



**Instituto de Estudos Pesquisas e Projetos da UECE- IEPRO  
Laboratório de Gestão Integrada da Zona Costeira – LAGIZC  
Universidade Estadual do Ceará - UECE**

**PARECER TÉCNICO AMBIENTAL**



Fonte: Google Earth, 2018.

**DINÂMICA COSTEIRA DO LITORAL DE FORTALEZA E OS  
IMPACTOS DA CONSTRUÇÃO DOS ATERROS DAS PRAIAS DE  
MEIRELES (BEIRA MAR) E IRACEMA SOBRE O LITORAL DE  
CAUCAIA**

**Outubro de 2018**

## **INSTITUTO DE ESTUDOS PESQUISAS E PROJETOS DA UECE – IEPRO**

### **Diretor Executivo**

Prof. Ms. Luiz Carlos Dodt

## **LABORATÓRIO DE GESTÃO INTEGRADA DA ZONA COSTEIRA - LAGIZC**

### **Coordenador**

Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos

## **RESPONSÁVEL TÉCNICO – QUALIFICAÇÃO PROFISSIONAL**

### **Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos**

- Professor Associado da Universidade Estadual do Ceará – UECE;
- Professor dos Cursos de Graduação, Mestrado e Doutorado em Geografia da Universidade Estadual do Ceará – UECE;
- Coordenador do Laboratório de Gestão Integrada da Zona Costeira da Universidade Estadual do Ceará – LAGIZC/UECE;
- Ex-Pesquisador e Diretor da Divisão de Oceanografia Abiótica do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará – LABOMAR/UFC;
- Ex-Bolsista de Produtividade em Pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq;
- Doutor em Ciências da Terra com ênfase em Oceanografia Ambiental Costeira pelo Instituto de Ciências e Técnicas da Universidade de Nantes (França);
- Pós-Doutor em Geografia com ênfase em Gestão Integrada da Zona Costeira pelo Instituto de Geografia e Planejamento Regional da Universidade de Nantes (França);
- Ex-Conselheiro e Ex-Diretor do Conselho Regional de Engenharia Arquitetura e Agronomia do Ceará - CREA-CE;
- Registro no CREA-CE 7752-D;

Curriculum Vitae completo no Modelo da Plataforma Lattes do CNPq disponível em:  
<http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.jsp?id=K4781769P7>

## SUMÁRIO

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 1.     | INTRODUÇÃO.....  | 4   |
| 2.     | GEOLOGIA DA ÁREA EM ESTUDO.....  | 7   |
| 2.1.   | Vulcânicas Alcalinas.....  | 8   |
| 2.2.   | Formação Barreiras.....  | 9   |
| 2.3.   | Paleodunas.....  | 10  |
| 2.4.   | Dunas Móveis ou Recentes.....  | 11  |
| 2.5.   | Areias de Praia.....   | 13  |
| 2.6.   | Beach Rock – Arenito de Praia.....   | 14  |
| 2.7.   | Aluviões.....  | 15  |
| 2.8.   | Aspectos Gerais do Geossistema Litorâneo.....  | 16  |
| 2.9.   | Geomorfologia da Área.....   | 19  |
| 3.     | A Dinâmica Costeira do Litoral de Fortaleza e Caucaia.....                                       | 20  |
| 3.1.   | Regime de Ventos.....  | 21  |
| 3.2.   | Regime de Ondas.....   | 21  |
| 3.3.   | Regime de Marés.....   | 22  |
| 3.4.   | Transporte de Sedimentos pela Corrente de Deriva Litorânea.....                                  | 24  |
| 3.5.   | Bypass Eólico na Ponta do Mucuripe.....  | 29  |
| 3.6.   | Bypass Hídrico do Rio Ceará.....   | 32  |
| 4.     | EVOLUÇÃO HISTÓRICA DAS INTERVENÇÕES NO LITORAL DE FORTALEZA.....                                 | 34  |
| 4.1.   | Intervenções até 1939.....   | 34  |
| 4.2.   | A Construção do Porto do Mucuripe.....   | 40  |
| 4.3.   | O Relatório do Laboratório SOGREAH de Grenoble.....  | 47  |
| 4.4.   | Construção do Molhe do Titanzinho.....   | 50  |
| 4.5.   | Batimetria e Bancos Costeiros da Enseada do Mucuripe.....  | 56  |
| 5.     | ANÁLISE DIACRÔNICA DA EROÇÃO COSTEIRA NO LITORAL DE FORTALEZA E DE CAUCAIA.....                  | 74  |
| 6.     | MODELO DE ONDAS DO PORTO DO MUCURIBE (INPH).....   | 87  |
| 7.     | O PROJETO DO ATERRO DA BEIRA MAR E RECOMPOSIÇÃO DO ATERRO DA PRAIA DE IRACEMA.....               | 89  |
| 7.1.   | Área de Intervenção.....   | 89  |
| 7.2.   | Dimensionamento das Soluções.....  | 90  |
| 7.2.1. | Praia da Beira Mar.....  | 92  |
| 7.2.2. | Praia de Iracema - Meireles.....   | 95  |
| 8.     | IMPACTOS DA CONSTRUÇÃO DO ATERRO DA BEIRA MAR E PRAIA DE IRACEMA SOBRE O LITORAL DE CAUCAIA..... | 97  |
| 9.     | CONCLUSÕES.....  | 100 |
| 10.    | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 105 |
| 11.    | ANEXO.....   | 110 |

# DINÂMICA COSTEIRA DO LITORAL DE FORTALEZA E OS IMPACTOS DA CONSTRUÇÃO DOS ATERROS DAS PRAIAS DE MEIRELES (BEIRA MAR) E IRACEMA SOBRE O LITORAL DE CAUCAIA

Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos

## 1. INTRODUÇÃO

A erosão costeira constitui uma preocupação em escala mundial, pois afeta praticamente todos os países que possuem litoral podendo, em alguns casos, alcançar estágios em que a erosão apresenta um alto índice de degradação ambiental. As repercussões econômicas são diversas, tais como a perda de infraestruturas públicas e/ou propriedades privadas, que podem ter consequências extremamente graves, muitas vezes sem recuperação dos danos, devido à falta de investimentos e de recursos financeiros, como é o caso do Brasil e, em particular, do litoral do estado do Ceará.

Como exemplo da fragilidade dos espaços litorâneos e do grau de vulnerabilidade da costa cearense, podemos citar o episódio das severas ressacas que atingiram o litoral nordestino em março deste ano de 2018, devido a um violento ataque das ondas do tipo *Swell*, atingindo, particularmente em Fortaleza, a Praia de Iracema, destruindo parte do calçadão da Avenida Beira Mar e afetando de forma significativa o trânsito e o sistema de drenagem das praias da região metropolitana. Esta mesma ressaca, também atingiu o litoral de vários municípios cearenses, entre eles o de Caucaia, com efeitos devastadores sobre a Praia do Icaraí, localidade já bastante erodida e que está particularmente sujeita a sofrer danos severos pelas ondas do tipo *Swell* que atingem regularmente nosso litoral entre os meses de dezembro e março de cada ano.

O presente estudo, na forma de um Parecer Técnico Ambiental, tem por objetivo principal esclarecer, a partir de critérios científicos, se a crença popular de que **“o aterro construído na Praia de Iracema em Fortaleza, no ano 2000, é o causador**

**dos processos erosivos na Praia de Icaraí, em Caucaia**". Essa crença popular se disseminou a partir da coincidência de datas de diversos eventos. O aterro da Praia de Iracema foi construído no ano 2000 e os processos erosivos na Praia do Icaraí se agravaram logo em seguida, motivando uma ligação entre os eventos, de forma intuitiva, sem nenhum estudo que comprove tal relação de causa e efeito.

A crença popular se difunde na sociedade, contagiando inclusive os gestores públicos, no caso, os eleitos para dirigir o município de Caucaia, que, preocupados com a possibilidade de ser verdade essa afirmação popular, acionaram o Ministério Público de forma a que se solicitassem estudos para comprovar ou desmitificar a hipótese de impactos erosivos na Praia de Icaraí, decorrentes dos aterros hidráulicos executados em Fortaleza. Fatos que esclareceremos ao longo desse Parecer.

Nesse Parecer apresentaremos os mecanismos de transporte de sedimentos ao longo da costa de Fortaleza e Caucaia, baseado em dados científicos, de forma a esclarecer se existe ou não ligação entre os fatos e, a partir dessa conclusão, responder ao questionamento atual do Ministério Público: **a construção do aterro da Praia do Meireles ao logo da Avenida Beira Mar e a recomposição do aterro da Praia de Iracema, obras previstas para iniciarem nesse ano de 2018, causarão impactos erosivos no litoral de Caucaia?**

O presente Parecer utilizou como informações científicas para seu embasamento dados primários produzidos pelos autores desse estudo, obtidos a partir da análise ambiental da área em estudo, e dados secundários coletados através de uma minuciosa pesquisa bibliográfica de relatórios técnicos, livros publicados, teses e dissertações defendidas, artigos em jornais de grande circulação (fatos históricos) e artigos publicados em revistas científicas nacionais e internacionais. No item Referências Bibliográficas constam todas as publicações consultadas, entretanto, vale ressaltar aqui os "autores de referência" que mais contribuíram para o estudo do litoral em análise, sendo os principais trabalhos os produzidos pelo Laboratoire Douphinois d'Hydraulique - SOGREAH (1957), publicado em 1957 com dados coletados em 1953; Raimundo Girão, livro publicado em 1959 e reeditado pela Editora da UFC em 1997; Morais (1972 e 1980); Morais e Pitombeira (1974);

Pitombeira (1976 e 1995); Maia e Morais (1995); Maia (1998); Vasconcelos et al. (2007) e Bezerra, Pinheiro e Morais (2007).

Outros documentos com dados importantes que contribuíram para aprofundar o conhecimento sobre os processos erosivos atuantes no litoral de Fortaleza foram o da Modelagem Matemática para Avaliação das Alturas de Ondas na Praia Mansa e no Futuro Terminal de Passageiros, após Dragagem no Porto do Mucuripe – Fortaleza – CE, realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidrográficas – INPH (2013); o Estudo de Impacto Ambiental – EIA do Projeto Básico de Regeneração da Praia de Iracema – Fortaleza/CE (aterro construído no ano 2000) realizado pela empresa de consultoria ambiental GEOCONSULT (2000) e o EIA da Proteção/Recuperação da Beira Mar e Praia de Iracema – Fortaleza/CE (previsão de ser executado em 2018) realizado pela empresa de consultoria ambiental GEOLÓGICA (2011).

Este conjunto de informações científicas e técnicas, de origem primária e secundária, nos permitiu analisar as consequências das intervenções projetadas para a Praia do Meireles ao longo da Avenida Beira Mar e Praia de Iracema em Fortaleza, sobre o litoral de Caucaia.

A área de estudo foi o trecho compreendido entre a Praia do Futuro em Fortaleza, bastante alterada pela construção do espigão do Titanzinho em 1963, até o Litoral de Caucaia, com especial atenção à Praia de Icaraí, a mais suscetível aos processos erosivos.

Analisamos a evolução histórica do comportamento da linha de costa, as intervenções realizadas, de forma a compreender o processo evolutivo da erosão costeira de forma diacrônica, interligando os aspectos da dinâmica costeira aos episódios de erosão no litoral ao longo do tempo. Deste modo, obtivemos as condições de fazer um prognóstico do que ocorrerá na linha de costa com a construção do aterro da Beira Mar e da Praia de Iracema, em Fortaleza.

## **2. GEOLOGIA DA ÁREA EM ESTUDO**

A partir dos estudos de diversos autores e, principalmente, observando o que está posto no EIA da Proteção/Recuperação da Beira Mar e Praia de Iracema – Fortaleza/CE, foi transcrito a seguir os aspectos da Geologia e da geomorfologia do litoral afetado pelas obras propostas.

A região do projeto insere-se numa extensa faixa sedimentar que se desenvolveu a partir da deposição de sedimentos terrígenos, ocorrida pelo final do período Terciário e início do Quaternário.

Sendo oriundos dos terrenos cristalinos, atualmente expostos na região ao sul, consistem numa sucessão de leitos e lentes de sedimentos clásticos, pouco consolidados, retrabalhados principalmente pela ação das águas superficiais e subterrâneas, constituindo a unidade litoestratigráfica denominada, segundo Braga *et al.* (Projeto Fortaleza, in GURGEL JÚNIOR, 1984), de Grupo Barreiras.

Por fim, encimando o arcabouço estratigráfico da área, foram individualizadas as coberturas Colúvios-Eluviais, Paleodunas, Dunas Móveis e Depósitos Flúvio-Aluvionares e de mangues.

A seguir será apresentada a Coluna Estratigráfica da Região Metropolitana de Fortaleza – RMF, sugerida pelo Projeto SINFOR (BRANDÃO, 1995).

| UNIDADE GEOLÓGICA |             |                | LITOLOGIA                                 |   |
|-------------------|-------------|----------------|---|---|
| CENOZÓICO         | QUATERNÁRIO | Qa             | Depósitos Flúvio-Aluvionares e de Mangues | Areias, cascalhos, siltes e argilas, com ou sem matéria orgânica, compreendendo os sedimentos fluviais, lacustres e estuarinos recentes.  |
|                   |             | Qd             | Dunas Móveis ou Recentes                  | Areias esbranquiçadas, de granulação fina a média, bem selecionadas, quartzosas, com grãos de quartzo foscos e arredondados, muitas vezes encerrando níveis de minerais pesados (principalmente ilmenita).                                  |
|                   |             | Qpd            | Paleodunas                                | Areias de coloração amarelada e acinzentada, de granulação fina a média, por vezes siltosas, bem selecionadas, de composição quartzosa ou quartzo-feldspática.  |
|                   | TERCIÁRIO   | TQc            | Coberturas Colúvio-Eluviais               | Sedimentos areno-silto-argilosos, alaranjados e/ou avermelhados, de granulação fina a média, ocasionalmente mais grosseira, com horizontes laterizados na base.   |
|                   |             | Tb             | Formação Barreiras                        | Sedimentos areno-argilosos, de coloração avermelhada, creme ou amarelada frequentemente de aspecto mosqueado, mal selecionado, com níveis conglomeráticos e matriz argilosa caulinítica com cimento argilo-ferruginoso e às vezes silicoso. |
|                   |             | T <sup>Λ</sup> | Vulcânicas Alcalinas                      | Fonolitos, traquitos, tufos e essexitos   |

### 2.1. Vulcânicas Alcalinas

Na R.M.F. foram cartografados alguns corpos sob a forma de necks ou plugs, os quais sobressaem-se topograficamente como elevações circulares e elipsoidais. Foram identificados inúmeros diques de natureza alcalina, muitas vezes sem representatividade cartográfica.

Braga *et al.* (1977) integraram os corpos alcalinos que ocorrem na folha Fortaleza (esc. 1:250.000), identificando necks e diques, com quatro variedades petrográficas, sendo fonolitos, traquitos, tufos e essexitos.

Os diques observados ocorrem encaixados em biotita-gnaisses e granitóides, apresentando semelhanças ou pequenas variações texturais.

## **2.2. Formação Barreiras**

Os estudos sobre a Formação Barreiras datam do início do século XX, quando Branner (1902) usou pela primeira vez o termo Barreiras, para indicar sedimentos inconsolidados, variegados, que ocorrem de forma contínua ao longo de toda a faixa costeira, desde o Rio de Janeiro até o Amazonas (GURGEL, 2002).

Esta unidade distribui-se como uma faixa de largura variável acompanhando a linha de costa, à retaguarda dos sedimentos eólicos antigos e atuais, e encontram-se capeados também pelos sedimentos flúvio-aluvionares ao longo dos rios e riachos. Embora constitua o embasamento (não visível) de toda a área, localmente (Praia da Volta da Jurema) também pode ser observado em afloramento na faixa de praia, com arenitos ferruginosos e conglomeráticos que constituem sua fácies basal.

O contato entre a Formação Barreiras e o embasamento cristalino faz-se por discordância angular erosiva. Sua espessura é bastante variável, decorrente do seu relacionamento com a superfície irregular do embasamento cristalino e do processo erosivo causado pelos rios e riachos, aprofundando-se em direção à costa, onde se encontra sotoposta aos sedimentos eólicos que constituem as paleodunas, sendo o contato difícil de ser marcado, devido principalmente ao lixiviamento intenso nessas áreas sedimentares, formando solos arenosos que podem ser facilmente confundidos com as dunas que se encontram rebaixadas ao nível dos tabuleiros.

Litologicamente essa sequência é representada por sedimentos areno-argilosos, não ou pouco litificados, de coloração variada de matizes avermelhados, amarelados, creme e cinza esbranquiçados, muitas vezes com aspectos mosqueados, mal selecionados, de granulação variando de fina a média, mostrando horizontes conglomeráticos e níveis lateríticos, sem cota definida, em geral, associados à percolação de água subterrânea.

A matriz apresenta material argiloso caulínico e cimento argiloso, ferruginoso ou silicoso. Aparecem ainda níveis argilosos variegados. De uma maneira geral a

interdigitação faciológica e os níveis erosivos dos paleo-canais não permitem que se estabeleça um perfil típico para essa unidade litoestratigráfica, a não ser em pontos localizados.

A unidade estruturalmente apresenta-se horizontalizada, não se distinguindo estratificação, senão um visível paralelismo entre os níveis de constituição faciológicas diferentes. Também se observando variações faciológicas no sentido horizontal. As concreções são compostas por grãos de quartzo cimentados por material ferruginoso.

De acordo com estudos de Bigarella (1973), atribui-se uma idade miocênica superior à pleistocênica para esta unidade. O caráter ambiental é admitido como predominantemente continental, cujos sedimentos foram depositados sob condições do clima semi-áridos sujeito a chuvas esporádicas e violentas, formando amplas faixas de leques aluvionais coalescentes em sopés de encostas mais ou menos íngremes. Nesta época geológica, o nível do mar era mais baixo que o atual, proporcionando o recobrimento de uma ampla plataforma (GURGEL, 2002).

No contexto regional existem diversos trabalhos sobre a Formação Barreiras, baseando-se principalmente num empilhamento de diversas unidades, como consequência da evolução do relevo, dos movimentos tectônicos e dos paleoclimas. Os trabalhos mais recentes baseiam-se em estudos palinológicos (GEOLÓGICA, 2011) indicando que o Barreiras começou a ser depositado no Mioceno; entretanto a maioria dos autores aceitam a idade como Pliocênica a Pleistocênica.

O sistema deposicional destes sedimentos tem se mostrado variado ao longo da costa brasileira, com fácies variando de leques aluviais a planície de maré.

### **2.3. Paleodunas**

As Paleodunas formam corpos de sedimentos arenosos inconsolidados distribuídos em toda zona infracosteira, inclusive na parte central do município de Fortaleza. Repousam discordantemente sobre os sedimentos do Grupo Barreiras, porém em direção ao interior formam um capeamento irregular e descontínuo. Nessa zona, o

limite entre esses sedimentos é difícil de ser marcado em mapa, sendo por isso, delimitado por contato inferido.

Representam as dunas antigas, cobertas por uma flora estável, principalmente na zona interiorana, onde possuem coloração branco-acinzentada refletindo o efeito da presença de matéria orgânica. São sedimentos eólicos mais oxidados que as dunas recentes e, em alguns locais, onde possuem espessuras elevadas, já exibem alguma compactação.

São recortadas por rios e riachos que drenam essa área, sendo por vezes, quando o nível de erosão permite, localmente encobertas pelas aluviões. Em alguns pontos, nota-se sua influência sobre a morfologia desses elementos hidrográficos, fazendo-se presente de forma acentuada sobre canais de rios e riachos.

Sua espessura varia em torno de 25 metros, atingindo valores maiores nas imediações do bairro do Papicu. Em direção ao interior acham-se rebaixadas, com progressiva diminuição na espessura, podendo verificar-se em alguns locais onde são explorados barreiros com contato brusco com a Formação Barreiras.

Constitui-se de areias com matizes amarelados, alaranjados ou avermelhados (quando muito oxidadas) e cinza-claros (quando na presença de matéria orgânica), com granulação variando de fina à média, composta principalmente por grãos de quartzo foscos. Texturalmente acham-se bem classificados, com grãos subarredondados (menores) a arredondados (maiores). São sedimentos que denotam transporte eólico, achando-se em alguns locais algo compactados.

#### **2.4. Dunas Móveis ou Recentes**

Foram assim classificadas, sobretudo, devido a aspectos morfológicos. Formam um cordão contínuo de areias secas que se desenvolvem ao longo das praias, principalmente no setor nordeste do município de Fortaleza.

As dunas recentes formam um grande, porém estreito, depósito eólico, com espessuras médias de 20 metros, chegando a cerca de 45 metros de altitude nas zonas de cristas (Figura 1). São desnudas de cobertura vegetal, o que permite uma

intensificação da ação do vento, dando curso à migração dessas dunas que se encontram assoreando cursos d'água, lagoas e o mangue do Rio Cocó.

Seus contatos em relação às unidades sotopostas parecem ser abruptos, podendo ser notado, seu contato com as aluviões (facilmente demarcado em fotografia) e com as dunas antigas, sendo esse último bastante difícil de ser marcado.

Constituem-se de areias de cores claras, comumente esbranquiçadas, de granulações finas, formadas principalmente por grãos de quartzo comumente foscos (raramente polidos), contendo raras concentrações ou leitos de minerais pesados. Texturalmente apresentam-se bem classificadas, com grãos arredondados. São sedimentos inconsolidados, associados ao ambiente marinho raso, onde não se observa a laminação da estratificação horizontal. Podem ser vistas, por vezes, nas encostas a barlaventos, marcas ondulares eólica.



Figura 1 - Formação dunar, urbanizada de forma irregular, mostrando vegetação invasora, localizada no início da Avenida Abolição com Avenida Beira Mar (Foto de 2011). A área recentemente passou por trabalhos urbanísticos pela Prefeitura Municipal de Fortaleza – PMF. Fonte: GEOLÓGICA, 2011.

## 2.5. Areias de Praia

Formam corpos de areia alongados por toda extensão da costa entre os limites de baixa maré e o início das dunas móveis, onde o nível freático das águas subterrâneas se aprofunda e as areias tornam-se secas e bem selecionadas pelo constante trabalho eólico. Nas praias a nordeste da área, a faixa de areia de praia fica caracterizada, compreendendo as partes pós-praia e antepaia (GURGEL JÚNIOR, 1984).

A primeira é a área que começa no limite de preamar e estende-se até a base das dunas, nessa área desenvolve-se uma vegetação rasteira e por vezes formam-se pequenos bancos de areia seca e lagoas freáticas. A segunda é a zona frontal entre os limites de preamar e baixa mar, denominada de estirâncio (Figura 2).



Figura 2 - Faixa de antepaia (estirâncio), na área onde será realizado o aterro, formada por areias remobilizadas pela deriva litorânea e pela ação eólica. Fonte: GEOLÓGICA, 2011.

Consistem em depósitos de areia de granulação média, às vezes grosseiras, comumente laminados e bem selecionados, formados pela ação das ondas. São

constituídos principalmente por grãos de quartzo polidos e bem retrabalhados pelas ondas, contudo aparecem com frequência grãos de feldspatos potássicos e concentrações diminutas de minerais pesados, cujo mineral opaco dominante é a ilmenita.

## **2.6. Beach Rock – Arenito de Praia**

Os *Beach Rocks* se localizam na faixa praial (Figura 3), desde a zona urbana até o Oceano Atlântico, em decorrência da erosão, sob abrasão marinha na maior extensão. Principalmente nos locais totalmente atingidos pela maré alta, ocorrem afloramentos de rocha (arenito da Formação Barreiras) na praia prejudicando a balneabilidade, mas, podendo ser localmente balizados.

A inclinação média do perfil de praia é de  $2,5^\circ$ . Entretanto, a variabilidade das marés e da energia das ondas pode provocar alterações na morfologia da face de praia (*shore face*), com surgimento de barras de areia submersas e cavidades entre elas, às vezes constituindo maceiós.

A direção e a velocidade quase constantes do vento geram um regime de ondas predominantemente do tipo *Sea*, com altura média de 0,93 m a 1,55 m, ocorrendo as menores alturas entre fevereiro e abril. Os períodos de onda variam de 4,5 a 13 segundos, com períodos máximos entre outubro e janeiro, com ângulo de incidência de aproximadamente  $30^\circ$  em relação à linha de praia. Como resultado do ângulo de incidência das ondas, existe uma fraca corrente litorânea (*litoral drift*) de sudeste para noroeste. Por sua vez, a altura e o comprimento das ondas não provocam um repuxo (*undertow*) significativo.



Figura 3 - Rocha de Praia, também chamada *Beach Rock*, representando a base da Formação Barreiras, aflorante na faixa de praia na Beira Mar de Fortaleza. Fonte: GEOLÓGICA, 2011.

Entre dezembro e fevereiro o clima de ondas costuma mudar para o tipo *Swell*, com maiores alturas, períodos e comprimentos, consequentes de sua maior energia. Quando tais ondas coincidem com marés de sizígia, a faixa praias onde ocorrem bermas é drasticamente reduzida e o repuxo pode tornar-se significativo.

A variabilidade sazonal das marés, do clima de ondas e do perfil de praia, cria variação no tipo de arrebentação das ondas, variando de deslizante (primeiro semestre) a mergulhante e colapso (segundo semestre).

## **2.7. Aluviões**

Os Aluviões constituem as faixas sedimentares, dispostas principalmente ao longo dos rios e riachos. São representados pelos materiais transportados pelas águas superficiais e depositados nos baixios de inundação, formados ao comprido dos rios e riachos, lagoas, sedimentos lacustres e de mangue.

Nos leitos dos riachos e córregos que drenam a área de cobertura sedimentar, essas aluviões (em sua maioria) provêm do retrabalhamento de arenitos argilosos dominante da Formação Barreiras; nesses locais depositam-se principalmente argilas de coloração escura. Em torno e à jusante dos reservatórios naturais, encontram-se comumente areias, argila e silte (com matéria orgânica).

Merecem destaque na área de influência as aluviões do Riacho Maceió que chegam a alcançar 50,00m de largura (com espessuras entre 2 e 5 metros), estreitando-se e tornando-se pouco espessos (0,5 a 1 metros) à medida que se afastam do litoral.

Nos ambientes estuarinos ou de planícies flúvio-marinhas formam-se depósitos siltico-argilosos, ricos em matéria orgânica, que sustentam uma vegetação de mangue. Não se restringem apenas às desembocaduras, desenvolvendo-se também nos baixos cursos dos rios até onde se faz sentir a influência marinha.

O contato de água doce com água salgada proporciona a floculação de argilas, resultando na deposição de material escuro e lamacento que aumenta a cada período de maré cheia até formar o ambiente propício à instalação dos manguezais.

## **2.8. Aspectos Gerais do Geossistema Litorâneo**

A paisagem natural analisada e abordada neste Parecer segue a taxonomia hierarquizada de Souza (1998), da qual se destacam, além do litoral, os planaltos sedimentares, sendo os seus Geossistemas constituídos pela Planície Litorânea, e o Tabuleiro Pré-Litorâneo.

A evolução morfogeológica da linha de costa ocorre desde a era Mesozóica, com o fluxo interativo de elementos variados como as embocaduras dos rios, precipitações pluviométricas, águas subterrâneas, correntes marinhas, entre outros.

A fisiologia da paisagem atual se deu com a interação desses elementos no decorrer do tempo geológico. A plataforma continental submarina e zonas litorâneas são responsáveis pela dinâmica das regiões em que estão inseridas, e diante de sua vulnerabilidade e fragilidade ambiental atraem preocupações sobre a sua degradação. Fazem-se necessárias ações que minimizem ou anulem situações

adversas a sua dinâmica ambiental. Estas ações se dão quando são propostas medidas de contenção e prevenção que viabilizem a continuidade da dinâmica natural.

Em decorrência de uma nova estruturação do litoral da Av. Beira Mar, tendo em vista a sua vulnerabilidade aos processos erosivos da ação marinha local, é entendida como melhor opção a recuperação do perfil de praia através de engorda artificial conjugada com uma estrutura do tipo molhe para contenção dos sedimentos.

Na Figura 4, a seguir, podemos observar a compartimentação da área de intervenção atual, antes das ações de reestruturação.



Figura 4 - Compartimentação da área do projeto. Fonte: GEOLÓGICA, 2011.

## 2.9. Geomorfologia da Área

Nas praias de Fortaleza, os principais agentes naturais e dinâmicos que promovem a mudança no modelado da costa são as ondas, as correntes de deriva litorânea e os ventos. A combinação destes fatores aliada à falta ou à ineficiência de planejamento integrado para zona costeira acarretou fortes mudanças na geomorfologia local.

A área onde se situa o projeto está inserida no ambiente morfológico denominado de planície litorânea, que compreende as praias, modeladas por seus campos de dunas à retaguarda, a exemplo do Morro de Santa Terezinha, recortadas por pequenas planícies aluviais, como o caso do Riacho Pajeú.

Em virtude da área em destaque não dispor de recursos hídricos de potencial energético significativo, atuam neste ambiente os processos de ação das ondas e marés, ação dos ventos e as interferências antrópicas.

A planície litorânea é dinâmica, sendo moldada e remodelada continuamente pelos ventos, marés, os fluxos de corrente marinha e atualmente por meio das obras de engenharia civil, ou obras litorâneas, como a construção do Porto do Mucuripe e os espigões (ou molhes) de contenção ao avanço da linha de preamar, construídos na costa ocidental da cidade de Fortaleza, e ainda da ocupação das dunas – que representam repositórios naturais de sedimento para as praias.

Os fluxos eólicos desempenharam papel notório no suprimento de sedimentos no entorno da Ponta do Mucuripe. Este promontório representa um marco que divide o litoral de Fortaleza em duas partes. A leste a linha de costa apresenta-se mais retilínea e constitui a fonte de sedimentos de dunas. A oeste, a costa apresenta enseada com predominância de processos erosivos em decorrência da interrupção do trajeto natural de transporte de sedimentos, por obras como o Porto do Mucuripe que reteve em seus molhes de proteção a maior parte dos sedimentos transportados pela corrente de deriva litorânea; bem como pela interrupção do *by pass* eólico do morro de Santa Terezinha que se deu com a ocupação da duna e das instalações industriais adjacentes que impediram o caminamento natural dos sedimentos.

A disposição do campo de dunas paralelo à faixa de praia, evidencia que esses sedimentos atuaram como fonte para formação desta morfologia. Essa dinâmica foi interrompida com as estruturas urbanas e edificações que foram construídas. Esse transporte de material passou a ser impedido em função desse barramento,

provocando intenso processo de deflação nessas dunas. As dunas provocavam o *bypass* de areia, contribuindo para a definição da dinâmica praial na faixa onde hoje se encontra o Porto do Mucuripe, o late Clube, a Praia do Meireles e a Praia de Iracema. O morro de Santa Terezinha, quando começou a ser impermeabilizado e fixado pela expansão urbana, impediu o transporte de areia na faixa do promontório, contribuindo para acelerar a erosão nas praias metropolitanas localizadas à oeste.

As praias se apresentam hoje com estreitas faixas de areias situadas entre os fluxos intramarés, apresentando em alguns locais uma berma extensa e em outros a inexistência dessa unidade de compartimentação morfogeológica.

