



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR - LABOMAR  
GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

**DIEGO BEZERRA DE MELO E SILVA**

**ESTUDO DA MORFODINÂMICA E MORFOLOGIA DE FUNDO DA  
DESEMBOCADURA DO ESTUÁRIO DO RIO COREAÚ, CAMOCIM, CEARÁ**

**Fortaleza  
2013**

**DIEGO BEZERRA DE MELO E SILVA**

**ESTUDO DA MORFODINÂMICA E MORFOLOGIA DE FUNDO DA  
DESEMBOCADURA DO ESTUÁRIO DO RIO COREAÚ, CAMOCIM, CEARÁ**

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientadora: Profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro.

**Fortaleza  
2013**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Rui Simões de Menezes

---

S579e Silva, Diego Bezerra de Melo e.  
Estudo da morfodinâmica e morfologia de fundo da desembocadura do estuário do Rio  
Coreaú, Camocim, Ceará / Diego Bezerra de Melo e Silva. – 2013.  
56 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar,  
Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2013.

Orientação: Profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro.

1. Evolução morfológica. 2. Sedimentologia. 3. Estuário – Rio Coreaú - Ceará. I. Título.

---

CDD 551.46

**DIEGO BEZERRA DE MELO E SILVA**

**ESTUDO DA MORFODINÂMICA E MORFOLOGIA DE FUNDO DA  
DESEMBOCADURA DO ESTUÁRIO DO RIO COREAÚ, CAMOCIM, CEARÁ**

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientadora: Profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro (orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Luís Parente Maia  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Jáder Onofre de Moraes (membro externo)  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

## **AGRADECIMENTOS**

A minha família, principalmente, aos meus pais, Ana Luisa e Marcelo, e avós, Eliandro e Maísa, por toda a paciência, dedicação, carinho, esforço e presença em todos os momentos da minha vida, que me proporcionaram alcançar os meus objetivos.

A minha namorada, Ana Graça, que durante todos os meus anos dentro da academia esteve sempre ao meu lado, nos momentos felizes e nos mais difíceis, sendo sempre meu porto seguro em todos eles, que além de tudo, contribuiu diretamente para a elaboração deste trabalho, me auxiliando em análises laboratoriais e sendo muito paciente durante todas as etapas da elaboração deste.

A minha orientadora profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro, por toda a dedicação, esforços e confiança durante todo o período do qual fui bolsista de Iniciação Científica e por toda a contribuição para a realização deste trabalho, através de seus conselhos e ensinamentos.

Aos meus colegas e amigos de laboratório e de campo que colaboraram direta e indiretamente para a minha aprendizagem, formação e contribuição no meu trabalho de conclusão de curso: Airton, Leonardo, Gleidson, Bruno, Rodolfo, Carlos Eduardo, Cecília, Samuel e Cida.

A todos os meus professores, que contribuíram diretamente pela maior parte do conhecimento adquirido durante os quatro anos da minha graduação, principalmente a profa. Dra. Maria Oziléia Bezerra de Meneses por todos os ensinamentos, conselhos e oportunidades que me foram conferidas.

A todos os meus colegas de turma, de ambas as que eu fiz parte, a de 2009, da qual eu ingressei na universidade, e a de 2010, que me acolheu quando voltei do intercâmbio, por todos os bons momentos que passamos juntos.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de Iniciação Científica. Ao projeto "Estudo Oceanográfico dos Manguezais Brasileiros e a Formação de Recursos Humanos Qualificados" - Ciências do Mar - CAPES, processo nº 876, pelo apoio financeiro para as pesquisas e ao projeto "Potencialidades e ao Manejo Ambiental na Exploração de Granulados da Plataforma Continental do Estado do Ceará" - PRONEX FUNCAP/CNPq por cessão dos dados sísmicos brutos, fundamentais para elaboração deste trabalho.

## RESUMO

O estudo de sistemas estuarinos, vêm sendo empregado em larga escala em toda costa cearense nos últimos anos, a influência do regime semi-árido sobre as bacias de drenagens dos rios, aliados a construção de barragens e fazendas de carcinicultura, entre outras formas de intervenções antrópicas, alteram a vazão fluvial natural deles, fazendo com que os estuários sejam dominados pelas ondas e marés, ao invés da vazão fluvial, tornando-se importadores de sedimento, alterando a sua dinâmica natural. O presente trabalho visou compreender quais mudanças ocorreram nos últimos 70 anos na morfologia de fundo e na morfodinâmica da desembocadura do estuário do rio Coreaú, no município de Camocim, extremo oeste do litoral cearense. Através da compilação de cartas náuticas históricas, dos anos de 1945 e 1967, e da batimetria realizada em campo, no ano de 2012, foi possível caracterizar a evolução da morfologia de fundo da desembocadura do estuário. Além disso, utilizando sísmica de reflexão e sonar de varredura lateral foi possível caracterizar a estratigrafia de fundo e como ocorre o transporte de sedimento da região, respectivamente, correlacionando com a amostragem de sedimento, que foi realizada ao longo da área de estudo, onde foram amostrados 72 pontos, possibilitando assim compreender a morfodinâmica local. Dessa forma foi possível observar que o estuário está sofrendo um processo contínuo de assoreamento, porém ainda que com essa evidência a profundidade média do estuário permaneceu muito próxima ao longo dos anos, por volta dos 4 m, demonstrando que mesmo que o estuário esteja sendo assoreado, a dinâmica local possibilita a remobilização do sedimento. O estudo sonográfico, juntamente com a sísmica possibilitou entender que ainda que as marés possuam uma grande influência na hidrodinâmica local, a vazão fluvial ainda se faz presente no transporte sedimentar, sendo, também observado no estudo sedimentológico demonstrando uma grande presença de sedimentos finos e lamosos, provenientes do continente, através da vazão fluvial.

**Palavras-chave:** Evolução Morfológica; Ecobatimetria; Sonografia; Sísmica de Reflexão; Sedimentologia;

## **ABSTRACT**

The study of estuarine systems, have been employed on a large scale throughout Ceará's coast in the last years, the influence of the semi-arid regime on the drainage basins of rivers, allied with the construction of dams and shrimp farms, among other forms of anthropogenic interventions alter their natural river flow, making the estuaries become dominated by waves and tides, becoming sediment importers, altering their natural dynamic. The present study aimed to understand what changes have occurred in the last 70 years in the bottom morphology and the morphodynamics of the mouth of the estuary of the river Coreaú, in the county of Camocim, extreme west of Ceará's coast. By compiling historical nautical charts, from the years of 1945 and 1967, and the bathymetry performed in the field, in the year of 2012, it was possible to characterize the evolution of bottom morphology of the mouth of the estuary. Furthermore, using seismic of reflection and side scan sonar was possible to characterize the bottom stratigraphy and how occur the sediment transport of the region, respectively, correlating with the sediment sampling, which was conducted throughout the study area, which were sampled 72 points, thus enabling to understand the local morphodynamic. This way was possible to observe that the estuary is undergoing a continuing process of siltation, but even with this evidence the average depth of the estuary remained very close over the years, around 4 m, demonstrating that even if the estuary is being silted the local dynamics enables the remobilization of the sediment. The sonographic study, along with the seismic enabled to understand that even though the tides have a major influence on the local hydrodynamics, the river flow is still present in sediment transport, being also observed in the sedimentological study demonstrating a large presence of sediments fine and muddy, from the continent through river flow.

**Keywords:** Morphologic Evolution; Ecobathymetry; Sonography, Seismic of Reflection; Sedimentology;

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Imagem de Satélite, Quickbird, da desembocadura do estuário do rio Coreaú.....	13
<b>Figura 2</b> - Localização geográfica da área de estudo.....	14
<b>Figura 3</b> - Saída de Campo para coleta de dados batimétricos e amostras de sedimento. a. Embarcação (Maresia). b. Sistema de aquisição de dados batimétricos com ecobatímetro. c. Amostra coletada pela <i>VanVeen</i> . d. Amostragem de sedimento utilizando um amostrador de fundo do tipo <i>VanVeen</i> .....	22
<b>Figura 4</b> - Tábua de Maré do porto de Luís Corrêa, PI.....	22
<b>Figura 5</b> - Mapa com a localização da malha amostral da batimetria.....	23
<b>Figura 6</b> - Mapa com a localização dos pontos de amostragem de sedimento.....	24
<b>Figura 7</b> - Análise das amostras de sedimento no laboratório. a. Separação das frações das amostras por peneira. b. Peneiramento Mecânico. c. Pesagem das amostras. d. Análise de carbonato de cálcio. e. Mufla. f. Pipetagem.....	27
<b>Figura 8</b> - Mapa de Contorno batimétrico do ano de 1945.....	31
<b>Figura 9</b> - Modelo Digital de Terreno, com extrapolação vertical, da batimetria 1945.....	32
<b>Figura 10</b> - Mapa de Contorno batimétrico do ano de 1967.....	33
<b>Figura 11</b> - Modelo Digital de Terreno, com extrapolação vertical, da batimetria 1967.....	34
<b>Figura 12</b> - Mapa de Contorno batimétrico do ano de 2012.....	35
<b>Figura 13</b> - Modelo Digital de Terreno, com extrapolação vertical, da batimetria 2012.....	36
<b>Figura 14</b> - Perfis batimétrico A, localizado na foz do rio.....	36
<b>Figura 15</b> - Perfis batimétrico B, localizado na foz do rio.....	37
<b>Figura 16</b> - Perfis batimétrico C, localizado na foz do rio.....	37
<b>Figura 17</b> - Mapa com os perfis batimétricos (A,B,C).....	38
<b>Figura 18</b> - Mapa de Contorno do teor de Carbonato de Cálcio.....	39
<b>Figura 19</b> - Mapa de Contorno do teor de Matéria Orgânica.....	40
<b>Figura 20</b> - Mapa de Contorno da Granulometria.....	41
<b>Figura 21</b> - Mapa de caracterização dos padrões sísmicos.....	43
<b>Figura 22</b> - Sísmica de Reflexão, caracterização do Eco 1 e Eco 2.....	43
<b>Figura 23</b> - Sísmica de Reflexão, caracterização do Eco 3 e Eco 4.....	44
<b>Figura 24</b> - Registro sonográfico das feições submersas, padrão A, a. Assimétrica (F4), b. Assimétrica (F3).....	45
<b>Figura 25</b> - Registro sonográfico das feições submersas, padrão B, a. Simétrica (F12), b. Assimétrica (F7).....	45
<b>Figura 26</b> - Registro sonográfico das feições submersas, padrão C, a. Assimétrica (F8), b. Assimétrica (F13).....	46
<b>Figura 27</b> - Mapa com a distribuição das feições através dos padrões sonográficos.....	46

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Tabela representando as feições submersas encontradas ao longo do perfil amostrado, H = Altura de onda, L = Comprimento de onda.....	47
--	----



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
1.1. Área de Estudo.....	12
1.1.1. Geografia.....	15
1.1.2. Geologia.....	15
1.1.3. Oceanografia.....	16
1.1.4. Clima.....	17
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
2.1. Objetivos Específicos.....	19
<b>3. JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>20</b>
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
4.1. Compilação de dados.....	21
4.2. Campo.....	21
4.3. Laboratório.....	24
4.4. Processamento dos dados.....	28
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>31</b>
5.1. Morfologia de Fundo.....	31
5.2. Sedimentologia.....	38
5.3. Estratigrafia.....	42
5.4. Feições Submersas.....	45
<b>6. DISCUSSÃO.....</b>	<b>48</b>
<b>7. CONCLUSÃO.....</b>	<b>55</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>56</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade as zonas estuarinas têm sido utilizadas pelo homem para construção de cidades portuárias, pois foi nesse ambiente que se deu início as navegações, posteriormente estendidas aos oceanos (Paula et al., 2009).

Cerca de 60% de todas as grandes cidades se desenvolveram ao redor de estuários, este fato é devido as características abrigadas destes ambientes, que favorecem a navegação e instalação de portos, além de serem as vias de acesso para a navegação nas bacias hidrográficas (Miranda et al., 2002).

Existem centenas de sistemas estuarinos, lagunas costeiras e estuários ao longo dos 8500 km do litoral brasileiro, com dimensões que podem variar desde poucos até centenas de quilômetros.

Muitos desses ambientes foram fundamentais para o desenvolvimento das cidades brasileiras, porém sofreram modificações nos processos naturais de sedimentação e erosão, e nas características, tais como sua morfologia, correntes de maré, descarga fluvial e qualidade da água, que foram alteradas por processos naturais e antrópicos, no decorrer dos anos.

A Zona Costeira do estado do Ceará compreende a região que se estende desde o município de Icapuí, no extremo leste, até o município de Barroquinha, no extremo oeste, banhando 20 dos 184 municípios que compõem o estado. O Ceará possui uma faixa litorânea de, aproximadamente, 573 km de extensão, sendo recortada por mais de 60 rios que deságuam no oceano Atlântico através de seus estuários.

No Ceará, grandes cidades foram construídas as margens dos rios. Os rios Jaguaribe e Coreaú, dois dos maiores rios existentes no Estado, são em grande parte dominados em suas zonas estuarinas por alterações antrópicas, a cidade de Fortim foi construída as margens do rio Jaguaribe e a cidade de Camocim as margens do rio Coreaú. Além disso, a construção de fazendas de carcinicultura (cultivo de camarão) e salinas dentro da zona estuarina, são exemplos de outras formas de alterações provocadas pelos homens.

Outros fatores, também, são importantes para dinâmica dos rios, como a construção de barragens para criação de açudes, que causa uma diminuição da vazão dos rios e na dinâmica sedimentar, em contra partida, sendo de grande importância para região semi-árida pela retenção do fluxo dos rios em épocas de estiagem (Pinheiro et al., 2006).

Existem diversas definições na literatura que descrevem o que são os estuários e a sua importância, eles são caracterizados por serem um sistema de interação continente-oceano, o que faz deles ecossistemas únicos, são ambientes de grande diversidade biológica, servindo como berçários para diversas espécies, são muito importantes, também, no balanço sedimentar das zonas costeiras, servem como carreadores de elementos químicos tanto por seu fluxo hídrico como pelo aporte sedimentar, seja pelo transporte do material em suspensão ou de fundo.

Perillo (1996) descreveu, de um ponto de vista mais geral, que os estuários são ambientes de transição entre os ambientes fluviais e marinhos, onde um ou mais rios encontram o mar, e as forças de ambos ambientes atuam controlando a dinâmica e a distribuição das propriedades químicas, biológicas e sedimentares.

Dyer (1997), definiu estuário como um corpo de água costeiro semi-fechado com ligação livre com o oceano aberto, estendendo-se rio acima até o limite de influência da maré, sendo que em seu interior a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental.

São ambientes geologicamente recentes (menos de cinco mil anos), formados por alterações seculares do nível do mar de natureza eustática (variações do volume de água dos oceanos) ou isostática (variações do nível da crosta terrestre), bem como por processos de origem tectônica (Miranda et al., 2002).

A variedade de condições hidrográficas, topográficas, climáticas e oceanográficas dos estuários é tão grande que são estabelecidos critérios para a classificação dos estuários, que podem ser classificados, geologicamente, quanto a sua geomorfologia, e, fisicamente, quanto ao seu balanço hídrico.

Quanto à sua geomorfologia, de acordo com a classificação proposta por Pritchard (1952), os estuários são classificados como: planície costeira, fiorde, construído por barra ou outros processos.

Os estuários de planície costeira são estuários formados durante o processo de transgressão marinha no Holoceno, que inundaram os vales dos rios. São geralmente rasos, localizados em regiões tropicais e subtropicais, sendo comuns no Brasil e nordeste brasileiro (Miranda et al., 2002).

Os fiordes foram formados em regiões de altas latitudes que durante o pleistoceno estavam cobertas por calotas de gelo, as quais efetivaram um processo erosivo intenso ocasionando a formação de vales de rios profundos com um fundo rochoso alto na entrada, denominado soleira (Miranda et al., 2002).

Estuários construídos por barra foram formados por inundação de vales primitivos de rios durante a transgressão marinha, entretanto por sedimentação recente apresentam barras na desembocadura, são sistemas, em geral, rasos, podendo apresentar canais e lagunas extensas no seu interior (Miranda et al., 2002).

Os demais estuários são formados por outros processos costeiros, tais como: falhas tectônicas, erupções vulcânicas, tremores e deslizamentos de terra (Miranda et al., 2002).

Quanto ao seu balanço de água, de acordo com a classificação proposta por Valle-Levinson (2010), o ambiente pode ser classificado como: positivo, inverso ou de baixo fluxo.

Os estuários positivos são os que apresentam adição de água doce (descarga fluvial, precipitação e degelo) superior a perda por evaporação ou congelamento (Freitas, 2013).

Os estuários inversos são tipicamente encontrados em regiões áridas, nas quais as perdas por evaporação excedem a adição de água doce por precipitação e descarga. Eles são denominados inversos em razão ao aumento da densidade da água em direção ao continente (Freitas, 2013).

Os estuários de baixo fluxo também ocorrem em regiões de altas taxas de evaporação, entretanto com pequena influencia da descarga do rio. Durante a estação seca e quente, os processos de evaporação podem causar a formação de uma Zona de Salinidade Máxima (ZSM). Da ZSM em direção ao continente a densidade da água decresce de modo similar a um estuário positivo. Da ZSM em direção ao oceano, a densidade da água aumenta como um estuário inverso (Freitas, 2013).

A utilização de métodos de investigação direta, como amostragem de sedimentos e testemunhos, e indireta, como a aquisição de dados sísmicos, utilizando métodos geofísicos acústicos, sejam eles de baixa, média ou alta frequência, de forma correlacionada, em estudos na zona costeira e estuarina têm sido amplamente utilizados no âmbito da geologia marinha. Estudos sobre a morfologia e morfodinâmica de sistemas estuarinos foram realizados no passado recente demonstrando a efetividade dessas técnicas.

A maior parte dos trabalhos relativos à morfologia e dinâmica sedimentar de sistemas estuarinos e lagunares realizados no Brasil, caracterizam-se pela utilização de métodos tradicionais de investigação geológica, ou seja, para áreas emersas, a observação direta dos estratos sedimentares e, para as submersas, a análise de amostras

de superfície de fundo, de sedimentos em suspensão ou testemunhos de sondagens rasas (Paolo & Mahiques, 2008).

Estudos que visam identificar a morfologia e a distribuição sedimentar dos estuários são importantes para identificação de possíveis zonas de acúmulo de poluentes e sedimentos, além de contribuir para o conhecimento dos sistemas estuarinos e do seu comportamento quanto à distribuição das características sedimentares e físicas (Junior et al., 2009).

A coleta de amostras superficiais, ou de testemunhos, apesar de ser um método de observação direta, é de natureza pontual, não representando uma visão lateral da continuidade do pacote sedimentar, nesse sentido a integração de métodos geofísicos com dados de amostragens diretas, permite a interpolação de informações sobre a natureza do fundo e do subfundo do ambiente (Baptista Neto et al., 2011).

