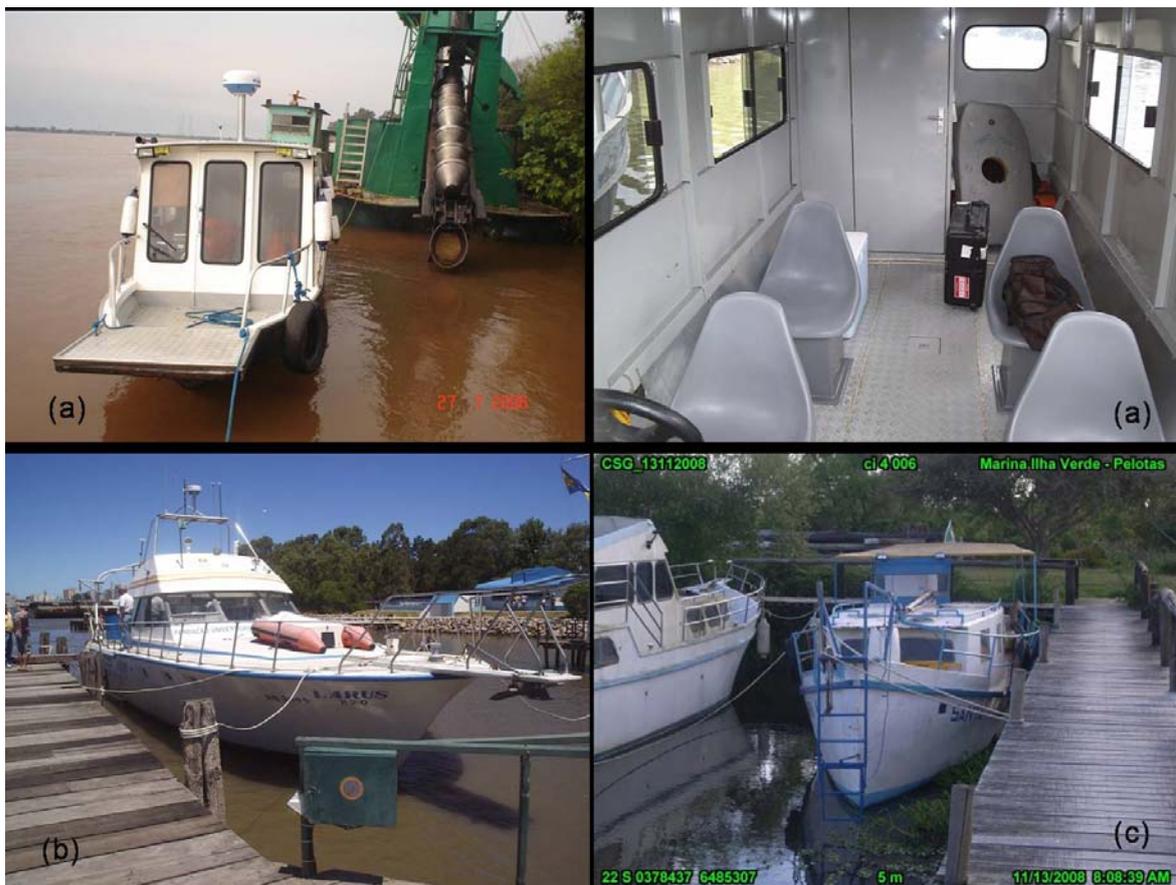


Figura 3.1abcd. Embarcações utilizadas para aquisição de dados e amostragens. (a) Embarcação de serviço no rio Jacuí; (b) Lancha Larus no canal São Gonçalo; (c) Embarcação de apoio no canal São Gonçalo.

3.2.2 AMOSTRAGEM GEOLÓGICA

As dragas são equipamentos ideais para a coleta de amostras de fundo, pois permitem que o material coletado chegue à superfície praticamente intactos. Apesar da diversidade de tipos de dragas existentes, várias similaridades são observadas quanto as suas funções e métodos de operação. Estes equipamentos geralmente são projetados com uma estrutura de suporte a fim de dar estabilidade no momento da amostragem, quando o mecanismo alcança o fundo. Possui um gatilho que, ao entrar em contato com o fundo, libera as conchas da draga, fazendo com que a mesma ao ser içada, penetre no sedimento e capture assim a amostra desejada. São operadas verticalmente a partir de um cabo, podendo ser posicionadas tanto ao lado da embarcação, como na proa ou popa da mesma. Possuem um peso expressivo a fim de facilitar a penetração das conchas no fundo a ser amostrado, além de manter a trajetória de queda na coluna d'água o mais próximo possível da direção perpendicular ao fundo, sendo indicado o seu uso para coletas de sedimentos de substratos não consolidados. A draga usada neste trabalho foi do tipo *van Veen*, conforme mostrado na Figura 3.2.



Figura 3.2. Draga tipo *van Veen* com amostra de sedimento

Estes amostradores trabalham bem quando usados para a captura de amostras de sedimentos arenosos e lamosos. Quando sedimentos grossos são encontrados, estes tendem a se alojar entre as conchas da draga, impedindo que o fechamento das mesmas ocorra de forma

adequada, resultando no solapamento da amostra e conseqüentemente sua descarga na superfície de fundo. Na ocorrência de velocidades de corrente elevadas, o lançamento da draga na posição vertical fica comprometido. Como a embarcação deve ficar parada, existe a tendência da correnteza arrastar o dispositivo para uma direção diferente daquela perpendicular em relação ao fundo, impedindo que o gatilho seja disparado quando a draga toca o fundo. Para tentar amenizar este tipo de problema, são colocados pesos adicionais junto às garras. Tal procedimento auxilia na manutenção da trajetória vertical de queda na coluna d'água. A amostragem obtida através deste tipo de draga é fundamental para o mapeamento acústico proposto neste trabalho, onde o tipo de sedimento encontrado predominantemente se enquadrava nas classes areia, silte e argila.

3.2.3 AMOSTRAGEM DE ÁGUA

Para as coletas de água foi utilizada uma garrafa *van Dorn* que trabalha na horizontal, de forma cilíndrica confeccionada em acrílico transparente com uma capacidade de 5 litros. Permite a coleta de amostras em qualquer profundidade, sendo para isso utilizado um cabo graduado numa escala convenientemente escolhida. A garrafa desce aberta até a profundidade escolhida e seu fechamento é feito através de tampões siliconados posicionados nas duas extremidades, acionados através de mensageiro disparador do dispositivo de fechamento. (Fig. 3.3).



Figura 3.3. Garrafa *van Dorn* utilizada nas coletas de água.

3.2.4. REGISTROS FOTOGRÁFICOS GEORREFERENCIADOS OBTIDOS COM A CÂMARA RICOH CAPLIO 500SE

Para obtenção de imagens *in situ*, em tempo real, foi utilizada uma câmara fotográfica Ricoh Caplio 500SE (Hartmann & Vieira, 2008) com sistema de posicionamento global acoplado (GPS). Este recurso é importante quando se trabalha na coleta de amostras de sedimento de superfícies submersas, pois nem sempre a posição pré-definida para amostragem é mantida no momento do lançamento do amostrador em função da incidência de ventos ou correntes. Esta câmara, associada à rápida recepção de sinais de satélites, possibilita a obtenção de todas as informações geográficas necessárias para uso em um sistema de informações geográficas (SIG) (Fig. 3.4).



Figura 3.4. Câmera fotográfica Caplio 500SE com GPS acoplado.

Câmaras fotográficas similares etiquetam os arquivos com um banco de dados chamado genericamente de *EXIF* (*Exchangeable Image File Format*), que consistem basicamente em atributos normais da fotografia digital. Porém, poucas câmaras como a 500SE, atribuem a localização geográfica ao *EXIF*, por que já possuem um receptor GPS embutido na mesma.

3.2.5. PERFILADOR ACÚSTICO DE CORRENTE PELO EFEITO DOOPLER (ADCP)

No rio Jacuí foi utilizado um perfilador acústico de correntes por efeito Doppler (ADCP). Este instrumento é utilizado para medir as velocidades das partículas das correntes de água de diferentes profundidades e determinar a vazão em seções transversais de rios e canais, através do somatório de sucessivos perfis de correntes obtidos em tempo real. O instrumento originalmente

foi desenvolvido para medir correntes marítimas e, atualmente, tem sido adaptado para medir vazões em cursos d'água, especialmente em estuários e grandes rios.

O efeito Doppler refere-se à mudança de frequência do sinal transmitido pelo sonar, causada pelo movimento relativo entre o aparelho e o material em suspensão da água sob a ação do feixe das ondas sonoras. Como o material em suspensão se desloca na mesma velocidade da corrente da água, a magnitude do efeito Doppler é diretamente proporcional à velocidade. Medindo-se a frequência dos ecos causados pelo material em suspensão e comparando-a com a frequência do som emitido, o ADCP determina a velocidade da partícula que é a mesma da corrente. Na Figura 3.5 são apresentados alguns modelos SONTEK.



Figura 3.5. ADCP SONTEK. Fonte: <http://www.sontek.com/princop/adp/adppo.htm>

A Figura 3.6 mostra uma representação esquemática comparativa de uma vertical de molinetes e as células equivalentes num ADCP. Apesar de adotar o mesmo princípio, o sistema eletrônico deste equipamento permite medições mais precisas, realizadas num intervalo de tempo significativamente menor, já que as mesmas são feitas com o barco em movimento.

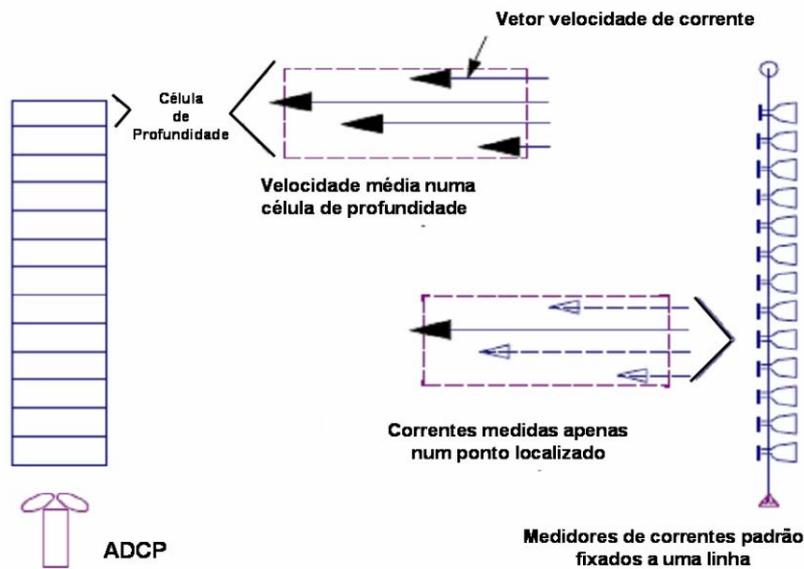


Figura 3.6. Comparação esquemática de uma vertical de molinetes e um conjunto de células de profundidade usadas num ADCP. Modificado de RDINSTRUMENTS (1996).

Algumas áreas próximas ao fundo, às margens e da superfície, não podem ser medidas, devido a restrições geométricas do aparelho e da seção a ser medida. Próximo à superfície isto ocorre em função do espaço de imersão do aparelho. No fundo, ocorre uma mudança brusca na densidade do material, causando um eco de maior intensidade, contaminando o sinal naquela região. Da mesma forma são consideradas as áreas próximas às margens (Fig. 3.7).

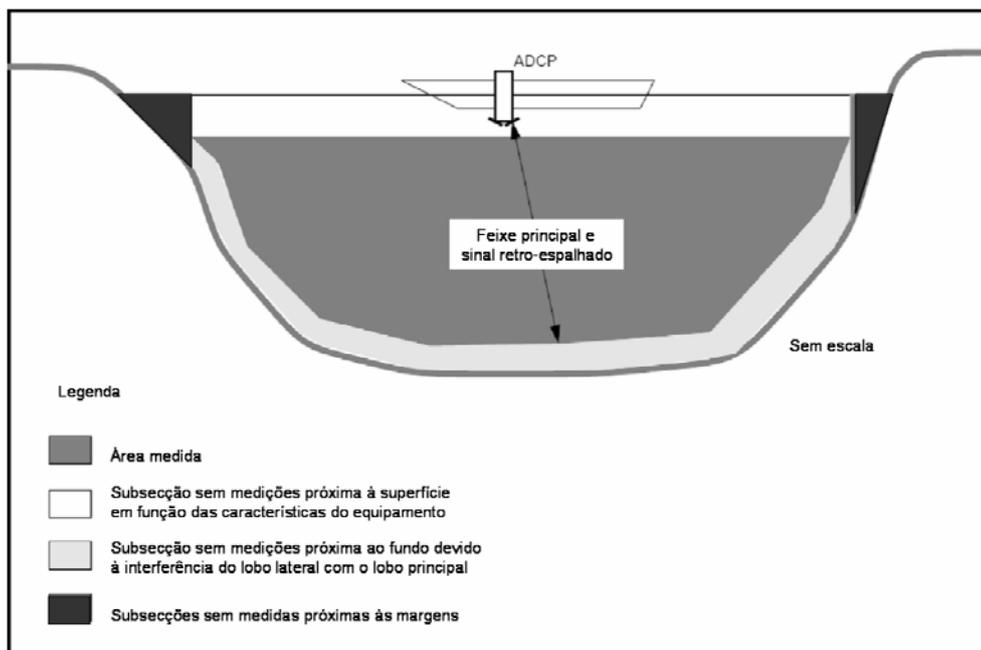


Figura 3.7. Esboço mostrando as subseções do rio não medidas pelo ADCP. Modificado de Morlock (1996).

O uso do ADCP se justifica em situações que apresentem dificuldades para o trabalho com métodos tradicionais tais como: períodos de cheias, seções descontínuas, em grandes rios, etc, (Filho *et al*, 1999). Suas vantagens são inquestionáveis, em comparação aos métodos convencionais. Entre elas podemos citar: maior quantidade e qualidade dos dados; maior precisão; medição em tempo real; alta taxa de reprodutibilidade; mais rapidez; menos mão de obra.

3.2.6 IMAGEAMENTO DE FUNDO COM O SONAR DE VARREDURA LATERAL - SVL

O sonar de varredura lateral (SVL) é um equipamento utilizado para investigação de áreas submersas baseado nos princípios da propagação do som na água, possibilitando a obtenção de imagens destas regiões. Pode ser empregado para a localização de estruturas naturais (estruturas geológicas, formações sedimentares, canais, identificação do tipo de fundo, etc) e artificiais (barcos naufragados, canais resultante de dragagens, estruturas portuárias submersas, enrocamentos, etc.). A representação esquemática do tipo de imageamento é mostrada na Figura 3.8.

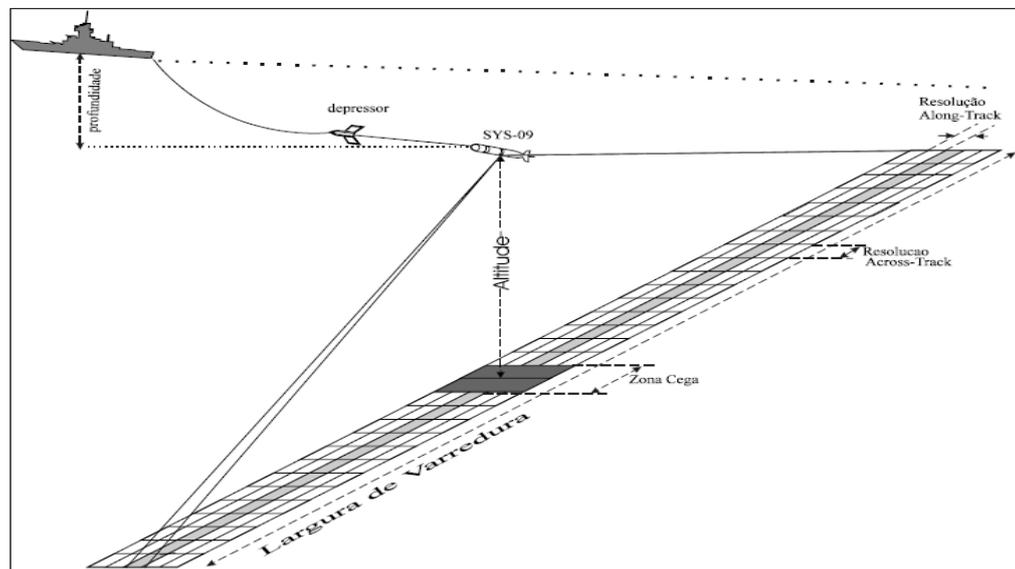


Figura 3.8. Representação esquemática de como é construída a imagem do SVL à medida que a embarcação se desloca ao longo do perfil. (Fonseca, 1996).

São sistemas ativos de sensoriamento remoto que emitem e registram ondas acústicas para produzir imagens do fundo submerso também chamadas de registros sonográficos. Estes registros contêm medidas da energia acústica que retorna para o transdutor eletroacústico (Fish,

1999). A geometria de aquisição de dados sonográficos é muito semelhante à de dados de radar de visada lateral. O princípio da sonografia se baseia na emissão de um sinal acústico de alta frequência, em intervalos de tempo regulares, por dois transdutores (emissor e receptor) submersos, apontando para ambos os lados da superfície de fundo em relação ao rumo de navegação. O feixe principal de sinais emitidos pelo sonar de varredura lateral é bastante estreito na direção paralela à navegação (não ultrapassando 2°) e largo na direção perpendicular à rota de navegação (geralmente da ordem de 40° a 50°). A Figura 3.9 ilustra a geometria de aquisição de dados.

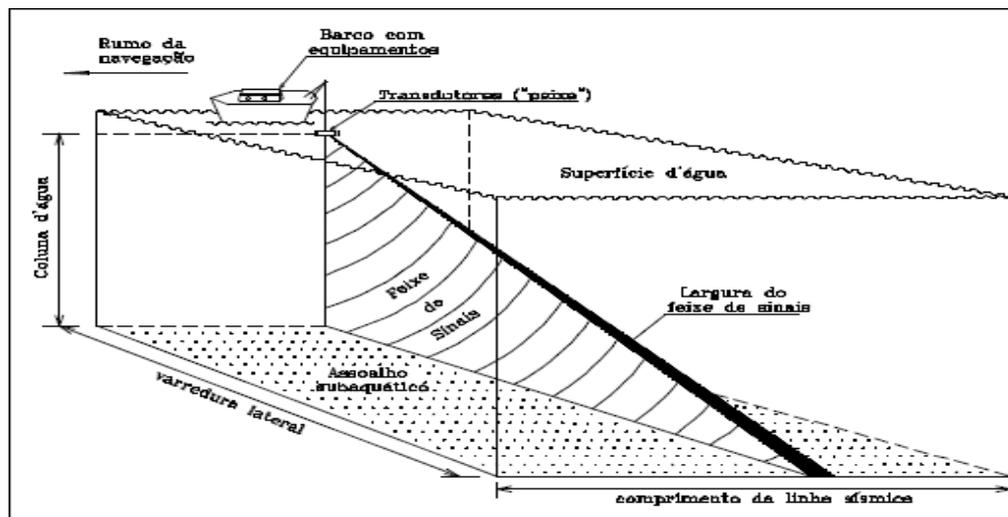


Figura 3.9. Geometria da aquisição de dados do SVL. Representação do canal esquerdo. Fonte: Modificado de Souza (1988).

O sonar de varredura basicamente é composto de um *townfish*, conhecido como peixe, o qual é rebocado pela embarcação a baixa velocidade, próximo ao fundo submerso. A distância acima do fundo recomendada é de 10% do alcance operacional (*range*), a fim de captar o eco proveniente de pequenos ângulos de varredura e altas taxas de amostragem. Em operações de mapeamento de fundo com sonar de varredura em baías ou locais de águas rasas, o equipamento pode ser fixado junto ao barco para evitar possíveis contatos do mesmo com a superfície de fundo durante a operação de reboque. Estes equipamentos são projetados para obtenção de imagens de alta resolução e detecção de objetos ao longo da superfície submersa. Entretanto, seu emprego muito próximo ao fundo, como acontece quando é rebocado em águas muito rasas, reduz sua faixa de cobertura, quando comparado com o equipamento montado junto ao casco da embarcação.

De um modo em geral, pode-se apontar como vantagens da utilização do *townfish*: (a) menor interferência dos movimentos do navio em ocasiões de mar agitado; (b) quanto maior a

sua proximidade relativa ao fundo, menores serão as variações do perfil de velocidade na coluna de água; (c) manutenção do *peixe* a uma distância praticamente constante em relação ao fundo, a fim de manter o mesmo ângulo de varredura.

As feições predominantes de um sonar de varredura rebocado próximo ao fundo são as regiões sombreadas resultantes do baixo ângulo de varredura, como demonstrado na Figura 3.10.

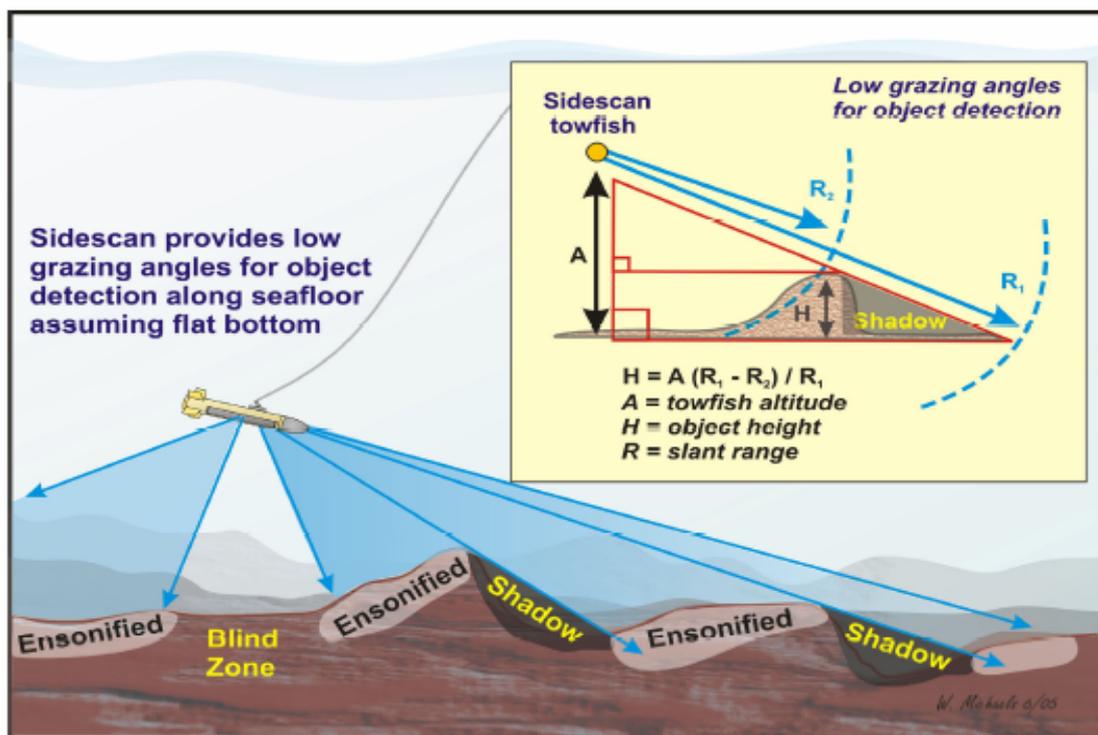


Figura 3.10. Sonar de varredura lateral com alta resolução de imagem da superfície de fundo, adquiridas com baixo ângulo de varredura, resultando em áreas sombreadas, usadas para detecção de objetos. Fonte: Michaels, 2007.

Um importante princípio do sonar de varredura é que sua capacidade em produzir ecos o que permite, de uma forma simplificada, medir com precisão o tamanho da imagem inclinada (*slant ranger*). As medições precisas da variação do tempo em altas frequências e baixos ângulos de varredura produzem medidas verticais de alta resolução quando comparado com outros tipos de instrumentos acústicos. O *slant range* até o objeto e até o fim de sua sombra, são utilizados para determinar com precisão, a sua altura desde a superfície de fundo, aplicando os princípios básicos de relação de triângulos. Para isso é necessário considerar que a superfície de fundo seja plana e horizontal.

Quando o levantamento de dados é feito sobre um fundo de topografia complexa, problemas relacionados à compressão de dados podem ser observados. Esta distorção geométrica se deve a visada lateral do sonar, a qual faz com que a imagem obtida tenha uma projeção

inclinada em relação ao solo. Esta compressão varia ao longo da faixa imageada, onde os pixels da imagem que estão mais próximos do nadir estarão mais comprimidos do que os mais afastados. A conversão da imagem da projeção inclinada para a projeção no solo é chamada de conversão *slant to ground range*.

O eco predominante recebido pelo sonar de varredura é a refletividade proveniente da superfície de fundo. Como o sonar de varredura normalmente é rebocado próximo ao fundo, as altas frequências e os baixos ângulos de varredura, produzem imagens da superfície de fundo como se fossem fotografias, conhecidas como sonogramas. As imagens são apresentadas em escala de tons de cinza, que variam de acordo com a intensidade do retro espalhamento acústico. Podem ser apresentadas como imagens negativas, onde as regiões mais claras correspondem a baixo retro espalhamento, representando um fundo plano, liso e de substrato macio. Conforme o tom de cinza fique mais escuro, representam regiões de alto retro espalhamento relacionadas a um substrato duro ou a topografia de fundo inclinada na direção contrária ao deslocamento do peixe. Esta representação de tons de cinza pode ser invertida, onde os tons mais escuros corresponderiam às superfícies planas ou macias, e as superfícies de substrato duro, seriam representadas por tons mais claros.

A amplitude do eco proveniente de cada pixel pode produzir características texturais, as quais são utilizadas para a classificação acústica da superfície de fundo. Estas características texturais dependem da resposta angular da onda acústica que retorna do fundo. O eco proveniente de um fundo plano e homogêneo será menos complexo, quando comparado com o eco proveniente de um fundo rugoso e heterogêneo (Fig. 3.11).

Embora a resposta angular proveniente do fundo seja importante para classificar os vários tipos de substratos, as regiões sombreadas não podem ser classificadas. Uma região sombreada pode ocorrer quando o sonar de varredura é rebocado numa direção, e esta mesma região poderia ser insonificada com alta amplitude quando o *peixe* é rebocado numa direção diferente.

Basicamente, um sonar de varredura lateral opera com apenas uma frequência, mas existem sistemas de duas frequências que podem comutar entre baixa frequência para mapeamento de longo alcance e alta frequência para mapeamentos de curto alcance, mas com alta resolução.

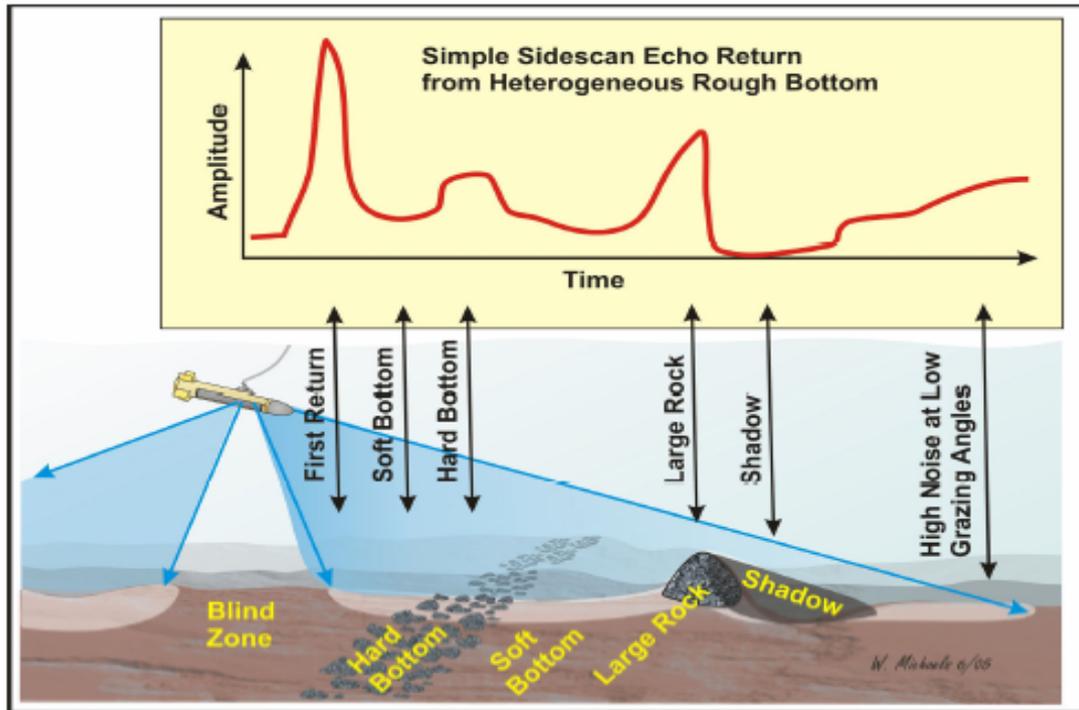


Figura 3.11 O eco captado pelo sonar de varredura lateral apresenta variações em função do ângulo de incidência, topografia, sombras, textura superficial e composição dos substratos. Fonte: Michaels, 2007.

3.2.7. CLASSIFICAÇÃO ACÚSTICA AUTOMÁTICA DE IMAGENS OBTIDAS COM SONAR DE VARREDURA LATERAL

Até hoje as imagens obtidas através do sonar de varredura lateral são usadas como ferramentas qualitativas para a classificação de superfícies submersas. Neste caso o usuário treinado, identifica as regiões que apresentam similaridades acústicas e organiza uma biblioteca mental com os vários tipos de imagens. Imagens artificiais produzidas por interferências no feixe sonoro são facilmente identificadas e colocadas à parte.

A classificação automática exige um alto padrão de preparação da imagem, a fim de remover ou compensar efeitos de origem geométrica ou operacional. Está baseada na segmentação estatística da área investigada, em regiões nas quais os ecos são acusticamente similares, sem a necessidade de calibração do sonar.