A existência de campos de dunas de retaguarda pode ser observada especificamente na Praia do Futuro e nas proximidades do late Clube, na Avenida Abolição, onde as dunas da Praia do Futuro se alargam por até 500,00 metros além da linha de praia e berma, prolongando ao interior, em nítido processo de acumulação eólica, com áreas de sedimentação, corredores eólicos e áreas de soterramento do campo de dunas fixas.

As planícies flúvio-marinhas, cujo maior destaque é o Rio Cocó, principalmente referente a sua foz, encontram-se na área de influência indireta do projeto.

A faixa intermediária posterior está relacionada aos tabuleiros costeiros, onde se observa uma monotonia planar, aplainadas pelos agentes intempéricos físico-químicos, de sedimentos areno-argilosos pertencentes à Formação Barreiras. Esses tabuleiros estão recortados por pequenas redes de drenagens, oriundas de diversas lagoas, ou mesmo de afluentes dos rios que formam as planícies flúvio-marinhas e de nascentes aí localizadas, como é o caso dos riachos Maceió e Pajeú.

Nesta unidade, a urbanização é constante como processo modular do relevo, atuando desde a impermeabilização dos solos, impedindo o fluxo hídrico superficial e subterrâneo e a ruptura dos padrões naturais de modelamento geomorfológico

### **3. A Dinâmica Costeira do Litoral de Fortaleza e Caucaia**

Os dados referentes à dinâmica costeira do litoral de Fortaleza, e em especial na bacia portuária do Mucuripe, foram levantados desde a década de 1950, quando pela primeira vez o Relatório elaborado pelo Laboratório SOGREAH (1957) informa sobre direção, altura e período das ondas. Mesmo com dados aproximados, esses registros

são importantes. Dados coletados com precisão a partir da década de 1970, serão apresentados em diversos trabalhos científicos, aqui já citados anteriormente.

### **3.1. Regime de Ventos**

Os ventos têm grande importância na compreensão do sistema de transporte litorâneo de sedimentos, carreando grãos das praias em direção ao continente para formação de cordões dunares ao longo do litoral.

A importância dos campos de dunas para a manutenção do equilíbrio da dinâmica costeira só chegou a ser compreendida, e levada em conta, muito recentemente com a determinação do *bypass* de sedimentos que voltam para o sistema praias por intermédio dos próprios ventos ou pelo transporte hídrico na foz dos rios. Como pode ser visto, no histórico das obras costeiras realizadas em Fortaleza no século XIX recomendava-se fortemente a fixação de dunas como medida “necessária” ao bom funcionamento dos ancoradouros, que poderiam ser soterrados pelas areias transportadas pelos ventos. Esse é o primeiro fator, que somado a outros, ocasionarão desde então os fortes processos erosivos ao longo do litoral em estudo.

Segundo Maia (1998), citando dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME, a velocidade média dos ventos oscila entre 2,5 a 4,5 m/s com maiores valores nos meses de agosto e setembro e os menores entre março e abril de cada ano. Esses ventos têm força suficiente para iniciar os processos de deflação, carreando sedimentos para o interior do continente e formando os cordões dunares do litoral.

### **3.2. Regime de Ondas**

O Relatório do laboratório SOGREAH (1957) determinou que as ondas no litoral cearense têm direções predominante do setor oeste e sudeste e mais raramente de nordeste. As características principais das ondas, embora não tenham sido feitos estudos de longo prazo, indicam ondas modestas com altura sempre abaixo de 3,5 metros e período que raramente ultrapassa os 10 segundos.

Morais (1980) não realizou medições das ondas, mas cita dados obtidos por Occhipinti (1975) que elaborou o Projeto de Coleta, Transporte e Disposição de Esgotos de Fortaleza pelo Emissário Submarino. Occhipinti informa que a altura máxima das ondas durante um ano de medições foi de 3,4 metros com período

máximo de 10 segundos. A direção predominante nesse período foi de leste e sudeste, sendo as menos frequentes as provenientes de nordeste. Esses dados são muito semelhantes aos informados no Relatório do Laboratório SOGREAH, ou seja, não houve grandes modificações no padrão de ondas entre 1953 e 1975.

Maia (1998) realizou medidas de ondas no litoral de Fortaleza com dados coletados entre fevereiro de 1991 e março de 1992, encontrando como resultados ondas com altura significativa média de 1,15 metros e período médio de 5,89 segundos. Os valores máximos encontrados por Maia em 4 anos de medições (1991, 1992, 1993 e 1994) mostram alturas máximas de 3,45 m; 4,10 m; 3,80m e 4,00m respectivamente. Quanto aos períodos máximos das ondas, este autor encontrou 12,00s; 13,29s; 10,90s e 10,70 segundos. Os valores máximos de altura e período das ondas são muito semelhantes aos máximos encontrados nos anos de 1953 e 1975, demonstrando uma tendência de homogeneidade no padrão de ondas. Isso é de certa forma esperado, pois as ondas medidas foram geradas (e continuarão sendo) pelos ventos Alísios, que sofrem poucas variações com o tempo.

Ainda segundo Maia (1998), quando comparadas as características dos ventos com as ondas, observa-se uma forte relação entre as direções predominantes das ondas e dos ventos.

### **3.3. Regime de Marés**

Observando os dados publicados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil – DHN, temos as seguintes características médias para as marés no litoral de Fortaleza. De acordo com a Tábua das Marés para o Porto do Mucuripe no ano de 2018 (DHN, 2018) as marés variam de uma máxima de maré baixa de -0.1 metros até uma máxima de maré alta de 3.2 metros, com amplitude máxima de 3.3 metros.

A maré é do tipo semidiurna com período médio de 12 horas e 24 minutos, e nível médio do mar de 1.55 metros. O dado do nível médio do mar é muito importante, pois se comparado com médias de anos anteriores pode indicar a existência, ou não, de subida do nível do mar. Na maioria dos litorais de todo o mundo, o nível do mar tem subido sistematicamente nos últimos 300 anos, conforme dados de marégrafos instalados em vários países.

O nível médio do mar subiu, em média, 30 cm no século XX, aproximadamente 15 cm no século XIX e 12 cm no século XVIII, acumulando uma subida média de 67 cm em 3 séculos, conforme vasta literatura científica baseada nos registros de vários marégrafos centenários, como os dos Portos de Amsterdã nos Países Baixos, de Brest na França e de Swinnoujscie na Polônia. Na Figura 5, apresenta-se o gráfico da evolução do nível do mar nos últimos 300 anos, calculado a partir de dados registrados nesses marégrafos. É possível observar que nos 3 portos a maré subiu de forma contínua no período estudado, com tendência de elevação mais acelerada incidindo no século XX.

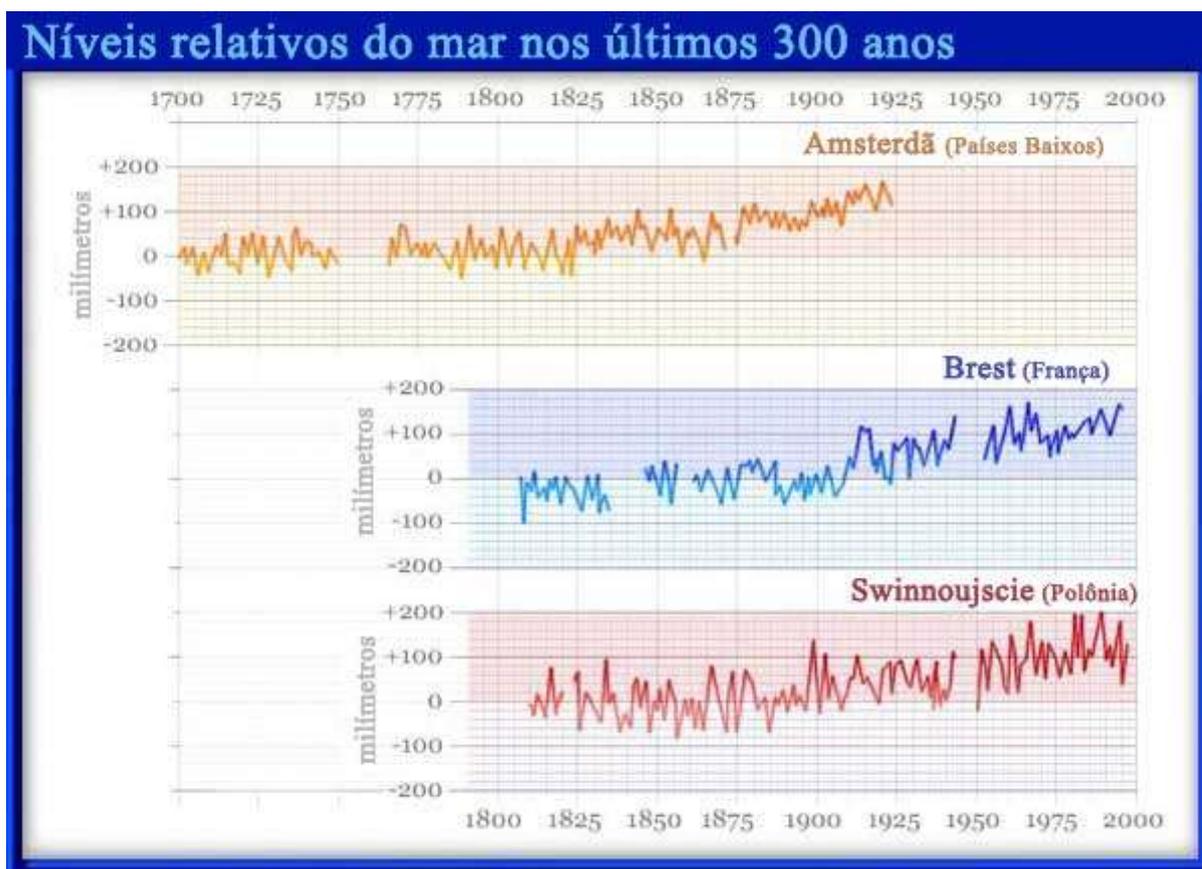


Figura 5 – Elevação recente do nível do mar. Fonte: adaptado de Paskoff, 2001.

Vasconcelos (2009) calculou o valor da média das preamares máximas (Média das marés de sizígia) das marés em Fortaleza através da observação dos registros do Marégrafo Digital do Porto do Mucuripe no período de 01 de janeiro de 2005 a 30 de junho de 2009 e obteve um valor igual a 3,093 metros. Esse autor calculou também a elevação do nível médio do mar para o Porto do Mucuripe a partir da observação da primeira Carta Náutica Nº 701 do Porto do Mucuripe, editada pelo Serviço Geográfico do Exército – Departamento Nacional de Portos e Navegação, publicada no ano de

1945, com dados atualizados até o ano de 1944. Em 1945 o nível médio do mar em Fortaleza era de 141 cm. Comparando esse nível com o atual, contido na Tábua de Marés para a mesma Carta Náutica Nº 701 do Porto do Mucuripe para o ano de 2018, publicada pela DHN, vemos que o nível médio do mar é de 155 cm, ou seja, 14 centímetros acima do nível de 1945. O mar subiu 14 cm em 73 anos.

Importante ressaltar que quanto mais elevado o nível do mar, maiores são os processos erosivos no litoral. Uma subida de 14 cm no nível da água pode representar algumas dezenas de metros de avanço do mar sobre a costa, dependendo apenas da inclinação da praia. Esse é outro fator que contribui para a ocorrência de processos erosivos na Praia do Icarai.

### **3.4. Transporte de Sedimentos pela Corrente de Deriva Litorânea**

Segundo o trabalho de Morais (1980), o transporte de sedimentos em Fortaleza é de dois tipos: o transporte litorâneo e o transporte frontal. O transporte litorâneo é sem dúvida, o mais importante, sendo realizado pelas ondas que incidem obliquamente a costa, gerando uma corrente paralela à praia denominada corrente de deriva litorânea. Em Fortaleza essa corrente transporta sedimentos de leste para oeste, obedecendo à direção predominante das ondas, transportando sedimentos da Praia do Futuro até o litoral de Caucaia, na face praiar e na antepraia de forma paralela à linha de costa. O segundo transporte é o frontal, transportando sedimentos perpendicularmente à praia. Esse transporte é oriundo das ondas que incidem diretamente na praia e levam sedimentos da praia para o largo, e vice-versa, criando perfis de engordamento no verão e perfis erosivos no inverno que, sem interferência externa, normalmente se mantêm em equilíbrio ao longo do ano.

A construção de obras costeiras perpendiculares à linha de costa influencia diretamente no transporte litorâneo, barrando ou desviando a corrente de deriva litorânea, provocando assoreamento em algumas áreas e erosão costeira em outras; esse foi o caso da construção do Porto de Mucuripe e do espigão do Titanzinho, causa principal da erosão costeira que se produziu no litoral de Fortaleza, e posteriormente em Caucaia, como veremos mais à frente.

Maia (1998) mediu as correntes ao longo do litoral de Fortaleza com correntômetros posicionados em sete estações conforme localização apresentada na Figura 6. As correntes foram medidas nas duas estações climáticas, no verão - entre os meses de

setembro e novembro - e no inverno - entre os meses de março e maio. O equipamento foi instalado a 1 metro de profundidade e cobriu ciclos completos de maré de sizígia e quadratura.

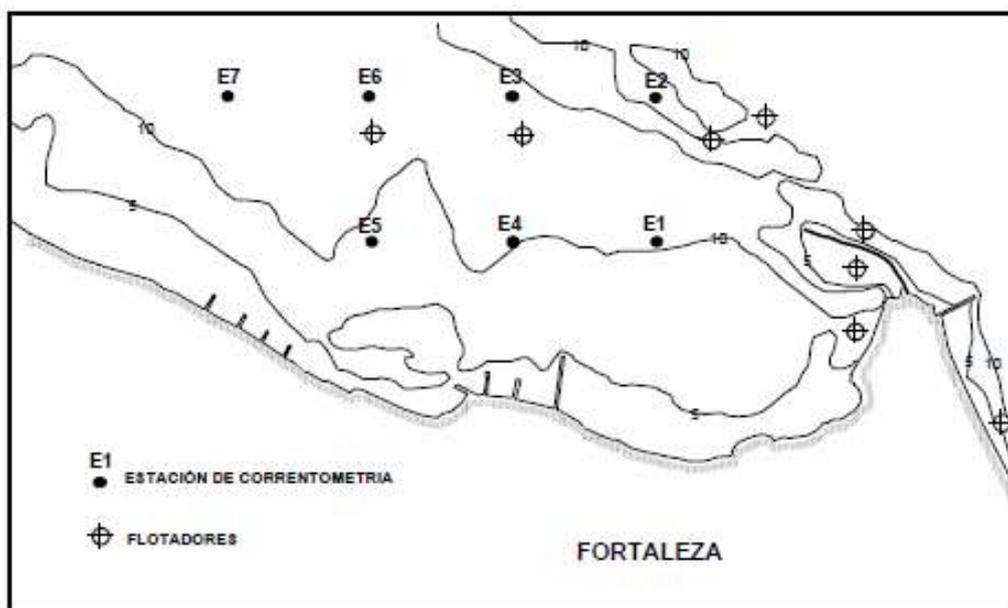


Figura 6 – Localização das estações de medições das correntes costeiras. Fonte: Maia, 1998.

As campanhas de medição das correntes superficiais mostram que o valor da velocidade variou no período de verão entre 0,22 e 0,68 m/s, com um valor médio de 0,34 m/s; entretanto no período de chuvas a velocidade média é ligeiramente inferior, com 0,25 m/s. Ao longo do período estudado, a velocidade da corrente superficial apresenta uma boa correlação com a velocidade do vento registrada simultaneamente.

Quanto às direções encontradas para as correntes, observa-se que há uma predominância de corrente superficial na direção WNW, paralela à linha de costa, com variação entre WSW e NNW.

As Figuras 7 e 8 apresentam as direções predominantes das correntes ao longo do litoral de Fortaleza, segundo Maia (1998).

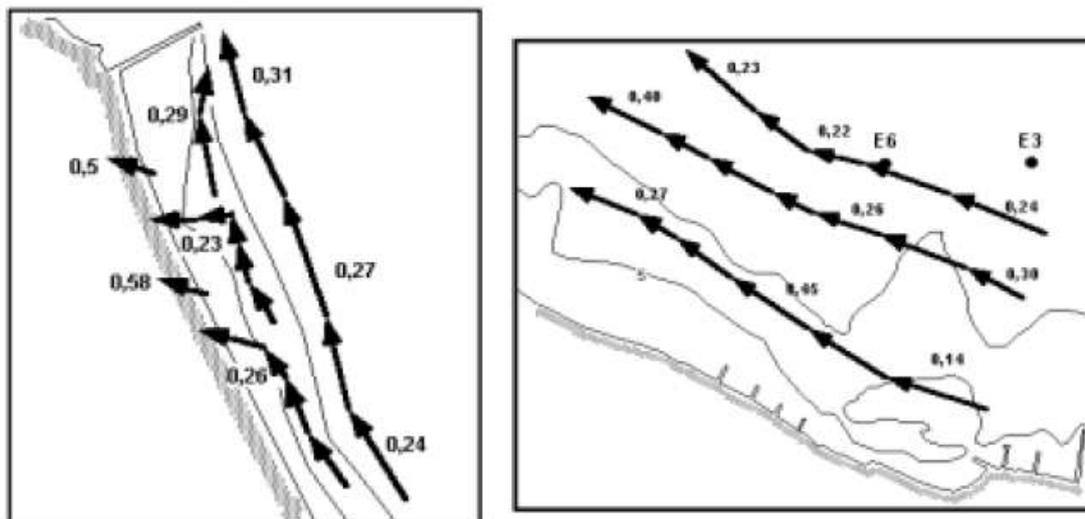


Figura 7 – Direção das correntes na Praia do Futuro (desenho à esquerda) e nas Praias de Iracema e Pirambu (desenho à direita), em Fortaleza. Fonte: Maia, 1998.

Observa-se na Figura 7 que na Praia do Futuro as correntes litorâneas que transportam os sedimentos caminham paralelas à praia até serem barradas e desviadas pelo espigão do Titanzinho. Esse barramento provoca a deposição de sedimentos, engordando a área de praia. Uma parte das correntes desvia do espigão e caminha em direção à Ponta do Mucuripe.

Na Praia de Iracema e no Pirambu as correntes se deslocam paralelas à linha de costa, transportando os poucos sedimentos que escaparam do aprisionamento na Praia do Titanzinho, na bacia portuária e nos bancos costeiros (como veremos mais à frente).

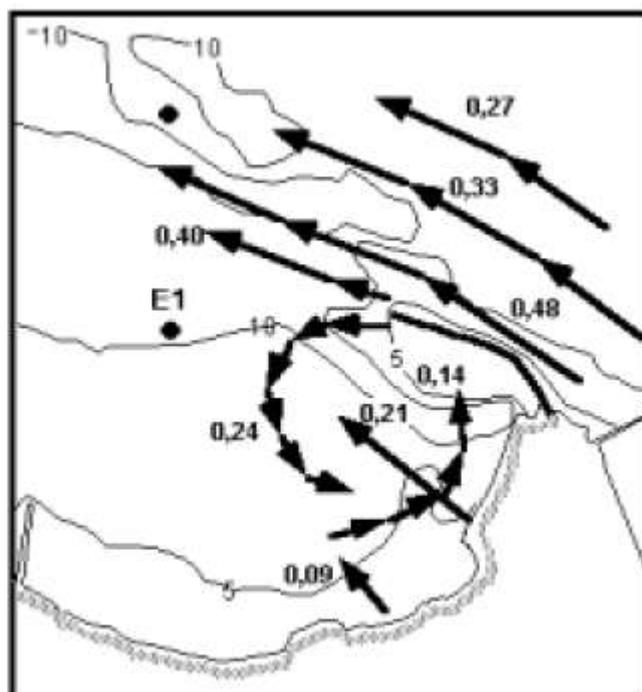


Figura 8 – Trajetória das correntes superficiais no Porto do Mucuripe. Fonte: Maia, 1998.

Na Figura 8 observamos os impactos da construção do molhe do Porto do Mucuripe, na direção das correntes e no processo deposicional de sedimentos. Parte das correntes continua seguindo na direção NWN, alimentando os bancos de areias com sedimentos provenientes da Praia do Futuro. Esses sedimentos, antes da construção do Porto do Mucuripe, contornavam a ponta rochosa e seguiam seu caminhamento para o litoral oeste, alimentando as praias de Meireles, Iracema, Pirambu, Sabiaguaba em Fortaleza, e, na sequência, as praias do Município de Caucaia, Dois Coqueiros, Iparana, Pacheco e Icaraí. Na Figura 8 observamos ainda o desvio de parte das correntes litorâneas para o interior da bacia portuária, causado pela difração das ondas no molhe do Porto do Mucuripe.

A Figura 9 apresenta a modificação das ondas provocadas pela difração causada pela ponta do molhe do Porto do Mucuripe (Morais 1972; Pitombeira, 1976). Esse desvio das correntes provoca a deposição de sedimentos na bacia portuária, diminuindo as profundidades e ocasionando o surgimento do banco de areias denominado de Praia Mansa.



Figura 9 – Difração das ondas no molhe do Porto do Mucuripe. Fonte: Moraes, 1972; Pitombeira, 1976.

Os sedimentos depositados nos bancos costeiros e na bacia portuária contribuem (somados à fixação do campo de dunas e à elevação do nível médio do mar) para um desequilíbrio sedimentar nas praias a jusante do complexo portuário, iniciando os processos erosivos já em 1946 na Praia de Iracema (Moraes, 1980).

Maia (1998) realizou dois cálculos para o volume de sedimentos transportados pela corrente de deriva litorânea no litoral de Fortaleza, a partir da Praia do Futuro: pelo método da estimativa direta, determinou que são carregados em média 855.000 m<sup>3</sup>/ano de areias e, pelo cálculo através da batimetria, com um valor muito semelhante, com 881.000 m<sup>3</sup>/ano. Deste modo, Maia faz uma média e estima que o volume de sedimentos transportados longitudinalmente pela corrente de deriva litorânea é de aproximadamente 860.000 m<sup>3</sup> por ano.

A corrente de deriva litorânea transporta, em média, 860.000 metros cúbicos de sedimentos por ano, valor significativo para o equilíbrio do balanço sedimentar das praias situadas a oeste do Porto do Mucuripe. Mais adiante será apresentado um cálculo estimado, mas muito significativo, da soma dos volumes de sedimentos depositados na Praia do Titanzinho, nos bancos costeiros, na Praia Mansa e na bacia portuária (retirados por dragagens), o que mostrará que a quase totalidade desses sedimentos que transitam da Praia do Futuro para as praias situadas a oeste não consegue transpor as barreiras do sistema portuário do Mucuripe.

Essa é a principal causa da erosão costeira em Fortaleza e, na sequência do sentido da corrente de deriva litorânea, ocorrerá diacronicamente nas praias de Caucaia, mas, infelizmente, não é a única causa. Não se deve negligenciar o papel significativo que teve a interrupção do transporte de sedimentos pelo *bypass* eólico das dunas do Mucuripe, fortemente urbanizadas a partir da década de 1960, como será mostrado a seguir.

Ressalta-se também uma omissão decenal do poder público, desde o início da construção do Porto do Mucuripe em 1939, passando pela forte urbanização, principalmente entre 1960 e 1980, quando Fortaleza saltou de 470.000 para 1.900.000 habitantes, em não adotar mecanismos que pudessem minimizar ou reverter parcialmente o déficit de aporte sedimentar resultante das obras do porto e da ocupação das dunas do Mucuripe, que agravaram os problemas de erosão costeira nos litorais de Fortaleza e Caucaia.

### **3.5. Bypass Eólico na Ponta do Mucuripe**

A ação dos ventos Alísios ao longo do litoral de Fortaleza impulsiona os sedimentos em direção ao litoral, formando cordões litorâneos com extensão de 2 a 3 km dentro do continente.

Na ponta do Mucuripe e na foz do rio Ceará, parte desses sedimentos voltavam para o sistema praias, por *bypass* eólico no Mucuripe e *bypass* hídrico no rio Ceará.

As ações de fixação de sedimentos das dunas do Mucuripe associadas ao forte processo de urbanização da cidade de Fortaleza reduziram a zero o transporte de sedimentos pelos dois *bypass* existentes ao longo do nosso litoral.

Na Figura 10, visualizam-se as dunas do Mucuripe em 1958 e em 2008, com diferença de 50 anos entre as duas imagens.

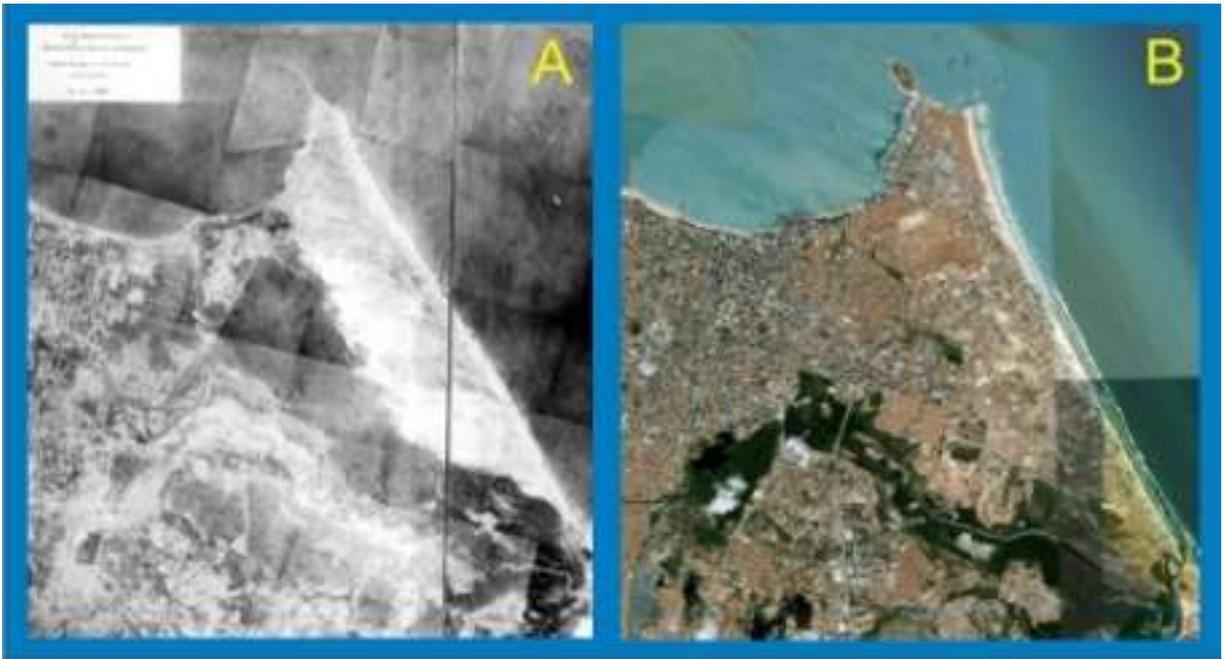


Figura 10 – A) Praia do Futuro e ponta do Mucuripe 1958; B) Praia do Futuro e ponta do Mucuripe 2008. Fonte: Rebouças, 2010.

Na imagem de 1958, observa-se o intenso transporte de areias da Praia do Futuro para a Praia do Mucuripe e Meireles, garantindo o equilíbrio dinâmico do transporte de sedimento. Como pode ser visto nos documentos históricos relatados a seguir, o *bypass* eólico da Praia do Futuro para as Praias do Mucuripe e Meireles era visto, no século XIX e no início do século XX, como um fator negativo para a manutenção dos ancoradouros de Fortaleza, pois o aporte de sedimentos contribuía para o assoreamento das pequenas estruturas portuárias existentes à época.

Fechine (2007) afirma que em Fortaleza a migração das dunas ocorreu ao longo da história antiga da cidade (séculos XIX e XX). Nas primeiras plantas urbanas elaboradas por Silva Paulet (1813) e nas plantas de Adolfo Herbster (1859; 1875; 1888), foram registrados o substrato arenoso e os morros bordejando a linha de praia. No século XX, Hawkshaw (1909) relata a mobilidade de areia na “Ponta da Areia” a barlamar do Morro Marajaitiba, que seria a foz do rio Pajeú. Na descrição de Leme (1943: 314), as dunas cavalgavam sobre o tabuleiro no trecho entre a foz do rio Cocó e a Ponta do Mucuripe. As dunas avançavam na direção da enseada do Mucuripe, da praia do Meireles e da Prainha, apresentando uma cobertura eólica variável em torno de 17,5 m a 50,0 m de altitude com 3 km de comprimento. Os mapas, os registros de Hawkshaw (1909) e a observação de Leme (1943) apresentam evidências do transporte eólico do setor SE/NO para o L/O.

Pelo menos quatro relatórios oficiais, entre 1859 e 1910, indicam a mobilidade das dunas como inconvenientes para obras portuárias e, por conseguinte, como obstáculo para o desenvolvimento da cidade. Estes relatórios recomendam a construção de estruturas rígidas costeiras e o plantio para a fixação das areias. No primeiro, de 1859, o técnico francês Pierre Florente Berthot recomenda a construção de uma muralha no bairro Meireles, a fim de obstar a marcha das areias e, igualmente, o revestimento das dunas com determinado tipo de grama e outros vegetais adequados.

No segundo relatório, em 1871, o engenheiro cearense Zózimo Bráulio Barroso aconselhou a fixação imediata das dunas do Mucuripe, ou seja, do grande reservatório de areia que vinha inutilizando as pontes utilizadas para embarque portuário, construídas na área central, em frente à Alfândega, desde 1820. O terceiro relatório, em 1875, sugeriu a fixação das dunas através de um plantio conveniente para impedir o assoreamento do porto. O quarto relatório, em 1910, refere-se ao plano do engenheiro Manuel Carneiro de Souza Bandeira, reafirmando a intensificação do plantio de grandes extensões de grama nos Morros do Mucuripe, bem como de uma área entre o Farol e o Rio Cocó.

Os relatos feitos nesses documentos históricos indicam o que foi afirmado anteriormente: o *bypass* de sedimentos por via eólica constituía-se em um “problema” para os ancoradouros existentes. Não havia a compreensão da importância desse aporte de sedimentos para o equilíbrio das praias situadas a oeste da Ponta do Mucuripe. A fixação do campo de dunas realizada, desde o século XIX, contribuiu para a diminuição do aporte de sedimento que alimenta as praias de jusante. A fixação completa dos sedimentos das dunas do Mucuripe e da Praia do Futuro se concretiza com o intenso processo de ocupação ocorrido entre as décadas de 1950 e 2000, com processo extremamente acelerado entre 1960 e 1980, conforme mostra a Figura 10.

A eliminação do *bypass* eólico de sedimentos da Praia do Futuro para as praias situadas a oeste é mais um fator que se soma aos demais que causaram os intensos processos erosivos ao longo do litoral de Fortaleza, e posteriormente em Caucaia.

Vários autores, entre eles, Moraes (1972; 1980), Pitombeira (1976), Valentini (1994), afirmam que o transporte eólico tem importância relevante no balanço sedimentológico do litoral de Fortaleza e de Caucaia, principalmente quando associado à dinâmica da corrente de deriva litorânea. A fixação das dunas com a

interrupção desse caminamento natural de sedimentos eólicos alimentando a corrente de deriva litorânea tem, ainda hoje, papel primordial na aceleração dos processos erosivos do litoral de Fortaleza e de Caucaia.