A utilização de métodos geofísicos, em específico métodos acústicos, em áreas submersas, possibilita uma visão mais ampla e contínua da superfície e subsuperfície investigada (Souza, 2006).

Paolo & Mahiques (2008), descreveu que análises sistemáticas da interação entre a dinâmica e a morfologia de fundo, utilizando, de forma integrada, métodos acústicos como ecobatimetria, sonografia de varredura lateral e perfilagem de sísmica rasa, possibilitam o estudo, com alto grau de detalhamento, de feições da topografia submarina e da hidrodinâmica.

O presente trabalho irá utilizar de forma correlacionada ambos os métodos de investigação, direta e indireta, no estudo da morfodinâmica e morfologia de fundo da desembocadura estuarina no rio Coreaú.

### **1.1. Área de estudo**

O Rio Coreaú nasce na Serra da Ibiapaba, na região norte do Estado do Ceará, possui cerca de 150 km de extensão, em seu curso até o oceano, banha os municípios de Freixerinha, Coreaú, Moraújo, Granja e, por fim, Camocim, no extremo oeste do litoral cearense, onde encontra-se sua foz, ocorrendo seu desagüamento no oceano Atlântico (figura 1). Sua bacia hidrográfica está inserida na região semi-árida quase totalmente formada de riachos e córregos.

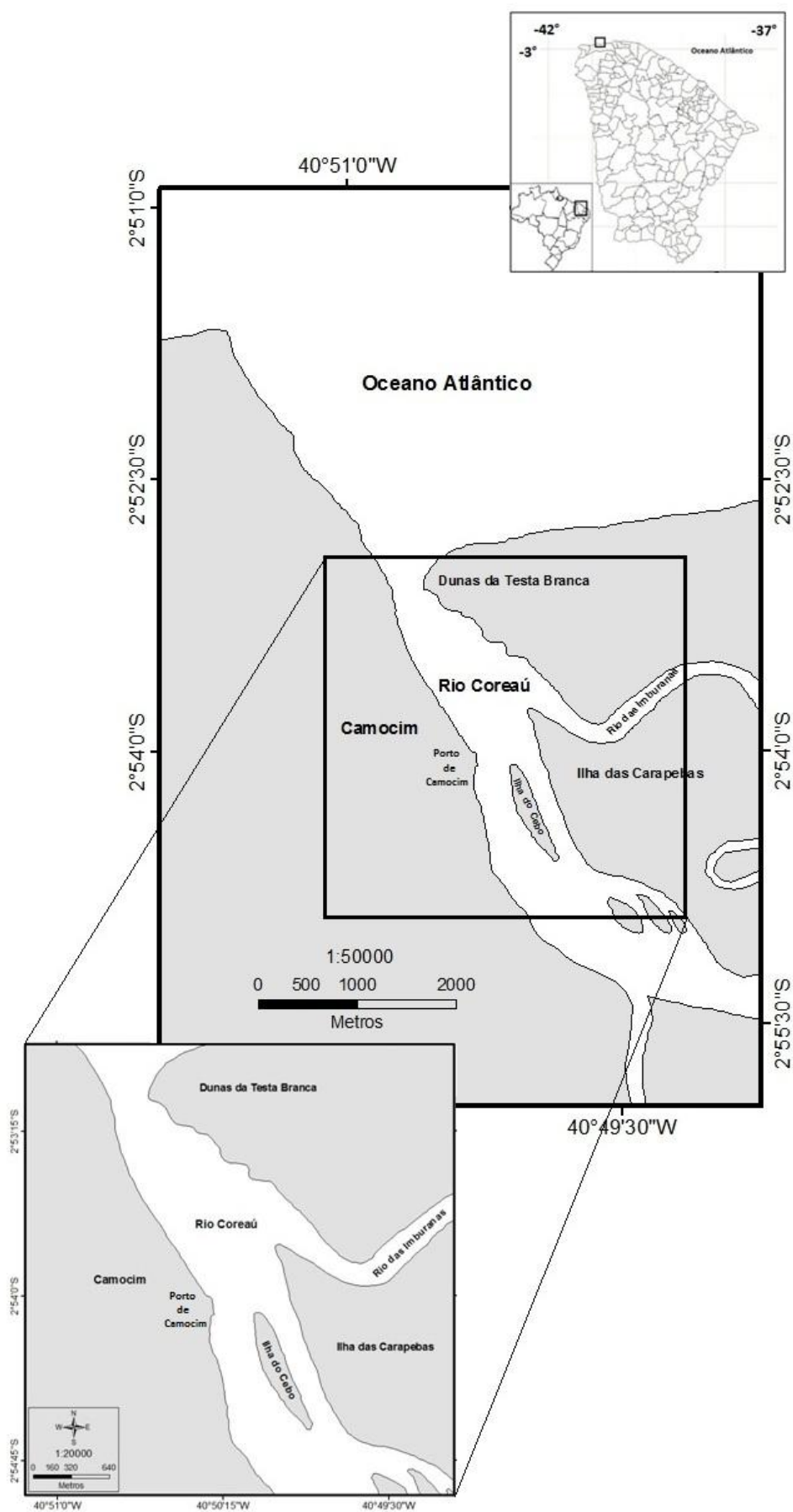
Pitombeiras (1976) observou que durante todo o ano existe a ocorrência de escoamentos fluviais, alimentados constantemente pelo manancial depositado nas

serras, processando-se em três situações estacionais: as grandes descargas fluviais, na época das chuvas, pequenos escoamentos, apenas perenização, na época de estiagem e paralisação total, na época das secas.



**Figura 1.** Imagem de Satélite, Quickbird, da desembocadura do estuário do rio Coreaú.  
**Fonte:** Digital Globe, 2012.

A área de estudo localiza-se entre as coordenadas  $2^{\circ}53' S$ ,  $40^{\circ}51' W$  e  $2^{\circ}54'45''S$ ,  $40^{\circ}49'30''W$ , ao lado da cidade de Camocim, abrangendo uma área de  $2,75 \text{ km}^2$ , que se estende desde a foz do rio até, aproximadamente, 4 km dentro do rio (figura 2).



**Figura 2.** Localização geográfica da área de estudo.  
**Fonte:** O autor

É relevante, para este trabalho conhecer alguns aspectos ambientais importantes do referido sistema, os quais abrangem:

### **1.1.1. Geografia**

O estuário do rio Coreaú encontra-se geograficamente localizado no município de Camocim, que possui uma população de 60.158 habitantes (IBGE, 2010), a região possui na base da economia a extração do sal marinho e a pesca, complementada por outras atividades, que estão diretamente relacionados com a construção da cidade as margens do rio.

O estuário possui uma extensão de, aproximadamente, 25 km até a foz do rio onde ocorre o seu desaguamento, a região encontra-se localizada a 370 km, pela Rodovia Estruturante (CE 085), da cidade de Fortaleza, Ceará.

Segundo a SEMACE (2004), estima-se que exista uma área de 174,2 km<sup>2</sup> de manguezais no estado do Ceará, dos quais 35,3 km<sup>2</sup> localizam-se no sistema estuarino do rio Coreaú. De acordo com esse estudo, o estuário do rio Coreaú possui a segunda maior área de manguezal do estado, sendo menor, em extensão, apenas que o estuário do rio Timonha, com 50,1 km<sup>2</sup>.

### **1.1.2. Geologia**

Do ponto de vista geomorfológico, a costa oeste do estado do Ceará, a região onde está inserida o estuário do rio Coreaú, pode ser dividida em três unidades geomorfológicas: Planície litorânea (faixa praial, campo de dunas, planícies fluvio-marinhas), Tabuleiros Pré-litorâneos e Depressão sertaneja.

Meireles & Silva (2002), descreveram que o vale do estuário do rio Coreaú está encaixado em um relevo tabular, com presença de depósitos pliocênicos da Formação Barreiras, com fraca dissecação entre os interflúvios, na margem esquerda do canal principal, foram definidos patamares escalonados da plataforma de abrasão e arenitos de praia (*beachrocks*).

De acordo com a classificação de Pritchard (1952), que divide os estuários, de acordo com sua geomorfologia, o estuário do rio Coreaú é considerado geomorfológicamente do tipo planície costeira.



O estuário do rio Coreau possui uma baixa profundidade, não ultrapassando os 20 metros em sua parte mais profunda, sua razão largura/profundidade é muito grande, isso faz com que seu fluxo dependa da intensidade da descarga fluvial e da altura de maré. Possui um fundo preenchido com lama e sedimentos finos na sua parte superior, que se tornam mais grossos em direção a desembocadura, isso se deve ao processo recente de sedimentação, Miranda et al. (2002).

### 1.1.3. Oceanografia

De acordo com a COGERH (2009), no estado do Ceará existem 11 bacias hidrográficas, a bacia do rio Coreau é a que fica na porção mais ao norte do estado, cobrindo 26 municípios, drenando uma área total de 10657 km<sup>2</sup>.

O estuário do rio Coreau é dominado por uma maré semi-diurna, ou seja, possui duas preamares e duas baixamares ao longo de um dia lunar. De acordo com a classificação de Davies (1964), a maré do rio é do tipo meso-maré com amplitudes que podem chegar no máximo a três metros, quando em condição de maré de sizígia.

Devido a ausência de um marégrafo da DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação) e a proximidade do porto de Luís Corrêa, Piauí, aproximadamente, 100 km de distância, foi considerado para o presente estudo a maré do porto de Luís Corrêa.

As ondas predominantes no litoral cearense são as do tipo *sea* e *swell*, formadas através do cisalhamento dos ventos na superfície do mar, as ondas do tipo *sea* são as mais comuns, pois são geradas por ventos locais, são geralmente ondas de curto período, até 8 segundos, e pequena altura, porém existem também as ondas do tipo *swell* formadas em regiões distantes e que viajam longas distâncias no oceano possuindo períodos maiores do que as do tipo *sea*, entre 8 à 20 segundos, e alturas que podem ultrapassar os 2 metros, essas ondas são importantes na dinâmica costeira, principalmente, no transporte de sedimentos através da corrente de deriva litorânea.

Meireles & Silva (2002), descreveram que a deriva litorânea de sedimentos, devido ao ataque oblíquo das ondas, geradas pelos alísios de leste e nordeste, direciona o sedimento para a desembocadura do canal em parte penetrando no estuário pelos movimentos de refração das ondas no *spit*, formado na margem direita da desembocadura. Isso faz com que o estuário seja um importador de sedimentos da zona

costeira, principalmente, em condições de maré de sizígia somadas as ondas do tipo *swell* que vão transportar sedimentos marinhos para o ambiente fluvial.

#### 1.1.4. Clima

Embora a bacia do rio Coreaú esteja inserida em uma região com clima semi-árido, como na maior parte do estado do Ceará, o litoral cearense possui um clima tropical sub-úmido.

De acordo com a classificação proposta por Köppen (1900), o clima da microregião da bacia de drenagem do rio pode ser descrita como do tipo AW', correspondendo ao tropical chuvoso, quente e úmido, com chuvas concentradas no verão e outono.

Segundo Kampel et al. (2005), a região onde está inserida o estuário do rio Coreaú possui uma temperatura média de 26,8°C, com baixa variabilidade anual, a região apresenta uma precipitação média anual de 1473 mm e evapotranspiração potencial de 1695 mm.

A região nordeste do Brasil é fortemente dominada ao longo do ano pelos ventos alísios que convergem na Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que representa o sistema atmosférico mais determinante na abundância ou na deficiência pluviométrica no setor norte do Nordeste brasileiro, no verão e no outono do Hemisfério Sul a ZCIT encontra-se mais ao sul da linha do Equador fazendo com que ocorra uma maior precipitação, o que vai provocar um aumento do fluxo hídrico superficial do rio, principalmente entre março e abril, em contra partida no inverno e na primavera, no Hemisfério sul, a ZCIT encontra-se mais ao norte, acima da linha do equador fazendo com que a região possua essa característica de ventos fortes e baixa pluviometria devido aos ventos alísios.

Existem, também, outros sistemas que atuam em menor escala sobre a região como os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), as Linhas de Instabilidade, as Oscilações Madden-Julien, as Ondas de Leste e Complexos Convectivos de Mesoescala.

De acordo com Meireles & Silva (2002), a morfodinâmica do estuário é influenciada por dois fatores: a alternância dos fluxos de água fluvial e das marés, e o efeito da ação dos ventos no transporte e acúmulo dos sedimentos. O regime climático vai influir significativamente na morfodinâmica do rio, na época em que a ação da

águas pluviais é menos presente, seja nos processos de erosão ou sedimentação o vento assume o papel de principal agente na dinâmica morfogênica, principalmente entre os meses de setembro a dezembro.

## **2. OBJETIVOS**

O presente trabalho visa compreender a morfodinâmica do estuário do rio Coreaú para entender como se deram as mudanças na morfologia de fundo da desembocadura estuarina do rio nos últimos 70 anos.

### **2.1. Objetivos específicos**

- Caracterizar a evolução da morfologia de fundo, em média escala, da desembocadura estuarina do rio, através de cartas náuticas históricas e aquisição de dados batimétricos, por meio de mapas de contorno batimétricos e modelos digitais de terreno.
- Determinar as feições submersas mais importantes na desembocadura estuarina do rio utilizando imagens de *side-scan sonar* (sonar de varredura lateral), relacionando-as com o transporte sedimentar dentro do estuário.
- Caracterizar os tipos de ecos e a estratigrafia do fundo da desembocadura estuarina do rio, utilizando dados de sísmica de reflexão e análise sedimentológica.

### **3. JUSTIFICATIVA**

O estuário do rio Coreaú apresenta poucos estudos relacionados às suas características geológicas e oceanográficas, diversos estudos têm sido feitos nos estuários do estado do Ceará para entender como as alterações antrópicas tais como a construção de barragens para criação de açudes, fazendas de camarão, salinas entre outras formas de intervenções antrópicas afetam o curso e a dinâmica dos rios, que possuem suas bacias inseridas na região semiárida, como esses fatores poderiam interferir na hidrodinâmica, morfologia e sedimentologia dos rios.

A utilização de métodos sísmicos dentro de zonas estuarinas têm sido largamente utilizado em estudos no sudeste e sul do Brasil, porém não existem relatos na literatura, de estudos sísmicos em sistemas estuarinos no Estado do Ceará.

O presente trabalho focou no preenchimento desta lacuna, dentro desse ambiente, através do estudo da morfodinâmica e morfologia de fundo da desembocadura estuarina do rio Coreaú.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do presente trabalho foi dividida em quatro etapas, que caracterizam como este foi realizado, que vai desde a aquisição dos dados em campo até os produtos finais. A primeira etapa consistiu na compilação das cartas náuticas históricas, dos dados de sísmica com *subbottom* e sonar de varredura lateral, na segunda etapa foi feita aquisição de dados batimétricos e amostragem de sedimento em campo, a terceira etapa foi o processamento das amostras em laboratório, a quarta e última etapa do trabalho deu-se através do processamento e tratamento dos dados que geraram os resultados finais.

### 4.1. Compilação de dados

A primeira etapa do trabalho ocorreu através da compilação de dados. Foram cedidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), duas cartas náuticas históricas da desembocadura do rio Coreáú, Carta Náutica nº 601, na escala de 1:15000, referentes aos anos de 1945 e 1967, no formato .geotiff, com uma resolução de 1 dpi, com dimensões de 3881 x 5549 pixels.

Através do Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica (LGCO) foram cedidos dois arquivos brutos de sísmica, referentes a prospecções sísmicas do PRONEX realizadas no estuário do rio Coreáú no ano de 2011, um arquivo de sísmica de reflexão no formato .segy, onde a aquisição dos dados ocorreu no dia 14 de maio de 2011, através de um *Subbottom* modelo SB-216S da *EdgeTech* e outro arquivo de Sonar de Varredura Lateral (*Side Scan Sonar*) no formato .jsf, onde a aquisição dos dados se deu no dia 11 de maio de 2011, através de um *Side Scan Sonar* modelo 272-TD da *EdgeTech*.

### 4.2. Campo

A aquisição de dados de campo ocorreu entre os dias 22 e 23 de setembro de 2012 (figura 3), em condições de maré de quadratura (figura 4). A embarcação utilizada, Maresia, foi um pequeno barco pesqueiro adaptado para travessia de turistas entre as margens do rio.



**Figura 3.** Saída de Campo para coleta de dados batimétricos e amostras de sedimento. a. Embarcação (Maresia). b. Sistema de aquisição de dados batimétricos com ecobatímetro. c. Amostra coletada pela VanVeen. d. Amostragem de sedimento utilizando um amostrador de fundo do tipo VanVeen.

**Fonte:** Cecília Colares

€	<b>SÁB 22/09/2012</b>	03:19	0.6
		09:54	2.5
		15:49	1.0
		22:13	2.7
	<b>DOM 23/09/2012</b>	04:41	0.8
		11:17	2.4
		17:11	1.1
		23:36	2.6

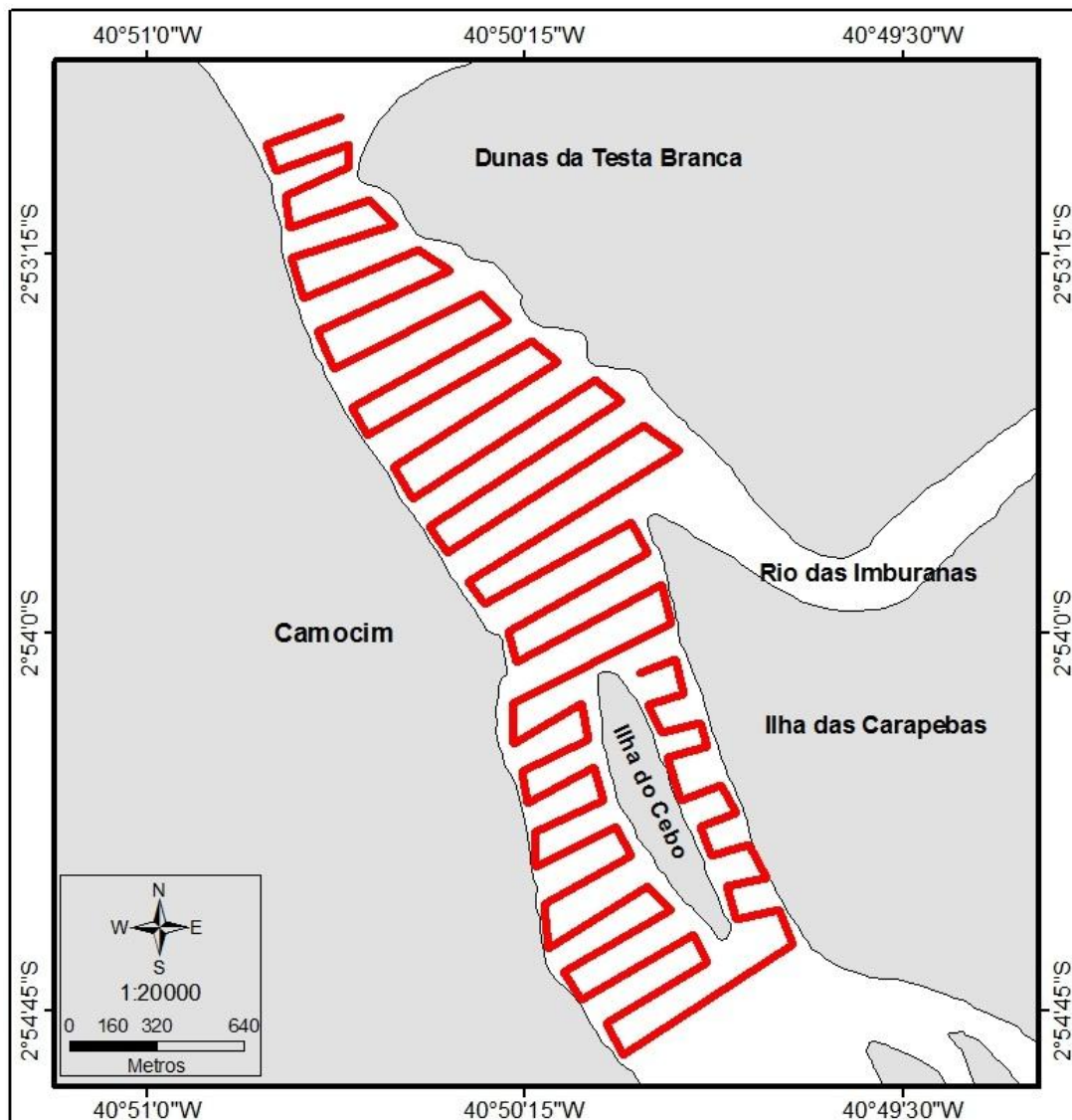
**Figura 4.** Tábua de Maré do Porto de Luís Corrêa, PI.

