

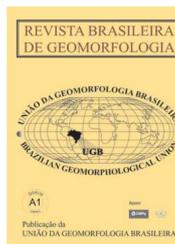


www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 19, nº 2 (2018)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i2.1278>



### DISTRIBUIÇÃO DAS FORMAS DE FUNDO E PADRÕES SEDIMENTARES NO PORTO DO MUCURIBE, FORTALEZA-CEARÁ

### BEDFORM DISTRIBUTION AND SEDIMENTARY PATTERNS AT THE HARBOUR MUCURIBE, FORTALEZA-CEARÁ

**Antonio Rodrigues Ximenes Neto**

Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Ceará  
Rua Silas Munguba 1700, Fortaleza, Ceará. CEP: 60740-000. Brasil  
Email: antonio.lgco@gmail.com

**Jáder Onofre De Moraes**

Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Ceará  
Rua Silas Munguba 1700, Fortaleza, Ceará. CEP: 60740-000. Brasil  
Email: jaderonofre@gmail.com

**Lidriana De Souza Pinheiro**

Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará  
Avenida da Abolição 3207, Fortaleza, Ceará. CEP: 60165-081. Brasil  
Email: lidriana.lgco@gmail.com

#### Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):  
13/10/2017  
Aceito (Accepted):  
29/01/2018

#### Palavras-chave:

Porto do Mucuripe; Canal de Acesso; Ecofácies.

#### Keywords:

Harbour of Fortaleza; Access Channel; Echofacies.

#### Resumo:

A ponta do Mucuripe apresenta desde a década de 1930 constantes alterações morfológicas nos setores emersos e submersos. A área de estudo é o setor submarino adjacente ao porto do Mucuripe em Fortaleza-CE, no qual foi realizada uma análise das repostas acústicas do substrato associado a constantes intervenções para o gerenciamento portuário. Classificou-se a morfologia submersa do porto do Mucuripe levando em consideração a visão integrada das condicionantes ambientais (processos, formas e intervenção antrópica) na construção da paisagem submarina. Foi utilizada sísmica de alta resolução, sonografia, e compilação de dados sedimentológicos. As repostas acústicas produto dos padrões de sedimentação e das formas submersas constituíram as ecofácies. A ecofácies I está associada a substratos lamosos (principalmente lama fluida) com refletores em subsuperfície, relacionado principalmente à bacia de evolução e canal de acesso portuário (áreas abrigadas pelo molhe do Titã). A ecofácies II possui camadas em subfundo bem compactas, onde não se observa nitidamente os refletores, está associada à evolução da ecofácies I e conseqüente compactação, também localizada em setores abrigados. Estas duas ecofácies apresentam o padrão morfológico de fundo plano como dominante, sendo interrompido apenas nos setores com marcas de dragagens – os canalículos. A ecofácies III apresenta alto coeficiente de reflexão, substrato relacionado à *sand ripples* e dunas subaquosas, associado predominantemente aos setores desabrigados do molhe. A ecofácies IV está

associada a substratos rochosos e possui elevado *backscattering*, localiza-se no setor sul adjacente ao Píer. Como padrões morfológicos destacam-se as feições produto das dragagens no canal de acesso portuário e bacia de evolução – taludes, canalículos e montículos. Evidenciou-se o contraste granulométrico entre o canal e as adjacências, sendo que no setor desabrigado é observada a predominância de fundo arenoso com consequente presença de micro-feições – *sand ripples* e macro-feições – banco/dunas e na área abrigada o predomínio de sedimentos finos. Foi observado um objeto à semelhança de uma embarcação de pequeno porte naufragada nas proximidades do Píer. A presença de lama fluida, principalmente, dentro do canal no setor da bacia de evolução se deve ao aporte de sedimentos finos (<0,062mm) que se deposita devido à baixa hidrodinâmica (efeito “sombra” do molhe do Titã). O assoreamento constante no setor abrigado impõe o mapeamento dos setores de lama fluida. Este fato se torna de fundamental importância para gerenciar os locais em que necessitam de dragagens de manutenção, para garantir profundidades seguras para a mobilidade naval.

### Abstract:

Mucuripe headland presents constant morphological changes in the subaerial and subaqueous areas since the 1930s. This study focuses on the adjacent submarine area of the Mucuripe Harbour in Fortaleza. It was performed an analysis of the substrate acoustic responses associated to constant interventions for port management. The submerse morphology of the Mucuripe Harbour was classified taking into account the integrated view of environmental conditions (processes, forms, and human intervention) in the construction of the underwater landscape. It has been used high resolution seismic and sonography, and compilation of sedimentological data. The acoustic responses resulting from sedimentation patterns and submerged forms constituted the echofacies. The echofacies I is associated to muddy substrates (mainly fluid mud) and subsurface reflectors, mainly related to the evolution basin, and to port access canal (areas sheltered by the Titã jetty). The echofacies II has subsurface layers and compact compartment, where the reflectors are not clearly observed, it is associated to the evolution of the echofacies I and consequent compaction, also located in sheltered sectors. These two echofacies show the flat bottom morphological pattern as dominant, being interrupted only in sectors with dredging marks – micro-canals. The echofacies III shows high reflection coefficient, substrate related to sand ripples and subaqueous dunes, associated predominantly to the jetty out of the sheltered sectors. The echofacies IV is associated to rocky substrates and it has a high *backscattering*, located near the Pier. As morphological patterns, it was verified features products of the dredges in the port access canal and basin of evolution – slopes, micro-canals, and mounds. The grain size contrast between the canal and its surroundings was evidenced, in the area out of the sheltered sector the predominance of sandy bottoms was observed, with micro-features – sand ripples and macro-features – bank/dunes and in the sheltered area the predominance of fine sediments occurred. There is an outstanding feature possibly associated to a small boat sunk near the pier. The presence of fluid mud, mainly within the canal (evolution basin) is due to the deposition of fine sediments (<0.062 mm) and to low hydrodynamic (“shadow” effect of the Titan). The constant silting in the sheltered sector imposes the mapping of sectors with fluid mud. This fact is of crucial importance to the management of the places where the dredging is necessary to ensure safe depths for navigation.

### 1. Introdução

As áreas portuárias são os setores costeiros nos quais o substrato submerso é mais alterado pelas obras de proteção e manutenção (VERONEZ JÚNIOR *et al.*, 2009a; QUARESMA *et al.*, 2011; MARMIN *et al.*, 2014). Desta forma, é de fundamental importância o mapeamento das formas de fundo em substratos inconsolidados, que apresentam grande mobilidade espaço-temporal. Goff *et al.*, (1998) destaca para o porto de Wellington (Nova Zelândia), que a mensuração da

taxa de sedimentação é importante para o gerenciamento portuário. A principal consequência morfosedimentar em setores portuários submersos é o assoreamento. Carvalho (2016) identificou que a maior taxa de assoreamento do canal de navegação do Porto de Santos ocorre em um setor no qual as forçantes de maré, onda e correntes transportam sedimentos de bancos arenosos adjacentes e da Baía de Santos para o canal. Morais (1972) aponta que o assoreamento que formou a bacia de evolução do Porto do Mucuripe e a Praia Mansa se deve ao molhe de proteção que provocou a difração

de ondas e redirecionou o movimento ondulatório gerando uma área de calmaria à sotamar, favorecendo a deposição sedimentar.

As formas de fundo inconsolidadas (*bedforms*) são feições subaquosas comuns no ambiente marinho raso, resultante da interação do fluxo hidráulico com o substrato inconsolidado. A sua morfologia e tamanho dependerão da velocidade, direção do fluxo, cisalhamento, resistência ao fluxo e da batimetria local, além da presença de obstáculos (ASHLEY, 1990; KLEINHANS, 2002). Os principais agentes hidrodinâmicos responsáveis pela mobilidade das formas de fundo em plataforma continental rasa são: correntes de maré, correntes de retorno, correntes longitudinais, ação das ondas, atuação combinada de ondas e correntes e os eventos de alta energia (TREMBANIS & HUME, 2011). Estas feições podem indicar além da hidrodinâmica costeira (transporte e sedimentação) a influência de ações antropogênicas em ambientes costeiros (XIMENES NETO, 2015).

De acordo com Morais (1972; 1981) obras portuárias, a exemplo de molhes e espigões, modificam a atuação dos processos costeiros nos setores submersos. Assinala ainda que a construção destas obras no Porto do Mucuripe resultou na elevada taxa de sedimentação em setores abrigados e formação de feições subaquosas (bancos, ondas de areia). Ximenes Neto (2015) ressalta que o substrato de áreas portuárias dragadas apresenta as principais modificações associadas aos padrões morfológicos e sedimentológicos.

McKenna (2013) identificou para o canal de navegação do porto de Hampton (EUA) que as dunas submersas e *megaripples* (mega ondulações) apresentam elevada mobilidade espaço-temporal, sendo as correntes de maré o principal agente responsável pela migração dessas formas (amplitude de maré entre 2m a 4m). Morais (1977) verificou processo semelhante associado à migração de *sandwaves* (ondas de areia) no terminal portuário de Itaqui – Maranhão, subordinado ao regime de macromaré, com amplitudes maiores do que 4m e correntes de maré com velocidades de 2,5 m/s. Amaral e Alfredini (2010) identificaram a mobilização de ondas de areia no canal de acesso do Porto de Itaqui, principalmente na entrada da Baía de São Marcos. No porto de Natal no Estado do Rio Grande do Norte, Frazão (2003) identificou macro-feições, tais como bancos arenosos, dunas, planícies lamosas e áreas de detritos assoreando o canal de navegação sob influência

do regime de mesomaré, com amplitudes variando de 2m a 4m. Veronez Júnior *et al.*, (2009b) identificaram grandes alterações morfosedimentares no canal do porto de Vitória ocasionadas por obras de manutenção, como a criação de marcas de dragagens e elevada deposição de sedimentos lamosos devido a baixa hidrodinâmica (regime de micromaré <2m).

A investigação de ambientes submersos por meio da sísmica é fundamental para a análise morfosedimentar de áreas portuárias, pois possibilita identificação de ecofácies - tipo de resposta acústica de acordo com o tipo de substrato e associação com as feições subaquosas (AYRES NETO *et al.*, 2009; QUARESMA *et al.*, 2011). A compreensão da dinâmica da paisagem submarina é útil para o monitoramento e manejo de áreas portuárias em centros urbanos e em outros ecossistemas costeiros de relevância ambiental, como praias, estuários e recifes (SILVA *et al.*, 2009; MAGINI *et al.*, 2011).