### **3.6. Bypass Hídrico do Rio Ceará**

Da mesma forma que ocorria na Ponta do Mucuripe, os sedimentos que formavam as dunas na Barra do Rio Ceará também fazem um *bypass* para as praias de oeste (Dois Coqueiros, Iparana, Pacheco, Icaraí etc.), mas nesse ponto o transpasse é hídrico. Os sedimentos são lançados no Rio Ceará que os transporta para sua foz, onde se acumulam e são incorporados ao transporte da corrente de deriva litorânea, alimentando as praias situadas a oeste, no município de Caucaia.

A Figura 11 apresenta o comparativo da urbanização do litoral de Fortaleza entre 1968 e o ano 2000. Observando a porção oeste da cidade de Fortaleza, na margem direita do Rio Ceará, é possível ver a presença de vastos campos dunares, ainda resistindo em 1968 ao processo de intensa ocupação urbana. Os sedimentos dunares ainda faziam o *bypass* hídrico alimentando as praias a oeste, no Município de Caucaia.

## FORTALEZA 1968/2000



Figura 11 – Ocupação urbana do litoral de Fortaleza entre 1968 e 2000. Fonte: Vasconcelos *et al.*, 2007)

Na imagem do ano 2000, observa-se a intensa ocupação humana na porção oeste de Fortaleza, cobrindo o campo de dunas quase que integralmente, restando apenas um pequeno fragmento dunar próximo ao Rio Ceará, mas completamente “ilhado” pelas construções de moradias, o que impede sua mobilização. O *bypass* hídrico no Rio Ceará, assim como o eólico na Ponta do Mucuripe, foi reduzido a um volume sedimentar igual a zero.

O impedimento do *bypass* hídrico é mais um fator de diminuição do aporte sedimentar para as praias do Município de Caucaia, que somado aos outros fatores provoca fortes processos erosivos nessa faixa do litoral. Infelizmente o Rio Ceará possui baixa energia em sua carga hídrica, não transportando sedimentos do continente que possam equilibrar, ou compensar, a perda de sedimentos pela interrupção do *bypass* hídrico. Outro fator que pode ser observado é que a calha do Rio Ceará está mais rasa, formando bancos de sedimentos que a aterram, devido exatamente à falta de energia hidráulica para transportar os sedimentos em direção à foz, que se incorporariam à deriva litorânea. Esse fato contribuiu para a diminuição da sedimentação das praias a oeste e não atenua os processos erosivos.

## 4. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DAS INTERVENÇÕES NO LITORAL DE FORTALEZA

### 4.1. Intervenções até 1939

As análises das intervenções no litoral de Fortaleza até o ano de 1939, época em que se iniciou a obra de construção do Porto do Mucuripe, estão relatadas em grande riqueza de detalhes no livro Geografia Estética de Fortaleza, do historiador Raimundo Girão, publicado em 1959 e reeditado pela Editora da UFC em 1997. Os demais trabalhos publicados sobre esse período da história de Fortaleza têm como fonte principal esse autor. Serão transcritos, na sequência, trechos desta obra e comentados os fatos ocorridos até 1939, ressaltando os impactos sobre a dinâmica costeira, e principalmente a influência sobre os processos erosivos do litoral de Fortaleza e Caucaia.

O primeiro registro de intervenção na linha de costa foi a obra que o primeiro Governador da Capitania Siará Grande, Bernardo Manuel de Vasconcelos, que governou o Ceará de 1799 a 1802, fez construir e ergueu três bateiras, precariamente armadas, na enseada do Mucuripe. Essa foi a primeira tentativa de construção de um ancoradouro no litoral de Fortaleza, que apresentava dificuldade de comunicação entre a praia e a cidade, principalmente em maré cheia.

Por força de uma provisão da Junta da Real Fazenda, o que se deu foi o deslocamento das operações portuárias para a praia contígua à vila de Fortaleza, na Praia de Iracema, mandando-se construir aí um trapiche próprio para o desembarque de mercadorias transportadas pelos navios. Em dezembro de 1805, foram iniciadas as obras, que beneficiariam a vila e o comércio local.

Nessa mesma localidade, outro trapiche foi construído, mais tarde, pelo inglês Henry Ellery, o chamado trapiche do Ellery, a que se referem os historiadores e cronistas, e que estava localizado na Prainha. Tais obras, entretanto, somente foram concluídas e entregues no dia 21 de junho de 1857. Tal trapiche tinha 700 palmos de extensão por 80 de largura, com uma casa de madeira no centro, mas que sem demora se deteriorou.

A Resolução Imperial nº 838, de 2 de outubro de 1857, autorizou a Presidência da Província a despender o que fosse preciso com estudos para o melhoramento do Porto de Fortaleza. Em virtude dessa autorização, veio, e chegou em 7 de julho de

1858, a esta capital o técnico francês Pierre Florent Berthot, e a 14 de setembro do ano seguinte entregou ao governo uma Memória contendo o desenho do porto de Fortaleza e os pontos de um projeto para melhorá-lo. Propunha a elevação do recife do ancoradouro, a construção de um cais e algumas escavações. Lembra a construção de uma muralha em Meireles e a fixação das dunas como citado anteriormente.

Como podemos observar a fixação das dunas do Mucuripe tiveram início na metade do século XIX, diminuindo o aporte de sedimentos para as praias a jusante. Outra medida que interferiu na dinâmica costeira foi a construção da muralha na praia do Meireles, para impedir o transporte de sedimentos pela corrente de deriva litorânea.

Girão (1959; 1997) relata a existência de outro projeto, elaborado pelos Dr. Paulo José de Oliveira e Francisco Ferreira Borges, que consistia em altear o mesmo recife (Praia do Meireles), construir um cais ao longo do litoral e romper um canal entre o recife e a praia, para evitar a acumulação das areias. Nesse projeto surge pela primeira vez a ideia de deixar o caminamento dos sedimentos livres, para não afogar a bacia portuária com as areias transportadas, sendo apenas essa a intenção; não havia o entendimento, nem a preocupação que o impedimento do transporte litorâneo pudesse ocasionar processos erosivos nas praias de oeste.

O engenheiro cearense Zózimo Bráulio Barroso foi encarregado de estudar e projetar o melhoramento do Porto de Fortaleza e apresentar ao Ministro da Marinha, por cuja repartição corria o serviço de melhoramento de portos, um Relatório, aconselhando a fixação imediata das dunas do Mucuripe, o grande reservatório de areia que vinha inutilizando as pontes de embarques construídas em frente à Alfândega desde 1820. No seu estudo, além de aconselhar o imediato trabalho de fixação das areias, ele indicava a conveniência de mudar-se o porto para a ponta do Mucuripe, ligando-se o porto projetado à Alfândega por meio de uma pequena estrada de ferro.

Sobre esse momento da história da cidade, duas observações devem ser feitas: a primeira é a insistência em fixar as dunas do Mucuripe, sem nenhuma preocupação com os processos erosivos que poderiam ocorrer; e a segunda é o fato de que, pela primeira vez, se cogita a instalação do porto na enseada do Mucuripe. Essa ideia será bastante discutida no meio técnico e político da sociedade cearense nas décadas seguintes, até a decisão final de se construir o porto na ponta do Mucuripe e não Praia de Iracema.

Em 1875 o engenheiro John Hawkshaw apresenta um relatório, que ficou conhecido como “Relatório Hawkshaw” (seu teor encontra-se na Revista do Instituto do Ceará, v. 23, pp. 183-188), e contém muitos detalhes interessantes sobre as obras costeiras de Fortaleza, e apresenta opinião sobre onde se construir um porto na cidade. “Se a costa do Ceará fosse completamente desabitada — afirmou — e se tratasse da escolha do melhor porto, é indubitável que Mucuripe seria o preferido”. Mas adverte:

“Entretanto, o Ceará (Fortaleza) representa um centro comercial, a cidade, ... já existe e dispendeu-se considerável capital em armazéns, prensas de algodão, repartições e edifícios para o comércio. É por isso que a Associação Comercial do Ceará tem toda razão de opor-se à mudança do porto para Mucuripe. Penso que mui importantes melhoramentos podem e devem ser feitos no porto atual, portanto não recomendo a construção da obra no Mucuripe”.

E sugere:

“Aconselho que execute-se o quebra-mar indicado no plano anexo a este relatório. Esse quebra-mar deve ser construído, na face interna, de maneira a servir de cais ao longo do qual os navios possam carregar e descarregar. Deve estabelecer-se uma via férrea singela, munida dos competentes desvios. O quebra-mar ligar-se-á ao litoral por meio de um viaduto aberto fundado em estacas de parafuso e será construído de blocos de concreto”.

A muralha de Hawkshaw foi construída e, segundo Morais (1980; p.150)

“A medida que a construção da muralha era efetuada um forte assoreamento ia se processando, chegando a formar uma restinga ao longo do lado leste da muralha enquanto um banco de areia enchia completamente a bacia. Em 1899 essa muralha tinha 350 metros e fez recuar a linha de baixa-mar, antes a 130 m da avenida para 350 m da mesma, isto é, 400 m para o mar”.

Esse fato demonstra que era muito intenso o transporte de sedimentos ao longo das praias do Meireles e Iracema, e que o seu barramento provoca assoreamento intenso.

Hawkshaw se preocupa com o embate político entre a melhoria do Porto de Fortaleza ou a construção do Porto do Mucuripe, mas suas preocupações vão mais além, quando conclui:

“O antigo molhe deve ser removido, a fim de permitir passagem às areias e não convirá construir molhes perpendicularmente ao litoral. Se o cais que proponho for insuficiente, poderá construir-se um molhe paralelo a ele, ou então será melhor da maior extensão ao cais... Recomendo um viaduto aberto no começo do quebra-mar, para facilitar a passagem das areias; é provável, porém, que apesar disso,

formem-se depósitos no ancoradouro; e nesse caso dragagens regulares e periódicas darão ao porto a necessária profundidade”

Como é possível observar, o transporte de sedimentos pela corrente de deriva litorânea sempre foi intenso no litoral de Fortaleza (lembrando que Maia (1998) calculou em 860.000 m<sup>3</sup>/ano), causando transtornos às atividades portuárias. Deixar livre o caminamento das areias seria bom para o porto, mas principalmente, teria evitado os fortes processos erosivos ao longo do litoral com prejuízo aos patrimônios público e privado.

Ficou a cargo do engenheiro Domingos Sérgio de Sabóia e Silva estudar outra fórmula capaz de facilitar, pelo menos, o movimento de volumes e pessoas no porto de Fortaleza. Ao tempo do Governo Campos Sales, ele foi encarregado de organizar o projeto que apenas resultou na construção de um trapiche, levantado em frente ao novo edifício da Alfândega. Era um viaduto com estrutura de ferro e piso de madeira, a chamada ponte metálica, cuja construção, iniciada em 18 de dezembro de 1902, somente foi entregue ao tráfego em 26 de maio de 1906.

O transporte de mercadorias e passageiros era feito da Ponte Metálica para os navios ancorados ao largo da enseada do Mucuripe e vice-versa, sendo efetuado por lanchas, alvarengas e botes. Por cerca de 20 anos ela prestou serviços, mas deteriorando-se gradativamente, foi reconstruída a 24 de fevereiro de 1928, pelo Engenheiro Francisco Sabóia de Albuquerque.

O projeto seguinte para um Porto em Fortaleza foi o de Sousa Bandeira, incorporado ao projeto Hawkshaw, e que aproveitava as linhas gerais. Pelos estudos do regime a quem então procedeu, compreendeu Sousa Bandeira a importância e imprescindibilidade dos trabalhos de fixação de dunas. Intensificando-se, por isso, o plantio de grandes extensões de grama nos morros do Mucuripe, bem como de uma grande extensão de área compreendida entre o Farol e rio Cocó. Pela primeira vez o problema foi posto em seus devidos termos.

Observa-se aqui que o problema do transporte de sedimentos por *bypass* eólico da Praia do Futuro para o Mucuripe e Meireles que causava problemas aos ancoradouros de Fortaleza foi enfrentado com rigor, entretanto, não se atentou para suas consequências para o equilíbrio sedimentar das praias de jusantes, localizadas na porção oeste do litoral de Fortaleza, e futuramente no litoral de Caucaia.

O Projeto do Porto de Fortaleza foi elaborado sem que Sousa Bandeira houvesse, previamente, feito os indispensáveis estudos, pois que resultara a decisão de sua construção de um momento emergencial. O Projeto Lucas Bicalho tinha como elementos fundamentais uma muralha de 294m em pleno oceano, à profundidade de 10m abaixo da maré mínima e à distância de 800m da praia, ligando o citado molhe-ilha, que seria o ancoradouro, a terra firme, por um viaduto. Tal muralha seria protegida por um quebra-mar exterior, de 420m, contra a arrebatção das ondas. Na área do molhe, de 55m de largura, seriam levantados dois abrigos de 80 X 12m e as demais instalações suplementares. Em última análise, constituía o porto mero complemento do Projeto Sousa Bandeira, com a agravante de estar já agora inexequível. Como outro detalhe, diga-se que o viaduto, de 800m, ligando o molhe à praia, deveria ser montado sobre estacas de cimento armado, espaçadas, para dar-se livre curso ao movimento do mar, sempre revoltado, evitando-se, dessa forma, o tão receado assoreamento. Na Figura 12 Maia (1998) compilou em uma carta as duas soluções propostas para o porto em Fortaleza.

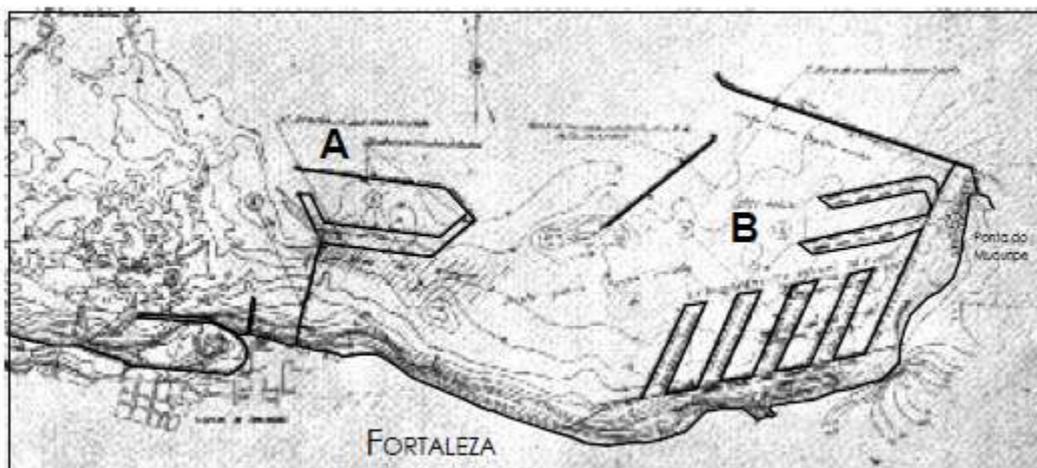


Figura 12 – Soluções propostas para o porto. A – Porto de Fortaleza; B – Porto do Mucuripe  
Fonte: Maia, 1998.

Na proposta do Porto de Fortaleza, havia a preocupação de que o cais e o molhe de proteção fossem localizados *off shore*, deixando a zona de rebentação livre para o transporte de sedimentos, evitando assim os processos de assoreamento que são recorrentes no Porto do Mucuripe (como veremos mais adiante).

Infelizmente, do ponto de vista do transporte de sedimentos e da erosão costeira que se abateu sobre o nosso litoral, a proposta do Porto de Fortaleza não prosperou,

devido principalmente ao fato de que tornaria a área da Praia de Iracema uma região portuária, com moinho de trigo, tanque para estocagem de petróleo e derivados, indústrias de processamento de pescado etc. (que foram instaladas no Mucuripe). A sociedade fortalezense, representada pela sua classe política, decidiu não construir o Porto em Fortaleza, deixando a Praia de Iracema destinada ao uso da população para lazer e recreação. Os tomadores de decisão, por desconhecimento técnico, não sabiam que a construção do Porto do Mucuripe desencadearia um processo erosivo que destruiria em primeiro lugar a Praia de Iracema.

O embate político se acirra e a proposta do Porto do Mucuripe ganha força com o Projeto do Dr. Hor Meyll, que de posse dos dados da planta hidrográfica levantada em setembro de 1929 pelo Eng<sup>o</sup>. Luis Aires Porto Carreiro, com a cooperação do topógrafo João Machado, elaborou esse projeto em janeiro de 1930. Consiste essencialmente este projeto — em suas palavras mesmas — na construção de um cais acostável disposto paralelamente ao litoral com 1.050m de comprimento, protegido por um quebra-mar de pedra que, partindo da ponta do Mucuripe, se dirige par NO com cerca de 1500m de extensão.

A discussão entre construir o Porto de Fortaleza ou Porto do Mucuripe avança com a publicação de uma carta de Miranda Carvalho no Jornal Correio do Ceará, em 17 de novembro de 1932, com fortes argumentos a favor da continuidade das obras do Porto de Fortaleza (Projeto Bicalho).

Nada obstante, o projeto Miranda Carvalho é aceito pelo Diretor do Departamento Nacional de Portos e Navegação, Engenheiro Oscar Weinschenk, e ratificado pelo Decreto federal nº 23.605, de 20 de dezembro de 1933, em cuja conformidade “ficam aprovados o projeto e seu orçamento ... para a construção do Porto de Fortaleza, no Estado do Ceará, em substituição aos aprovados pelo Decreto nº 14.555, de 17 de dezembro de 1920, revogadas as disposições em contrário”.

A aprovação oficial do projeto do Porto de Fortaleza causou a mais forte reação, entre outros, o corajoso discurso do então Deputado Dr. Humberto de Andrade, na Câmara Federal, alertando as autoridades competentes para o erro do abandono, assim inesperadamente, da solução Porto do Mucuripe, já tão suficientemente analisada e aconselhada como a melhor.

Girão (1959; 1997) relata que sob a pressão dos fatos, concordou o Engenheiro Oscar Weinschenk em fazer voltar o projeto do Porto de Fortaleza, isto sem deixar de

declarar que na sua exposição ao Ministro ficara “explícita a superioridade do Mucuripe como solução portuária”, mas que optara pela solução Fortaleza, porque se convencera da inexecutabilidade financeira da obra.

A revisão do projeto aprovado foi despachada pelo Ministro Marques dos Reis em abril de 1937, e agora o caso ficaria sob a responsabilidade mais imediata do Engenheiro Frederico César Burlamáqui, que iria solicitar conselhos do experiente Laboratório de Hidráulica de Grenoble (SOGREAH), na França, que seriam decisivas. Essa renomada instituição de pesquisa não foi contratada antes da construção do porto, mas só depois quando os problemas começaram a surgir. Constata-se aqui que o Laboratório SOGREAH coletará dados em 1953 e publicará seu relatório em 1957, após construir o modelo reduzido da bacia portuária já com o molhe e o cais de atracação do Porto do Mucuripe construídos entre 1939 e 1945. As propostas do SOGREAH serão direcionadas para solucionar os problemas das ondas e do assoreamento do porto, como veremos mais à frente.

Enquanto isso, a decisão final é tomada em 1938, sem consultar o Laboratório SOGREAH. Quando o Governo Estadual, as classes empresariais, a imprensa batiam-se pela causa Porto do Mucuripe surge, então, o atendimento dessas reivindicações através do Decreto Federal nº 544, de 7 de julho de 1938, que diz em sua ementa: “Modifica o Decreto nº 23.606, de 7 de julho de 1937, na parte referente à construção do Porto de Fortaleza e dá outras providências.” Em seu Artigo 1º determina: “Fica transferida a localização do porto de Fortaleza para a enseada do Mucuripe, a que se refere à concessão outorgada ao Estado do Ceará pelo Decreto nº 23.607, de 20 de dezembro de 1933 para a construção, aparelhamento e exploração do referido porto”.

Tomada a decisão em 1938, sem os estudos de dinâmica costeira necessários, que deveriam ter sido realizados pelo Laboratório SOGREAH de Grenoble, as obras têm início em 1939 e são concluídas em 1945, sem as preocupações reinantes quanto ao caminamento das areias pela corrente de deriva litorânea.

#### **4.2. A Construção do Porto do Mucuripe**

Muitos autores relatam sobre a construção do Porto do Mucuripe, entre eles Girão (1959; 1997), Moraes (1980) e Maia (1998). Temos também o relato do histórico da construção do porto no site da Companhia Docas do Ceará (2018).

O projeto original do Porto do Mucuripe previa a construção de um cais com 1.550 m de comprimento paralelo ao litoral a 250 m da linha de baixa-mar e uma série de quatro molhes paralelos, cada um com 120 m de largura e distantes de 200 m, formando assim quatro docas de atracação. O Porto seria protegido por um quebra-mar de pedras com 1.500 m de extensão, partindo da Ponta do Mucuripe até a cota de -9 m.

Após uma longa discussão esse projeto nunca foi construído, provavelmente porque necessitaria de grandes recursos financeiros, que não era justificado pela fraca economia cearense. Um projeto bem mais modesto seria realizado.

O projeto autorizado para construção foi bem mais simples, e teve sua construção iniciada em 1939. Foi erguido um quebra-mar de pedra com 1.400 metros de extensão e um cais sob tubulação com 420m de comprimento. Estava previsto também um cais de atracação de petroleiros na parede interna do quebra-mar, que nunca foi construído.

Muitos problemas surgiram logo após o início da construção do Porto do Mucuripe, Durante as obras o quebra-mar foi rapidamente assoreado, da mesma forma que a muralha de Hawkshaw, os sedimentos transportados pela corrente de deriva litorânea. Outro problema era que o cais principal estava mal protegido das ondas de nordeste, um fato claro de que havia um erro de projeto: o quebra-mar não protegia o porto eficientemente. Isso não é de todo surpreendente, pois não foram realizados estudos para a construção do porto, o Laboratório SOGREAH não foi contratado como aconselhado.

Em 1952 foram construídos dois armazéns e em 1953 deu-se a atracação do Vapor Bahia, primeiro navio a atracar no Porto do Mucuripe. Em 1964 foi construído o terceiro armazém e foram iniciados os trabalhos de construção da estação de passageiros, do muro de fechamento e de mais um cais com 8 metros de profundidade. Em 1968, foram inaugurados o quarto armazém, o prolongamento do cais de 10 metros de profundidade e a Estação de Passageiros. Em 1980 foi inaugurado o cais pesqueiro, em 1982 foi inaugurado o píer petroleiro do Porto e em 1984 o quinto armazém.

A Figura 13 apresenta a evolução da batimetria da Ponta do Mucuripe durante a construção do quebra-mar do porto. De 1939 a 1946, a ponta do Mucuripe vai sendo invadida pelas areias provenientes da Praia do Futuro, transportadas pela corrente de

deriva litorânea. Os sedimentos que antes contornavam a ponta do Mucuripe na direção leste, agora eram direcionados para noroeste paralelamente ao quebra-mar. Essa nova direção vai influenciar a sedimentação da bacia portuária, alimentando os bancos de areia ao largo da área portuária como veremos mais à frente.

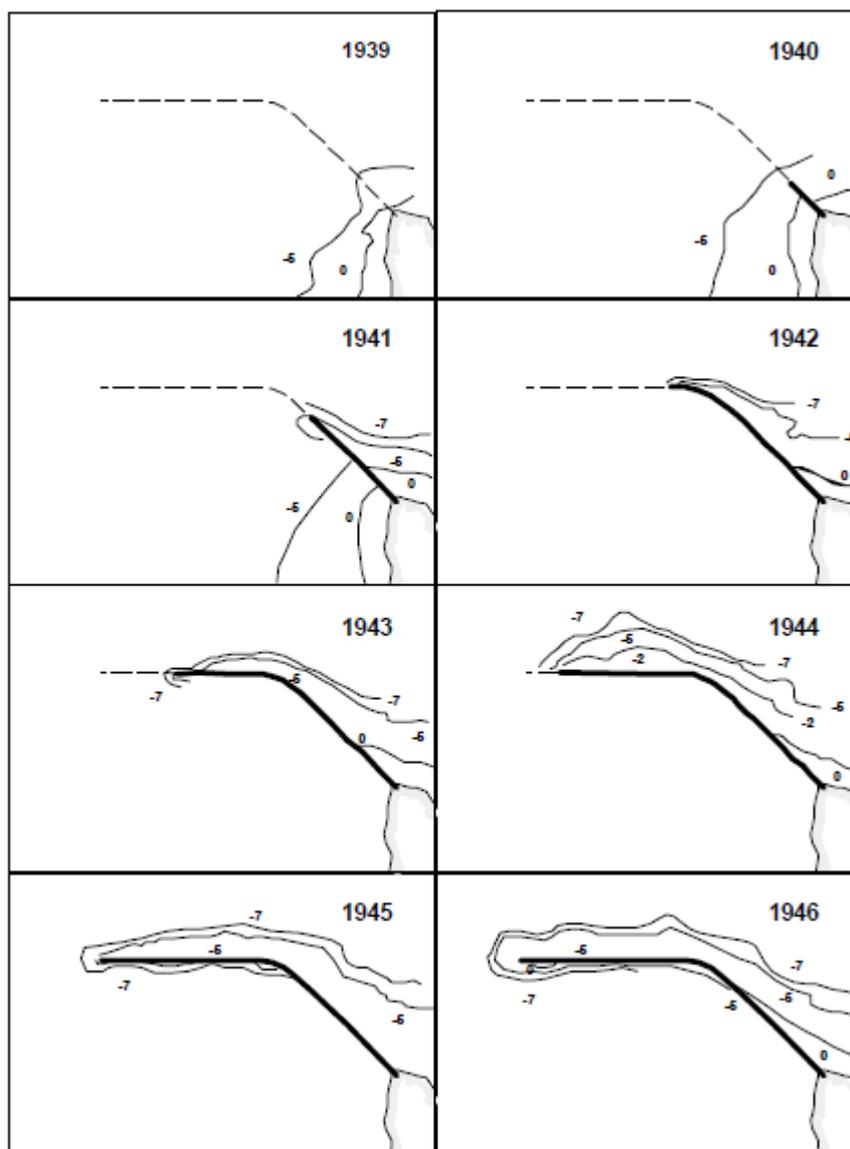


Figura 13 – Evolução da batimetria durante a construção do dique do Porto do Mucuripe. Fonte: Maia, 1998.

Na ponta do quebra-mar as ondas são deformadas por difração e mudam de direção se encaminhando para a parte interna do porto, depositando sedimentos na parte interna do quebra-mar (onde deveria ser construído o cais petroleiro).

Na Figura 14 apresentamos a evolução da formação da Praia Mansa, em 1958 e 1972, à esquerda e à direita da Figura respectivamente, acumulando sedimentos que

fazem falta ao balanço sedimentar das praias situadas a oeste, provocando erosão costeira severa na praia de oeste, iniciando na Praia de Iracema já no final da década de 1950.

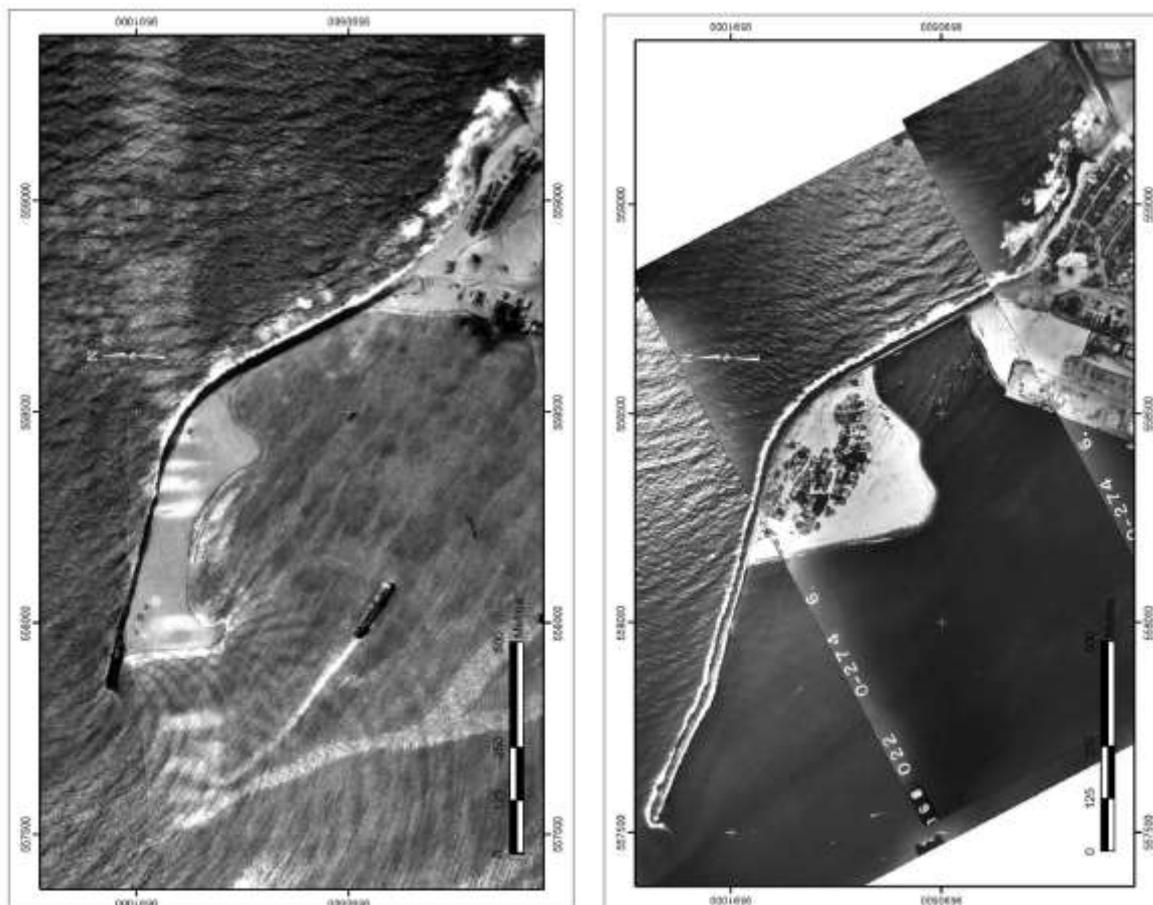


Figura 14 – Formação da Praia Mansa em 1958 (a esquerda) e 1972 (a direita). Fonte: Rebouças, 2010.

A acumulação de areias na parte interna do quebra-mar vai formar um grande banco de areia que passou a ser denominada de Praia Mansa. A Praia mansa tem comprimento médio de 600m por 200m de largura. Segundo a SEP (2015) no documento Plano Mestre - Porto do Mucuripe, a área terrestre da Praia Mansa é calculada em 12,7 hectares (127.000 m<sup>2</sup>).

Levando em conta que a batimetria média dessa área, antes da construção do quebra-mar, era em média -6m em 1939, e que segundo Modelo Numérico do Terreno (MNT) elaborado por Barra (2015) a cota altimétrica média da Praia Mansa é de +11 metros (valor mínimo de 6m e máximo de 18m), temos como volume de areias acumuladas o produto da área (127.000m<sup>2</sup>) vezes a diferença entre a batimetria

marítima (-6 m) e a altimetria continental (+11 m) que nos dá 17 metros, totalizando um volume de aproximadamente 2,1 milhões de m<sup>3</sup> de sedimentos. Esse volume de sedimentos da Praia Mansa é oriundo do transporte litorâneo e seu depósito na bacia portuária vai fazer falta nas praias situadas à jusante do Porto do Mucuripe. Na Figura 15 apresentamos a área da Praia Mansa em 2018, formada a partir do assoreamento do Porto do Mucuripe.