**Fonte:** DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação).

O levantamento batimétrico ocorreu nos dias 22 e 23, onde foram realizados 42 transectos com espaçamento de 100 m, com os perfis perpendiculares as margens do estuário (figura 5).

A aquisição dos dados deu-se através de um ecossonda modelo GPSMap 426S Garmim, com o transdutor acoplado a bombordo da embarcação por uma haste de metal. O equipamento possui um sistema de aquisição que gera dados de profundidade, temperatura, juntamente com as coordenadas e as horas, conectado a um laptop, possuindo uma taxa de transmissão de dados de 1 dado/segundo, sendo capturados no

padrão NMEA 2.3. Os dados foram salvos em tempo real no laptop no formato ASCII, gerando nove arquivos de texto (.txt), que foram posteriormente processados.

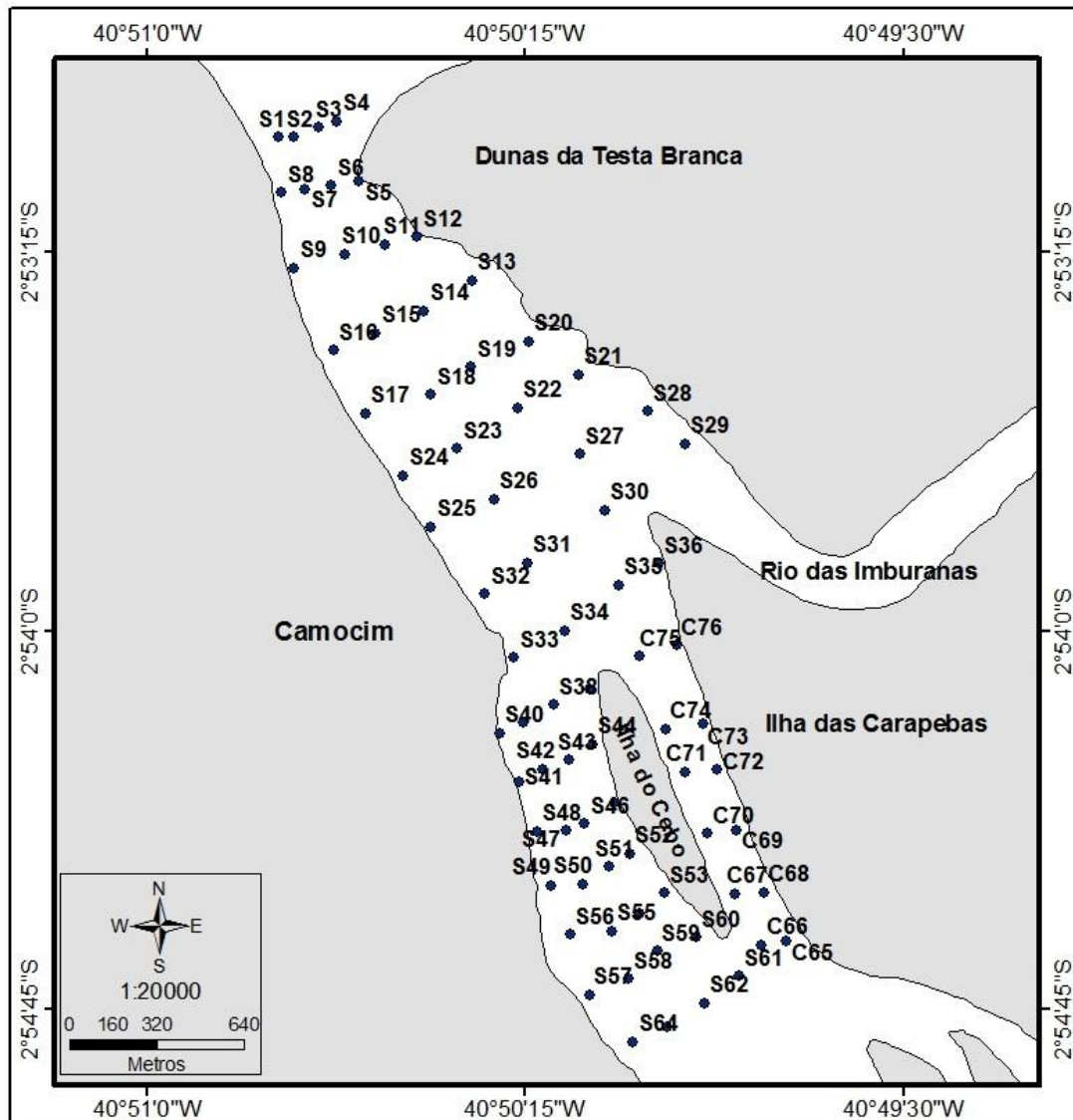


**Figura 5.** Mapa com a localização da malha amostral da batimetria.

**Fonte:** O autor.

A Amostragem de sedimento ocorreu no dia 23, de forma semelhante como no levantamento batimétrico, foram realizados 21 transectos com espaçamento de 200 m, com os perfis perpendiculares as margens do rio, sendo coletado 4 amostras por transecto, com exceção do canal secundário, localizado entre a ilha do Cebo e a ilha das Carapebas, onde foram coletado 2 amostras por transecto, totalizando 76 pontos amostrados (figura 6).





**Figura 6.** Mapa com a localização dos pontos de amostragem de sedimento.

**Fonte:** O autor.

As amostras foram coletadas através de um amostrador de fundo do tipo *VanVeen*, onde foram então armazenadas em sacola plásticas e identificadas, sendo então acondicionadas em um freezer com baixa temperatura, no Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG), até seu processamento.

### 4.3. Laboratório

O processamento das amostras ocorreu no Laboratório de Oceanografia Geológica, no Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará (UFC), entre os meses de outubro de 2012 e março de 2013 (figura 7).

As amostras foram retiradas do freezer para descongelamento por 24 horas, onde posteriormente foram armazenadas em recipientes de vidro e colocadas na estufa a uma temperatura de, aproximadamente, 60°C por um período de 72 horas para secagem, onde então foram submetidas às análises sedimentológicas (granulometria, teor de matéria orgânica e teor de carbonato de cálcio).

Para análise granulométrica, foi feito o quarteamento e a pesagem de 100 g, de cada amostra individualmente, onde posteriormente foi feito o peneiramento úmido, onde a amostra é lavada em água corrente, utilizando uma peneira com malha de 0,062 mm, separando a fração do sedimento grosso, que é retido na peneira, e a fração do sedimento fino, que passa pela malha da peneira, sendo armazenado em um recipiente para análise da fração fina.

A fração da amostra retida na peneira foi então colocada em um recipiente de vidro onde foi novamente para a estufa à 60°C por um período de 48 horas para secagem. A amostra então foi retirada da estufa e colocada no peneirador mecânico (rotap) para divisão da amostra entre as classes arenosas, utilizando 10 peneiras com o tamanho da malha variando de 2,83mm à 0,062mm, sendo pesada a fração retida em cada peneira individualmente.

A fração fina foi processada através da pipetagem, onde se separa o silte da argila através de uma reação química em uma solução contendo a amostra. A pipetagem utiliza um antifloculante com o intuito de se obter uma suspensão derradeira, segundo a Lei de Stokes (1854), seguida de sucessivas pipetagens obedecendo a rígidos horários de coleta.

O recipiente foi drenado para que o excesso de água fosse retirado da amostra, a fração armazenada no recipiente foi então colocada em uma proveta de 1000 ml, completando o nível da proveta com água corrente. Foram então separadas 4 placas de petri, onde foram pesadas e identificadas para as frações de silte grosso, silte médio, silte fino e silte muito fino.

Para a reação da solução pesou-se 0,67 g do Defloculante de Oxalato, sendo então adicionada a solução, onde foi agitada utilizando um bastão de vidro. Através da reação e a partir da decantação na solução, retirou-se 20 ml da solução da altura de 400 ml no tempo de 3 minutos e 52 segundos sendo colocada na placa representando o silte grosso, logo após 7 minutos e 44 segundos na altura de 700 ml retirou-se novamente 20 ml sendo colocado na placa de silte médio, 31 minutos depois novamente na altura de 700 ml retirou-se 20 ml sendo colocado na placa de silte fino e por fim 2 horas e 3

minutos depois na altura de 700 ml retirou-se 20 ml onde se colocou na placa de silte muito fino.

As placas de petri foram então colocadas na estufa por um período de 48 horas para secagem, sendo posteriormente pesadas. O resultado da pesagem foi então subtraído do valor das placas secas resultando na quantidade de silte contido na amostra. Para a quantidade de argila na amostra subtraiu-se das 100 g iniciais do peneiramento úmido, o somatório das pesagens individuais no peneiramento mecânico e da pipetagem, resultando no valor de argila contido na amostra.

A classificação granulométrica das amostras de sedimento ocorreu através da utilização do software ANASED 5.0, desenvolvido pelo Laboratório de Geologia Marinha Aplicada (LGMA) da Universidade Federal do Ceará (UFC). Os resultados encontrados na granulometria e pipetagem foram adicionados ao programa, onde através da caracterização de Folk & Ward (1957), que analisam o sedimento consoante suas propriedades, compreendendo média e mediana, adquirindo-se os valores de tendência central, os graus de seleção, assimetria e curtose, foram determinados suas classificações granulométricas.

Para a análise do teor de matéria orgânica presente no sedimento, a metodologia usada para a Matéria Orgânica baseia-se na calcificação *Loss-on-Ignition* (adaptação de Davis, 1974). Em cada amostra utilizou-se um cadinho de porcelana, do qual foi numerado e pesado, sem a presença da amostra. Pesou-se então 2 g da amostra seca, onde então foi colocada em seu cadinho respectivo. Os cadinhos foram então levados à Mufla por um período de 2 horas em uma temperatura de 400°C.

Para a determinação da porcentagem de matéria orgânica na amostra, subtraiu-se o valor do peso do cadinho com a amostra antes de ir para Mufla pelo valor do peso do cadinho com a amostra depois de ir a Mufla, dividiu-se esse resultado pelo peso da amostra seca antes de ir para Mufla e multiplicou-se por 100 determinando, dessa forma, o teor de matéria orgânica da amostra.

A análise do teor de carbonato de cálcio, a metodologia utilizada foi através do método de Bernard. Pesou-se 0,5 g de Carbonato de Cálcio em pó, que serviu para comparação dos resultados, utilizando um sistema com o instrumento Calcímetro de Bernard e um balão Kitassato (Erlenmeyer modificado). Adicionou-se 2 ml de HCl (ácido clorídrico), com concentração de 10%, dentro do tubo de ensaio do Kitassato, e dentro do Kitassato colocou-se a amostra pesada, fechou-se o Kitassato com a rolha onde então misturou-se o carbonato de cálcio com o ácido, a rolha está conectada a uma

mangueira que se liga a um cilindro graduado com água, devido a reação que ocorre entre o ácido e o carbonato que produz gás carbônico, que é liberado dentro do Kitassato, ocorre o afastamento da coluna d'água no interior do sistema que contém o cilindro graduado, representando o máximo que a coluna d'água pode chegar, o mesmo procedimento foi feito para cada amostra de sedimento, sendo os valores anotados para cada amostra.

Para a determinação da porcentagem do carbonato de cálcio na amostra, multiplicou-se o valor encontrado em cada amostra, separadamente, por 99 e então se dividiu pelo valor encontrado no procedimento onde se utilizou o carbonato de cálcio em pó (Branco), resultando no teor encontrado em cada amostra.

Todas as amostras, após o processamento, foram identificadas e armazenadas em potes de plástico no laboratório caso houvesse necessidade de reanálise.



**Figura 7.** Análise das amostras de sedimento no laboratório. a. Separação das frações das amostras por peneira. b. Peneiramento Mecânico. c. Pesagem das amostras. d. Análise de carbonato de cálcio. e. Mufla. f. Pipetagem.

**Fonte:** O autor

#### 4.4. Processamento dos dados

A batimetria levantada em campo gerou treze arquivos de texto, totalizando 7569 pontos amostrados. O padrão NMEA gera cinco sentenças que contêm as informações referentes a cada ponto amostrado, as sentenças que foram utilizadas no processamento foram a \$GPGLL, que contêm as coordenadas geográficas e as horas em GMT (hora do meridiano de *Greenwich*), e a \$SDPT, que contêm a profundidade em metros. Esses dados foram filtrados e separados em 4 colunas representando cada parâmetro: latitude, longitude, profundidade e hora. Esse processo foi repetido para cada arquivo, onde, posteriormente, foram unificados em apenas um.

As coordenadas foram transformadas em graus decimais, a profundidade, que estava positiva, foi convertida para negativo e as horas foram convertidas de horas, minutos e segundos para horas decimais, sendo subtraídas três horas em virtude de o fuso horário local ser -3 horas em relação à hora do meridiano de *Greenwich*.

Os valores de profundidade foram corrigidos ao nível reduzido da DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação), com o objetivo de eliminar o efeito da maré, utilizando como base a tábua de maré do porto de Luís Corrêa, objetivando dar suporte a mais precisa modelagem da batimetria.

A correção de maré ocorreu através da utilização do método de 1/12 da DHN do qual através da curva de maré é possível gerar uma equação polinomial gerada através de um gráfico entre as horas e as diferentes alturas de maré, fornecidas pela DHN em sua página online. Os valores referentes as horas em que foi feito a batimetria, foram substituídos nas equações gerando a altura da maré local na hora em que o ponto foi amostrado, sendo esses valores subtraídos das profundidades amostradas, corrigindo a batimetria ao zero hidrográfico.

Para a interpolação dos dados batimétricos foi utilizado o método estatístico de interpolação por krigagem. Ele utiliza o dado tabular e sua posição geográfica para calcular as interpolações. Utilizando o princípio da Primeira Lei de Geografia de Tobler, que diz que unidades de análise mais próximas entre si são mais parecidas do que unidades mais afastadas, a krigagem utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes, e criar assim os novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados (Jakob, 2002).

Através da interpolação pela krigagem, utilizando os dados de latitude, longitude e profundidade dos 7569 pontos amostrados gerou-se o mapa de contorno batimétrico da área estudada.

Utilizando as cartas náuticas históricas cedidas pela DHN foi possível, através das cotas batimétricas, a construção de mapas de contorno batimétrico.

As cartas náuticas foram georeferenciadas utilizando o *datum* WGS84 e a projeção cartográfica UTM 24S, através das coordenadas nas bordas das cartas náuticas, após o georeferenciamento os pontos das cotas batimétricas foram digitalizados gerando um arquivo de dados XYZ, representando a longitude, latitude e a profundidade.

Como na interpolação numérica utilizada na batimetria realizada em campo, a construção dos mapas de contorno batimétricos a partir das cartas náuticas deu-se através do método da interpolação por krigagem.

Além da construção dos mapas de contorno, foram criados Modelos Digitais de Terreno (MDT), para uma visualização em 3D da área estudada. Os MDT's são capazes de representar digitalmente um conjunto de dados e a partir daí extrair informações, seja por meio de consultas diretas ou de análises e manipulações, gerando informações adicionais (Guedes, 2002).

Para a construção dos Modelos Digitais de Terreno, foram utilizadas as cotas batimétricas, onde através da interpolação por krigagem foi possível a criação de um *Grid* onde, com extrapolação vertical, foram construídos os modelos 3D das batimetrias, sendo possível uma clara visualização da topografia ao longo dos anos.

A interpolação pelo inverso da distância ponderada, em inglês *inverse of distance weighing* (IDW), implementa o pressuposto de que os pontos que estão pertos uns dos outros são mais parecidos do que aqueles que estão mais distantes. Para estimar um valor para qualquer local medido, IDW usará os valores medidos em torno do local de previsão. Esses valores de medição mais próximos do local de predição terão mais influência sobre o valor predito do que os mais distantes. Assim, IDW assume que cada ponto medido tem uma influência local que diminui com a distância. Pesa os pontos mais próximos do local de predição maiores do que as mais afastadas.

Através da interpolação dos dados por essa metodologia foram gerados os mapas de contorno dos teores de matéria orgânica, carbonato de cálcio e granulométrico, utilizando os 76 pontos que foram amostrados em campo.

O processamento dos dados geofísicos se deu através do software *Discover II*, que além de ser usado para a aquisição dos dados, pode ser utilizado no processamento

e interpretação deles, dessa forma sendo usado, tanto para a sonografia, realizada através do Sonar de Varredura Lateral, quanto a sísmica de reflexão, realizada através do *Subbottom*.

Através da sonografia é possível identificar e caracterizar as principais feições submersas no leito do rio. Foi realizado um perfil longitudinal do estuário, onde através da classificação proposta por Ashley (1990), que associa o tamanho e a forma destas aos processos hidrodinâmicos que as geraram, as feições foram caracterizadas.

Para tal, foi estabelecida uma hierarquia dos principais descritores morfológicos de acordo com sua importância: de primeira ordem - comprimento de onda, altura e dimensionalidade, 2D ou 3D; de segunda ordem - tamanho e orientação das feições superpostas, tipo e granulometria do sedimento constituinte e; de terceira ordem - ângulo das faces e simetria do perfil, características do trem de ondas, área do leito coberta pela feição e evolução temporal (Paolo & Mahiques, 2008).

