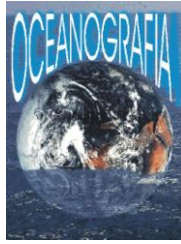




Universidade Federal do Pará



Faculdade de Oceanografia



Instituto de Geociências

## TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**NARA DE SENA SOUZA PINTO**

**ANÁLISE DE MORFOLOGIA DE FUNDO NA REGIÃO  
DO RIO PARÁ ATRAVÉS DA SÍSMICA DE  
REFLEXÃO**

**GEOCIÊNCIAS**

**U F P A**

**BELÉM-PARÁ**

**Janeiro - 2011**



**NARA DE SENA SOUZA PINTO**

**ANÁLISE DE MORFOLOGIA DE FUNDO NA REGIÃO DO RIO PARÁ ATRAVÉS  
DA SÍSMICA DE REFLEXÃO**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de  
Oceanografia do Instituto de Geociências  
da Universidade Federal do Pará, em  
cumprimento às exigências para  
obtenção do grau de bacharel em  
Oceanografia.**

**Orientadora: Dra. Odete Fátima Machado  
da Silveira**

**BELÉM-PA  
2011**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

P659a Pinto, Nara de Sena Souza

Análise de morfologia de fundo na região do rio Pará através da sísmica de reflexão / Nara de Sena Souza Pinto; Orientadora: Odete Fátima Machado da Silveira – 2011

42 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Quarto Período de 2010.

1. Sísmica de alta resolução. 2. Estuário do Rio Pará. 3. Morfologia de fundo. 4. Batimetria. I. Silveira, Odete Fátima Machado da, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 20<sup>o</sup> ed.: 551.4608098115

---

**NARA DE SENA SOUZA PINTO**

**ANÁLISE DE MORFOLOGIA DE FUNDO NA REGIÃO DO RIO PARÁ ATRAVÉS  
DA SÍSMICA DE REFLEXÃO**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de  
Oceanografia do Instituto de Geociências  
da Universidade Federal do Pará, para  
obtenção do grau de bacharel em  
Oceanografia.**

**Data da Defesa:** \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**Conceito:** \_\_\_\_\_

**Banca Examinadora:**

---

**Prof. Odete Fátima Machado da Silveira –  
Orientadora**  
Doutora em Geologia  
Universidade Federal do Pará (UFPA)

---

**Prof. Marcelo Rollnic**  
Doutorado em Oceanografia  
Universidade Federal do Pará (UFPA)

---

**Susane Rabelo de Souza-Vieira**  
Doutoranda – Programa de Pós-Graduação em  
Geologia e Geoquímica  
Universidade Federal do Pará (UFPA)

**Dedico a todos que de certa forma  
colaboraram com este trabalho de  
conclusão de curso.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Universidade Federal do Pará, ao Instituto de Geociências (IG), a Faculdade de Oceanografia pelo suporte técnico na utilização do Laboratório Institucional de Oceanografia Geológica e Geofísica Marinha – LIOG.

Agradeço ao Professor Doutor Marcelo Rollnic e a Doutoranda Susane Rabelo de Souza-Vieira por aceitaram a participar de minha banca avaliadora.

Agradeço a Deus e aos meus pais. Minha mãe querida “Nenova”, que sempre esteve ao meu lado em qualquer situação dando muito amor, carinho e tendo muita paciência comigo apesar das nossas desavenças e discordâncias pelos nossos gênios fortes. Ao meu amado pai Edu que me deu toda confiança e perseverança para seguir meus sonhos, conquistar meus objetivos e jamais desistir.

Ao meu querido e chato irmão, meu ídolo, que sempre me deu forças para os estudos e sempre confiou em minha inteligência e capacidade para tudo, muito obrigado por nunca desistir de ser perseverante comigo.

A minha querida família que unidos sempre ultrapassamos os obstáculos colocados em nossas vidas, nas alegrias ou tristezas. Meus queridos avô e avó, tios e tias que sempre estiveram por perto e me ajudaram todos esses anos.

A minha segunda família de coração, família D’ÁVILA muito obrigada por todos os momentos de alegria que tivemos juntos, pelos anos maravilhosos tanto em Belém quanto em Fortaleza, amo vocês.

A minha querida e orientadora Odete por ser paciente comigo, pelos ensinamentos valiosos de graduação e de vida, conselhos de ouro e puxões de orelha necessários. Muito obrigada e continue sendo essa pessoa em que todos nós nos espelhamos e esperamos um dia ser tão bons profissionais quanto à senhora.

Aos meus eternos e queridos companheiros dos melhores momentos que eu já tive durante esses cinco anos, o meu imenso obrigada a eterna Equipe: Andréia (Tetéia), Gustavo (Jogador), Alan, Luiza (Lubinha), Manu (Pequena), Diego (Pretinho), Diego (Xará), Ivana (Bosnic), Daniele (Dani) , Charles , Jefferson (Jeff) e Aderson (Negão). Em especial a Francielli (Fran), minha querida amiga, irmã e cúmplice de todas às horas, muito obrigada pela sua paciência e dedicação a nossa amizade, jamais vou esquecer todas as conversas, conselhos e risadas que demos juntas espero que sempre estejamos unidas por mais que a distância exista, te amo de todo o coração minha irmã.

Aos amigos loucos da turma de 2006 de Oceanografia: Adjalbas, Aline, Ellen, Elo, Lygia, Marcio e Ruth, valeu pela companhia de todos os dias de graduação e pelas práticas mais malucas e divertidas que tivemos.

Em especial a Lidiane, por todas as horas que passamos interpretando e estudando dados, pelos conselhos e apoio na continuação deste trabalho.

Obrigada a todos que participaram e ajudaram tanto moralmente quanto intelectualmente neste trabalho.

“O primeiro dever da inteligência é desconfiar dela mesma”

***(Albert Einstein)***

## RESUMO

O estuário do rio Pará compreende um conjunto hidrográfico formado por inúmeros rios cujas águas nele desembocam, dando origem a uma sucessão de baías e enseadas que se estendem ao longo de toda costa sul da ilha de Marajó, localizado na porção central - ocidental do Golfão Marajoara é de fundamental importância para compreender a geomorfologia regional. Com base nessas características, o objetivo principal deste trabalho foi a análise e interpretação da morfologia de fundo através da sísmica de alta resolução na região do Rio Pará, e sua comparação com a carta náutica da DHN. O desenvolvimento do trabalho constituiu-se em: levantamento bibliográfico de características da área de estudo e sobre a sísmica de reflexão de alta resolução; levantamento dos perfis sísmicos, sendo estes dois longitudinais (L1-L1' e L2-L2') e três transversais (P-P', T1-T1' e T2-T2'); processamento digital dos perfis sísmicos e, processamento digital dos perfis batimétricos, obtidos através das cartas náuticas (304 e 305) obtidos pelo site da DHN da Marinha. Isto possibilitou a análise e interpretação morfológica de fundo, através de comparação dos dados sísmicos e batimétricos. Os perfis sísmicos foram confeccionados a partir dos softwares *Discover SB*, *Surfer 9* e *Photoshop CS5*, e para a confecção de perfis batimétricos a utilização dos softwares *Arc GIS 9.3* e *Global Mapper 11*. Os perfis transversais (P-P', T1-T1' e T2-T2') de forma geral como principais resultados apresentaram morfologias de fundo como sistema de canal e bancos, os perfis longitudinais (L1-L1' e L2-L2') apresentaram canais de relevo plano e bancos com *sandwaves* sobrepostas. Em todos os perfis sísmicos as morfologias de fundo foram comparadas aos dados batimétricos das cartas náuticas, observou-se que os perfis sísmicos possibilitam melhor identificação das morfologias de fundo devido sua maior resolução, além da possibilidade de obtenção de feições menores como as *sandwaves*, consegue também atingir melhores resultados em diferentes tipos de sedimento, diferente assim dos perfis batimétricos que possibilitam também a identificação da morfologia de fundo porém de resolução inferior. Estes resultados devem-se a diferença de frequência utilizadas pelas fontes de cada aquisição (sísmica e batimétrica). Valendo-se da importância dos resultados obtidos com fontes de maior resolução, como este estudo apresenta a Marinha já está implementando equipamentos de multifeixe para a aquisição de dados mais precisos. Além dos perfis sísmicos oferecerem a vantagem de melhor resolução das morfologias de fundo,

comparados aos perfis batimétricos, também possibilitam a identificação da espessura de camadas sedimentares e embasamento rochoso. No entanto, neste trabalho não foi possível este tipo de identificação devido a pouca penetração das ondas acústicas.

Palavras chaves: Sísmica de alta resolução. Estuário do Rio Pará. Morfologia de fundo.batimetria.