Nessa área da Praia Mansa foi construído o novo Terminal de Passageiros do Porto do Mucuripe entre os anos de 2012 e 2016.

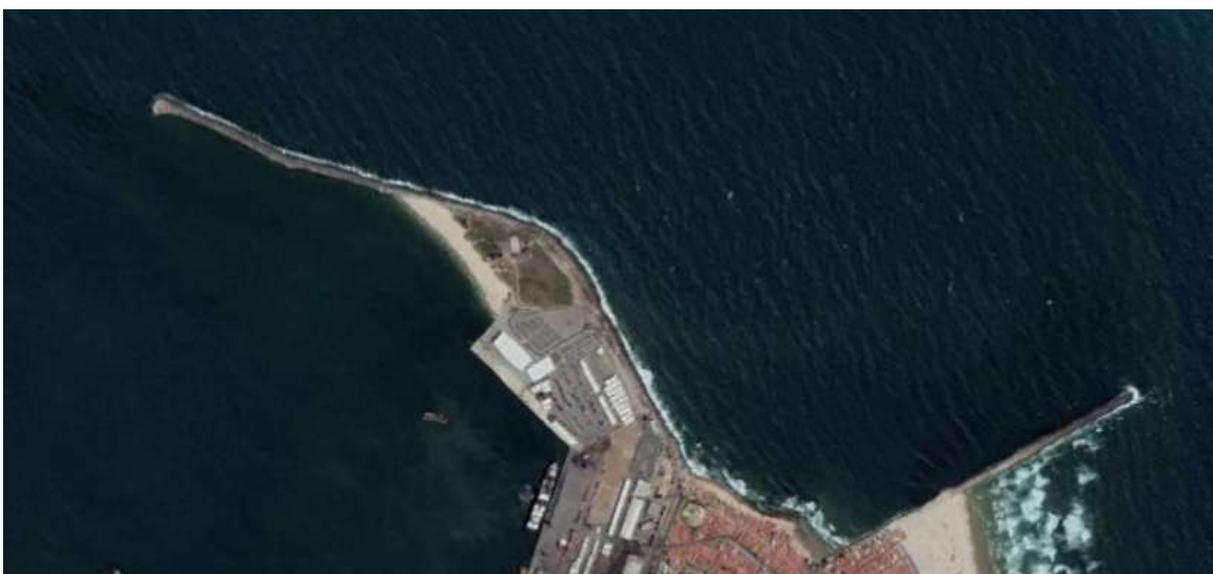


Figura 15 – Área da Praia Mansa formada na bacia portuária, onde foi construído o Terminal Marítimo de Passageiros. Fonte: Google Earth, 2018.

A bacia portuária também acumula sedimentos, diminuindo a profundidade do canal de acesso ao porto e ao próprio cais. Ao longo do tempo, diversas dragagens foram realizadas na bacia portuária para aprofundar o canal de acesso ao porto e garantir uma profundidade mínima no cais de atracação. As dragagens são necessárias devido ao assoreamento constante da bacia portuária pela difração das ondas na ponta do quebra-mar, que lança para dentro da bacia portuária os sedimentos transportados pela corrente de deriva litorânea.

As dragagens sempre retiram volumes de sedimentos consideráveis, da ordem de milhões de toneladas. Esses sedimentos poderiam sempre ter sido depositados nas praias situadas a oeste do porto e serem transportados pela corrente de deriva litorânea e incorporados positivamente ao balanço sedimentar das praias. A administração portuária, ao longo desses mais de 60 anos de gestão nunca se

preocupou efetivamente com a erosão costeira do litoral oeste. O porto não se considera responsável pelos impactos ambientais causados pela sua construção, e nunca houve uma compensação ambiental aos municípios de Fortaleza e Caucaia pelos danos causados pela erosão costeira.

Morais, em seu trabalho de 1980, afirma em suas conclusões (Morais, 1980 pag. 256):

“26) A praia de Iracema e as outras a oeste dela podem ser recuperadas dragando-se sedimentos da bacia de evolução do porto e dos [sedimentos] localizados na margem interna da extremidade do molhe. De acordo com as perfurações ... o tipo de material se adapta perfeitamente a essa finalidade.”

Se essa medida fosse tomada, os sedimentos das dragagens do porto poderiam ser dispersados ao longo da costa de Fortaleza e, principalmente, de Caucaia, numa profundidade em torno de 5 metros. A corrente de deriva litorânea transportaria essas areias para as praias erodidas, fazendo sua recuperação “natural”, sem necessidade de aterros. Ressalta-se que a erosão de praias é considerada, em muitos países, como uma perda de patrimônio público, o que é muito acertado.

A erosão das praias de Fortaleza e Caucaia provocaram prejuízos à população, seja pela diminuição dos espaços de pesca artesanal, lazer, recreação, etc., seja pela diminuição das atividades de veranismo e turismo. No caso de Caucaia, a diminuição dessas atividades causaram fortes prejuízos à atividade econômica e, em consequência, a diminuição de emprego, renda e geração de impostos, além de uma desvalorização imobiliária nessa área.

Segundo Valentini (1994) entre os anos de 1963 e 1972, ocorreram duas etapas de dragagens com retirada de 4,7 milhões de m<sup>3</sup> de sedimentos da bacia portuária. Em 1980 dragou-se mais 2,5 milhões de m<sup>3</sup>.

De acordo com Ximenes Neto (2015) após a extinção da PORTOBRÁS em 1991, a Companhia Docas passou a realizar as dragagens do Porto do Mucuripe. A Figura 16 demonstra os volumes de sedimentos dragados entre 1991 a 2005 pela Companhia Docas do Ceará.

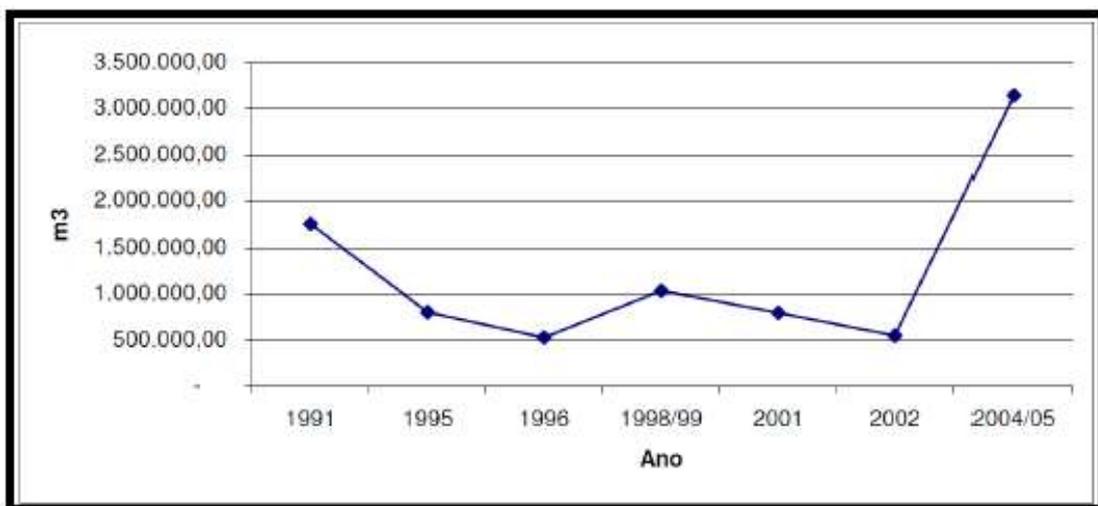


Figura 16 – Volumes de sedimentos dragados do Porto do Mucuripe ente 1991 e 2005. Fonte: Ximenes Neto, 2015 citando dados da Companhia Docas do Ceara de 2010.

Fazendo um balanço do volume de sedimentos dragados da bacia de evolução do Porto do Mucuripe, desde a primeira dragagem, tem-se 4,7 milhões de m<sup>3</sup> dragados entre os anos de 1963 e 1972, mais 2,5 milhões de m<sup>3</sup> dragados em 1980, mais a soma dos volumes sedimentares dragados entre 1991 e 2004 que representa aproximadamente 8,5 milhões de m<sup>3</sup> de areias, mais 6,0 milhões de m<sup>3</sup> dragados a partir do final de 2010, que aprofundou o cais de atracação de 11,4 para 14 metros de profundidade, obra orçada em 61 milhões de reais (DIÁRIO DO NORDESTE, 2010), resultam em um total de 21,7 milhões de m<sup>3</sup> de sedimentos retirados da bacia portuária e lançados ao largo, distante das praias erodidas do litoral de Fortaleza e Caucaia.

O volume de 21,7 milhões de m<sup>3</sup> de areias dragados do Porto do Mucuripe seria suficiente para construir 19 (dezenove) aterros do mesmo tamanho do realizado na Praia de Iracema no ano 2000, objeto de estudo desse Parecer. Tomando como base a área e o volume do aterro da Praia de Iracema, esses sedimentos seriam suficientes para recompor o perfil de 17 km de praias erodidas do nosso litoral.

Uma nova dragagem teve início em setembro de 2018, para aprofundar de 10 para 13 metros a área de acesso ao cais do Terminal Marítimo de Passageiros, para viabilizar a atracação de navios de maior porte para a movimentação de passageiros e carga em geral. A obra está orçada em R\$ 20,4 milhões, e mais uma vez os sedimentos dragados serão lançados ao largo, longe das praias de Fortaleza e Caucaia, desperdiçando mais um volume importante de sedimentos que poderiam diminuir o déficit sedimentar do litoral a oeste do Porto do Mucuripe.

### 4.3. O Relatório do Laboratório SOGREAH de Grenoble

Após o término das obras, o porto, por falha de projeto, era inútil. A prova disso é que, concluído em 1945, o porto só recebeu seu primeiro navio em 1953, oito anos depois. A razão de sua inoperância se deveu aos dois grandes problemas surgidos: 1) o assoreamento da bacia portuária; e 2) a entrada de ondas diretamente na direção do cais principal, o que impedia a atracação de navios.

Somente após a sua construção e devido aos problemas de assoreamento e de impossibilidade de atracação de navios no porto, o governo brasileiro contratou em 1953 o Laboratório Dauphinois de Hidráulica – SOGREAH, localizado na cidade de Grenoble, na França, para realizar um estudo em modelo reduzido das condições do porto.

O Laboratório SOGREAH realizou um diagnóstico dos problemas e apontou soluções. Para tanto, estudou a dinâmica litorânea da enseada do Mucuripe, graças a um modelo experimental reduzido da área, na escala horizontal de 1:300 e vertical de 1:100. O modelo reduzido encontra-se na Figura 17.

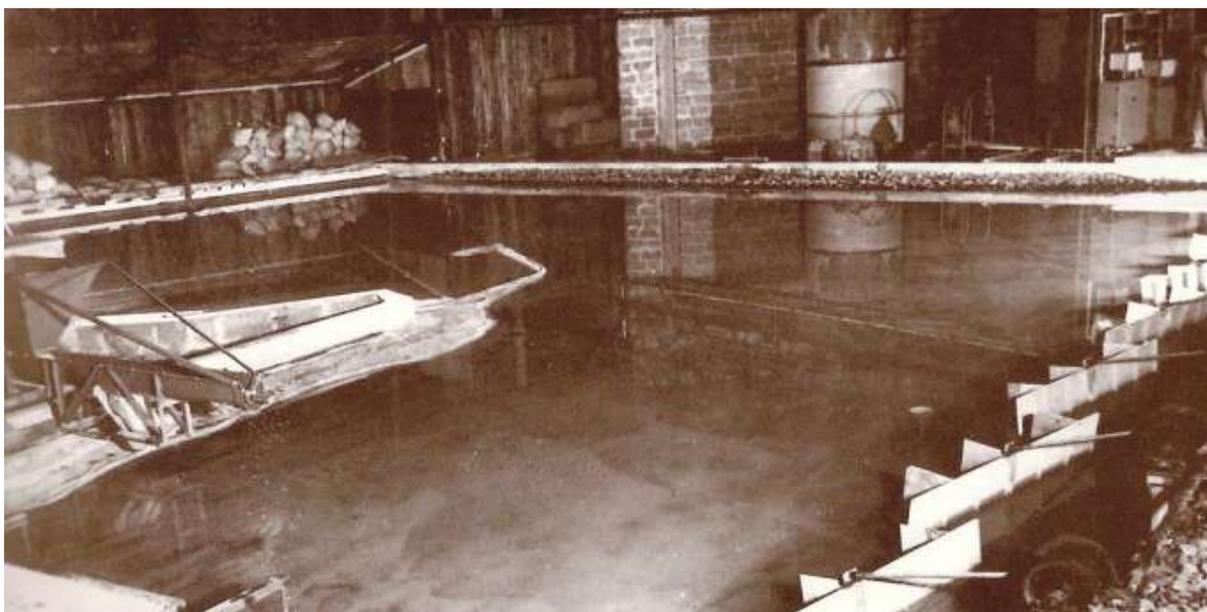


Figura 17 - Modelo reduzido do Porto do Mucuripe. Fonte: SOGREAH, 1957.

Os resultados do experimento integraram um relatório entregue ao Governo Federal, em julho de 1957. Constaram desse relatório algumas soluções para os problemas portuários: o primeiro deles é o problema das ondas que invadem a bacia portuária em direção ao cais principal. Para esse problema foi sugerido o prolongamento do

quebra-mar, obra que foi realizada e que resolveu o problema da propagação das ondas.

O relatório apresenta também sugestões para o segundo problema: o assoreamento da bacia portuária. Basicamente são duas soluções possíveis para este segundo problema: a primeira consiste em barrar os sedimentos a montante do Porto do Mucuripe. Para tanto, o relatório sugeriu a construção de um espigão de retenção dos sedimentos, evitando que eles possam chegar ao porto. Foram sugeridas três posições diferentes para este espigão, conforme mostra a Figura 18.

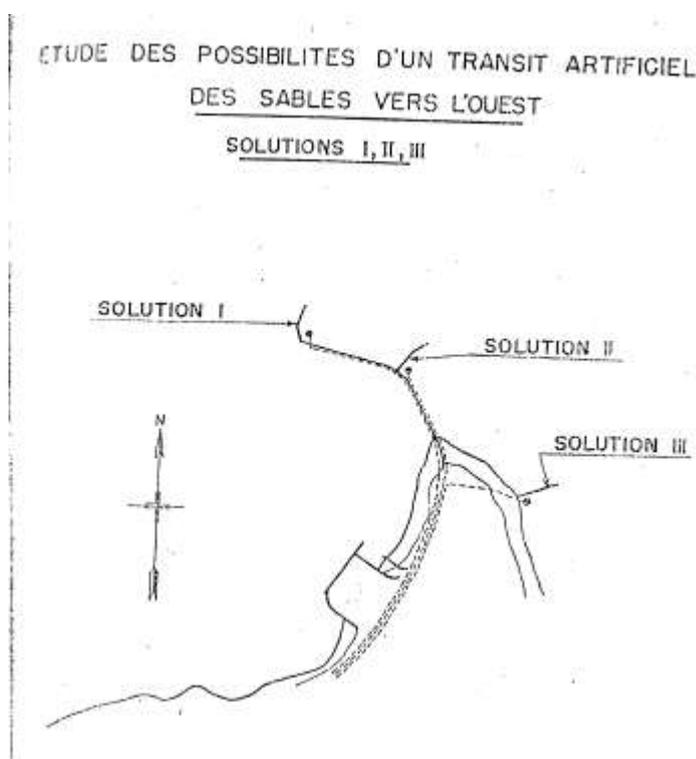


Figura 18 – Possibilidades de retenção de sedimentos no Porto do Mucuripe. Fonte: SOGREA, 1957.

O relatório, entretanto, alertava que qualquer que fosse a posição do molhe, o aporte de sedimentos para o porto diminuiria, mas em consequência haveria o agravamento dos processos erosivos nas praias do litoral oeste, a jusante do porto. A solução escolhida para o assoreamento foi essa, e a posição III foi a escolhida para o molhe, na praia do Titanzinho, tendo sido concluído em 1963.

Após ser posta em prática essa solução, ocorreu o que havia sido previsto e alertado aos governantes: a erosão que se abateu ao longo do litoral de Fortaleza foi severa, e provocou uma penúria de sedimentos que perdura e continua atingindo as praias do litoral oeste de Fortaleza e Caucaia.

A segunda solução proposta no relatório SOGREAH, que não foi levada em consideração, consistia em instalar uma draga submersa na ponta do quebra-mar do Porto do Mucuripe e transportar de leste para oeste os sedimentos da corrente de deriva litorânea (Figura 19).

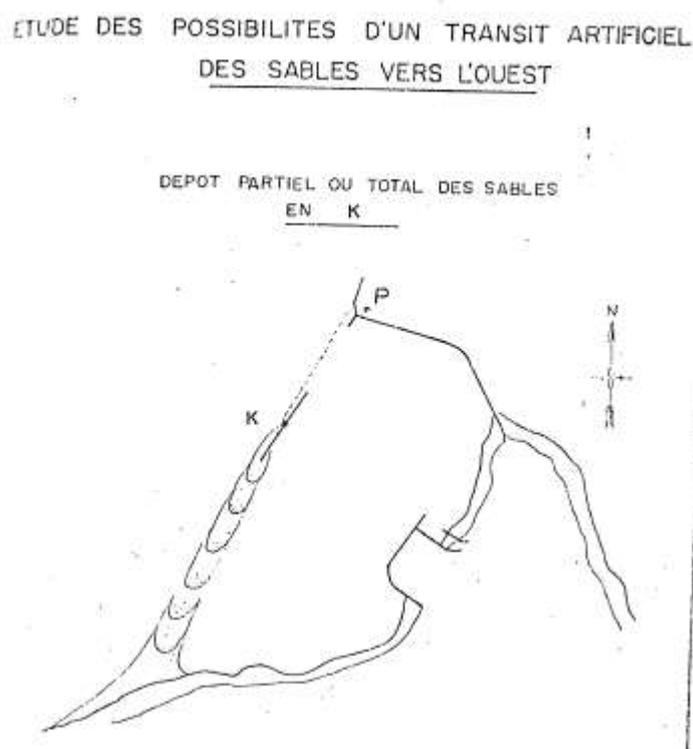


Figura 19 – Transporte de sedimentos de leste para oeste utilizando uma draga fixa Fonte: SOGREAH, 1957.

Essa proposta do Laboratório SOGREAH, que seria a ação ideal do ponto de vista de sua eficiência, pois levaria sedimentos para as praias do Oeste, teria evitado os processos erosivos que arruinaram mais de 40 km de praias em Fortaleza e em Caucaia. Esses sedimentos que hoje fazem falta a jusante do porto estão acumulados em quatro áreas distintas, a saber: na Praia do Titanzinho, na bacia portuária, na Praia Mansa e nos bancos litorâneos de Fortaleza. Essa é a causa principal da erosão costeira no litoral oeste de Fortaleza e Caucaia.

Essa proposta de solução que teria resolvido definitivamente o problema da erosão costeira em nosso litoral não foi aceita por duas razões principais: a primeira por representar custos elevados, um erro grave provocado pela análise de curto prazo. Se fossem somados todos os recursos gastos com dragagens no Porto do Mucuripe e com obras de proteção costeiras realizadas ao longo do litoral nos últimos 60 anos, essa solução se tornaria de muito baixo custo.

A segunda razão da recusa a essa solução foi o fato de que os sedimentos impulsionados pela draga formariam bancos costeiros que seriam levados pelas correntes, mas só chegariam às praias 20 anos depois. Mais uma vez uma visão de curto prazo; vinte anos depois seria a década de 1970, período em que a erosão costeira ainda estava caminhando para as praias do extremo oeste de Fortaleza, mas ainda não haviam atacado as praias de Caucaia.

Os gestores públicos, ao que se pode constatar, tomaram as decisões erradas no trato dos problemas de assoreamento da bacia portuária. Um erro gravíssimo foi a construção do molhe do Titanzinho que acumulou sedimentos em quantidade extremamente grande – como veremos a seguir – acelerando os processos erosivos. Outro erro foi a não instalação da draga na extremidade do quebra-mar do Porto do Mucuripe, levando sedimentos de leste para oeste, o que manteria o equilíbrio sedimentar das praias de Fortaleza e de Caucaia.

#### **4.4. Construção do Molhe do Titanzinho**

Com o grave problema de assoreamento da bacia portuária e a formação da Praia Mansa, a administração portuária não fez a opção mais adequada para solucionar o problema definitivamente, que seria a instalação da draga na ponta do quebra-mar do Porto do Mucuripe para bombeamento hidráulico dos sedimentos, transportando as areias de leste para oeste (Figura 19). A decisão tomada foi de reter os sedimentos antes que eles cheguem a área portuária, mesmo sabendo que isso representaria o agravamento dos processos erosivos já iniciados na Praia de Iracema, conforme alertava o relatório do Laboratório SOGREAH de 1957. Ao mesmo tempo, essa tomada de decisão vai fortalecer o assoreamento da Praia do Serviluz.

O porto decidiu pela construção do molhe na Praia do Serviluz, chamado de molhe do Titanzinho, opção III apresentada pelo Laboratório SOGREAH, conforme consta na

Figura 18. Essa decisão determinou a erosão das praias de oeste em Fortaleza e Caucaia.

As obras foram realizadas no ano de 1963, com o intuito específico de retenção dos sedimentos provenientes da Praia do Futuro, transportados pela corrente de deriva litorânea, para tentar impedir ou atenuar de forma significativa o assoreamento da bacia portuária. Esse barramento provoca a acumulação progressiva de sedimentos a leste do molhe do Titanzinho, sem contudo, impedir completamente a passagem das areias, que continuarão assoreando a bacia portuária, mesmo que em menor quantidade e com uma velocidade menor.

Na Figura 20 apresentamos a Praia do Serviluz em 1958, cinco anos antes do início do molhe do Titanzinho e em 1972, nove anos após sua construção. Podemos observar o início da acumulação de sedimentos na Praia do Serviluz.

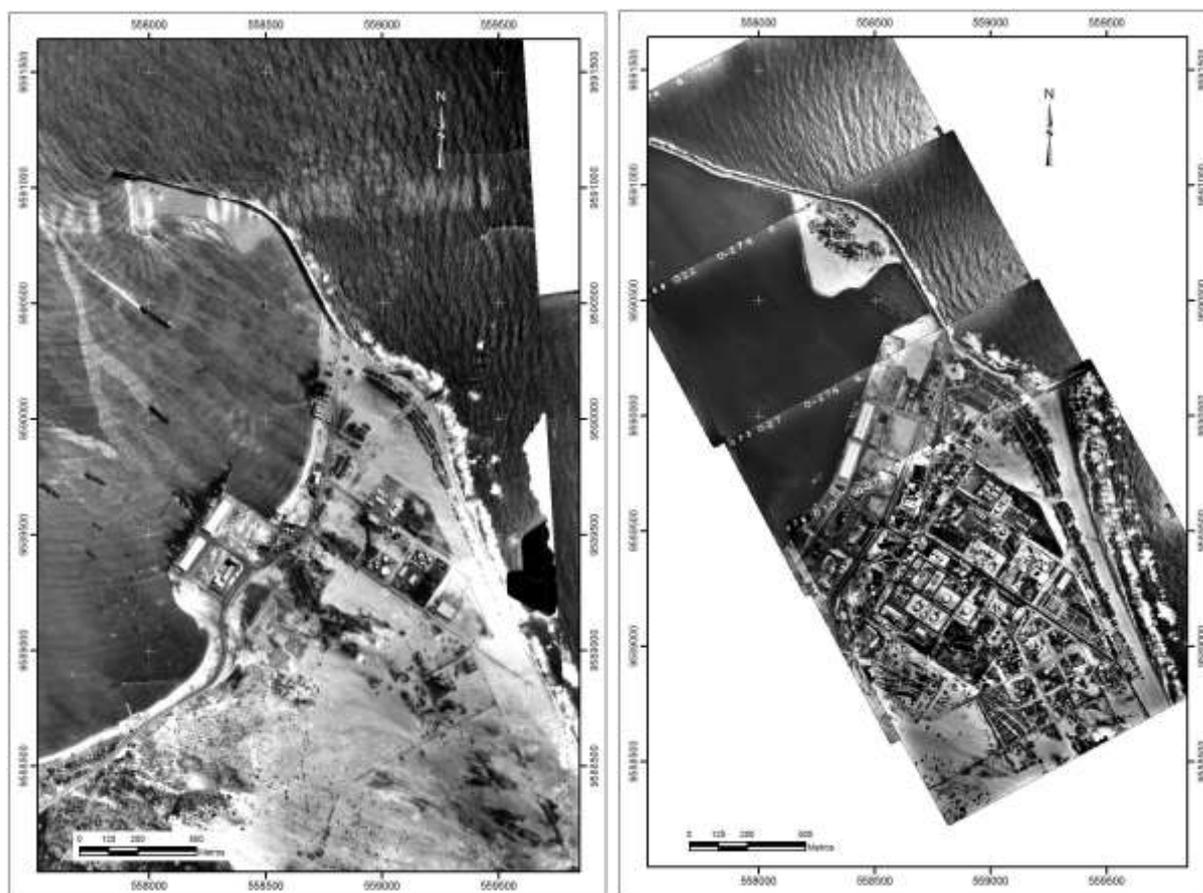


Figura 20 - Serviluz e Praia Mansa no ano de 1958 (a esquerda) e no ano de 1972 (a direita).  
Fonte: Rebouças, 2010.

Com o passar dos anos, a acumulação de sedimentos assoreia quase toda a Praia do Serviluz. Lembramos que, segundo Maia (1998), são transportados em torno de 860.000m<sup>3</sup> de areias por ano na Praia do Futuro. O entupimento do molhe do

Titanzinho diminui sua capacidade de retenção de sedimento; então, no ano de 1974, o espigão da Praia do Futuro foi prolongado para 990 metros (REBOUÇAS, 2010), ou seja, uma muralha de rochas graníticas de quase 1 km de extensão, paralela à linha de costa, em uma praia com forte transporte de sedimentos. O resultado é, mais uma vez, o agravamento do déficit sedimentar no litoral oeste.

Quanto maior for o molhe do Titanzinho maior será sua área de barramento da corrente de deriva litorânea e mais sedimentos ele reterá. O assoreamento provoca o aumento da Praia do Serviluz que, à medida que aumenta sua área, vai sendo ocupada pela população de baixa renda em uma urbanização desordenada, sem as mínimas estruturas urbanas necessárias. A acumulação dos sedimentos agrava ainda mais os processos erosivos nas praias situadas a oeste do Porto do Mucuripe.

Na Figura 21 apresentamos a Praia do Serviluz no ano 2000. O avanço das casas sobre a área de praia em formação é realizada e é irreversível. Rebouças (2010) estimou que no Serviluz habitam precariamente 5.000 famílias, adensadas em 15 hectares. Além do agravamento da erosão costeira nas praias de oeste, outro problema surge no Serviluz. O caminhamento dos sedimentos para o continente invade as casas, causando transtornos para os moradores locais.



Figura 21 - Serviluz e Titanzinho no ano 2000. Fonte: Rebouças, 2010.

Cálculos realizados por Vasconcelos (2005), considerando sobre o estado de praia em condição progressiva, confirmam que a praia do Serviluz aumentou a sua superfície em 493.000 m<sup>2</sup> (49,3 ha) em 37 anos, de 1963 ao ano 2000. A progradação da praia aumentou a superfície de deflação na zona intermaré, aumentando o poder de transporte de sedimentos pelo vento em direção ao continente, para edificar dunas.

Na caminhada em direção ao continente, o sedimento encontra como obstáculo as construções residenciais e comerciais situadas a beira-mar que são invadidas pela areia (Vasconcelos, 2005; p. 60-61). É possível afirmar que a acumulação progressiva

demonstra que o molhe cumpriu a sua função de retenção de sedimentos desde a sua construção, mesmo com fortes prejuízos às praias localizadas a oeste do Porto do Mucuripe.

Rebouças (2010) apresenta a evolução da linha de costa na Praia do Serviluz entre 1945 e 2000, demonstrando o avanço da urbanização desordenada sobre a área de praia criada pela retenção de sedimentos pelo molhe do Titanzinho (Figura 22).



Figura 22 - Evolução do assoreamento e da urbanização na Praia do Serviluz entre 1945 e 2000. Fonte: Rebouças, 2010.

Em 1995, Pitombeira calculou o volume de sedimentos acumulados pelo molhe do Titanzinho na Praia do Serviluz em 26.400.000 m<sup>3</sup> (PITOMBEIRA, 1995). Esse volume acumulado entre 1963 e 1995 representa uma deposição média de 825.000 m<sup>3</sup> de sedimentos por ano.

Os dados de área e volume de sedimentos da Praia do Serviluz foram atualizados, a partir dos cálculos realizados por Pitombeira (1995), Maia (1998), Vasconcelos (2005) e Rebouças (2010), e por cálculo da área também por imagens de satélite. É possível afirmar que em 2018 a área criada pelo acúmulo de sedimentos, calculada pela projeção dos dados de Vasconcelos (2005) para o ano de 2018, seria de 732.820 m<sup>2</sup>.

Entretanto, o cálculo realizado por sobreposição de imagens de satélite chega a um resultado um pouco menor, de 655.500 m<sup>2</sup> em 2018, o equivalente a 65,5 hectares de superfície (Figura 23).



Figura 23 – Área de acúmulo de sedimentos na Praia do Serviluz em 2018. Fonte: Google Earth, 2018. Adaptado pelo autor.

A atualização do cálculo do volume de sedimentos retidos no molhe do Titãzinho de 1995 (26,4 milhões de m<sup>3</sup>) para o ano de 2018, foi obtida de forma aproximada, a partir do cálculo da área atual e das cotas altimétricas dos perfis topográficos realizados por Rebouças (2010). Tem-se que levar em consideração ainda que a acumulação de sedimentos não foi uniforme ao longo do tempo, que quanto mais sedimentos são retidos menor fica a eficiência do molhe em reter mais sedimentos. Estima-se que em 2018 o volume de sedimentos acumulados é da ordem de 35,8 milhões de metros cúbicos.

Novamente fazendo um paralelo com o aterro da Praia de Iracema, construído no ano 2000, objeto de interesse principal do presente Parecer, o volume de 35.800.000m<sup>3</sup> de sedimentos acumulados na Praia do Serviluz equivale a terem sido construídos

nessa praia 32 aterros idênticos ao da Praia de Iracema, cada um deles com 1.100.000 m<sup>3</sup> de areias e comprimento de 900 metros. Tomando ainda como base o aterro da Praia de Iracema, esse volume de 35,8 milhões de metros cúbicos de sedimentos seria suficiente restaurar o perfil original de 29 km de praia do litoral de Fortaleza ou Caucaia.

#### **4.5. Batimetria e Bancos Costeiros da Enseada do Mucuripe**

A construção do Porto do Mucuripe entre 1939 e 1945, o prolongamento de seu quebra-mar na década de 1950, a construção do molhe do Titãzinho em 1963, e sua ampliação em 1974, foram também responsáveis pela modificação do padrão do transporte de sedimentos da Praia do Futuro em direção às praias situadas a oeste do porto.