Os sistemas automáticos de classificação acústica de superfícies submersas trabalham com dados acústicos que podem ser obtidos através do retorno da onda sonora de incidência vertical (ecossondas de único feixe), ou então com o retorno da onda sonora de incidência oblíqua (sonar de varredura lateral e sonar multifeixe). O resultado é a segmentação da área investigada em classes acústicas similares. A Figura 3.12 mostra um fluxograma geral de

aplicação desses sistemas, lembrando que possa existir algumas diferenças entre os sistemas com incidência normal e oblíqua à superfície.

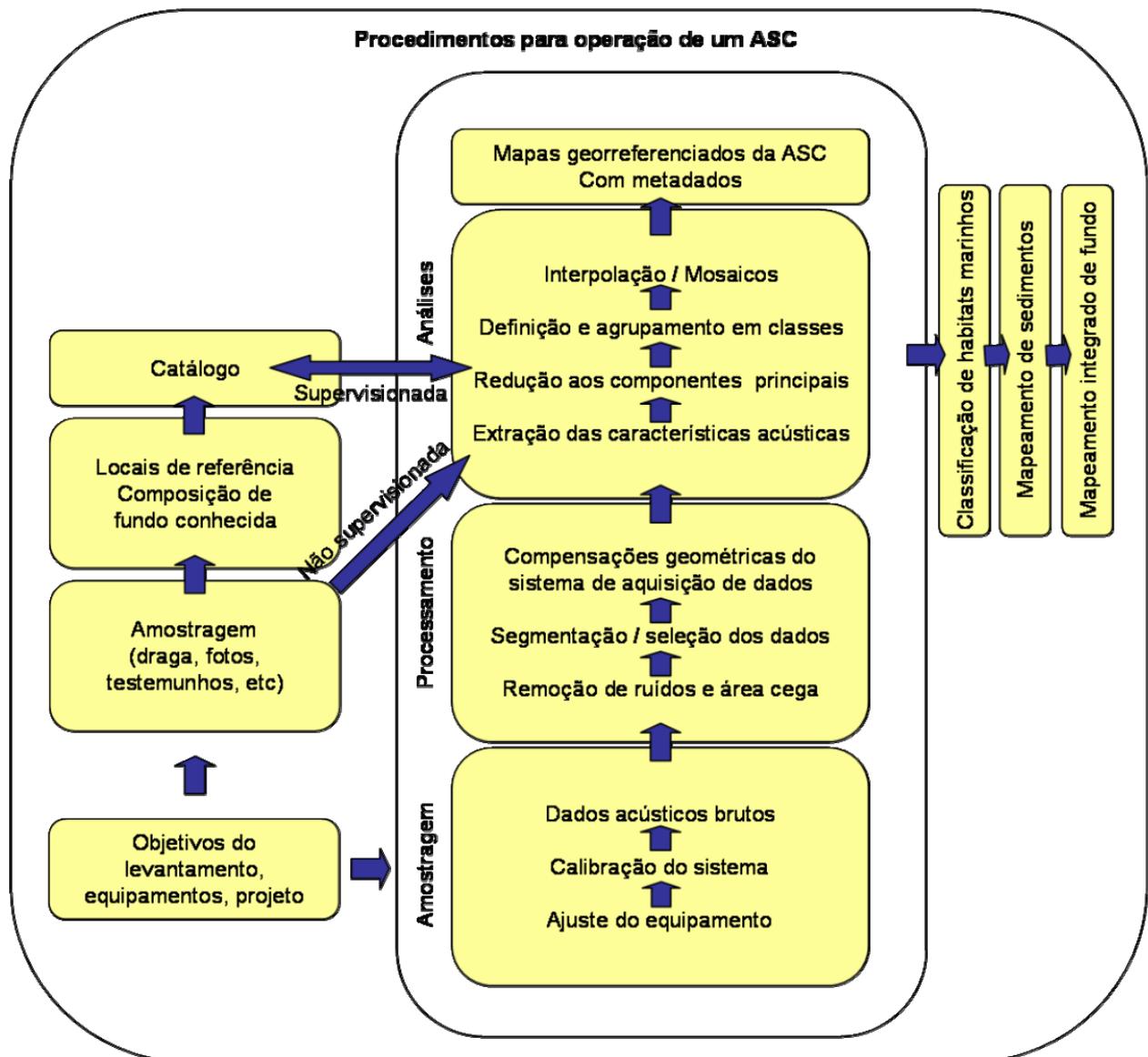


Figura 3.12. Representação esquemática do funcionamento de um sistema automático de classificação acústica de superfícies. Modificado de Michaels (2007).

3.2.8. O SOFTWARE QTC SIDEVIEW PARA CLASSIFICAÇÃO ACÚSTICA

Os sistemas de classificação acústica automática aplicados para sonar de varredura ou multi-feixe são recentes, tendo se tornado disponível apenas nos últimos anos. Desta forma, ainda não apresentam uso tão difundido como os sistemas que operam com a incidência normal da onda acústica. QTC Sideview[®], QTC Multiview[®], RoxAnn Swath[®], Genius[®], Triton SeaClass[®] e SWATHplus[®] são exemplos de *softwares* projetados para trabalhar com estes

equipamentos.

O *software* QTC Sideview® processa dados coletados por vários modelos de sonar de varredura tais como Benthos SIS-1500®, EdgeTech 4100®, Imagenex Yellowfin®, Klein 595®, Klein 2000®, Klein 3000®, Klein 5000®, Knudsen®, Marine Sonic® e Odum®. A empresa canadense Quester Tangent Corporation, fabricante do *software* faz atualizações regulares, a fim de adaptá-lo a novos equipamentos e a maioria dos dados de sonar de varredura no formato XTF. A Figura 3.13 apresenta a sequência operacional do sistema de classificação acústica QTC Sideview® na sua última versão.

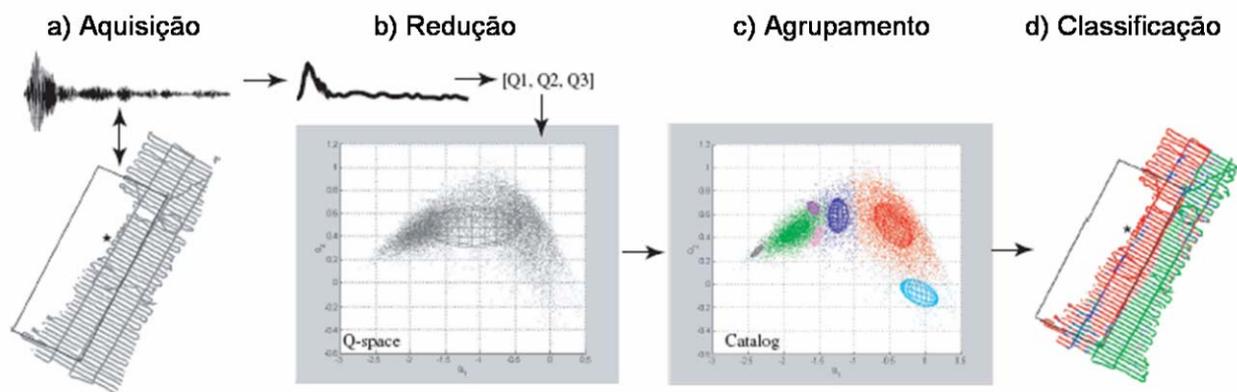


Figura 3.13. Sequência simplificada do sistema de classificação acústica automática QTC Sideview®. Modificado de Gleason et al (2006).

Os dados brutos na forma de ondas sonoras são coletados usando os procedimentos adequados, de acordo com o tipo de instrumento utilizado. Em seguida são processados e analisados pelo *software* que utiliza algoritmos para remoção de ruídos, detecção do fundo, segmentação dos dados e compensações geométricas, as quais devem ser tratadas de forma diferente para dados com incidência normal ou oblíqua. As compensações geométricas aplicadas aos dados obtidos com sonar de varredura são mais complexas do que quando se trabalha com ecosondas. Dados acústicos de incidência normal utilizam o eco da região próxima ao nadir para a extração das características acústicas do fundo. Dados provenientes de incidência oblíqua são segmentados em porções geo-referenciadas, para que possam ser submetidos a algoritmos específicos e assim, fornecer as respostas acústicas características do tipo de fundo.

A classificação acústica de fundo pode ser feita através de uma abordagem supervisionada, onde são conhecidos catálogos com tipos de fundo já identificados, elaborados através de estudos anteriores, ou não supervisionada, onde os registros acústicos são separados dentro de suas classes naturais. A classificação não supervisionada é a usada com maior

frequência. Para isso, é necessária a comparação dos registros com as amostras reais de fundo, obtidas através de dragas, redes, vídeos ou fotografias, possibilitando a identificação do tipo de sedimento encontrado em cada região. De um modo em geral, os passos básicos exigidos para conduzir o processo de classificação acústica são similares àqueles empregados em outras técnicas de sensoriamento remoto de dados (radar, etc.).

O primeiro passo, após a aquisição dos registros, consiste em fazer uma inspeção visual nos sonogramas para remoção de artefatos e registros indesejáveis. Dependendo do tipo de sistema, vários problemas podem ocorrer, como por exemplo, a imagem pode ser manchada pelo movimento excessivo tanto da embarcação como do próprio peixe. Uma máscara é usada para excluir regiões da imagem de baixa qualidade dos passos seguintes do processamento. Mudanças nas condições de operação do sonar são notadas nesta fase. Mudanças na intensidade do pulso acústico ou na frequência exigem que os dados sejam divididos em subgrupos de condições compatíveis, antes da classificação.

As imagens agora compostas de dados de boa qualidade são divididas em porções retangulares com um número definido de pixels nas direções transversal e longitudinal ao deslocamento do sonar. Geralmente o espaçamento entre pixels no sentido longitudinal é maior do que no sentido transversal. Sendo assim, definindo-se um maior número de pixels transversalmente do que longitudinalmente, obtêm-se uma porção da superfície de fundo, aproximadamente quadrada, resultando numa resolução espacial mais uniforme. O arranjo destes pequenos retângulos vai depender da qualidade dos dados e do uso adequado das máscaras. Baseado nisto, o usuário determinará o número de retângulos por lado, sendo em seguida, atribuída uma classe para cada um.

Com o tamanho dos retângulos definidos, um grupo de características será extraído a partir da intensidade do retro espalhamento, para cada porção retangular através de um conjunto de algoritmos. Estes algoritmos produzirão uma grande matriz na qual cada coluna representa uma das características e cada linha contendo todos os valores característicos naquela porção retangular. A Tabela 3.1 apresenta as características texturais e amplitude do eco, extraídas pelos algoritmos usados no *software* QTC Sideview[®].

Tabela 3.1.
Características texturais e amplitude, extraídas pelos algoritmos usados
no *software* QTC Sideview[®]. Modificado de Preston et al (2004).

MÉDIA, DESVIO PADRÃO, VARIÂNCIA E CURTOSE
GLMC - CORRELAÇÃO
GLCM - CONTRASTE
GLCM - ENTROPIA
GLCM - HOMOGENEIDADE

Cinco algoritmos geram 28 características a partir do retro-
espalhamento para cada porção retangular.

Média, desvio padrão, variância e curtose são indicativos das variações que ocorrem na impedância acústica e rugosidade da interface.

Matriz de co-ocorrência de níveis de cinza (GLCMs) descrevem as mudanças na amplitude sobre distâncias e direções selecionadas na porção da imagem, sendo amplamente usadas para avaliação textural.

A análise estatística multivariável é a parte mais robusta do processo, porque permite o uso de um grande número de características. Algumas dessas características são importantes para uma classificação padrão entre lama, areia e cascalho. Outras têm maior importância para uma classificação mais refinada como, por exemplo, apontar diferenças entre misturas de areia e lama. Para qualquer grupo de dados, A análise dos componentes principais seleciona as características de maior utilidade para a tarefa de discriminação a ser executada, mantendo-se um grupo reduzido de características que, de forma compacta, descreve a diversidade do grupo de dados. Para cada porção (path) da imagem, as características são calculadas e arranjadas num vetor contendo mais de cem elementos, chamado Vetor das Características Totais (FFVs). Estas informações devem ser otimizadas ou reduzidas sem que se perca qualquer detalhe dos sedimentos. O tamanho do FFV é reduzido pelo processamento de estatística multivariada a fim de isolar as combinações de características que sejam responsáveis pela maior diversidade no grupo de dados. Em geral, as três combinações principais capturam uma percentagem muito alta da variância (maior que 90%), de tal forma que o restante das combinações possam ser descartadas. Estas três combinações principais são chamadas de Q-valores. Os resultados deste processo de redução são armazenados numa matriz de redução. Qualquer FFV pode ser reduzido aos três Q-valores através da multiplicação pela matriz de redução. Esta matriz faz parte do

catálogo usado na classificação supervisionada. Novos FFVs, provenientes de qualquer investigação acústica posterior, podem ser reduzidos aos Q-valores desta forma, como parte do processo de classificação supervisionada. Alternativamente, o processamento estatístico multivariado, pode ser executado em qualquer grupo de dados, completo ou parcial, para encontrar novas informações.

Desta forma, apenas estes três componentes são usados para o agrupamento em cada classe (Cluster Analysis). Este processo identifica os agrupamentos representativos dos vários tipos de sedimentos. Os pontos com valores similares, quando plotados num gráfico tri dimensional, chamado Q-espço, formarão um agrupamento. Portanto, dados provenientes de três tipos de fundo diferentes formarão três agrupamentos, onde novos dados poderão ser classificados baseados na sua localização relativa aos agrupamentos no Q-espço. Cada catálogo criado é de uso específico ao sistema sonar usado para a obtenção dos dados, podendo ainda ser aproveitado para condições de operação particularizadas daquele sonar.

Os catálogos podem ser embasados num grupo reduzido de imagens selecionadas, ou pela utilização de todas as imagens da investigação realizada. Além disso, uma biblioteca de classes pode ser produzida e a partir daí, vários catálogos serem criados, dependendo da aplicação. Desta forma, um catálogo para uma determinada área pode ser criado com dados obtidos durante um levantamento e nos demais, quando da realização de procedimentos periódicos, ser feita apenas a aquisição das imagens com o sonar, aproveitando aquele catálogo criado anteriormente.

A classificação da superfície submersa, nada mais é do que aplicar um catálogo com diferentes tipos de classes, a um grupo de dados. Se todo o grupo de dados é usado num processo de classificação não supervisionada, o resultado obtido é tanto o catálogo com as classes, como a própria classificação destes dados. Nesta situação, apesar deste passo ser repetitivo, se faz necessário para dar mais consistência à classificação como um todo. Na classificação supervisionada, o catálogo é usado de outra maneira. Neste caso, a cada nova porção da área é atribuído um agrupamento ou tipo de sedimento, dentro de um catálogo já existente.

3.2.9 O SOFTWARE QTC CLAMS[®] PARA INTERPOLAÇÃO DE DADOS

O QTC Clams[®] incorpora técnicas para mapeamento e visualização dos dados anteriormente classificados. Estas técnicas incluem o posicionamento, interpolação e análise de complexidade. Um componente fundamental do software é a sua capacidade em fazer a interpolação dos dados entre categorias. Pode ler qualquer padrão de dados formatados em

ASCII e exportá-los para outros softwares neste mesmo padrão, ou então gerar mapas para visualização ou utilização em qualquer ferramenta SIG.

A interpolação dos dados entre classes é fundamentalmente diferente de interpolações entre variáveis contínuas como salinidade ou temperaturas, onde é usada a média dos dados medidos nas proximidades do ponto procurado. Em alguns *softwares* é aplicada uma ponderação em função da distância. Numa interpolação por categorias, a diferença básica é que no lugar da média, se usa a moda. Esta opção é difícil de ser encontrada em ferramentas SIG. A questão pode ser exemplificada da seguinte forma: uma classe identificada como Classe 2 poderá ou não ser posicionada entre as Classes 1 e 3. Numa interpolação linear isto sempre irá ocorrer. Numa interpolação por categorias, a Classe 2 será ajustada através de uma rotina de interpolação modal.

Cada classe identificada pelo software recebe uma cor que a distingue das outras classes. No caso do QTC Clams[®], as cores geradas são definidas por similaridades. O conceito básico da similaridade das cores se baseia na atribuição de um canal de cor, vermelho, verde ou azul, para cada Q-valor. Desta forma, a dimensão Q_1 será representada pelo vermelho, Q_2 pelo verde e a Q_3 pelo azul. A quantidade de vermelho, verde ou azul atribuída a um ponto num gráfico formado pelos vetores Q_1 , Q_2 e Q_3 será definida em função de suas coordenadas. Classes que estão próximas entre si num Q-espaco, apresentarão cores similares e serão também acusticamente similares (Fig. 3.14).

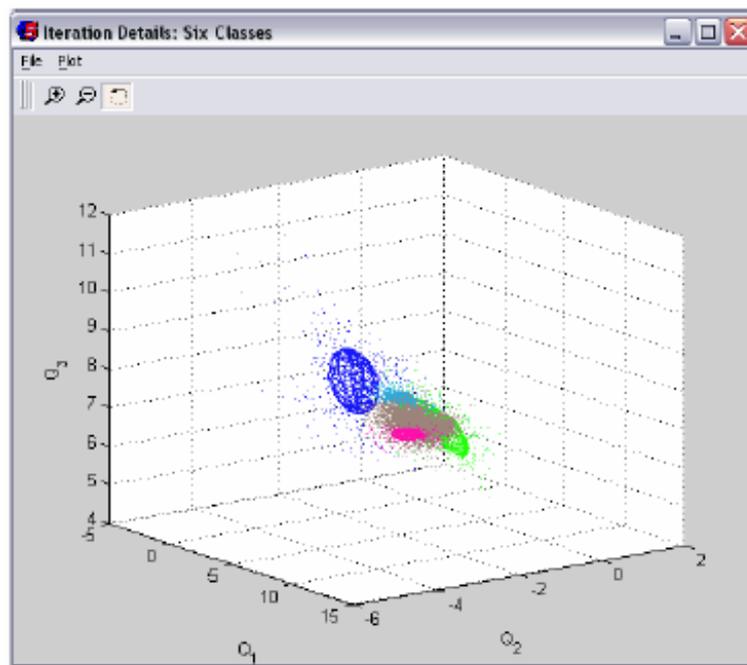


Figura 3.14. Representação das classes no Q-espaco. Fonte: Quester Tangent Corporation.

3.3 AQUISIÇÃO DE DADOS

3.3.1. METODOLOGIA DE AQUISIÇÃO DE DADOS COM ADCP

Com a utilização de um ADCP Sontek® com frequência de 1500 kHz, dotado de um traçador de fundo (*bottom tracking*) e gps acoplado, foram realizados levantamentos em 14 secções transversais ao longo do trecho do rio em estudo, sendo a primeira localizada a montante e a última à jusante da área. Um levantamento foi feito em período de enchente (6/nov/2008) e outro em período normal (14/fev/2009) ou que poderia ser considerado como de seca. O perfilador acústico por efeito *Doppler* (ADCP) foi utilizado pela primeira vez na área, permitindo caracterizar a vazão do rio em situações extremas.

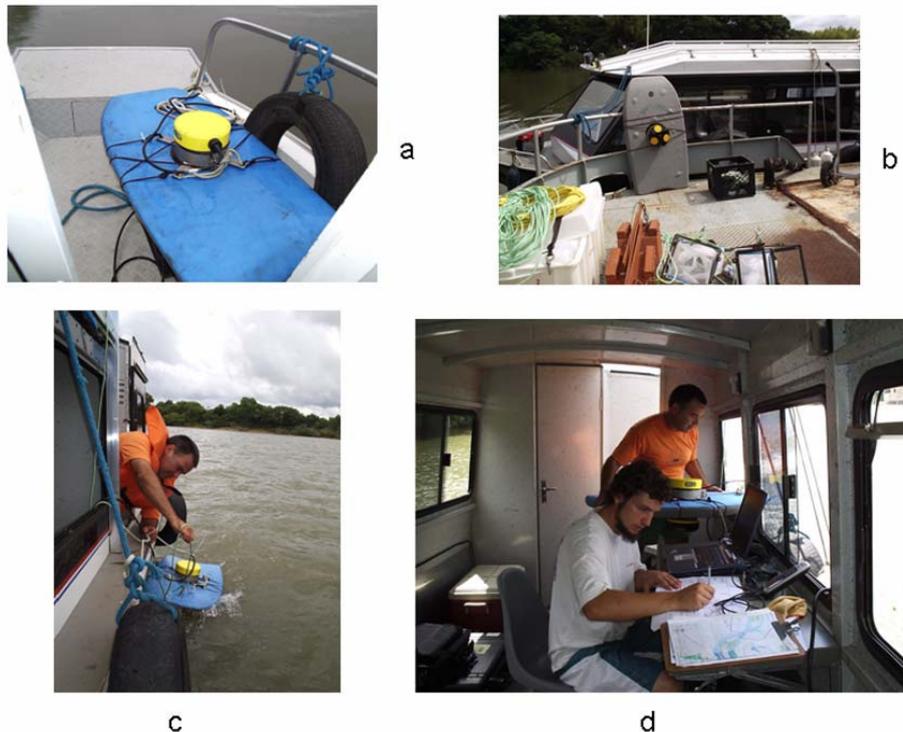


Figura 3.15abc. Procedimento para utilização do ADCP. a) fixado no suporte flutuante, b) vista dos transdutores, c) posição de operação ao lado da embarcação e d) controle operacional.

O traçador de fundo permite medir a velocidade absoluta de corrente removendo a velocidade da embarcação em relação ao fundo. Cada secção é composta por uma série de perfis verticais medidos a cada 5 segundos, sendo que a embarcação move-se a velocidade de 4 m/s. As velocidades foram medidas em até 40 níveis de profundidade, iniciados a 40 cm da superfície até o fundo, com intervalos de 25 cm entre cada nível. O ADCP estava acoplado a uma prancha de

espuma sintética, a qual foi rebocada pela embarcação junto a lateral da mesma conforme mostrado na Figura 3.15. Simpson (1993) e Trenaman & Marsden (2003), destacam as vantagens em se utilizar o ADCP sobre os sistemas convencionais para medição de vazão em rios, no que diz respeito ao tempo gasto para aquisição dos dados, e também pelo fato dos perfis serem obtidos em tempo real.

Neste trabalho estas vantagens foram comprovadas quando se levou de 4 a 10 minutos por secção para a obtenção dos dados. Isto se deve apenas a variação da largura do rio de secção para secção, já que a velocidade da embarcação se manteve constante. Desta forma todo o trabalho de aquisição de dados nas 14 secções durante o mês de novembro de 2008, apesar da forte correnteza, foi executado em aproximadamente três horas. Salienta-se que houve condições favoráveis de vento, tanto em direção como em intensidade, sendo praticamente constantes. Da mesma forma e ainda com maior tranquilidade, as 14 secções foram realizadas no dia 14 de fevereiro de 2009, porque o fluxo do rio era muito inferior ao encontrado em novembro de 2008.

3.3.2. METODOLOGIA DE AQUISIÇÃO DE DADOS COM SONAR DE VARREDURA LATERAL

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos com o Sonar de Varredura Lateral Sea Scan[®] PC da Marine Sonic Technology, que opera na frequência de 300 kHz, pertencente ao Laboratório de Oceanografia Geológica da Universidade Federal do Rio Grande. Nas campanhas realizadas no rio Jacuí, o peixe foi fixado a um dispositivo desenvolvido para esta finalidade, colocado na proa da embarcação conforme mostrado na Figura 3.16.

Optou-se por esta posição do sonar em função da facilidade no seu manuseio. O suporte possui uma roldana na sua extremidade, por onde o cabo de sustentação, que é o mesmo utilizado para transmissão dos dados, pode deslizar com facilidade. Nesta situação o equipamento não sofre interferências na transmissão e recebimento do sinal acústico, que geralmente são ocasionadas pela formação de bolhas provocadas pelo movimento do hélice. Em alguns casos, a formação da esteira por navios que passavam ao largo, ficou registrada nas imagens geradas pelo sonar. Outra vantagem importante está relacionada com o controle visual de sua posição na coluna d'água, já que a profundidade média do rio ficou em torno de 8 m. Nestas situações é importante manter a estabilidade operacional do peixe o mais próximo possível da superfície da água.

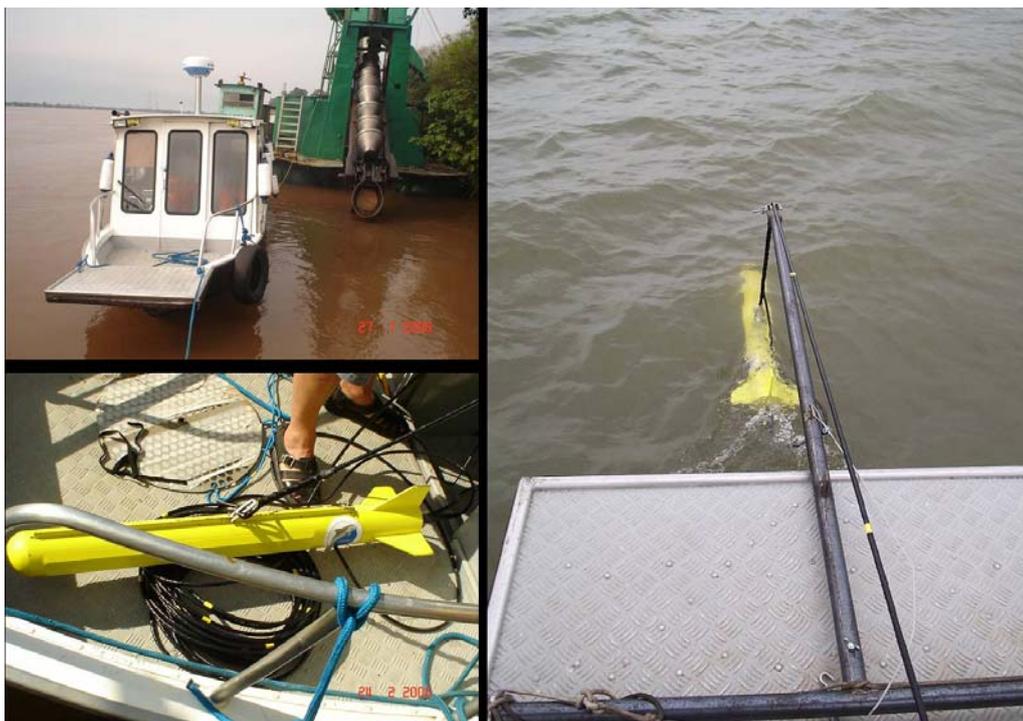


Figura 3.16abc. (a) Embarcação utilizada com o sonar no rio Jacuí; (b) vista do peixe no convés; (c) fixado na proa da embarcação.

No canal São Gonçalo, foi utilizada a lancha Larus da FURG, para rebocar o peixe. Aproveitando a estrutura da mesma, o sonar foi fixado na lateral do barco, a estibordo, próximo à popa (Fig. 3.17).



Figura 3.17. Lancha Larus e o sonar no convés, durante os preparativos para campanha no São Gonçalo.

O levantamento de dados foi realizado durante os dias 11 e 12 de dezembro de 2007. A área estudada foi dividida em três trechos, sendo o primeiro começando nas proximidades de sua foz, na Laguna dos Patos, até a ponte sobre o Canal São Gonçalo. O segundo, nas proximidades da Eclusa, a jusante e a montante da mesma, e o terceiro, seguindo em direção à Lagoa Mirim até

a Ilha da Brigadeira, onde são realizadas atividades de extração de areia que serve como subsídio para a indústria da construção civil. O canal tem largura média em torno de 300 m, apresentando pontos localizados onde a largura mínima é de 140 m e a máxima ultrapassando em alguns metros a marca de 400 m. Neste sentido, optou-se por uma abertura do alcance da varredura do sonar em 150 m para cada lado, possibilitando a cobertura de forma contínua num trecho de quase 30 km de extensão com largura de 300 m. Geralmente a abertura do alcance de varredura deve manter uma relação de 1 para 10 com a profundidade, ou seja, para cada metro de profundidade acrescenta-se 10 metros na abertura do feixe do sonar. Em virtude da pouca largura do canal, optou-se por cobrir toda a largura do mesmo com uma passada do sonar apenas. Desta forma, a abertura do feixe foi mantida em 150 m. A idéia inicial era de mapear todo o canal, desde sua foz na Laguna dos Patos, até a Lagoa Mirim. Devido a problemas técnicos ocorridos com o sonar, o levantamento de dados foi interrompido nas proximidades da ilha do Brigadeiro. As imagens obtidas foram suficientes para mostrar as variações morfológicas do leito do canal, bem como para servir de banco de dados para o pós processamento com softwares de classificação acústica.

CAPITULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 INTRODUÇÃO

As atividades de extração de recursos minerais são classificadas como potencialmente poluidoras, sendo necessário, portanto, o licenciamento ambiental para estas atividades. Como parte do processo, a prioridade sobre a extração mineral de determinada área deve ser requerida junto à autarquia competente, que neste caso é o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Atualmente no estado do Rio Grande do Sul, o licenciamento ambiental em qualquer uma das etapas (licença prévia, licença de instalação e licença de operação) é de competência da Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM). Para algumas atividades classificadas como sendo de impacto local, o município poderá fazer o licenciamento ambiental. No entanto, é necessária a formalização de um acordo neste sentido junto a FEPAM e contar com a equipe técnica capaz de analisar os processos encaminhados.

A atividade mineraria conduzida, via de regra, sem nenhum planejamento, pode ocasionar degradação ambiental intensa nas várzeas dos rios, comprometendo seu uso futuro, dada à proximidade com áreas urbanas já consolidadas e em expansão. Esta Tese pretende dar suporte aos profissionais envolvidos nesse processo, para elaboração de relatórios periódicos de monitoramento de áreas de mineração, através do emprego de métodos geofísicos para aquisição e processamento de dados obtidos com ferramentas acústicas como ADCP e SVL. Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com estes equipamentos nas áreas estudadas, ou seja, no rio Jacuí e no canal São Gonçalo.