## ABSTRACT

The estuary of the Para River hydrographic comprises a set formed by numerous rivers whose waters flow into it, giving rise to a succession of bays and coves that stretch along the entire southern coast of Marajo, located in the central portion - the West "Golfão Marajoara" is of fundamental importance for understanding the regional geomorphology. Based on these characteristics, the main objective of this study was the analysis and interpretation of the bottom morphology through high resolution seismic Para River region and the comparison with the nautical chart of DHN. The development work is on: the bibliographic characteristics of the study area and the seismic reflection high resolution; survey of seismic profiles, which are two longitudinal (L1 and L2-L1-L2 ') and three transverse (PP ', T1, T1' and T2-T2 '); digital processing of seismic profiles, and digital processing of bathymetric profiles, obtained from nautical charts (304 and 305) obtained by the site of DHN Navy. This allowed for the morphological analysis and interpretation of background, by comparing the bathymetric and seismic data. The seismic profiles were made from the software Discoverey SB Surfer 9 and Photoshop CS5, and for the preparation of bathymetric profiles using the software Arc GIS 9.3. and Global Mapper 11. The transverse profiles (PP ', T1-T1' and T2-T2 ') in general morphology as the main results presented background as a system of channels and banks, the longitudinal profiles (L1-L1'and L2-L2 ') channels showed relief plan and banks with overlapping sandwaves. In all seismic profiles morphologies background were compared to data from bathymetric charts, it was observed that the seismic profiles allow better identification of morphologies background due to its higher resolution, beyond the possibility of obtaining smaller features such as sandwaves, can also achieve better results in diferentestipos sediment, so different from bathymetric profiles that allow for the identification of bottom morphology but lower resolution. These results are due to difference frequency sources used by each acquisition (seismic and bathymetric). Drawing on the importance of the results obtained with sources of higher resolution, as this study shows the Navy is already implementing equipment for multibeam data acquisition more precisos. Além the seismic profiles offer the advantage of better resolution of morphologies background, compared the bathymetric profiles, also allow the identification of the thickness of sedimentary layers and basement rock.

However, this work could not this type of identification due to poor penetration of acoustic waves.

Keywords: high resolution seismic. Para River Estuary. Bottom morphology. Bathymetry.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01 –	Mapa de localização da área.....	17
FIGURA 02 –	Processo físico da sísmica de reflexão.....	20
FIGURA 03 –	Imagens do efeito paramétrico.....	23
FIGURA 04 –	Mapa de localização dos perfis sísmicos.....	25
FIGURA 05 –	Perfilador de subsuperfície tipo <i>chirp</i> .....	25
FIGURA 06 –	Exemplo de digitalização no <i>software Discoverey SB</i> .....	26
FIGURA 07 –	Imagens tratadas no <i>Surfer 9</i> .....	27
FIGURA 08 –	Perfis sísmicos no <i>Photoshop CS5</i> .....	25
FIGURA 09 –	Carta náutica.....	29
FIGURA 10 –	Perfil Baía do Marapatá – Ilha de Urubuéua (P-P').....	31
FIGURA 11 –	Perfil batimétrico do P-P'.....	31
FIGURA 12 –	Perfil Ilha de Urubuéua- Furo de Urubuéua (L1-L1').....	33
FIGURA 13 –	Perfil batimétrico do L1-L1'.....	33
FIGURA 14 –	Perfil Furo de Urubuéua – Enseada do Malato (L2-L2').....	35
FIGURA 15 –	Perfil batimétrico L2-L2'.....	35
FIGURA 16 –	Perfil Enseada do Malato – Baixo do Macau (T1-T1).....	37
FIGURA 17 –	Perfil batimétrico T1-T1'.....	37
FIGURA 18 –	Perfil Baixo do Macau – Furo do Arrozal (T2-T2').....	39
FIGURA 19 –	Perfil Batimétrico T2-T2'.....	39
TABELA 01 –	Conjunto de especificações dos modelos tipos <i>chirp</i> .....	21
TABELA 02 -	Descrição dos perfis sísmicos	28

## SUMÁRIO

1.	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
2.	<b>OBJETIVO GERAL</b> .....	16
3.	<b>LOCALIZAÇÃO DA ÁREA</b> .....	17
4.	<b>CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DA ÁREA</b> .....	18
5.	<b>GEOFÍSICA EM ÁREAS SUBMERSAS</b> .....	19
6.	<b>SISMICA DE REFLEXÃO</b> .....	20
7.	<b>METODOLOGIA</b> .....	24
7.1.	LEVANTAMENTO SÍSMICO.....	24
7.2.	PROCESSAMENTO DIGITAL DOS PERFIS SÍSMICOS.....	26
7.3.	PROCESSAMENTO DIGITAL DOS PERFIS BATIMÉTRICOS....	29
8.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	30
8.1.	PERFIL P-P'.....	30
8.2.	PERFIL L1-L1'.....	32
8.3.	PERFIL L2- L2'.....	34
8.4.	PERFIL T1-T1'.....	36
8.5.	PERFIL T2-T2'.....	38
9.	<b>CONCLUSÃO</b> .....	40
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	41

## 1. INTRODUÇÃO

Os estuários são ambientes encontrados por quase todo o mundo e em todo tipo de clima sendo um ambiente costeiro em conexão com o oceano podendo conter subdivisões em zonas diferenciadas e com limites dinâmicos de variação sazonal (MARTINS, 2006).

O rio Pará compreende um conjunto hidrográfico formado por inúmeros rios cujas águas nele desembocam, dando origem a uma sucessão de baías e enseadas que se estendem ao longo de toda costa sul da ilha de Marajó e o continente iniciando a baía de Marajó. O rio Pará, possui mais de 300 km de extensão e cerca de 20 km de largura média (LIMA, TOURINHO, COSTA 2001).

O estuário do rio Pará, localizado na porção central - ocidental do Golfão Marajoara é de fundamental importância para compreender a geomorfologia regional (MARTINS, 2010), porém fatores físicos e hidrológicos dificultam a compreensão de áreas submersas.

Entretanto, a utilização de métodos geofísicos em área submersas, como as fontes ressonantes que utilizam do método da sísmica de reflexão vem crescendo e sendo mais utilizada nas últimas décadas para auxílio nos estudos acadêmicos e ambientais na complementação de informações para a caracterização e melhor compreensão das áreas submersas.

De acordo com Brunetta (2005), a sísmica de reflexão visa detectar com precisão feições geológicas e de poucos metros de profundidade. Através das seções sísmicas podemos analisar as feições morfológicas presentes nos perfis estudados, de acordo com a resposta que os parâmetros elásticos adequados e velocidade de propagação para o melhor levantamento de uma linha sísmica.

Porém o levantamento sísmico além de depender dos fatores físicos depende também da geologia do local, se esta irá responder sísmicamente ou não, e nem sempre filtros computacionais podem salvar dados mal coletados (BRUNETTA, 2005).

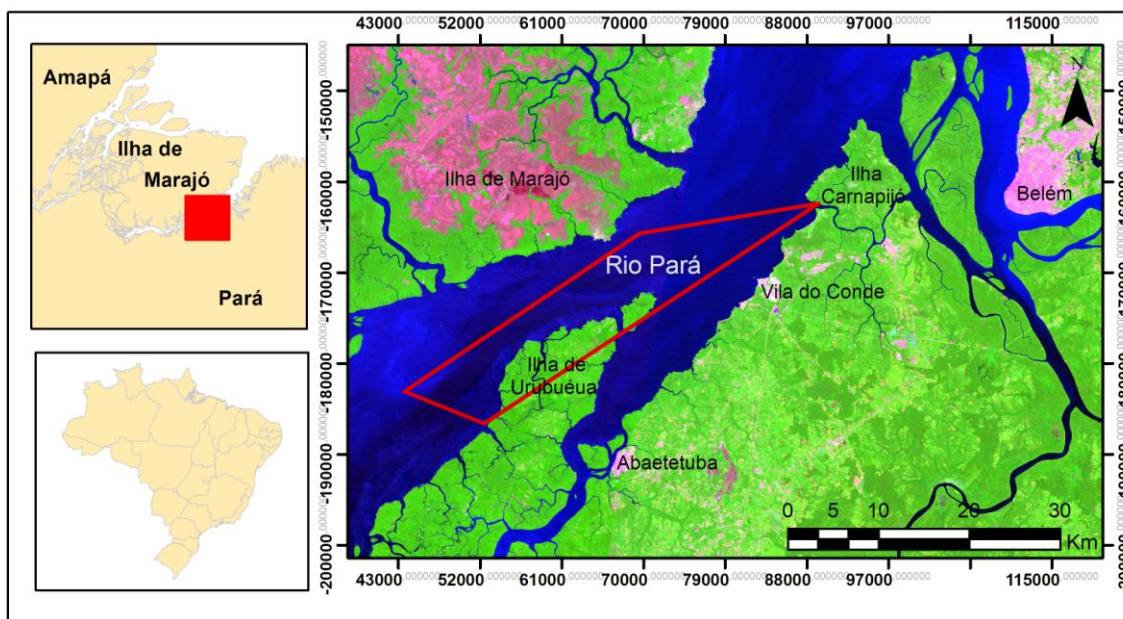
Este trabalho visa à interpretação e reconhecimento das feições morfológicas e unidades sísmicas em ambientes estuarinos, precisamente no estuário do rio Pará, através da ferramenta geofísica da sísmica de reflexão.

## **2. OBJETIVO GERAL**

O objetivo principal deste trabalho é a análise e reconhecimento da morfologia de fundo através da sísmica de alta resolução na região do Rio Pará, e sua comparação com a carta náutica da DHN.

### 3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo está localizada na área submersa compreendida entre as coordenadas  $01^{\circ} 29' 1,212''$  S/ $48^{\circ} 46' 2,166''$  W e  $01^{\circ} 28' 5,916''$  S/ $48^{\circ} 41' 44,118''$  W, no estuário do Rio Pará, conforme a figura 1.