Para definição da altura de onda, das feições submersas, foi utilizada a fórmula proposta por Flemming (1988), da qual:

$$H = 0.0667 \cdot L^{0.8098}$$

onde H = Altura de onda (m) e L = Comprimento de onda (m).

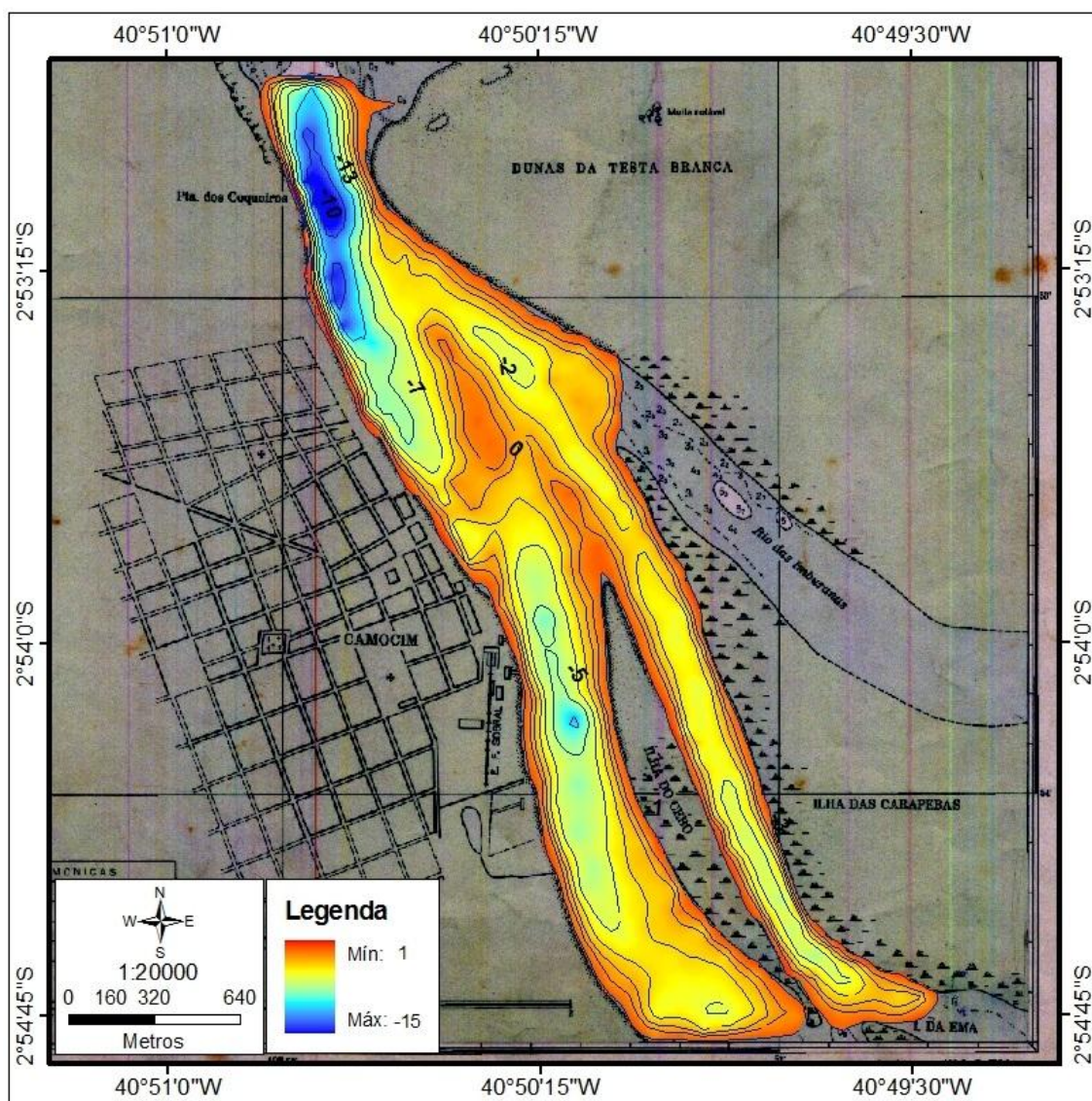
A sísmica de reflexão de alta frequência, operando entre 3,5 e 12 kHz, é um método consagrado de investigação do fundo marinho. O padrão do eco é resultado da interação entre o fundo oceânico e o pulso da energia usada como fonte, pois o retorno do eco é afetado pelo tipo de sedimento, suas camadas, e pelas estruturas e rugosidades do fundo (Baptista Neto et al., 2011).

A prospecção sísmica realizada em campo ocorreu com uma frequência de 7 kHz, sendo assim considerada de alta frequência, através de dois perfis longitudinais amostrados no estuário, e através da correlação entre a sísmica de reflexão e a granulometria foi possível caracterizar os diferentes tipos de eco que foram encontrados nos perfis, dessa forma determinando a estratigrafia ao longo da área de estudo.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Morfologia de Fundo

A interpolação numérica por Krigagem, realizada através da digitalização dos pontos da Carta Náutica n°601, do ano de 1945, inseridos dentro do estuário do rio Coreaú, possibilitou, utilizando os 310 pontos cotados, a construção de um mapa de contorno batimétrico na escala de 1:20.000 (figura 8).



**Figura 8.** Mapa de Contorno batimétrico do ano de 1945.

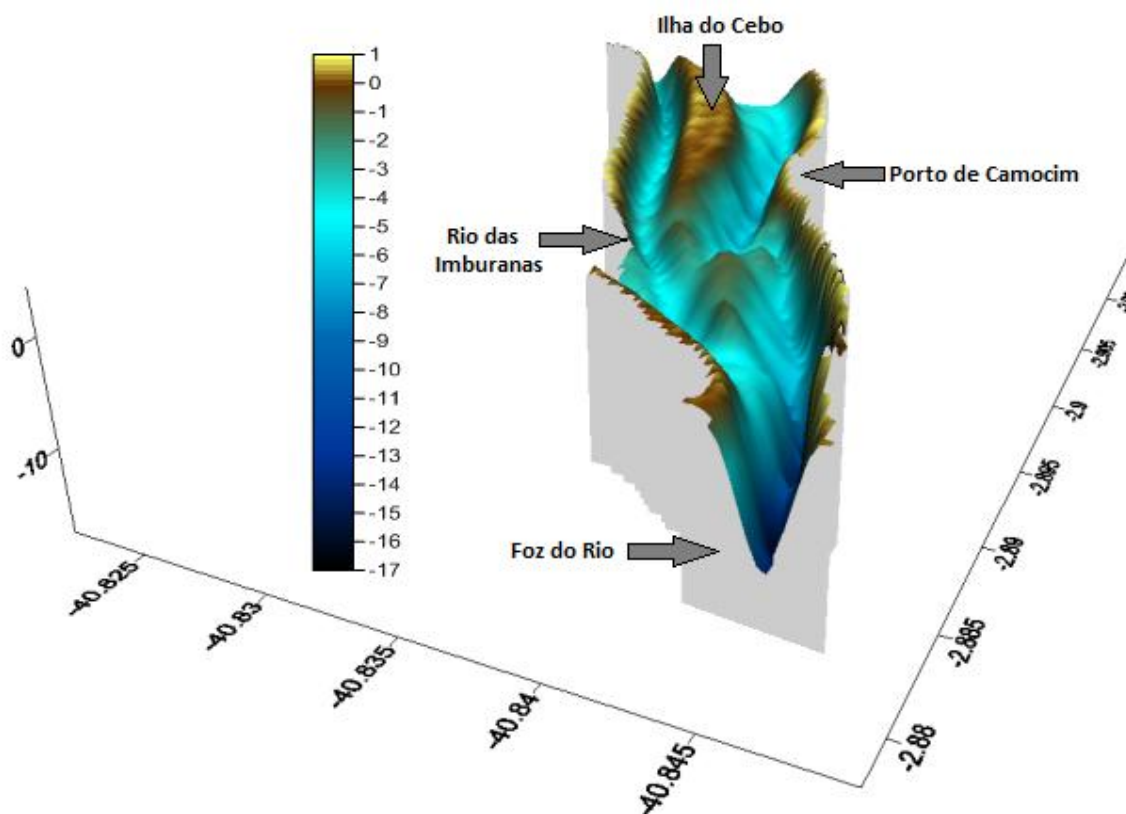
**Fonte:** O autor.

O mapa demonstra uma região mais profunda, na porção mais ao norte da margem esquerda do rio, o canal principal de entrada do estuário possui uma elevada profundidade levando em consideração as outras regiões do estuário, a profundidade



média do estuário, no ano de 1945, era de 4,3 m, sendo considerado um estuário raso. A profundidade máxima registrada foi de 17,5 m, encontrada na foz do rio.

A construção do modelo digital de terreno permite uma melhor visualização da batimetria da região (figura 9).



**Figura 9.** Modelo Digital de Terreno, com extrapolação vertical, da batimetria 1945.

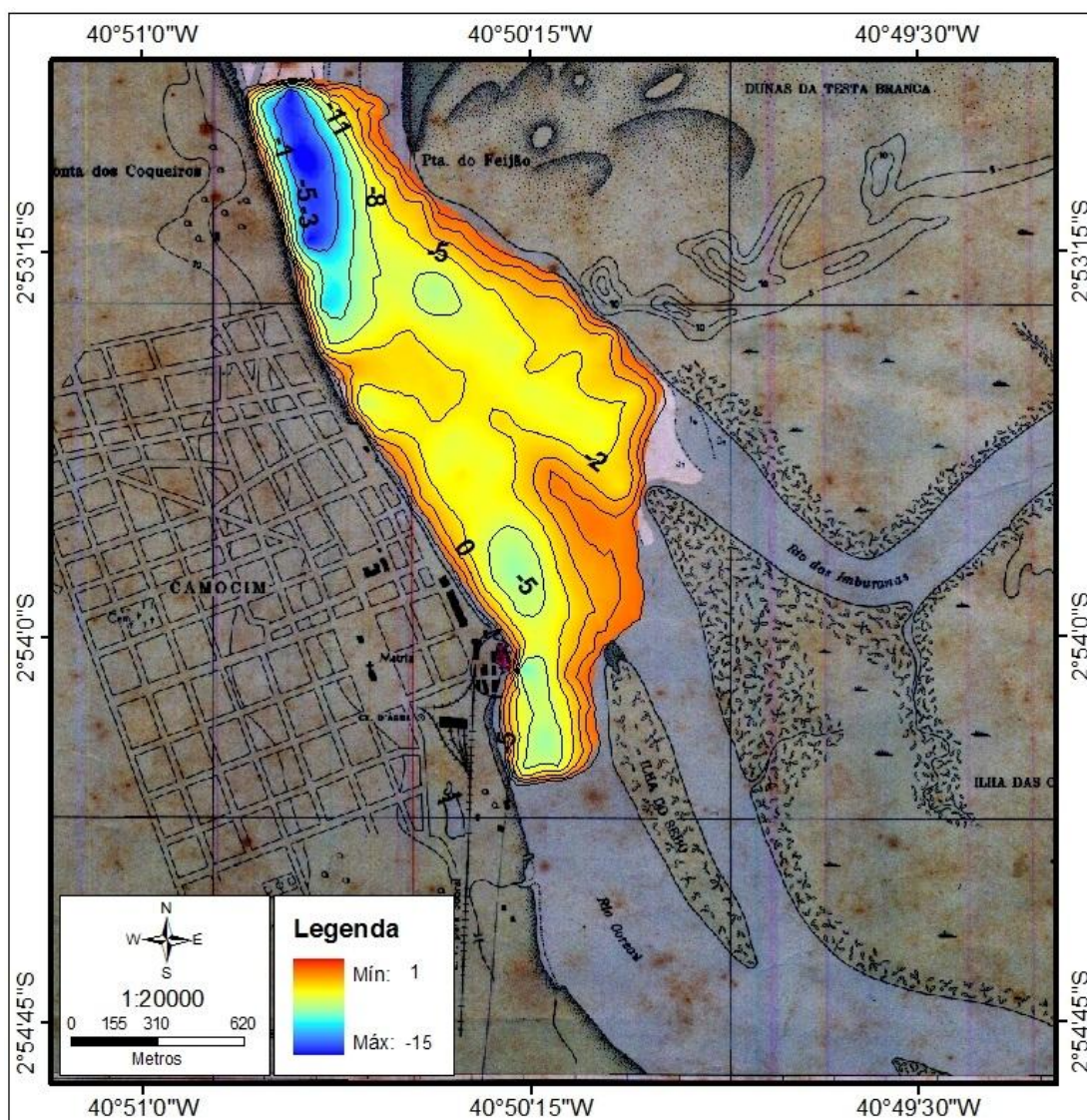
**Fonte:** O autor.

O MDT permite uma clara visualização do relevo do estuário evidenciando claramente o canal principal junto à margem esquerda do rio, indo desde a foz até o porto, além da presença de uma região rasa na porção central do estuário que segue até a ilha do Cebo, que no ano de 1945 ocupava uma área, relativamente grande da área estudada.

A digitalização dos pontos da Carta Náutica n° 601, do ano de 1967, tal como no ano de 1945, foi possível através dos 88 pontos cotados a construção do mapa de contorno batimétrico na escala de 1:20.000 (figura 10).

Diferentemente da área amostrada pela DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação), no ano de 1945 a área amostrada no estuário do rio Coreáú correspondeu

somente à zona costeira e a porção do rio que vai até a zona portuária, dessa forma reduzindo a área abordada, sendo utilizada apenas a porção estuarina da carta náutica.



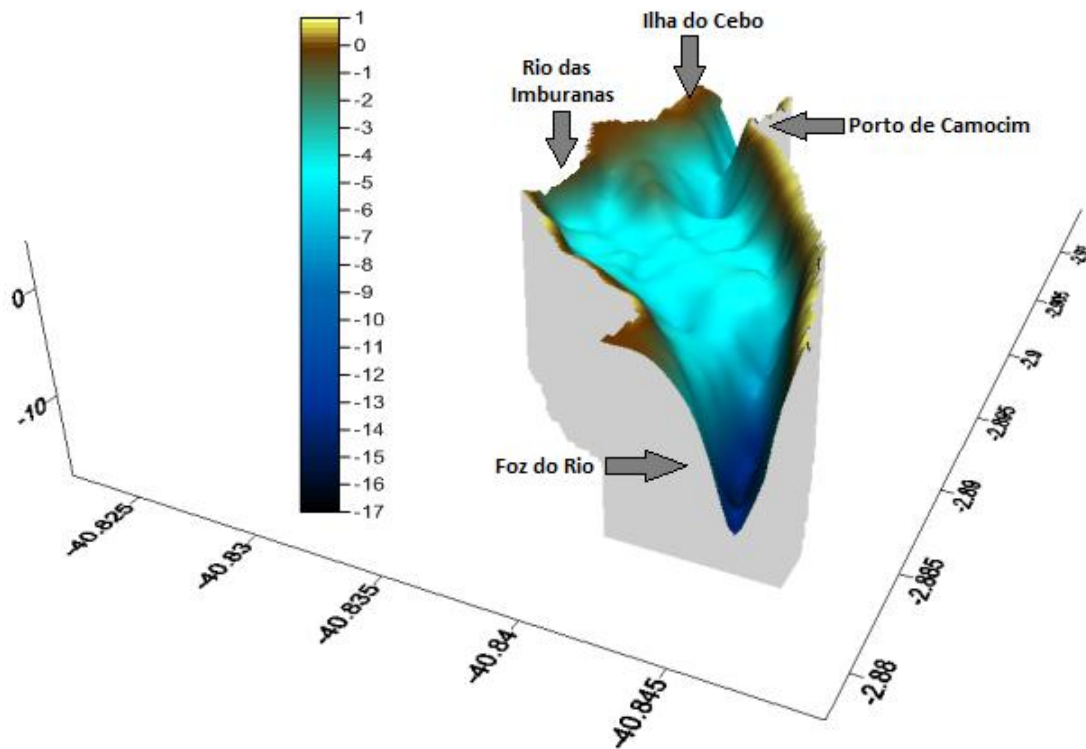
**Figura 10.** Mapa de Contorno batimétrico do ano de 1967.

**Fonte:** O autor.

O mapa batimétrico demonstra, como observado no ano de 1945, uma região mais profunda na foz do rio que vai tornando-se mais rasa estuário adentro, porém na região portuária possui uma zona mais profunda, não como a encontrada na foz, contudo demonstrando uma diminuição da profundidade. A profundidade máxima cotada foi de 16,5 m, e a profundidade média foi de 5 m, registrando uma maior profundidade média do que a encontrada, anteriormente, em 1945, contudo a área amostrada foi menor do que na anterior.

O relevo submarino tornou-se mais plano, diferentemente como visto no ano de 1945, através do MDT (figura 11) é possível inferir que a porção mais rasa que existia

na região central do estuário migrou, fazendo com que o canal se tornasse mais raso, entretanto indo de uma margem a outra do rio, alterando o perfil do canal.