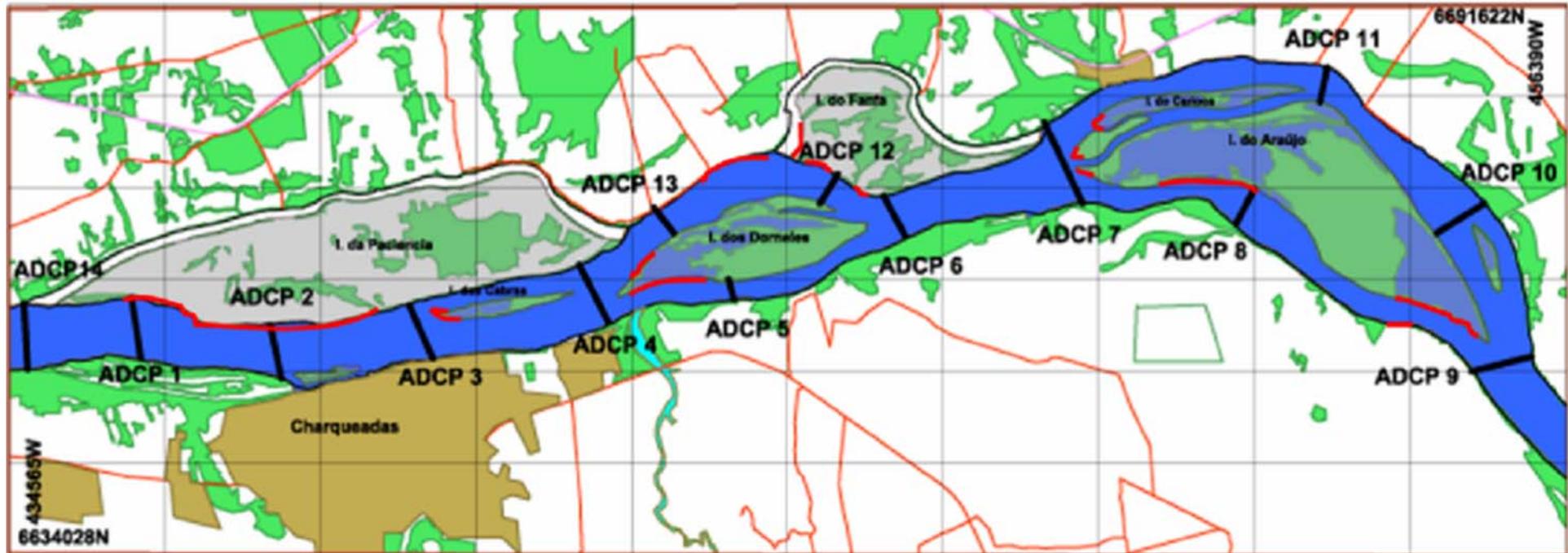
4.2 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS COM O ADCP

O rio Jacuí apresenta uma hidrodinâmica bem diversificada, caracterizando claramente períodos de cheia e normal. No período de cheia, além de receber todo o aporte de água e material em suspensão proveniente de sua bacia de drenagem, tem um agravante que é a abertura das barragens existentes a jusante, o que causa o aumento do volume de água de forma crítica em curtos períodos de tempo. Nestas ocasiões, os efeitos hidrodinâmicos são intensos, causando forte erosão das margens em pontos específicos.

A fim de avaliar os diferentes comportamentos hidrodinâmico do rio em diferentes períodos, classificados como de cheia e normal, foram realizados levantamentos em 14 secções transversais com o ADCP, ao longo do trecho em estudo, sendo a primeira localizada a montante e a última à jusante da área. O primeiro em novembro de 2008, logo após o rio ter atingido seu nível máximo naquele ano, e o segundo em fevereiro de 2009. Na Figura 4.1 são mostradas as posições dos perfis ao longo da área estudada.

Todo o trabalho de aquisição de dados nas 14 secções durante o mês de novembro de 2008, apesar da forte correnteza, foi executado em aproximadamente três horas. Salienta-se que houve condições favoráveis de vento, tanto em direção como em intensidade, sendo praticamente constantes. Da mesma forma e ainda com maior tranquilidade as 14 secções foram realizadas no dia 14 de fevereiro de 2009, porque o fluxo do rio era muito inferior ao encontrado em novembro de 2008.

RIO JACUI PERFIS ADCP



Sistema de Projeção: UTM

DATUM: SAD69 Zona: 51



Figura 4.1. Localização das secções transversais ao rio onde foram obtidos os perfis com ADCP e das coletas de água para análise de MS realizados em novembro de 2008 (cheia) e Fevereiro de 2009 (normal).

Na Tabela 4.1 são apresentadas as características das secções de ADCP realizadas nos dois períodos com condições hidrodinâmicas opostas como verificadas nas variações de nível registradas (Fig. 4.2 ab). O gráfico da Figura 4.2 (a) mostra o nível do rio (cota 2,9m) no dia 6 de novembro de 2008, quando foi realizada a coleta de dados em período de cheia. Entretanto, cabe salientar que oito dias antes (29/out./2008) foi registrada a maior cota de nível do mês (6,10m), havendo, portanto, uma redução de 3,20m neste período, mostrando como é rápido o rebaixamento do nível. Tal situação de enchente é devido à intensa e duradoura precipitação nas bacias de drenagem.

TABELA 4.1.
Perfis de ADCP obtidos em 06/11/2008 e em 14/02/2009.
Vm = Velocidade média; MS = Material em suspensão

Secção	Novembro - 2008					Fevereiro - 2009				
	Vm (cm/s)	Área (m ²)	Vazão (m ³ /s)	MS (mg/l)	Transporte Total MS ton/h	Vm (cm/s)	Área (m ²)	Vazão (m ³ /s)	MS (mg/l)	Transporte. Total MS ton/h
ADP 1	49,85	7714	3854	23	319	8,49	5258	446	10	16,1
ADP 2	69,25	5286	3660	29	382	9,75	3588	350	10	12,93
ADP 3	66,99	5296	3547	31	398	10,80	4094	442	10	15,63
ADP 4	60,94	6399	3899	33	465	9,09	4261	387	14	18,82
ADP 5	70,00	3007	2108	37	280	4,93	1475	73	8	2,07
ADP 6	136,68	5633	7699	27	748	4,97	4617	229	14	14,9
ADCP 7	50,44	9208	4645	27	458	4,55	5915	269	10	9,28
ADCP 8	61,38	3480	2136	19	143	3,9	1971	77	9	2,58
ADCP 9	62,03	8964	5561	19	376	3,71	5208	193	10	6,84
ADP 10	49,60	3849	1909	42	285	4,19	2303	97	9	3,10
ADP 11	54,11	3646	1973	-	-	6,72	2312	156	8	4,55
ADP 12	72,32	3429	2480			4,94	2638	130	9	4,31
ADP 13	69,52	3723	2588	-	-	3,49	2498	87	11	3,41
ADP 14	57,76	7218	3953	22	308	9,50	5133	488	11	19,76
Transporte médio Total					378 ton/h	9,59 ton/h				

A Figura 4.2 (b) representa o nível da água quando do segundo levantamento (14/02/2009), quando o nível do rio estava na cota de 0,8m mantendo-se em torno desta média, caracterizando um período normal. Nesta época do ano, as chuvas são esparsas e os picos

isolados observados se devem ao represamento das águas devido à ação dos ventos, quando este se encontra alinhado com o rio, mas agindo no sentido contrário ao seu fluxo natural.

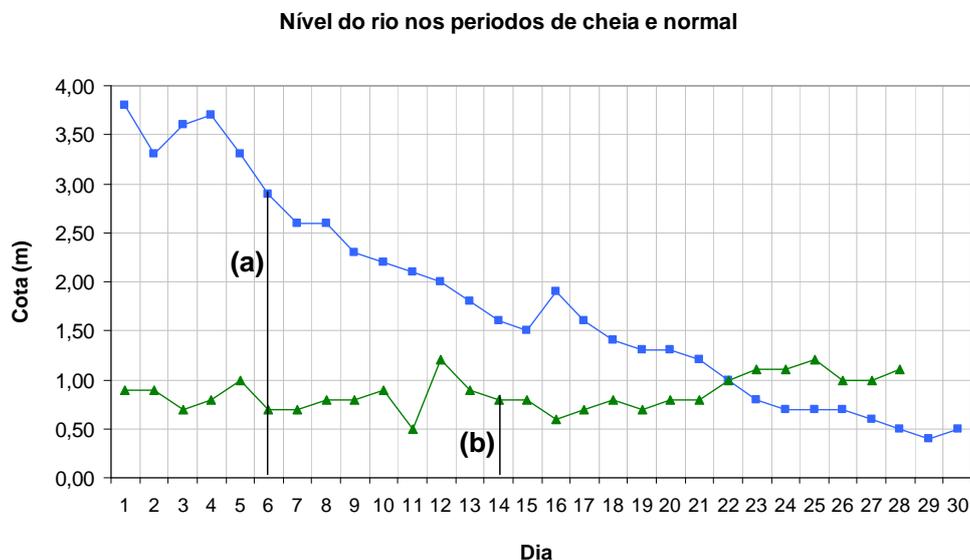


Figura 4.2 ab. Variação do nível da água, (a) 06/11/2008; (b) 14/02/2009.

As velocidades obtidas em 14 de fevereiro de 2009 mostram uma situação de quase estagnação ao longo da área estudada com apenas alguns perfis apresentando velocidades próximas a 10 cm/s, ao contrário do observado em 06 de Novembro de 2008 quando os valores médios foram da ordem de 60 cm/s. Considerando que o total médio transportado na enchente em novembro 2008 (378 ton/h) seja o máximo ou 100%, o total médio transportado em situação normal em fevereiro de 2009 (9,59 ton/h) representa 2,54%. Isto mostra a importância dos períodos de cheia no transporte de material no rio Jacuí. Neste período, o material é transportado para jusante e no período normal, além da pequena quantidade em suspensão, em média 10,27 mg/l, a fraca ou quase inexistência de corrente, faz com que o material colocado em suspensão deposite no mesmo local ou próximo a este. Nestas situações, o material removido e colocado em suspensão pela atividade de dragagem, deve permanecer próximo da draga em operação ou no seu entorno. Portanto, considera-se que estes sejam os períodos ideais para dragagem, tanto com dragas do tipo *Beaver* (fixas) como do tipo *Hoper* (autocarregáveis).

4.2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A DINÂMICA DA ÁREA

Tendo por base as informações obtidas nos dois períodos amostrados, verifica-se a grande variação no nível do rio com implicações no seu comportamento hidrodinâmico. A cota

de 3,9 m, medida na régua oficial do Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes - DNIT, representa um período de enchente, quando o rio extravasa sua “caixa” com inundação das ilhas e margens. As fotos georreferenciadas da Figura 4.3 mostram depósitos recentes de lama após o retorno do rio ao seu leito natural. Nesta ocasião, o rio encontrava-se acima do nível normal.



Figura 4.3. (a) Cais da SOMAR e a ocorrência dos depósitos de sedimentos; (b) gretas de contração; (c) depósito recente de lama no degrau do pier.

O intenso fluxo é um fator condicionante no transporte de sedimento da bacia de drenagem e das margens do rio para o rio Guaíba, laguna dos Patos e oceano Atlântico. Deve-se também considerar que a suscetibilidade dos solos locais   erosão fluvial e/ou superficial, está relacionada à sua baixa capacidade de resistir à a o das forç s trativas das correntezas do rio. Por outro lado, estes tipos de margens (solos areno-argilosos) que ocorrem na maior parte da área, são susceptíveis   erosão interna, que se deve a baixa capacidade da estrutura porosa dos solos de resistirem   a o das forç s de percolação, provocadas por infiltrações das águas superficiais, quando do rebaixamento rápido do nível do rio. Outro aspecto importante está relacionado ao intenso uso do solo para agricultura que, em alguns pontos, devido à inexistência de mata ciliar, se d  quase que junto à margem. No período normal a situação é oposta quando praticamente não existe transporte de sedimento e nenhuma erosão da margem.

Os resultados das vazões para cada uma das seções em ambos os períodos amostrados pode ser visto na Figura 4.4. Com relação ao material em suspensão transportado é evidente a diferenç  de concentração entre os dois períodos para cada seção, como mostrado na Figura

4.5ab.

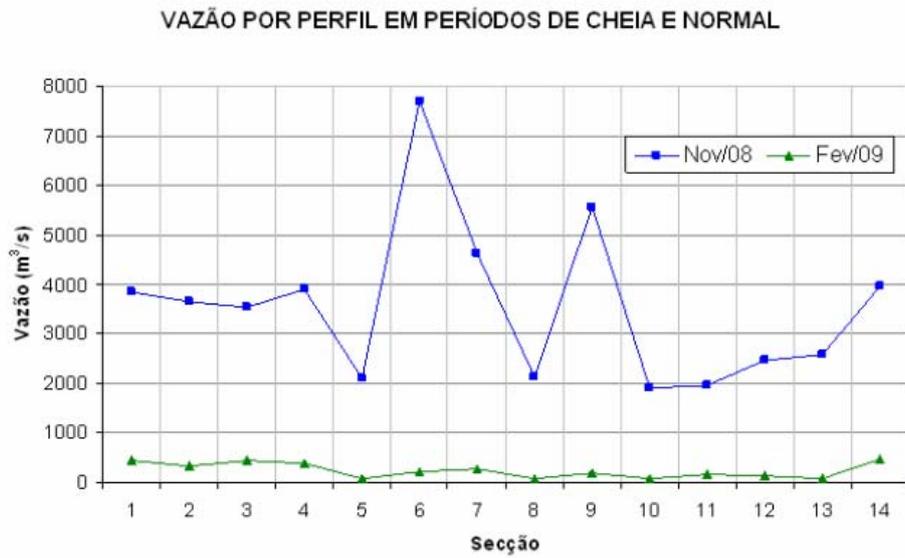


Figura 4.4. Vazão estimada pelo ADCP para cada secção, para os períodos de cheia e normal.

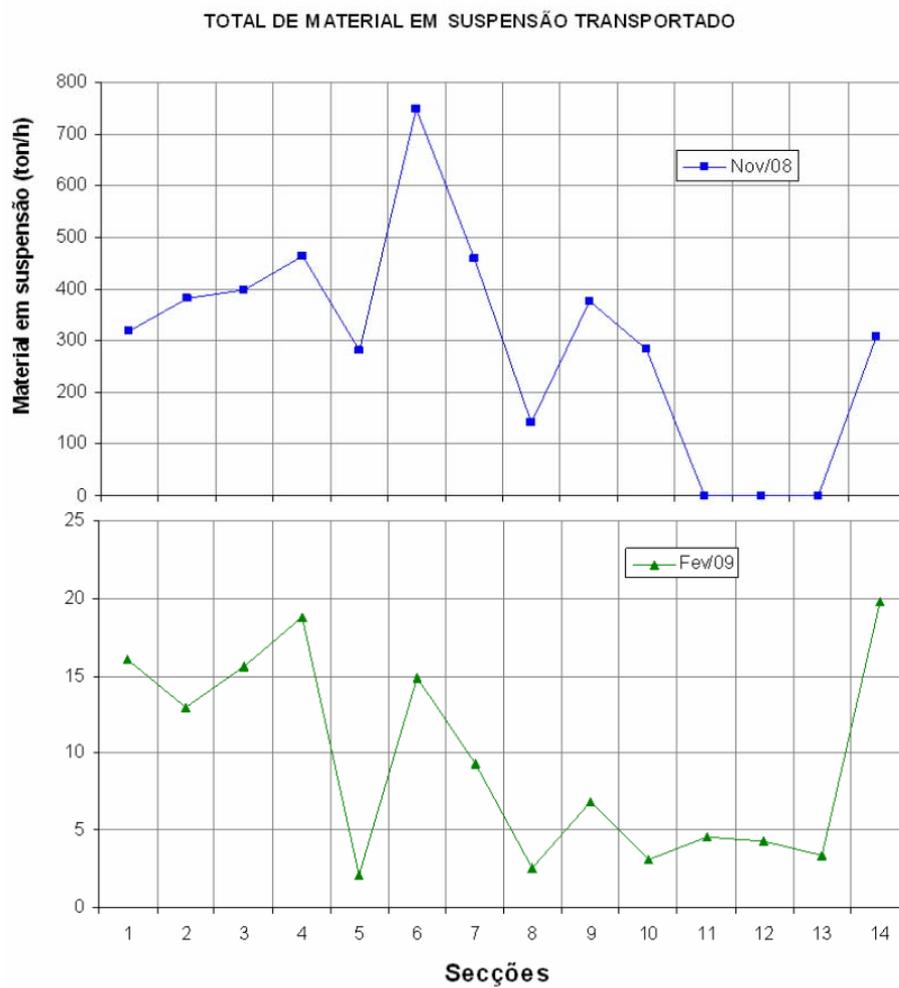


Figura 4.5ab. Transporte de MS para cada secção. (a) período de cheia; (b) período normal.

Considerando todas as secções com dados de MS, estima-se que 378 ton/h, em média, estavam transitando em suspensão na área no período de cheia. No período normal, este valor cai para 9,6 ton/h de material, em média (Tab. 4.1). A Figura 4.5ab mostra a quantidade de material em suspensão transportado durante os períodos de cheia e normal. Nos perfis 11, 12 e 13 do período de cheia não foram coletadas amostras de MS.

4.2.2 ANÁLISE DOS PERFIS ADCP.

Os 14 perfis distribuídos ao longo da área de estudo são mostrados, a fim de identificar variações de velocidade e, conseqüentemente, a vazão de água para o período de enchente e normal. Na Figura 4.6 (ab) é mostrado o perfil 14, com o perfil superior relacionado ao levantamento de Fevereiro de 2009, e o inferior com o de Novembro de 2008.

Cada perfil é plotado com os dados de profundidade e largura do rio e a escala de cores à direita mostra a variação das velocidades obtidas em centímetros por segundo para cada célula pré-definida pelo ADCP, que quando multiplicadas pelas respectivas áreas dão a vazão por célula. As diferenças na configuração do fundo são causadas pela diferença de posicionamento dos perfis para as épocas distintas, principalmente devido às altas velocidades de corrente registradas no período de cheia, tornando a navegabilidade difícil e perigosa. Nestas ocasiões são comuns o deslocamento a deriva de objetos com dimensões maiores que a embarcação utilizada. Apesar do constante fluxo de embarcações, não houve problemas quanto ao deslocamento transversal ao rio, já que o tempo de perfilagem em cada secção foi bastante reduzido. Todos os perfis feitos em Fevereiro, começaram pela margem direita do rio (MD). Em função das dificuldades encontradas na navegação em Novembro de 2008, alguns perfis começaram pela margem esquerda (ME) e outros pela margem direita (MD), evitando assim deslocamentos adicionais em condições adversas.

O perfil ADCP 14 foi o último a ser perfilado, mas aqui é o primeiro apresentado em virtude de estar localizado a montante da área estudada. Neste local o rio tem largura em torno de 700 m e profundidade de 7,5 m na sua parte central. Em Fevereiro de 2009 os maiores valores de velocidade, em torno de 15 cm/s, foram registrados na parte central do rio. Os valores apresentados na Tabela 1 são as médias de todas as células que compõem cada secção transversal. Na Figura 4.6b são identificadas duas áreas de velocidades máximas, uma localizada na parte central do rio e outra a 200m da sua margem direita, ambos com registro de velocidades

de 80 cm/s.

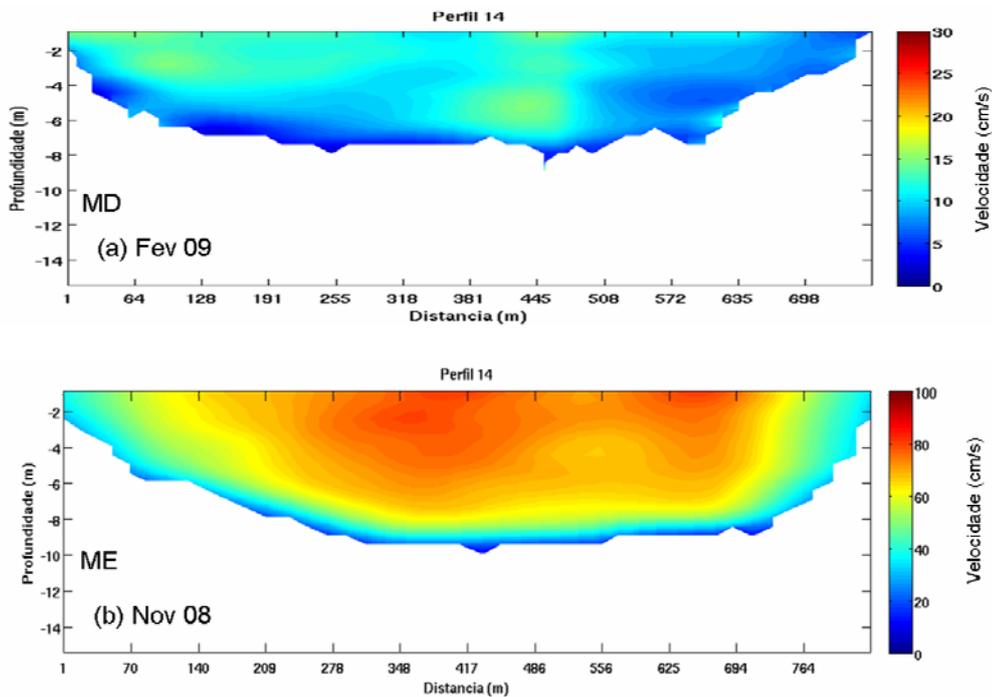


Figura 4.6ab – Perfis de ADCP da secção 14, com valores de profundidade (m), largura do rio (m) e escala de cores à direita representando os valores de velocidade (cm/s). (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.

Os perfis ADCP 1 apresenta um padrão de distribuição de velocidades semelhante ao do perfil ADCP 14, para os dois períodos analisados, normal e cheia, mantendo inclusive as duas áreas de velocidades máximas próximas à superfície (Fig. 4.7ab).

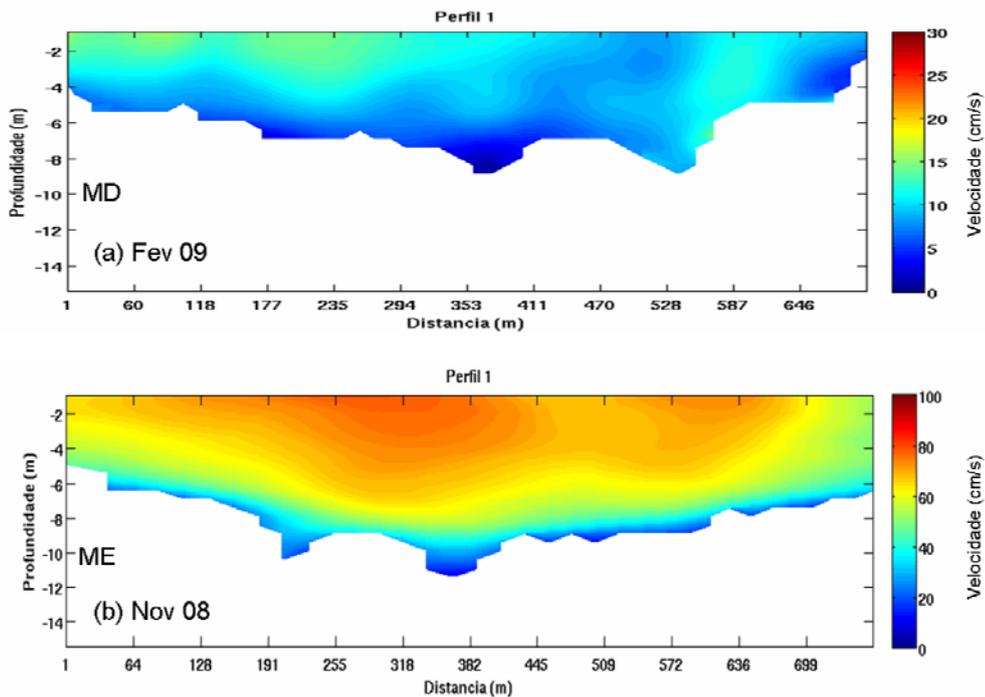


Figura 4.7ab – Perfil ADCP 1. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.

O perfil ADCP 2 está localizado entre a ilha da Paciência e a zona urbana do município de Charqueadas, num trecho onde o rio apresenta menor profundidade do que os perfis anteriores. Pode-se observar na Figura 4.8ab que neste trecho, os valores de velocidades registrados se situam próximos a 100 cm/s em quase toda a secção transversal. Este aumento nas velocidades se justifica em função da largura do rio ser praticamente a mesma neste trecho, e o volume de água também ser o mesmo do perfil anterior.

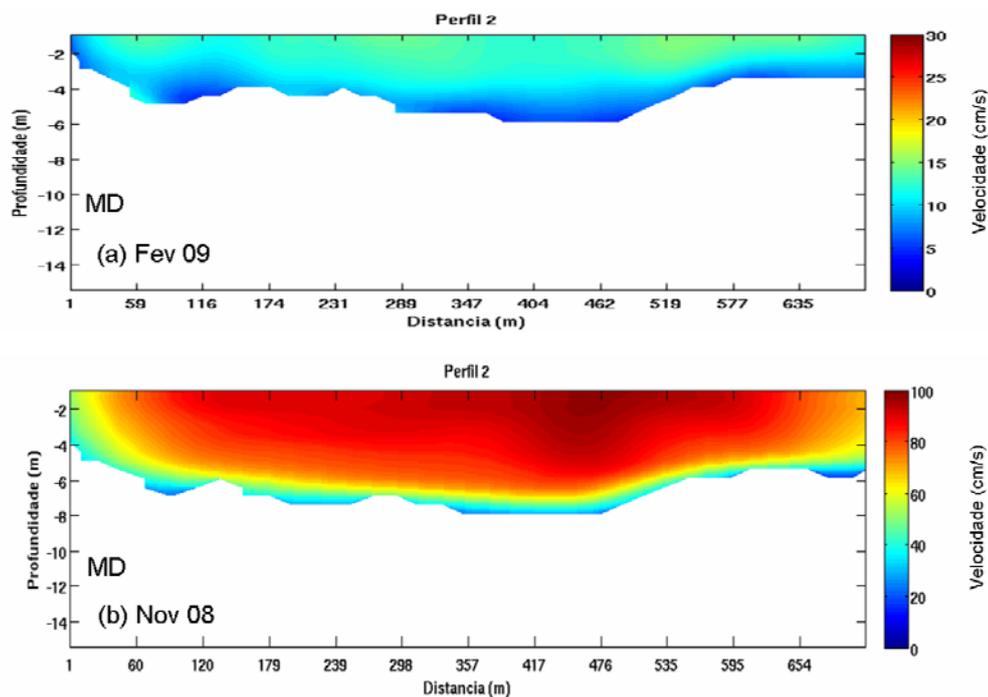


Figura 4.8ab – Perfil ADCP 2. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.

O perfil da secção ADCP 3, localizado a montante da ilha das Cabras, apresenta os valores de velocidades mais elevados para o período normal, como é mostrado na Figura 4.9ab, ultrapassando na parte central do canal de navegação, a velocidade de 20 cm/s. No trecho localizado à esquerda desta ilha, a velocidade observada é praticamente nula.

No perfil relativo ao período de cheia (Fig. 4.9b), os valores de velocidades se aproximaram dos 100 cm/s. Uma lâmina de água adicional de 2 m em relação ao período anterior justifica esse aumento significativo nos valores de velocidade naquele trecho do rio, já que a cota registrada neste dia foi de 2,80m. Nos demais perfis, as variações mais significativas observadas no período normal, ocorrem próximas à superfície e sempre na região do canal de navegação, tendo o vento como seu principal agente.

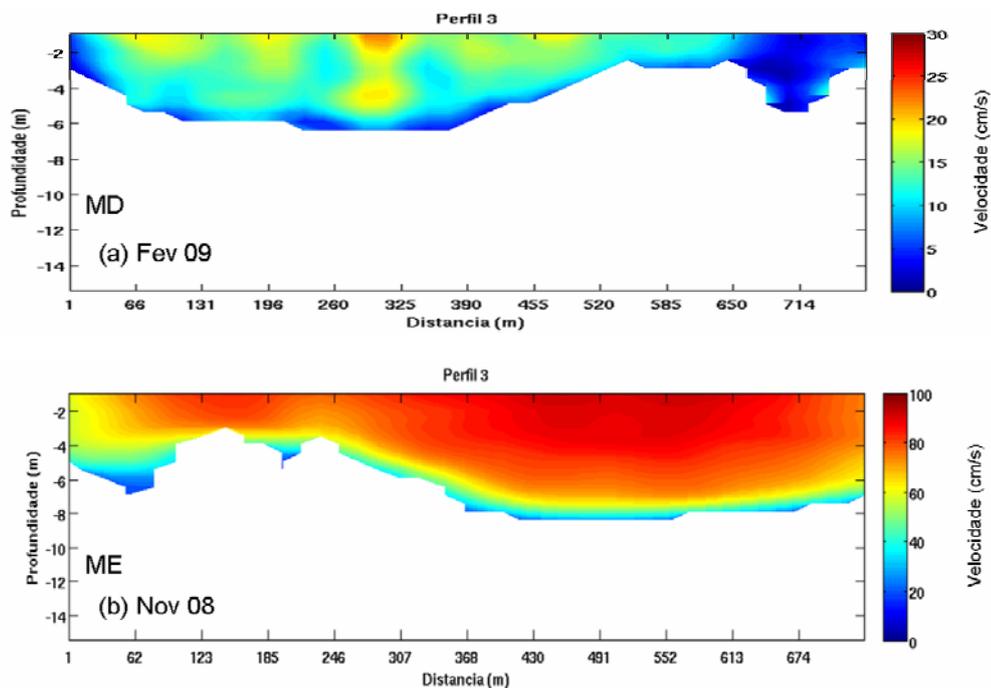


Figura 4.9ab – Perfil ADCP 3, a montante da ilha das Cabras. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.