**Figura 1:** Imagem da área de estudo.

#### 4. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DA ÁREA

Entende-se como rio Pará, um conjunto hidrográfico formado por inúmeros rios cujas águas nele desembocam, dando origem a uma sucessão de baías e enseadas que se estendem ao longo de toda costa sul da ilha de Marajó e o continente iniciando a baía de Marajó. O rio Pará, possui mais de 300 km de extensão e cerca de 20 km de largura média (LIMA, TOURINHO, COSTA, 2001).

A intensa sedimentação, em áreas de remanso, pode formar bancos, o que torna irregular a batimetria do fundo da baía. Estes bancos aparecem em função das correntes e das marés e sua formação acontece por deposição daqueles particulados originários dos rios da bacia contribuinte à baía (PLANAVE, 2005).

Os rios que contribuem à baía do Marajó, no caso o rio Pará, o rio Tocantins e seus afluentes, transportam estes sedimentos de fundo que se depositam na superfície de fundo, para a formação de fácies morfológicas (PLANAVE, op.cit.), e segundo MARTINS (2010) são compostos basicamente por silte, argila e matéria orgânica oriunda da decomposição vegetal, o que é um fenômeno bastante conhecido na região.

A grandiosidade espacial e a complexidade dos fatores físicos, hidrológicos e ecológicos do Golfão Marajoara, têm impedido a compreensão integrada da geomorfologia regional do Baixo Amazonas. Desde a margem esquerda do canal norte do rio Amazonas até o tabuleiro rebaixado de Nova Barcarena (Vila do Conde), medeia um interespaço de planícies deltaicas antigas e atuais, envolvendo um espaço de 300 a 320 km de largura (MARTINS, 2010).

De acordo, Martins (2010), a porção centro-ocidental da ilha de Marajó constitui-se de um núcleo fundamental para a compreensão da geomorfologia de todo o Golfão Marajoara. Sob a forma de um nível de terraço intermediário, mantido por lateritas, essa porção da ilha existe desde o Pleistoceno médio para o superior, antes, da grande regressão pré-holocênica do nível do mar processada de entre 13000 e 20000 anos AP.

## 5. GEOFÍSICA EM ÁREAS SUBMERSAS

Segundo Souza (2006), a geofísica em áreas submersas tem sido bastante explorada e utilizada nas últimas décadas, por vários profissionais da área das geociências e da engenharia para auxílio nos estudos acadêmicos e ambientais na complementação de informações para a caracterização segura da área além dos métodos amostrais comuns (sondagens, testemunhos e amostragens).

Os métodos geofísicos constituem num conjunto de ferramentas (instrumentos/equipamentos elétricos e eletrônicos) que, instalados numa embarcação, viabilizam a observação das características da superfície e subsuperfície de fundo a certa distância definida pela própria espessura da coluna d'água e que pode variar desde poucos metros em áreas continentais e costeiras, até centenas de metros, na plataforma continental externa ou nas bacias oceânicas (SOUZA, op.cit.).

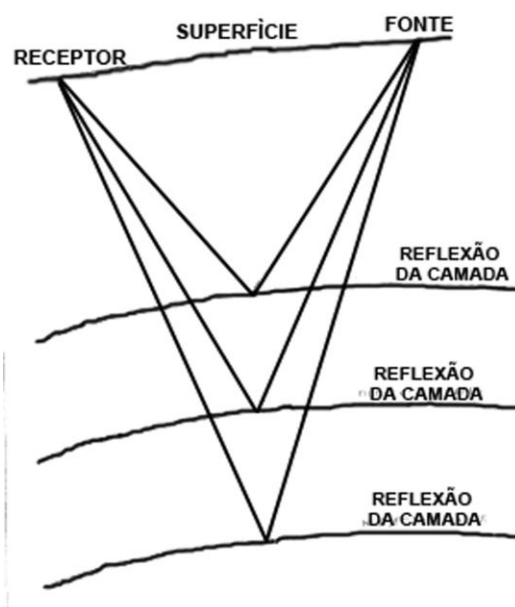
A aquisição de dados de uma área através dos métodos geofísicos são importantes, por não ocorrer contato direto com a área e ter alta capacidade de obtenção de dados detalhados sobre a morfologia, superfície e subsuperfície. Segundo o mesmo autor, os métodos geofísicos são de alta relevância, pois possibilitam a identificação de espessura de camadas sedimentares e embasamento rochoso, além da identificação das estruturas geológicas de subsuperfície e superfície de fundo.

## 6. SÍSMICA DE REFLEXÃO

A reflexão sísmica é a energia que atinge a interface entre dois materiais diferentes e é refletida. O estudo da sísmica de reflexão começa pela razão entre a energia sísmica refletida da interface do material e a energia sísmica incidente, determinando assim o coeficiente de reflexão que é definido pelas densidades e velocidades sísmicas entre os dois materiais (SOUZA, 2006; FERREIRA, 2002).

A sísmica de reflexão de alta resolução trabalha com meios geológicos ou interfaces geológicas que normalmente apresentam baixos contrastes de impedância acústica, baixa relação sinal ruído, além de constituírem fortes atenuadores de sinais de alta frequência, comumente a investigação destes meios exige a utilização de fontes acústicas que emitem sinais com espectros de alta frequência, a qual torna a rugosidades das superfícies, ou interfaces, propriedades físicas relevantes, pois que representam papel importante na análise do espalhamento do sinal acústico (SOUZA, 2006).

O princípio para o processo físico da reflexão é visualizado na figura 2, no qual mostramos a direção de propagação de sucessivas camadas, os quais normalmente estão sob a superfície da terra e proporcionam reflexões em sismogramas.



**Figura 2:** Processo físico do método de reflexão sísmica.

Fonte: modificado de FERREIRA, 2002.

O fenômeno físico da reflexão das ondas acústicas só ocorre quando existem contrastes representativos entre os meios atravessados pelo sinal acústico emitido,

portanto corpos extremamente homogêneos não refletem as ondas acústicas, até que estas encontrem obstáculos ou interfaces acústicas, no caso outro tipo de litologia. (FERREIRA, 2002).

Na sísmica de reflexão em áreas submersas existem dois tipos de fontes; as fontes ressonantes ou fontes de onda controlada, e as fontes impulsivas. No caso, iremos explicar sobre as fontes ressonantes, a qual foi utilizada neste estudo.

O modelo de perfilador do tipo *chirp* (Tabela 1), possui fontes mais de maior penetração, as quais produzem um sinal acústico com forma conhecida, altamente repetitivo, e origina-se a partir da frequência de ressonância de pastilhas (cristais) piezoelétricas, sendo esta a fonte comumente empregada para a investigação em áreas submersas.

**Tabela 1:** Conjunto de especificações de modelos do tipo *chirp*.

Fonte: Souza, 2006.

modelo da fonte	SB-512i	SB-216S	SB-424
espectro de frequências	500 Hz - 12 kHz	2 - 16 kHz	4 - 24 kHz
pulsos (selecionado pelo operador)	2-12 kHz, 2-8 kHz, 1.5-7.5 kHz, 1-6 kHz, 1-5 kHz, 0.5-5 kHz	2-16 kHz, 2-12 kHz, 2-10 kHz	4-24 kHz, 4-20 kHz, 4-16 kHz
resolução vertical (dependente do pulso selecionado)	8 - 20 cm	6 - 10 cm	4 - 8 cm
penetração (m)	areia grossa	20	6
	argilas	200	80
largura do feixe de sinais (dependente da frequência)	16° - 32°	17° - 24°	16° - 23°
tamanho (cm)	160L x 124W x 47H	105L x 67W x 40H	77L x 50W x 34H
peso	190 kg	76 kg	22 kg
calibração	sistemas calibráveis para medidas de coef. de reflexão)		
cabos	3 pares de cabos blindados		
máxima prof. de operação	300 m		
altura ideal do peixe	3 - 5 ( metros acima da sup. de fundo )		
velocidade de navegação	3-4 nós (ideal) / 7 nós (máxima veloc. com segurança)		
opções adicionais	Integrated Depth Sensor, 4 kW Amplifier, USBL Acoustic Tracking System		

Conforme a tabela, dependendo das características de tamanho e peso da fonte constitui uma relação direta com a capacidade de penetração do sistema acústico, pois devido fontes com maior potência e de maior porte, emitem espectros menores de frequência assim propiciando a maior penetração dos sinais emitidos. (SOUZA, 2006).

O modelo SB-512i da *Edgetech* possui excelente desempenho na penetração, porém pelas suas dimensões exige arranjos operacionais mais complexos quando

se trata da aquisição dos dados. As vantagens na utilização de fontes ressonantes em áreas submersas são a maior facilidade de manobra com os equipamentos, baixo custo de manutenção, a alta taxa de repetição, alta eficiência na relação sinal/ruído e a pode ser utilizada também em grandes profundidades. Porém em alguns projetos necessitam da penetração de superfície de fundo de poucos metros e dependendo da litologia do fundo a ser estudado, este tipo de fonte pode não atingir a profundidade desejada (SOUZA, 2006).