**Figura 11.** Modelo Digital de Terreno, com extrapolação vertical, da batimetria 1967.

**Fonte:** O autor.

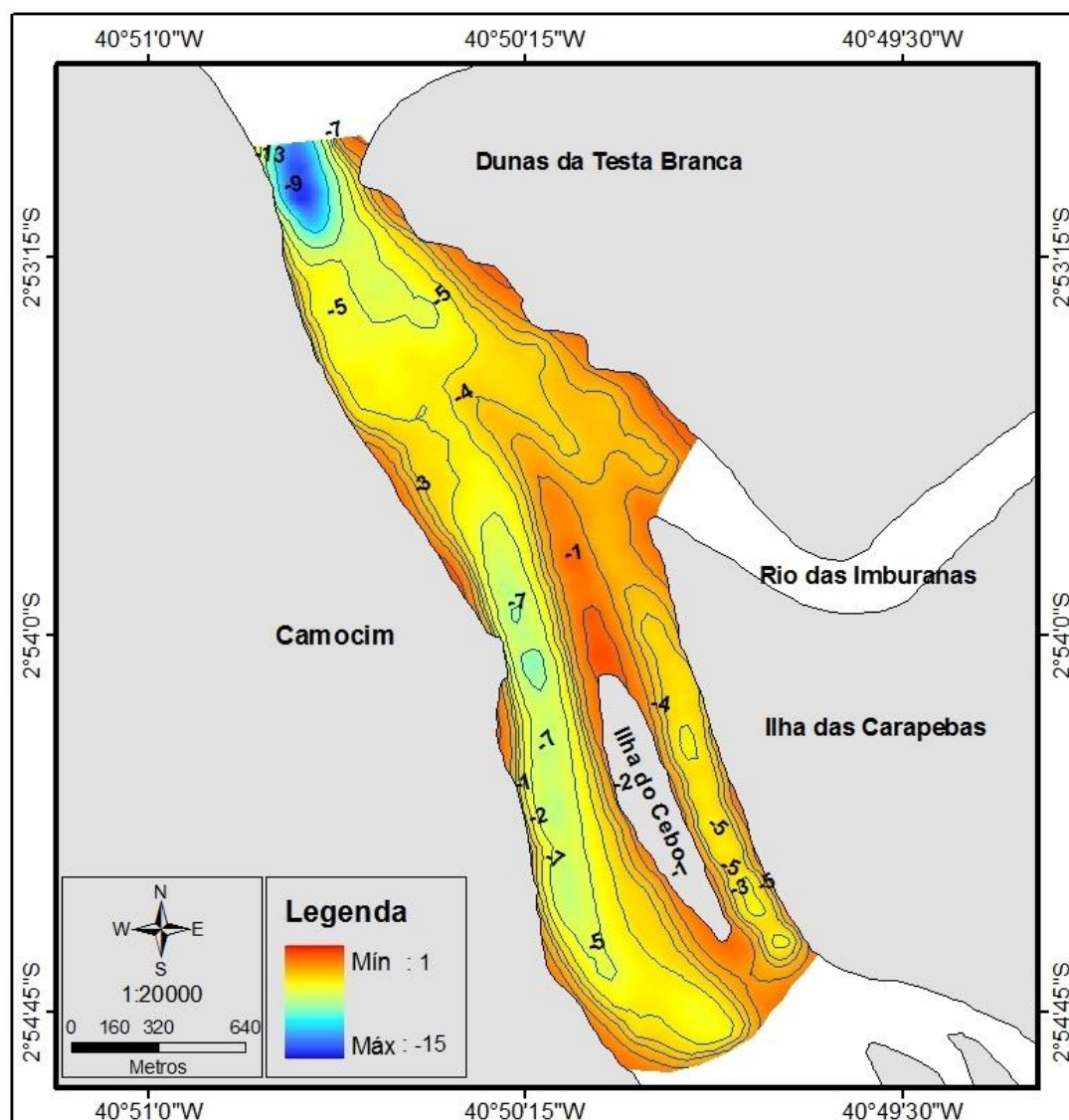
Diferentemente dos mapas de contorno batimétrico anteriores o mapa de contorno batimétrico da batimetria realizada em campo, no ano de 2012, utilizou na interpolação numérica as 7.569 cotas batimétricas, que possuem um espaçamento médio de 3 m, onde fora percorrido uma distância de 22,7 km, tornando a interpolação numérica o mais próximo da realidade, enriquecendo o mapa em detalhes.

O mapa de contorno batimétrico foi criado utilizando a mesma escala dos dois primeiros mapas, 1:20.000 (figura 12).

A profundidade máxima encontrada no ano de 2012 foi de 19,7 m, na foz do rio, tal como encontrado nas batimetrias anteriores. A profundidade média do estuário é de 4 m.

A foz do rio continuou sendo a porção do estuário mais profunda, com a profundidade sendo reduzida estuário adentro, a zona portuária possui uma região profunda como foi observada nas batimetrias anteriores, a presença de um banco de areia é notável surgindo da ilha do Cebo se estendendo por mais de 800 metros na

direção da foz separando o canal do rio, similar com na batimetria de 1945, porém com um gradiente mais suave.

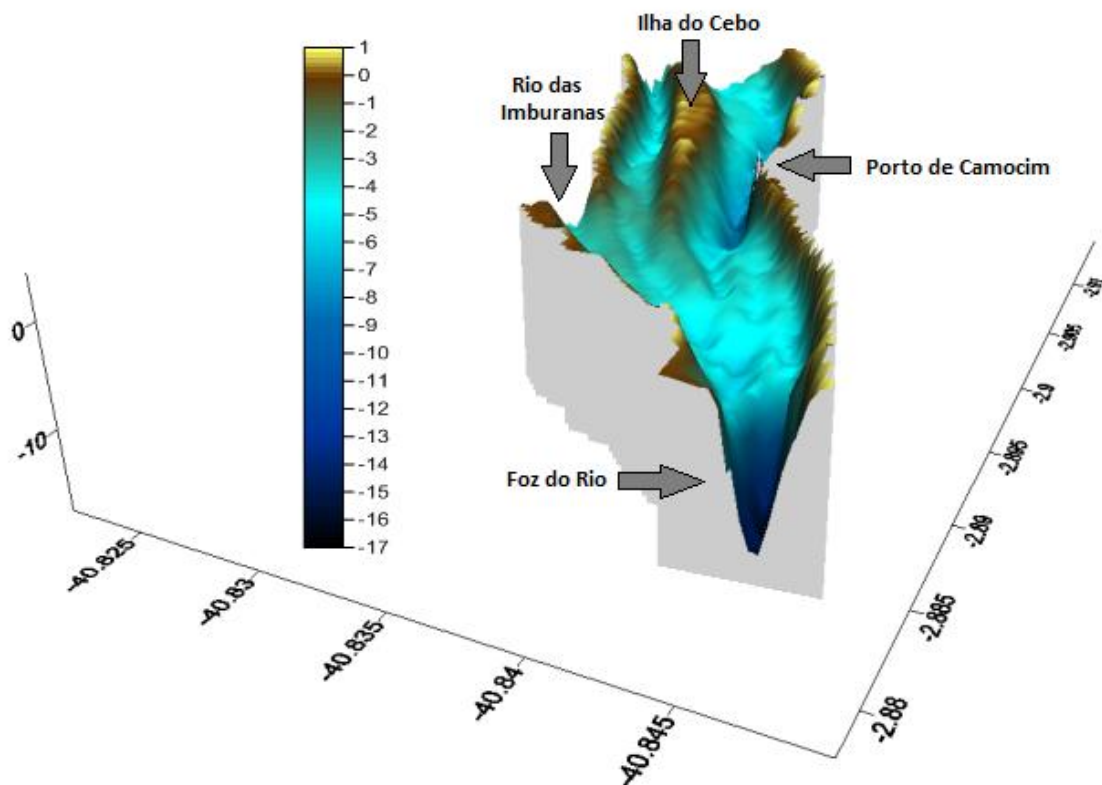


**Figura 12.** Mapa de Contorno batimétrico do ano de 2012.

**Fonte:** O autor.

Através da construção do MDT (figura 13) é possível compreender o relevo submerso encontrado na área estudada, sendo este muito rico em detalhes, devido ao grande número de pontos amostrados, permitindo diferenciar das batimetrias, históricas como a morfologia de fundo se comportou nos últimos 67 anos.

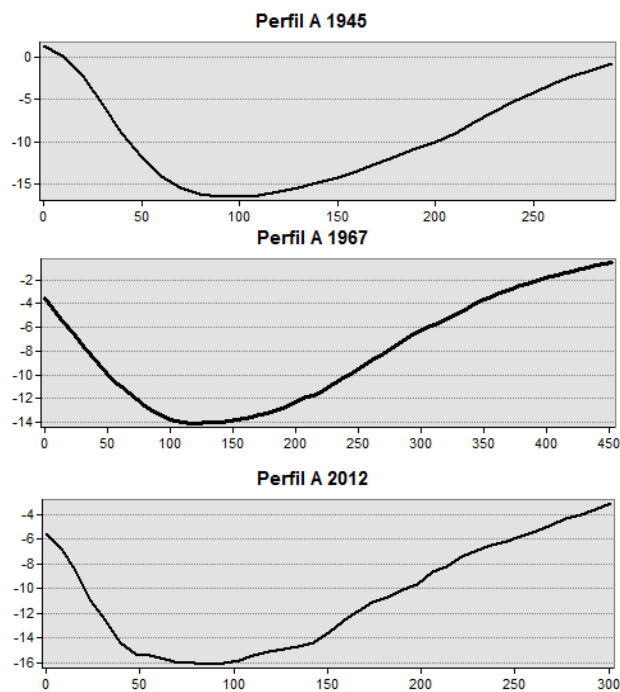
Além dos mapas de contorno batimétrico, foi criado um mapa, na escala 1:20.000, com três perfis transversais, perfil A, B e C, ao longo da área de estudo (figura 17) demonstrando como cada parte do estuário, individualmente, foi modificada desde o ano de 1945 até 2012.



**Figura 13.** Modelo Digital de Terreno, com extrapolação vertical, da batimetria 2012.

**Fonte:** O autor.

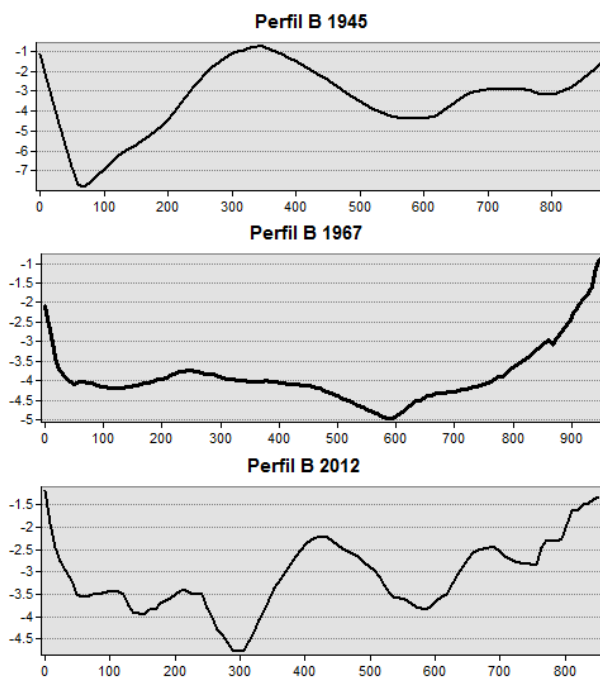
O primeiro perfil, A (figura 14), encontra-se localizado na foz do rio, onde é possível observar que não houve modificações significativas na morfologia de fundo.



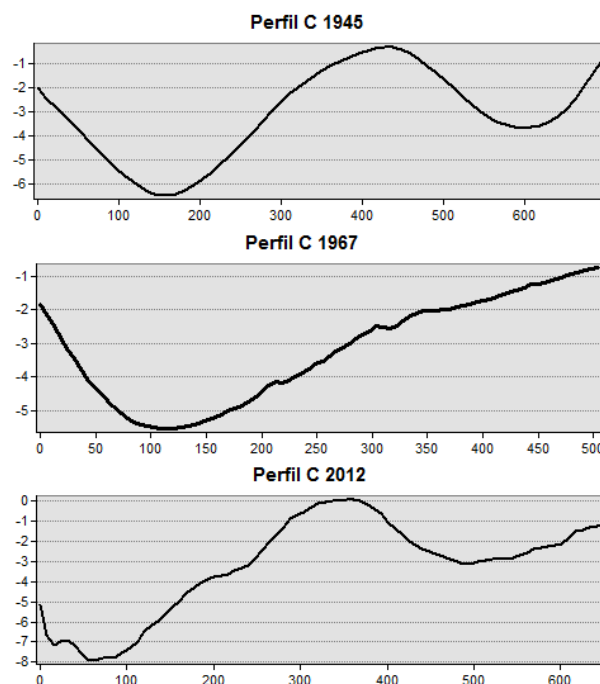
**Figura 14.** Perfis batimétrico A, localizado na foz do rio.

**Fonte:** O autor.

O segundo perfil, B (figura 15), demonstra tal como no modelo digital de terreno que no ano de 1945 o estuário possuía um formato com dois canais devido a presença de um grande banco de areia localizado na porção central, o que desapareceu no ano de 1967, porém no ano de 2012 pode-se observar que o estuário assoreou, retornando a possuir um grande banco como na configuração inicial encontrada em 1945.

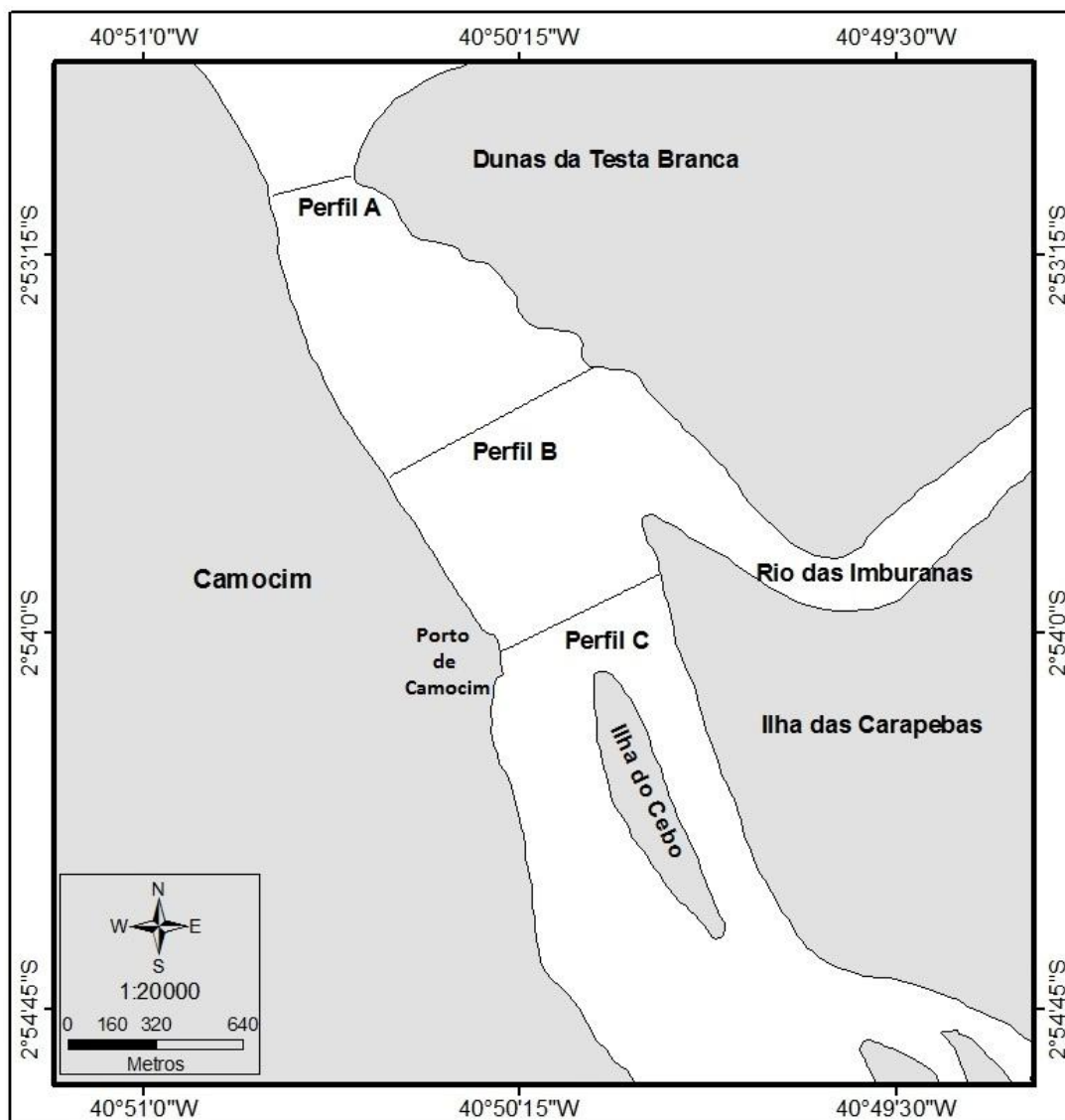


**Figura 15.** Perfis batimétrico B, localizado na porção mais larga do estuário.  
**Fonte:** O autor.



**Figura 16.** Perfis batimétrico C, localizado no porto de Camocim.  
**Fonte:** O autor.

O terceiro perfil, C (figura 16), encontra-se localizado desde o porto de Camocim até a outra margem da ilha das Carapebas, apesar de haver uma pequena diferença entre os perfis amostrados, a maior diferença entre os perfis deu-se na entrada do canal secundário entre a da ilha do Cebo e a ilha das Carapebas, onde a profundidade diminui, tornando-se mais raso, no ano de 1967.



**Figura 17.** Mapa com os perfis batimétricos (A,B,C).

**Fonte:** O autor.

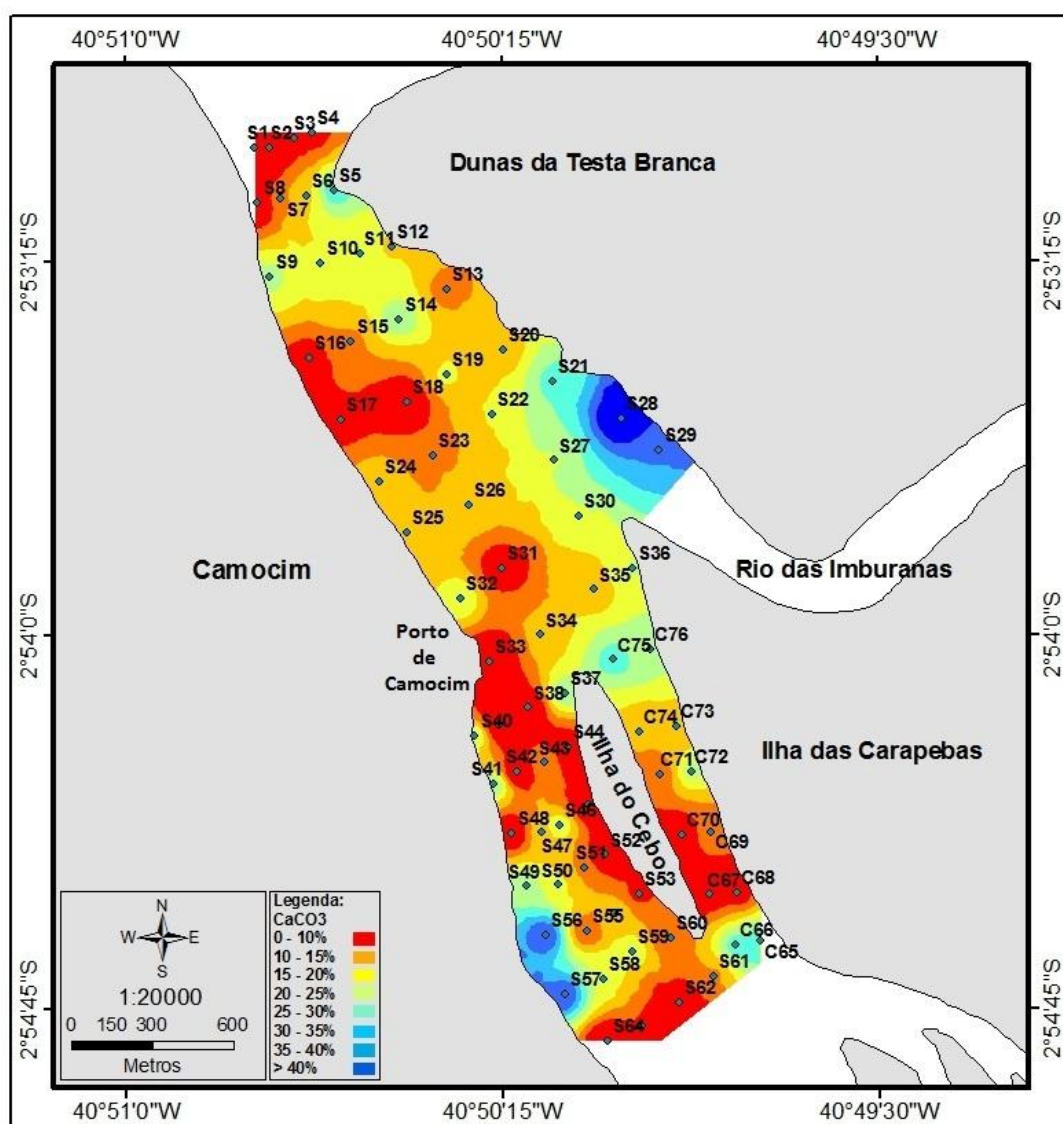
## 5.2. Sedimentologia

A análise sedimentológica permite compreender a dinâmica sedimentar do estuário, a interpolação numérica, utilizando a metodologia do inverso da distância ponderada, através dos 76 pontos de amostragem foi possível a construção dos mapas

de teor de carbonato de cálcio, teor de matéria orgânica, e granulométrica, que torna a visualização dentro do espaço amostral mais clara.