O porto do Mucuripe requer dragagens de manutenção constantes, onde desde meados do século XX existem registros deste tipo de atividade (XIMENES NETO, 2015). As dragagens refletem diretamente na sedimentação e alterações nos padrões de circulação na área de influência direta e indireta da obra (PAULA, 2012; MARMIN *et al.*, 2014). O objetivo desta pesquisa foi compreender as respostas das ações antropogênicas (dragagens e criação de áreas de assoreamento) nas formas de fundo e padrões sedimentares associado ao Porto do Mucuripe. Desta forma, este estudo contribui para o entendimento dos padrões morfosedimentares do setor submerso do Mucuripe e auxilia no gerenciamento portuário no que se refere à identificação de áreas que apresentam maior sedimentação/assoreamento.

## **2. Área De Estudo**

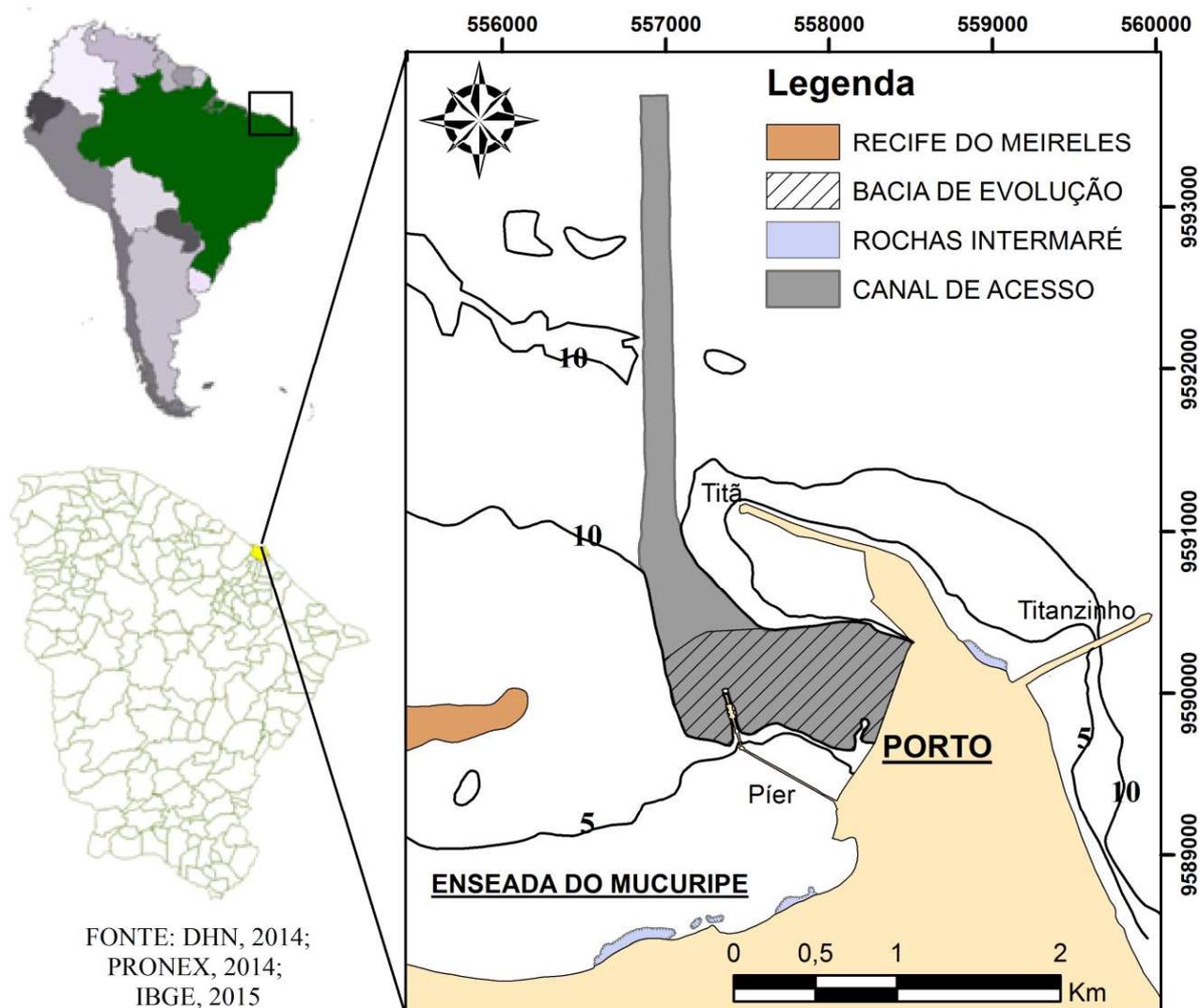
A área de estudo está localizada na cidade de Fortaleza, CE (NE-Brasil), sendo delimitada pelo Molhe do Titã e o Píer (Figura 1). O porto do Mucuripe escoar graneis sólidos, líquidos, cargas containerizada e cargas geral soltas, além de possuir um terminal de passageiros (CDC, 2015).

O porto do Mucuripe foi construído na primeira parte do século XX no pontal rochoso de toponímia homônima. Segundo Morais (1972; 1981); Pitombeira (1976); Maia (1998) o molhe do porto provocou um efeito turbilhonar causando um movimento de difração de ondas, que resultou no assoreamento portuário e

erosão das praias adjacentes. Como consequência deste processo, o Molhe do Titã foi prolongado, houve a construção do espigão do Titanzinho (a barlar do titã) e de dezesseis espigões a sotamar do Titã, no intuito de

atenuar os efeitos erosivos na orla da capital cearense (MORAIS, 1972; PAULA, 2012). A principal estrutura de proteção do porto do Mucuripe é o molhe do Titã, que possui 1,9 km (CDC, 2010).

## MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



FONTE: DHN, 2014;  
PRONEX, 2014;  
IBGE, 2015

Figura 1 - Área de estudo no porto de Fortaleza-CE. Fonte: Elaborado pelos autores.

Desde a década de 1950 há registros de obras de dragagens no Porto (XIMENES NETO 2015). Segundo a Portobrás (1979 *apud* VALENTINI, 1994) entre o início das décadas de 1960 e 1970, 4,7 milhões de m<sup>3</sup> de sedimentos foram dragados. Na década de 1980, 2,5 milhões de m<sup>3</sup> foram dragados. Na década de 1990 foram dragados ~4 milhões de m<sup>3</sup> e no período de 2004-2005 mais de 3 milhões de m<sup>3</sup> foram dragados (CDC, 2010). No fim de 2009 foi iniciada uma dragagem em

uma área aproximada de 1 km<sup>2</sup>, com retirada de um volume estimado de 7.742.000 m<sup>3</sup> de sedimentos, e derrocagem de 34.000 m<sup>3</sup> (INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR, 2011).

Geologicamente a Ponta do Mucuripe apresenta afloramentos quartzíticos, arenitos com níveis conglomeráticos associados ao Grupo Barreiras que afloram na enseada, além de rochas de praia e sedimentos arenosos relacionados a ambientes

deposicionais eólicos e praias (MORAIS, 1981). Já no setor submerso adjacente ao porto verifica-se o predomínio de sedimentos inconsolidados variando de lama (proximidades da bacia portuária e na retaguarda de rochas) a sedimentos arenosos (predominando próximo à ponta do molhe, da praia Mansa, praia do Iate e nas demais áreas sob influência hidrodinâmica direta) (MORAIS, 1972). Soares (2012) destaca a presença de um banco arenoso submerso a noroeste do molhe do Titã.

O clima da região é Tropical Quente Sub-Úmido, com precipitação média de 1338 mm por ano e temperatura média de 26° a 28° (IPECE, 2014). De acordo com Maia (1998) a velocidade média do vento varia de 4,6 a 8,1 m/s e as direções predominantes são ESE, aparecendo secundariamente as direções SSE, E e ENE.

Morais (1981) em um estudo na enseada do Mucuripe identificou o predomínio de ondas do quadrante ESE e a ocorrência secundária de ondas de NE. De acordo com Guerra (2014) a altura significativa de onda ( $H_s$ ), apresenta-se com maior frequência (quadrante E-SE) variando de 0,93m a 1,57m, logo acompanhada da classe (quadrante NE) variando de 1,36m a 3,2m. De acordo com Maia (1998) e Paula (2012) a capital cearense apresenta um regime de maré com periodicidade semidiurna e amplitude de mesomarés. Segundo o INPH (1996), o nível mais elevado já verificado nos registros maregráficos foi 3,67 m, enquanto que o mais baixo foi de 0,2 m. O valor da preamar média de sizígia é de 2,82 m, enquanto que na quadratura é de 2,20 m.

Maia (1998) observou que o litoral central de Fortaleza apresenta uma velocidade das correntes variando de 8 cm/s a 68 cm/s na superfície e 7 cm/s a 12cm/s no fundo. A direção predominante varia entre WSW e NNW. De acordo com PETCOM (2000) a velocidade superficial de correntes no interior da bacia de evolução do porto varia de 5 cm/s a 10 cm/s e a direção no eixo NE-SW.

### 3. Materiais e Métodos

Foi realizado o levantamento bibliográfico de trabalhos publicados, perfilagem sísmica de subsuperfície, imageamento de superfície a partir do sonar de varredura lateral e análise dos sedimentos para

a identificação e classificação dos padrões de Ecofácies. Digitalizou-se a carta náutica 701 de 2014 da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) para a análise de isóbatas.

Os dados de perfilagem sísmica e sonografia foram obtidos a partir de um levantamento de campo em 2014 na bacia de evolução, canal de acesso e entorno portuário, utilizando-se do 512C da *Edgetech* que possui dupla função, atua tanto como *sub-bottom profiler* (perfilador de sub-fundo) como *side-scan sonar* (sonar de varredura lateral) (Figura 2). Na aquisição foi utilizado da ampla largura da banda de pulsos do 512C - 0,5-8 kHz para a perfilagem de subsuperfície; 125 e 410 kHz de frequência para o sonar de varredura lateral. Além da compilação de dados preexistentes do projeto PRONEX (Potencialidades e Manejo para a Exploração de Granulados na Plataforma Continental do Estado do Ceará) de perfilagem sísmica de 2011 (adquirido com o SB 216 nos espectros entre 2-12 kHz) e 2012 (adquirido com o 512C - perfilagem e sonografia, as frequências de operações foram às mesmas do levantamento de 2014). A perfilagem sísmica tem por finalidade a análise das camadas sedimentares em subsuperfície, identificação e delimitação da profundidade do embasamento rochoso (SOUZA, 2006). Já o sonar de varredura lateral é importante para a análise de padrões morfológicos e sedimentares da superfície do piso marinho. Desta maneira, uma técnica favorece o estudo em subsuperfície devido à menor frequência (<20 kHz) e consequente penetração do sinal acústico e a outra técnica favorece a resolução e consequente identificação de feições submersas devido às maiores frequências sísmicas (>100 kHz).