Segundo Duarte et. al. (2007), o reconhecimento de unidades sísmicas em sedimentos subsuperficiais nem sempre é tão fácil, pois nestes sistemas rasos (lagunar ou estuário) a cobertura de superfície varia , ocorrem mudanças frequentes na direção do perfil.

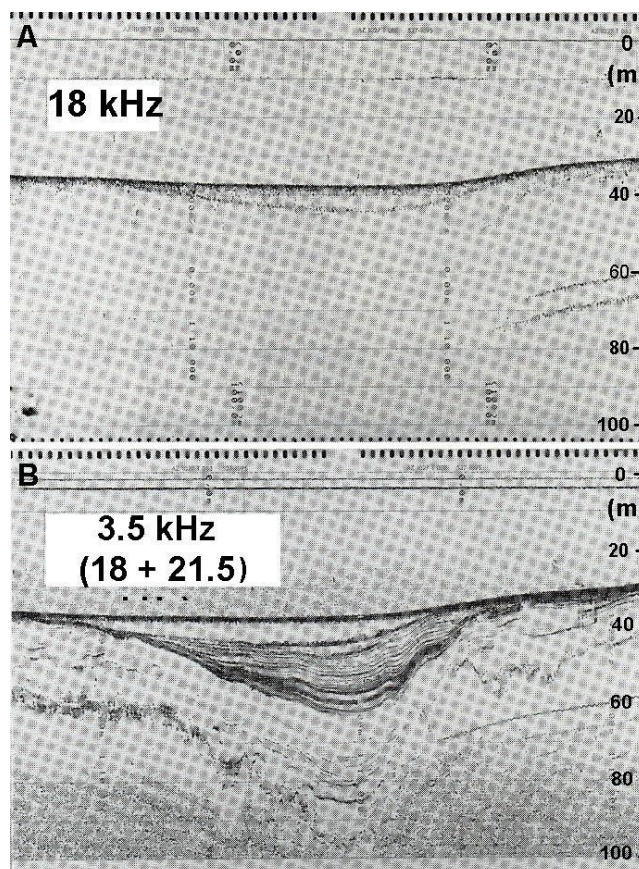
Geralmente a interpretação de dados geofísicos é complexa pela variabilidade de materiais existentes na natureza que possuem propriedades físicas semelhantes (SOUZA, op.cit.).

A velocidade representativa de materiais não consolidados, para melhor visualização e reconhecimento, é um valor aproximado de 1500 m/s, porque nestes materiais a atenuação e variabilidade lateral tornam a reflexão sísmica geralmente difícil (FERREIRA, 2002).

Um dos métodos para solucionar certas dificuldades na hora da aquisição dos dados, é a opção de instalar um conjunto de transdutores no casco da embarcação para melhorar a relação entre sinal e ruído. Algumas fontes acústicas alternativas baseadas no princípio paramétrico de propagação do som foram desenvolvidas com a finalidade de minimizar algumas das desvantagens das fontes ressonantes (SOUZA, op. cit.).

Transdutores acústicos que se utilizam do princípio paramétrico são aqueles que produzem sinais de baixa freqüência a partir da emissão de dois sinais simultâneos de freqüências ligeiramente diferentes, conforme figura 3. Pois a partir de dois transdutores de alta freqüência que geralmente é de pequeno porte, geram um sinal de baixa freqüência, de excelente direção e de alta energia, sendo este de alto

poder de penetração na superfície. (GRANT e SCHEIBER<sup>1</sup>, 1990; WUNDERLICH e MUELLER<sup>2</sup>, 2003, apud SOUZA, 2006).



**Figura 3:** Imagens relacionadas às vantagens do efeito paramétrico dos transdutores. Perfil (A) com penetração de sinal acústico de 18 kHz, e perfil (B) ilustrando o resultado da emissão simultânea. Fonte: SOUZA 2006.

<sup>1</sup> GRANT, J.A. & SCHEIBER R. Modern swathe sounding and sub-bottom profiling technology for research applications: The Atlas Hydrosweep and Parasound Systems. *Mar Geophys Res*, 12 (1-2): 9-19.1990.

<sup>2</sup> WUNDERLICH, J. & MUELLER S. High-Resolution sub-bottom profiling using parametric acoustics. *International Ocean Systems*, 1:1-7. 2003.

## 7. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso foram realizados: levantamento bibliográfico de características da área de estudo e sobre a sísmica de reflexão de alta resolução; levantamento dos perfis sísmicos; processamento digital dos perfis sísmicos e, processamento digital dos perfis batimétricos, obtidos através das cartas náuticas (DHN). Possibilitando assim a análise e reconhecimento da morfologia de fundo, através de comparação dos dados sísmicos e batimétricos.

### 7.1. LEVANTAMENTO SÍSMICO

O levantamento sísmico dos perfis em estudo foi realizado no dia 15 de março de 2006, entre 9:00 horas da manhã as 14:00 horas da tarde, iniciando pelo perfil transversal P-P' de 8500 metros de comprimento, e terminando no perfil transversal T2-T2' de 8000 metros de comprimento (Figura 4). A autora deste trabalho não participou das coletas.

Para a aquisição dos dados foi utilizado o perfilador de subfundo do tipo *chirp* modelo *SB-512i (X-Star)*, (Figura 5), consistindo num sistema de fonte acústica que emite um determinado espectro de frequências (0.5-12 kHz em pulsos FM WB) ao longo de um intervalo de tempo pré-definido. É equipado com um estabilizador hidrodinâmico e um flutuador acoplado à embarcação para adaptar-se a velocidade e profundidade. Essas fontes são eficazes nas necessidades de maior penetração (fontes de baixas frequências), e de maior resolução, (largas bandas de frequências e altas frequências). A rota e o posicionamento dos perfis foram efetuados com o auxílio de um sistema diferencial de posicionamento por satélite (DGPS).

A velocidade média de deslocamento do sinal acústico foi de 1.500 m/s tanto para a água quanto para o sedimento, a fim de registrar a profundidade dos refletores sísmicos e a espessura das diferentes camadas.

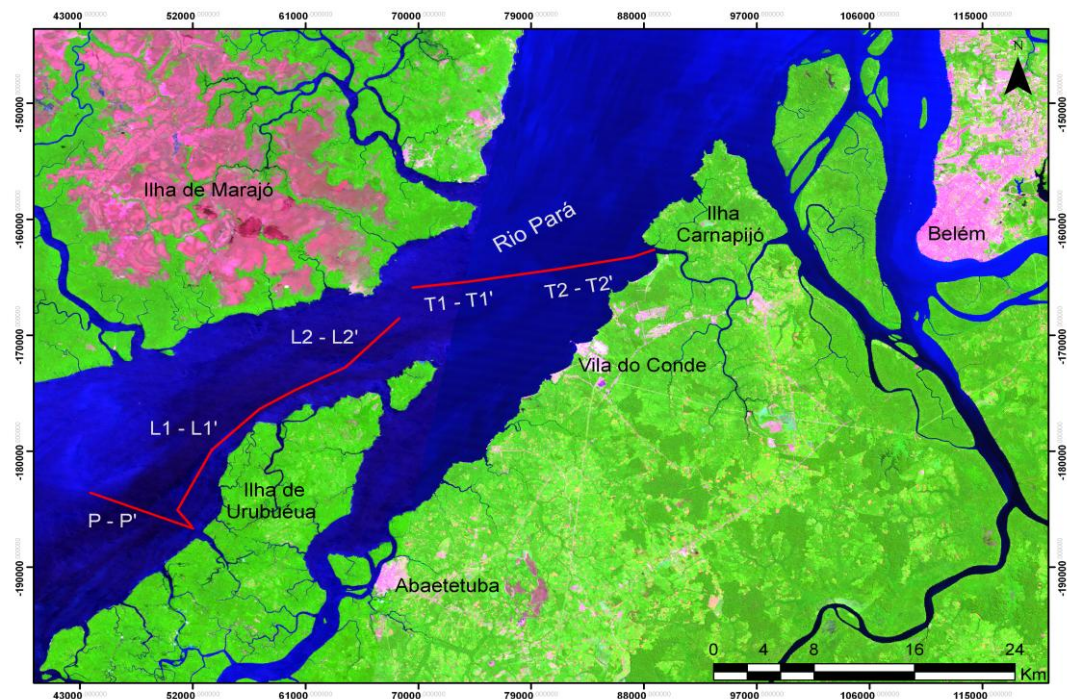


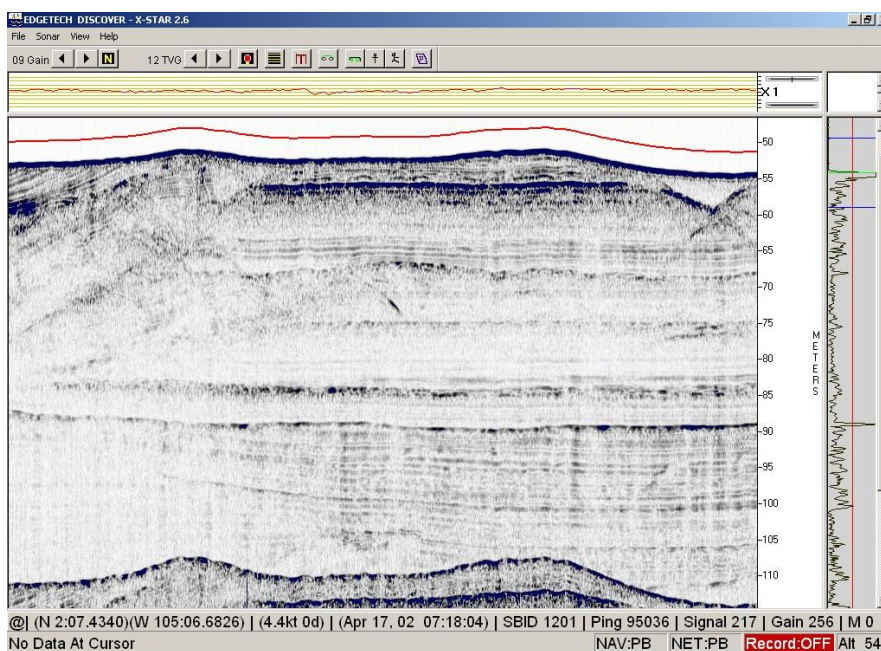
Figura 4: Área de localização dos perfis sísmicos.