As amostras n° 1, 2, 8, 18, 33, 39, 42, 48, 64, não foram coletadas devido ao substrato ser rochoso, impossibilitando a amostragem e análise delas.

A análise do teor de carbonato de cálcio permitiu através dos dados uma divisão em 8 classes, sendo de 0-10%, de 10-15%, de 15-20%, de 25-30%, de 30-35%, de 35-40% e acima de 40%. O mapa de contorno do teor de carbonato de cálcio foi construído com um escala de 1:20.000 (figura 18) para uma melhor visualização dos dados no espaço amostral.



**Figura 18.** Mapa de Contorno do teor de Carbonato de Cálcio.

**Fonte:** O autor.



O maior valor encontrado foi de 54% na amostra n°28, encontrada na confluência do rio das Imburanas com o rio Coreau na margem direita, o menor valor registrado foi de 0% na amostra n°45, na margem esquerda da ilha do Cebo no canal principal do rio.

A média encontrada entre as amostras foi de 19,2% de carbonato de cálcio. A classe mais representativa foi a de 0-10%, possuindo 16 amostras do total de 76.

A análise do teor de matéria orgânica permitiu a divisão das amostras em 5 classes, de 0-3%, de 3-5%, de 5-10%, de 10-15% e de 15-25%. O mapa do teor de matéria orgânica, tal como o de carbonato de cálcio, foi construído com uma escala de 1:20000 (figura 19).

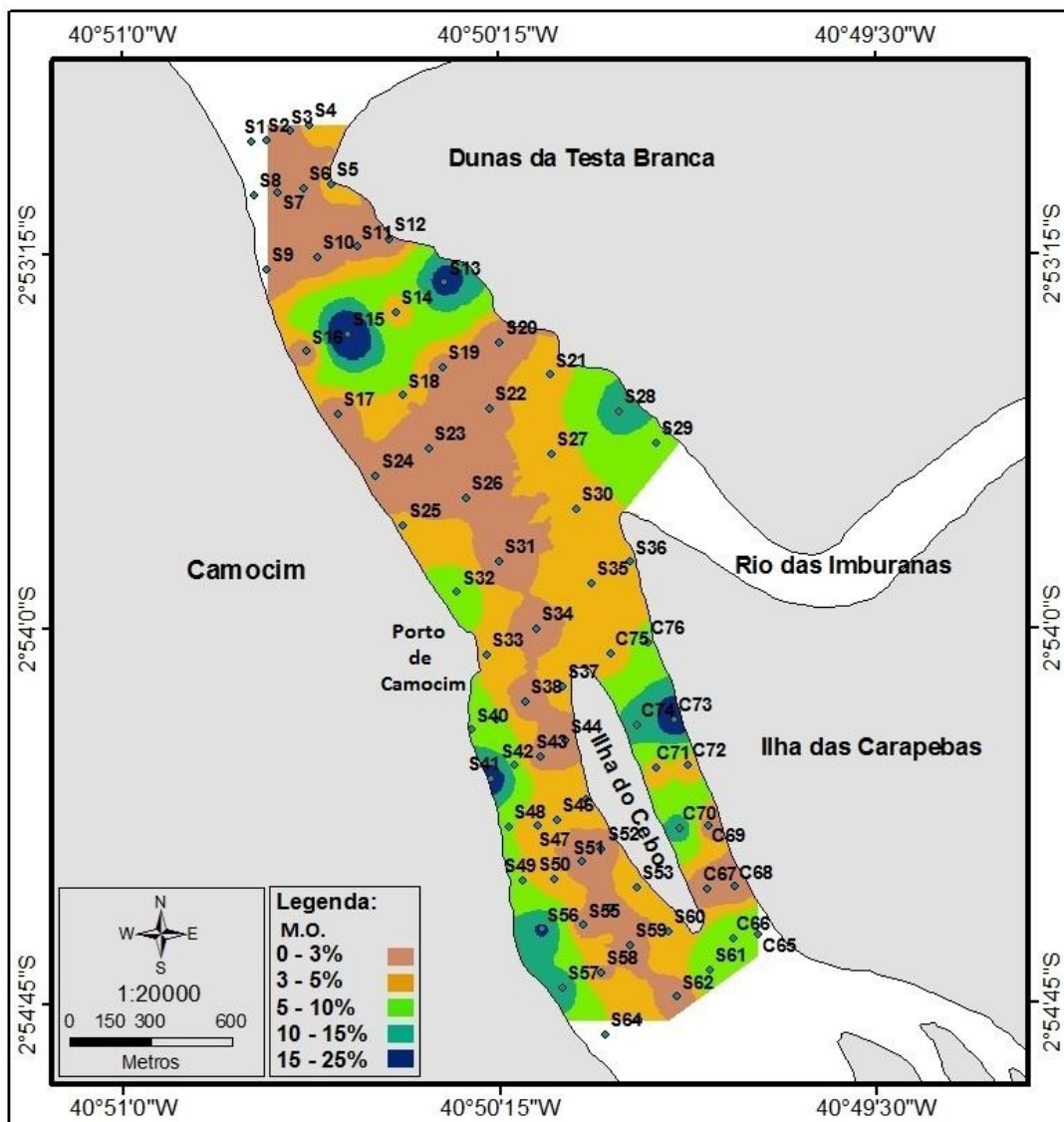


Figura 19. Mapa de Contorno do teor de Matéria Orgânica.

Fonte: O autor.

O maior valor encontrado foi de 25,8% na amostra n°17, ao lado da margem esquerda à, aproximadamente, 600m da foz do rio. Em contrapartida, o menor valor encontrado foi de 0,25% na amostra n°44, localizada na margem esquerda da ilha do Cebo, no canal principal do rio.

A média encontrada nas amostras do teor de Matéria Orgânica foi de 5%, sendo a classe entre 0-3% a mais representativa, possuindo 34 amostras do total de 76.

A análise granulométrica nos permite compreender juntamente com outros fatores como se comporta a morfodinâmica do rio, da mesma forma como nos mapas anteriores, de Carbonato e Matéria Orgânica, o mapa granulométrico foi construído com uma escala de 1:20.000 (figura 20) representando as 76 amostras divididas através da classificação de Folk & Ward (1957).

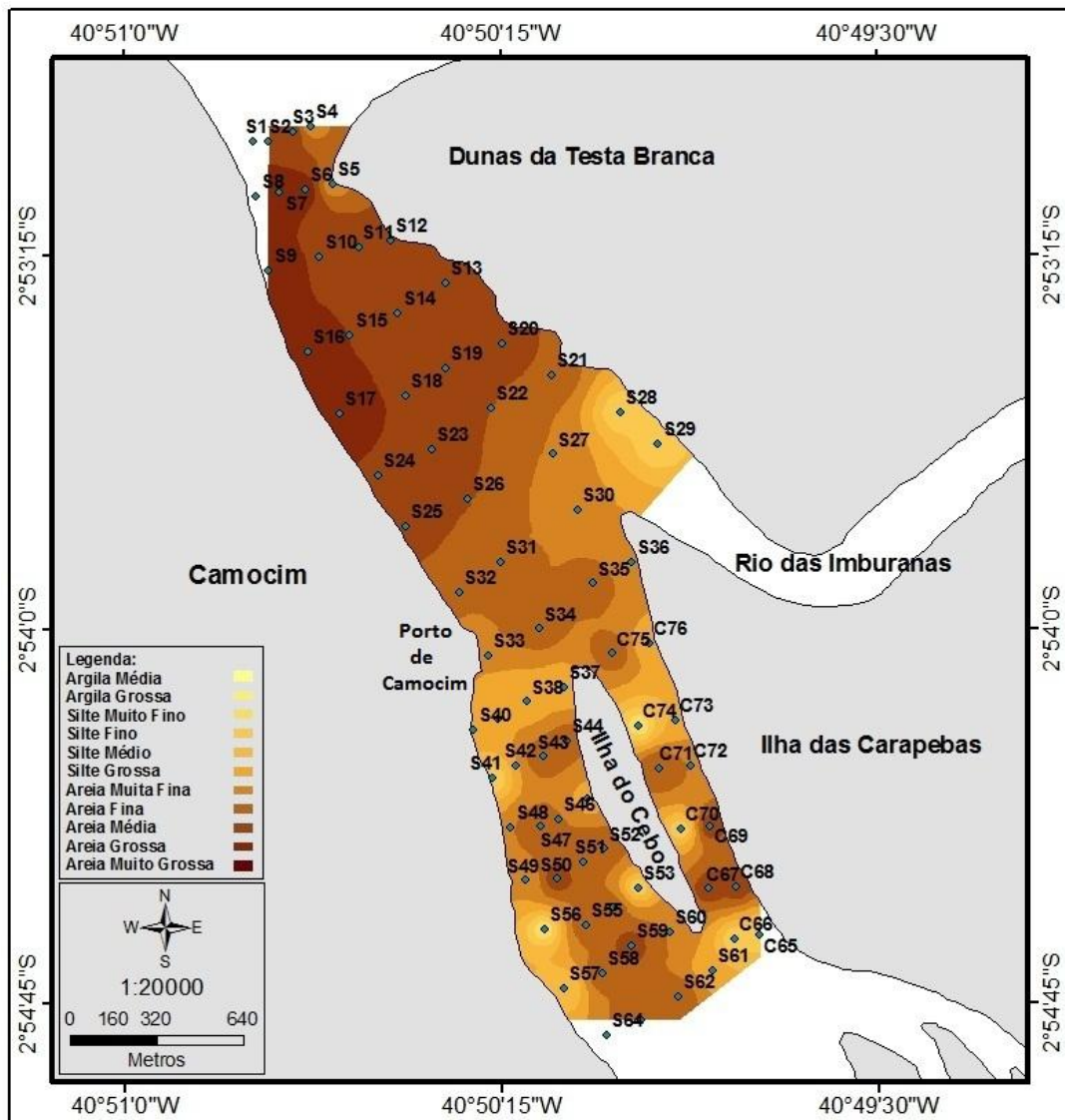


Figura 20. Mapa de Contorno da Granulometria.

Fonte: O autor.

As classes são divididas em 14, indo desde o sedimento mais fino ao mais grosso: argila média, argila grossa, silte muito fino, silte fino, silte médio, silte grosso, areia muito fina, areia fina, areia média, areia grossa, areia muito grossa, grânulo, seixo e calhau.

A classe mais representativa foi a de areia média, possuindo 21 amostras do total de 76, através do mapa é possível inferir que a porção mais próxima a foz do rio na margem esquerda possui a granulometria mais grossa, em contrapartida, a porção que se encontra em ambas as margens da ilha do Cebo, possui uma menor granulometria.

Através do mapa, também, é possível observar que a granulometria do sedimento vai diminuindo à medida que vai se afastando da foz do rio.

### **5.3. Estratigrafia**

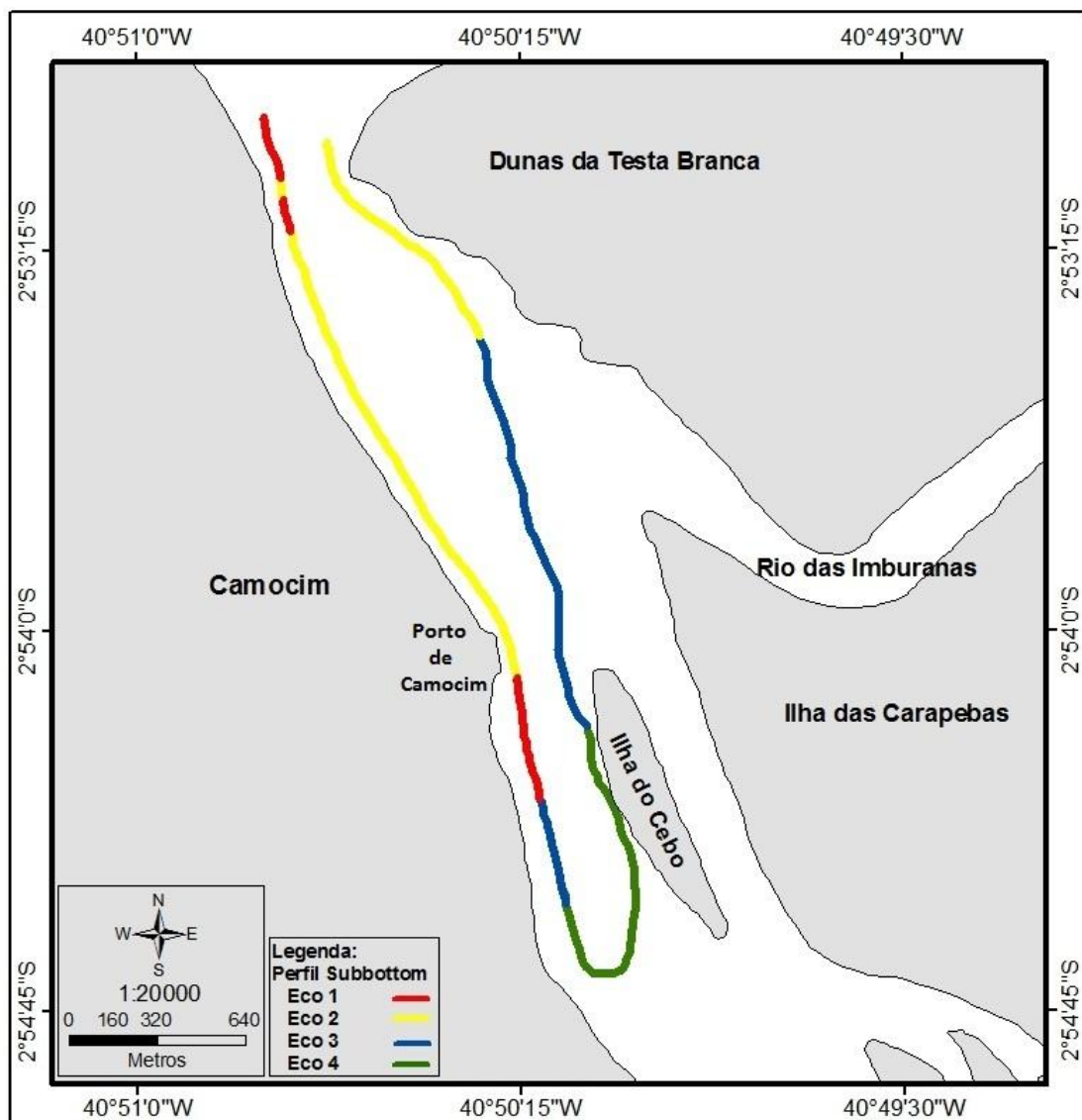
Foram realizados dois perfis longitudinais de sísmica no estuário do rio Coreau totalizando uma distância percorrida de 6.876 m, a frequência utilizada de 7 kHz captava dados a cada 2 metros, foram captados um total de 13.854 pontos.

Foram identificados 4 padrões de ecos diferentes, determinados a partir de suas características intrínsecas, nomeados Eco 1, Eco 2, Eco 3 e Eco 4, sem aplicação de qualquer tipo de filtro.

Os 4 tipos de ecos encontrados foram plotados em um mapa na escala de 1:20.000, demonstrando sua distribuição ao longo da área amostrada (figura 21).

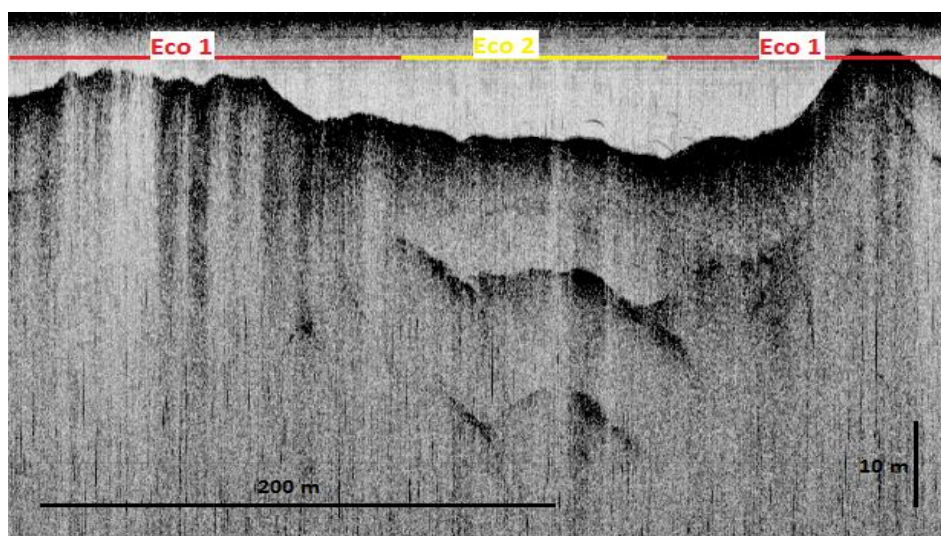
O primeiro padrão encontrado, nomeado de Eco 1 (figura 22), foi caracterizado por uma forte reflectância nos primeiros metros do fundo, dificultando a penetração do sinal acústico associado ao substrato rochoso, através da correlação com a granulometria.

O segundo padrão encontrado, Eco 2 (figura 22), foi caracterizado por um padrão de reflectores múltiplos, com reflectores podendo variar de 2 a 4 dependendo da região encontrada, os reflectores ocorreram com espaçamentos que variaram de poucos metros à dezenas de metros, atingindo camadas de até 50 metros, esse padrão foi associado, através da correlação com a granulometria, ao sedimento mais grosseiro, no caso variando entre areia grossa e areia muito grossa, sendo esse padrão encontrado com maior frequência ao longo dos perfis.



**Figura 21.** Mapa de caracterização dos padrões sísmicos.

Fonte: O autor.