Para a visualização e interpretação do dado sísmico foi utilizado o *software Discover*, onde foi aplicado o TVG (*Time Varying Gain*), brilho, escalas verticais e horizontais e paleta de cores. Para o geoprocessamento foi utilizado o *software Qgis 2.0* para a construção de mapas de localização e temático. Foi adotado o sistema de projeção UTM e datum WGS 1984 zona 24 S.

Para a interpretação da geomorfologia submarina, tendo como objetivo a identificação e classificação das feições subaquosas separou-as por: **Tamanho** (baseado na utilização de técnicas - as feições de Macro-Escala foram obtidas a partir da batimetria/carta náutica 701 da DHN (escala da 1:13.000) e as feições de Micro-Escala por meio da sísmica de alta resolução e sonografia),

**Forma** (plana, rugosa, canal, talude, banco, leque e naufrágio), **Morfodinâmica** (deposicional, erosiva, ativa e inativa) e **Gênese** (antrópica e natural). É importante destacar que na sísmica de alta resolução e na sonografia identificou partes das macro-feições.

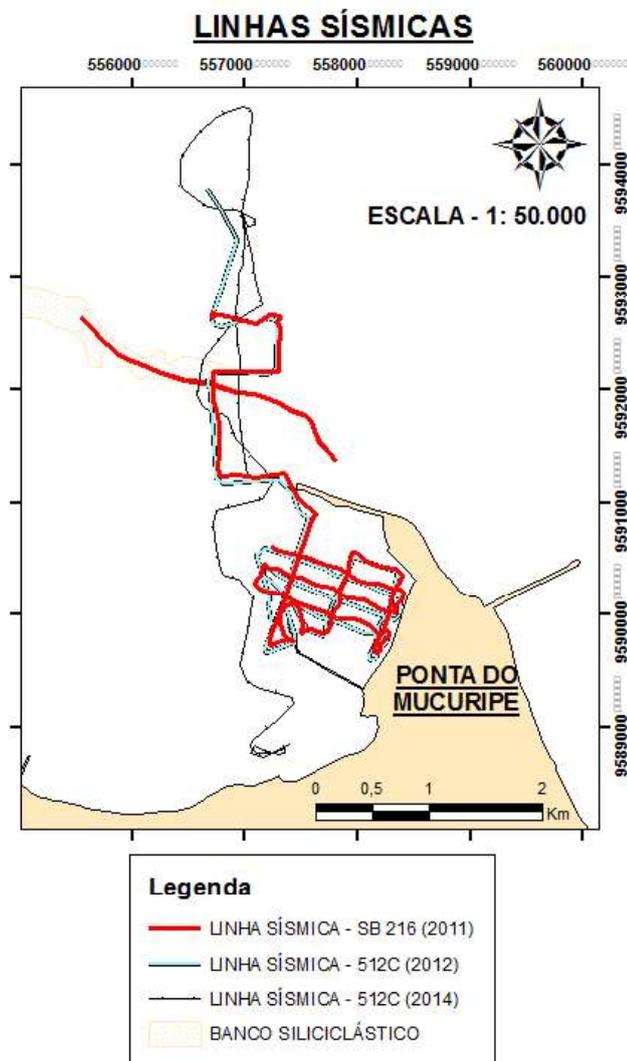


Figura 2 - Aquisição sísmica entre 2011 e 2014 pelo projeto PRONEX.  
Fonte: Elaborado pelos autores a partir do projeto PRONEX.

Para a classificação das feições de fundo inconsolidado foi aplicado à proposta metodológica de Ashley (1990) para as macro-feições (comprimento de onda superior a 60 cm), este autor adotou o termo duna subaquosa. As micro-feições (comprimento de onda <60 cm - *wave/current ripples* e com 0,6-1 metro de comprimento - *large ripples*) foram definidas como *sand ripples* (ondulações arenosas).

Para a interpretação das feições submersas (micro-escala) de maneira detalhada utilizou o método sísmico. Adotou-se interpretar as seções de acordo com o tipo de resposta do sinal acústico com o substrato marinho e/ou refletores subsuperficiais rasos. Com isto foi utilizado o termo ecofácies. Identificaram-se quatro tipos de respostas acústicas em interação com o substrato (consolidado ou inconsolidado), com ou sem refletores subsuperficiais.

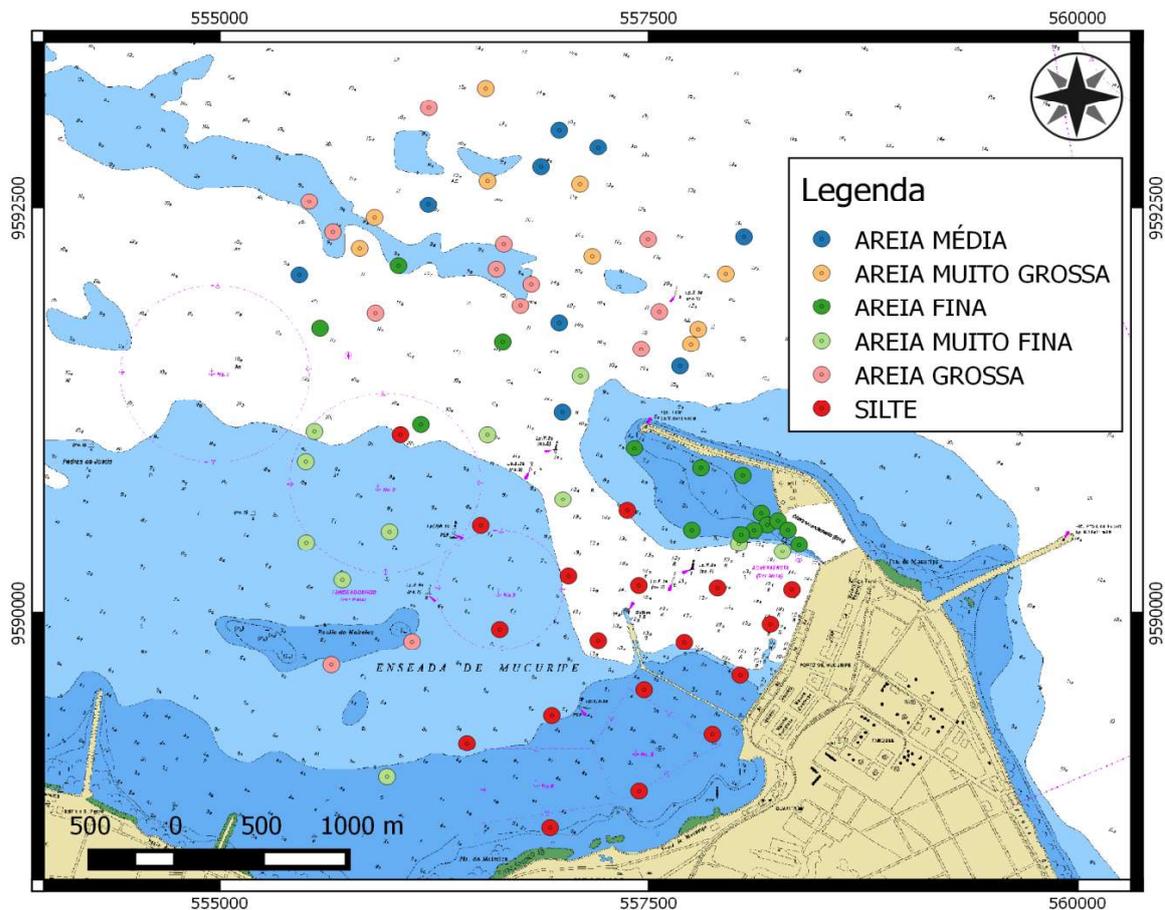
Já para a diferenciação entre feições originadas por processos naturais e com a influência direta de atividades antrópicas foi utilizado do conhecimento sobre os processos hidrodinâmicos e morfodinâmicos operantes na área e análise de cartas náuticas históricas (1945-2014) a partir de Ximenes Neto (2015).

Para a validação dos padrões acústicos foram compilados dados sedimentológicos pré-existentes publicados por Moraes (1972), INPH (1999), SEMACE (2011), Soares (2012) e PRONEX (2014). Em Maio de 2014 foram coletadas 10 amostras sedimentares no entorno portuário e processou-as em laboratório a partir da metodologia de Suguio (1973) para a análise granulométrica (peneiramento e pipetagem).

## 4. Resultados e Discussões

### 4.1. Ecofácies e Padrões Sedimentares

A distribuição granulométrica no entorno do Porto do Mucuripe possui os mais variados padrões sedimentares da zona submarina do município de Fortaleza (Figura 3). Os setores a leste do molhe do Titã e acima da isóbata de 10 m defronte ao porto possuem substratos arenosos (predominando areia média a muito grossa). O setor a sotamar do Titã até a enseada do Mucuripe possui predomínio de sedimentos lamosos. Este padrão não predomina na área do entorno imediato do Titã e Praia Mansa, onde é verificada sedimentação arenosa. Esta variedade granulométrica em uma pequena área ocorre devido às estruturas de proteção (molhe do Titã e espigão do Titanzinho) e operação portuária (píer). A principal mudança granulométrica ocorreu a sotamar do Titã devido à difração de ondas no molhe que favoreceu a formação da Praia Mansa e deposição arenosa no seu entorno (MORAIS, 1972). A sedimentação lamosa predomina na bacia de evolução, devido ao efeito de sombreamento dos processos hidrodinâmica pelo molhe do Titã.



### **GEOLOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS SEDIMENTARES**

Figura 3 - Geolocalização das amostras sedimentares. Fonte: Elaborado pelos autores a partir de DHN, 2014; SEMACE, 2011; SOARES, 2012; PRONEX, 2014; INPH, 1999.