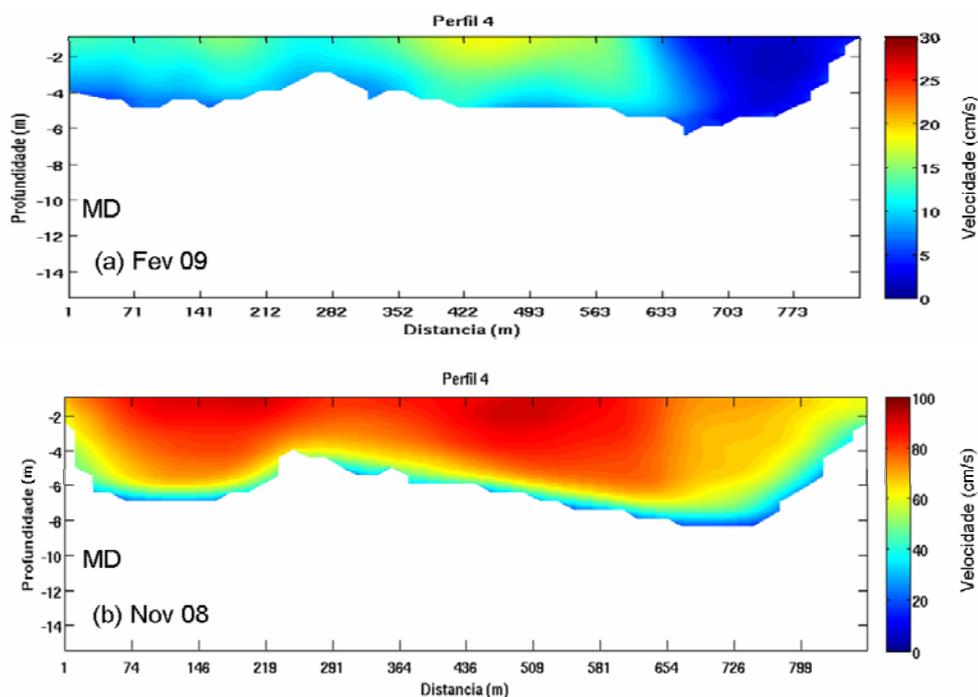


Figura 4.10ab – Perfil ADCP 4, a montante da ilha dos Dorneles. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.

A Figura 4.10ab, apresenta o perfil ADCP 4, localizado entre a ilha das Cabras e a ilha dos Dorneles, num trecho do rio onde sua largura supera os 800 m. Os valores de velocidades de correntes apresentados se assemelham aos do perfil anterior, com pequena redução na área próxima a margem esquerda.

No entorno da ilha dos Dorneles foram obtidos os perfis ADCP 13, ADCP 5 e ADCP 12, apresentados respectivamente nas Figuras 4.11ab, 4.12ab e 4.13ab.

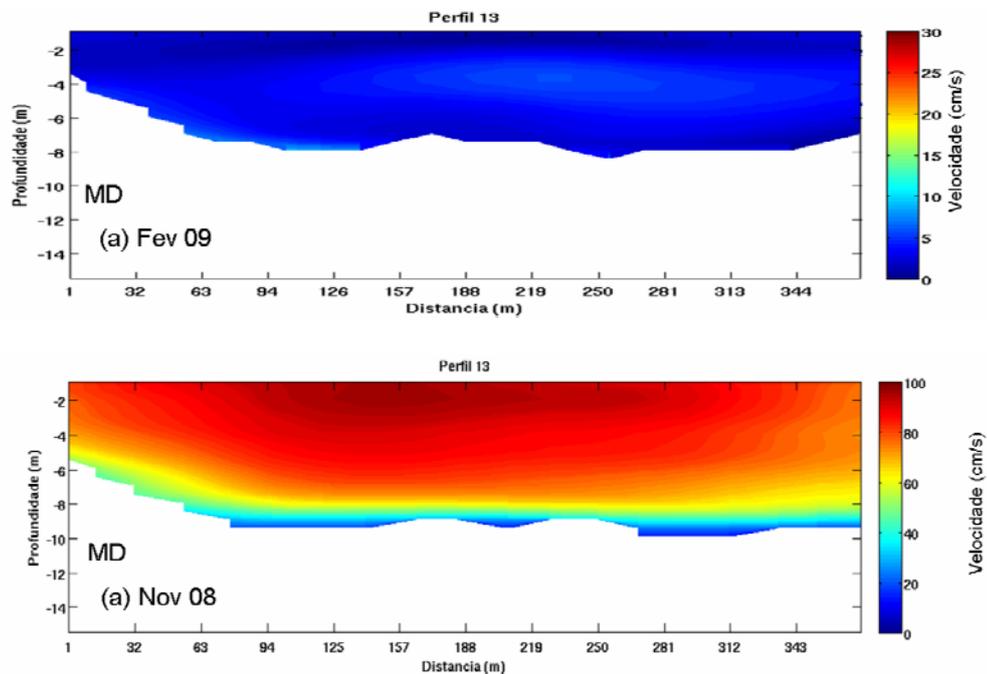


Figura 4.11ab – Perfil ADCP 13, entre a ilha dos Dorneles e o município de Triunfo. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.

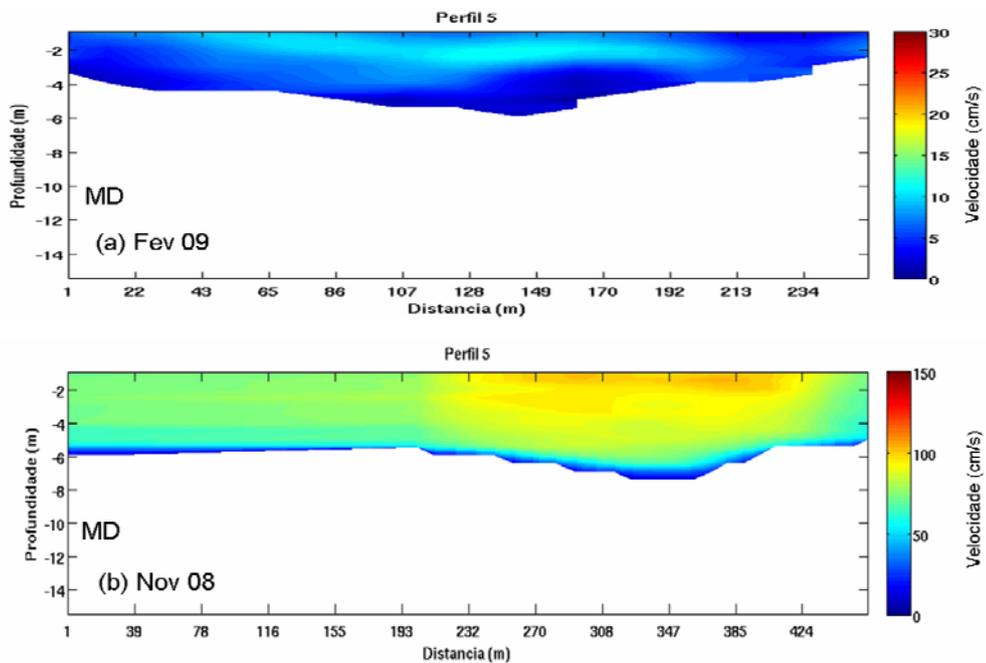


Figura 4.12ab – Perfil ADCP 5, à direita da ilha dos Dornelles. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.

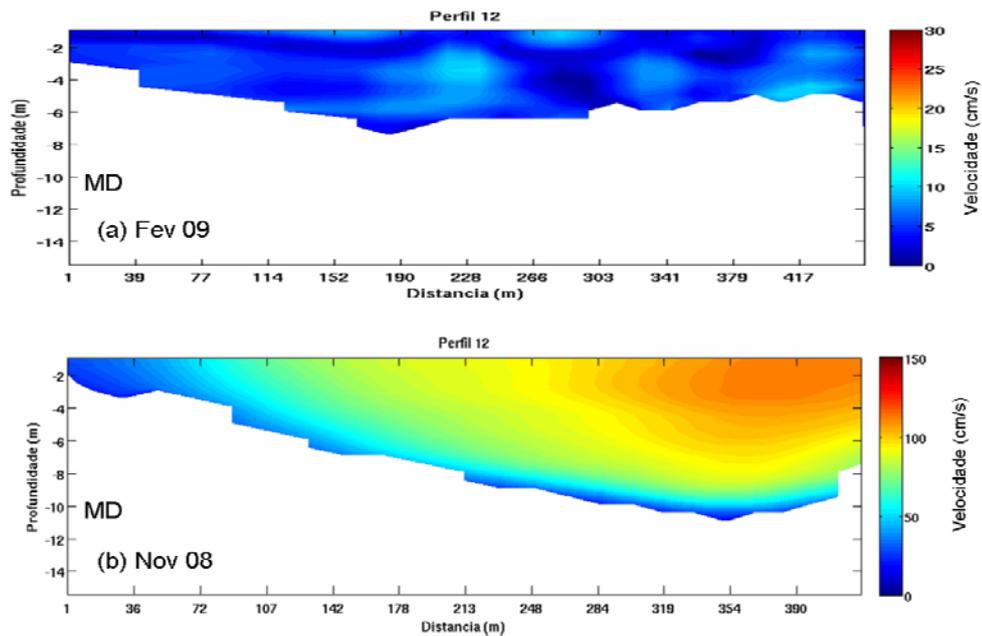


Figura 4.13ab – Perfil ADCP 12, a esquerda da ilha dos Dornelles. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.

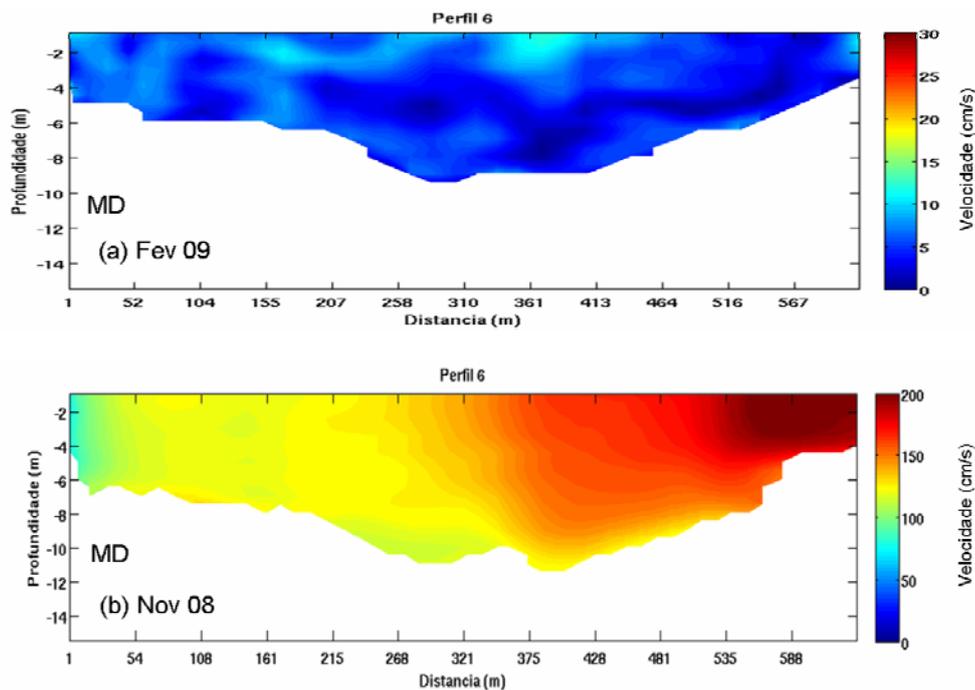


Figura 4.14ab – Perfil ADCP 6, a jusante da ilha dos Dorneles. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.

Na margem esquerda do rio, durante o período de cheia foram registrados os maiores valores de velocidade de corrente, chegando a 200 cm/s, como mostra o perfil ADCP 6 da Figura 4.14b. Os perfis ADCP 12 e ADCP 5 localizados, respectivamente à esquerda e à direita da ilha dos Dornelles (Fig. 4.1), não apresentam valores tão elevados, mas que combinados viabilizam as velocidades apresentadas no perfil ADCP 6, em função da morfologia do rio e da divisão do

fluxo causado pela ilha, a montante deste perfil. Observa-se que, mesmo próximo ao fundo as velocidades medidas superam a marca dos 100 cm/s. Valores desta ordem viabilizam não só o transporte de material em suspensão, mas também sedimentos com dimensões da ordem de grânulos por arraste e saltação, favorecendo a ocorrência de reposição do material dragado (Hjulström, 1939).

A velocidade da água na margem esquerda do perfil ADCP 12 (Fig. 4.13b), ultrapassa os 100 cm/s, enquanto que no perfil ADCP 5 (Fig. 4.12b) as velocidades registradas são menores, ficando em torno de 80 cm/s junto à margem. Neste perfil, as velocidades maiores são encontradas no canal de navegação. Quando estas águas se encontram a jusante da ilha dos Dornelles, a porção de água proveniente do lado esquerdo do rio é forçada a passar por uma área menor, devido a presença da massa de água com menor velocidade vindo do lado direito da ilha e como consequência ocorre aumento de velocidade registrado na margem esquerda do perfil ADCP 6.

A Figura 4.15ab mostra o perfil ADCP 7, obtido no trecho mais largo do rio, com mais de 1200 m. Destaque para a redução das velocidades de correntes neste trecho e também para elevação de fundo registrada próximo às ilhas.

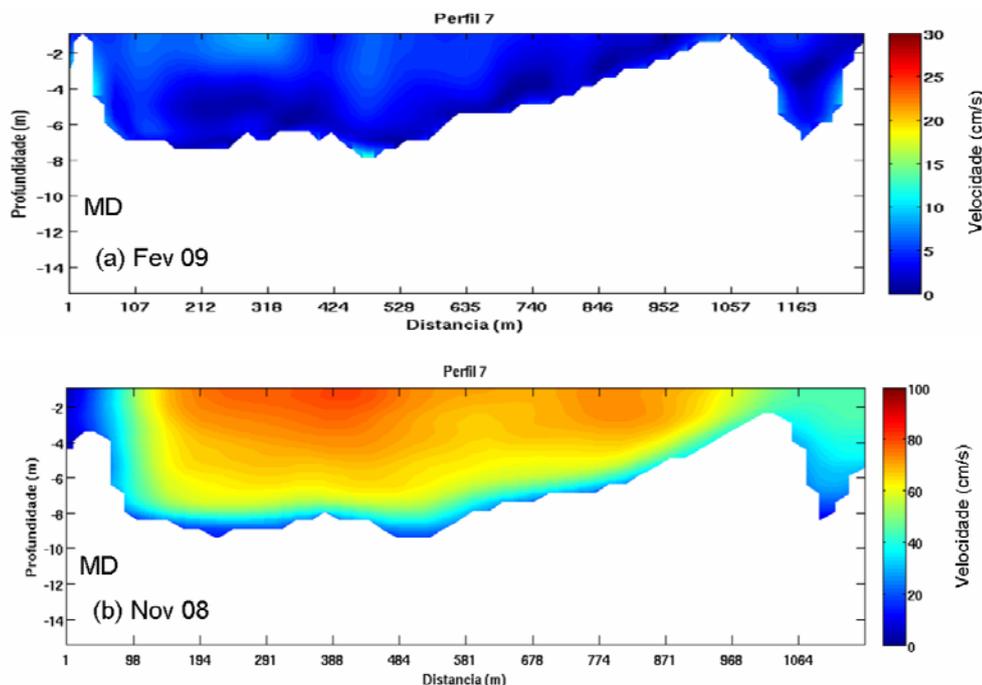


Figura 4.15ab – Perfil ADCP 7, a montante da ilha do Araújo. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.

O perfil ADCP 8 (Fig. 4.16ab) foi obtido entre a ilha do Araújo e a margem do rio no município de Charqueadas. Os perfis ADCP 10 e ADCP 11, apresentados nas Figuras 4.17ab e 4.18ab foram obtidos entre esta mesma ilha e a margem do rio no município de Triunfo.

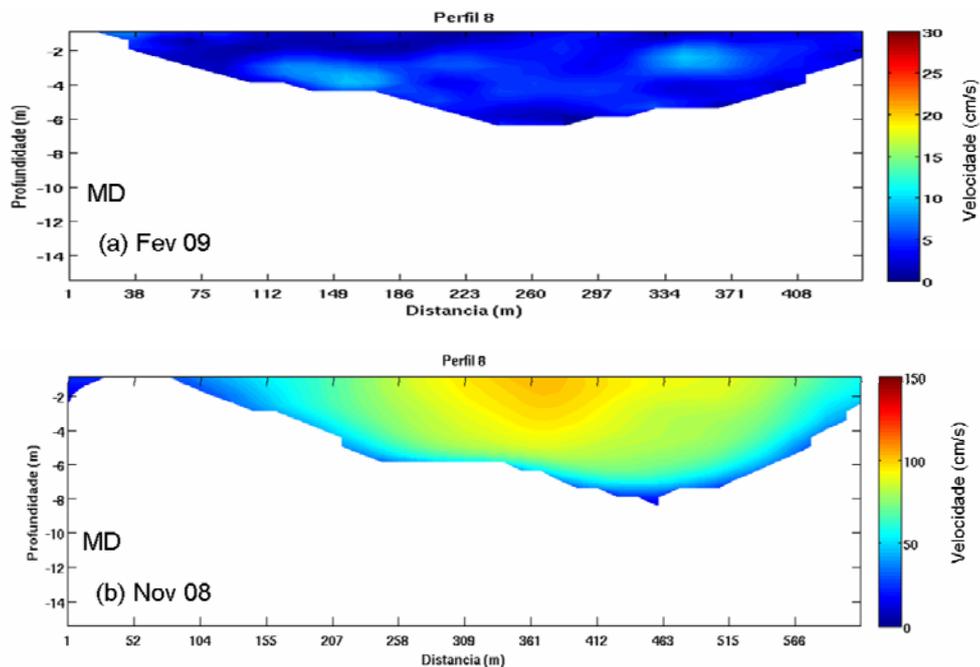


Figura 4.16ab – Perfil ADCP 8, entre a ilha do Araújo e a margem do rio no município de Charqueadas. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.

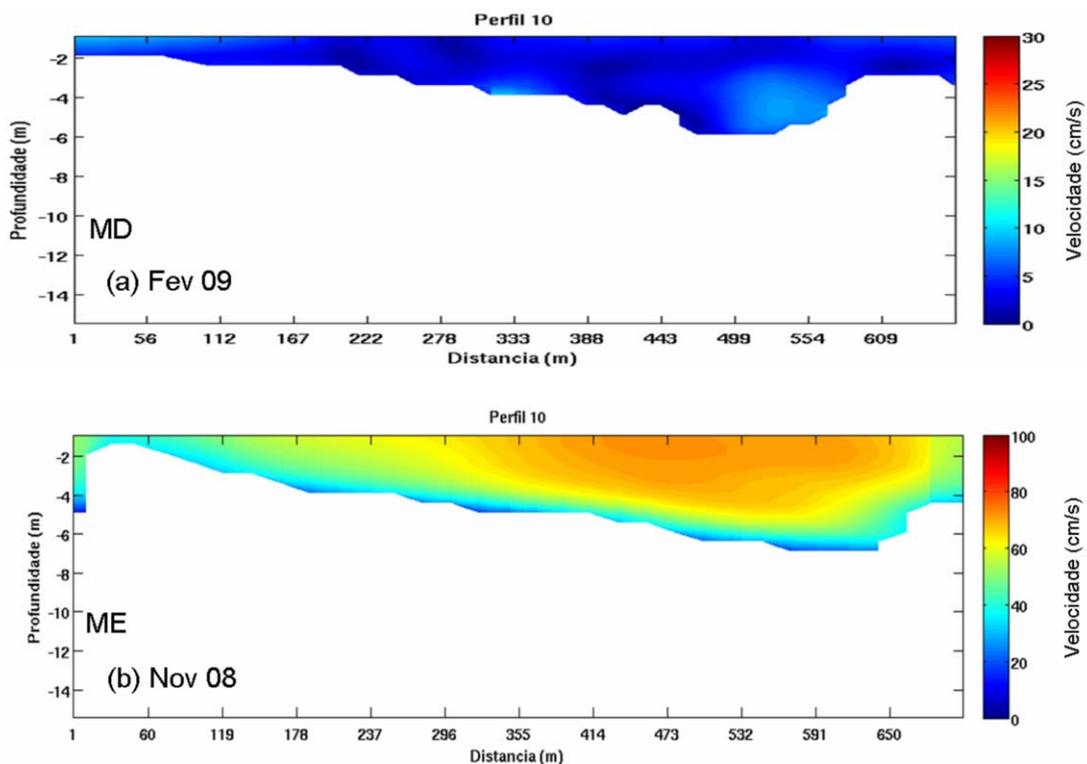


Figura 4.17ab – Perfil ADCP 10, entre a ilha do Araújo e a margem do rio no município de Triunfo. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.

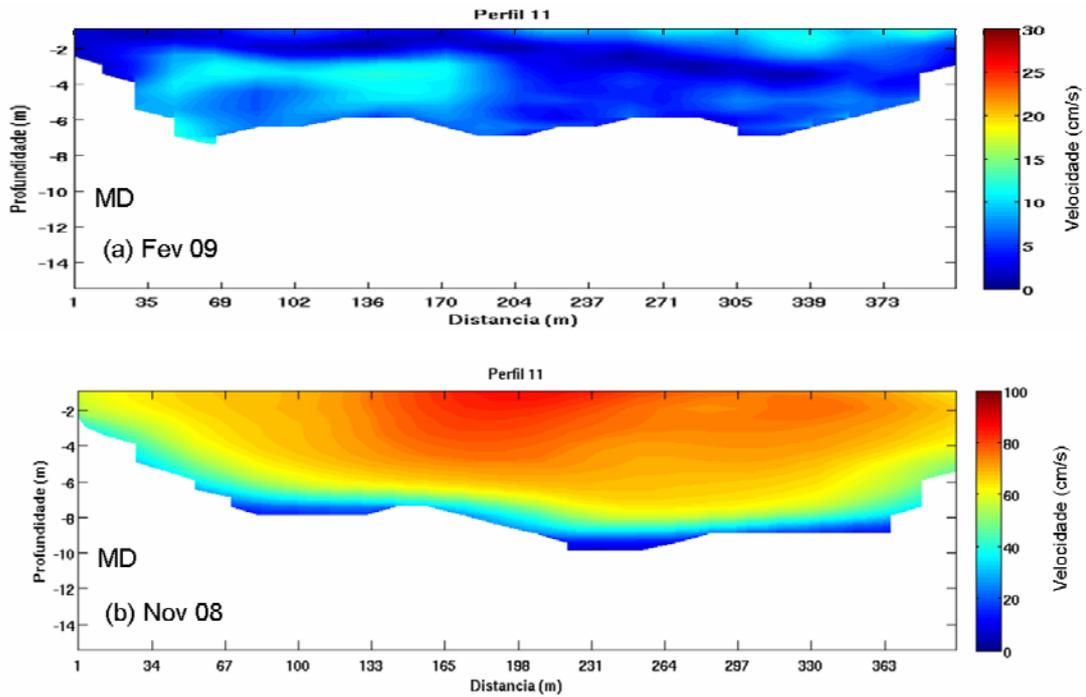


Figura 4.18ab – Perfil ADCP 11, entre a ilha do Araújo e a margem do rio no município de Triunfo. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.

O perfil ADCP 9 está localizado a jusante da ilha do Araújo, no fim da área de concessão da empresa Somar (Fig. 4.19ab). Destaque para a elevação de fundo apresentada no perfil de Fevereiro, quando o nível da água estava abaixo de um metro e o barco passou bem próximo à ponta da ilha do Araújo.

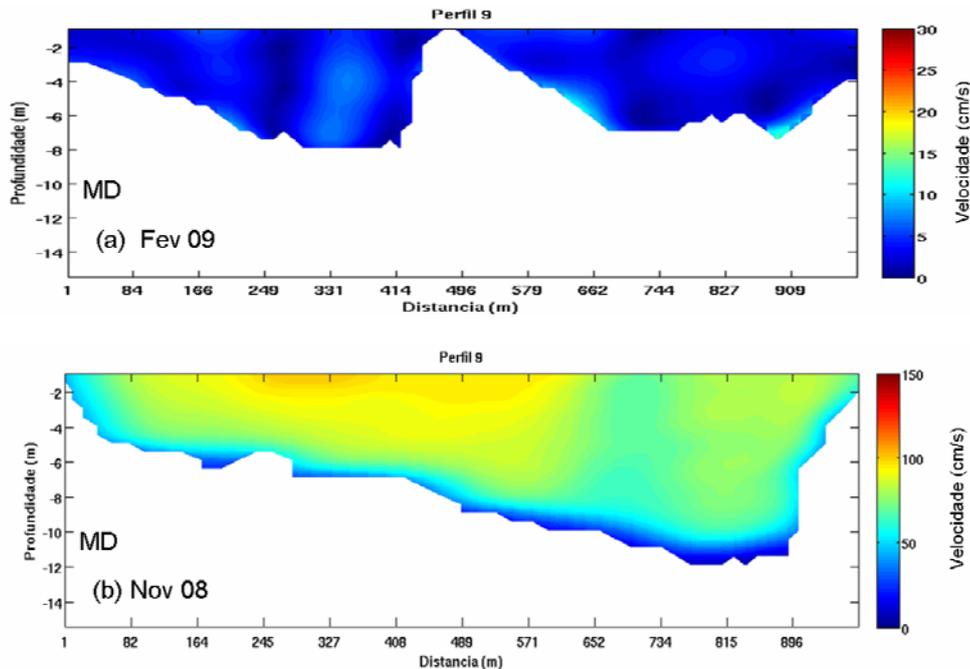


Figura 4.19ab – Perfil ADCP 9, a jusante da ilha do Araújo. (a) Fevereiro de 2009; (b) Novembro de 2008.

4.3 ANÁLISE DAS IMAGENS OBTIDAS COM O SONAR DE VARREDURA LATERAL

Neste trabalho foram utilizadas imagens de fundo geradas pelo sonar de varredura lateral em duas regiões distintas, onde são realizadas operações de dragagem para extração de areia quartzosa. A primeira no rio Jacuí, no município de Charqueadas, em área de lavra concedida à empresa Sociedade Mineradora Ltda, e a segunda no canal São Gonçalo na divisa dos municípios de Rio Grande e Pelotas. Nesta última, foram imageados dois trechos, sendo um na área próxima ao porto de Pelotas e o outro começando logo após a ponte rodoviária e se estendendo até a ilha da Brigadeira. O trecho da área portuária já foi submetido à dragagem em anos anteriores, para retirada de sedimentos acumulados no canal de acesso ao porto. Já o trecho seguinte, é de concessão da empresa Areal Baronesa no município de Capão do Leão.

Os sonogramas obtidos serviram tanto para identificar as formas de fundo causadas pela ação das forças da natureza como aquelas produzidas através de intervenções antrópicas. São claras as cicatrizes deixadas pelos processos de dragagem, permitindo inclusive definir qual tipo de dragagem utilizada (corte ou sucção). Feições naturais como *ondulações de fundo*, em diferentes escalas, são claramente percebidas, permitindo identificar comportamentos hidrodinâmicos variados relativos a períodos de alta descarga.

4.3.1 CLASSIFICAÇÃO DAS FEIÇÕES SUBMERSAS

As feições submersas de grande escala, podem ser associadas quanto ao seu tamanho e forma, aos processos hidrodinâmicos que as geraram. Feições submersas de pequena escala relacionadas aos deslocamentos da água sobre a superfície de fundo em períodos de curta duração, são conhecidas como *ripple marks* (marcas onduladas). Quando as feições possuem comprimento e altura maiores do que as anteriores, são chamadas de feições de grande escala, podendo ser classificadas como *megaripples* (mega ondulações), *sand waves* (ondas de areia) e *dunes subaqueous* (dunas submersas).

Segundo Gorsline & Swift (1977) in Paolo & Mahiques (2008), pode-se usar a razão L/H, chamada índice de forma vertical, a fim de considerar o tamanho de uma feição como sendo a relação entre seu comprimento e sua altura. Desta forma, os autores subdividem as feições de grande escala da seguinte maneira:

- para $L/H < 20$: megaondulações (feições submersas pequenas e médias);
- para $L/H > 20$: ondas de areia (feições submersas grandes a muito grandes).

Ashley (1990), propôs uma forma de classificar estas feições atribuindo um termo genérico *duna* e estabelecendo uma hierarquia entre seus principais descritores morfológicos. A Tabela 4.2 apresenta essa classificação.

TABELA 4.2.
Classificação das dunas proposta por Ashley (1990)

Descritores de primeira ordem				
Tamanho	Pequeno	Médio	Grande	Muito grande
Comprimento de onda	0,6m a 5,0m	5m a 10m	10m a 100m	> 100m
Altura	0,075m a 0,4m	0,4m a 0,75m	0,75m a 5m	> 5m
Forma	Bi dimensional			
	Tri dimensional			
Descritores de segunda ordem (importante)				
Superposição: simples ou composta				
Características dos sedimentos (tipo e granulometria)				
Descritores de terceira ordem (úteis)				
Perfil da forma de fundo (comprimento das inclinações e ângulos das faces)				
Disposição (Área do leito coberto pelas formas de fundo)				
Estrutura do fluxo (características de velocidade-tempo)				
Intensidade relativa dos fluxos opostos				
Evolução temporal das dunas (vertical e horizontal)				

4.3.2 LEVANTAMENTO SONOGRÁFICO DO RIO JACUÍ

O leito do rio Jacuí é constituído na sua maior parte por areias que são mineradas regularmente há muito tempo por meio de dragas de rosário e de sucção e o bem mineral levado por barcaças para comercialização na região da grande Porto Alegre.

O transporte de material pelo fluxo do rio tem as barragens existentes ao longo do mesmo como uma armadilha de sedimentos. Estas barreiras afetam o curso normal do rio e por consequência dos materiais transportados em suspensão e principalmente junto ao fundo. Somente quando da abertura das comportas, que ocorre em períodos de alta vazão é que os sedimentos aprisionados pelo barramento são levados rio abaixo, sendo os mais grossos num percurso mais curto e os mais finos levados para o rio Guaíba e laguna dos Patos, onde se depositam em condições favoráveis. Dos finos em suspensão 85% é constituída pela classe silte, 10% pela classe argila e somente 5% pela classe areia, como mostrado em estudo realizado por Hartmann (1996), na região sul da laguna dos Patos. A Figura 4.20 apresenta o mosaico das imagens do sonar de varredura lateral num trecho do rio Jacui dentro da área estudada.