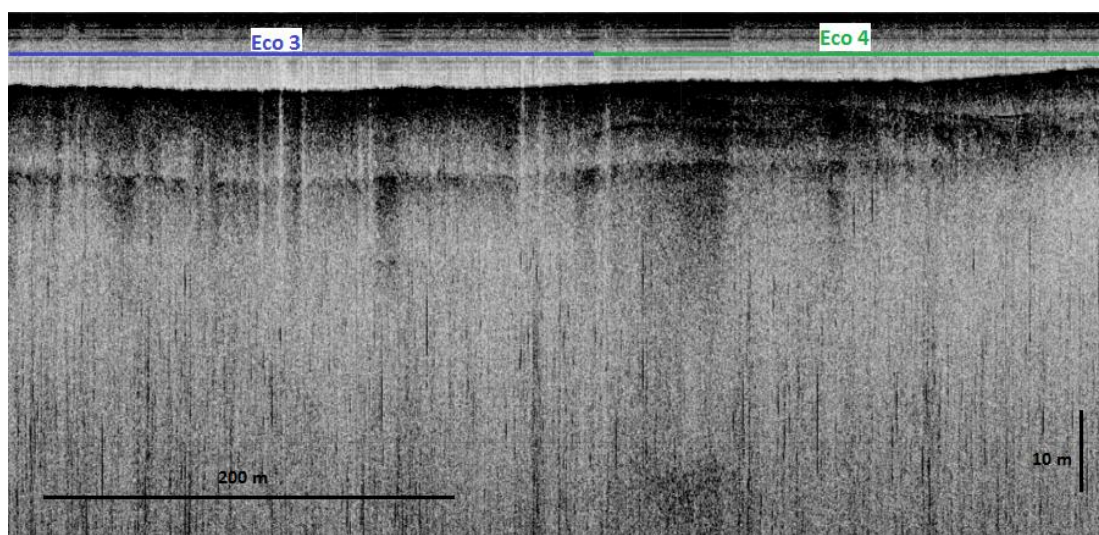


**Figura 22.** Sísmica de Reflexão, caracterização do Eco 1 e Eco 2.

Fonte: O autor.

O terceiro padrão encontrado, Eco 3 (figura 23), foi caracterizado por possuir apenas um reflector, localizado no máximo a 20 metros do início da camada sedimentar, esse padrão foi associado a sedimentos arenosos, porém mais finos, diferentemente do encontrado no padrão anterior, através da granulometria correlacionou-se esse tipo de padrão à areia muito fina, areia fina e areia média.

O quarto e último padrão, Eco 4 (figura 23), foi caracterizado por possibilitar a visualização nítida da camada sedimentar, podendo ser visto o pacote sedimentar bem definido nos primeiro 10 à 20 metros, esse padrão foi correlacionado, através da granulometria, ao sedimento mais fino encontrado em toda área de estudo, variando desde silte muito fino à silte grosso.



**Figura 23.** Sísmica de Reflexão, caracterização do Eco 3 e Eco 4.

**Fonte:** O autor.

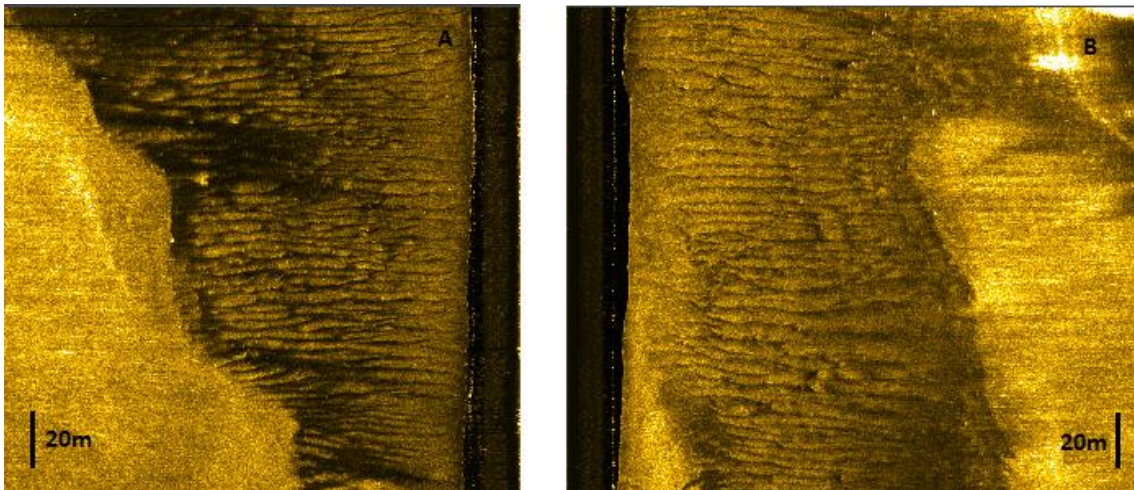
#### **5.4. Feições Submersas**

A sonografia, através do Sonar de Varredura Lateral, possibilitou a coleta de 5.485 pontos, utilizando uma frequência de 100 kHz, com a configuração do feixe acústico de 160 m para cada lado, possibilitando uma varredura de 320 m ao longo do perfil que percorreu uma distância de 3656 m, varrendo uma área total de 1,17 km<sup>2</sup>.

Através da classificação proposta por Ashley (1990), foi possível com base nos descritores morfológicos de primeira, segunda e terceira ordem, identificar distintos padrões de feições de fundo na área de estudo.

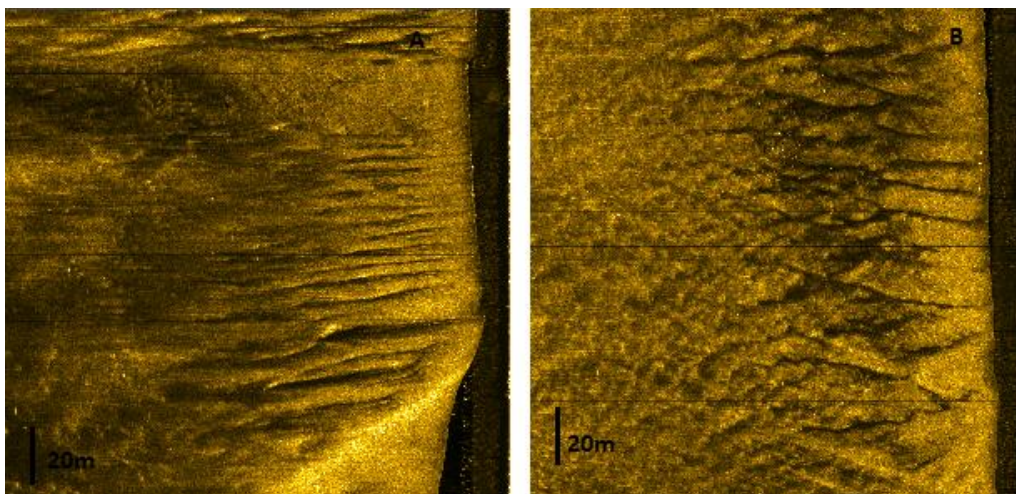
Ao longo do perfil estudado foram identificadas 13 feições distintas (figura 27), que foram classificadas em três grupos quanto ao tamanho e dois subgrupos quanto a simetria do transporte das feições:

- Padrão A - Feições submersas 2D pequenas. Grupo de dunas submersas, com comprimento de onda entre 5-8.5 m e altura entre 0.25-0.4 m (figura 24), sendo encontrada 8 feições com esse padrão.
- Padrão B - Feições submersas 2D médias. Grupo de dunas submersas, com comprimento de onda entre 9-16.5 m e altura entre 0.4-0.65 m (figura 25), sendo encontrada 3 feições com esse padrão.
- Padrão C - Feições submersas 2D grandes. Grupo de dunas submersas, com comprimento de onda acima de 20 m e altura acima de 0.8 m (figura 26), sendo encontrada apenas 2 feições com esse padrão.



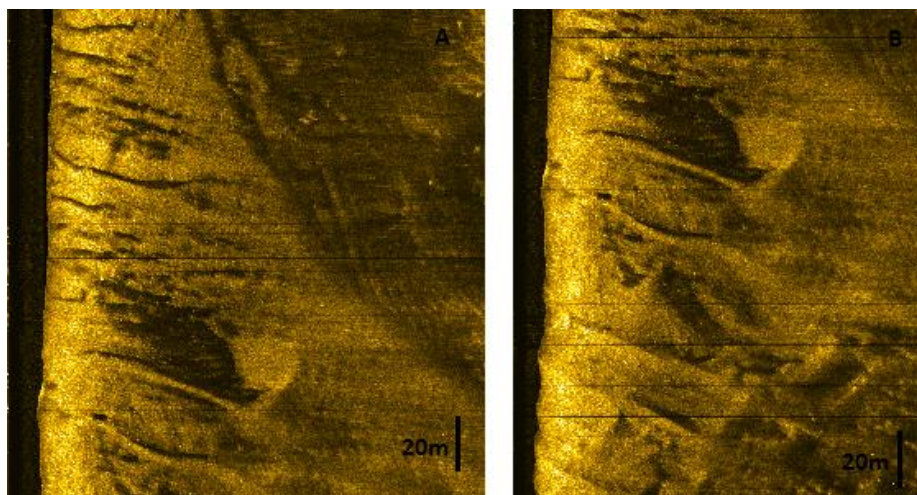
**Figura 24.** Registro sonográfico das feições submersas, padrão A, a. Assimétrica (F4), b. Assimétrica (F3).

**Fonte:** O autor.



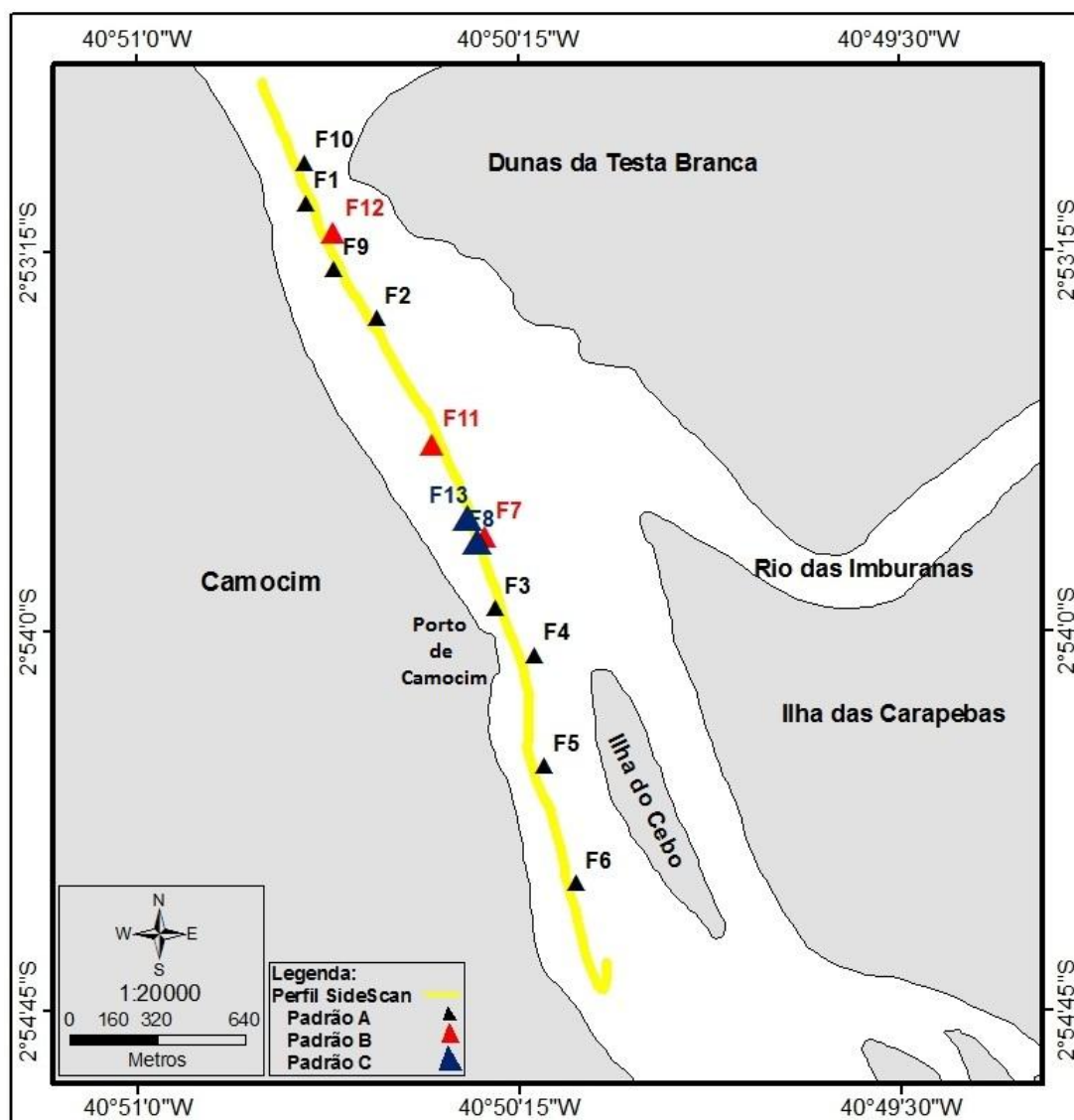
**Figura 25.** Registro sonográfico das feições submersas, padrão B, a. Simétrica (F12), b. Assimétrica (F7).

**Fonte:** O autor.



**Figura 26.** Registro sonográfico das feições submersas, padrão C, a. Assimétrica (F8), b. Assimétrica (F13).

Fonte: O autor.



**Figura 27.** Mapa com a distribuição das feições através dos padrões sonográficos.

Fonte: O autor.

As feições foram caracterizadas quanto ao seu comprimento de onda, altura, padrão, tamanho e simetria, como podem ser observadas na tabela 1.

**Tabela 1.** Tabela representando as feições submersas encontradas ao longo do perfil amostrado, H = Altura de onda, L = Comprimento de onda.

<b>Feição</b>	<b>H</b>	<b>L</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Padrão</b>	<b>Simetria</b>
<b>F1</b>	0.27635	5.68	Pequena	A	Simétrica
<b>F2</b>	0.338616	7.3	Pequena	A	Simétrica
<b>F3</b>	0.380838	8.44	Pequena	A	Assimétrica
<b>F4</b>	0.218503	4.25	Pequena	A	Assimétrica
<b>F5</b>	0.332216	7.13	Pequena	A	Assimétrica
<b>F6</b>	0.332593	7.14	Pequena	A	Assimétrica
<b>F7</b>	0.655401	16.5	Média	B	Assimétrica
<b>F8</b>	0.827337	22	Grande	C	Assimétrica
<b>F9</b>	0.257281	5.2	Pequena	A	Simétrica
<b>F10</b>	0.261281	5.3	Pequena	A	Simétrica
<b>F11</b>	0.42804	9.75	Média	B	Assimétrica
<b>F12</b>	0.506419	12	Média	B	Simétrica
<b>F13</b>	1.063559	30	Grande	C	Assimétrica

**Fonte:** O autor.



## 6. DISCUSSÃO

A morfologia do estuário sofreu poucas alterações quando comparada a outros estuários que são muito dinâmicos, principalmente os que possuem barras arenosas em sua foz. A margem esquerda é completamente artificializada e a porção cuja não é artificializada existe a presença dos arenitos de praia (*beachrocks*), tornando essa margem estável, em contra partida a margem direita onde existem as dunas da Testa Branca, não foi possível através das cartas náuticas afirmar quais tipos de mudanças ocorreram, porém pode se observar que o formato do canal permaneceu o mesmo ao longo dos anos.

No entanto a morfologia de fundo do estuário do rio Coreau vem sofrendo alterações ao longo dos últimos 70 anos, fato esse comprovado pelo canal principal, por onde a navegação no estuário é realizada, que ao longo dos anos vêm sendo assoreada, tornando-se mais raso, fazendo com que a navegação de grandes embarcações, como ocorria no passado deixasse de existir, levando o porto de Camocim a não mais ser uma rota comercial de navegação.

O estudo da morfologia de fundo permite caracterizar o relevo submarino do estuário, a utilização das cartas náuticas históricas e a batimetria realizada em campo possibilita compreender quais mudanças ocorreram no relevo submarino do estuário nessas últimas décadas.

Os dados batimétricos revelam que, de uma maneira geral, o estuário sempre foi um estuário raso possuindo médias que variaram ao longo dos anos, porém sempre próximo aos 4 m de profundidade.

A grande diferença ocorre na porção da margem esquerda do canal indo desde a foz do rio até o porto, as maiores modificações na área estudada se encontram nesta porção do estuário, no ano de 1945, como pode ser observada na figura 6, a foz do rio possuía profundidades que passavam dos 15 m e que entravam ao longo do estuário próximo a margem por mais de 1 km.

Já no ano de 1967, 22 anos depois, a configuração do relevo de fundo, figura 8, demonstra que a foz do rio ainda permanece sendo a porção mais funda, porém o canal tornou-se mais raso, fazendo com que a navegação ficasse cada vez mais difícil.

No ano de 2012, figura 10, como no ano de 1967, 45 anos depois as modificações que alteraram a configuração do rio continuaram a ocorrer, porém o canal

tornou-se ainda mais raso, fazendo com que a navegação que um dia existiu no rio deixasse de existir.

A problemática do assoreamento de estuário e desembocaduras estuarinas, não ocorre apenas em regiões de clima semi-árido onde a intermitência dos rios e a influência das marés é grande.

Miranda & Mendes (2007), estudando a Baía de Guajará em Belém, no estado do Pará, descreveu que a região vêm sofrendo um intenso processo de assoreamento, em alguns setores, evidenciado por um estudo da evolução batimétrica utilizando cartas náuticas dos últimos 40 anos. Mesmo a região sendo caracterizada por uma intensa precipitação ao longo do ano ocorre o processo de assoreamento da baía.

Entretanto, o estudo da morfodinâmica é que nos permite compreender como essas alterações ocorreram no estuário, no caso o porquê delas terem ocorrido. A dinâmica estuarina é responsável por todas as mudanças que ocorrem na região, sejam elas sedimentológica ou morfológica.

O sistema estuarino tem que ser concebido de uma forma integrada, isto é, o processo de sedimentação do estuário é resultante da erosão a montante e o do transporte em suspensão pelo rio. No momento em que se constrói uma barragem, alteram-se diretamente todo o mecanismo de erosão-transporte-sedimentação de qualquer estuário, principalmente os localizados em regiões semiáridas (Paula et. al 2009).

Paula et. al (2009), estudando o estuário do rio Jaguaribe descreveram que a construção da barragem de Itaiçaba alterou a dinâmica sedimentar do rio, principalmente por estar localizado em uma região semiárida, a antropização do Jaguaribe se faz sentir das descargas sólidas e líquidas em direção ao estuário e refletida principalmente na morfodinâmica da foz do rio, pois faz com que esse seja subordinado a ação marinha, evidenciado pela formação de um *spit* na desembocadura, o que evidencia um estuário dominado por ondas.