A corrente de deriva litorânea na Praia do Futuro tem direção predominantemente de sudeste para noroeste, contorna o molhe do Titãzinho, caminha paralelamente ao quebra-mar do Porto do Mucuripe. Ao final do quebra-mar, a corrente continua nessa direção depositando sedimentos ao largo da bacia portuária, alimentando os bancos costeiros existentes. Ainda nessa extremidade do quebra-mar, parcela dos sedimentos é desviada para a região interna do porto em consequência da difração das ondas causadas pelo quebra-mar (Figura 24 e Figura 9).

Maia (1998) afirma que os sedimentos desviados pelo quebra-mar do porto passaram a alimentar um banco submarino paralelo à linha de costa, a 10 m de profundidade, que, com o tempo, assumiu consideráveis proporções. Esta estrutura causa danos à navegação, pois em sua migração, causa o fechamento do canal de acesso ao Porto do Mucuripe.

Outro ponto a ser considerado é que a formação desse banco submarino estabiliza os sedimentos que antes eram mobilizados pela corrente de deriva litorânea, ou seja, mais sedimentos aprisionados no sistema portuário, que farão falta ao balanço sedimentar das praias situadas a oeste do porto, contribuindo para os processos de erosão costeira em Fortaleza e Caucaia, além de contribuir para o assoreamento da bacia portuária.

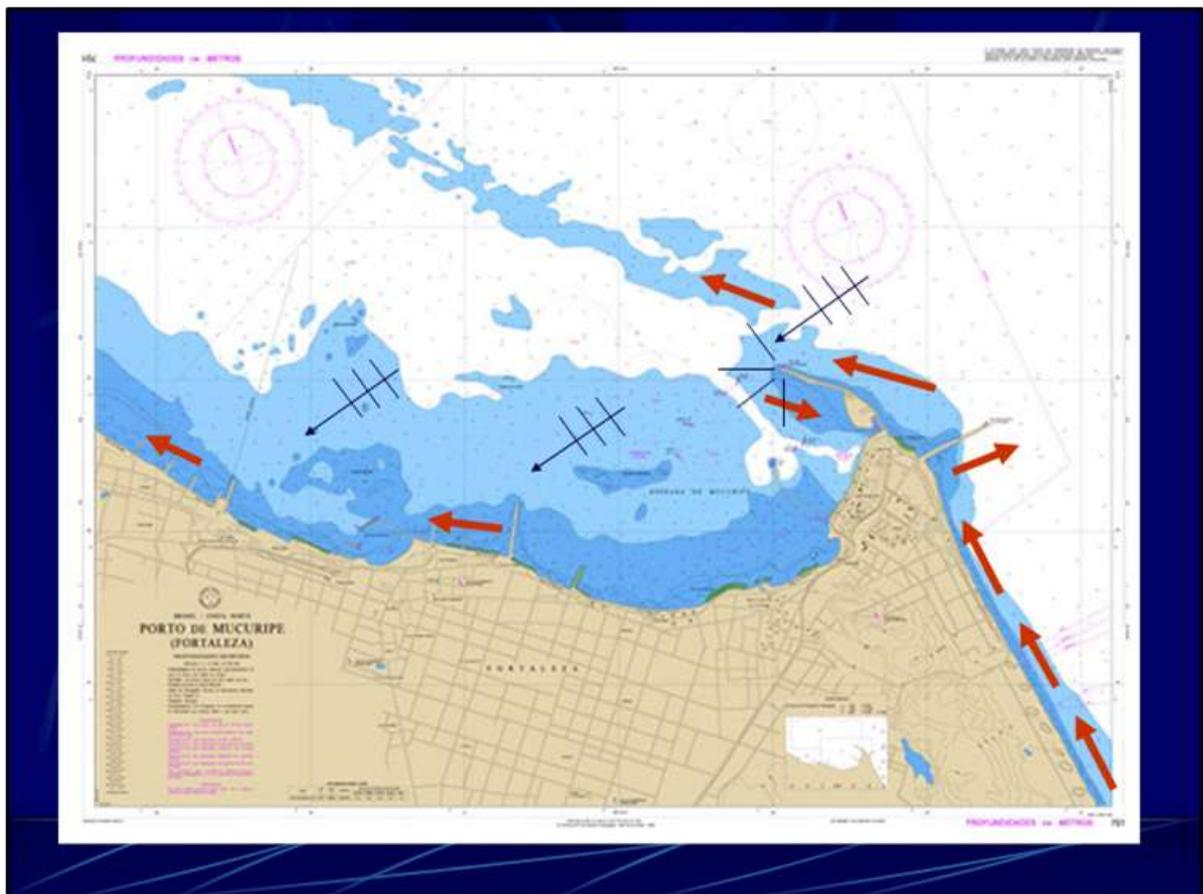


Figura 24 – Sentido do transporte de sedimentos (setas vermelhas) e direção das ondas (setas pretas) na área do Porto do Mucuripe. Fonte: DHN, 2018. Adaptado pelo autor.

Ximenes Neto (2015) elaborou Modelos Digitais Batimétricos (MDB), que demonstram a evolução geomorfológica submersa dos bancos submarinos na Enseada do Mucuripe. Verifica-se que desde a década de 1940 uma reorientação das isóbatas, devido ao molhe do Titã e ao início da construção do atual cais comercial. Decorre daí o início da progradação sedimentar a sotamar do molhe do Titã, devido à difração de ondas na ponta da estrutura (MORAIS, 1972 e 1981; PITOMBEIRA, 1976), fazendo desta área um ambiente de constante deposição.

Ximenes Neto destaca a existência de fundo rochoso, formando os Recifes do Meireles, o Recife Grande, o Recife da Velha e a Pedra do Justin. Para sua avaliação, este autor utilizou a primeira carta náutica disponibilizada pela DHN, que é de 1945, com atualizações batimétricas no entorno do Porto do Mucuripe, em 1952, e comparou com a carta náutica de 2014.

Nos MDBs de 1952 e 2014, observa-se a formação de um banco submarino de areias com cotas batimétricas inferiores a 10 metros em 2014, no sentido das correntes

desviadas pelo quebra-mar do Porto do Mucuripe, que não existia em 1952. (figuras 25 e 26).

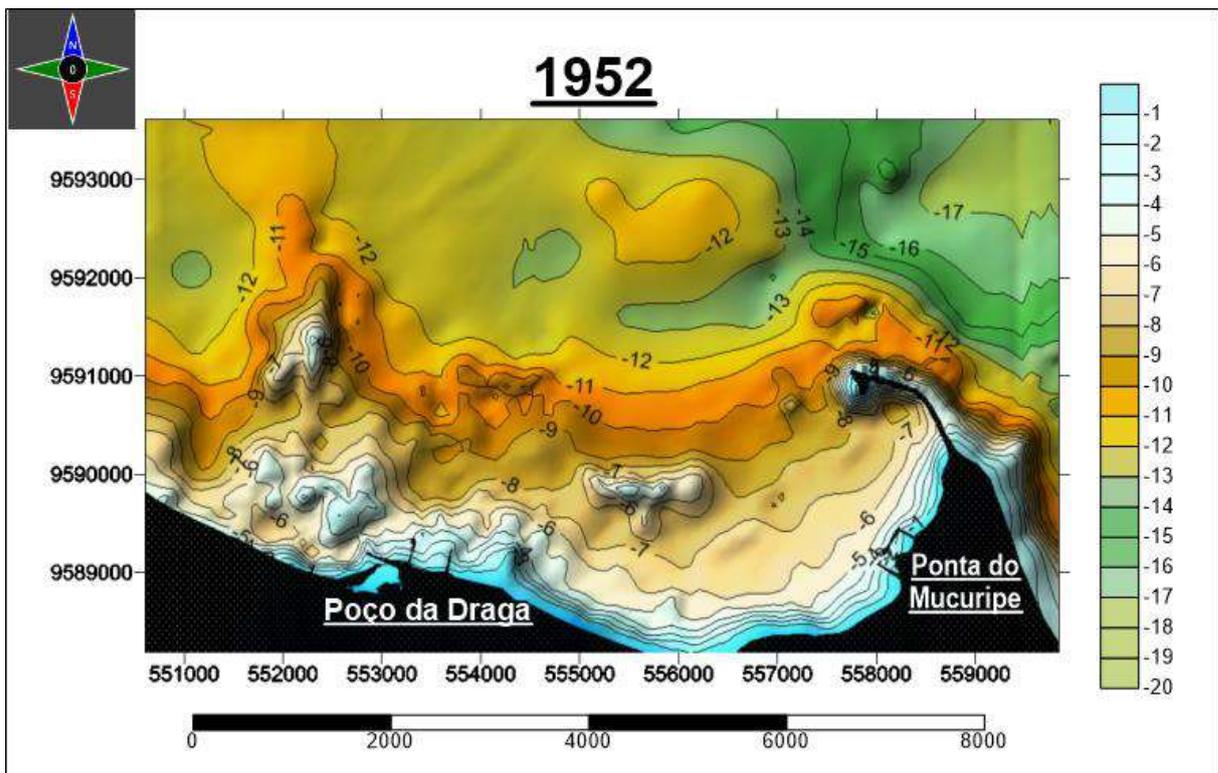


Figura 25 – Modelo Digital Batimétrico da Enseada do Mucuripe em 1952. Fonte: Ximenes Neto, 2015.

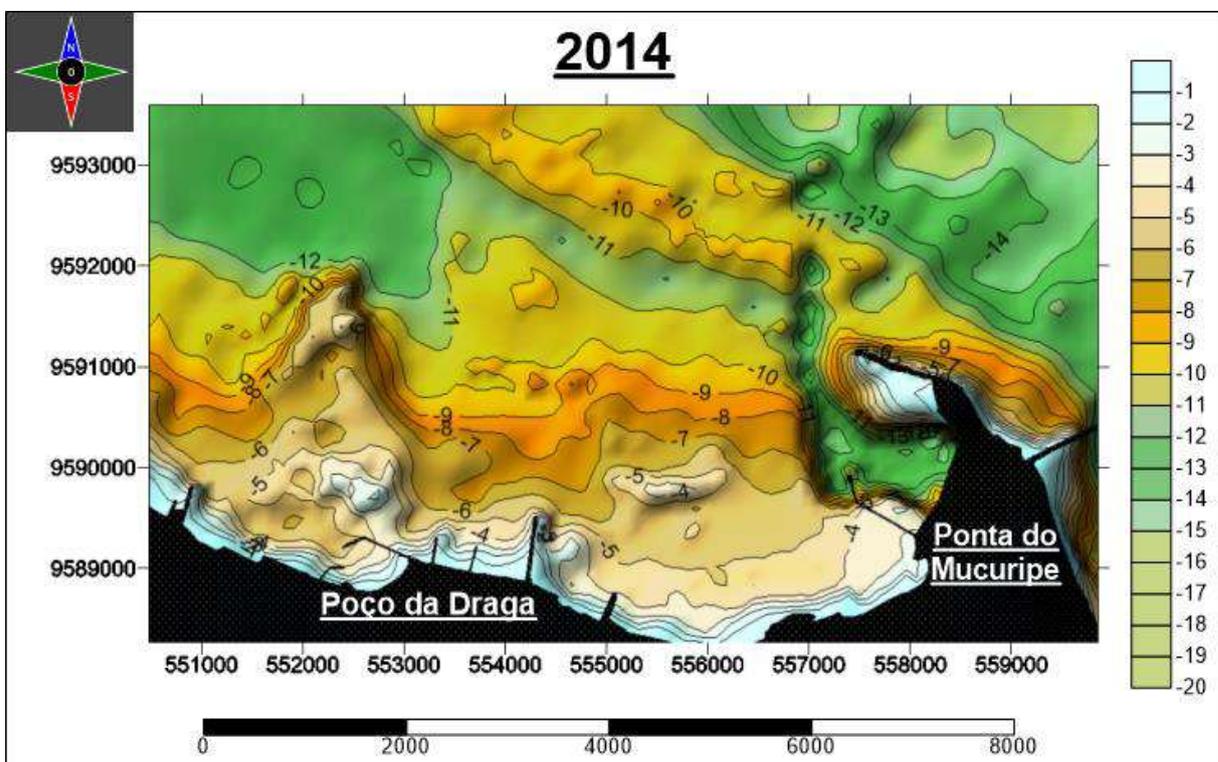


Figura 26 – Modelo Digital Batimétrico da Enseada do Mucuripe em 2014. Fonte: Ximenes Neto, 2015.

Maia (1998) realizou levantamentos batimétricos sobre o banco submarino da Enseada do Mucuripe e mostrou que esta estrutura se estendia por um comprimento total de 7.500 m e apresentava uma largura variável entre 250 e 850 m, com média de 500 m (Figura 27). O desnível médio é de 3,3 m, podendo ser encontradas diferenças de até 4,5 m em alguns lugares. O volume total de sedimentos estimado foi da ordem de 12.600.000 m<sup>3</sup>, areias disponíveis, que podem ser utilizadas nos aterros de Fortaleza e Caucaia.

Este banco sedimentar já existia antes da construção do Porto do Mucuripe, com cota batimétrica média de -12 m de profundidade em 1945 (DHN, 1945). O cálculo desta mesma cota média em 2018 (DHN, 2018) é de -9 m, ou seja, o banco acumulou sedimentos de forma que sua profundidade média diminuiu em aproximadamente 25%. Pode-se então afirmar que, de modo empírico, o volume do banco calculado por Maia (1998) em 12.600,000 m<sup>3</sup> era em 1945 de aproximadamente 9.400.000 m<sup>3</sup>, ou seja, acumulou em média 3,2 milhões de m<sup>3</sup> de areias após a construção do Porto do Mucuripe. Este volume sedimentar que se acumulou ao largo da bacia portuária entre 1945 e 1998, podendo hoje ter um volume maior, também vai contribuir para o aumento do déficit sedimentar das praias situadas a oeste do Porto do Mucuripe. A alteração no padrão de deslocamento da corrente de deriva litorânea pela construção do quebra-mar do porto é o principal responsável pela formação desse banco submarino, que acumula areia à medida que o tempo avança. No futuro, se nenhuma medida for tomada para desviar as areias para as praias, se formará um cordão litorâneo (*spit*) que aflorará em maré baixa e ocasionará mais transtornos à navegação costeira, dificultando progressivamente o acesso das embarcações ao Porto do Mucuripe. Ressaltamos, mais um vez, que o volume sedimentar dos bancos submarinos constitui uma jazida disponível para ser utilizada nos aterros de Fortaleza e Caucaia.

O assoreamento da Enseada do Mucuripe não se restringe apenas à formação da Praia Mansa e dos bancos submarinos, como foi demonstrado anteriormente; este processo altera toda a batimetria da área, conforme é possível observar na série de cartas náuticas apresentadas a seguir (figuras 28 a 34), todas publicadas pela DHN.

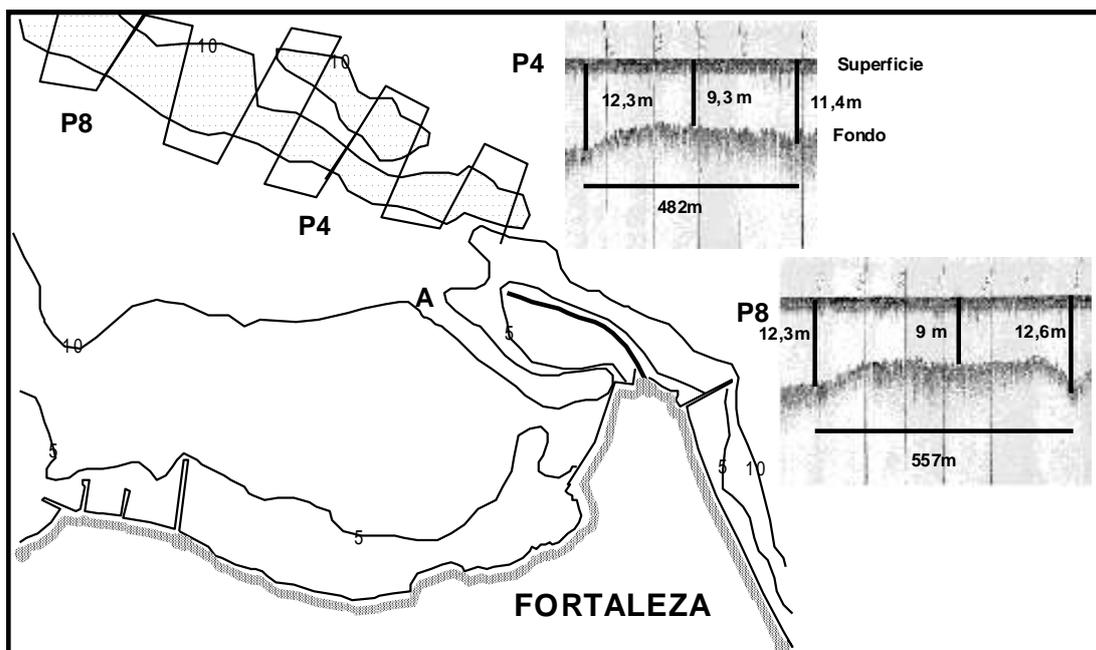


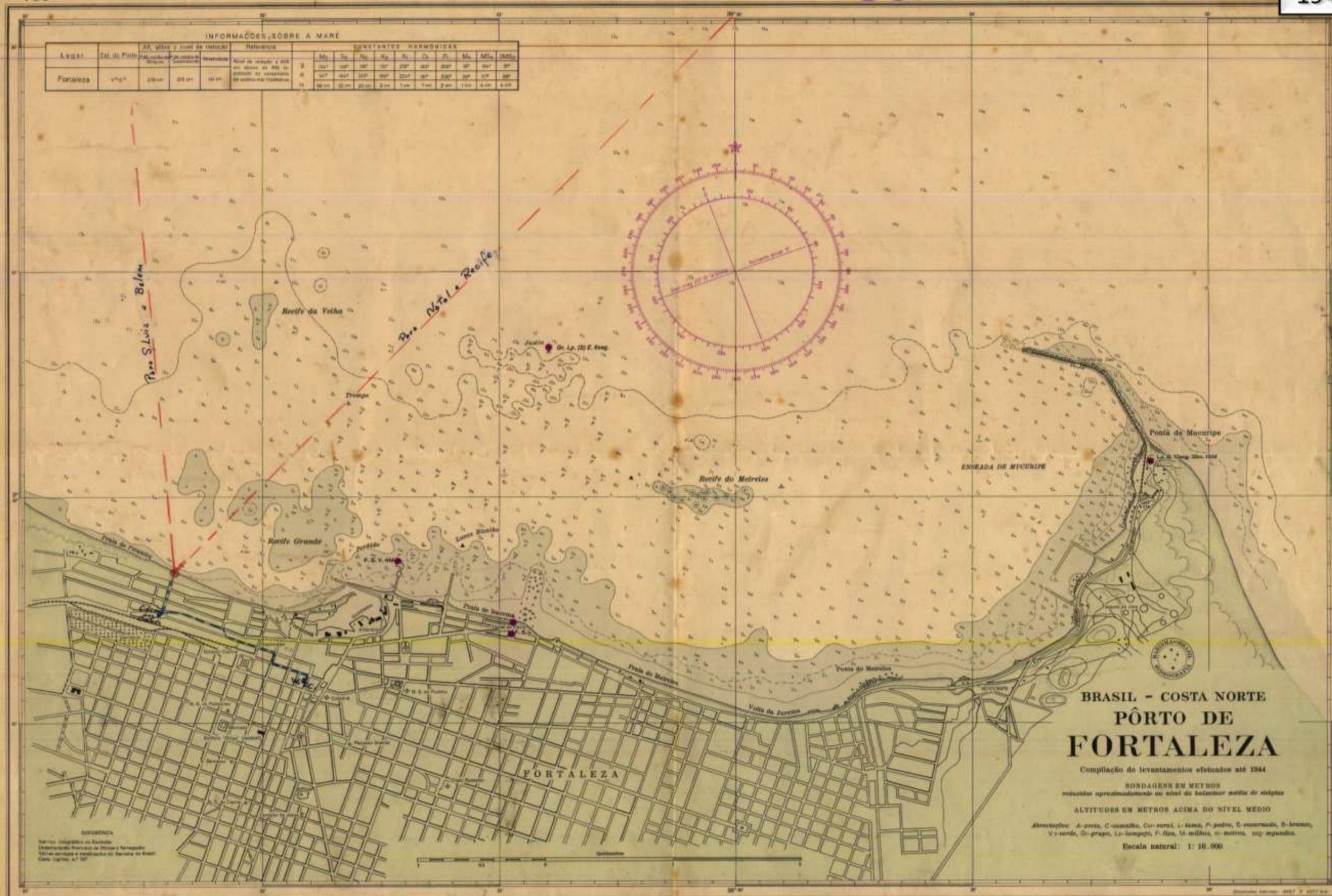
Figura 27 - Levantamento batimétrico do banco submarino da Enseada do Mucuripe. Fonte: Maia, 1998.

A primeira carta náutica do Porto do Mucuripe foi elaborada em 1945, e recebeu a numeração 701. Esta carta foi projetada para atender à iminente demanda de navegação pela construção do Porto do Mucuripe (Figura 28) que, na verdade, por problemas de assoreamento e de propagação de ondas, só receberia seu primeiro navio em 1953, como mencionado anteriormente. Nela pode ser observada a construção do quebra-mar e do cais de atracação do Porto do Mucuripe. À montante do quebra-mar (a leste) percebe-se o início da acumulação de sedimentos com a diminuição das cotas de profundidade no entorno da Ponta do Mucuripe.

Na sequência se apresenta a Carta Náutica Nº 701 de 1956 (Figura 29), onde se observa a conclusão do cais de atracação, o início da formação da Praia Mansa, a diminuição da profundidade no entorno do quebra-mar do porto e aparecem anotados cartograficamente os *Beach Rocks* da Praia do Serviluz. Em seguida, encontra-se a Carta Náutica Nº 701 de 1965 (Figura 30) apresentando um grande crescimento da área da Praia Mansa, a ampliação do cais de atracação do porto e a construção do molhe do Titãzinho, que foi concluído em 1963, sobre os *Beach Rocks* da Praia do Serviluz.

INFORMAÇÕES SOBRE A MARE

| L. 0221   | Est. de Porto | Alt. sobre o nível do mar |               | Referência | CORRENTES HARMÔNICAS |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |      |      |      |      |
|-----------|---------------|---------------------------|---------------|------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|------|------|------|
|           |               | Est. de Porto             | Est. de Porto |            | M <sub>2</sub>       | S <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | K <sub>2</sub> | M <sub>3</sub> | S <sub>3</sub> | N <sub>3</sub> | K <sub>3</sub> | M <sub>4</sub> | S <sub>4</sub> | N <sub>4</sub> | K <sub>4</sub> |      |      |      |      |
| Fortaleza | 4° 15' N      | 20 00'                    | 20 00'        | 00 00'     | 0                    | 10.1           | 10.7           | 10.7           | 10.7           | 10.7           | 10.7           | 10.7           | 10.7           | 10.7           | 10.7           | 10.7           | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.7 |



BRASIL - COSTA NORTE  
**PÔRTO DE FORTALEZA**

Compilação de levantamentos efetuados até 1944  
 SONDAGENS EM METROS  
 reduções aproximadamente ao nível do botomar média de águas  
 ALTITUDES EM METROS ACIMA DO NÍVEL MÉDIO  
 Abreviações: A-areia, C-cascalho, Car-carol, L-lama, P-pedra, E-embarcado, B-branco,  
 V-verde, G-grupo, L-lesgado, F-funil, M-milha, n-norte, seg-segundos.  
 Escala natural: 1:10.000

ESCALA  
 Serviço Hidrográfico do Estado  
 Departamento Municipal de Portos e Navegação  
 Versão corrigida e atualizada de acordo com o plano  
 Carta Náutica nº 701

Publicado em 27 de abril de 1945

Figura 28 – Carta Náutica Nº 701 do Porto do Mucuripe em 1945. Fonte: DHN, 1945.

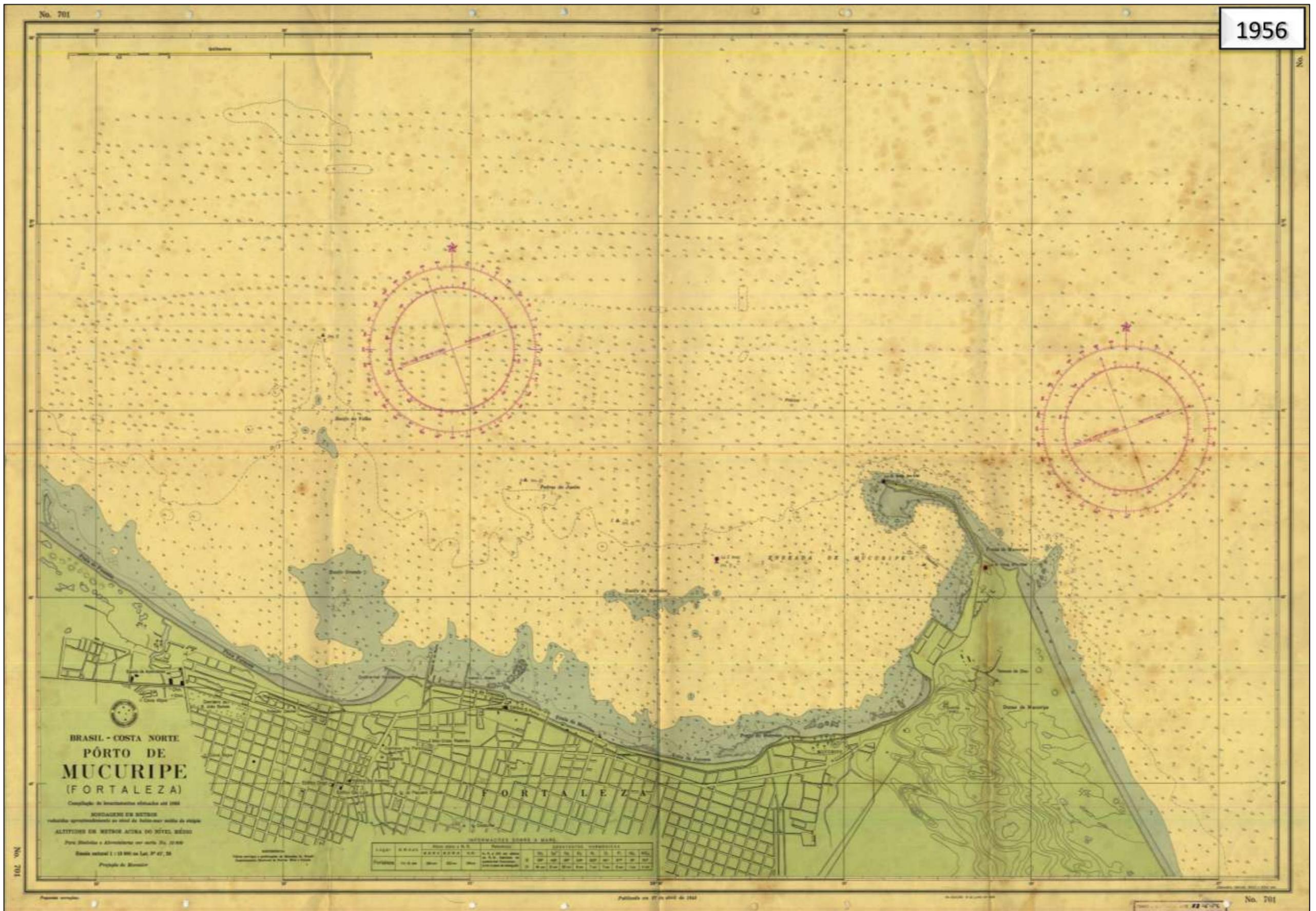


Figura 29 – Carta Náutica 701 do Porto do Mucuripe em 1956. Fonte: DHN, 1956.

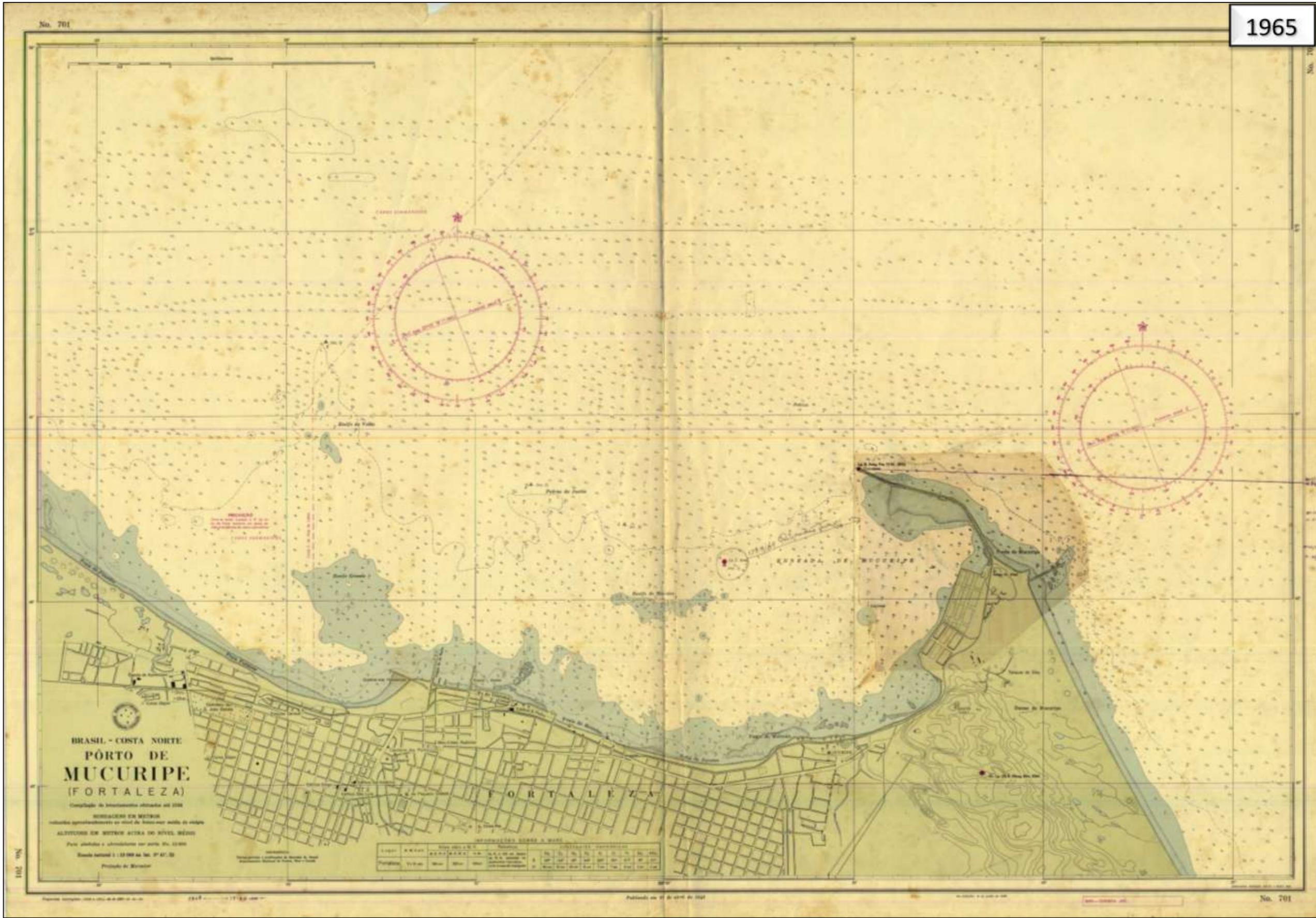


Figura 30 – Carta Náutica Nº 701 do Porto do Mucuripe em 1965. Fonte: DHN, 1965.