No setor submarino adjacente ao porto do Mucuripe foram identificadas quatro ecofácies, são elas:

A **ecofácies I** é típica de fundo que predomina partículas finas (principalmente siltes e argilas), onde na Perfilagem Sísmica de Subsuperfície (PSS) foi verificada visualização de estratos sedimentares em subsuperfície e no Sonar de Varredura Lateral (SVL) o padrão acústico com baixa intensidade do retorno do sinal. Este tipo de resposta demonstra um baixo contraste de impedância acústica (produto da velocidade do sinal e a densidade do meio). Destaca-se a presença de um substrato com transparência da imagem na seção sísmica e sonográfica associado à lama fluida. Esta ecofácies também se relaciona em alguns setores as respostas acústicas com presença de refletores subsuperficiais sem a presença direta de lama fluida, mas associado também a sedimentos finos (silte, argila e areia muito fina). Esta ecofácies é típica das áreas abrigadas pelo Molhe do Titã – bacia de evolução e canal de acesso.

A ecofácies I possui a maior abrangência espacial dentro da área submersa portuária, sendo que a presença de lama fluida indica uma elevada taxa de sedimentação. De acordo com Veronez Júnior *et al.*, (2009) e Quaresma *et al.*, (2011) ela é uma transição do sedimento em suspensão e deposição. A lama fluida é associada ao canal de acesso no setor abrigado e a bacia de evolução, pois se verifica fatores essenciais (baixa hidrodinâmica, irregularidade do fundo e disponibilidade de sedimentos) para a sua proliferação (Figura 4, 5 e 6). Verifica-se que após a camada de lama de fluida tem-se uma superfície com alto contraste de impedância acústica. Ela está associada à compactação e consequente perda de água intersticial, com isto, a densidade do sedimento aumenta de lama fluida para lama compacta. A irregularidade de fundo com baixa hidrodinâmica são condicionantes ideais para a deposição de sedimentos lamosos (QUARESMA *et al.*, (2011).

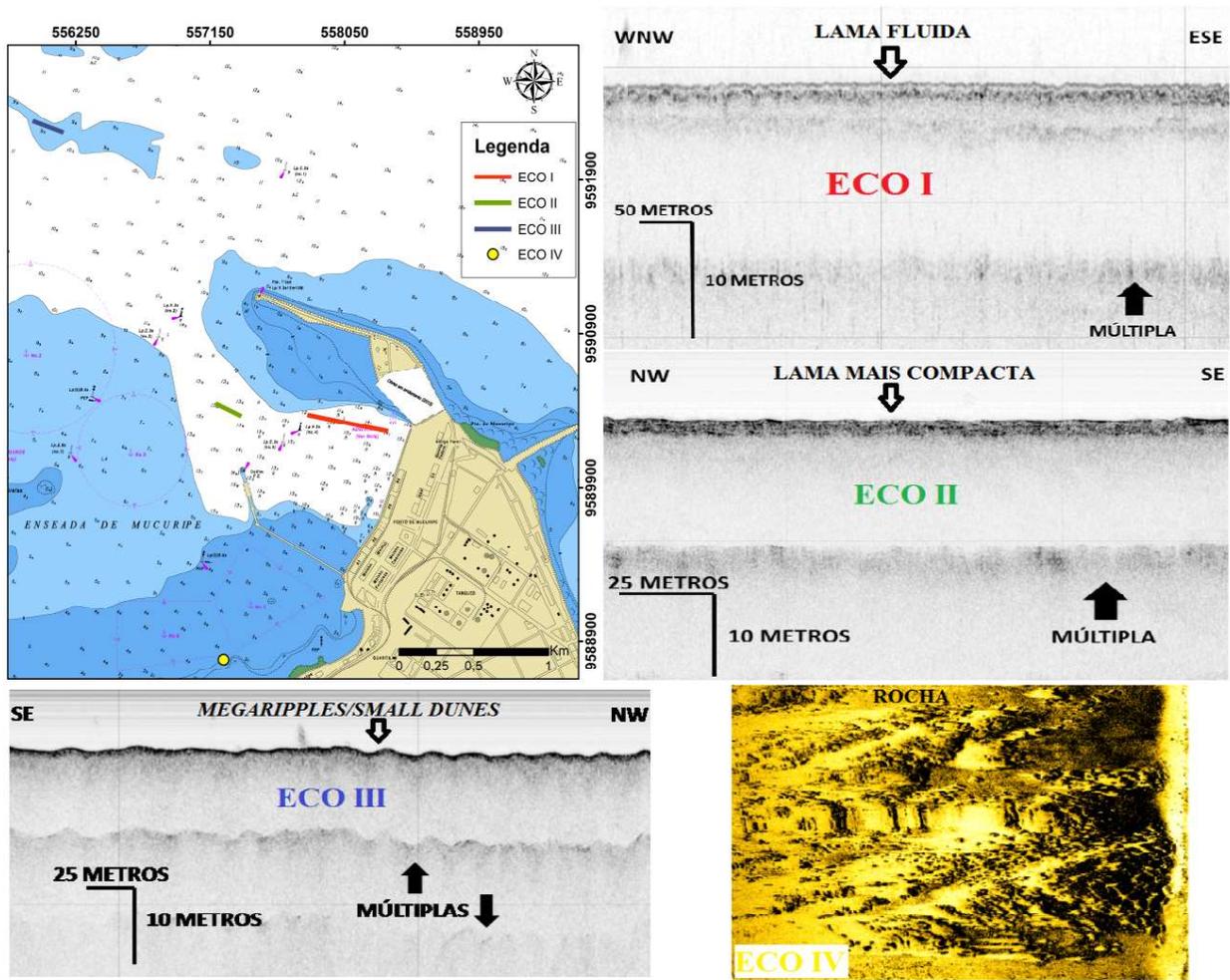


Figura 4 - Geolocalização de algumas Ecofácies. Fonte: Elaborado pelos autores a partir de DHN, 2014 e PRONEX, 2014.

Viana Filho (2013) a partir da análise de ecocaráter identificou a presença de substrato de lama fluida no porto do Mucuripe, com espessura de camada de aproximadamente 1 metro. Este tipo de substrato se concentra nos ambientes de baixa hidrodinâmica, onde há baixa ou inexistência de correntes suficientes para iniciar o cisalhamento de transporte em tração. Como consequência, a topografia de fundo nestas condições é plana (ALLEN, 1982). Desta forma, os substratos associados às ecofácies I e II apresentam fundo plano, com modificação dos padrões somente nos setores com canalículos e montículos oriundos das dragagens.

Segundo Winterwerp & van Kesteren (2004) a lama fluida é uma suspensão de sedimentos coesivos a uma concentração igual ou para além do ponto de coagulação, da ordem de 10 a 100 g/l. A espessura

das lamas fluidas varia de decímetros a vários metros, sendo gerada através de rápida sedimentação ou pela liquefação de depósitos lamosos. São encontradas em vários ambientes marinhos, como estuários, talude, canais de navegação e bacias portuárias.

Ross & Mehta (1989) e McAnally (2007) afirmam que a lama fluida ocorre em áreas onde a taxa de aporte de sedimentos finos é maior que a taxa de consolidação (perda de água) desse material. A localização de lama fluida é importante para o gerenciamento de navegabilidade em áreas portuárias, pois a rápida sedimentação pode interferir neste aspecto. Desta forma, é necessário compreender a profundidade navegável, ou seja, que as embarcações possam passar pelas lamas, distinguindo entre camada de sedimentos rígidos e maleáveis/mole (WINTERWERP & VAN KESTEREN, 2004; QUARESMA *et al.*, 2011).

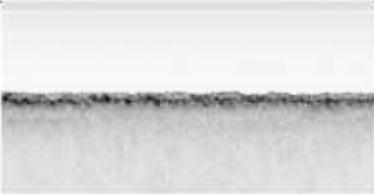
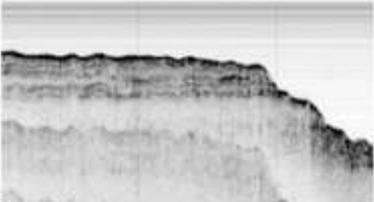
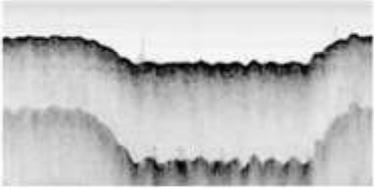
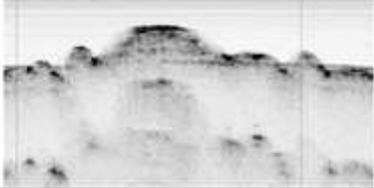
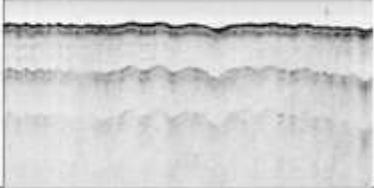
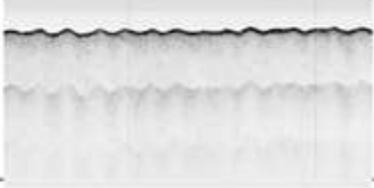
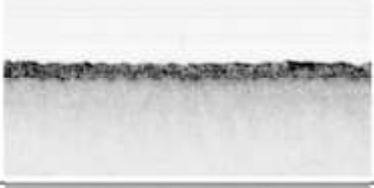
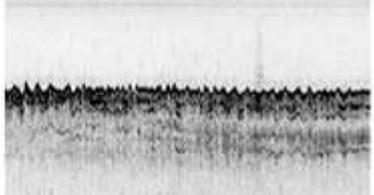
<b>ECOFÁCIE</b>	<b>FUNDO</b>	<b>DESCRIÇÃO PRINCIPAL</b>	<b>SECÃO SÍSMICA</b>
IA	Lama fluida	Presença de refletor em subsuperfície que separa nitidamente a lama fluida de um sedimento sotoposto mais compacto.	
IA	Lama/ Areia fina	Presença de refletores em subsuperfície, fundo parcialmente plano e presença de escarpamento - talude.	
IIIA	Areia grossa	Ausência de refletores em subsuperfície, fundo com canaliculos (devido às dragagens) no canal de acesso.	
A	Objeto	Feição de naufrágio?	
IA	Areia muito fina	Presença de refletor em subsuperfície, fundo parcialmente irregular.	
III	Areia Grossa	Ausência de refletores em subsuperfície, fundo com megaripples.	
IIA	Lama	Fundo plano com sedimentos bem compactados e visualização esparsa de refletor.	
III	Areia grossa	Fundo rugoso associado à megaripples. Presença de refletor em subsuperfície.	