Isso também ocorre no rio Coreáú, Meireles & Silva (2002), descreveram que a deriva litorânea de sedimentos, devido ao ataque oblíquo das ondas, geradas pelos alísios de leste e nordeste, direciona o sedimento para a desembocadura do canal em parte penetrando no estuário pelos movimentos de refração das ondas no *spit*, formado na margem direita da desembocadura, fazendo com que o estuário seja um importador de sedimentos da zona costeira.

O fato da bacia do rio Coreaú estar inserida na região semiárida faz com que a vazão do rio durante determinados períodos do ano, mais precisamente no segundo semestre do ano, seja menor do que o normal chegando até ser completamente interrompida, principalmente devido a barragem Lima Brandão, construída no município de Granja no século 19, sendo a mais próxima da foz do rio, fazendo com que o rio possua uma característica intermitente.

A consequência dessa intermitência do rio é que o estuário seja dominado pela maré, isso faz com que o transporte sedimentar, proveniente do continente, seja interrompido, tornando o estuário um importador de sedimento, fato esse comprovado através da análise sedimentológica onde é possível entender o papel que o oceano possui na dinâmica da desembocadura estuarina do rio Coreaú.

Os sedimentos de fundo do estuário do rio Coreaú são, predominantemente, arenosos, como pode ser observado na figura 18, principalmente os localizados mais próximos a foz do rio, se dividirmos a área de estudo em duas porções, sendo a primeira indo desde a foz até o porto e a segunda indo desde o porto até depois da ilha do Cebo, pode se notar que a granulometria média da primeira porção é muito mais grossa quando comparada com a segunda que possui sedimentos finos e lamosos.

Outro fator que se faz presente na observação da granulometria da primeira porção é que na margem esquerda do estuário ao longo da cidade de Camocim existe a presença do balaustre, que começou a ser construído na década de 20 e foi sendo reconfigurado ao longo dos anos até chegar à configuração atual.

Meireles & Silva (2002), observaram que os fluxos relacionados com as intervenções antrópicas foram originados pela artificialização da margem esquerda do canal, construção do balaustre, desmatamento da vegetação de mangue e abertura de canais e baldes para a produção de sal e viveiros de camarão. Essas ações modificam a dinâmica relacionada com a troca lateral proporcionada pelas incursões das marés, bem como elevam a velocidade de fluxo, alteram a dinâmica vertical e horizontal do regime das marés e promovem erosão nas partes desprovidas de vegetação, na faixa de praia e nos bancos internos ao canal.

Isso é comprovado pela presença, ao longo da margem esquerda do estuário, do sedimento mais grosso encontrado em toda área de estudo, a presença da areia muito grossa demonstra como o fluxo dessa porção é mais intensa, possuindo uma maior energia capaz de remobilizar o sedimento mais fino, quando comparado ao da margem direita onde não houve intervenções antrópicas, a granulometria varia desde areia muito

fina à areia média, demonstrando que o fluxo não é tão intenso, possuindo uma menor energia favorecendo a deposição de sedimentos mais finos.

Da mesma forma como ocorre no estuário do rio Coreaú, Guedes (2002), estudando o estuário do rio Paraíba do Norte, observou que nos locais de menor energia, há um predomínio de material arenoso de textura fina a muito fina, enquanto que nos locais de maior energia predomina material arenoso de textura grossa, podendo estar misturado a material mais fino.

Em relação aos outros parâmetros analisados, não foi possível inferir correlações consistentes entre os principais parâmetros sedimentológicos avaliados.

Pinheiro (2003), estudando o estuário do rio Piranji, no litoral leste do estado do Ceará, observou que as maiores concentrações de matéria orgânica estão associadas aos locais de ocorrência de lama, enquanto que as maiores concentrações de carbonato de cálcio, parecem ter estreita relação com a presença de cascalho, evidenciando o fato de que o carbono orgânico é proveniente do cascalho biodetrítico (conchas).

Entretanto, a matéria orgânica apresentou uma boa correlação com o sedimento mais fino, apresentando suas maiores concentrações próximo aos sedimentos mais finos, porém houve duas amostras, amostra 13 e 15, das quais uma grande concentração de matéria orgânica foi encontrada em um sedimento mais grosso, estando relacionado, possivelmente, com as intervenções antrópicas no estuário.

Os teores de carbonato de cálcio apresentaram uma excelente correlação com o sedimento mais fino, em contrapartida o sedimento mais grosseiro, com maiores teores de cascalho apresentaram baixas concentrações de carbonato.

A sonografia utilizada em zonas estuarinas nos permite compreender, através das principais feições submersas, um pouco sobre a hidrodinâmica local utilizando um método geofísico de estudo.

Foram definidos três padrões distintos, distribuídos ao longo do estuário, baseado na classificação proposta por Ashley (1990).

Através das diferenças entre esses padrões, observou-se uma variação no tamanho e simetria das feições encontradas, dessa forma, nos padrões do transporte sedimentar de fundo, em um curto espaço amostral.

A simultaneidade de feições de distintos tamanhos sugere a co-existência de fluxos de intensidades distintas, não havendo uma uniformidade no transporte sedimentar ao longo da desembocadura estuarina.

Analisando a posição onde foram encontrados esses padrões, como pode ser observado na figura 25, correlacionando, a posição onde foram encontrados os padrões B e C, com a granulometria da região onde eles ocorreram, pode-se inferir que os padrões com maiores comprimentos de onda ocorreram nas áreas onde existe uma maior energia, justamente onde se encontra o sedimento de textura mais grossa. Esses padrões também podem ser associados com a batimetria, onde é possível observar que eles estão localizados em regiões rasas onde o fluxo é maior, devido a ação das marés.

Em contrapartida o padrão A, descrito como o de menor comprimento de onda foi encontrado em duas regiões bem distintas, metade das feições encontradas, quatro feições, nesse padrão estavam localizadas ao longo da margem esquerda do estuário entre a margem e a ilha do Cebo, passando pelo porto, uma região caracterizada por possuir sedimentos de textura fina, ou seja, uma zona de baixa energia, entretanto a outra metade encontrada estavam localizadas próxima a foz do rio, na porção mais profunda da área estudada, caracterizada por um sedimento de textura mais grossa como o encontrado nos outros padrões, porém a localização dessas feições nessa região mais profunda permite que elas possuam essa configuração, devido a menor influência que as marés, as ondas e as correntes de maré vão possuir sobre a região específica.

Além dos padrões encontrados, foi possível caracterizar as feições quanto sua simetria, o que permite identificar para onde o transporte ocorre quando assimétrico, e em caso de simetria, indica que pode haver um transporte de sedimento nulo sobre a crista das ondas.

Paulo & Mahiques (2008), estudando a desembocadura lagunar da Cananéia em São Paulo, observaram que a existência de um padrão morfológico muito bem definido (ondas assimétricas no sentido da vazante na parte mais interna, passando por ondas simétricas e ocorrendo uma inversão da assimetria na parte mais externa), bem como a pouca variabilidade temporal, seria um indicativo de que os diferentes padrões de fluxos associados a tais feições coexistem. Isto é, fluxos sobre o fundo no sentido da vazante (na parte mais interna) e fluxos no sentido da enchente (na parte mais externa) ocorrem ao mesmo tempo, independente da maré ser enchente ou vazante.

De certa forma a existência desse padrão morfológico bem definido, pode ser observada na desembocadura estuarina do rio Coreaú, dentro do perfil amostrado, dais quais foram observadas 13 feições, existe uma divisão entre elas quanto a simetria, como pode ser observado na tabela 1, além disso, como pode ser observado na figura 25, as feições que foram classificadas como simétricas se encontram agrupadas mais próximas

a foz do rio, em contrapartida as que foram classificadas como assimétricas, se encontram desde um porção intermediária entre a foz e o porto, passando pela ilha do Cebo.

Pode-se inferir que o fluxo do transporte de sedimento, independente da maré, na região onde foram encontradas as feições com padrão simétrico vai ser de certa forma anulada, e na região onde foram encontradas as feições com padrão assimétrico demonstrando que o fluxo do transporte de sedimento, ocorre no sentido sul-norte, ou seja, em direção a foz do rio, porém vale ressaltar que a coleta desses dados, ocorreu no mês de maio, caracterizado por uma elevada precipitação quando comparada com o resto do ano, e como descrito anteriormente a descarga fluvial torna-se maior durante essa época do ano, podendo esses resultados estarem correlacionados com uma maior vazão do rio.

A associação entre dados sedimentológicos e registros sísmicos de alta frequência é uma importante ferramenta para o entendimento das características do fundo e subfundo de ambientes costeiros (Baptista Neto et. al, 2011).

Diferentemente da amostragem de sedimento que é um tipo de investigação direta do solo, a sísmica de reflexão é um tipo de investigação indireta o que possibilita a prospecção dos dados de uma forma contínua, haja vista, que a amostragem apenas ocorre de forma pontual, contudo a correlação entre essas duas técnicas nos permite entender que tipo de sedimento pode ser encontrado em determinada porção do estuário, no caso, como é a estratigrafia do fundo.

A sísmica de reflexão utilizando a frequência de 7 kHz, é considerada de alta frequência, ou seja, possui uma excelente resolução, em contrapartida uma baixa penetração.

Baptista Neto et. al (2011), estudando a Lagoa Rodrigo de Freitas, no Rio de Janeiro, utilizando sísmica de reflexão com frequência de 7 kHz, observou quatro tipos de ecos diferentes, onde ele correlacionou com o tipo de sedimento amostrado, relacionando o primeiro eco de forte reflexão do fundo, sem reflexões de subfundo com o sedimento arenoso, o segundo eco, considerado transparente, possibilitando a visualização de refletores em subsuperfície e o embasamento acústico com o sedimento lamoso, o terceiro eco caracterizado por um forte refletor de subfundo em regiões de intensa turbidez acústica, associando esse tipo de eco a presença de gás, e o quarto eco possuindo um fundo refletivo e irregular, representado por superfícies modificadas pelo homem.

A utilização da sísmica como método de investigação é de fundamental importância para que ocorram obras de engenharia costeira, no caso do estuário do rio Coreáú é possível caracterizar quais áreas são possíveis de serem dragadas e quais não são possíveis, devido a presença do substrato rochoso.

Dessa forma foi possível inferir que através dos tipos de ecos encontrados, dos quais foram correlacionados com o tipo de solo, como pode ser observado na figura 19, que a foz do rio próximo a margem esquerda, como já fora demonstrado através da amostragem de sedimento, possui um substrato rochoso que se estende por mais de 500 m dentro do estuário, representado pelo eco 1, logo após essa faixa onde existe a presença desse substrato rochoso até depois do porto de Camocim, pode se observar a presença do eco 2, caracterizado por um sedimento grosso, estendendo-se por mais de 1.800 m.

Novamente, após essa faixa onde ocorre a presença do eco 2, caracterizado pela presença do sedimento arenoso de textura grosseira, ocorre a presença do eco 1 estendendo-se por, aproximadamente, 500 m, dessa forma caracterizando outra porção do estuário com presença de substrato rochoso.

O eco 4, pode ser considerado como o tipo onde ocorreu a maior penetração do sinal acústico dentro do sedimento, possibilitando a diferenciação das camadas sedimentares, que estende-se por uma distância de, aproximadamente, 1.200 m, sendo correlacionado com o sedimento mais fino encontrado em toda amostragem, localizado na região mais adentro do estuário de toda área de estudo, demonstrado que a capacidade de penetração do solo do sinal sísmico está relacionada com o tipo de sedimento encontrado, como não houve nenhuma amostragem de testemunho neste presente trabalho, não foi possível fazer a datação dessa camada sedimentar, impossibilitando conhecer a taxa de sedimentação.

O eco 3, foi encontrado na porção mais próxima ao centro do rio, em direção a margem direita, sendo caracterizada por um sedimento arenoso de textura fina à média, estendendo-se por 1.500 metros em direção a foz do rio, seguida do eco 2, que ocorre novamente em direção a foz do rio estendo-se por, aproximadamente, 1.000 m.

## 7. CONCLUSÃO

Através do estudo da evolução batimétrica do estuário, foi possível, ao longo da escala temporal de 67 anos analisada, entre o período de 1945 e 2012, observar que o estuário está sofrendo um processo de assoreamento, principalmente em sua desembocadura entre a foz do rio e o porto de camocim, porém ainda com essa evidência a profundidade média do estuário permaneceu próxima aos 4 m, demonstrando que ainda que com o assoreamento observado, a dinâmica estuarina possibilita a remobilização do sedimento.

Por se tratar de uma zona estuarina, a influência das marés se faz muito presente em toda a área estudada, o estudo sonográfico, juntamente com a sísmica possibilitou entender que ainda que as marés possuam uma grande influência sobre a hidrodinâmica local, a vazão fluvial ainda se faz presente no transporte sedimentar, principalmente durante a quadra chuvosa, como foi, também observado no estudo sedimentológico demonstrando uma grande presença de sedimentos finos e lamosos, provenientes do continente, através da fluxo fluvial.

É possível também inferir que o transporte de sedimento de fundo, possui uma grande influência na morfologia de fundo do estuário, como observado no estudo sonográfico, principalmente ao longo da margem esquerda do estuário onde existem os fluxos mais intensos demonstrado, também, através da granulometria.

Dessa forma é possível caracterizar a desembocadura do estuário do rio Coreauí, através desse estudo, como um ambiente altamente dinâmico, através das suas propriedades hidrodinâmicas, morfológicas e sedimentológicas.

Porém, seriam necessários novos estudos na área para que houvesse uma melhor compreensão da morfologia de fundo, da estratigrafia do estuário e da hidrodinâmica, caso houvesse um interesse na realização da dragagem do estuário, para que a navegação que um dia ocorreu pudesse regressar a sua antiga forma.



## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Ashley, G.M. 1990.** *Classification of large-scale subaqueous bedforms: A new look at an old problem. SEPM Bedforms and Bedding Structures. Journal of Sedimentary Petrology*, v. 60, p. 160-172.

**Baptista Neto, J.A., Silva, C.G., Dias, G.T.M, Fonseca, E.M. 2011.** Distribuição Sedimentar da Lagoa Rodrigo de Freitas através de Sísmica de Alta Resolução. *Revista Brasileira de Geofísica*. n. 29, p. 187-195.

**COGERH. 2009.** Caderno Regional da Bacia do Coreaú. v. 3. 120 p.

**Davies, J.H. 1964.** *A Morphogenic Approach of World Shorelines. Z. Geomorphology*, vol. 8, p. 127-142.

**Davis, B.E. 1974.** *Loss-on-Ignition as an Estimate of Soil Organic Matter. Soil Science Society of America Journal*. v. 38, n.1, p.150-151.

**Dyer, K.R. 1997.** *Estuaries: a physical introduction. 2.nd. Chichester:Wiley*. 195 p.

**Flemming, B.W. 1988.** *Zur klassifikation subaquatischer, stromungsstrans versaler Transportkorper: Boch. geol. u. geotechn. Arb.* v.29, p 44-47.

**Folk, R.L. e Ward, W.C. 1957.** *Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. Journal of Sed. Petrol.*, n. 27, p. 3-27.

**Freitas, P.P. 2013.** Aspectos Hidrodinâmicos do Estuário do rio Cocó, Fortaleza, Ceará, Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Ceará. 51 p.

**Guedes, L.S. 2002.** Monitoramento Geoambiental do Estuário do rio Paraíba do Norte - PB por meio da cartografia temática digital e de produtos de Sensoriamento Remoto. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 90 p.

**Jakob, A.A.E. 2002.** A Krigagem como Método de Análise de Dados Demográficos. Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 13., Ouro Preto.

**Júnior, P.V., Bastos, A.C., Quaresma, V.S. 2009.** Morfologia e distribuição sedimentar em um sistema estuarino tropical: Baía de Vitória, ES. *Revista Brasileira de Geofísica*. v. 27. p. 609-624.

**Kampel, M., Amaral, S., Soares, M.L.G. 2005.** Imagens CCD/CBERS e TM/Landsat para análise multi-temporal de manguezais no Nordeste brasileiro. Um estudo no litoral do Estado do Ceará. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 979-986.

**Köppen, W. 1900.** *Versucheiner Klassifikation der klimatic vorzugsweise nachihren Beziehung zur pflauzen weld. Geographifchi Zeitschrift*. v.6, p. 593-611.

**Meireles, A.J.A., Silva, E.V. 2002.** Abordagem Geomorfológica para a realização de estudos integrados para o planejamento e gestão em ambientes flúvio-marinhos. *Scripta*

Nova. *Revista electrónica de geografía y ciencias sociales, Universidad de Barcelona*, v. 6, n. 118.

**Miranda, A.G.O., Mendes, A.C. 2007.** Evolução Batimétrica da Baía de Guajará, Belém/Pa. XI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário.

**Miranda, L.B., Castro, B.M., Kjerfve, B. 2002.** Princípios de Oceanografia Física de Estuários. EDUSP, São Paulo. 417 p.

**Paolo, F.S., Mahiques, M.M. 2008.** Utilização de métodos acústicos em estudos de dinâmica costeira: exemplo na desembocadura lagunar de Cananéia. *Revista Brasileira de Geofísica*. v. 26. p. 211-225.

**Paula, D.P., Morais, J.O., Pinheiro, L.S. 2009.** Impactos de eventos naturais e antrópicos em estuário tropicais: o estudo de caso do estuário do rio Jaguaribe, Fortim - Ce, Brasil. *IV Congresso Argentino do Cuaternário y Geomorfologia. XII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. II Reunión sobre el Cuaternário de América del Sur.*

**Perillo, G.M.E. 1996.** *Geomorphology and sedimentology of estuaries*. Elsevier, Amsterdam. 471 p.

**Pinheiro, R.D. 2003.** Análise do Comportamento Hidrodinâmico e Sedimentológico do Estuário do Rio Piranji - CE (NE/Brasil). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 176 p.

**Pinheiro, L.S.; Medeiros, C.; Morais, J.O. 2006.** Erosive process monitoring linked to the estuarine evolution systems nearby Aguas Belas, Cascavel, Ceara, Brazil. *Journal of Coastal Research*, n.1, p. 1403-1406.

**Pitombeira, E.S. 1976.** Comportamento Migratório da Embocadura e Estuário do Rio Coreaú (Ceará - Brasil). *Arquivo de Ciências do Mar*, v. 16, p. 111-115.

**Pritchard, D.W. 1952.** *Estuarine Hydrography. Advances in Geophysics. New York, Academic Press*. v.1, p. 243-280.

**SEMACE. 2004.** Áreas de Mangue Crescem 32% no Estado. *Jornal da Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Estado do Ceará*, Ano I (3), p. 4-5.

**Souza, L.A.P. 2006.** Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. Tese de Doutorado, Instituto Oceanográfico da USP, São Paulo. 311 p.

**Valle-Levinson, A. 2010.** *Definition and classification of estuaries. Contemporary Issues in Estuarine Physics. New York : Cambridge University Press*. 1.ed. 415 p.