Figura 5: Perfilador de subsuperfície e superfície do tipo *chirp* modelo SB-512i (X-Star).  
Fonte: Empresa Edgetech.

## 7.2. PROCESSAMENTO DIGITAL DOS PERFIS SÍSMICOS

O processamento digital dos dados foi desenvolvido em duas fases: 1) Aquisição das imagens dos perfis através do *software Discovery Subbottom 3.33* (Versão Demo), disponibilizada pelo fabricante, a *EdgeTech* (Figura 6), qual proporcionou visualização das imagens dos perfis. Ressalta-se que não foi utilizado nenhum tipo de filtro para a retirada de ruídos e nem deconvolução para a retirada de múltiplas.



**Figura 6:** Exemplo de digitalização no software *Discovery SB*.  
Fonte: Manual do software *Discovery SB*.

2) Tratamento das imagens dos perfis para a análise das morfologias presentes através dos *softwares Surfer 9* (Figura 7) e *Adobe Photoshop (CS5)* (Figura 8), onde foram seccionados para melhor visualização e posicionamento, e os resultados são abordados conforme tabela 02.

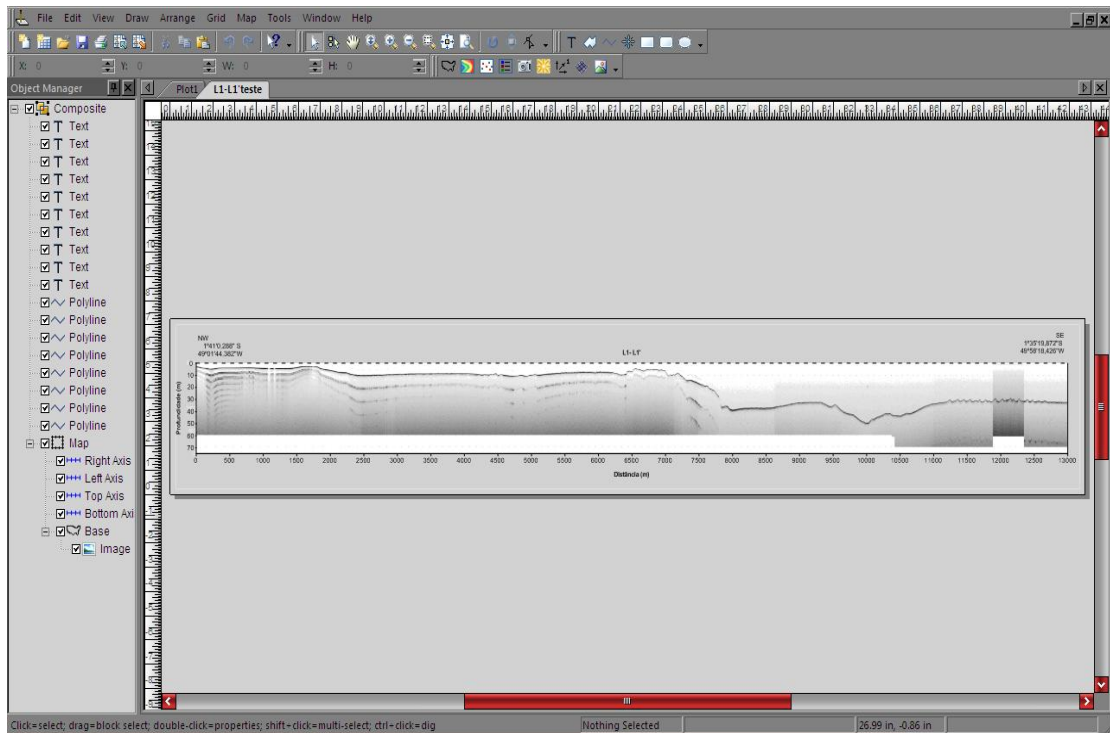


Figura 7: Imagens tratadas no Surfer 9.

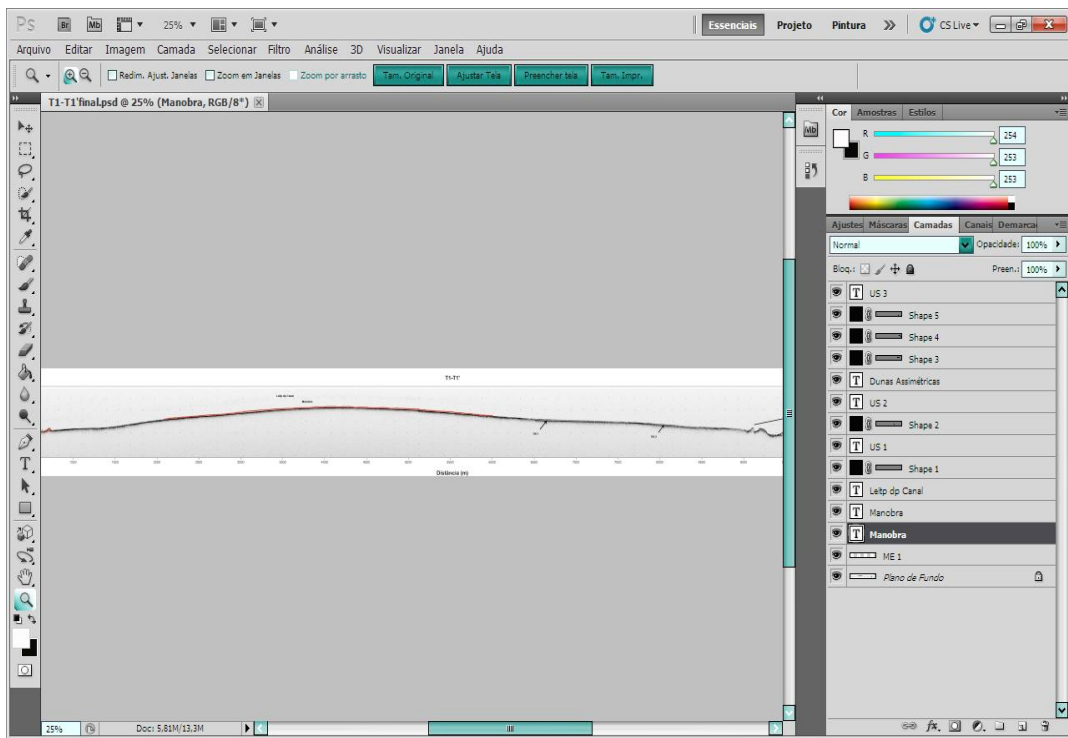


Figura 8: Perfis no software Adobe Photoshop (CS5).

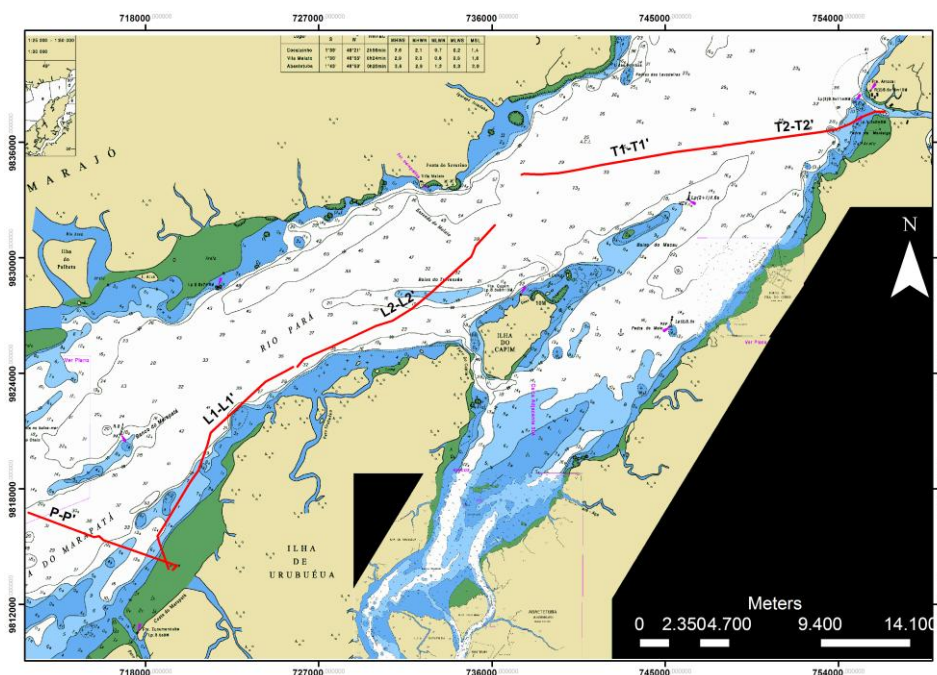
**Tabela 2:** Descrição dos perfis sísmicos.