A carta náutica de 1978 está apresentada na Figura 31. Nela é possível observar várias alterações que indicam que a ocupação humana do litoral não ocorre sem reflexos na natureza. Observa-se, em relação à carta de 1965, um prolongamento do molhe do Titãzinho, que passa de 450 metros para 990 metros de comprimento, provocando uma maior retenção de sedimentos no setor leste, a montante do espigão. A profundidade nessa área tornou-se cada vez menor, retendo sedimentos antes que eles atinjam a bacia portuária. Continua ocorrendo o assoreamento intenso na parte interna do quebra-mar do porto, com o aumento da área da Praia Mansa.

Outro fato marcante é a construção do píer petroleiro – somente inaugurado em 1982; desta vez a obra foi construída sobre pilotis, na forma de um viaduto vazado que permite o caminhamento das correntes, caso elas ocorram. Podem-se observar pelas mudanças das curvas batimétricas os efeitos da dragagem do Porto do Mucuripe graças ao aumento da profundidade do canal de acesso ao porto e do cais de atracação, com profundidades superiores a 10 metros. Também pode ser observada, a noroeste do quebra-mar, a formação do banco de areia submarino, que apresenta agora profundidades inferiores a 10 metros. A linha batimétrica de -5m também apresenta variações significativas com diminuição lenta, mas progressiva, das profundidades na bacia portuária.

A carta náutica de 1991 pode ser visualizada na figura 32. Nesta imagem, os fatores mais marcantes são a modificação do traçado da Praia Mansa, resultante do aprofundamento da bacia portuária por obras das dragagens hidráulicas; e também modificações na isóbata de -10m na bacia de evolução do porto, devido também às dragagens. Esses trabalhos foram realizados no canal de acesso e no cais de atracação do porto, e pela primeira vez na área do ancoradouro do píer petroleiro.

O acúmulo de areias na face de barlavento do molhe do Titãzinho (na porção leste do litoral de Fortaleza, antes da área portuária) confirma o aprisionamento de sedimentos transportados pela corrente de deriva litorânea, agravando o déficit sedimentar nas praias de oeste, em Fortaleza, e no litoral de Caucaia.

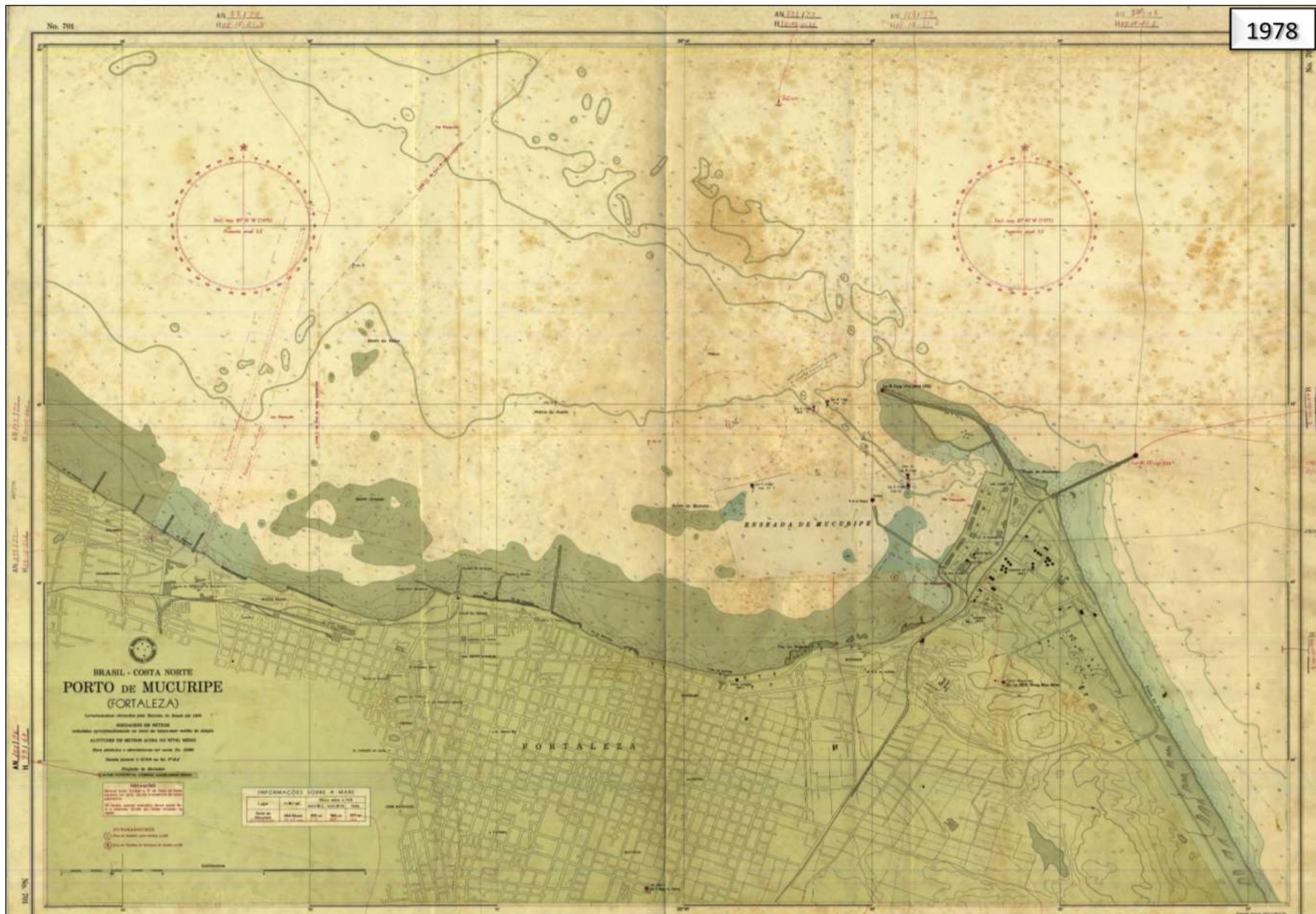


Figura 31 – Carta Náutica Nº 701 do Porto do Mucuripe em 1978. Fonte: DHN, 1978.

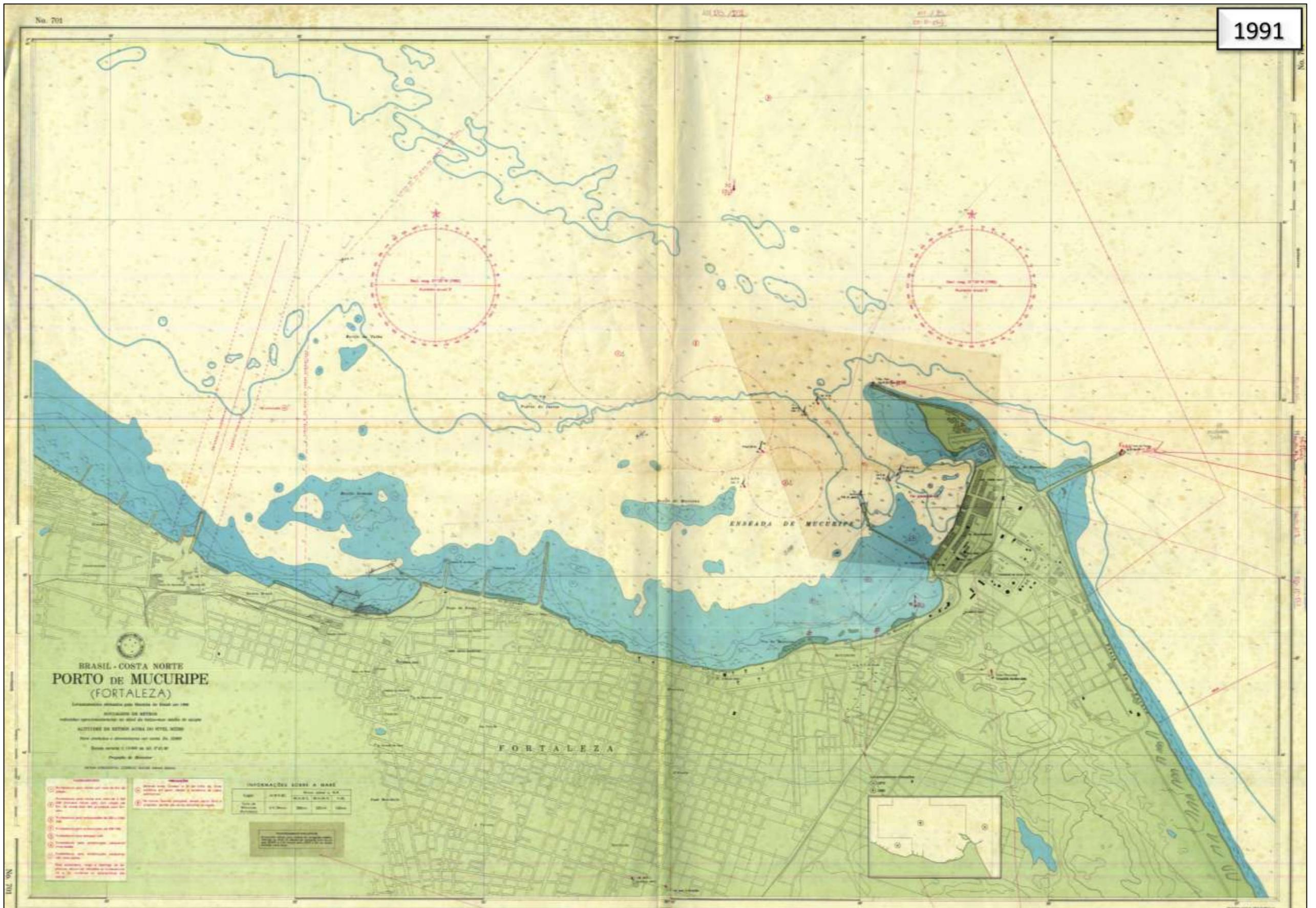


Figura 32 – Carta Náutica Nº 701 do Porto do Mucuripe em 1991. Fonte: DHN, 1991.

A carta náutica do ano 2002, apresentada na Figura 33, mostra a evolução sedimentar da Enseada do Mucuripe. Pode-se observar o significativo aumento do banco sedimentar a noroeste do quebra-mar do porto. A área com batimetria inferior a 10 metros cresce gradativamente, acumulando sedimentos transportados pelas correntes costeiras (Figura 24). O acúmulo de sedimentos nessa área não ocorria antes do prolongamento do quebra-mar do Porto do Mucuripe na década de 1950. Com a diminuição da profundidade no banco submarino, aumenta o freio na corrente litorânea que perde velocidade, aumentando a sedimentação dos grãos de areias que são transportados. Esses sedimentos depositados são retirados da corrente de deriva litorânea, aumentando o déficit sedimentar a oeste do porto.

A figura 34 apresenta a carta náutica do Porto do Mucuripe para o ano de 2018 conforme publicação da DHN em seu site ([www.dhn.mar.mil.br](http://www.dhn.mar.mil.br)). Pode-se observar a consolidação do banco submarino a noroeste da ponta do quebra-mar do porto, e mesmo o afloramento de pequenos bancos com profundidade inferiores a 10 metros. Entretanto, uma parte desse banco sofre redução de volume em decorrência dos trabalhos de dragagens do canal de acesso ao porto, mas a navegação nessa área se torna difícil à medida que as profundidades diminuem. As dragagens já realizadas aprofundaram a área da bacia de evolução do Porto do Mucuripe na ponta do píer petroleiro, no canal de acesso ao porto e no cais de atracação das embarcações.

Observa-se também uma mudança significativa na posição das isóbatas de 5 e 10 metros com aumento das áreas de menor profundidade, como veremos a seguir nos cálculos do aumento dessas áreas de menor profundidade. As areias provenientes da Praia do Futuro, transportadas pela corrente de deriva litorânea, estão sendo depositadas na Enseada do Mucuripe, acumulando-se, não sendo plenamente remobilizadas para continuarem seu deslocamento até as praias do litoral oeste de Fortaleza e de Caucaia. Os processos erosivos, principalmente em Caucaia, agravam-se progressivamente, sem possibilidade de um equilíbrio natural no balanço sedimentar. O modelo hidrodinâmico que se instalou após a construção do Porto do Mucuripe e do molhe do Titãzinho determinou processos de assoreamento na Praia do Serviluz e na Enseada do Mucuripe que provocam erosão permanente nas praias de Fortaleza e Caucaia.

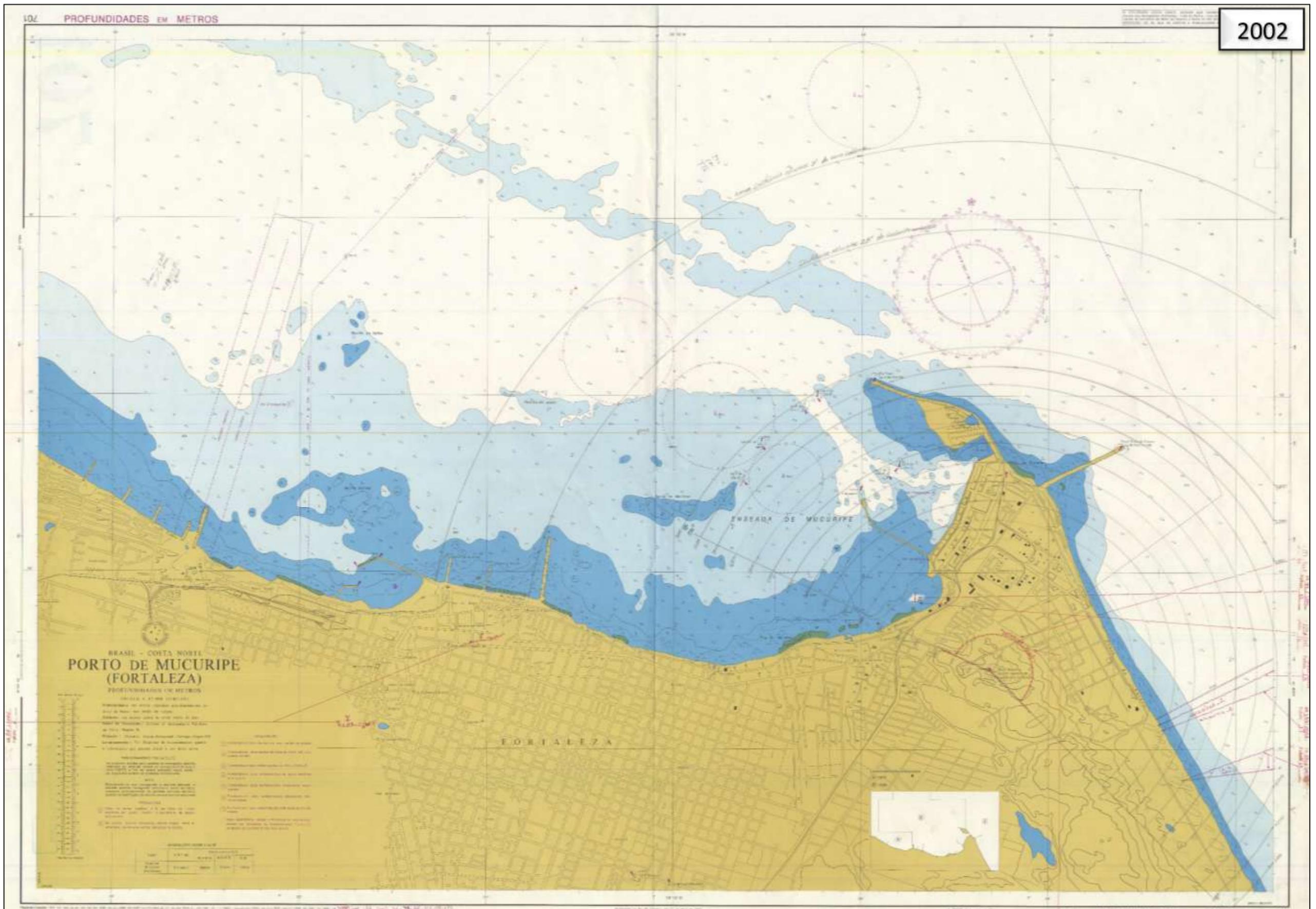


Figura 33 – Carta Náutica Nº 701 do Porto do Mucuripe em 2002. Fonte: DHN, 2002.



As análises da evolução das cotas batimétricas da Enseada do Mucuripe entre os anos de 1945 e 2018, a partir das Cartas Náuticas Nº 701, estão apresentadas nas Figuras 35 e 36.

Na Figura 35, encontram-se sobrepostas as curvas isóbatas de -5 metros dos anos de 1945 e 2018. O crescimento das áreas de cota -5 m foi calculado em locais diferentes. Primeiramente no Serviluz, no molhe do Titãzinho, cuja área em 1945 era de 570.538,92 m<sup>2</sup> (57,0 hectares). O assoreamento causado pelo molhe do Titãzinho fez essa área aumentar ao longo dos anos e em 2018 se encontra em 849.930,28 m<sup>2</sup>.

A diferença de áreas entre os anos 1945 e 2018 corresponde a um aumento de 279.391,36 m<sup>2</sup>, ou seja, a área com profundidade inferior a -5 metros aumentou em 27,9 hectares. Esse cálculo realizado agora é relativo à faixa de profundidade de entre 0,00 m até -5,00 m a partir do nível zero da maré baixa média de sizígia, parâmetro utilizado para a confecção das cartas náuticas. Vale lembrar que essa área calculada é relativa à parte submersa do mar, mesmo na maior maré baixa do mês. Ressalte-se ainda que a área de acúmulo de sedimentos na Praia do Serviluz com cota altimétrica igual ou superior a zero (terrenos que afloraram pelo assoreamento) é de 65,5 hectares, ou seja, área de praia criada pela deposição de sedimentos, como visto anteriormente.

Na Enseada do Mucuripe a área da cota -5 m passou de 3.946.534,68 m<sup>2</sup> em 1945 para 5.923.951,81 m<sup>2</sup> em 2018. A diminuição de profundidade por acúmulo de sedimentos atingiu uma área de 1.977.417,13 m<sup>2</sup> (197 hectares). Este estudo mostrará mais adiante que a acumulação de areias aumentando a área da cota -5 m vai ocorrer soterrando as áreas com cotas entre -5 e -10 m de profundidade, aprisionando sedimentos que antes eram mobilizados pela corrente de deriva litorânea.

Quando se observa o comportamento da cota -10 m de profundidade no Titãzinho, a área analisada em 1945 era de 483.416,19 m<sup>2</sup> (48,3 ha) e evoluiu até 1.430.968,81 m<sup>2</sup> (143,0 ha) em 2018. O assoreamento aumentou essa área em 947.551,25 m<sup>2</sup> (94,7 ha). Esse fato foi provocado pela presença do molhe do Titãzinho que barra os sedimentos transportados pela corrente de deriva litorânea e, praticamente, triplicou a área com profundidade inferior a -10 metros.

Na Enseada do Mucuripe, observa-se um fenômeno diferente: houve uma diminuição da área compreendida entre as cotas de -5m e -10m, embora a cota -10m tenha se

expandido em direção às áreas mais profundas. Isso se explica pelo avanço da cota de -5 m sobre a área que antes era de -5 m a -10 m, pelo acúmulo de sedimentos mais próximos da profundidade de -5 metros. Outro fator que contribuiu para a diminuição da área da cota de -10 m foram as diversas dragagens realizadas na bacia de evolução do Porto do Mucuripe, retirando 15,7 milhões de metros cúbicos de areias desde a inauguração do porto. A área da cota de -10 m, que era de 12.854.777,22 m<sup>3</sup> (1.285,4 ha) em 1945, reduziu-se a 10.796.680,81 m<sup>2</sup> (1.079,6 ha) em 2018, diminuindo 2.058.096,41 m<sup>2</sup> (205,8 ha) ao longo dos anos.

Na Enseada do Mucuripe, entre 1945 e 2018, surgiu um banco submarino, na direção noroeste da ponta do quebra-mar do porto, que, em 1945, não apresentava profundidades inferiores a 10 metros. A partir da década de 1970 (figura 31 – carta náutica de 1978), aparecem as primeiras profundidades inferiores à cota -10 m. A área desse banco submarino com profundidade menor que -10m em 2018 é de 2.194.612,40 m<sup>2</sup> (219,4 ha).

No quadro a seguir são apresentadas as áreas das cotas de – 5m (de 0,0 a 5,0 metros de profundidade) e de -10 m (de 5,1 a 10,0 m de profundidade, em metros quadrados).

| <b>Cota</b> | <b>Local</b>        | <b>Área 1945 (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Área 2018 (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Diferença (m<sup>2</sup>)</b> |
|-------------|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| - 5 m       | Titãzinho           | 570.538,92                       | 849.930,28                       | 279.391,36                       |
|             | Enseada do Mucuripe | 3.946.534,68                     | 5.923.951,81                     | 1.977.417,13                     |
| - 10 m      | Titãzinho           | 483.416,91                       | 1.430.968,16                     | 947.551,24                       |
|             | Enseada do Mucuripe | 12.854.777,22                    | 10.796.680,81                    | - 2.058.096,41                   |
|             | Banco Submarino     | 0,00                             | 2.194.612,40                     | 2.194.612,40                     |

Observando esse quadro, pode-se afirmar que a Enseada do Mucuripe foi invadida por sedimentos provenientes da Praia do Futuro. Essas areias se acumulam em quatro áreas: na Praia do Serviluz, na Praia Mansa, nos bancos submarinos e na bacia de evolução do Porto do Mucuripe.

O conjunto dos sedimentos depositados nessas áreas é o principal responsável pelos processos erosivos nas praias situadas a oeste do complexo portuário do Mucuripe, nos municípios de Fortaleza e de Caucaia.

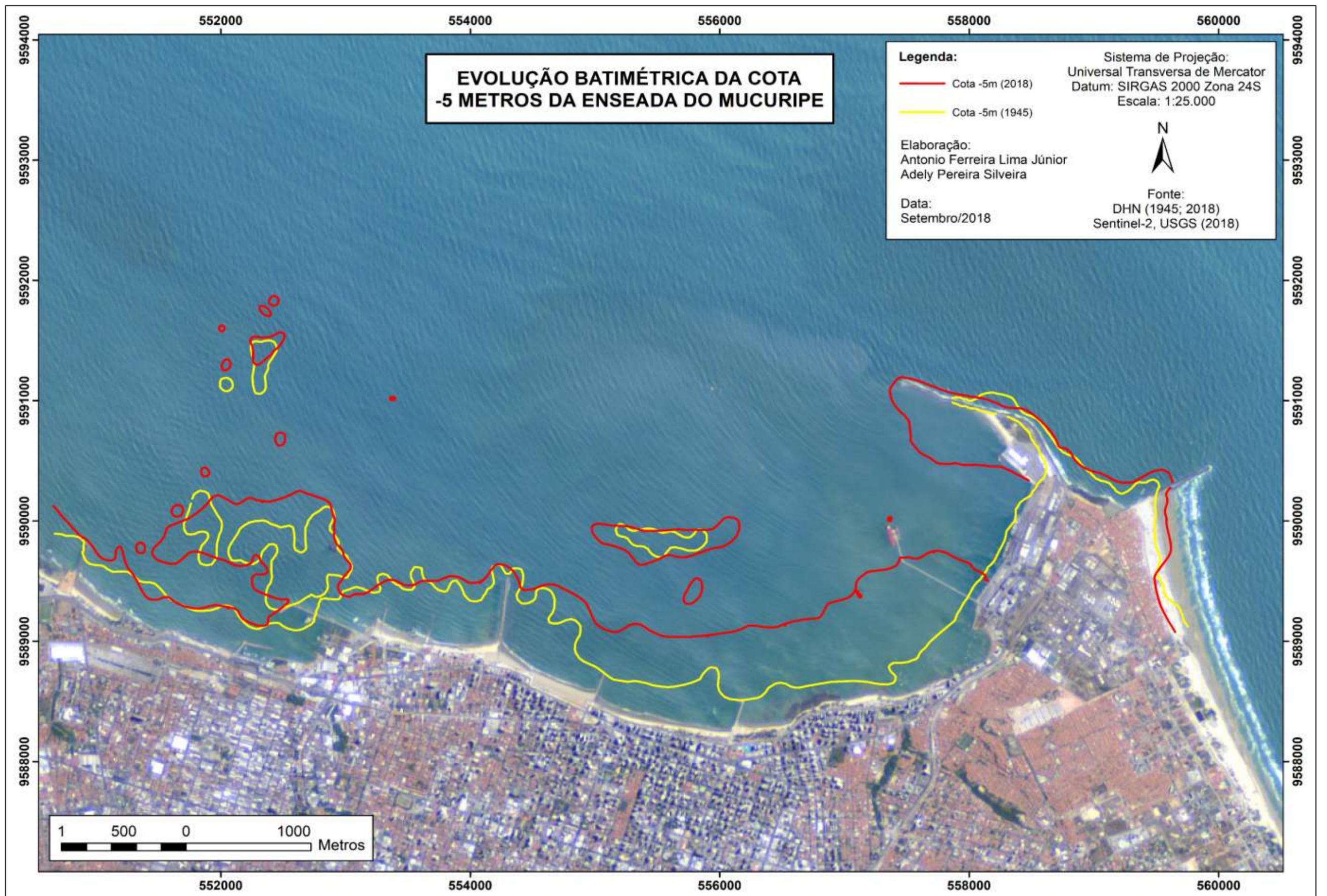


Figura 35 – Evolução Batimétrica da Cota -5 metros da Enseada do Mucuripe entre 1945 e 2018. Fonte: DHN (1945, 2018), Sentinel 2 (2018).

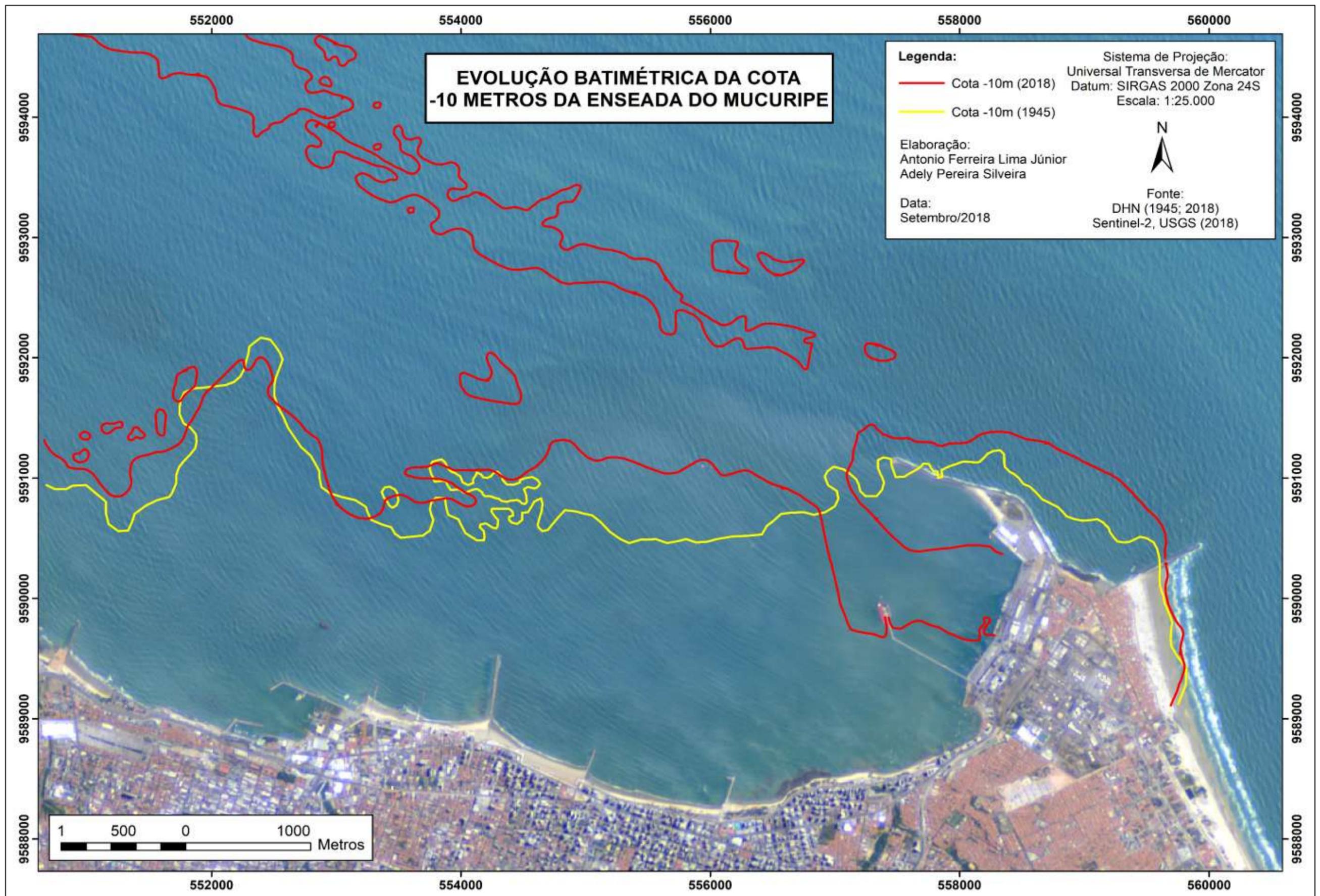


Figura 36 – Evolução Batimétrica da Cota -10 metros da Enseada do Mucuripe entre 1945 e 2018. Fonte: DHN (1945, 2018), Sentinel 2 (2018).

## **5. ANÁLISE DIACRÔNICA DA EROSÃO COSTEIRA NO LITORAL DE FORTALEZA E DE CAUCAIA**

A análise dos processos erosivos ao longo do litoral de Fortaleza e de Caucaia não pode ser feita de forma instantânea, observando apenas o momento da análise. Esse erro de análise instantânea motivou a criação do mito popular de que a erosão na Praia do Icaraí deu-se em decorrência da construção do aterro da Praia de Iracema, realizado pela Prefeitura Municipal de Fortaleza, no ano de 2000.

Necessário se faz analisarem os fatos diacronicamente, cada evento a seu tempo e com suas causas e consequências. Na natureza, e em especial quando tratamos da dinâmica litorânea, os fatores estão fortemente interligados. A dinâmica costeira envolve, entre outros, como fatores principais, o vento, as ondas, as marés, as correntes costeiras, o transporte marítimo de sedimentos e o transporte eólico das areias. Qualquer alteração em qualquer um desses fatores pode provocar (e quase sempre provoca) consequências desastrosas para o equilíbrio natural da zona costeira.

A análise dos processos de erosão costeira ao longo do litoral de Fortaleza foi feita a partir de informações coletadas nos diversos artigos científicos já mencionados no início desse Parecer Ambiental, reforçados de uma pesquisa nos jornais de grande circulação local, o centenário Jornal O Povo e o Jornal Diário do Nordeste, mais recente, fundado no ano de 1981.