Figura 5 - Ecofácies, padrões de sedimentação e feições. Adotou-se o sufixo "A" para correlacionar a influência direta da ação antrópica no substrato. Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados do Projeto PRONEX (2014).

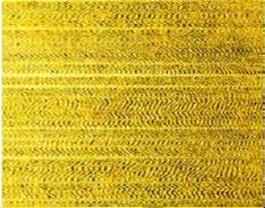
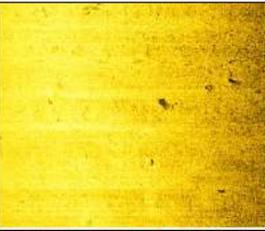
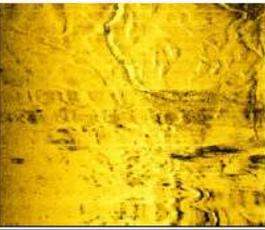
<b>ECOFÁCIE</b>	<b>FUNDO</b>	<b>DESCRIÇÃO PRINCIPAL</b>	<b>SECÃO SONOGRÁFICA</b>
IV	Rocha	Alto contraste de impedância acústica e elevado coeficiente de reflexão. Relacionado a substrato rochoso.	
III	Areia grossa	Elevado coeficiente de reflexão acústica. Fundo composto por <i>sand ripples</i> .	
III	Areia grossa	Fundo associado à mancha arenosa com <i>sand ripples</i> . Possui um alto coeficiente de reflexão.	
IIA	Lama/areia fina	Fundo relativamente plano, associado a um contraste de impedância acústica maior do que o de lama fluida, devido à compactação.	
IIIA	Areia média	Fundo com alto a moderado contraste de impedância acústica, associado à margem do canal de acesso e presença no setor inferior de um deslizamento de massa.	
IIA	Lama	Fundo rugoso associado possivelmente às atividades de dragagens.	
IA	Lama Fluida	Fundo com baixo contraste de impedância acústica, apresentando uma transparência acústica.	

Figura 6 - Ecofácies, padrões de sedimentação e feições. O sufixo “A” está associado à influência antrópica. Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados do Projeto PRONEX (2014).

Carneiro *et al.*, (2017) em um estudo no Porto de Santos sobre dinâmica e navegabilidade em fundo lamoso encontrou assim, como no Porto do Mucuripe, camadas de lama fluida no canal portuário com alta variabilidade espacial, variando de poucos cm a 1 metro de espessura. O conhecimento da espessura de camadas de lama fluida é fundamental para o gerenciamento portuário, pois decisões sobre a altura da lama a ser dragada para manter baixa resistência aos navios e a profundidade náutica dependerá da resistência à deformação da lama (MEHTA *et al.*, 2014). Destaca-se também que agregados orgânicos também podem a vir influenciar nas propriedades mecânicas da lama.

A **ecofácies II** é caracterizada na PSS por um fundo plano com camadas em subfundo bem compactas, onde não se observa nitidamente os refletores. No SVL foi verificado um alto coeficiente de reflexão se comparado com a ecofácies I. Este fato se deve ao predomínio de sedimentos finos com elevada coesão (silte e argila) que tem a tendência de se compactarem (Figura 4 e 6). Também ocorre nos setores de baixa hidrodinâmica relacionada ao canal de acesso e bacia de evolução. A ecofácies II é uma evolução da ecofácies I, principalmente quando o fundo é primariamente de lama fluida. Desta forma, com a sedimentação de todo material particulado em suspensão é gerada uma superfície mais compacta, a qual representa a ecofácies II. Ocorre também em áreas abrigadas pelo molhe do Titã.

A **ecofácies III** apresenta na PSS uma resposta acústica relacionada à presença dominante de areias (com cascalhos esparsos) sem a visualização de estratos sedimentares, principalmente com a frequência 2-12 kHz. Porém na frequência 0.5-8 kHz foram verificados alguns refletores subsuperficiais. No SVL foi observado um padrão acústico com alto coeficiente de reflexão do sinal (Figura 4, 5 e 6). Este tipo de fundo apresenta um alto contraste de impedância acústica. Sua geolocalização ocorre nos setores adjacentes ao porto (fora das áreas abrigadas), onde há uma intensa interação fluxo hidrodinâmico e sedimentos inconsolidados. Esta relação favorece a ocorrência de feições de fundo, tais como – *sand ripples*, dunas e bancos arenosos.

A ecofácies III é típica de fundo arenoso, similar ao encontrado por Quaresma *et al.*, (2001) dominado por *sandwaves* e *ripple marks* (marcas onduladas). Ela ocorre em locais de maior hidrodinâmica, onde o transporte dos sedimentos de maior granulometria

(>0,17 mm) ocorre por tração (carga de fundo). As feições de pequena escala tais como *sand ripples* formam-se principalmente em profundidades rasas, ou seja, está presente na zona litorânea do litoral Norte de Fortaleza e as de grande escala, tais como *megaripples*, *sandwaves* e/ou dunas subaquosas 2D e 3D ocorrem nas áreas desabrigadas pelas estruturas portuárias.

De acordo com Dalrymple & Rhodes (1995) para formar estas formas de fundo de grande escala é necessária uma velocidade média de corrente maior do que 0,4 m/s, sedimentos maiores do que 0,17 mm (areia fina) e profundidades superiores a 1 metro. A maior representatividade espacial da ecofácies III é uma macro-feição na forma de um banco longitudinal bem delimitada pela isóbata de 10 metros.

Feições do tipo banco são comuns no entorno de promontórios, onde a sua gênese pode remeter a condicionantes paleogeográficas e produto de variações do nível do mar (CASTRO *et al.*, 2017). Este banco de sedimentos siliciclásticos subparalelo a costa Norte de Fortaleza possui duas possíveis gêneses de acordo com Ximenes Neto (2015); a primeira estaria associada à influência morfodinâmica da Ponta do Mucuripe no redirecionamento de processos costeiros (ondas, correntes e maré); a segunda origem está relacionada a uma antiga barreira costeira que foi afogada durante o último máximo transgressivo. Onde o seu modelado atual é controlado por processos naturais hidrodinâmicos e também conforme abordado por Morais (1981) e Maia (1998) a construção do molhe do Titã e do Titanzinho ocasionaram o redirecionamento da deriva longitudinal costeira e barramento de sedimentos. Mazières *et al.*, (2015) destaca o importante selecionamento granulométrico pela hidrodinâmica e formação de determinado tipo de forma de fundo, como por exemplo *sand patches* em sedimentos de areia média a fina e depressões alongadas de sedimentos grosseiros.

Nos substratos inconsolidados com influência de transporte e retrabalhamento de sedimentos se destacam dois grupos de feições: as *sand ripples* e dunas subaquosas. O agente formador destas *sand ripples* são as correntes longitudinais (oriunda da incidência oblíqua das ondas na costa), corrente de maré e ondas (cristas das *bedforms* em formato simétrico; influencia reforçada com a entrada de *swell*). A gênese da duna subaquosa requer condições de fluxo superior aos formadores das *sand ripples*, com isto a gênese das dunas/*sandwaves* estão associadas aos eventos de alta

energia. Na costa do Ceará os eventos de alta energia estão relacionados à ocorrência simultânea das marés de sizígia equinociais, *swell* e aumento da velocidade dos ventos. A ocorrência esparsa de dunas e/ou *sand ripples* em fundo parcialmente plano, se deve a variabilidade hidrodinâmica temporal e disponibilidade de sedimentos de maior granulometria. Estas ocorrências esparsas de sedimentos grossos aparecem dispersas em um fundo de sedimentos arenosos com granulometria variando de média a fina. Devido à simetria entre as *sand ripples*, principalmente nas proximidades da costa, indica que a onda é um importante mecanismo morfosedimentar, tanto de forma direta a partir da interação base da onda-sedimento como indireta, na origem da corrente longitudinal. De acordo com Silva et al., (2009) a hidrodinâmica associada ao entorno do Porto do Mucuripe apresenta valores que atingem uma intensidade média de corrente em torno de 15,48 cm/s e as direções oscilam entre 22°-182°; a direção predominante das correntes é do quadrante SW (PAULA, 2012). Conforme PETCOM (2000) no interior do porto as correntes se orientam no eixo NE-SW. Estes vetores de fluxo foram responsáveis pelo assoreamento, formação da Praia Mansa e bacia de evolução.

A **ecofácies IV** apresenta resposta acústica relacionada à presença de substrato rochoso, sem estratos sedimentar e típico de um fundo rugoso com feições irregulares (Figura 4). Na PSS não há penetração do sinal devido ao grande contraste de impedância

acústica. Já no SVL verifica-se um padrão com elevado coeficiente de reflexão. Esta ecofácies está disposta independentemente das condicionantes hidrodinâmicas (Figura 4 e 6). Segundo Morais (1972) estas rochas apresentam um importante papel morfosedimentar, devido à concentração nos seus entornos de sedimentos finos, como observado defronte a Volta da Jurema. Ximenes Neto (2015) destaca que no litoral submarino Norte de Fortaleza é observado quatro complexos rochosos, delimitados principalmente pela isóbata de 5 metros: Recife do Meireles, Pedra do Justin, Recife da Velha e Recife Grande. As constituições litológicas destes materiais possivelmente estão relacionadas ao Grupo Barreiras. A figura 04 demonstra a geodistribuição de algumas ecofácies encontrados na área de estudo.

É importante ressaltar que o substrato desta área foi recentemente dragado e possuem locais com sedimentos finos. As figuras 5 e 6 apresentam a síntese das quatro ecofácies encontradas e a consequente influência antrópica.

Todo o setor a sotamar do molhe do porto do Mucuripe apresenta o seu substrato modificado pela infraestrutura portuária, desde áreas dragadas a áreas progradantes, ambas apresentando mudanças nos padrões deposicionais. A consequência destas alterações é refletida diretamente na morfologia de fundo, como demonstra à figura 7, com a margem do canal do porto dragado.