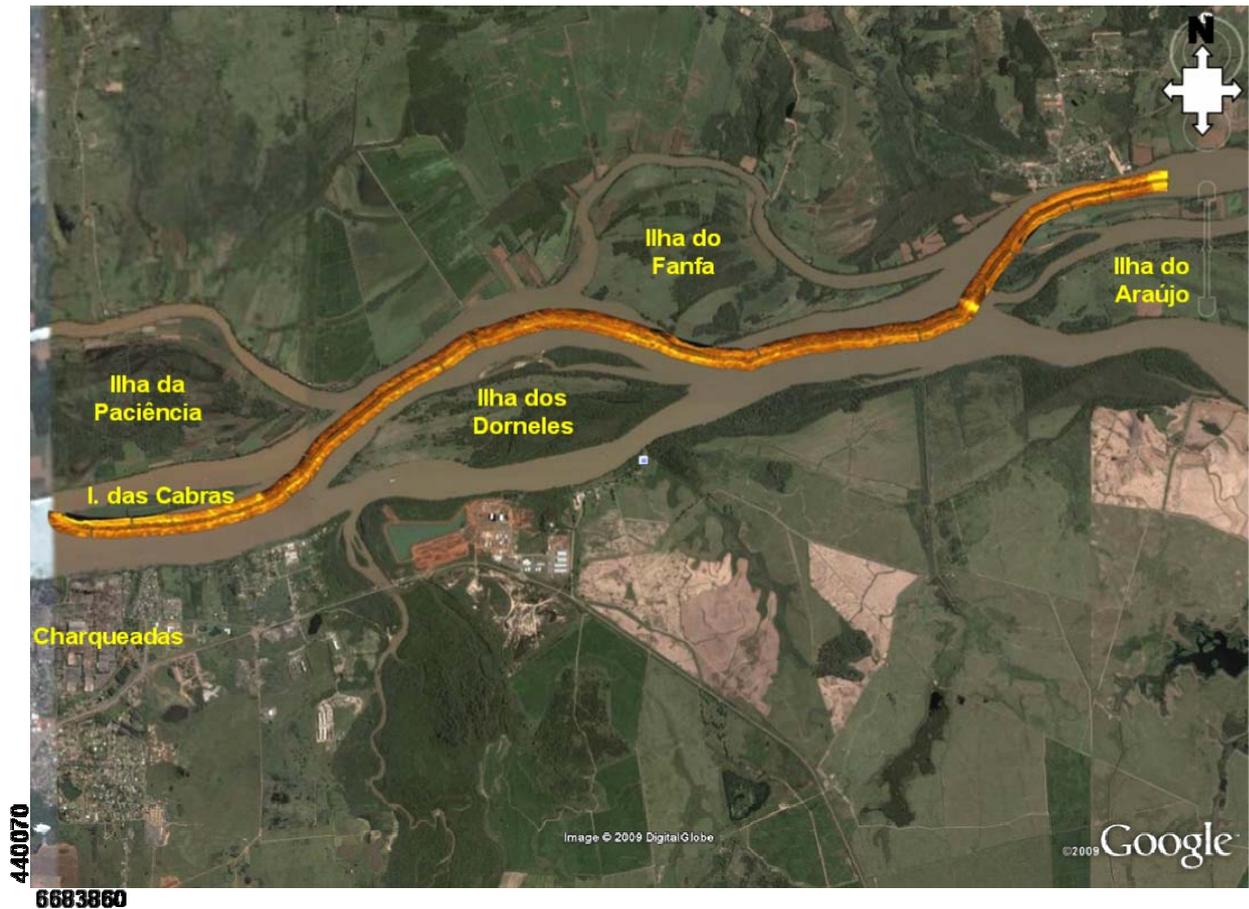


Figura 4.20. Mosaico das imagens obtidas com o sonar de varredura lateral num trecho do rio Jacui, dentro da área estudada.

Os dados obtidos de velocidade de corrente em períodos de enchente indicam que a corrente tem capacidade para erodir e ao mesmo tempo transportar granulometria desde finos (siltes e argilas) até grânulos.

Uma superfície arenosa exposta a corrente aquosa entra em movimento quando a corrente alcança velocidade suficiente para arrastar algumas partículas e, em certas velocidades, formam-se marcas na superfície em movimento. Este processo tem como princípio que uma superfície ondulada de contato entre um fluido em movimento e um sedimento oferece mínimo atrito para certas velocidades. Abaixo de determinada velocidade a corrente é incapaz de movimentar os detritos.

Hjulstrom (1939) relaciona o transporte dos sedimentos e o mecanismo de transporte dos sedimentos de+ fundo em correntes fluviais com a formação de marcas onduladas. Este autor estabeleceu um gráfico (Fig. 4.21) que relaciona os fenômenos de erosão, transporte e deposição com a velocidade da corrente e granulação dos sedimentos envolvidos.

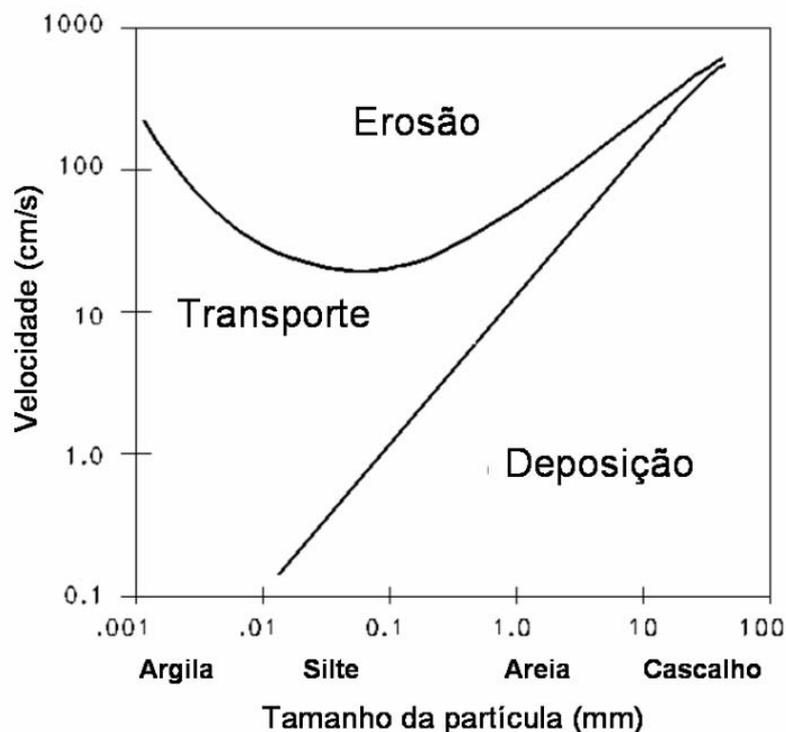


Figura 4.21. Curvas aproximadas para erosão e deposição de material uniforme em relação à granulação e a velocidade. Modificado de Hjulstrom (1939).

As imagens obtidas com o sonar de varredura lateral possibilitam a identificação desses diferentes regimes hidrodinâmicos aos quais o rio foi submetido.

A Figura 4.22 mostra claramente ondulações de diferentes escalas que representam diferentes processos de deposição e moldagem.

O deslocamento do peixe (sonar) foi realizado subindo o rio (Porto Alegre – Charqueadas), em sentido contrário ao da corrente. Na imagem 003 observa-se a orientação das dunas grandes (Ashley, 1990) com uma área mais clara representando maior refletividade do sinal acústico, seguido por uma zona mais curta de sombra acústica, representando sua interrupção. Esta é a forma característica desse tipo de feição representado no detalhe (1) da Figura 4.22.

Na imagem 007 (Fig. 4.22), os registros mostram claramente a reposição de material. Esta região foi submetida a intensos processos anteriores de dragagem que, pelas características apresentadas, foram executados com dragas de corte. As manchas escuras sobre o fundo mais claro mostram a reposição de sedimentos sobre as cicatrizes deixadas pelas dragas. No detalhe (3), a mancha mais clara é provocada por alguma feição de fundo que bloqueou o sedimento

naquele ponto. Observa-se que logo a seguir a mancha desaparece, causando o efeito chamado de marca de cometa. Este tipo de registro dá com clareza, a direção e sentido das correntes.

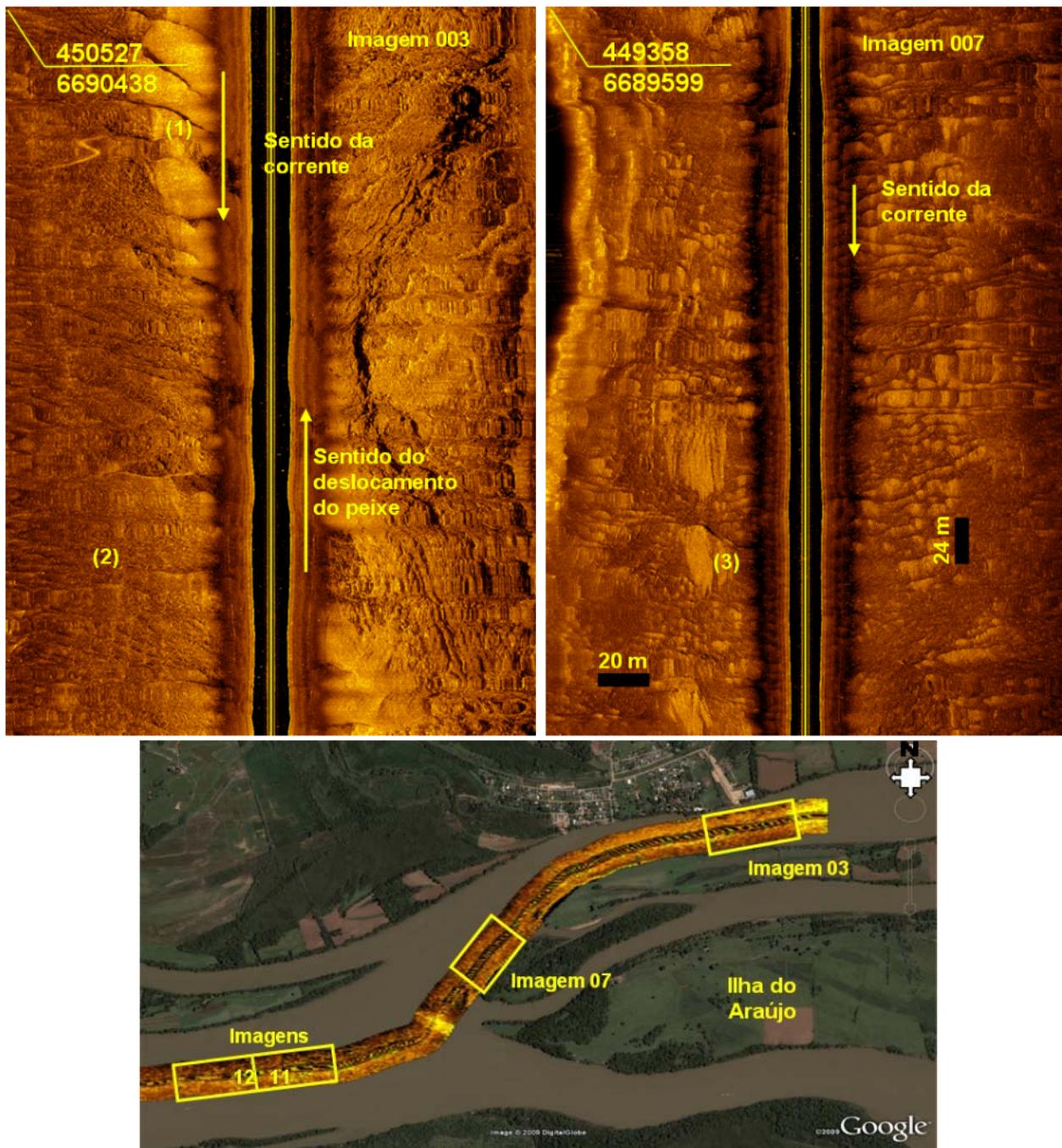


Figura 4.22. (1) *Ondulações de fundo* (dunas grandes) mostrando a direção da corrente num evento de alta descarga; (2) ondulações menores (dunas pequenas), mas com a mesma orientação das maiores; (3) registro mostrando a reposição de material com efeito característico denominado marca de cometa.

A Figura 4.23 traz as imagens 011 e 012, representando os sonogramas de mesma numeração, com detalhes bastante interessantes, como os mostrados em (1a) e (1b), causados pela ação de dragas de sucção.

No detalhe (2) observa-se o mesmo efeito já comentado no parágrafo anterior, sendo que neste caso, um buraco funcionando como armadilha interrompe o arraste de sedimentos. Da mesma forma no detalhe (4), este efeito se repete, só que agora o bloqueio é causado por uma depressão superficial posicionada transversalmente ao sentido da corrente, com destaque para uma saliência posicionada na parte central da feição, identificada pelo alongamento da mancha mais clara que neste caso se aproxima dos 40 m. Em (3) se repetem as ondulações (dunas pequenas) formadas pela nova camada de sedimentos.

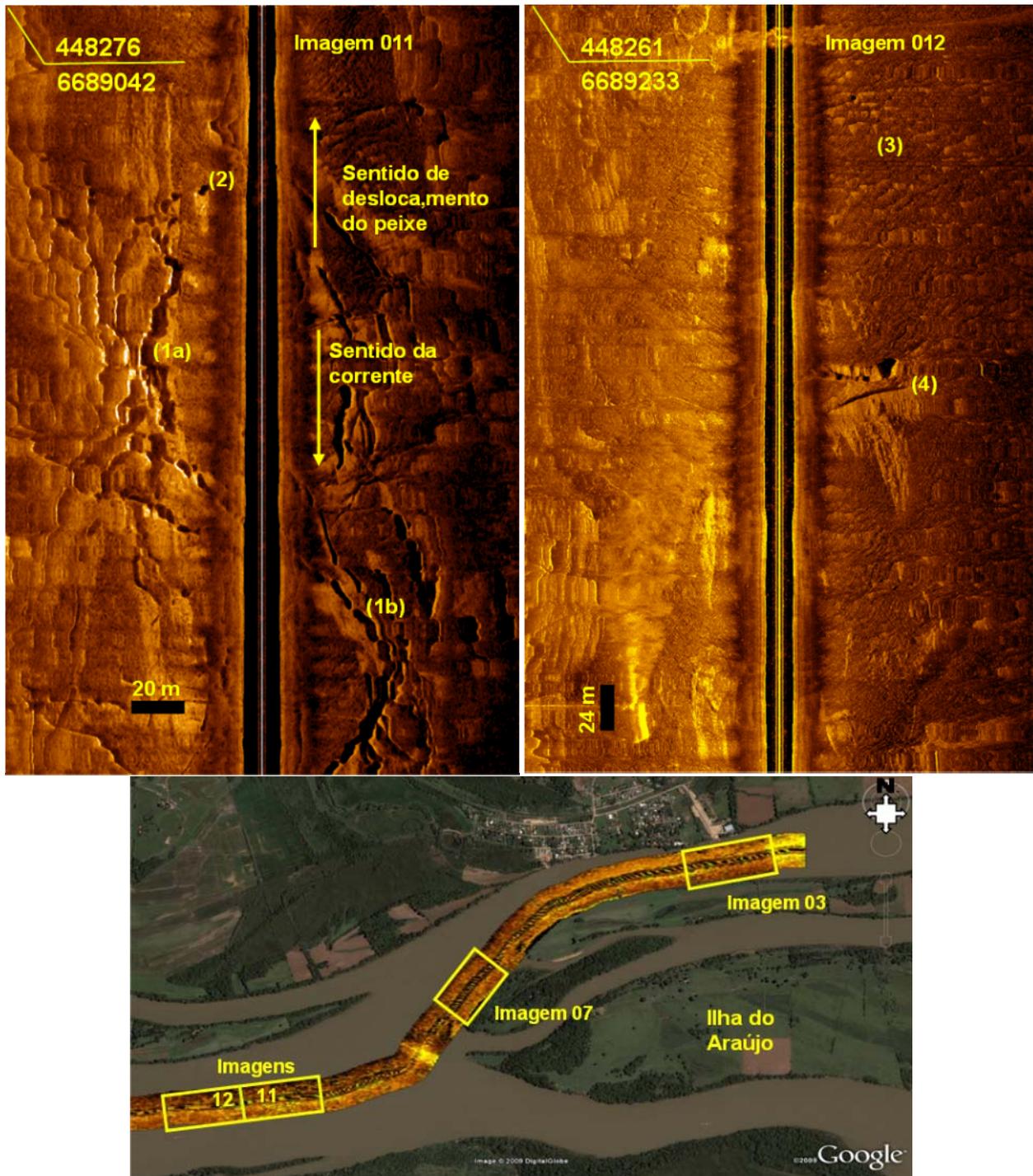


Figura 4.23. (1a) Cicatrizes deixadas pela draga de sucção; (1b) cicatrizes com manchas de sedimentos repostos; (2) e (4) mancha tipo marca de cometa; (3) ondulações formadas na nova camada de sedimentos (dunas pequenas).

Feições de fundo irregulares são observadas em locais específicos, como é o caso do detalhe (1) mostrado na Figura 4.24a. Este sonograma foi obtido na região do perfil ADCP 12 (Fig. 4.24b) onde é observada forte erosão da margem e onde os valores de velocidades próximo ao fundo, medidos com o ADCP são superiores a 50 cm/s. No perfil ADCP 6, localizado logo a seguir do perfil ADCP 12, foram registradas velocidades superiores a 100 cm/s no fundo do rio.

De acordo com Hjulstrom (1939), estes valores de velocidades são suficientes para causar erosão em fundo arenoso. A perfilagem com ADCP foi executada quando a régua marcava a cota 2,9 m. Isto ocorreu alguns dias após o nível do rio ter atingido seu valor máximo, quando foi registrada a cota 6,10 m.

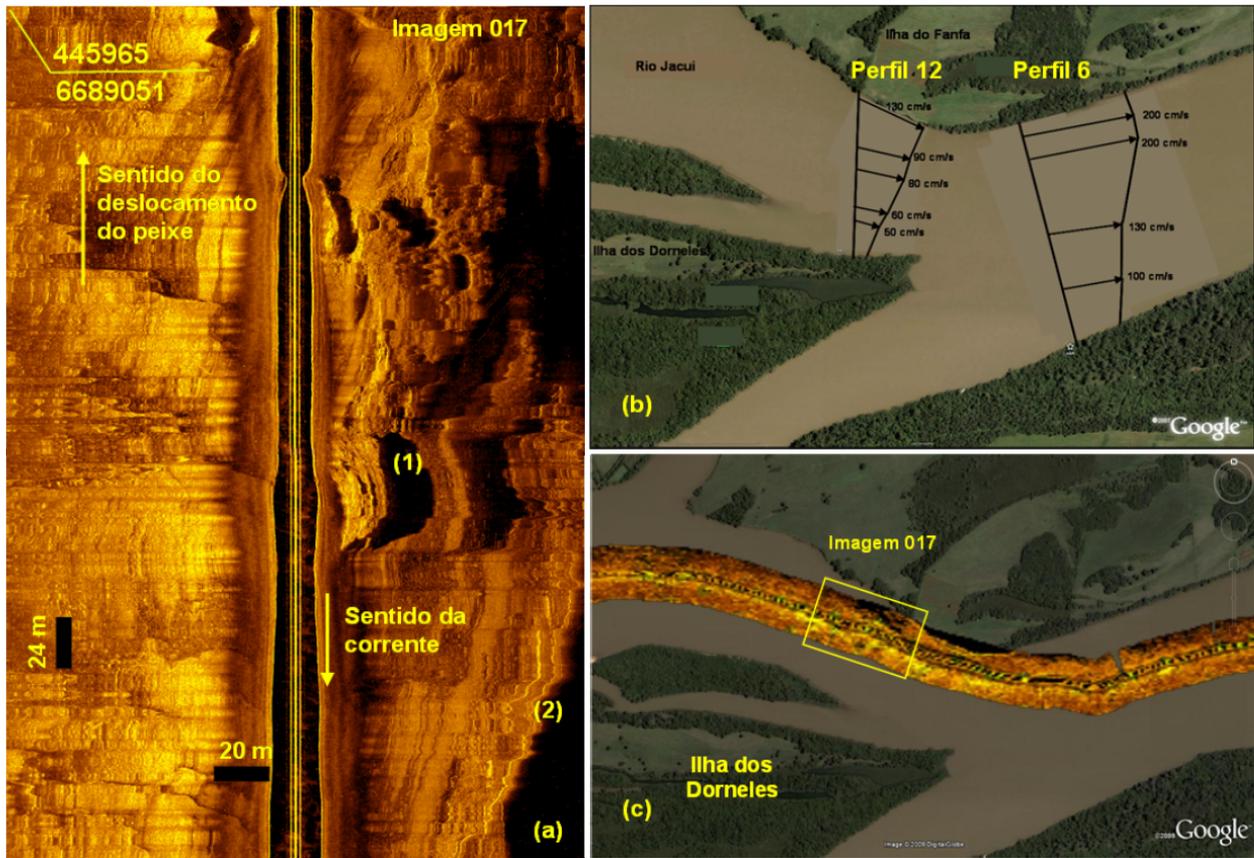


Figura 4.24. (a) Feições de fundo irregulares sem marcas de dragagem; (b) Perfis de velocidades com os valores superficiais máximos em época de cheia; (c) Posição da Imagem 017 na seqüência de navegação com o peixe.

Pela sombra projetada no detalhe (1) desta mesma figura, foi estimada a altura da feição em destaque em 2,8 m. Pelo seu contorno, pode-se afirmar que nesta área não ocorreram atividades de dragagem, sendo assim, sua causa é atribuída à erosão do fundo, que por sua vez é causada pela ação das fortes correntes que ocorrem em épocas de grande descarga. No detalhe (2), o registro em tom mais escuro representa a linha da margem naquele trecho quando a embarcação passou próximo à mesma, como pode ser visto na Figura 4.24(c), ficando dentro do alcance do feixe acústico do sonar. Nestas situações, a região fora da água se comporta como sombra acústica, sendo representada aqui por um registro de cor preta.

Na Figura 4.25 são apresentadas imagens em seqüência, de uma área submetida a dragagem intensa, como pode ser visto pelas marcas contínuas causadas por dragas de corte.

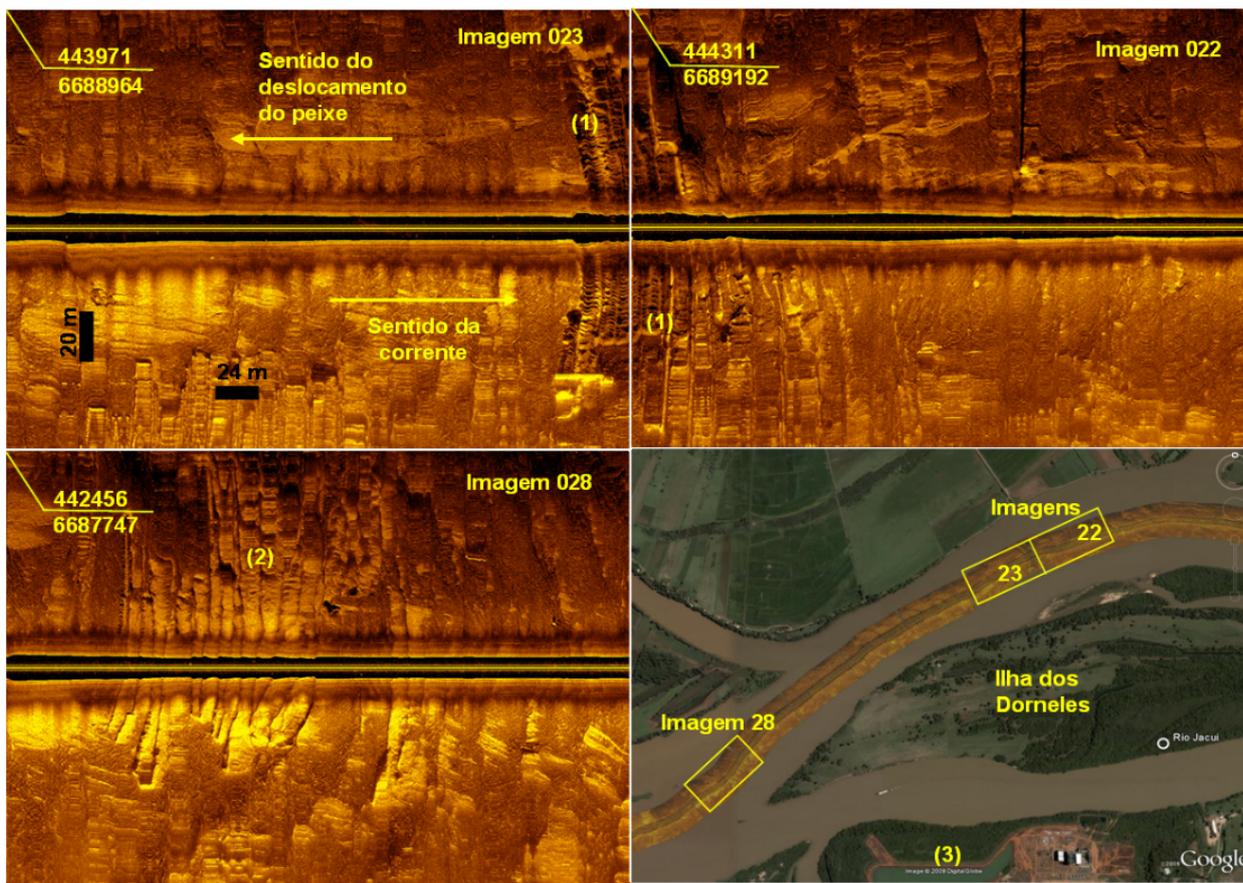


Figura 4.25. Marcas produzidas por draga de corte em diferentes períodos. (1) Marcas recentes, mas com cobertura de sedimentos; (2) marcas recentes com retirada do sedimento reposto; (3) Posição das imagens com relação ao rio.

Esta região do rio é submetida à dragagem constante ao longo do ano, e as diferentes tonalidades do registro acústico nestas feições mostram em (1) uma área dragada recentemente, mas já coberta por nova camada sedimentar, e em (2), outra área de dragagem mais recente ainda, onde o sedimento reposto já foi removido.

A Figura 4.26 mostra o detalhe da ponta da ilha das Cabras, onde foi construído um conjunto de três torres de transmissão de energia em alta tensão de propriedade da CEEE.

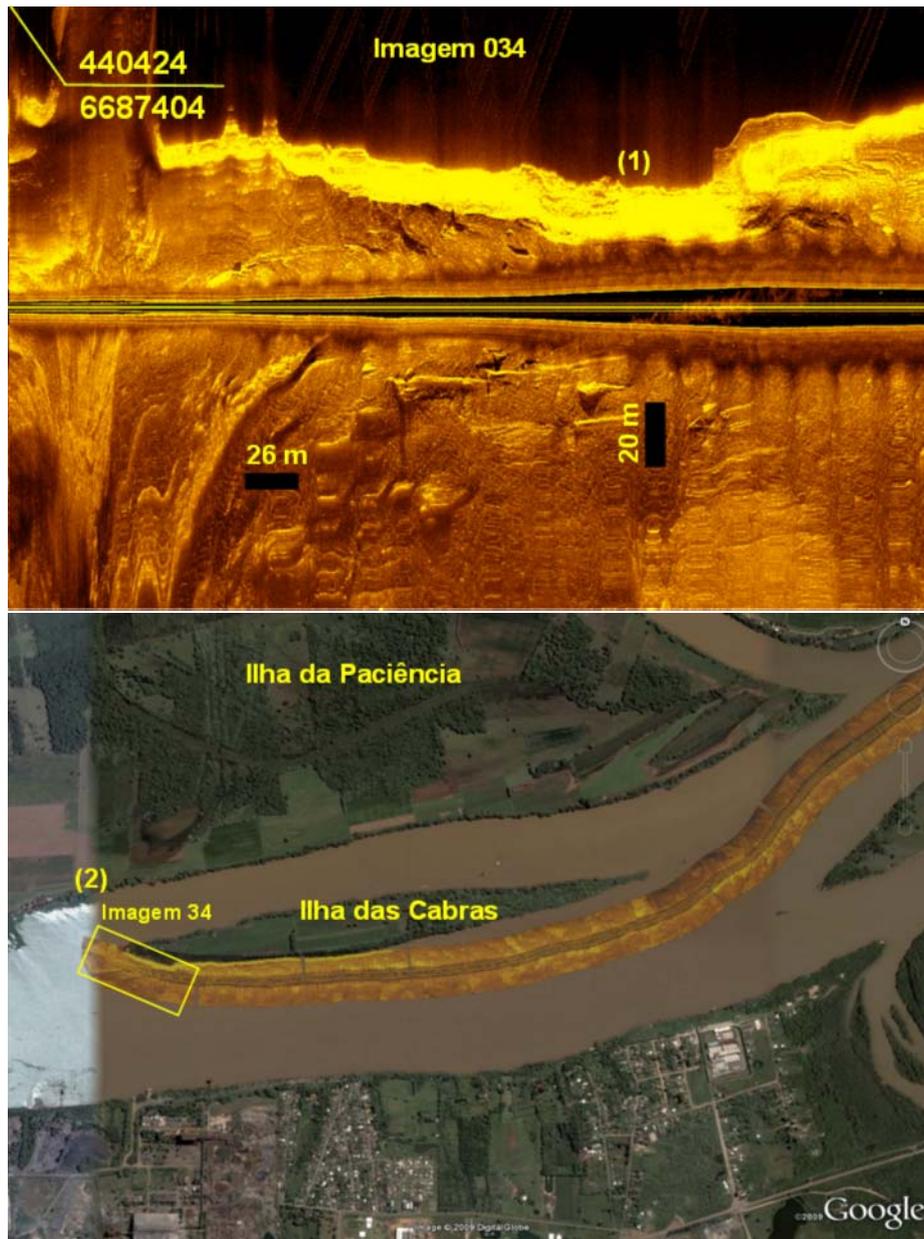


Figura 4.26. (1) Registro de alta refletividade do sinal acústico; (2) Posição da imagem com relação ao rio.