Segundo Maia (1998), após a finalização das obras do Porto do Mucuripe, que interrompeu o transporte longitudinal de sedimentos, no período de 1929 a 1947 a linha de costa apresentou as mudanças de maior magnitude. O recuo da linha de costa nas praias a oeste do porto foi em média de 77 metros. A região mais afetada foi a Praia de Iracema, com um retrocesso de 130 m, sendo destruídas pela erosão diversas construções, entre elas infraestruturas urbanas. Os menores valores encontrados, 32 metros, ocorreram na Praia do Meireles.

Maia (1998) afirma ainda que essa grande diferença na magnitude dos recuos da linha de costa está associada às mudanças das características geológicas do terreno, pois a maior parte da área está formada por areias sem coesão, podendo, localmente, encontrarem-se terrenos mais resistentes formados por arrecifes.

Outro fator que pode ser destacado é que a Praia do Meireles encontra-se na zona de sombra do quebra-mar do Porto do Mucuripe, ou seja, as ondas quebram na muralha de pedras e não incidem diretamente nessa área. Esse fator é decisivo para o entendimento dos processos erosivos locais e sua influência (ou não) na erosão das praias do município de Caucaia. A zona de sombra do quebra-mar do porto protege as Praias de Meireles e Mucuripe, e foi desenhada por Moraes (1980) (Figura 37).

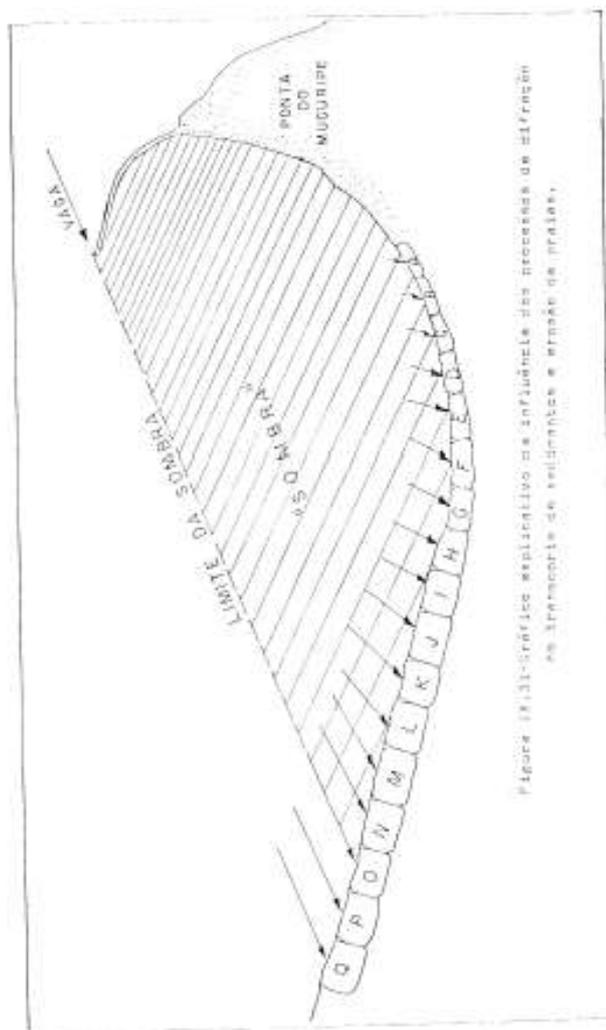


Figura 37 – Zona de sombra das ondas na Enseada do Mucuripe, cobrindo as Praias do Meireles e Mucuripe. Fonte: Moraes, 1980.

As praias de Meireles e Mucuripe foram as que menos sofreram processos erosivos após a construção do Porto do Mucuripe. Se por um lado elas não recebem mais os sedimentos da corrente de deriva litorânea, nem as areias pelo *bypass* das dunas do Mucuripe, por outro lado são menos atacadas pelas ondas.

Maia (1998) calculou o recuo da costa de Fortaleza entre 1947 e 1964, depois que o poder público realizou obras em três trechos do litoral, com enrocamentos na Praia de

Iracema e no Poço da Draga. Os enrocamentos e os arrecifes diminuíram o retrocesso costeiro até um valor médio de 21 metros. Esse autor alerta ainda que “como as obras não protegiam toda a costa, a erosão se manteve na Praia de Iracema, com recuo da costa em até 56 metros”.

Morais e Pitombeira (1974), Moraes (1980) e Maia (1998) afirmam que a difração das ondas no quebra-mar do Porto do Mucuripe originou, dentro da zona de sombra do dique, uma corrente com direção contrária à da deriva litorânea. Este fenômeno produz uma acumulação de sedimentos dentro da bacia portuária e, localmente, um avanço da costa.

A ampliação do quebra-mar do Porto do Mucuripe e a construção do molhe do Titãzinho em 1963 melhoraram a situação da deposição de sedimentos na bacia de evolução do porto (Maia, 1998); entretanto, dois problemas continuavam a se produzir, a diminuição das profundidades no canal de navegação e no cais do porto e os processos erosivos que continuavam a se abater sobre a Praia de Iracema.

Para solucionar esses dois problemas, foram realizadas dragagens periódicas no Porto do Mucuripe e foi construído um molhe na Praia de Iracema. Esse molhe, de 650 metros de extensão, foi erguido no ano de 1969, defronte à Rua João Cordeiro, constituído de rochas graníticas. Essa estrutura foi utilizada no ano 2000 como um dos dois molhes de proteção do aterro da Praia de Iracema.

Maia (1998) calculou também o recuo da linha de costa nessa área, entre os anos de 1964 e 1980, e encontrou um retrocesso médio de 11 metros, ou seja, mantendo-se o comportamento erosivo. A menor erosão nesse período se deve, em parte, às obras de defesa do litoral e, também, ao alcance das condições limite para esgotamento do estoque de areias, ou seja, já não há mais tanto sedimento disponível para ser erodido.

Observa-se que o início dos processos erosivos ocorre na Praia de Iracema, com relatos de erosão já a partir do final dos anos 1940 e, principalmente, nos anos 1950. A partir do ponto final da zona de sombra, no sentido oeste da Praia de Iracema, as ondas incidem diretamente na costa, transportando lateralmente os sedimentos pela deriva litorânea. A erosão retira sedimentos da Praia de Iracema sem que sejam repostos pela mesma corrente, devido ao seu barramento pela construção do porto do Mucuripe. Outro problema de grande magnitude é a inexistência de sedimentos disponíveis para o transporte lateral, uma vez que esses sedimentos estão

aprisionados nas quatro áreas de deposição do complexo portuário: na Praia do Serviluz, na Praia Mansa, na bacia portuária e nos bancos submarinos da Enseada do Mucuripe. O volume de sedimentos que consegue atravessar esses quatro pontos de retenção chega em pequena quantidade ao litoral oeste, como veremos a seguir.

A construção do molhe na Praia de Iracema teve duas finalidades específicas: a primeira, diminuir a incidência das ondas que provocam processos erosivos, criando uma zona de sombra a oeste da estrutura; e a segunda função é de acumular sedimentos a leste da muralha, aumentando a área de praia defronte ao trecho da Avenida Historiador Raimundo Girão. Como pode ser visto na imagem de 1978 (Figura 38), quase 10 anos após a construção do molhe, a função de acumular sedimentos no lado leste nunca se efetivou pelo fato de o transporte de sedimentos nessa área ser quase nulo. Não há sedimentos disponíveis para serem acumulados.



Figura 38 – Molhe da Praia de Iracema em 1978. Fonte: AUMEF, 1978.

Um dos argumentos que levam à propagação da crença popular (que o aterro da Praia de Iracema causou a erosão costeira na Praia do Icaraí) é a afirmação de que “para se fazer o aterro, um novo molhe foi construído, defronte à Avenida Rui Barbosa, e que esse molhe reteria sedimentos que fariam falta nas praias de oeste, sendo a do Icaraí a mais afetada”. Esse argumento, entretanto, não se sustenta, pois quase 10 anos após sua construção, o molhe da Praia de Iracema não acumulou sedimentos no seu lado leste, conforme mostra a Figura 38 do ano de 1978. Não há como as estruturas dos espigões do aterro da Praia de Iracema terem prejudicado o caminamento das areias, vez que não existem areias caminhando nesse trecho da Praia de Iracema.

A realidade é que o transporte de sedimentos é barrado no complexo portuário e não existe mais *bypass* nas dunas do Mucuripe. A porção leste do molhe teve suas correntes invertidas pela difração das ondas no quebra-mar do Porto do Mucuripe (Figura 8). Caso existissem sedimentos, eles caminhariam no sentido leste, contrário ao das praias de Caucaia. A construção do aterro não interferiu na erosão costeira de Caucaia.

Nas décadas de 1950 e 1960, os processos erosivos consumiram os sedimentos da Praia de Iracema, que não são repostos, mantendo uma situação de déficit sedimentar grave. As ondas que não são barradas pelo quebra-mar do Porto do Mucuripe (zona de sombra nas Praias do Meireles e Mucuripe) continuam seus trajetos em direção às praias de oeste, atingindo frontalmente as regiões do Poço da Draga, Pirambu, Leste Oeste, Nossa Senhora das Graças, Goiabeiras e praias do município de Caucaia.

A partir do final da década de 1960 e, principalmente, na década de 1970, a erosão atinge progressivamente as praias do litoral oeste de Fortaleza, retirando os sedimentos e transportando-os na direção oeste. Cada praia erodida fornece sedimentos para a praia subsequente, entretanto, não recebe a reposição necessária ao equilíbrio sedimentar, entrando em colapso, recuando a linha de costa e destruindo as estruturas urbanas com perda de patrimônio público e privado. A erosão segue seu caminho, mas só é percebida e relatada quando atinge essas estruturas urbanas.

Para conter o avanço do mar, o poder público fez intervenções, construindo 11 molhes de proteção ao longo do litoral oeste de Fortaleza na década de 1970 e início

dos anos 1980. Foram projetadas e construídas com blocos de rochas graníticas, estruturas de porte menor do que as do molhe da Praia de Iracema (650 m).

O primeiro dos molhes é o maior, com 450 metros de extensão, localizado no início da Praia do Pirambu, seguido de mais 10 estruturas com extensões que variam de 110 a 270 metros, sendo o último erguido na foz do Rio Ceará com a finalidade de evitar a migração da embocadura desse rio (Figura 39).



Figura 39 – Molhes de proteção costeira construídos no litoral oeste de Fortaleza. Fonte: Google Earth, 2018. Adaptado pelo autor.

As estruturas construídas mostram-se bastante eficientes, protegendo o litoral contra o ataque das ondas e acumulando sedimentos na porção leste de cada molhe. O acúmulo de sedimentos em cada um dos molhes de proteção é indicativo de que, a partir dessa área (longe da zona de sombra do quebra-mar do Porto do Mucuripe), ainda existe uma pequena quantidade de sedimentos sendo transportados pela corrente de deriva litorânea. Na Figura 39 pode-se observar a mancha de sedimentos mobilizados que transpassam as extremidades dos molhes. Infelizmente, essa quantidade de areias não é suficiente para equilibrar o balanço sedimentar das praias do litoral de Caucaia.

Ademais, na figura 39 pode-se observar ainda a construção de um molhe com 740 metros de extensão, constituído de três seções, uma perpendicular a praia e as outras duas mais curvadas para o oeste. Essa estrutura foi construída no final da década de

2000 e teve por finalidade proteger a área do Projeto Vila do Mar da Prefeitura de Fortaleza.

Na década de 1980, os processos erosivos atacam pela primeira vez o município de Caucaia, no outro lado da foz do Rio Ceará, fenômeno amplamente noticiado na imprensa local, sendo a Praia dos Dois Coqueiros a primeira a ser arrasada pelo ataque das ondas. O litoral de Fortaleza conseguiu fazer suas estruturas de proteção de modo a minimizar os impactos negativos dos processos erosivos, mas a penúria em sedimentos persiste, provocando déficit sedimentar ao longo de todo o litoral de Caucaia, que não fez as mesmas intervenções que o município de Fortaleza.

Na sequência do tempo e do espaço (sempre na direção oeste), as próximas praias a sofrerem com o ataque das ondas são Iparana e Pacheco, com início no final da década de 1980 e que se intensifica a partir do início da década de 1990. Essas praias são caracterizadas, principalmente, pela urbanização de lazer e turismo, com segundas residências, barracas de praia e clubes recreativos.

Gurgel (1988) estudou o litoral de Caucaia e alertou para o problema da erosão costeira na Praia de Iparana, calculando que trechos dessa área tiveram recuo da linha de costa em até 200 metros.

Na praia de Iparana está localizada a Colônia de Férias do SESC, que teve sua estrutura ameaçada pela erosão costeira. O SESC encomendou um projeto de proteção costeira que foi implantado ainda na década de 1990. A estrutura consiste em um enrocamento com 1.070 metros de extensão, paralelo a linha de costa (Figura 40).

A função do projeto foi unicamente proteger as estruturas continentais contra a erosão costeira, sem preocupação em recuperar a área de praia. O enrocamento construído com rochas graníticas protege o litoral do recuo da linha de costa, mas a praia jamais se recuperou em termos de volume sedimentar. Mesmo em maré baixa de sizígia, a área fica quase toda submersa, aflorando apenas os *Beach Rocks*. Não existe mais praia nesse local. Do ponto de vista da gestão integrada da zona costeira (Vasconcelos, 2005), as decisões tomadas em Iparana e o projeto executado para a proteção costeira contrariam os mais diversos interesses de usos da praia. O desaparecimento da praia tem sérios impactos socioambientais negativos, como a perda da infauna sedimentar, diminuição drástica de organismos bentônicos, diminuição da pesca artesanal, diminuição da área de ancoradouro de pequenas

embarcações (jangadas), desaparecimento de atividades de lazer e recreação, diminuição das atividades turísticas, diminuição da renda da população local, diminuição de arrecadação de tributos, entre outros impactos. No caso específico dessa área, pode-se citar ainda outro fator agravante para a perda da praia, pois existindo uma colônia de férias no local, o seu maior atrativo era a praia, patrimônio que foi perdido pela erosão costeira.



Figura 40 – Enrocamento construído na Praia de Iparana defronte à Colônia de Férias do SESC. Fonte: Google Earth, 2018.

Podemos ainda observar na Figura 40 a acumulação de areia no lado leste do enrocamento, formando uma pequena praia. A ponta formada pela parte inicial do enrocamento funciona como um pequeno molhe perpendicular à linha de costa, acumulando sedimentos. O que ocorre nesse ponto é semelhante ao que ocorreu na área dos 11 molhes construídos entre o Pirambu e a foz do Rio Ceará em Fortaleza, na década de 1970 e início de 1980, indicando que os poucos sedimentos que transitam pela corrente de deriva litorânea podem ser aprisionados, recuperando a praia e protegendo o continente. Esse é o modelo de proteção que poderia ter sido replicado ao longo do litoral de Caucaia.

Na sequência do tempo e à medida que a erosão caminha para leste na década de 1990, os proprietários de imóveis ao longo da orla tentam proteger seus patrimônios construindo com recursos próprios, ou pressionando o poder público para construir com recursos públicos, estruturas de proteção costeira. Deste modo, foram feitas 10 intervenções entre as praias de Iparana e Icaraí, todas após a construção do

enrocamento na Colônia de Férias do SESC. Foram nove as estruturas do tipo enrocamento e um *Bagwall*.

Os nove enrocamentos tem extensões diferentes, sendo o menor com apenas 70 metros, e os dois maiores, na Praia do Icaraí, com 330 metros, e na Praia do Pacheco, com 270 metros. No total, somando a extensão de todos os enrocamentos, somam 1.430 metros de artificialização do litoral com rochas graníticas. Todos esses enrocamentos protegem o litoral da erosão, mas, sem exceção, perde-se também a área de praia.

A outra obra costeira na Praia do Icaraí foi a construção, em 2010, pela Prefeitura Municipal, de um modelo de proteção denominado de *Bagwall*, que consiste na construção de estruturas de concreto em forma de escada entre o continente e a linha de preamar, para amortecer o impacto das ondas e conter o recuo da linha de costa. Apesar dos avisos de especialistas das universidades locais de que essa opção de proteção não era a adequada para a Praia do Icaraí, o poder público construiu 835 metros de *Bagwall* nessa praia (Souza, 2011) e, como era de se esperar, a estrutura não funcionou de forma eficiente. Esse modelo de proteção costeira (*Bagwall*) tem apresentado bons resultados em áreas protegidas de ondas, como baías e enseadas, ambientes bem diferentes da Praia do Icaraí.

Observa-se que apesar de existir o bom exemplo das estruturas de proteção costeira de Fortaleza, que funcionam eficientemente como mecanismos de proteção costeira, e apesar ainda do alerta dos especialistas de que o *Bagwall* não funcionaria, essas estruturas continuaram sendo construídas, e ainda estão sendo erguidas na atualidade. Segundo reportagem do Jornal Diário do Nordeste, de 21 de agosto de 2017, a Prefeitura de Caucaia pretende continuar utilizando os *Bagwalls*, planejando construir essas estruturas em pontos das Praias de Iparana, Cumbuco e Taiba. A julgar pela experiência das estruturas já implantadas, provavelmente estas também não vão funcionar de eficientemente.

Continuando a análise diacrônica, chegamos à década de 2000, especificamente entre 2000 e 2001, período da construção do aterro da Praia de Iracema, em Fortaleza, e pode-se observar que o molhe construído nessa praia em 1969, mais de 30 anos antes, não conseguiu reter sedimentos em sua parte leste, portanto não está aprisionando areias que poderiam estar fazendo falta nas praias de Caucaia, situadas a oeste.

A construção do aterro foi uma decisão da municipalidade de Fortaleza de investir na recuperação de uma praia que já teve mais de 150 metros de extensão latitudinal na década de 1940, devolvendo à cidade um espaço de uso público, que se tornou uma referência como local de grandes manifestações de várias naturezas.

A ligação entre o aterro da Praia de Iracema e a erosão na Praia do Icaraí é apenas uma coincidência de datas. A Praia do Icaraí já vinha recuando e perdendo sedimentos desde a década de 1980, entretanto, o recuo da linha de costa consumiu primeiro a faixa de praia, mas não havia ainda atingido as estruturas urbanas, fato que só vai ocorrer a partir do ano 2000, mesmo ano da construção do aterro. Com o ataque erosivo sobre estruturas urbanas, ruas, residências, redes de serviços públicos etc. que foram destruídos, fato que despertou a atenção do público e da mídia que passaram a perceber a erosão costeira, que antes fazia apenas diminuir a área de praia. O alerta foi dado e a relação entre os dois fenômenos foi feita de forma instantânea, entretanto completamente equivocada.

Morais (2001) e Vasconcelos *et al.* (2007) estudaram a variação da linha de costa no litoral de Caucaia entre 1968 e 1996 e concluíram que esse trecho do litoral recuou entre 150 e 400 metros nesse período. Na Praia do Icaraí, a erosão costeira consumiu 350 metros de praia em apenas 28 anos, ou seja, quatro anos antes da construção do aterro da Praia de Iracema, a Praia do Icaraí já estava sob os efeitos de fortes processos erosivos. Fazendo o cálculo da média de recuo da linha de costa da Praia do Icaraí para o período de 1968 a 1996, obtém-se uma taxa média de 12,5 metros/ano.

Vale ressaltar que, como foi demonstrado ao longo desse Parecer, a erosão é diacrônica, com processos erosivos no Icaraí se intensificando a partir do final da década de 1980 e, principalmente no início da década de 1990, ou seja, do período de 1968 até a metade da década de 1980, a erosão foi muito pequena, quase imperceptível. Pode-se então afirmar que o recuo de 350 metros da linha de costa entre 1968 e 1996 ocorreu mais intensamente a partir da metade da década de 1980, com uma velocidade bem superior a que foi calculada para o período de 28 anos de análise.

A Figura 41, apresentada a seguir, por si só, seria suficiente para acabar com o mito popular que liga a erosão da Praia do Icaraí à construção do aterro da Praia de Iracema. Essa figura mostra em sua parte superior o litoral de Caucaia em 1968 e em sua parte inferior o mesmo trecho do litoral em 1996. A linha vermelha projetada

sobre a imagem de 1996, na parte inferior da figura, é a linha de costa em 1968. O recuo do litoral nessa área foi muito rápido, sendo uma consequência direta do desequilíbrio do balanço sedimentar negativo entre deposição e retirada de areias pela corrente de deriva litorânea. A causa principal desse déficit sedimentar é o aprisionamento das areias no complexo portuário do Mucuripe, incluindo a retenção na Praia do Serviluz, nos bancos submarinos, na Praia Mansa e na bacia de evolução portuária.

Em uma análise mais precisa, pode-se dizer que o aterro da Praia de Iracema não é o responsável pelo agravamento da erosão costeira em Caucaia; ao contrário, essa obra recebeu areias dragadas dos bancos submarinos, repatriando sedimentos perdidos para esses bancos costeiros. Qualquer volume de sedimentos que por acaso sejam retirados do aterro pela ação das ondas, irá alimentar as praias adjacentes, portanto, um efeito benéfico, embora temporário e com um volume que não irá resolver os problemas erosivos do litoral de Fortaleza e de Caucaia.

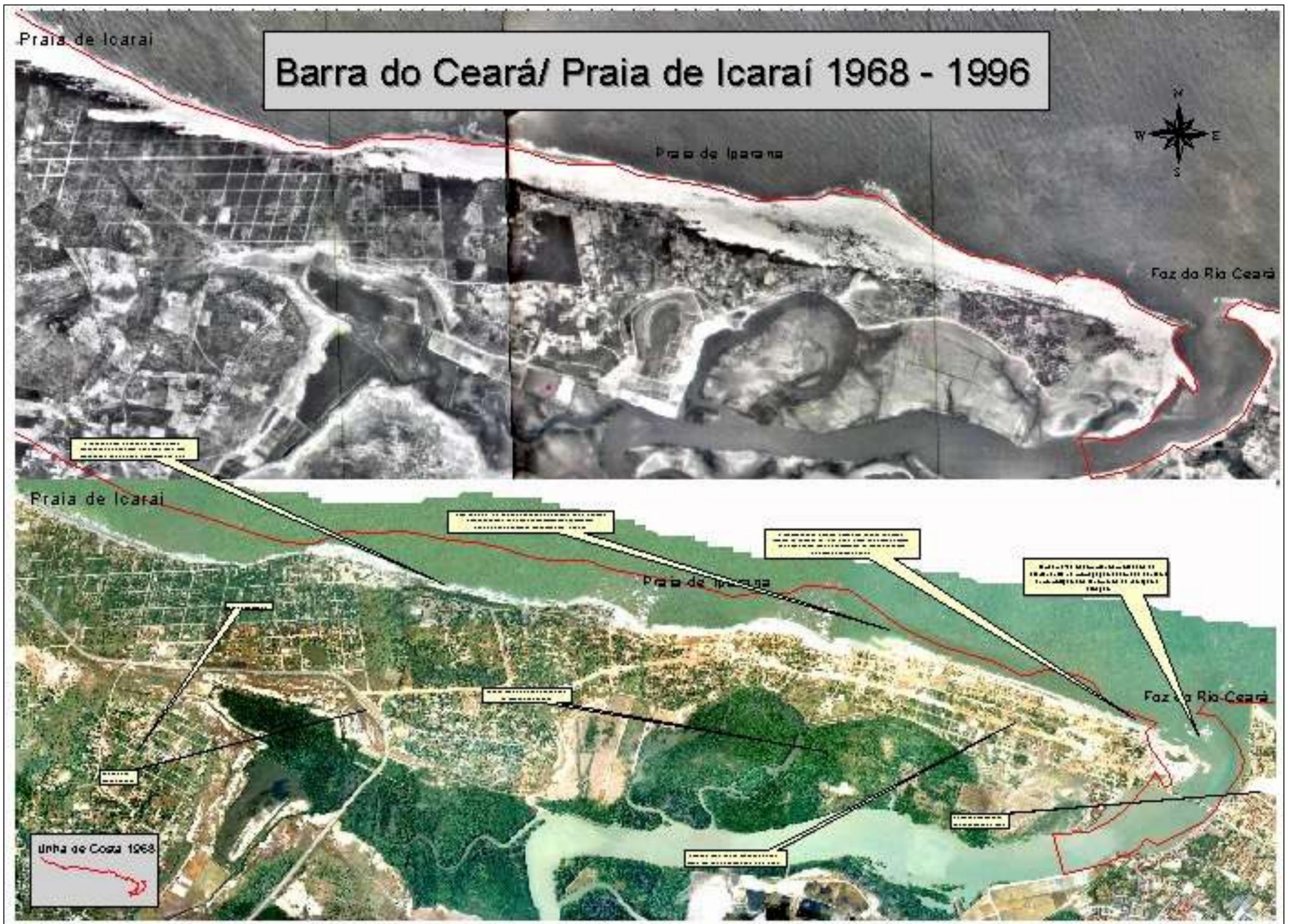


Figura 41 – Comparativo da linha de costa dos anos de 1968 e 1996 do litoral de Caucaia entre a foz do Rio Ceará e a Praia do Icaraí. Fonte: Morais, 2001.

O aterro da Praia de Iracema foi iniciado no ano 2000 e foi concluído em 2001 (Figura 42, letra B). Para sua execução, foi aproveitado, em sua porção oeste, o molhe construído em 1969 defronte à Rua João Cordeiro, e a leste foi erguido um molhe de proteção defronte à Avenida Rui Barbosa, com 260 metros de extensão. Assim, entre os molhes, em uma extensão de 860 metros de largura, foi realizado o aterramento hidráulico ampliando a área de praia para 160 metros de comprimento. Foi utilizado um volume aproximado de 1.100.000 m<sup>3</sup> de sedimentos extraídos dos bancos submarinos existentes a noroeste da ponta do molhe do Porto do Mucuripe.

A construção do molhe na parte leste do aterro, defronte à Avenida Rui Barbosa, teve por finalidade dar estabilidade à obra, evitando a fuga dos sedimentos para sentido leste, contrário ao sentido da corrente de deriva litorânea que é para oeste. Isto se deve à difração das ondas no quebra-mar do Porto do Mucuripe que criou uma corrente contrária ao sentido natural da deriva litorânea. Pode ser observado ainda na Figura 42 (B) que, passados 18 anos da construção do molhe defronte à Avenida Rui Barbosa, não existem sedimentos retidos no seu lado oeste, pois nessa área não há transporte e deposição de sedimentos pela corrente de deriva litorânea. Essa é mais uma prova de que a construção do aterro da Praia de Iracema não contribui para a retenção de sedimentos que possa agravar o déficit do balanço sedimentar na Praia do Icaraí. O aterro está localizado na zona de sombra do quebra-mar do Porto do Mucuripe.

Na sequência cronológica das intervenções, no ano de 2011, foi construída pela Prefeitura de Fortaleza a obra do Aterrinho da Praia de Iracema (Figura 42 – letra A). Para tanto foi aproveitado o molhe de proteção (construído em 1969) existente defronte à Rua João Cordeiro, e foi erguido um novo molhe com 200 metros de extensão a leste do aterro, na área do Poço da Draga, paralelo à Ponte Metálica. A área do Aterrinho tem 1.050 metros de comprimento e foi utilizado um volume de 260.000 m<sup>3</sup> de areias retiradas mecanicamente da Praia do Serviluz e transportadas por caminhão. Esses sedimentos excedentes da Praia do Serviluz foram acumulados pela construção do molhe do Titãzinho em 1963. A decisão de retirar sedimentos da Praia do Serviluz adveio do objetivo de diminuir o avanço das areias sobre as residências, atenuando os transtornos causados aos moradores locais. Após a construção do Aterrinho, também não foi observada a acumulação de sedimentos no molhe do Poço da Draga, indicando mais uma vez que não existe transporte litorâneo significativo nessa área.

A última intervenção no litoral de Fortaleza foi a construção, em 2013, de um molhe com 250 metros de extensão, na Praia do Meireles defronte à Avenida Desembargador Moreira, com a finalidade de evitar a fuga de sedimentos para leste quando for construído o aterro hidráulico da Beira Mar. Está prevista também a recomposição do Aterro da Praia de Iracema, que perdeu sedimentos desde o final de sua construção no ano de 2001. Esse projeto será apresentado em detalhes mais à frente neste Parecer.

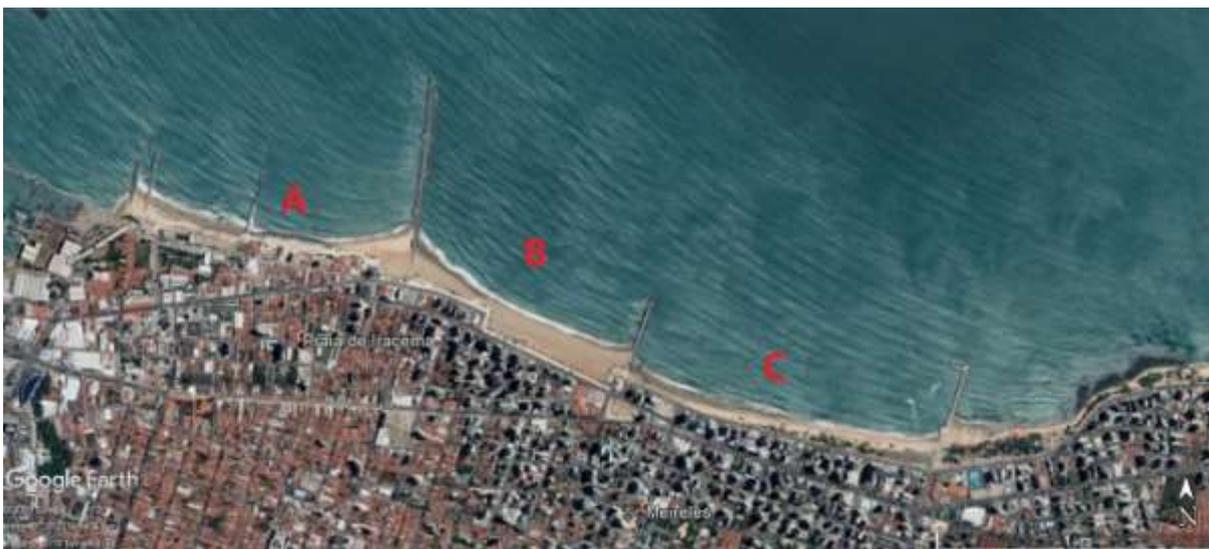


Figura 42 – Obras costeiras da Praia de Iracema denominadas de: Aterrinho (A) e Aterro (B); e área projetada para o Aterro da Beira Mar na Praia do Meireles (C). Fonte: Google Earth, 2018. Adaptado pelo autor.

## 6. MODELO DE ONDAS DO PORTO DO MUCURIBE (INPH)

No ano de 2012 teve início a obra de construção, na Praia Mansa, do Terminal Marítimo de Passageiros do Porto do Mucuri. Barra (2015) estudou os impactos ambientais decorrentes dessa obra e concluiu que a Praia Mansa já vinha sofrendo ataques de ondas do tipo *Swell* antes da construção do terminal. Concluiu também que durante o período estudado houve um pequeno recuo da linha de costa nessa praia.