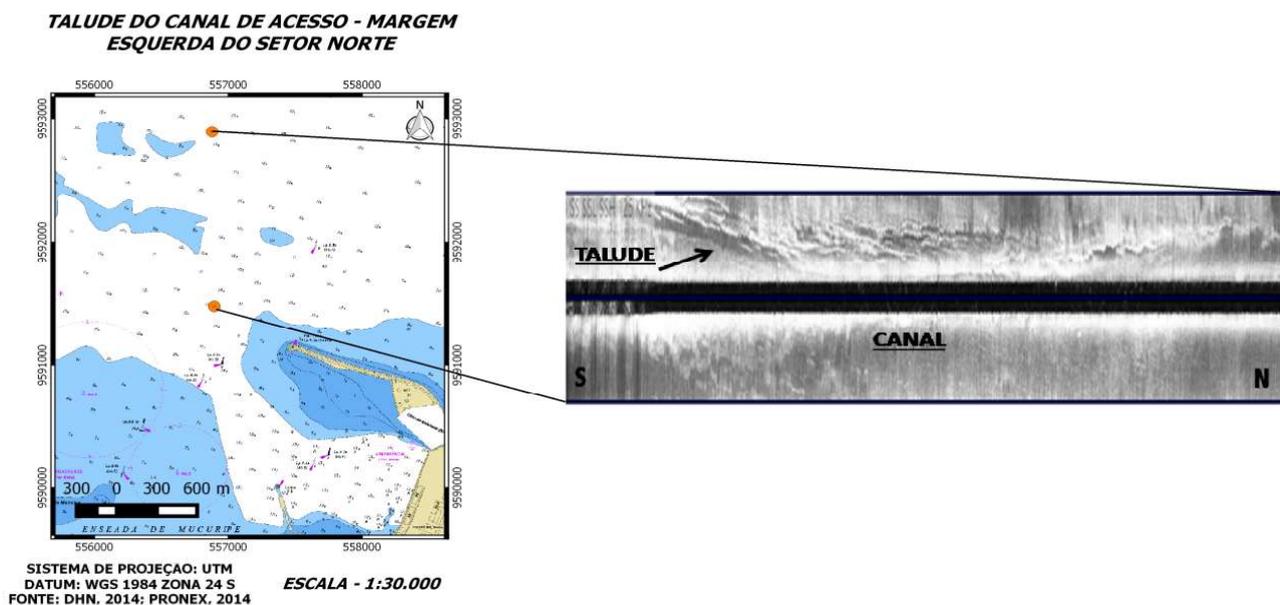


Figura 7 - Talude do canal de acesso do porto. A seção possui 1,4 quilômetros de comprimento - na escala horizontal e 200 metros - escala na vertical. Fonte: Elaborado pelos autores a partir do Projeto PRONEX (2014).

Ressalta-se que o canal do porto possui algumas rugosidades (canalículos) associadas aos escavamentos no fundo (Figura 8). Correlacionando as dragagens no substrato e mudanças nos padrões de sedimentação são verificadas diferenças morfosedimentares entre o

fundo do canal (sedimentos finos) e o piso marinho “normal” (sedimentos arenosos) em alguns setores, principalmente na área abrigada do Titã (Figura 9). As dragagens também criaram algumas feições relativamente elevadas – os montículos.

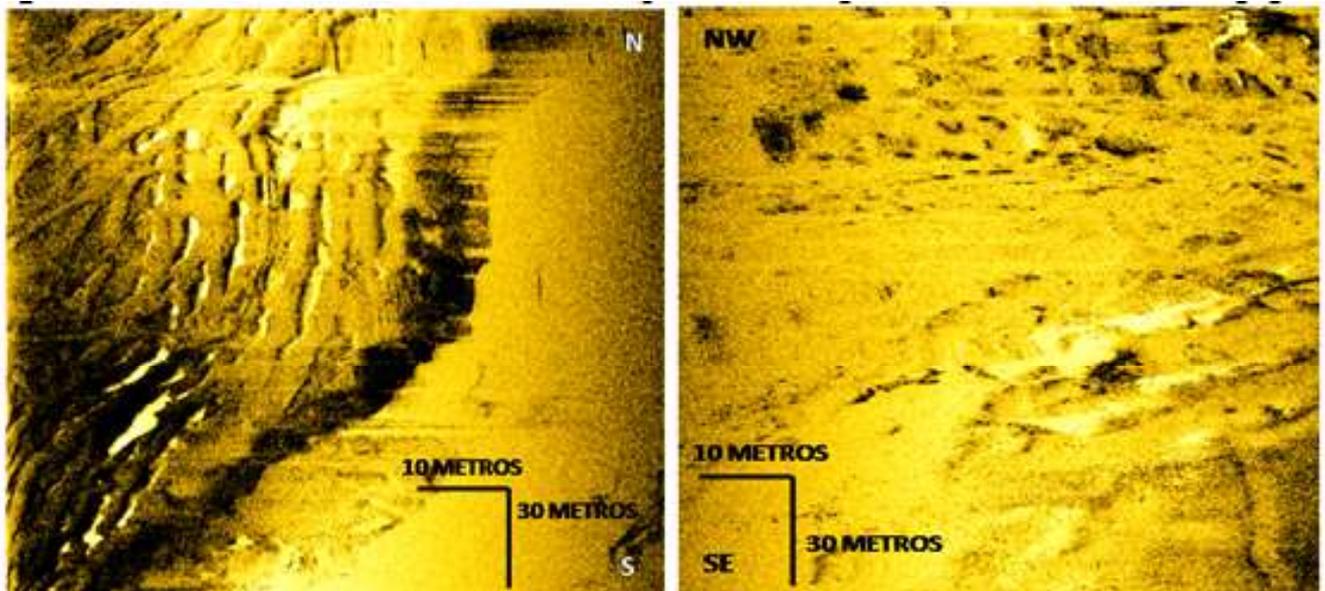


Figura 8 - Substrato do canal de acesso do porto com rugosidades associadas a dragagens. Fonte: PRONEX (2014).



Figura 9 - Tipos de fundo associados a padrões sedimentares distintos. Fonte: PRONEX (2014).

Ximenes Neto (2015) identificou três setores progradacionais associado às estruturas de proteção e operação portuária (o Titã; o Titanzinho e o Píer). Estas áreas foram as que apresentaram as maiores sedimentações e conseqüentemente alteraram a

morfologia submersa original, tornando-se áreas muito rasas e/ou subaéreas (Praia Mansa e Titanzinho).

No talude do canal de acesso ao porto foi verificado um movimento de massa no formato de um leque/cone (Figura 6). Este processo ocorre devido

à desestabilização gravitacional dos sedimentos ocasionado pela saturação com a água, onde a fluidização somada à declividade resultam no fluxo de detritos. A feição de mini-leque associada ao sopé do talude do canal ocorre em processo relativamente parecido com os que acontecem nos taludes continentais, onde concentrações de sedimentos finos podem acelerar o desencadeamento de correntes de turbidez, ou seja, pode favorecer um movimento de massa (WINTERWERP & VAN KESTEREN, 2004).

Em relação à hidrodinâmica local verifica que associando o tipo de forma de fundo e sua orientação é possível inferir o direcionamento e até o agente formador desta feição. Observam-se ainda dunas subaquosas com sobreposições de *sand ripples* (Figura 6). No banco

submerso a Noroeste do molhe é verificado o predomínio de um substrato arenoso grosseiro (ecofácies III). Esta ecofácies representa a maior parte da área submarina, excluindo a zona portuária abrigada. Foi observada a substituição da ecofácies III pela IV em alguns setores com superfície de fundo rochoso (Figura 10).

A área localizada entre o Molhe do Titã e o píer é o setor com maiores alterações morfológicas e taxas de sedimentação para o litoral submarino de Fortaleza. Isto é consequência direta das obras de proteção, operação e manutenção portuária (principalmente o molhe e as constantes dragagens). Além de alterações nos padrões morfosedimentares devido as dragagens, Marmin *et al.*, (2014) aponta que importantes modificações ocorrem nos ecossistemas litorâneos e na turbidez da água.

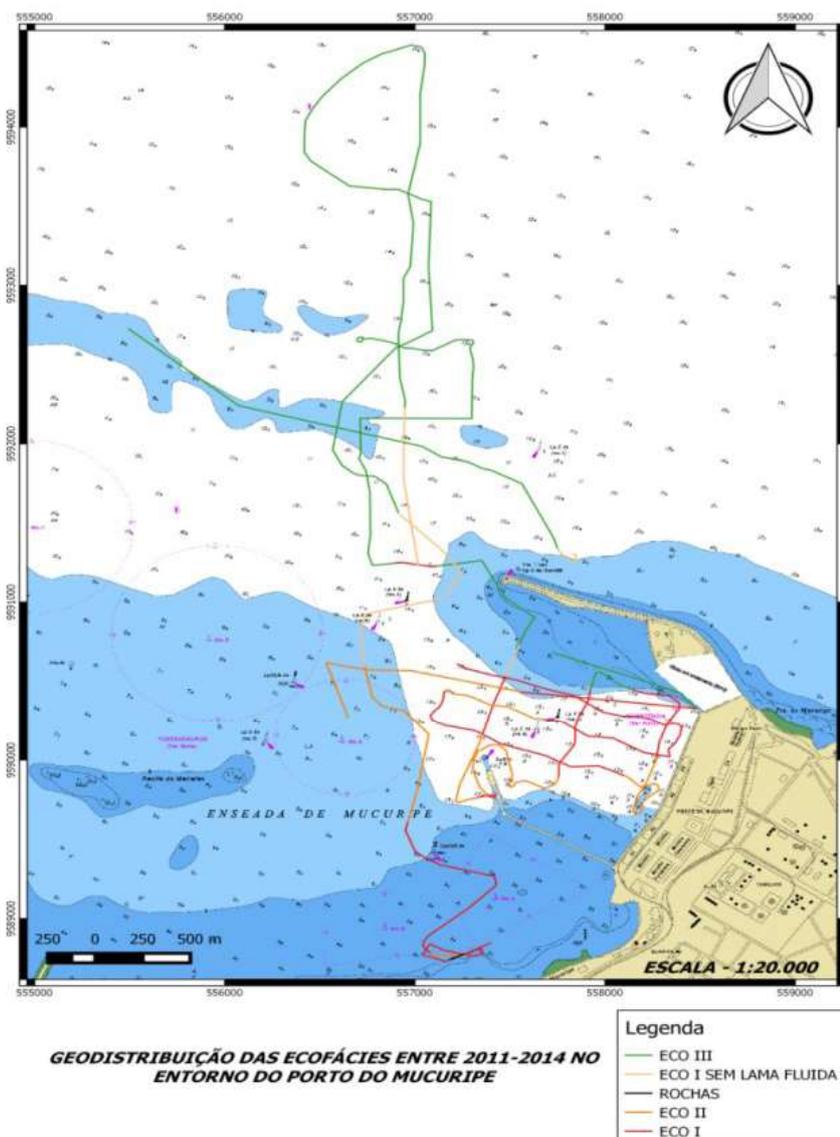


Figura 10 - Ecofácies de acordo com os perfis sísmicos. Fonte: Elaborado pelos autores a partir da DHN, 2014 e pelo projeto PRONEX, 2014.