A fim de tentar proteger o local da forte erosão causada pelo rio, foram colocadas algumas lajes de concreto no entorno da ponta da ilha. São estas mesmas lajes que causam o forte retorno do sinal acústico apresentado no detalhe (1) da imagem 034. Ao passar pelo local, observa-se que estas lajes já estão em posição diferente daquela onde foram inicialmente posicionadas. O deslocamento das mesmas é visível, sendo causado pelo arraste de material causado pelas fortes correntes as quais o rio é submetido em períodos de cheia.

4.3.3 LEVANTAMENTO SONOGRÁFICO DO CANAL SÃO GONÇALO

No canal São Gonçalo, foram realizadas duas etapas de aquisição de dados com o sonar de varredura lateral, conforme identificadas na Figura 4.27 pelos trechos (1) e (2).

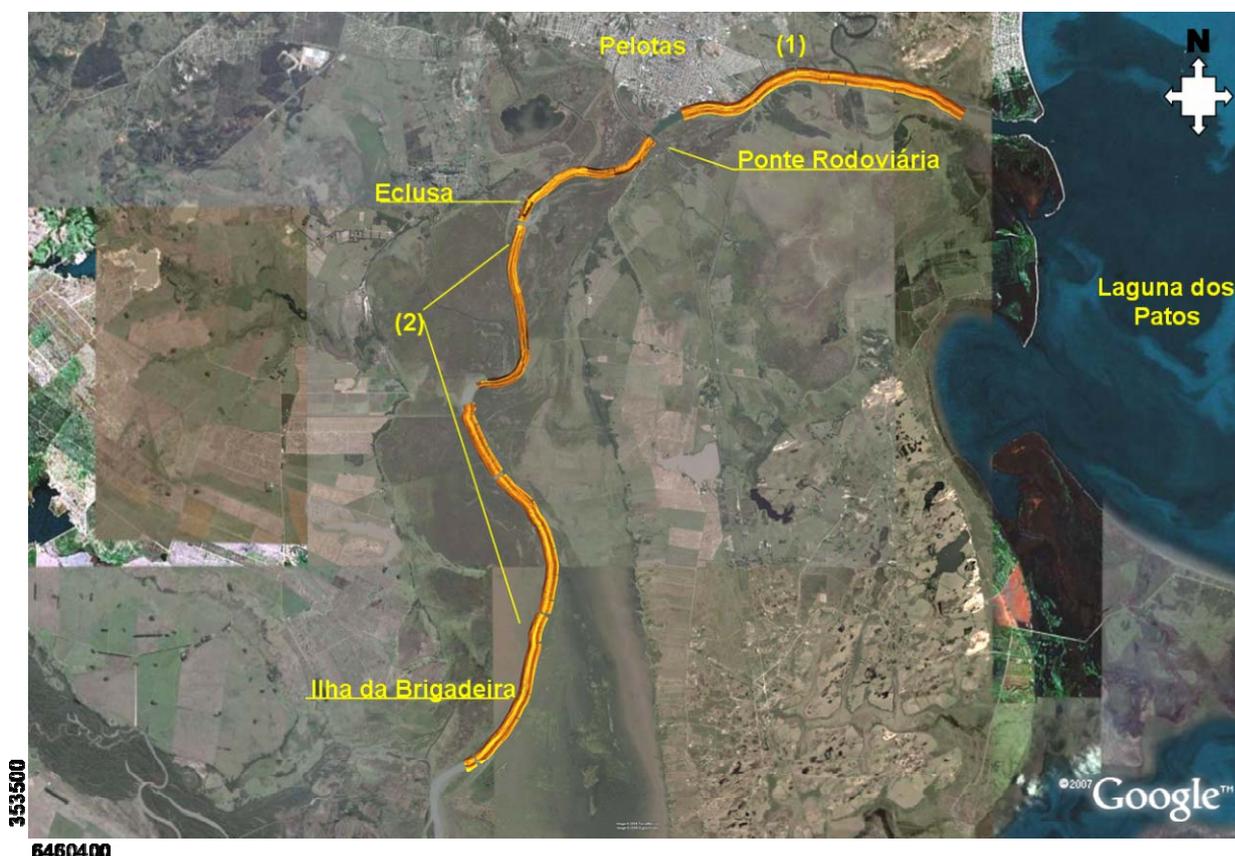


Figura 4.27. (1) Trecho próximo ao porto de Pelotas; (2) Trecho começando após a ponte rodoviária e se estendendo após a eclusa até a ilha da Brigadeira.

O trecho (1) começa nas proximidades de sua foz na laguna dos Patos se estendendo até a ponte rodoviária, na região portuária. O trecho (2) começa logo após a ponte e se estende por aproximadamente 18 km em direção à lagoa Mirim. A idéia inicial era de varrer todo o canal, até seu encontro com esta lagoa, mas devido a problemas técnicos ocorridos com o sonar, a campanha foi interrompida nas proximidades da ilha da Brigadeira.

Como o fluxo de água é interrompido na eclusa, a água salgada proveniente da laguna dos Patos é impedida de continuar seu deslocamento em direção à lagoa Mirim. Em períodos de elevada precipitação na região da bacia hidrográfica desta última, o volume de água sofre um aumento significativo. Nestas ocasiões as comportas da eclusa são abertas, permitindo o fluxo de água doce em direção à laguna dos Patos. Quando isto ocorre, os efeitos hidrodinâmicos são

mais intensos, deixando registradas no fundo do canal feições bem pronunciadas, representando os diferentes processos hidrodinâmicos aos quais foi submetido. Estas feições com a forma de ondulações se apresentam em diferentes escalas, e podem ser observadas em algumas imagens como será mostrado a seguir.

Ao contrário do que foi observado no rio Jacuí, no canal São Gonçalo não são empregadas dragas de corte para extração de areia. Desta forma no detalhe (1) da Figura 4.28 são observadas apenas marcas deixadas por dragas de sucção.

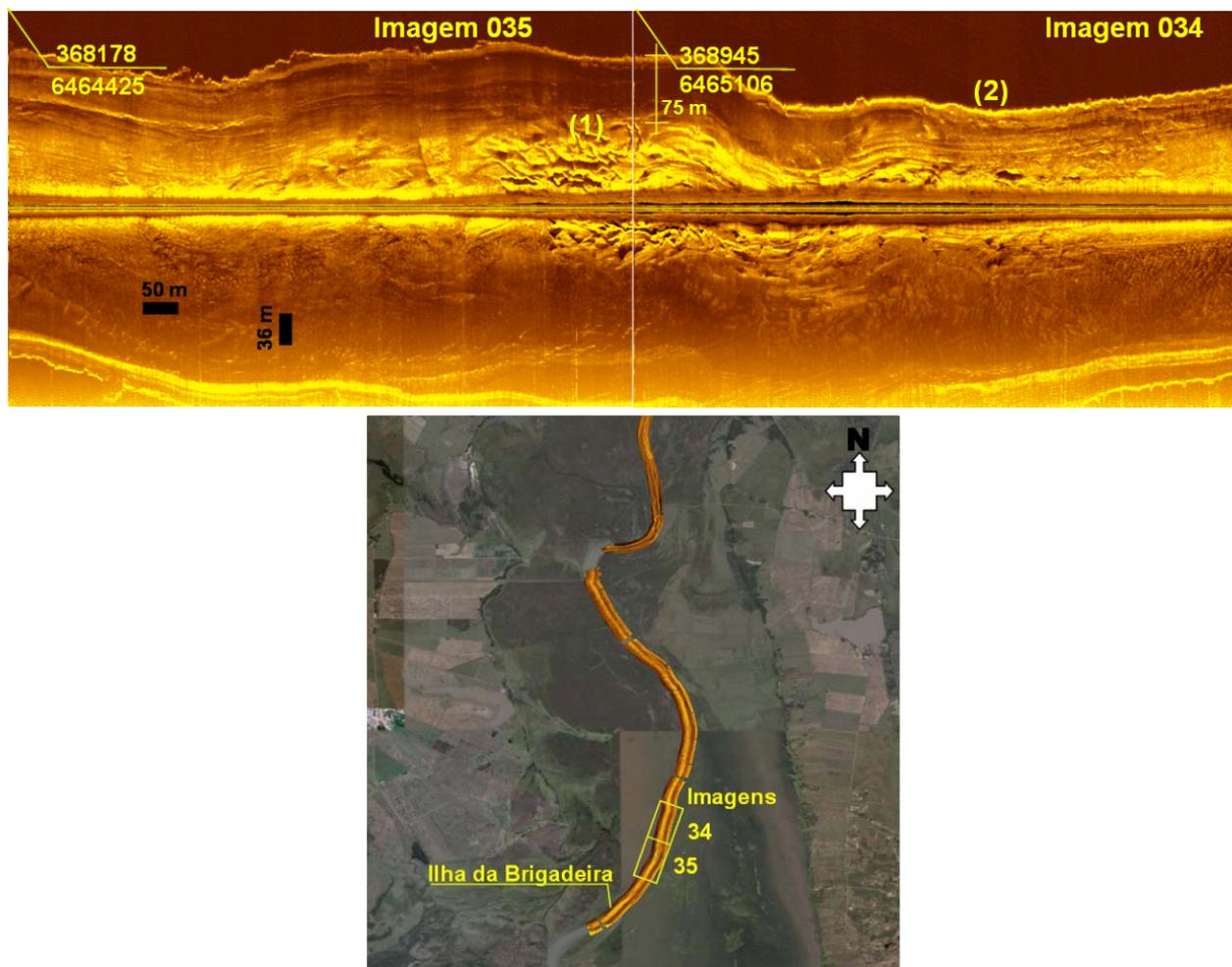


Figura 4.28. (1) Marcas de draga de sucção; (2) Linha bem definida da margem do canal.

Esta mesma Figura 4.28, mostra com clareza no detalhe (2) a posição contínua da linha de margem. Como as imagens são georreferenciadas, o conhecimento da posição real da linha de margem permite o controle da posição de dragagem em relação a esta. A legislação ambiental estipula como área livre de dragagem, uma faixa contínua com largura mínima de 50m, ao longo

da margem. Na imagem 034, a distância medida desde a margem até as marcas deixadas pela draga mostradas no detalhe (1), é de 75 m.

A Figura 4.29 mostra um trecho do canal na região do porto onde não é permitida a extração comercial de areia. As imagens 011 e 012, colocadas em sequência apresentam uma superfície de fundo de aparência uniforme, com poucas feições observadas. Na parte central, observa-se uma faixa com largura aproximada de 85 m, o que caracteriza um canal dragado em época anterior. As marcas existentes em alguns pontos, como no detalhe (3), indicam a utilização de draga de corte na execução da dragagem nesta área. A superfície quase uniforme do canal sugere que a mesma foi recoberta por sedimentos, ocultando assim a sequência característica de marcas causadas pelas dragas de corte, como aquelas observadas em determinados trechos do rio Jacuí.

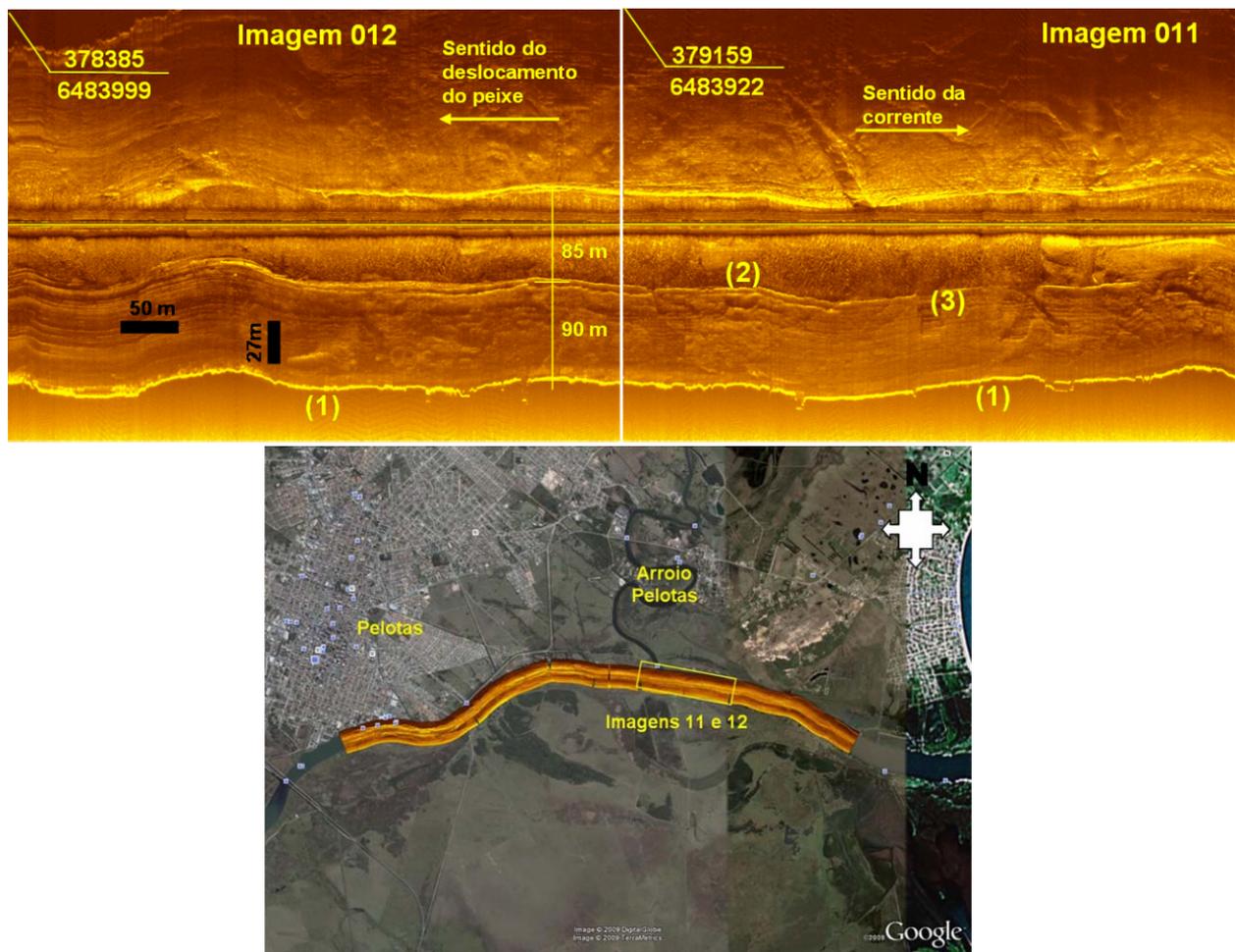


Figura 4.29. (1) Posição da linha de margem; (2) Linha bem definida do canal de navegação; (3) marcas de draga de corte.

Na sequência de imagens mostrada na Figura 4.30, as linhas de definição do canal ainda podem ser vistas no detalhe (1), mas logo a seguir em (2), as mesmas não podem ser mais vistas. Um pouco mais adiante do detalhe (2), o que se vê são algumas feições que caracterizam processos hidrodinâmicos responsáveis pela reposição de material.

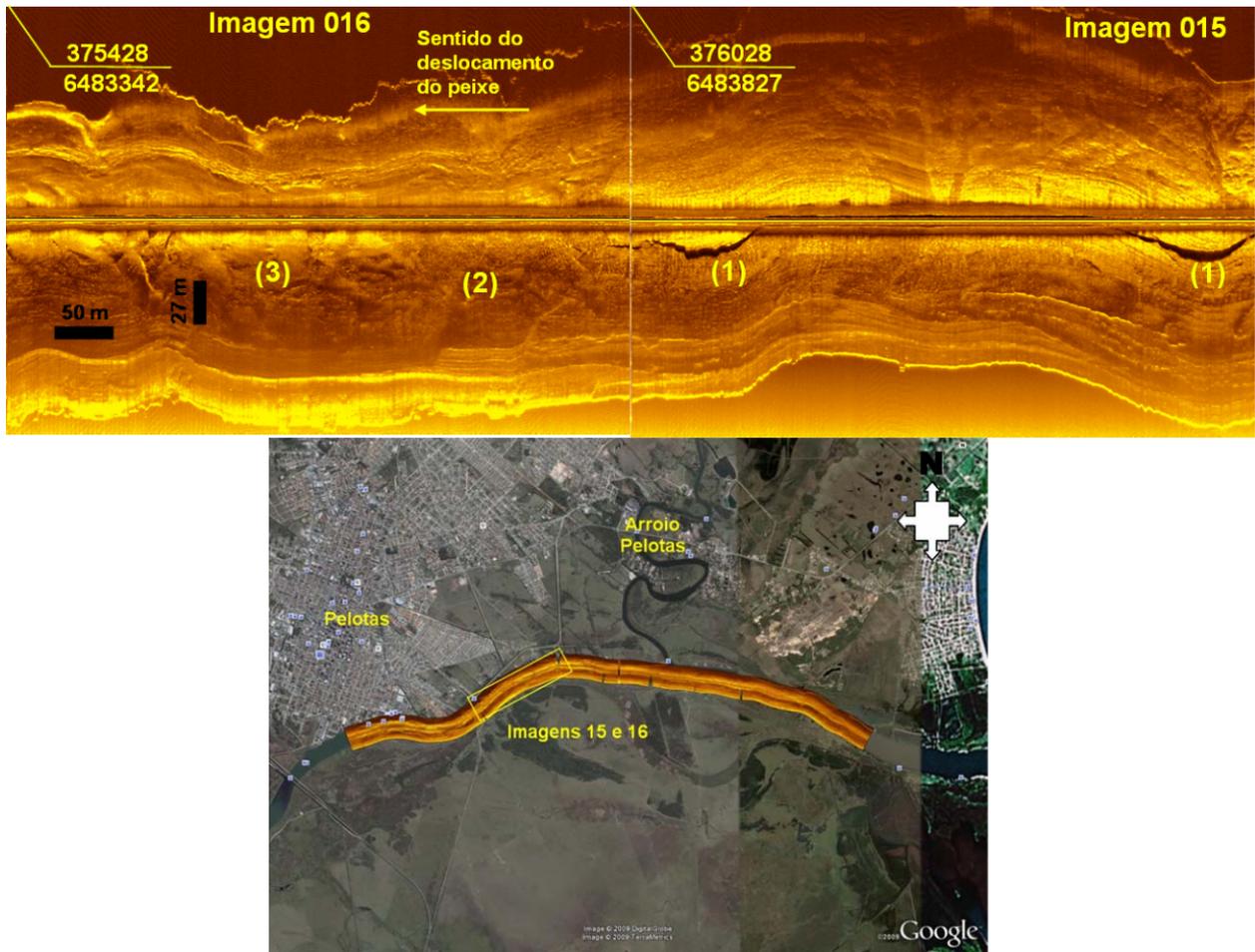


Figura 4.30. (1) Linha do canal de navegação; (2) Trecho onde as linhas do canal desaparecem.

Da mesma forma como apresentado para o rio Jacuí, os sonogramas mostram com clareza as ondulações (dunas) formadas na superfície de fundo em consequência da intensidade das correntes. A direção do fluxo é definida pela forma característica como se apresentam com a parte mais escura, de menor refletividade do sinal acústico, voltada para a laguna dos Patos, e a parte mais clara e mais alongada se desenvolvendo na direção longitudinal, no sentido Mirim-Patos.

A Figura 4.31 apresenta dois trechos com imagens obtidas em sequência no dia 12 de dezembro, relacionadas ao trecho localizado à montante da eclusa. São observadas dunas grandes com comprimento de onda da ordem de 100 m, intercalados com ondulações menores do

que 1 m (dunas pequenas). Estas feições aparecem com maior destaque em trechos curvilíneos do canal, no lado de fora da curva, onde a ação da corrente é mais intensa. Nas imagens 023 e 024, aparecem no lado direito do canal em relação ao sentido de deslocamento do peixe, como mostrado no detalhe (1). Nas imagens 036 e 037, o padrão de ondas é mais evidente no lado esquerdo do canal, que também representa a parte externa da curva.

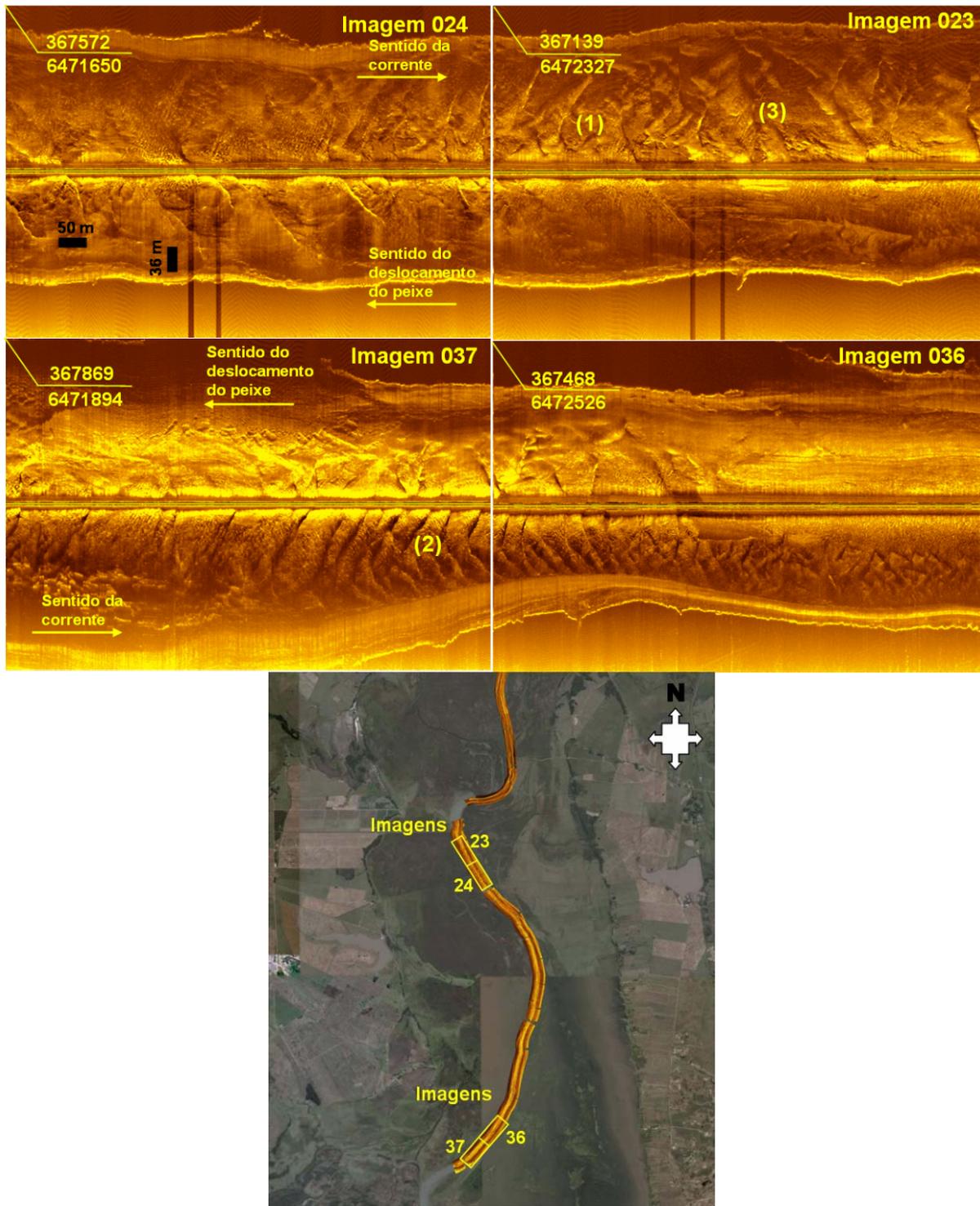


Figura 4.31. Padrões variados de dunas em (1) e (2); (3) Reposição de sedimentos entre as cavas das ondulações.

Nos detalhes (1) e (3) da imagem 023 observa-se o preenchimento da área entre as cavas das ondulações, por sedimentos representados numa tonalidade mais escura. Apesar das variações entre as tonalidades do sinal acústico representado nos sonogramas não serem tão contrastantes, é possível diferenciá-las e atribuir estas variações à cobertura sedimentar ocorrida em diferentes períodos.

4.4 CLASSIFICAÇÃO ACÚSTICA DAS SUPERFÍCIES DE FUNDO

Imagens obtidas através de sonares de varredura lateral são utilizadas para visualizar e posteriormente identificar feições geomorfológicas de superfícies submersas e também diferenciar os tipos de sedimentos encontrados nestes locais. Alguns sistemas acústicos podem medir características sedimentares e morfológicas em escalas que variam de centímetros até quilômetros. Sedimentos grossos causam forte retorno do sinal acústico sendo representados nos sonogramas por tons mais claros. Por outro lado, sedimentos finos absorvem grande parte do sinal acústico, produzindo uma imagem em tons mais escuros. Apesar das imagens nos permitirem a visualização da superfície do fundo, sua interpretação dependente de fatores subjetivos, não permitindo uma classificação mais detalhada com relação ao sedimento de fundo encontrado. Diferenciar um fundo rochoso de um outro arenoso é uma tarefa relativamente fácil. Por outro lado, diferenças entre classes granulométricas não são tão óbvias assim. Os sistemas acústicos de classificação de superfícies submersas nos permitem fazer este tipo de distinção através do processamento estatístico do sinal acústico que retorna ao SVL.

Neste trabalho foi utilizado o software QTC-Sideview[®], que faz a classificação acústica de fundo a partir de dados obtidos com o SVL a fim de estudar a distribuição sedimentar do fundo do canal São Gonçalo, relacionando esta com a morfologia de fundo e a dinâmica sedimentar. Os resultados produzidos foram interpolados para apresentação final pelo software QTC Clams[®] que produz imagens georreferenciadas com as diferentes classes encontradas.

Após a confecção dos mapas de fundo com as classes acústicas definidas, tendo como base a similaridade de suas propriedades, é necessário verificar *in situ*, o que cada classe representa efetivamente em termos de sedimentos. Sendo assim, o próximo passo a ser dado é juntar os dados amostrais com os dados acústicos. Numa classificação não supervisionada, como a adotada neste trabalho, os pontos de amostragens foram definidos usando como mapa base as imagens do Google Earth[®]. O posicionamento para amostragem foi feito por *gps* de navegação marca Garmin[®].

4.4.1 COLETA DE AMOSTRAS E CLASSIFICAÇÃO DOS SEDIMENTOS

Um total de 44 amostras de sedimentos foram coletadas, e analisadas em laboratório, pelo método de peneiramento e pipetagem com intervalos de classe de $\frac{1}{2} \Phi$ (Folk & Ward, 1957). Os resultados da análise granulométrica, após serem processados pelo software *Sysgran*[®], foram plotados num diagrama de Shepard (Shepard, 1954), sendo encontradas 5 classes de sedimentos (Fig. 4.32). O posicionamento para obtenção das amostras foi definido em cima das imagens geradas pelo software classificador de fundo. Estas imagens, por serem georreferenciadas, permitem ao usuário obter o posicionamento em coordenadas geográficas, para posterior amostragem no local assim determinado.

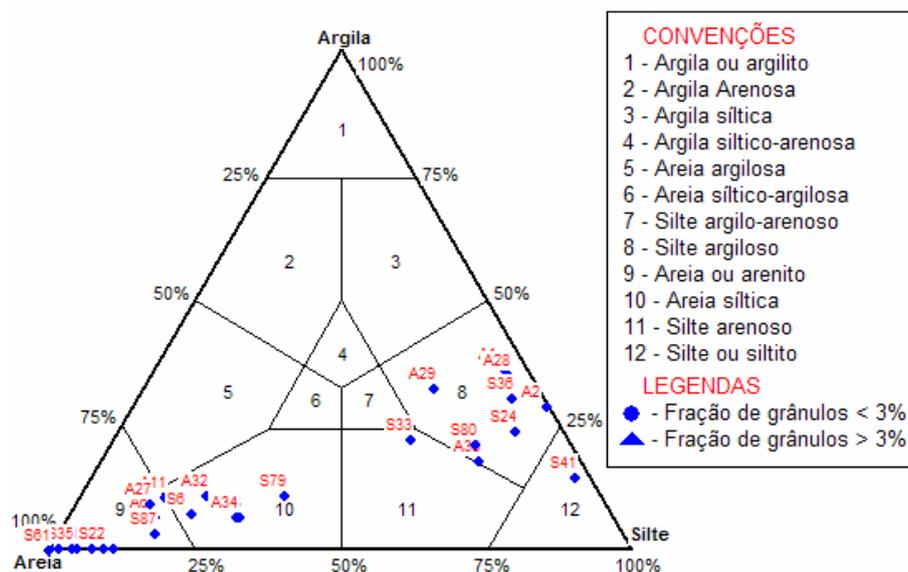


Figura 4.32. Diagrama de Shepard adquirido através do *software Sysgran*[®].

4.4.2 APLICAÇÃO DO SOFTWARE DE CLASSIFICAÇÃO ACÚSTICA NO CANAL SÃO GONÇALO

O *software* QTC Sideview[®] permite que o usuário defina o número de classes a serem identificadas. Como a classe 12 aparece apenas na amostra S41, esta foi agrupada a classe 11, por apresentarem alta similaridade no processo de classificação acústica. Desta forma, a classificação resultante apresenta os 4 principais tipos de sedimentos superficiais para a área estudada, conforme a Tabela 4.3.

De um total de 59 sonogramas obtidos, foram selecionados 42 para serem processados pelo *software* QTC Sideview[®], para a geração das classes acústicas representativas dos

sedimentos que compõem a superfície de fundo do canal São Gonçalo. Após o processamento dos dados, foram gerados mapas que abrangem toda área investigada sendo posteriormente, subdivididos em três sub-áreas, conforme mostrado na Figura 4.33.

TABELA 4.3
Análise sedimentológica segundo Folk & Ward, Shepard e a classificação acústica proposta com suas respectivas cores.

Classe	Cor	Classificação Shepard	Classificação Folk & Ward	Classificação Acústica	Refletividade
1	Azul claro	Areia siltica e Silte arenoso	silte médio	Areia com silte	baixa
2	Preto	Silte e Silte Argiloso	Silte muito fino e silte fino	Lama	muito baixa
3	Vermelho	Areia	Areia muito grossa e areia grossa	Areia Grossa	alta
4	Lilás	Areia	Areia média, fina e muito fina	Areia Média e Areia Fina	média



Figura 4.33. (a) Imagem geral da área foco; (b) trecho 1 desde o sangradouro na laguna dos Patos até o porto de Pelotas; (c) trecho 2 nas proximidades da barragem, jusante e montante; (d) trecho 3 até a ilha da Brigadeira.