PERFIL	DESCRIÇÃO	EXTENSÃO	COORDENADAS	TOPONIMIA
P – P'	Perfil transversal com início na porção média da Baía do Marapatá e finaliza próximo a Ilha de Urubuéua.	8400 m	01°39' 28,29" S / 49°05'40,248" W e 01°41'1,926"S/ 49°02'15,084"W	Baía do Marapatá – Ilha de Urubuéua
L1 - L1'	Perfil longitudinal com início próximo a Ilha de Urubuéua e finaliza em frente ao Furo de Urubuéua	13000 m	01° 41'0,288" S/ 49° 01' 44,328" W e 01°35'19,872"S/ 49°58'18,426" W	Ilha de Urubuéua – Furo de Urubuéua
L2 - L2'	Perfil longitudinal com início em frente ao Furo de Urubuéua e finaliza perto da Enseada do Malato	13000 m	(01° 35' 19,872" S/ 48°58'18,426" W e 01°31'18,756"S/ 49°52'39,756" W	Furo de Urubuéua – Enseada do Malato
T1 - T1'	Perfil transversal com início perto da Enseada do Malato e finaliza em frente ao Baixo do Macau	11000 m	01° 29' 52,29" S/ 48°51'53,64" W e 01°29'15,06"S/ 48°46'04,83" W	Enseada do Malato – Baixo do Macau
T2 –T2'	Perfil transversal com início em frente ao baixo do Macau e finaliza no canal do Furo do Arrozal	8300 m	01°29'2,212"S/ 48°46'01,114"W e 01°28'05,916"S/ 48°41'46,668"W	Baixo do Macau – Furo do Arrozal

### 7.3. PROCESSAMENTO DIGITAL DOS PERFIS BATIMÉTRICOS

As cartas náuticas utilizadas foram 304 e 305 que correspondem de Mosqueiro a Abaetetuba e da Ilha do Capim a Ilha de Conceição, dos anos de 2007, respectivamente, fornecidas pelo site da DHN (<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/cartas/cartas.html>).

O software *Global Mapper 11*, foi utilizado para a junção e georeferenciamento das cartas, e software *Arc GIS 9.3* para a confecção dos mapas (Figura 9). Os perfis foram obtidos através das seguintes etapas: levantamento dos dados de profundidade das cartas náuticas, utilizados para a geração dos *grids* no *Surfer 9*. Interpolação dos dados de localização dos perfis para a obtenção dos *shapes* no *Arc GIS 9.3*, e a integração dos *shapes* e dos *grids* no *Global Mapper 11* para a obtenção do perfis batimétricos.



**Figura 9:** Mapa batimétrico – Produto da integração das cartas náuticas nos softwares *Global Mapper 11* e *Arc Gis 9.3*.

## 8. RESULTADOS

### 8.1. PERFIL P – P' (BAÍA DO MARAPATÁ – ILHA DE URUBUÉUA)

Em SW observa-se uma morfologia movimentada, com a presença de bancos (aproximadamente 28 m de profundidade e 300 m de largura); dunas (aproximadamente 30 m de profundidade e 65 m de largura e altura média de 3 m) e canal (32 m de profundidade e aproximadamente 200 m de largura), conformando um sistema de barras e canais.

A unidade sísmica identificada abaixo da superfície de fundo é evidenciada em alguns pontos do perfil de acordo com as setas, sendo que esta unidade é melhor observada abaixo das dunas e nas bordas dos canais.

Na distância aproximada entre 3400 e 3600 m, identifica-se um canal com 42 m de profundidade e (largura aproximada de 200 m), cuja borda diminui sua profundidade, conformando um grande banco (15 m de profundidade).

A partir do banco identificamos feições morfológicas acima dos 20 m de profundidade. Identificamos a declividade suave para o canal aos 13 m de profundidade e poucos metros acima o banco de aproximadamente 207 m de largura este elevando-se para a profundidade de 5 m.

O banco na profundidade de 3 m possui aproximadamente 900 m de largura depois elevando para a profundidade 2 m identificamos um novo banco que se estende à extremidade NE.

O perfil P-P', comparado ao perfil batimétrico retirado da carta náutica, possui a morfologia de fundo semelhante nas figuras 10 e 11.

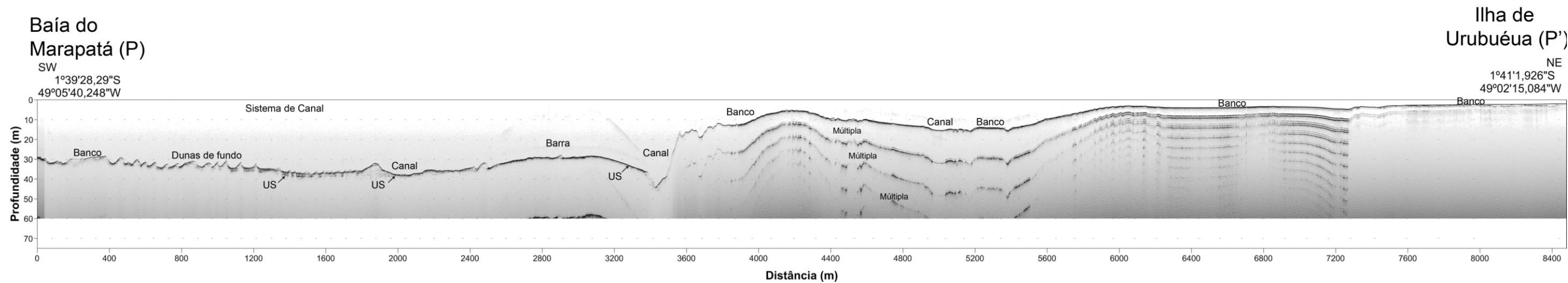


Figura 10: Perfil sísmico P-P', com direção SW-NE e aproximadamente 8400 m de extensão.

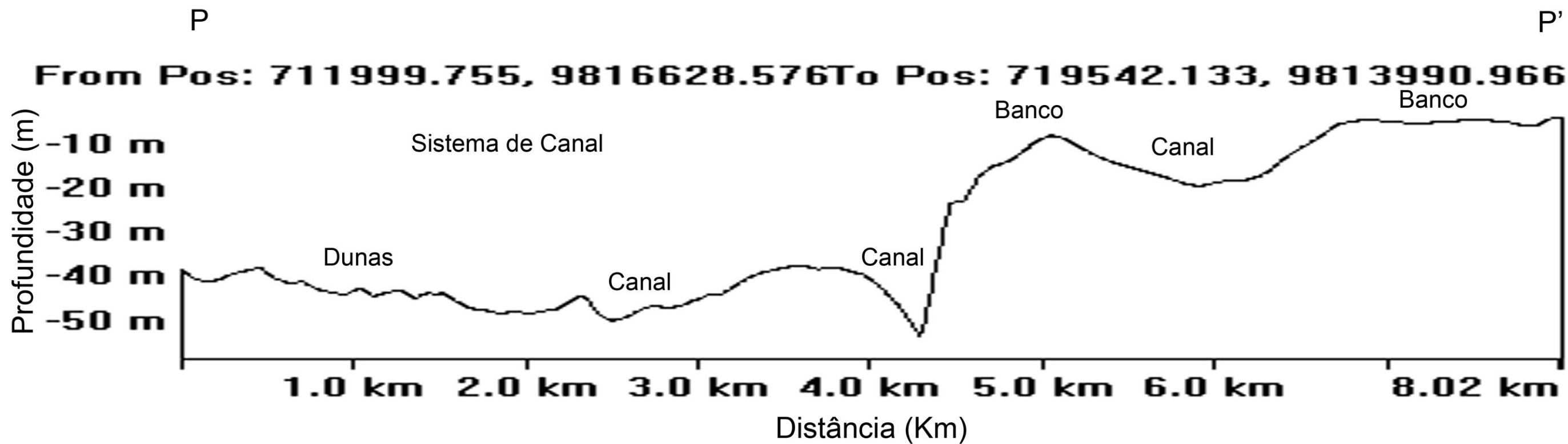


Figura 11: Perfil batimétrico da carta náutica comparado ao perfil sísmico P-P'.

## 8.2. PERFIL L1-L1' (ILHA DE URUBUÉUA – FURO DE URUBUÉUA)

Nos 1500 m de distância identificamos um banco na profundidade de 3 m, com unidade sísmica evidenciada abaixo do mesmo. Logo em seguida uma declividade suave de 780 m de largura, decrescendo a profundidade do banco para 12 m, com evidência da unidade sísmica abaixo e uma seqüência de *sandwaves* sobrepostas ao banco.

Entre 6500 m aos 7500 m de distância do perfil, identificamos um banco escalonado de aproximadamente 900 m de largura na profundidade de 8 m, e em seguida um declive acentuado para o início do sistema de canal.