#### 4.2 Classificação e Caracterização das Formas de Fundo

Em relação ao tamanho das formas de fundo submersas, foram divididas as feições em macro e micro-escala conforme a técnica e escala de análise.

##### Macro-Escala:

A área desabrigada (sujeita a ação hidrodinâmica constante) é composta principalmente por um **Fundo com Feições Arenosas**. Este substrato está associado à *sand ripples* e dunas. O **Banco de Sedimentos Siliciclásticos** localizado a Noroeste do molhe do Mucuripe apresenta cerca de 6,5 km de comprimento e largura variando de 900 metros a 200 metros porém foi analisada apenas uma área de cerca de 650 m<sup>2</sup>, imediatamente a Noroeste do Titã. Segundo Soares (2012) este banco é composto predominantemente por sedimentos arenosos grosseiros. Foram identificados alguns bancos secundários/dunas no entorno do banco.

No setor abrigado, onde a hidrodinâmica é controlada pelas estruturas portuárias, destaca o **Canal de Acesso** do porto do Mucuripe que possui 3,5 Km

de comprimento e largura aproximada de 160 metros. A **Bacia de Evolução** ocorre na proteção do molhe do Mucuripe e possui uma área de cerca de 880.000 m<sup>2</sup> e profundidades variando de 13 a 14 metros. Além do **Fundo Progradacional**, que está relacionado ao controle morfosedimentar associado às estruturas de proteção e operação (Pier, Titã e Titanzinho). Esta delimitação é de acordo com os contornos isobatimétricos (XIMENES NETO, 2015). No presente mapeamento destacou apenas os fundos progradacionais associados ao Titã e ao Pier.

As **Rochas Intermarés** localizadas no estirâncio não foram aqui classificadas, pois são feições que ficam parcialmente expostas à dinâmica subaérea.

##### Micro-Escala:

**Sand Ripples, Blocos isolados de rochas, Duna, Naufrágio, Montículos, Marcas de Dragagem (canalículos), Mini-Leque e Margens do Canal.**

Os quadros 1, 2 e 3 demonstram de forma direta as feições subaquosas associadas à forma, morfodinâmica e gênese, respectivamente.

**Quadro 1: Descrição de acordo com a forma. Fonte: Elaborado pelos autores.**

FORMA	
<b>PLANA</b>	<i>Fundo lamoso, areia fina e média</i>
<b>RUGOSA</b>	<i>Rochas, Sand Ripples, sandwaves/dunas;</i>
<b>CANAL</b>	<i>Canal de Acesso do Porto e Canalículos associado à dragagem;</i>
<b>TALUDE</b>	<i>Margens do canal de acesso;</i>
<b>BANCO</b>	<i>Banco Principal, Bancos Secundários e os Montículos;</i>
<b>LEQUE</b>	<i>Mini-leque;</i>
<b>NAUFRÁGIO</b>	<i>Lancha/barco?</i>

**Quadro 2: Descrição de acordo com a morfodinâmica. Fonte: Elaborado pelos autores.**

MORFODINÂMICA	
<b>FEIÇÕES DEPOSICIONAIS</b>	Bacia de Evolução, <i>Sand Ripples</i> , Dunas, Banco, Fundo Progradacional, Mini-leque, Fundo do Canal de Acesso, Montículos.
<b>FEIÇÕES EROSIVAS</b>	Rochas, Canalículos, Talude (movimentos de massa), <i>Sand Ripples</i> , Dunas.
<b>FEIÇÕES ATIVAS</b>	<i>Sand Ripples</i> , Dunas, Banco, Fundo Progradacional, Talude, Bacia de Evolução, Canal, Rochas, Mini-leque, montículos.
<b>FEIÇÕES INATIVAS</b>	Naufrágio

Quadro 3: Descrição de acordo com a gênese. Fonte: Elaborado pelos autores.

GÊNESE	
ANTRÓPICA	Canal de Acesso, Bacia de Evolução, Canalículos, Naufrágio, Talude, Montículos, Fundo Progradacional e Mini-Leque.
NATURAL	Rochas, Banco e Ondulações Arenosas ( <i>Dunas e Sand Ripples</i> ).

Estes quatro parâmetros (tamanho, forma, morfodinâmica e gênese) são mutuamente interligados, onde a sua compreensão por meio de feições apresenta uma visão integrada das condicionantes ambientais (processos, formas/substrato e intervenção antrópica), ou seja, hidrodinâmica+morfodinâmica+ação antrópica

= feição subaquosa. A partir do conjunto das feições, tem-se a construção da paisagem submarina. A figura 11 demonstra a geolocalização das principais feições identificadas que caracterizam a paisagem submarina adjacente ao porto do Mucuripe.

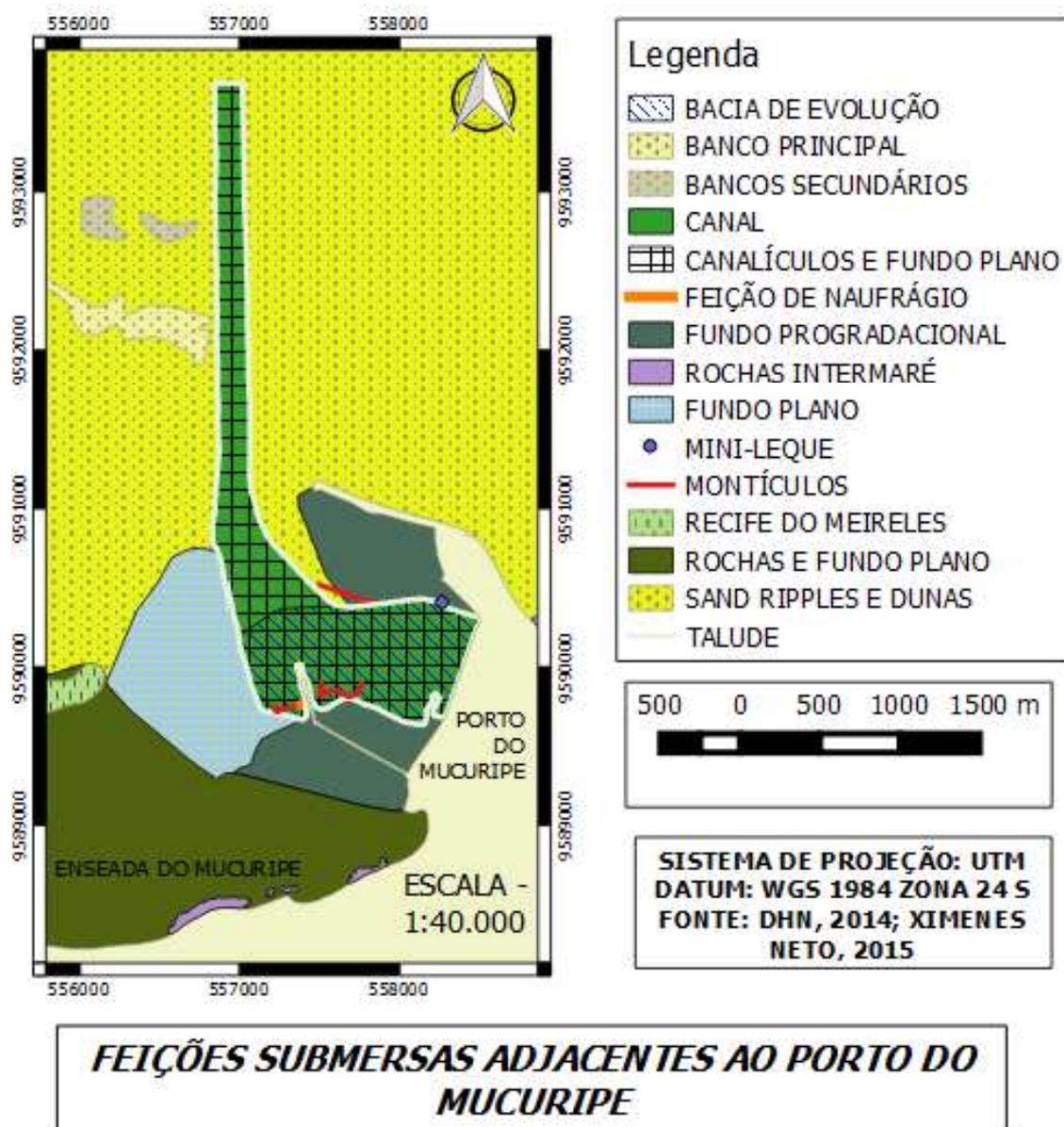


Figura 11 - Feições submersas adjacentes ao porto. Fonte: Elaborado pelos autores.

## 5. Conclusão

Foram identificados quatro tipos de respostas acústicas de acordo com o substrato (inconsolidado, coeso e rochoso). Destacam-se as ecofácies I e II, pois estão diretamente associadas às estruturas de proteção e operação portuária, dispostas nos ambientes de baixa hidrodinâmica (principalmente na bacia de evolução e setor abrigado do canal de acesso). Desta forma, ressalta-se o fator antrópico como o principal modificador dos padrões morfosedimentares do porto do Mucuripe.

A ação antrópica contribuiu decisivamente na criação de uma gama de feições submarinas. Feições produto de dragagens - Canal de Acesso, Canalículos, Mini-Leque, Talude, Montículos. Feições produto das estruturas de operação e proteção portuária - Bacia de Evolução e Fundo Progradacional. Estas formas, mesmo apresentado o agente antrópico como mecanismo que desencadearam a sua gênese, destaca-se que o condicionante “natural” – hidrodinâmica/morfodinâmica procura à tendência/estabilidade/adaptação a dinâmica morfosedimentar do ambiente local.

O entendimento da geolocalização de ecofácies em regiões portuárias é de fundamental importância para um gerenciamento que busque compreender a dinâmica de sedimentação em áreas como bacias de evoluções e canais de acesso. Estes são os locais que apresentaram as principais alterações no substrato submarino devido às obras de manutenção. Substrato com lama fluida é um importante indicador de áreas que hidrodinamicamente condicionam a uma maior taxa de sedimentação. O mapeamento destas ocorrências de lamas fluidas é essencial para o gerenciamento portuário, pois possibilita ainda a compreensão da profundidade navegável no canal de acesso.