A primeira sub-área compreende o trecho desde o sangradouro até o porto de Pelotas. A segunda sub-área tem início após a ponte sobre o canal e segue em direção a eclusa, composta

por um trecho a jusante e outro a montante da mesma. A terceira e última sub-área começa logo após um desvio acentuado do curso do rio, terminando em frente à ilha da Brigadeira.

Mapas de classificação, cada um composto por dados oriundos de 4 a 5 sonogramas, são apresentados a seguir. As amostras coletadas serviram para confirmação do tipo de sedimento encontrado em cada classe, representada nos mapas por diferentes cores. Observou-se que do número total de amostras, em torno de 10% destas não confirmaram a classe esperada. Isto se deve ao fato de que, no momento da coleta do material, as condições de navegabilidade não eram favoráveis, causando um desvio do ponto pré-estabelecido para lançamento do equipamento de amostragem. Ao analisar estes mapas, foram observados certos padrões de distribuição dos sedimentos ao longo do canal. No primeiro trecho, mostrado na Figura. 4.34, a Classe 4 se distribuiu principalmente na parte central do canal e os sedimentos mais finos das Classes 1 e 2, se distribuem com certa uniformidade em direção às margens.

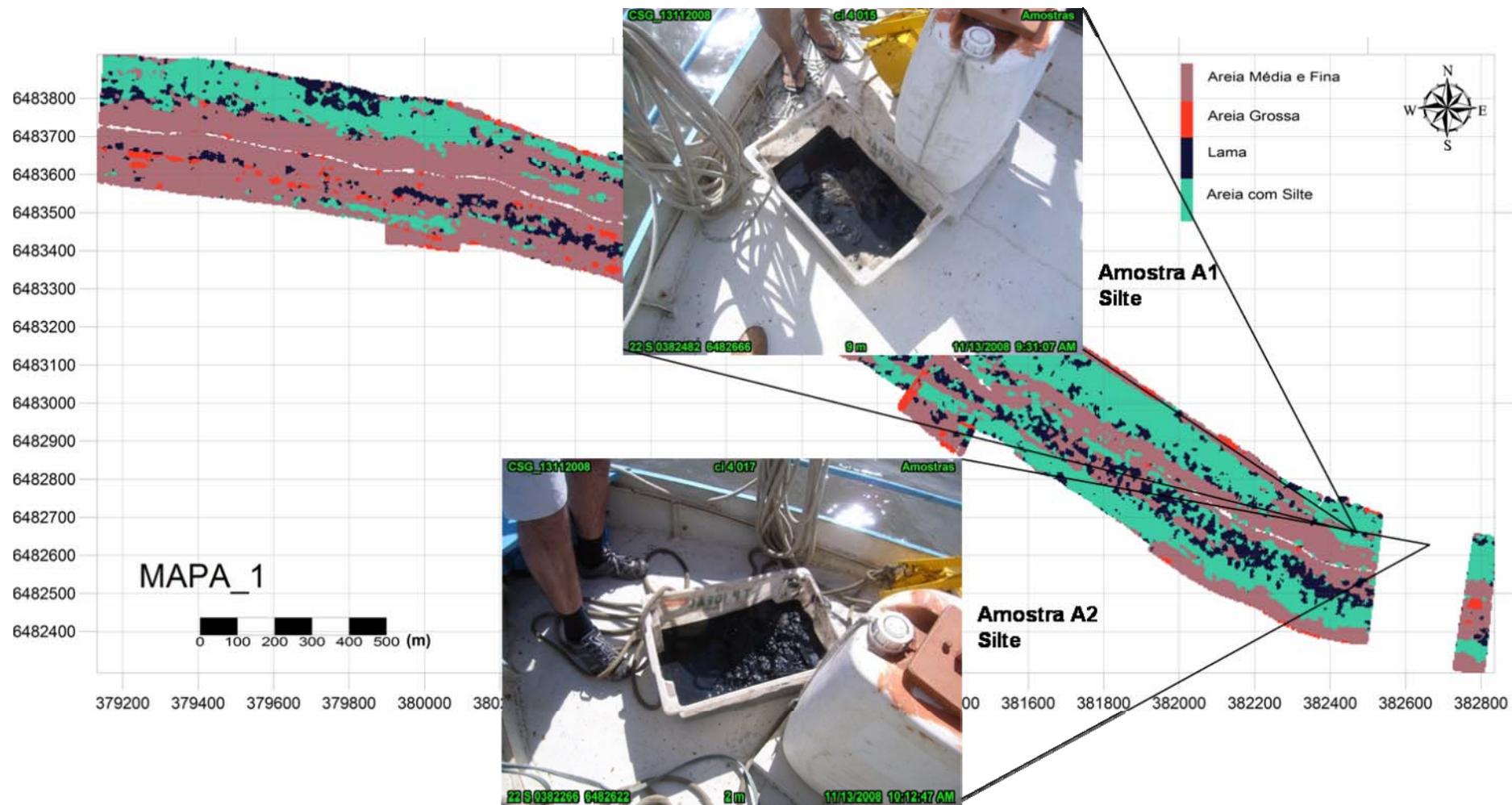


Figura 4.34. Mapa 1 com a localização das amostras A1 e A2, indicando a presença de silte (lama). Fotos georreferenciadas das amostras obtidas *in situ* com a câmera CAPLIO 500SE.

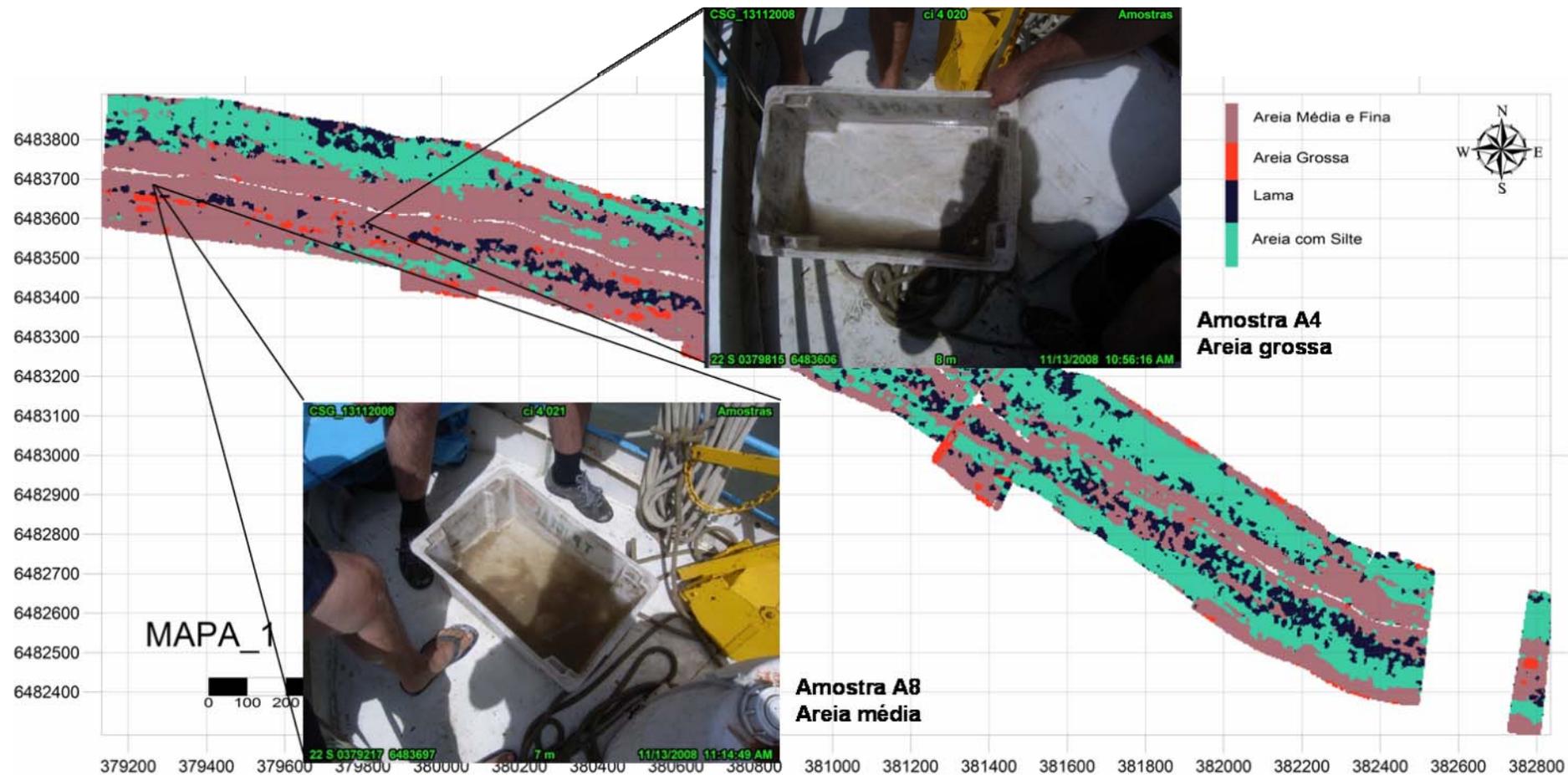


Figura 4.35. Mapa 1 com a localização das amostras A4 e A8, indicando a presença de areia média e grossa. Fotos georreferenciadas das amostras obtidas *in situ* com a câmera CAPLIO 500SE.

As fotos georreferenciadas da Figura 4.34 apresentam o material recolhido nas amostras A1 e A2, localizadas próximas à região do sangradouro do canal, sendo compostas predominantemente por material lamoso, que de acordo com a classificação de Folk & Ward foi chamado de silte fino e silte muito fino e segundo Shepard foi classificado como silte argiloso. Na área amostrada, a classe de cor azul clara é dominante, mas com manchas pretas aleatórias. Pela aparência do sedimento registrado na foto da amostra A2, este foi coletado sobre uma dessas manchas de cor mais escura. Não há como afirmar precisamente a posição da amostra, em função das condições de navegabilidade e precisão oferecida pelo GPS, mas pode-se dizer que existe uma tendência em se encontrar certo tipo de sedimento naquela região.

A Figura 4.35 apresenta fotos das amostras A4 e A8 obtidas *in situ*, numa área onde, de acordo com a classificação proposta, predominam sedimentos da classe areia. Segundo Shepard são classificados como areia, e para Folk & Ward, são classificados como areia média, fina ou muito fina.

Nas proximidades do arroio Pelotas, a Classe 2 aparece com maior frequência. Conforme prosseguimos em direção a eclusa, a concentração de lama vai diminuindo, dando lugar a uma maior concentração nas Classes 3 e 4, constituídas basicamente de areia. Este trecho do canal sofre a influência direta das águas salgadas da laguna dos Patos, que em períodos de pouca precipitação e incidência do vento nordeste, entram pelo canal até a eclusa, favorecendo a floculação e deposição de finos nestas áreas.

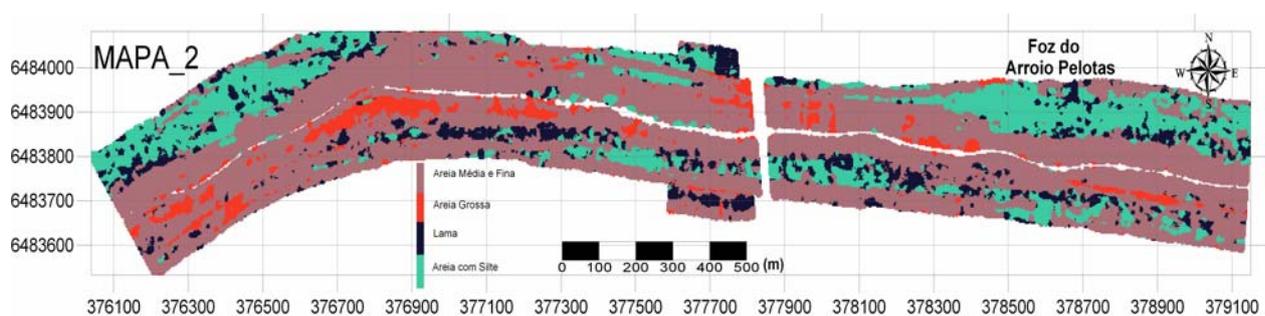


Figura 4.36. Mapa 2 mostrando a distribuição dos sedimentos no leito do canal, de acordo com a classificação obtida através da aplicação dos softwares QTC Sideview® e QTC Clams®.

Observa-se também que, a incidência predominante das Classes 1 e 2 neste trecho, ocorre na margem do canal do lado do município de Pelotas, devido à descarga do arroio Pelotas, seu maior tributário nesta margem (Fig. 4.36).

O Mapa 4, mostrado na Figura 4.37, apresenta uma grande concentração da Classe 2 (lama) em função de sua proximidade à área de descarga do canal Santa Bárbara, também

localizado na margem Pelotas. Na imagem obtida no Google Earth® é possível identificar claramente sua pluma neste trecho do canal, indicando a presença de grande quantidade de material em suspensão.

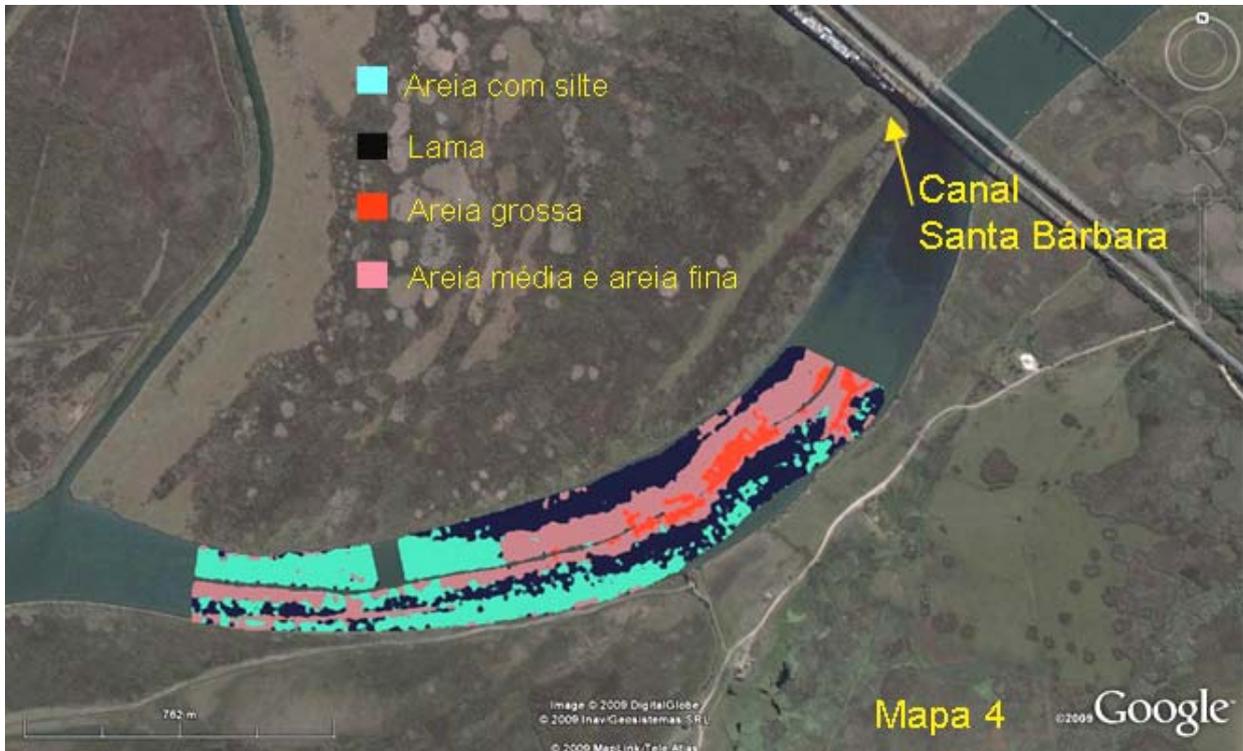


Figura 4.37. Mapa 4 mostrando o deslocamento da pluma do canal Santa Bárbara, e a concentração de sedimento da classe 2 classificado como lama.

Nos trechos seguintes, o padrão de distribuição dos sedimentos se mantém, com maior incidência da classe areia no centro do canal e a ocorrência de silte em direção às bordas do mesmo. Nos mapas 7 e 9 foram plotados alguns pontos amostrais confirmando a classe atribuída pelo *software* (Fig. 4.38, 4.39 e 4.40).

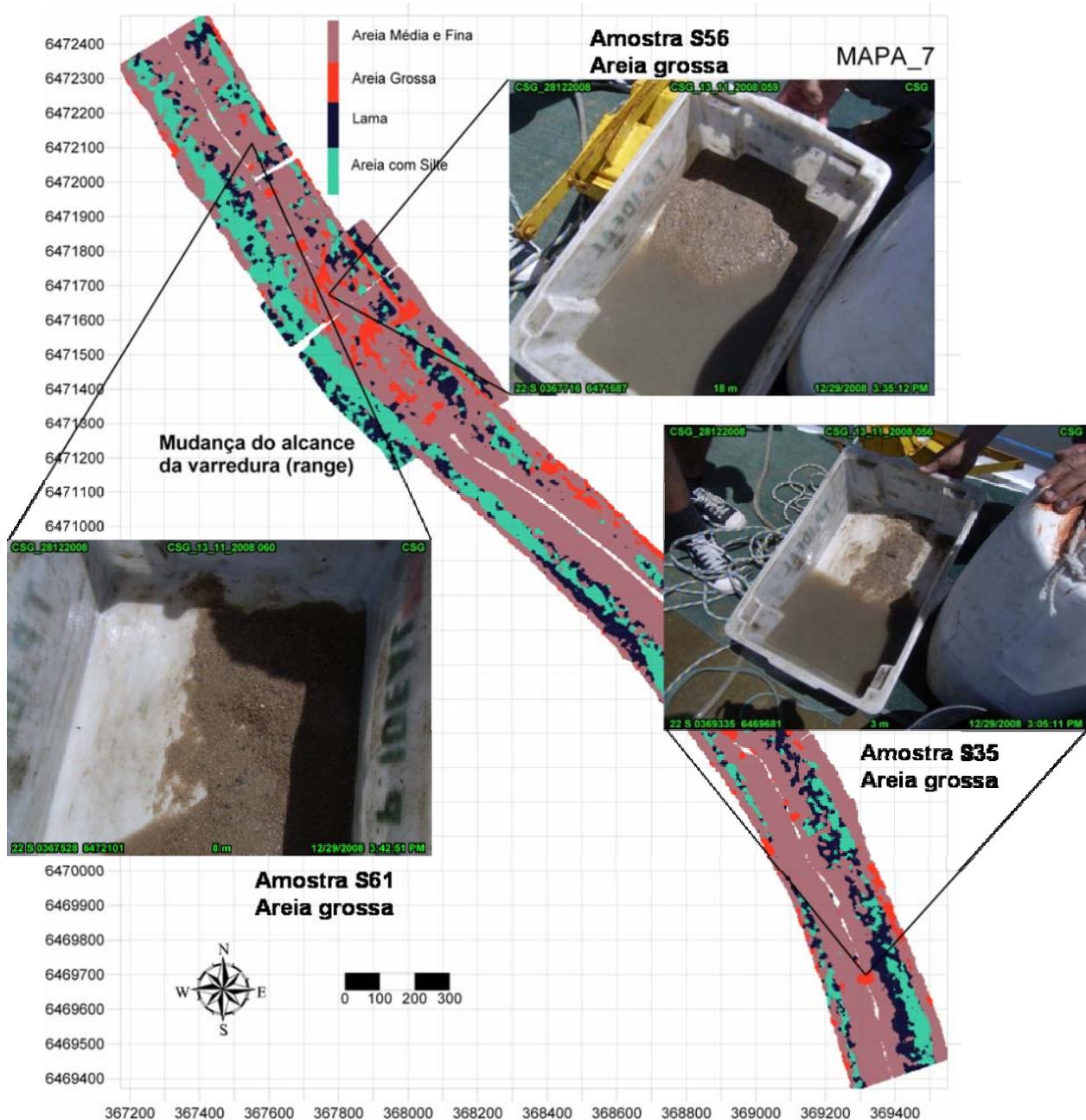


Figura 4.38. Localização das amostras S35, S56 e S61, indicando a presença de areia grossa. Fotos georreferenciadas obtidas das amostras *in situ* com a câmera CAPLIO 500SE.

As amostras S35, S56 e S61 confirmaram a presença de areia grossa (classe 3). As amostras S36, A38 e S41, representantes da classe 2, também apresentaram boa correlação com a análise sedimentar, onde são classificadas como silte fino, silte argiloso e silte médio, respectivamente. Numa análise comparativa com as imagens geradas pelo sonar, observou-se a ocorrência de registros de baixa refletividade nas cavas das ondulações de fundo observadas, as quais servem como armadilhas para esse tipo de sedimento.

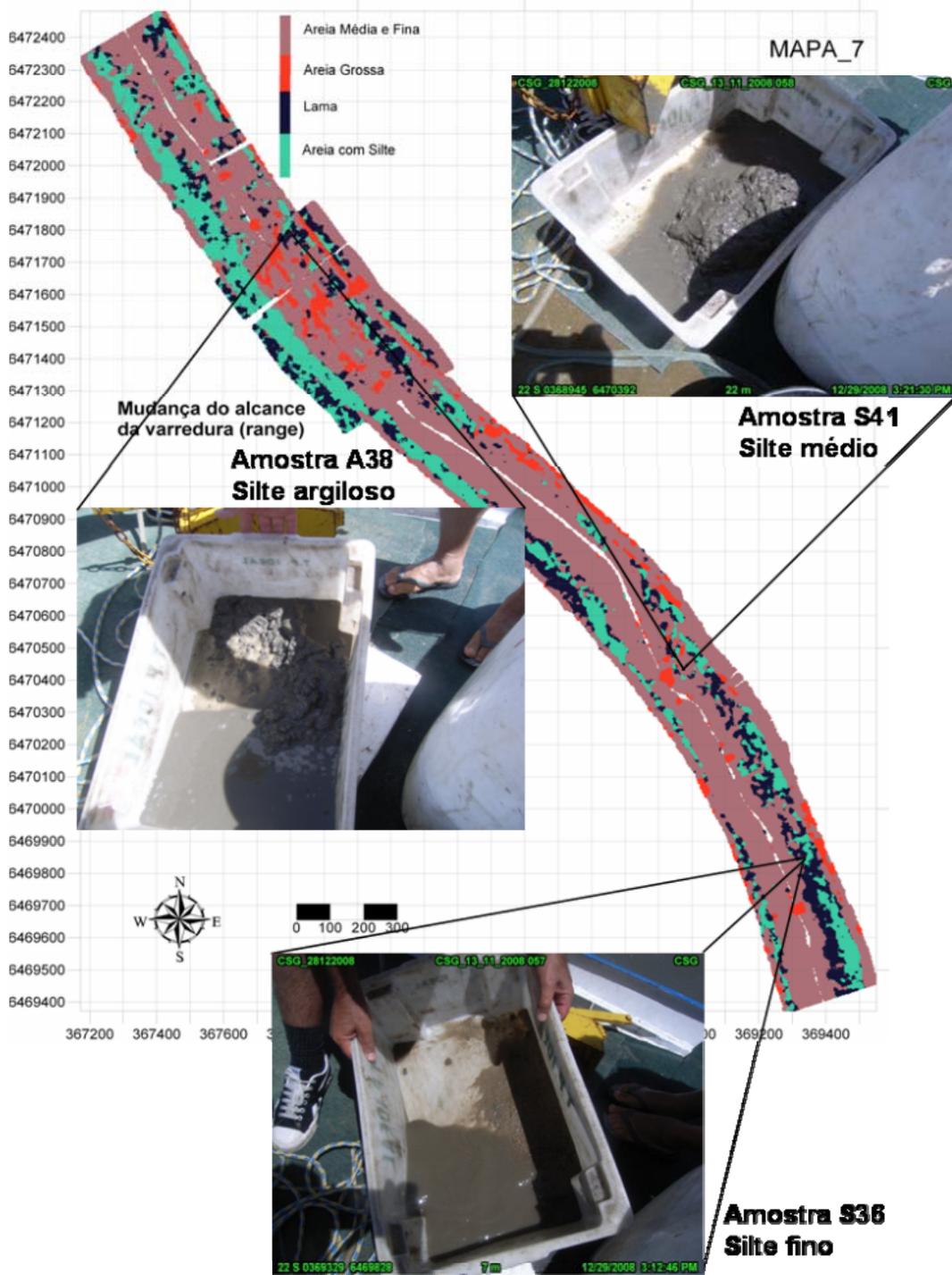


Figura 4.39. Localização das amostras S36, A38 e S41, indicando a presença silte (lama). Fotos georreferenciadas das amostras obtidas *in situ* com a câmera CAPLIO 500SE.

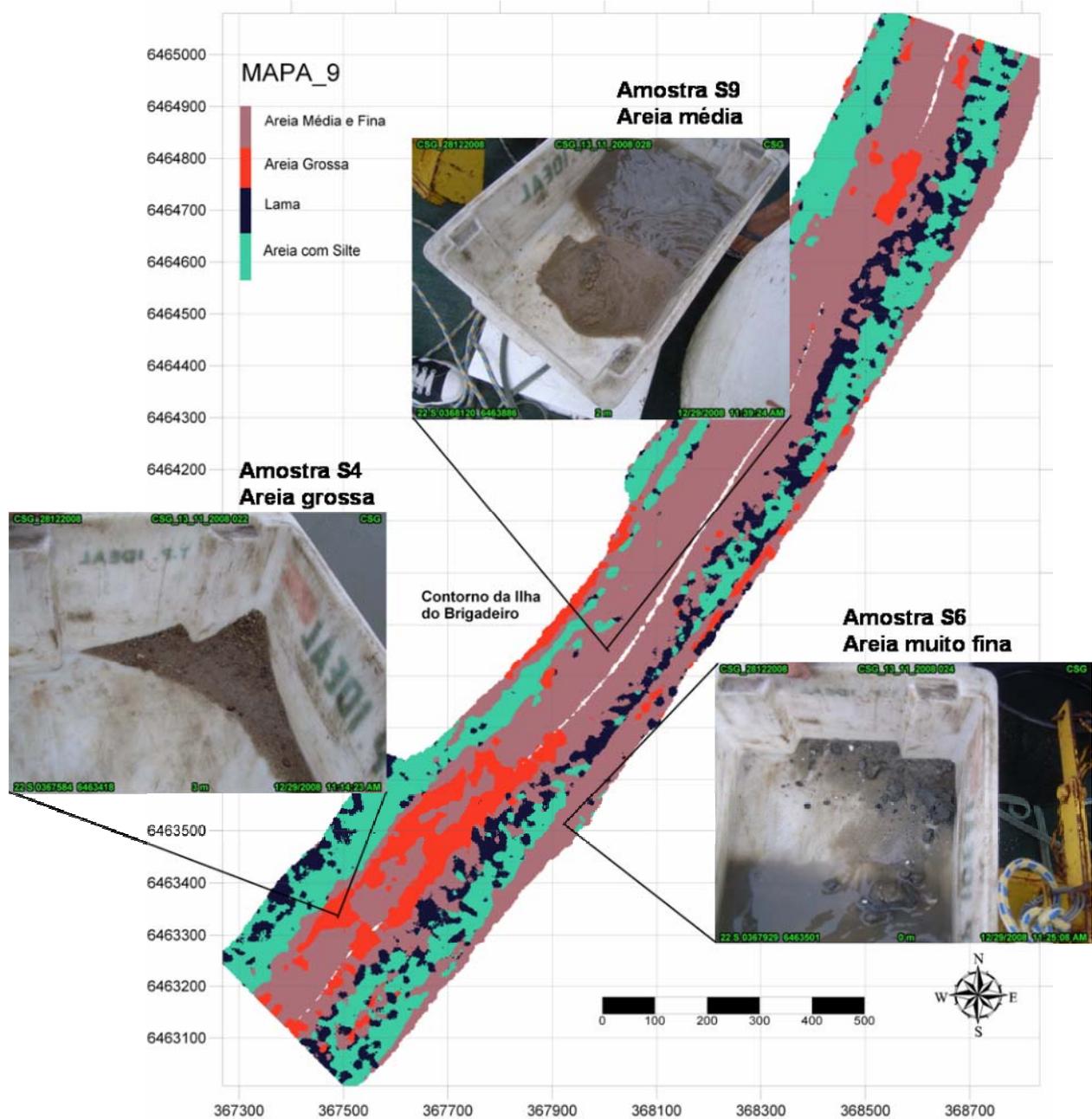


Figura 4.40. Localização das amostras S4 (areia grossa), S6 (areia muito fina) e S9 (areia média); Fotos georreferenciadas das amostras obtidas *in situ* com a câmara CAPLIO 500SE. Contorno bem definido da Ilha da Brigadeira.

Na figura 4.40 observa-se o contorno bem definido da ilha da Brigadeira, localizada bem próximo à margem. As amostras S4, S6 e S9, comprovam a presença dominante de sedimentos arenosos, variando desde areia muito fina até areia muito grossa.

CAPITULO 5

CONCLUSÕES

5.1 CONCLUSÕES

Graças à disponibilidade de novas tecnologias, trabalhos que antes exigiam o emprego de muitas horas/homem, além de muito esforço, hoje podem ser executados de forma rápida e com boa qualidade. Equipamentos como o sonar de varredura lateral, perfilador acústico de correntes por efeito Doppler e *softwares* de classificação automática de sedimentos em superfícies submersas, são alguns exemplos de ferramentas aplicadas neste trabalho, que propiciaram a elaboração de perfis hidrodinâmicos e mapas sedimentológicos das áreas estudadas.