No sistema de canal identificamos um canal maior com aproximadamente 5000 m de largura na profundidade de 30 a 40 m, constituído de canais menores que chegam à profundidade de 40 a 45 m e *sandwaves* sobrepostas aos mesmos.

O perfil longitudinal L1-L1' comparado ao perfil batimétrico realizado a partir da carta náutica, possui morfologia de fundo semelhante de acordo com as figuras 12 e 13.

.

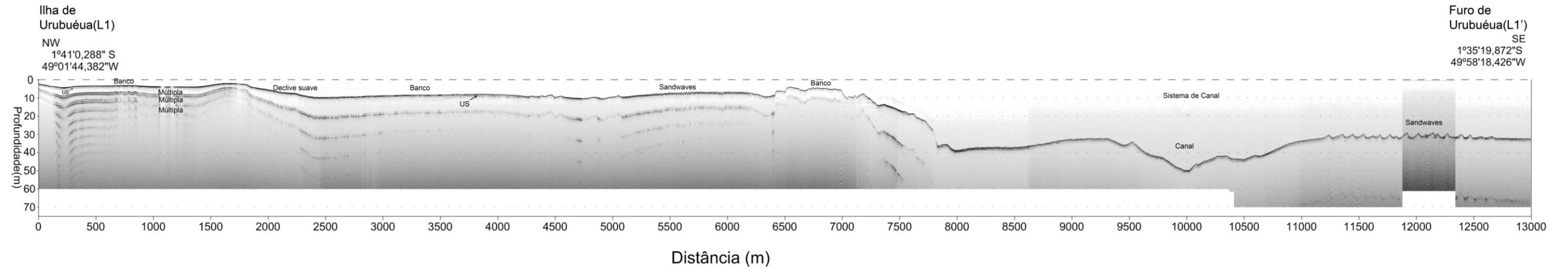


Figura 12: Perfil sísmico L1 –L1', com direção NW-SE e aproximadamente 13000 m de distância.

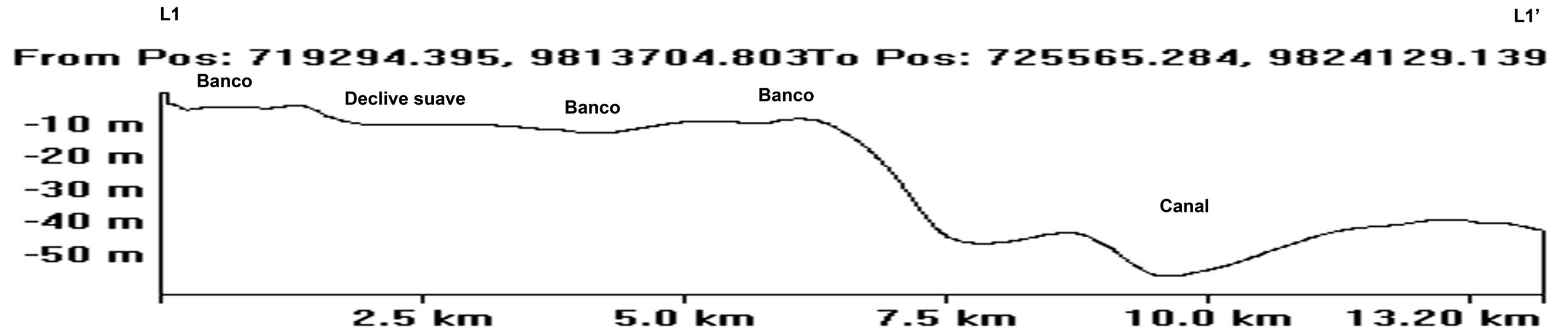


Figura 13: Perfil batimétrico da carta náutica comparado do perfil sísmico L1-L1'.

### 8.3 PERFIL L2-L2' (FURO DE URUBUÉUA – ENSEADA DO MALATO)

Na extremidade NW, as *sandwaves* se distribuem entre as distâncias 0 – 1500 m seguidas por um leito plano com 4500 m de comprimento e profundidade de aproximadamente 33 m.

Na sua porção central (entre as distâncias de 6000 – 9400 m) uma feição semelhante a um banco com *sandwaves* sobrepostas pode ser observado.

Na extremidade SE, as *sandwaves* se distribuem entre as distâncias 11200 – 13000 m, com profundidade aproximada de 40 m, seguida por um leito plano entre as distâncias de 9200 – 11200 m e profundidade aproximada de 35 m.

O perfil longitudinal L2-L2', comparado ao perfil batimétrico realizado a partir da carta náutica da DHN, possui morfologia de fundo semelhante (Figura 14 e 15).

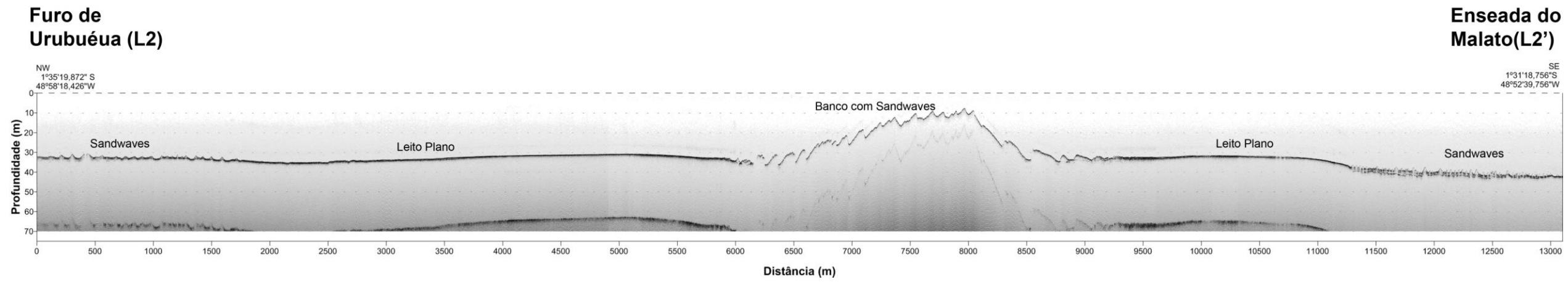


Figura 14: Perfil sísmico L2-L2', com direção NW-SE e aproximadamente 13000 m de distância.

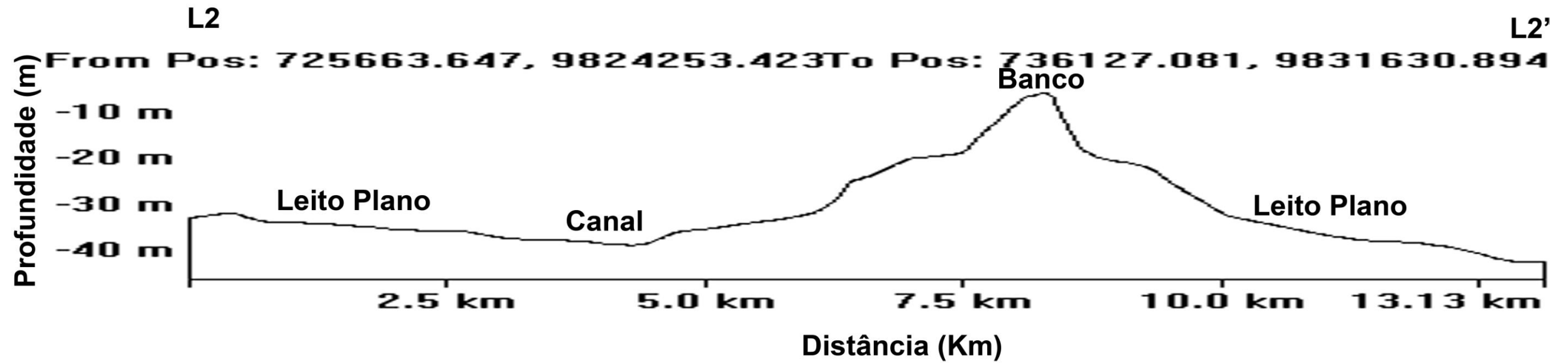


Figura 15: Perfil batimétrico da carta náutica, comparando como perfil sísmico L2-L2'.

#### 8.4. PERFIL T1-T1' (ENSEADA DO MALATO – BAIXO DO MACAU)

Nos 9000m de comprimento de perfil identificamos a morfologia monótona, com as profundidades maiores em 40 m e a porção menos profunda em 20 m, conformando um desnível aproximado de 20 m.

Na extremidade NE, entre as distâncias 9000 – 11000 m, relevo movimentado com ocorrência de sistema de canais de larguras variadas com *sandwaves* sobrepostas.

O perfil transversal T1-T1' comparado ao perfil batimétrico retirado da carta náutica da DHN demonstra morfologia de fundo semelhante nas figuras 16 e 17.