A aplicação do termo paisagem submarina foi utilizada para integralizar todas as feições, deve ser entendida como a resposta das interações antrópicas e abióticas, estando relacionada à dinâmica do substrato marinho no tempo geológico e/ou recente. O termo paisagem possui uma conotação mais sistemática do que feição e forma.

As informações deste trabalho contribuem no entendimento da morfologia de fundo, sedimentação e conseqüentemente navegabilidade nesta área portuária de posição geográfica estratégica para comercialização e como terminal de passageiros.

## Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão das bolsas aos autores e aos Projetos “Potencialidades e Manejo na Exploração de Granulados da Plataforma Continental do Estado do Ceará (PRONEX) –FUNCAP/CNPq” e “Geodiversidades, Interações e Impactos Socioambientais no Sistema Praia-Plataforma da Costa Oeste do Estado do Ceará” (PRONEX).

## 6. Referências Bibliográficas

- ALLEN, J. R. L. **Sedimentary structures their character and physical basis I**. Development in Sedimentology. Elsevier, 1982. 593p.
- AMARAL, R. F.; ALFREDINI, P. Modelação Hidrossedimentológica no Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n.2, p. 5-14. 2010.
- ASHLEY G. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 60, p. 160–172, 1990.
- AYRES NETO, A; FALCÃO, L. C; AMARAL, P. J. T. Caracterização de ecofácies na margem continental Norte Brasileira – estado do conhecimento. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27(Supl. 1), p. 97-106, 2009.
- CARNEIRO, J. C; FONSECA, D. L; VIZON, S. B; GALLO, M. N. Strategies for Measuring Fluid Mud Layers and Their Rheological Properties in Ports. **J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng**, v. 143(4), p. 1-6, 2017.
- CARVALHO, V. O. **Estimativa da Taxa de Assoreamento do Canal de Navegação do Porto de Santos**. Projeto de Graduação em Engenharia Ambiental. Escola Politécnica/UFRJ, 2016. 82p.
- CASTRO, S; LOBO, F. J; PUGA-BERNABÉU, A. Headland-associated banner banks generated during the last deglaciation near the Strait of Gibraltar (Gulf of Cadiz, SW Spain). **Marine Geology**, v. 386, p. 56-75, 2017. DOI: 10.1016/j.margeo.2017.02.007. 2017.
- CEARÁ. **Companhia Docas do Ceará**. Disponível em <http://www.docasdoceara.com.br/o-porto/infraestrutura>. Acessado em 10/08/2015.
- CEARÁ (2010). **Projeto da 2ª etapa da dragagem de aprofundamento do porto de Fortaleza**. Companhia Docas do Ceará, 67p.
- CEARÁ. **Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do**

- Ceará (IPECE). Perfil Básico Municipal 2014 DE Fortaleza. Disponível em [http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil\\_basico/pbm-2014/Fortaleza.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2014/Fortaleza.pdf). Acessado em 04/09/2015.
- DALRYMPLE, R. W; RHODES, R.N (1995). Estuarine dunes and bars. In: PERILLO G. M. E (org.) **Geomorphology and Sedimentology of Estuaries**. Developments in Sedimentology, p. 359–422.
- FRAZÃO, E. P. **Caracterização hidrodinâmica e morfossedimentar do estuário Potengi e áreas adjacentes: subsídios para controle e recuperação ambiental no caso de derrames de hidrocarboneto**. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica). Programa de pós-graduação em geodinâmica e geofísica, UFRN, 2003. 197p.
- GUERRA, R. G. P. **Vulnerabilidade costeira a eventos de alta energia no litoral de Fortaleza, Ceará**. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais). Programa de Pós Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Instituto de Ciências do Mar – UFC, 2014.103p.
- INPH (1996). **Relatório final dos estudos em modelo físico reduzido de agitação do Porto do Pecém-CE (Nº71/96)**, 38p.
- INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR (2011). **Plano Básico Ambiental da Obra de Aprofundamento do Porto de Fortaleza**. Monitoramento da linha de costa: relatório/Instituto de Ciências do Mar coordenação técnica de execução científica e redação do relatório – Fortaleza: Universidade Federal do Ceará.
- KLEINHANS, M. G. **Sediment dynamics on the shoreface and upper continental shelf, a review**. Universidade de Utrecht, Geografia Física, 2002. 68p.
- MAGINI, C; MARTINS, A. H. O; PITOMBEIRA, E. S; CHAVES, Q. L. S. G. A influência da estrutura portuária na dinâmica costeira da Vila do Pecém, Ceará, Brasil. **Revista de Geologia**, V. 24, nº2, p. 136 - 149, 2011.
- MAIA, L. P. **Procesos y balance sedimentário a ló largo de Fortaleza (NE-Brasil): implicaciones para uma gestão adequada de La zona litoral**. Tese (Doutorado em ciências Del mar). Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona.1998. 281p.
- MARMIN, S; DAUVIN, J. C; LESUEUR, P. Collaborative approach for the management of harbour-dredged sediment in the Bay of Seine (France). **Ocean & Coastal Management**, v.102, p. 328-339. 2014.
- MAZIÈRES, A; GILLET, H; IDIER, D; MULDER, T; GARLAN, T; MALLET, C; MARIEU, V; HANQUIEZ, V. Dynamics of inner-shelf, multi-scale bedforms off the south Aquitaine coast over three decades (Southeast Bay of Biscay, France). **Continental Shelf Research**, v. 92, p. 23–36, 2015.
- MCKENNA, L. A. **Patterns of bedform migration and mean tidal currents in Hampton harbor inlet, New Hampshire, USA**. Tese (Mestrado em Ciências da Terra). Universidade de New Hampshire. 2013.117p.
- McANALLY, W. H; FRIEDRICHS, C; HAMILTON, D; HAYTER, E; SHRESTHA, P; RODRIGUEZ, H; SHEREMET, A; TEETER, A. Management of fluid mud in estuaries, bays, and lakes. I: Present State of understanding on character and behavior. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 133(1), p. 9–21, 2007.
- MEHTA, A. J; SAMSAMI, F; KHARE, Y. P; SAHIN, C. “Fluid mud properties in nautical depth estimation.” **J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng**, v. 140, p. 210–222, 2014. DOI:10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000228.
- MORAIS, J. O. Evolução sedimentológica da Enseada do Mucuripe. **Arquivo de Ciências do Mar**, v. 21, p. 19-46, 1981.
- \_\_\_\_\_, J. O. Evolução sedimentar da área adjacente ao porto de Itaqui, Estado do Maranhão, Brasil. **Arq. Ciên. Mar**, v. 17 (2),p. 143-151, 1977.
- \_\_\_\_\_, J. O. Processo de assoreamento do Porto de Mucuripe. **Arquivo Ciências do Mar**,v.12, p. 139-149, 1972.
- PAULA, D. P. **Análise dos riscos de erosão costeira no litoral de Fortaleza em função da vulnerabilidade aos processos geogênicos e antropogênicos**. Tese (Doutorado em Ciências do Mar) Universidade do Algarve, Portugal. 2012.364p.
- PETCON (2000) **Estudo objetivando definir as causas do assoreamento do Porto de Fortaleza**. Companhia Docas do Ceará, Fortaleza-CE, 101p.
- PITOMBEIRA, E. S. Deformação das ondas por difração no molhe do Porto do Mucuripe (Fortaleza – Ceará – Brazil). Fortaleza: **Arq. Ciên. Mar**, v. 16(1), p. 55-58, 1976.
- QUARESMA, V. S; DIAS, G. T. M; BAPTISTA NETO, J. A. Caracterização da ocorrência de padrões de sonar de varredura lateral e sísmica de alta frequência (3,5 e 7,0 kHz) na porção sul da Baía de Guanabara – RJ. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 18(2), p. 201-214, 2001.
- \_\_\_\_\_, V. S; BASTOS, A. C; LOUREIRO, D. V; PAIXÃO, S. Utilização de métodos geofísicos para mapeamento de lama fluida no porto de tubarão, vitória (ES-Brasil). **Revista Brasileira de Geofísica**, v.29 (3), p. 487-496, 2011.
- ROSS, M. A; MEHTA, A. J. On the mechanics of lutoclinas and fluid mud. **Journal of Coastal Research**, v. 5, p. 51–62,1989.

- SILVA, A. C; PINHEIRO, L. S; MAIA, L. P. Estudo Hidrodinâmico, Climático e Bacteriológico Associado às Fontes Pontuais de Poluição ao Longo do Litoral de Fortaleza. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14 n.2, p. 83-90, 2009.
- SOARES, R. C. **Evolução e Caracterização do Banco Sedimentar de Fortaleza, Ceará, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza-CE. 2012. 116p.
- SOUZA, L. A. P. **Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas**. Tese (Doutorado em Ciências). Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 2006. 311p.
- SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. E. Blucher/EDUSP, 1973. 317p.
- TREMBANIS, A. C; HUME, T. M. Sorted bedforms on the inner shelf off northeastern New Zealand: spatio temporal relationships and potential paleo-environmental implications. **Geo-MarLett**, v. 31,p.203–214, 2011.
- VERONEZ JUNIOR, P; BASTOS, A. C; PIZZIN, B. F; GAVA, R.D; QUARESMA, V. S; SILVA, S. G. Sonar de Varredura lateral e sísmica de alta resolução aplicada no estudo de Ecofácie na baía de vitória – ES. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27(3), p.411-425, 2009 (a).
- \_\_\_\_\_,P; Bastos, A. C; Quaresma, V. S. Morfologia e distribuição sedimentar em um sistema estuarino tropical: baía de vitória, ES. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27(4), p.609-624, 2009 (b).
- VIANA FILHO, J. A. B. **Relação entre padrões de eco-caráter e a distribuição de sedimentos no Porto do Mucuripe - Fortaleza/CE**. Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Oceanografia. Instituto de ciências do Mar, UFC. 2013.71p.
- WINTERWERP, J. C; VAN KESTEREN, W. G. M. **Introduction to the physics of cohesive sediment in the marine environment**. Developments in Sedimentology Elsevier, 2004. 465 p.
- XIMENES NETO, A. R. **Evolução da paisagem submarina do litoral norte de Fortaleza – CE**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Geografia). Universidade Estadual do Ceará, 2015.78p.