A partir das imagens obtidas com o sonar de varredura lateral no rio Jacuí e no canal São Gonçalo, foi possível identificar uma série de feições de fundo, tanto aquelas causadas por intervenção antrópica como aquelas causadas por processos naturais. No rio Jacuí, as atividades de dragagem para extração de areia são realizadas com dragas de corte e de sucção. Tais processos são claramente identificados através dos sonogramas produzidos pelo sonar, em função de diferenças marcantes entre as cicatrizes deixadas pela draga de sucção e pela draga de corte. No canal São Gonçalo é aplicado apenas um tipo de draga na lavra de areia, cujas cicatrizes foram encontradas nas imediações da ilha da Brigadeira e identificadas como provenientes de dragas de sucção. Este tipo de feição, em ambos os casos, permite verificar *in loco*, a distância da margem até o local dragado, que em todos os casos observados foi sempre superior a 50 m. Esta distância mínima é exigida pela FEPAM para manutenção da licença ambiental.

Feições naturais também foram observadas em alguns pontos específicos. No rio Jacuí, merece destaque a forte erosão causada nas proximidades da ilha do Fanfa, onde os perfis de velocidades obtidos com o ADCP mostram valores superficiais da ordem de 200 cm/s, e junto ao fundo alcançando os 100 cm/s. Combinando estes valores com o sonograma obtido naquele trecho, concluímos que as feições de fundo observadas são causadas pelas fortes correntes que ocorrem em períodos de cheia.

Outro tipo de feições bem característica, são as ondulações de fundo, causadas por forçantes hidrodinâmicas, as quais apresentam dimensões bem variadas. Estas ondulações ou

dunas como são conhecidas, ocorre tanto no rio Jacuí como no canal São Gonçalo, e permitem identificar diferentes níveis de energia dos processos hidrodinâmicos de cada região.

Um detalhe importante é que, apesar de diferenças conceituais entre rio e canal, os dois corpos d'água estudados, apresentaram certas semelhanças quanto aos seus comportamentos hidrodinâmicos. Em períodos de baixa ocorrência de chuvas em suas bacias, a combinação do baixo volume d'água com a incidência de ventos em sentido contrário ao das correntes, causa o represamento natural dos cursos d'água, chegando inclusive a provocar inversão no sentido das correntes. Essa foi a razão pela qual resultou na construção da eclusa do canal São Gonçalo, evitando assim a entrada da água salgada estuarina canal adentro, já que suas águas são utilizadas para irrigação de cultura de arroz. Por outro lado, em períodos de cheias, tanto a eclusa deste último como as barragens existentes no rio Jacuí, são abertas, liberando um volume de água muito grande. O resultado disso pode ser observado em alguns sonogramas que mostram claramente as manchas causadas pela reposição de areia, sendo mais claras nas imagens do rio Jacuí. Isto se justifica em função desta região estar sujeita a dragagens mais intensas. As imagens mostram que, em determinados trechos, o leito do rio já foi completamente perturbado, e quando são utilizadas dragas de corte, as manchas de reposição são mais claras e bem definidas do que no caso das áreas dragadas por sucção.

Em todos os trechos do rio Jacuí onde se fez perfilagem com ADCP, foram registradas velocidades superiores a 50 cm/s próximo ao fundo do rio. Isto confirma o transporte de sedimentos da classe areia por praticamente toda a área amostrada.

O emprego do perfilador acústico de correntes no rio Jacuí, como apresentado nesta tese, numa região do rio submetida a processos de extração de areia, exposta a expressivas variações de nível, permitiu reconhecer e avaliar de forma inédita seu comportamento hidrodinâmico.

Apesar do ADCP não ter sido usado no canal São Gonçalo, através da comparação das imagens de fundo obtidas neste canal com àquelas obtidas no rio Jacuí, pode-se comparar e estimar que os processos hidrodinâmicos em ambas regiões são bastante semelhantes. Em áreas ainda não submetidas à dragagem, as dimensões das ondulações apresentadas nos dois cursos d'água são parecidas, tanto aquelas de maior comprimento de onda como às menores. Isto sugere que em ambos, o nível energético ocorrido nos períodos de maior intensidade de correntes são bem próximos. As ondulações menores apontam para níveis energéticos de igual intensidade nos dois ambientes fluviais, durante os períodos de menor intensidade de correntes.

Perfilagem com ADCP para medição de velocidades de correntes e conseqüentemente a determinação da vazão de água, são empregadas com sucesso em vários ambientes aquáticos

como rios canais e zonas estuarinas e costeiras. Essas informações associadas aos dados de concentração de material particulado em suspensão obtidos através da análise de amostras de água, permitiram estimar a quantidade deste que circula na região do rio Jacuí nos diferentes períodos analisados (normal e cheia). Estima-se que 378 ton/h, em média, estavam transitando naquela área, durante o período de cheia. Deste montante, grande parte tem como destino as áreas de deposição na laguna dos Patos e região oceânica costeira.

O conhecimento da composição sedimentar de leitos de rios e canais é de grande importância para viabilizar a utilização destes para os mais variados fins. Quando se fala em extração de areia, saber de antemão onde encontrar este mineral em diferentes classes granulométricas, possibilita o planejamento das atividades extrativas almejando economia de tempo operacional, já que serviços prévios de amostragem são dispensados. Neste sentido, o emprego de técnicas de classificação automática de superfícies submersas, como apresentado neste estudo, vai ao encontro dos anseios e necessidades de empreendedores deste ramo, como também dos órgãos fiscalizadores (neste caso a FEPAM), viabilizando o acesso às informações em intervalos de tempo menores.

As imagens geradas pelo sonar de varredura no rio Jacuí não se mostraram adequadas para o uso no sistema de classificação automática de fundo, ao contrário do que ocorreu no canal São Gonçalo. Neste último, obteve-se uma boa sequência de sonogramas, desde as proximidades do sangradouro do canal na laguna dos Patos até a ilha da Brigadeira.

Por se tratar de um procedimento científico recente em termos de classificação de sedimentos, durante as primeiras campanhas para mapeamento de fundo, com imagens de sonar de varredura, nossa preocupação estava apenas relacionada à obtenção de imagens visualmente utilizáveis, sem se preocupar com a qualidade do sinal acústico que retornava ao transdutor. Os *softwares* empregados para classificação acústica trabalham com a intensidade do retro espalhamento acústico do sonar de varredura, o qual é imensamente dependente da constância do nível de energia de retorno deste sinal, além da constância do seu alcance (*range*). Como durante o período de utilização do equipamento no rio Jacuí, o sonar de varredura apresentava diferenças nos sinais de retorno de seus canais, estas imagens não puderam ser aproveitadas para este fim.

No canal São Gonçalo, este equipamento se manteve em funcionamento em boas condições apenas durante o primeiro dia de amostragem. Apesar disso, os sonogramas obtidos puderam ser utilizados para servir como banco de dados para o *software* QTC Sideview[®].

O caso do canal São Gonçalo aborda dois aspectos em áreas distintas: a primeira nas proximidades da área portuária e a segunda em área de extração de areia para construção civil.

Nas duas situações, as atividades de dragagem estão presentes. A metodologia empregada neste estudo através da classificação acústica dos sedimentos de fundo permitiu conhecer em detalhe, as principais classes sedimentares que compõem o leito do canal, com grande resolução espacial e temporal. Com um número reduzido de amostras foi possível mapear e classificar um trecho de quase 30 km de extensão. Os sedimentos foram classificados em quatro classes acústicas: lama, areia com silte, areia média a fina e areia grossa. Os mapas de fundo gerados mostram uma maior ocorrência de sedimentos finos no trecho a montante da eclusa, devido ao desague do canal Santa Bárbara e do arroio Pelotas. A deposição destes sedimentos é favorecida pela entrada de águas salgada oriunda da laguna dos Patos. Os mapas mostram também a ocorrência de um padrão deposicional longitudinal, com a ocorrência das classes areia no centro do canal e os sedimentos mais finos mais próximos das margens.

A composição destes mapas, associado a um mapa base (Google Earth[®], por exemplo), se apresenta como uma nova ferramenta para auxiliar no gerenciamento de atividades que envolvem processos de dragagem, tanto para exploração dos recursos minerais como para manutenção de canais de navegação. Neste último, o conhecimento prévio do sedimento a ser removido possibilita a identificação de áreas próximas com a mesma classificação sedimentar, que possam servir de local para descarte do material dragado. Prática esta adotada em países como Alemanha, como foi citado por Wienberg & Bartholoma (2005).

5.2 LIMITAÇÕES DO TEMA

Tanto as perfilagens com o ADCP como imageamento com o sonar de varredura lateral, não apresentaram problemas operacionais durante as campanhas de aquisição de dados. Em algumas situações surgiram problemas relacionados à captura do sinal de satélite para posicionamento via GPS, o que para o sonar de varredura é fundamental para a geração de mosaicos com as imagens e dos mapas de classificação de fundo. Afora isso, não foram encontrados maiores problemas relacionados aos aspectos operacionais.

Com relação ao software QTC Sideview[®], utilizado neste estudo, é oportuno tecer alguns comentários quanto a sua aplicação. Durante o trabalho de revisão bibliográfica, relacionado ao tema, foram poucos os trabalhos que abordavam a aplicação de dados para classificação de fundo, obtidos através de sonar de varredura. Na sua grande maioria, os sistemas classificadores apresentados usam como fonte, bancos de dados obtidos através de ecossondas, procedendo desta forma, a análise de um sinal acústico de retorno muito próximo da direção perpendicular.

Com o advento dos sonares multifeixe, ficou mais fácil se trabalhar com dados oriundos deste tipo de equipamento, já que para cada feixe de ondas, o ângulo de incidência é conhecido, possibilitando a aplicação de procedimentos de compensação do sinal de retorno, facilitando assim a utilização e tratamento do sinal acústico retro espalhado.

O sonar de varredura lateral fornece apenas o registro de profundidade próximo ao nadir. Desta forma, existe uma dependência angular muito grande entre seu ângulo de varredura e a intensidade do sinal retro espalhado na superfície de fundo. Apesar do *software* QTC Sideview® incorporar uma série de rotinas e procedimentos para compensação destes efeitos observou-se certa dependência da resposta obtida com o ângulo de inclinação da superfície analisada. Desta forma, quando a superfície apresenta variações batimétricas significativas, pode haver alguns efeitos colaterais na resposta acústica obtida. Deve-se então ter sempre em mãos, além dos mapas georreferenciados de distribuição das classes acústicas gerados pelo sistema de classificação, o mosaico montado a partir dos sonogramas produzidos pelo sonar para auxiliar na interpretação dos resultados obtidos.

Na realidade, tanto a utilização das imagens do sonar de varredura para análise visual como para servir de base para processos de classificação automática, não deve ser feito de forma isolada. Deve-se sempre buscar a complementação dos resultados obtidos com dados oriundos de outros sistemas. A aquisição de dados batimétricos numa malha amostral densa, torna-se fundamental para a elaboração dos mapas superficiais de sedimentos numa base 3D. Os dados batimétricos obtidos em levantamento realizado num pequeno trecho no rio Jacuí, não se mostraram adequados para a análise proposta, já que estes perfis foram adquiridos com intervalos de 500 m. Por limitações operacionais, não foi possível realizar uma malha amostral com intervalos menores a tempo de serem aproveitados para este trabalho. Levantamento batimétrico com espaçamento de 50 metros entre perfis encontra-se em execução, impossibilitando sua utilização neste estudo para composição dos mapas tridimensionais. Nova aquisição de dados com o SVL também está para ser realizada no rio Jacuí, os quais não puderam ser incorporados neste trabalho.

5.3 TRABALHOS FUTUROS

As técnicas empregadas para o monitoramento dos resultados das dragagens são, em grande parte, realizadas através de perfilagens batimétricas pontuais, que de certa forma

permitem a constatação do efeito resultante. Entretanto, técnicas mais modernas que permitem a visualização das áreas dragadas através de imagens, como aquelas geradas pelo sonar de varredura lateral (SVL), quando associadas à resultados de sondagens batimétricas, amostragens de sedimentos e a classificação automática destes, além de perfilagem de velocidades de corrente, podem ser empregadas para a caracterização geomorfológica e hidrodinâmica das áreas estudadas.

Os resultados obtidos neste estudo despertaram o interesse tanto por parte das empresas mineradoras, como dos órgãos fiscalizadores. Para os primeiros em função do grande volume de informações de alta qualidade disponibilizado em curto espaço de tempo, que serviram para embasamento e fundamentação legal quanto aos impactos causados pelos processos de dragagem, assim como outros, comprovadamente causados pela ação de forçantes naturais. Para os segundos, se mostrando como novidade em termos de aquisição e apresentação de dados, o que resultou, em certo momento, na solicitação de esclarecimentos ao corpo técnico da FEPAM, mesmo que informalmente, a respeito do material apresentado em relatórios realizados pela empresa detentora da lavra mineral.

Como metas a serem cumpridas em trabalhos futuros pretende-se complementar o banco de dados disponível em cada região com aqueles faltantes para a complementação da proposta inicial. No rio Jacuí, o levantamento batimétrico em malha amostral densa, com espaçamento de 50 m entre linhas já está em andamento. Associado a isto será executado o levantamento sonográfico de toda a área de concessão estudada, permitindo assim a aplicação da metodologia de classificação automática de sedimentos de superfície de fundo naquela região, nos mesmos padrões daquela realizada com sucesso no canal São Gonçalo.

No canal São Gonçalo tem-se como objetivo, a complementação do levantamento sonográfico realizado, a fim de viabilizar o mapeamento sedimentológico em toda a sua extensão. Além disso, recomenda-se também a realização de trabalhos periódicos de investigação do comportamento hidrodinâmico, através de ADCP, que possibilitem a análise de sua capacidade de transporte de MS, bem como a reposição da areia extraída por dragagem exploratória.

Como trabalhos futuros, é indispensável o acompanhamento através de imageamento via SVL junto com a classificação automática de sedimentos, de áreas submetidas a processos de dragagem para manutenção dos canais navegáveis na zona estuarina. Estes procedimentos viabilizarão não só a identificação e localização das classes sedimentares a serem removidas, como também a possível identificação de zonas onde o descarte do material dragado possa ser

feito, com a devida avaliação dos impactos causados, além da possibilidade de utilização dos rejeitos na fabricação de componentes utilizados na construção civil como tijolos e telhas.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. T.; GREGORY, R. S.; COLLINS, W. T. Acoustic classification of marine habitats in coastal Newfoundland. *ICES Journal of Marine Science*, v.59, p.156-167, 2002.

ANTONY, D.; LETH, J. O. Large-scale bedforms, sediment distribution and sand mobility in the eastern North Sea off the Danish west coast. *Marine Geology*, v.182, p.247-263, 2002.

ASHLEY, G. M. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. *Journal of Sedimentary Petrology*. v.60, p.160-172, 1990.

ÁVILA, A. M. H. *Regime de precipitação pluvial do Rio Grande do Sul com base em séries de longo prazo*. 1994. 75 f.. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, UFRGS, 1994.

BELO, W. C. O fundo marinho da baía da Ilha Grande, RJ: evidências da ação de correntes e de ondas no canal central com base em formas de fundo observadas em registros de sonar (100 kHz). *Rev. Bras. Geofís.* v.20, p.17-30, 2002.

BELO, W. C.; DIAS, G. T. M.; DIAS, M. S. *O fundo marinho da baía da Ilha Grande, RJ: o relevo submarino e a sedimentação no canal central*. *Rev. Bras. Geofís.* v.20 n. 1, p. 5-15, 2002.

BIFFARD, B. R., PRESTON, J. M.; CHAPMAN, N. R. *Acoustic Classification with single-beam echosounders: processing methods and theory for isolating effects of the seabed echoes*. In: MTS/IEEE Oceans 2007. Vancouver, Canada, 29 september to 4 october 2007.

BULLA, L.A.S.; HARTMANN, C. Considerações sobre a dinâmica de uma área de mineração de areia em períodos normal e de enchente no baixo Rio Jacuí, RS, Brasil. *Revista Pesquisa em Geociências*. UFRGS, Porto Alegre, Brasil. 2008. (Trabalho não publicado).

CALLIARI, L. J.; ABREU, J. G. N. Litologia da plataforma continental interna adjacente à cidade do Rio Grande, RS, através da interpretação de registros de sonar de varredura lateral e amostragem superficial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1994, Rio de Janeiro, RJ, 1994. *Anais...* Rio de Janeiro: [S.n.], 1994. p.1553-1564.

CALLIARI, L. J.; ESTEVES, L. S.; CARDOSO, J. N. Padrões sonográficos sedimentológicos de um afloramento de beachrock na plataforma interna do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, 1994, Balneário Camboriú, SC. *Boletim de resumos expandidos*, p.374-376.

CLARKE, J. E.; DANFORTH, B. W.; VALENTINE, P. Areal seabed classification using backscatter angular response at 95 kHz. In: HIGH FREQUENCY ACOUSTICS IN SHALLOW WATER. Lerici, Italy, 30 June – 4 July. 1997.

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

Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral 2006. Brasília: [S.n] , 2000.
Disponível em:
<http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=1006> Acesso em:
mar. 2008.

DIAS, F. J. S.; MARINS, R. V.; MAIA, L. P. Descarga de material particulado em suspensão para o estuário do rio Jaguaribe (CE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 3, |CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE OCEANOGRAFIA, 2008. Fortaleza , CE, 20 a 24 de maio de 2008.

FILHO, G. L. T. et al. *O uso do ADCP em pequenos e médios cursos d'água*. Grupo de Trabajo Sobre Hidromecánica – 5ª Reunión. Montevideo, Uruguay, 11 a 14 de maio de 1999

FISH, J. P.;CARR, H. A. *Sound underwater images: a guide to the generation and interpretation of side scan sonar data*. EG&G Marine Instruments. Burlington. 1999.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, v.27, p.3-27. 1957.

FONSECA, L. E. N. Correções radiométricas dos dados sonográficos da Bacia de Campos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO,8. Salvador, Brasil, 14 a 19 de abril de 1996. p.899-904.

FREITAS, R., Silva, S., et. al. Acoustic seabed classification of marine habitats: studies in the western coastal-shelf área of Portugal. *ICES Journal of Marine Science*, v.60, p.599-608. 2003.

FREITAS, R., Sampaio, L., RODRIGUES, A. M. ; QUINTINO, V. Sea-bottom classification across a shallow-water bar channel and near-shore shelf, using single-beam acoustics. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 65, p.625-632. 2005.

GAMARO, P. E. Curso de Medidores de Vazão Acústica Doppler, 3, Foz do Iguaçu, PR, 96p. 2007.

GARCIA-GIL, S.; DURAN, R.; VILAS, F. Side scan sonar image and geologic interpretation of the Ría de Pontevedra seafloor (Galicia, NW Spain). *Scientia Marina*, v.64, n.4, p. 392-402. 2000.

GLEASON, A. C. R.; REID, R. P., EKLUND, A-M.; KOCH, V. Acoustic signatures of the seafloor: tools for predicting grouper habitat. In: ANNUAL GULF AND CARIBBEAN FISHERIES INSTITUTE, 56, 2003. *Proceedings...* Roadtown, Tortola, British Virgin Islands, 10 a 14 de novembro de 2003.

GREEN, M. O. Side-scan sonar mosaic of a sand ridge field: Southern Mid-Atlantic Bight. *Geo-Marine Letters*, v.6, p.35-40. 1986.

GUERRA, J. V. et. al. Escalas temporais de variação das correntes e do sinal de retro-espalhamento, coletados por ADCP, no canal Central, Baía de Ilha Grande, RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 3, São Paulo, SP, 4 a 8 de dezembro de 2006. *Anais...* p.409-417.

- HAMILTON, E. L.; SHUMAWAY, G.; MENARD, H. W.; SHIPEK, C. J. Acoustic and other physical properties of shallow-water sediments off San Diego. *The Journal of the Acoustical Society of America*. v.28, n.1, p.1–15. 1956.
- HAMILTON, L. J.; MULHEAM, P. J.; POECKERT, R. Comparison of RoxAnn and QTC-View acoustic bottom classification system performance for the Cairns area, Great Barrier Reef, Australia. *Continental Shelf Research*. 1999. p.1577-1597.
- HAR engenharia e meio ambiente. 1994. *Plano de controle ambiental (PCA), Areia quartzosa do leito do rio Jacuí – Relatório Técnico*.
- HARTMANN, C. *Dinâmica, distribuição e composição do material em suspensão na região sul da Laguna dos Patos, RS*. Porto Alegre, 1996. 363 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- HARTMANN, C.; VIERIA, S. R. S. Emprego da câmara fotográfica digital Ricoh Caplio 500SE em mapeamento e geoprocessamento, RS, Brasil. *Gravel*, v.6, n.2, p.35-45. 2008.
- HARALICK, R. M.; SHANMUGAM, K.; DINSTEN, I. Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. v.3, n.6, p.610-621. 1973.
- HELLEQUIN, L.; BOUCHER, J-M.; LURTON, X. Processing of high-frequency multibeam echo sounder data for seafloor characterization. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. v.28, n.1, p.78-89. 2003
- HENNINGS, B. L.; VERNEMMEN, C.; VANHESSCHE, U. On the behaviour of tidal current directions due to the presence of submarine sand waves. *Marine Geology*, v.169, p.57-68.2000.
- HOGARTH, P. Shallow water surveys using the GeoAcoustics GeoSwath. In: SHALLOW WATER CONFERENCE – Australia, nov. 2003.
- HJULSTROM, F. Transportation of detritus by moving water. In: Recent Marine Sediments, American Association of Petroleum Geologists, 5-31. Tulsa, 1939.
- HUMBORSTAD, O. B.; NOTTESTAD, L.; LOKKEBORG, S. RoxAnn bottom classification system, sidescan sonar and video-sledge: spatial resolution and their use in assessing trawling impacts. *ICES Journal of Marine Science*, v.61, p.53-63. 2004.
- HUVENNE, V. A. I.; BLODEL, Ph.; HENRIET, J. Textural analyses of sidescan sonar imagery from two mound provinces in the Porcupine Seabight. *Marine Geology*, v.189, p.323-341. 2002.
- IHO – International Hydrographic Organization. *Manual of Hydrography*. 1st Edition. Monaco, 2005.
- KNIGHTON, D. *Fluvial Forms & Processes – A new perspective*. Oxford University Press Inc. New York, 1998.
- KELLEY, J. T. et.al. Sand volume and distribution on the paraglacial inner continental shelf of the Northwestern Gulf of Maine. *Journal of Coastal Research*, v.19, n.1, p.41-45.2005.

KENNY, A. J., et.al. *An overview of seabed-mapping technologies in the context of marine habitat classification*. ICES Journal of Marine Science, v.60, p.411-418. 2003.

JACKSON, D. R.; WINNEBRENNER, D. P.; ISHIMARU, A. Application of the composite roughness model to high-frequency bottom backscattering. *The Journal of the Acoustical Society of America*. v.79, n.5, p.1410-1422.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. *Fluvial processes in geomorphology*. Dover Publications Inc: New York, 1995.

LURTON, X. *An introduction to underwater acoustics – Principles and applications*. Praxis Publishing Ltd.: Chichester, UK. 2004.

MCHUGH, C. M. G.; RYAN, W. B. F. Sedimentary features associated with channel overbank flow: examples from the Monterey Fan. *Marine Geology*, v.163, p.199-215. 2000

MCKINNEY, C. M. ; Anderson, C. D. Measurements of backscattering of sound from the ocean bottom. *The Journal of the Acoustical Society of America*. v.36, n.1, p.158-163. 1964.

MCKINNEY, T. F.; STUBBLEFIENL; W. L.; SWIFT, D. J. P. Large-scale current lineations on the central New Jersey shelf: Investigations by side-scan sonar. *Marine Geology*, v.17, n.2, p.79-102.1974.

MICHAELS, W. L. Review of acoustic seabed classification systems. In: ACOUSTIC SEABED AND CLASSIFICATION OF MARINE PHYSICAL BIOLOGICAL LANDSCAPES. *ICES Cooperative Research Report N^o 286*. Copenhagen, Denmark. p.94-115. 2007.

MORENO, J. A. *Clima do Rio Grande do Sul*. Secção de Geografia – Secretaria da Agricultura. Porto Alegre, 42p. 1961.

MORLOCK, S. E. Evaluation of acoustic Doppler current profiler measurements of river discharge. *United States Geological Survey – Water-resources Investigations Report 95-4218*. Indianapolis, Indiana, USA. 1996.

MUSTE, M.; YU, K.; SPASOJEVIC, M. Practical aspects of ADCP data use for quantification of mean river flow characteristics; Part I: moving-vessel measurements. *Flow Measurement and Instrumentation* v.15, p.1-16. 2004.

NIMER, E. *Clima*. IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geografia do Brasil: Região Sul. Rio de Janeiro, p151-187. 1990.

PACE, N. G.; DYER, C. Machine Classification of Sedimentary Sea Bottoms. *IEEE Transactions on Geoscience Electronics*. v.17, n.3, p.52-56. 1979.

PAOLO, F. S. & MAUIQUES, M. M. Utilização de métodos acústicos em estudo de dinâmica costeira: exemplo na desembocadura lagunar de Cananéia. *Revista Brasileira de Geofísica*. v.26(2), p.211-225. 2008.

PRESTON, J. M.; CHRISTNY, A. C.; COLLINS, W. T. Automated acoustic classification of sidescan images. In: OCEANS'04. MTS/IEEE TECHNO-OCEAN'04, Kobe, Japan, 9-12 November. v.1, p.2060-2065. 2004.

QUARESMA, V. S.; DIAS, G. T. M.; NETO, J. A. B. Caracterização da ocorrência de padrões de sonar de varredura lateral e sísmica de alta frequência (3,5 e 7,0kHz) na porção sul da Baía de Guanabara. REV. BRAS. GEOF. v.18, n. 2, p.201-214. 2000.

RDINSTRUMENTS, *Acoustic Doppler Current Profiler: Principles of Operation*. A Practical Primer. San Diego, Ca, USA. 1996

ROCHA, A. C. *Aplicação de métodos diretos e indiretos na análise da dispersão de sedimentos na Baía de Santos*, São Paulo, 2003, 91p. Dissertação (Mestrado em oceanografia) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.

RUHL, C. A. & SIMPSON, M. R. Computation of discharge using the index-velocity method in tidally affected areas. *Scientific Investigations Report 2005-5004*. USGS. 2005.

RUKAVINA, N. Mapping and monitoring contaminated-sediment geometry and stability. *The Science of the Total Environment*. v.266, p.33-39. 2001.

SBORSHCHIKOV, I. M., et.al. Afanasy Nikitin Seamount within the intraplate deformation zone, Indian Ocean. *Marine Geology*, v.128, p.115-126. 1995.

SCHETTINI, C. A. F.; ZALESKI, A. L. *A utilização de perfiladores acústicos de corrente por efeito Doppler na determinação do material particulado em suspensão na água: Aplicações*. CTTMar/UNIVALI. 2004.

SHEPARD, F. P. Nomenclature base don san-silt-clay rations. *Journal of Sedimentary Petrology*, v.24, p.151-158. 1954.

SHULZ, U. H.; LEAL, M. E. *Avaliação da atividade de mineração de areia do Rio Jacuí sobre o estado da ictiofauna – Aspectos gerais e regionais*. Laboratório de ecologia de peixes, São Leopoldo: UNISINOS, 2006.

SIMPSON, M. R. *Discharge measurements using a broad-band acoustic Doppler current profiler*. Open-file report 01-1. USGS. 2001.

SIMPSON, M. R.; OLTMANN, R. N. *Discharge-measurement system using an acoustic Doppler current profiler with applications to large rivers and estuaries*. USGS water-supply paper 2395. 32 p. 1993.

SOUZA, L. A. P. As técnicas geofísicas de sísmica de reflexão de alta resolução e sonografia aplicada ao estudo de aspectos geológicos e geotécnicos em áreas submersas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35. Belém, PA, 6 a 13 de novembro de 1988. *Anais...* n.4, p.1551-1564.

SOUZA, L. A. P. *Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas*, São Paulo, 2006, 311p. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.

- TAYLOR, J., DOWDESWELL, J. A.; KENYON, N. H. Canyons and late Quaternary sedimentation on the North Norwegian margin. *Marine Geology*, v.166, p.1-9. 2000.
- TESSLER, M. G. ; SOUZA, L. A. P. Dinâmica sedimentar e feições sedimentares identificadas na superfície de fundo da sistema Cananéia-Iguape, SP. *Rev. Bras. Oceanografia*, v.46, n.1, p. 69-83. 1998.
- THORNTON, E. B.; SWAYNE, J. L.; DINGLER, J. R. Small-scale morphology across the surf zone. *Marine Geology*, v.145, p.173-196. 1998.
- TRENAMAN, N.; MARSDEN, R. Horizontal acoustic Doppler current profile instrument development and applications. *Proceedings... IEEE/EOS Seventh Working Conference on Current Measurement Technology*, p.7-11. 2003.
- URICK, R. J. *Principles of underwater sound* (3rd edn). New York:McGraw-Hill. 1993.
- VAN WALREE, P. A., et.al. Acoustic seafloor discrimination with echo shape parameters: A comparison with the ground truth. *Continental Shelf Research*. v.25, p. 2273-2293. 2005
- VIEIRA, H. *Aspectos sedimentológicos do canal de São Gonçalo*. 1982. 132p. Dissertação (Mestrado em Geociências)- Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1982.
- VORA, K. H., et. al. 1300 km long late Pleistocene-Holocene shelf edge barriers reef system along the western continental shelf of India: occurrence and significance. *Marine Geology*, v.134, p.145-162. 1993.
- WALL, G. R.; NYSTROM, E. A.; LITTEN, S. *Use of an ADCP to compute suspended-sediment discharge in the tidal Hudson River, New York*. USGS 16 p. 2006.
- WIENBERG, C.; BARTHOLOMA, A. Acoustic seabed classification in a coastal environment (outer Weser Estuary, Germany Bight) – a new approach to monitor dredging and dredge spoil disposal. *Continental Shelf Research*, v.25, p.1143-1156. 2005.
- WOODRUFF, J. D. et.al. Seasonal variation of sediment deposition in the Hudson River estuary. *Marine Geology*, v.179, p.105-119. 2001.
- WRIGHT, L. D.; KIM, S.-C.; FRIEDRICHS, C. T. Across-shelf variations in bed roughness, bed stress and sediment suspension on the northern California shelf. *Marine Geology*, v.154, p.99-115. 1999.