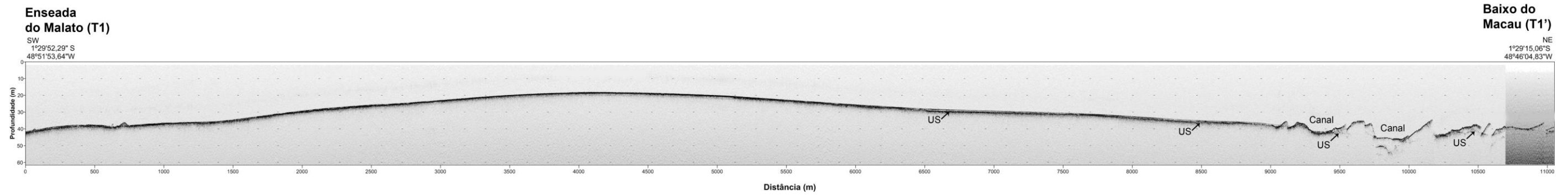


Figura 16: Perfil sísmico T1-T1', com direção SW-NE e aproximadamente 11000 m de distância.

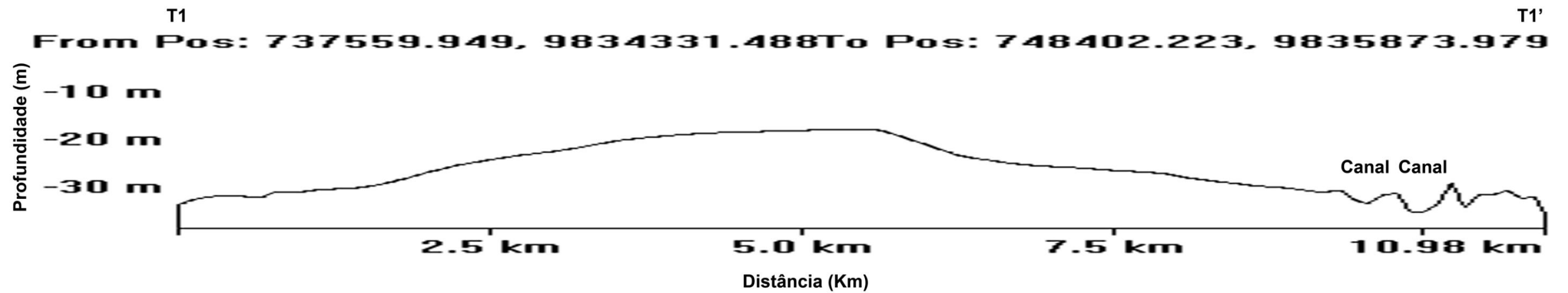


Figura 17: Perfil batimétrico da carta náutica comparado com o perfil sísmico T1-T1'.

#### 8.5. PERFIL T2-T2' (BAIXO DO MACAU – FURO DO ARROZAL)

A morfologia permite identificar um sistema de barras (bancos) e canais dispostos em 5000 m de comprimento do perfil.

Entre as distâncias 1100 e 4700 m, identifica-se um relevo suave, seguido de um relevo movimentado, com presença de *sandwaves* (0 -1100), na extremidade SW.

A partir da extremidade NE, entre as distâncias 4800 e 8230 m, identifica-se um sistema de bancos (barras) e canais com desníveis entre 40 e 25 m.

O perfil sísmico transversal T2-T2' comparado ao perfil batimétrico da DHN possui morfologia de fundo semelhante nas figuras 18 e 19.

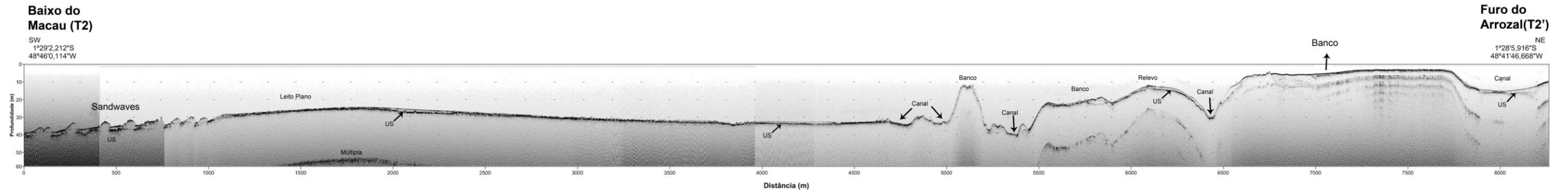


Figura 18: Perfil sísmico T2-T2', com direção SW-NE e aproximadamente 8300 m de distância.

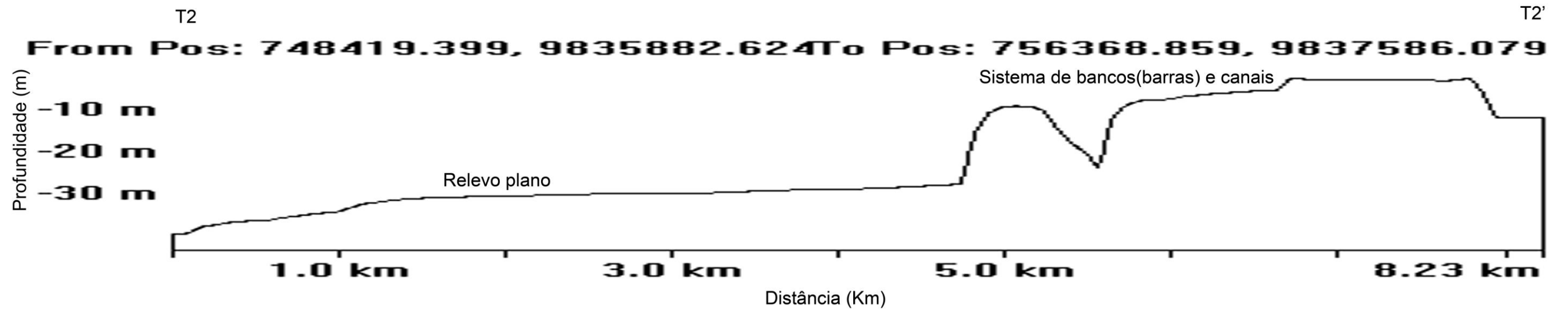


Figura 19: Perfil batimétrico da carta náutica comparando ao perfil sísmico.

## 9. CONCLUSÃO

Ao compararmos os perfis sísmicos com os perfis batimétricos, observamos que os perfis sísmicos possibilitam a melhor identificação das morfologias de fundo (estruturas sobrepostas como as *sandwaves*) devido a sua alta resolução. Além da possibilidade de identificação de feições menores, como as *sandwaves*, por exemplo, também consegue adquirir melhores resultados em diferentes tipos de sedimentos (finos ou grosseiros). Este fato é atribuído as diferenças de frequência utilizadas. Os perfis batimétricos possibilitam também a identificação da morfologia de fundo, porém de resolução inferior e menos precisa, devido à utilização de fontes de alta frequência.

Maiores resoluções de morfologia de fundo seriam importantes para os dados de cartas náuticas da Marinha, pois evitariam erros nas isolinhas batimétricas, com a delimitação mais precisa de canais e bancos, informações necessárias para garantir uma melhor segurança na navegação, principalmente em regiões estuarinas, onde se concentra a área desse estudo, com influências fortes de fatores hidrológicos, físicos e oceanográficos.

Valendo-se da importância dos resultados obtidos com fontes de maior resolução, como este estudo apresenta a Marinha já está implementando equipamentos de multifeixe para a aquisição de dados mais precisos.

## REFERÊNCIAS

BRUNETTA, R. **O processamento da sísmica de reflexão rasa – Desafios encontrados no estudo de modelos análogos a reservatórios fraturados** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Curso de Pós-Graduação em Geologia, Curitiba - PR, 2005.97f.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

CORRÊA, I. C. S. Aplicação do diagrama de Pejrup na interpretação da sedimentação e da dinâmica do estuário da Baía de Marajó-PA. Pesquisas em Geociências, v. 32, n. 2, p. 109 – 118. 2005.

DUARTE, H.; PINHEIRO, L.M.; TEIXEIRA, F.C., MONTEIRO, J.H. **High-resolution seismic imaging of gas accumulations and seepage in the sediments of the Ria de Aveiro barrier lagoon (Portugal)**. Springer – Verlag, 2007.

FERREIRA, F.J.F. **Métodos Sísmicos**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002.

LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, M.G.; MILLER, J.P. **Fluvial Processes in Geomorphology**. New York: [s.n.], 1992.

LIMA, R.R.; TOURINHO M.M.; COSTA J.P.C.; **Várzeas flúvio-marinhas da Amazônia Brasileira – características e possibilidades agropecuárias**. 2ª Edição. 2001.

MARTINS, S. E. M.; **Geomorfologia e sedimentologia dos depósitos sedimentares recentes da porção superior do estuário do Rio Pará (Baía de Marajó, Amazônia)**. Porto Alegre -2010. Instituto de Geociências. UFRGS. Dissertação (Mestrado em Geociências), 124p.

MARTINS, S. E. M.; **Caracterização Sedimentológica de fundo da área de influência do Porto de Vila do Conde–margem leste do Rio Pará**, Barcarena/PA. 2007. Instituto de Geociências. UFPA. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia), 69p.

PLANAVE, S.A.; **Estudo de Impacto Ambiental para a implantação do Terminal Portuário Graneleiro de Barcarena-Pará**. 2005.

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

SUMMERFIELD, M.A. **Global Geomorphology**. London: British library, 1991.

VILLEGAS, J. M. C.; 1994. **Geologia Estrutural da Bacia do Marajó**. Belém-Pa – Instituto de Geociências – Universidade Federal do Pará - Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Geologia). 128p.