Para seu pleno funcionamento estava previsto a dragagem do berço de atracação dos navios transatlânticos, obra que está sendo realizada agora, no final do ano de 2018.

Preocupado com o efeito das dragagens sobre as ondas na bacia portuária a Companhia Docas do Ceará encomendou ao Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias – INPH um estudo que determinasse o comportamento da propagação das ondas após o aprofundamento da área portuária.

O estudo foi publicado na forma de uma Nota Técnica pelo INPH (2013) com o título: Modelagem Matemática para Avaliação das Alturas de Ondas na Praia Mansa e no Futuro Terminal de Passageiros, após Dragagem no Porto de Mucuripe (Fortaleza – Ce). Esse estudo chegou as seguintes conclusões principais:

“Observa-se que, após a dragagem, as ondas passaram a difratar com mais eficiência para dentro da bacia portuária, chegando à Praia Mansa com maiores alturas. Isto ocorre especialmente com as ondas de longo período, que segundo os resultados do modelo, passaram a alcançar a região da Praia Mansa com até o dobro da altura que ocorria para a situação antes da dragagem. Esta alteração nos padrões de onda intensificou o transporte de sedimentos junto à Praia Mansa, ampliando rapidamente o total de terreno erodido, e gerando grande alteração na linha de costa nos últimos anos. A erosão entre 2009 e 2011 foi maior e mais expressiva do que a ocorrida entre 2003 e 2009. O INPH estudou uma nova configuração da área do Porto, com uma dragagem para -13m da região adjacente à Praia Mansa e com a implantação de 400m de molhe, estendendo o molhe atual. Os estudos mostraram que as condições de ondas ficariam bastante amenizadas. Assim, o INPH propõe a dragagem imediata da região adjacente à Praia Mansa para -13m, para que as obras de construção do Terminal de Passageiros possam ter prosseguimento. E posteriormente seja feito o prolongamento do molhe em 400m, de forma a melhorar as condições de ondas na área abrigada do Porto, inclusive no cais comercial.” (INPH, 2013. Página 39).

Sobre essas conclusões é importante ressaltar que o prolongamento do molhe do porto em 400 metros, proposto pelo INPH vai, mais uma vez, resolver apenas os problemas de propagação de ondas na área portuária, entretanto, não resolverá em nada o problema da erosão costeira nas praias localizadas a oeste, nos municípios de Fortaleza e Caucaia. Pelo que foi apresentado nesse nosso Parecer Ambiental pode-se afirmar que esse prolongamento do molhe direcionará mais ainda os sedimentos para alimentarem os bancos submarinos, aumentando o aprisionamento das areias nessa área, e em consequência, agravando a erosão costeira, principalmente em Caucaia, já que em Fortaleza as intervenções (molhes, enrocamentos e aterros) conseguem conter de forma eficiente o avanço do mar e o recuo da linha costa.

Apresentamos em anexo esse estudo completo feito pelo INPH, para conhecimento dos que possam se interessar.

## **7. O PROJETO DO ATERRO DA BEIRA MAR E RECOMPOSIÇÃO DO ATERRO DA PRAIA DE IRACEMA**

Torna-se importante apresentar os elementos principais que compõem o Projeto do Aterro da Beira Mar e da Recomposição do Aterro da Praia de Iracema em Fortaleza que, em conjunto com as informações técnicas e científicas apresentadas nesse Parecer, nos permitam analisar os possíveis impactos dessas obras sobre o litoral de Caucaia.

Os principais tópicos, extraídos desse projeto, são apresentados a seguir.

### **7.1. Área de Intervenção**

O Bairro do Meireles foi o antigo Bairro Lidiópolis, que também deu origem a Aldeota, é fonte de especulação desde o início séc. XX, em consequência da fuga da burguesia do centro da cidade e imediações, em busca de tranquilidade, devido o crescimento desordenado daquela região. Nesta área está a Avenida Beira Mar, que margeia a Praia do Meireles e ainda, apesar destas obras de contenção se apresenta bastante vulnerável as ressacas que ocorrem frequentemente em do nosso litoral.

A área em questão envolve a faixa de praia lindeira a Avenida Beira Mar que inicia na Avenida Rui Barbosa indo até o início da Avenida Desembargador Moreira. Esta região faz parte do local considerado como o mais belo “cartão postal” da cidade, apresentando fortes atrativos naturais e turísticos; composto de hotéis, pousadas, bares, restaurantes, feira de artesanato, além de grandes condomínios residenciais de alto luxo, objeto de forte especulação no mercado imobiliário. Representa também um dos mais importantes pontos de lazer e recreação para os moradores locais que podem desfrutar de banho de mar e passeios pelo seu calçadão.

Na Avenida Beira Mar é onde se encontra os maiores valores imobiliários da cidade, chegando a mais de R\$ 8 mil por metro quadrado. Saindo da Avenida Beira Mar, mas ainda no Meireles, os preços dos terrenos caem para entre R\$ 2,5 mil e R\$ 3,8 mil por metro quadrado, dependendo da localização e do tamanho do imóvel. Desta forma podemos dizer que é o bairro de Fortaleza que possui a maior oferta em infraestrutura e serviços da cidade.

## **7.2. Dimensionamento das Soluções**

Segundo informações contidas no projeto foram realizadas reuniões com as Secretarias de Infraestrutura e Regional II e a sociedade, ocasião em que foram discutidas as diversas alternativas para solucionar o problema do litoral. As soluções variaram das mais simples, recuperação do enrocamento, construção de um quebra mar até a possibilidade de engordamento da praia através de um aterro hidráulico. A decisão final pelo tipo de estrutura foi realizada com a comunidade e considerando a relação custo versus benefício e a experiência anterior que hoje apresenta-se como um grande sucesso, seja pela permanência dos sedimentos colocados, ou pela eficiência apresentada perante as últimas ressacas ocorridas.

Desta forma, a solução final consiste das construções de dois novos espigões (já concluídos), um a oeste, na altura do Poço da Draga e outro a leste, na altura do Clube Náutico, defronte à Avenida Desembargador Moreira e três aterros hidráulicos. Um aterro entre o novo espigão (Poço da Draga) a oeste e o espigão defronte a Rua João Cordeiro (aterro já construído); o outro entre os espigões situados defronte à Rua João Cordeiro e a Avenida Rui Barbosa (recuperação e ampliação do aterro da Praia de Iracema) e o terceiro entre os espigões defronte à Avenida Rui Barbosa e a Avenida Desembargador Moreira (Beira Mar).



Figura 43 - Layout da solução final para recuperação da área. Os novos espigões (no Poço da Draga e defronte a Avenida Desembargador Moreira) e a área 1 já foram construídos. Fonte: GEOLÓGICA, 2011.

Para o cálculo do peso dos blocos da armadura (carapaça de proteção) dos espigões foi utilizado o programa de computador (ACES – *Coastal Engineering Research Center*), o que permitiu o cálculo do volume de enrocamento a ser utilizado na execução da estrutura.

Das análises anteriores sobre o clima de ondas, constatou-se que a altura máxima da onda pode alcançar valores da ordem de 4 metros, entretanto para o cálculo dos pesos dos blocos e características da estrutura utiliza-se a altura significativa. Considerando o registro da distribuição das ondas e utilizando técnicas estatísticas para definir as alturas correspondentes a diversos tempos de retorno, observa-se que a curva de melhor ajuste corresponde ao tipo Weibull ( $K=1,90$ ) considerando os dois tipos de ondas (*Sea+Swell*):  $H_s=2,82$  m– $T= 10$  anos;  $H_s=2,92$  m– $T= 30$  anos;  $H_s=2,97$  m– $T= 50$  anos.

Como a estrutura está submetida principalmente as ondas do tipo *Swell*, estes valores da altura significativa diminuem para  $H_s=2,3$  metros para  $T= 10$  anos e  $H_s = 2,50$  metros para um tempo de retorno de 50 anos. Os dados de partida consistiram de uma onda de projeto com período de 20 segundos, altura significativa de 2,5 metros e maré máxima de 3,5 metros.

### **7.2.1. Praia da Beira-Mar**

Em decorrência de uma nova estruturação do litoral da Av. Beira Mar, visto a sua vulnerabilidade aos processos erosivos da ação marinha local é entendido como melhor opção a regeneração do perfil de praia através de engorda artificial conjugada com uma estrutura de contenção dos sedimentos.

As etapas do projeto executivo para recuperação da Praia da Beira Mar (Figura 44) segue a seguinte ordem:

- A colocação de uma estrutura de contenção dos sedimentos da engorda artificial, que consiste de um espigão com 350 metros de comprimento e seção trapezoidal de topo 12 metros e inclinações dos taludes 1:1,3. A estrutura está composta por blocos rochosos irregulares e está localizada no final da calçada da Beira Mar no seguimento da Av. Desembargador Moreira.

- A regeneração artificial através de colocação de areia na Praia Beira Mar entre o trecho do espigão existente da Av. Rui Barbosa e a Av. Desembargador Moreira, com largura de 80 metros de praia seca, na cota de 4,0 metros, seguindo mais 40 metros de perfil inclinado de 1:8 (inclinação natural) até a cota do Zero Hidrográfico. Abaixo do nível atual do mar os sedimentos serão depositados com inclinação média de 1:16 desenvolvendo um perfil submerso com aproximadamente 20 metros de comprimento.



Figura 44 - Localização das intervenções para as obras de proteção costeira da Praia da Beira Mar. Fonte: GEOLÓGICA, 2011.

### **7.2.2. Praia de Iracema - Meireles**

Em virtude da manutenção do aterro da Praia de Iracema e visando a melhoria do espaço litorâneo, o projeto executivo propõe uma requalificação do atual perfil de praia com:

- A regeneração artificial através de engorda da Praia de Iracema entre o trecho do espigão existente na altura da Av. Rui Barbosa e a Rua João Cordeiro, aumentando em 80 metros de praia seca partindo da linha base marcada sobre a atual cota de 4,0m, seguindo mais 40 metros de perfil inclinado de 1:8 (inclinação natural) até a cota do Zero Hidrográfico. Abaixo do nível atual do mar os sedimentos serão depositados com inclinação média de 1:16 desenvolvendo um perfil submerso com aproximadamente 20 metros de comprimento. A requalificação será feita na extensão 850m da Praia de Iracema (Figura 45);



Figura 45 - Localização das intervenções para requalificação do perfil de praia do aterro existente na Praia de Iracema-Meireles. Fonte: GEOLÓGICA, 2011.

## 8. IMPACTOS DA CONSTRUÇÃO DO ATERRO DA BEIRA MAR E PRAIA DE IRACEMA SOBRE O LITORAL DE CAUCAIA

Conforme exposto ao longo deste Parecer os impactos erosivos sobre o litoral oeste de Fortaleza e de Caucaia é uma consequência direta de três fatores históricos principais. O primeiro fato foi a fixação das dunas do Mucuripe, que foi iniciada ainda no século XIX com empalhamento para diminuir o transporte de sedimentos para a praia, se consumando no século XX com o processo de urbanização acelerado da cidade de Fortaleza. O segundo fato foi a construção do Porto do Mucuripe que modificou profundamente a dinâmica costeira local, impedindo na ponta do Mucuripe e áreas adjacentes, o transporte de sedimentos de leste para oeste. O terceiro foi a urbanização, também acelerada, das dunas da Barra do Rio Ceará, impedindo o *bypass* hídrico dos sedimentos por este rio. As areias transportadas hidraulicamente alimentavam as praias do litoral de Caucaia. A associação desses três fatores provocou uma diminuição do volume sedimentar transportado pela corrente de deriva litorânea, criando a oeste do Porto do Mucuripe um déficit sedimentar que ocasiona o processo erosivo que consumiu as praias do litoral oeste de Fortaleza e do município de Caucaia desde o final da década de 1940 até os dias atuais. Destes três fatores a perturbação na dinâmica costeira de Fortaleza é o mais significativo, podendo mesmo ser quantificado o volume de sedimentos aprisionados no complexo portuário, como veremos a seguir.

Não é possível, hoje, calcular o quanto de sedimentos era transportado durante o século XIX e início do século XX pelos *bypass* eólico da Ponta do Mucuripe e hídrico pelo Rio Ceará. Sabe-se que impedir o transporte de areias para as praias é prejudicial ao equilíbrio praiar, o que contribui para o déficit sedimentar, que provoca a erosão costeira.

Por outro lado, é possível fazer, de forma aproximada, mas significativa, um balanço do volume de sedimentos transportados pela corrente de deriva litorânea e os volumes de areias depositadas no complexo portuário desde 1939 até 2018.

Maia (1998) calculou o transporte de sedimentos pela corrente de deriva litorânea na Praia do Futuro com valores entre 855.000 m<sup>3</sup>/ano e 881.000 m<sup>3</sup>/ano. Para efeito deste cálculo que faremos, vamos utilizar o valor máximo

de transporte, que seria bom para o ambiente praias, pois quanto mais sedimentos transportados maior a chance deles atingirem as praias situadas a oeste do porto, portanto foi utilizado 881 mil m<sup>3</sup>/ano como volume transportado.

O porto teve sua obra iniciada em 1939, portanto, há 79 anos, deste modo, o volume total de areias transportadas pela corrente de deriva litorânea no período de 1939 a 2018 foi de 881 mil m<sup>3</sup>/ano X 79 anos, totalizando 69.599.000 m<sup>3</sup> de sedimento, ou seja, de forma aproximada são 70 milhões de metros cúbicos de areias.

Para o cálculo do volume de sedimentos aprisionado pelo complexo portuário observa-se o comportamento das quatro áreas de acumulação: o molhe do Titãzinho na Praia do Serviluz; a Praia Mansa na área interna do quebra-mar do porto; a bacia de evolução do Porto do Mucuripe; e os bancos submarinos a noroeste da ponta do quebra-mar, já descritas neste Parecer.

Nestas áreas foram aprisionados os seguintes volumes de sedimentos:

- Na Praia do Serviluz em 1996 já havia uma acumulação de 26,4 milhões de m<sup>3</sup>, que atualizado para 2018, nos fornece um valor de aproximadamente 35,8 milhões de m<sup>3</sup>;
- Na Praia Mansa, parte interna do Porto do Mucuripe foi acumulado um volume de 2,1 milhões de m<sup>3</sup>;
- Na bacia de evolução portuária foram dragados 21,7 milhões de m<sup>3</sup> de sedimentos depositados nessa área;
- Nos bancos submarinos existe um volume sedimentar da ordem de 12,6 milhões de m<sup>3</sup> de areias, sendo que aproximadamente 3,2 milhões de m<sup>3</sup> foi acumulado entre 1945 e 1998.

Somando-se o total de sedimentos depositados nestas quatro áreas entre 1939 e 2018 tem-se um volume total de 62,8 milhões de m<sup>3</sup>. Sabendo-se que o transporte de areias pela corrente de deriva litorânea, no mesmo período, foi de aproximadamente 70 milhões de m<sup>3</sup>, o balanço sedimentar indica que apenas 7,2 milhões de m<sup>3</sup> de areias não fica aprisionado nessas quatro áreas, podendo ainda grande parte delas ser depositada nas demais áreas da Enseada do Mucuripe.

De um modo geral pode-se afirmar que as obras construídas no Porto do Mucuripe e na Praia do Serviluz aprisionam 90% (62,8 milhões de m<sup>3</sup>) dos sedimentos transportados pela corrente de deriva litorânea, e que apenas 10% (7,2 milhões de m<sup>3</sup>) das areias escapam deste sistema de retenção.

A diminuição do volume de sedimentos transportados pela corrente de deriva litorânea para as praias situadas a oeste do Porto do Mucuripe, devido aos sedimentos aprisionados no complexo portuário, associada às perdas de volumes de areias pela extinção dos *bypass* eólico na Ponta do Mucuripe, e hídrico na foz do Rio Ceara, é a causa principal da erosão costeira no litoral de Caucaia, incluindo a Praia do Icaraí.

Quanto ao impacto erosivo que o aterro da Beira Mar poderia causar sobre a litoral de Caucaia, e em especial, sobre a Praia do Icaraí, alguns aspectos devem ser ressaltados para sua análise. O primeiro é o fato de não mais existir transporte significativo de sedimentos pela corrente de deriva litorânea na Praia do Meireles, pois a área está na zona de sombra do quebra-mar do Porto do Mucuripe, portanto, sem correntes costeiras atuantes. O segundo aspecto foi o surgimento, nessa área, de uma contra-corrente no sentido de oeste para leste, contrário ao sentido da corrente de deriva litorânea que é de leste para oeste. Essa corrente em sentido contrário é resultado da difração das ondas na ponta do quebra-mar. Caso ainda houvesse transporte significativo de sedimentos, eles seriam levados na direção do Mucuripe (leste), e não na direção de Caucaia (oeste). Por essas razões, pode-se afirmar de forma técnica e científica que essa obra não causará nenhum impacto erosivo sobre o litoral do município de Caucaia.

## 9. CONCLUSÕES

Baseado no que foi exposto no presente Parecer Ambiental, apresentam-se as seguintes conclusões:

- a) A área em estudo recebe o ataque de ondas do tipo *Sea*, com direção predominantemente de ESE, que ocorrem de forma permanente no litoral de Fortaleza e Caucaia;
- b) Eventualmente, com maior probabilidade de ocorrer entre os meses de novembro a abril, incidem de forma esporádica, ondas do tipo *Swell*, com direção predominantemente de norte. Estas ondas têm maior energia que as do tipo *Sea* e, conseqüentemente, maior poder de causar danos ao litoral.
- c) As ondas do tipo *Sea* ocorrem durante todo o ano e geram uma corrente costeira paralela à costa denominada de corrente de deriva litorânea, que transporta sedimentos de leste para oeste ao longo de toda a costa;
- d) O nível médio do mar em Fortaleza subiu 14 cm desde a construção do Porto do Mucuripe em 1939 até o ano de 2018. Um nível do mar mais elevado significa que as ondas vão quebrar em cotas altimétricas mais elevadas na linha de costa, aumentando o risco de ocorrer processos erosivos;
- e) As primeiras intervenções no litoral de Fortaleza datam do início do século XIX, com construção de ancoradouros que pudessem exercer a função portuária. As obras eram sempre seguidas da recomendação de fixar as dunas do Mucuripe para evitar o assoreamento das áreas de atracação das embarcações;
- f) A fixação das dunas do Mucuripe, iniciada no princípio do século XIX, é a primeira ação que provoca impacto ambiental negativo no litoral oeste de Fortaleza e em Caucaia, com a diminuição do aporte de sedimentos para as praias, contribuindo para um processo de déficit sedimentar, que se agravaria no futuro com as obras do Porto do Mucuripe. A completa fixação das dunas do Mucuripe concretizou-se com a urbanização acelerada de Fortaleza a partir da segunda metade do século XX;
- g) A urbanização desordenada e acelerada, que ocorreu na segunda metade do século XX nos bairros do setor oeste de Fortaleza, ocupou

um vasto campo dunar, impedindo o transporte de sedimentos que alimentavam as praias do litoral de Caucaia pelo *bypass* hídrico que ocorria na foz do Rio Ceará.

- h) A construção do quebra-mar do Porto do Mucuripe é responsável por alterações significativas na dinâmica costeira local. O choque das ondas contra este molhe provoca a difração das ondas para a região interna do porto, formando uma contra-corrente costeira no sentido oeste para leste, contrário ao sentido da corrente de deriva litorânea.
- i) O quebra-mar do Porto do Mucuripe cria uma zona de sombra protegida das ondas, da Praia de Iracema até o Mucuripe. Nessa zona de sombra, o transporte de sedimentos é desprezível;
- j) A difração das ondas no quebra-mar provocou o assoreamento rápido da área portuária, desviando os sedimentos transportados pela corrente de deriva litorânea para a parte interna do molhe, formando a Praia Mansa;
- k) O volume de sedimentos depositados na Praia Mansa entre 1939 até 2018 foi de aproximadamente 2,1 milhões de m<sup>3</sup>. Esse volume depositado nesta praia vai fazer falta nas praias situadas a oeste do Porto do Mucuripe, contribuindo para a erosão costeira de Fortaleza e de Caucaia.
- l) A difração das ondas no quebra-mar do Porto do Mucuripe também provoca o assoreamento da bacia de evolução portuária, diminuindo a profundidade do canal de acesso ao porto e do cais de atracação;
- m) Os sedimentos acumulados no canal de acesso ao Porto do Mucuripe e na área do cais de atracação foram regularmente dragados entre os anos de 1963 e 2010. O volume de areias retiradas pelas dragagens foi de 21,7 milhões de m<sup>3</sup>. Estes sedimentos sempre foram lançados ao largo, distante das praias erodidas do litoral de Fortaleza e Caucaia, sem possibilidade de retorno ao sistema praias. A administração portuária nunca teve a preocupação de contribuir com a recuperação das praias erodidas, como medida de compensação aos danos ambientais provocados pela construção do Porto.
- n) O molhe do Titãzinho, construído em 1963 na Praia do Serviluz, tem como função específica reter os sedimentos transportados pela corrente

de deriva litorânea, numa tentativa de diminuir o assoreamento do Porto do Mucuripe. A acumulação de areias nesta praia criou uma área de 65,5 hectares de praia, com volume de 35,8 milhões de m<sup>3</sup> de sedimentos. A retenção de sedimentos nesta praia provoca um déficit colossal no balanço sedimentar, sendo, em consequência, a maior responsável pela erosão costeira no litoral oeste de Fortaleza e de Caucaia;

- o) O desvio na direção das correntes provocado pelo quebra-mar do Porto do Mucuripe transporta sedimentos na direção noroeste, alimentando os bancos submarinos adjacentes. O volume desse banco submarino foi calculado em 12,6 milhões de m<sup>3</sup> de areias em 1998, material disponível para recompor através de aterros as praias de Fortaleza e Caucaia. O volume de sedimentos depositados apenas entre 1945 e 1998 nessa área foi estimado em 3,2 milhões de m<sup>3</sup>. Esses sedimentos retidos contribuem para aumentar o déficit no balanço sedimentar das praias do litoral oeste de Fortaleza e de Caucaia.
- p) O volume de sedimentos depositados no sistema portuário, resultante da soma da acumulação na Praia Mansa (2,1 milhões de m<sup>3</sup>), na bacia portuária (21,7 milhões de m<sup>3</sup>), na Praia do Serviluz (35,8 milhões de m<sup>3</sup>) e nos bancos submarinos (3,2 milhões de m<sup>3</sup> entre 1945 e 1998) totaliza em 62,8 milhões de m<sup>3</sup> de areias. Esse grande volume de sedimentos retidos provoca um grave déficit sedimentar e fortes processos erosivos nas praias a oeste de Fortaleza e em Caucaia.
- q) O volume de sedimentos transportados pela corrente de deriva litorânea na Praia do Futuro é da ordem de 900.000 m<sup>3</sup>/ano. O volume total de sedimentos transportados, desde o início da construção do Porto do Mucuripe, em 1939, até o ano de 2018, foi de aproximadamente 70 milhões de m<sup>3</sup> de areias.
- r) A comparação entre os volumes de sedimentos transportados e depositados no complexo portuário indica que de um total de, aproximadamente, 70 milhões de m<sup>3</sup> de sedimentos transportados a partir da Praia do Futuro, entre os anos de 1939 e 2018, no mínimo 62,8 milhões de m<sup>3</sup> de areias (90%) ficou aprisionado no complexo portuário e que apenas 7,2 milhões de m<sup>3</sup> de areias (10%) podem ter sido

- transportados para as praias do litoral oeste de Fortaleza e para Caucaia. A penúria em sedimentos disponíveis para o transporte pela corrente de deriva litorânea explica os processos de erosão costeira.
- s) A erosão costeira que se instalou no litoral de Fortaleza e de Caucaia é um processo diacrônico. A diminuição no aporte de sedimentos provoca processos erosivos que evoluem na direção oeste à medida que o tempo passa. A erosão inicia seu ataque no final da década de 1940, na Praia de Iracema, e nas décadas seguintes vai ocorrer progressivamente nas praias do Poço da Draga, Pirambu, Leste Oeste, Nossa Senhora das Graças e Goiabeiras.
  - t) Na sequência do tempo, na década de 1980, a erosão ataca o litoral de Caucaia, inicialmente na Praia dos Dois Coqueiros e em seguida as Praias de Iparana, Pacheco e Icaraí. A Praia do Icaraí começa a regredir na segunda metade da década de 1980, sendo erodida fortemente na década de 1990.
  - u) No ano 2000 a erosão na Praia do Icaraí prossegue com forte intensidade, atingindo as estruturas urbanas. Nesse mesmo ano foi construído o aterro da Praia de Iracema, uma ligação equivocada é estabelecida entre os dois eventos, sem nenhuma relação de causa e efeito;
  - v) A análise comparativa de imagens de satélite do litoral de Caucaia, relativas aos anos de 1968 e 1996, indica um recuo da linha de costa entre 150 e 400 metros. Na Praia do Icaraí a imagem de 1996 mostra um recuo de 350 metros de praia pela erosão, quatro anos antes da construção do aterro da Praia de Iracema. Não resta dúvida sobre a inexistência de relação de causa e efeito entre a construção do aterro da Praia de Iracema no ano 2000 e a erosão da Praia do Icaraí.
  - w) As obras de proteção costeira instaladas no litoral de Fortaleza, constituídas de espigões e aterros, têm-se mostrado eficientes para as duas finalidades a que se propõem, conter o recuo da linha de costa e recompor as praias erodidas;
  - x) As obras costeiras realizadas no litoral de Caucaia são constituídas de enrocamentos e *Bagwalls*. Os enrocamentos são eficientes para conter o recuo da linha de costa, mas ineficientes na recomposição das praias.

Já os *Bagwalls* têm-se mostrado ineficientes, tanto para conter o recuo da linha de costa, como para recompor as praias.

- y) A diminuição do volume de sedimentos transportados pela corrente de deriva litorânea para as praias localizadas a oeste do Porto do Mucuripe, devido ao aprisionamento no complexo portuário, associada às perdas de volumes de areias pela extinção dos *bypass* eólico na Ponta do Mucuripe e hídrico na foz do Rio Ceara, é a causa principal da erosão costeira no litoral de Caucaia;
- z) Pode-se afirmar de forma técnica e científica que a construção do aterro da Beira Mar não causará nenhum impacto erosivo sobre o litoral do município de Caucaia, pelo fato de não existir mais transporte significativo de sedimentos pela corrente de deriva litorânea na Praia do Meireles e pelo surgimento, nessa área, de uma contra-corrente no sentido de oeste para leste, contrário ao sentido da corrente de deriva litorânea. Caso ainda houvesse transporte de sedimentos nessa praia, eles seriam levados na direção do Mucuripe (leste), e não na direção de Caucaia (oeste).

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUMEF – Autarquia da Região Metropolitana de Fortaleza. **Cobertura Aerofotogramétrica 1ª Etapa. Região Metropolitana de Fortaleza.** Escala 1:8.000. Secretaria do Planejamento e Coordenação. Governo do Estado do Ceará. 1978.

BARRA, O. A. de O. L. **Portos e Gestão Ambiental: Análise dos Impactos Ambientais Decorrentes da Implantação do Terminal Marítimo de Passageiros na Praia Mansa – Fortaleza/CE, Brasil.** 2015. 186 p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, 2015.

BEZERRA, M.O.; PINHEIRO, L.; MORAIS, J.O. Shoreline Change of the Mucuripe Harbour Zones (Fortaleza-Ceará, Northeast of Brazil) 1972 - 2003. **Journal of Coastal Research**, SI 50 (Proceedings of the 9th International Coastal Symposium), 1163 – 1167, 2007. Gold Coast, Australia, ISSN 0749.0208.

BIGARELLA, J. J. - 1973 . **Geology of the Amazon and Parnaíba basins** . In: Nairn, A.E.M. & Stehli, F. G. (eds.). The Ocean Basins and Margins, volume I. The South Atlantic. Plenum Press , New York. p. 26-86.

BRAGA, A. de P. G.; et. al. **Projeto Fortaleza.** Relatório Final. Recife: DNPM/CPRM, 1977. v.1.

BRANDÃO, R. de L. **Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza – Projeto SINFOR.** Fortaleza: CPRM. REFO. Texto Explicativo. 1995.

BRANNER, J.C. 1902. **Geology of the Northeast Coast of Brazil.** Geological Society of America Bulletin, 13: 41-98.

DIÁRIO DO NORDESTE. **Praia do Icarai ganhará mais 70m de 'Bag wall'.** Edição de 21 de agosto de 2017. <http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/editorias/metro/praiadoicarai-ganhara-mais-70m-de-bag-wall-1.1807574>. Acesso em 28 de setembro de 2018.

DIÁRIO DO NORDESTE. **Draga Seaway chega ao Mucuripe.** Edição de 28 de setembro de 2010. <http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/editorias/negocios/draga-seaway-chega-ao-mucuripe-1.553653>. Acesso em 29/09/2018.

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação. Marinha do Brasil. Carta Náutica Nº 701. Porto do Mucuripe. 1945.

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação. Marinha do Brasil. Carta Náutica Nº 701. Porto do Mucuripe. 1956.

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação. Marinha do Brasil. Carta Náutica Nº 701. Porto do Mucuripe. 1965.

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação. Marinha do Brasil. Carta Náutica Nº 701. Porto do Mucuripe. 1978.

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação. Marinha do Brasil. Carta Náutica Nº 701. Porto do Mucuripe. 1991.

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação. Marinha do Brasil. Carta Náutica Nº 701. Porto do Mucuripe. 2002.

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação. Marinha do Brasil. Carta Náutica Nº 701. Porto do Mucuripe. 2018.

DOCAS. Companhia Docas do Ceará. Histórico do Porto do Mucuripe. <http://www.docasdoceara.com.br/o-porto/historico-2>. Acesso em 28 de setembro de 2018.

FECHINE, J. A. L. **Alterações no Perfil Natural da Zona Costeira da Cidade de Fortaleza, Ceará, ao Longo do Século XX**. 2007. 123p. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, 2007. 1 CD-ROM.

GEOCONSULT – CONSULTORIA GEOLOGIA & MEIO AMBIENTE. **Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) Projeto Básico de Regeneração da Praia de Iracema – Fortaleza/CE**. Fortaleza: Secretaria Executiva Regional II – SER II. Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2000.

GEOLÓGICA – Assessoria, Projetos e Construções. **Estudo de Impacto Ambiental – EIA – da proteção/Recuperação da Beira Mar e Praia de Iracema**. Secretaria Executiva Regional II – SER II. Prefeitura Municipal de Fortaleza. 2011, 309p.

GIRÃO, R. **Geografia Estética de Fortaleza**. 2. ed. Fortaleza: UFC, 1997. 264 p.

GURGEL, G. A. S. **Análise Geoambiental Associado à Implantação do Trem Metropolitano de Fortaleza**, Fortaleza, 2002. 110p.

GURGEL, G. A. S. Estudo dos Impactos Ambientais no Complexo Litorâneo Barra do Ceará – Iparana. Monografia de Graduação. Curso de Geologia. Universidade de Fortaleza. 1988.

GURGEL JR., J. B. - **Diagnóstico das Águas Subterrâneas no Município de Fortaleza**. Fortaleza: 1984, 100 p.

HAWKSHAW, J. Relatório de Sir John Hawkshaw em 1875 sobre Melhoramentos dos Portos no Brasil. **Revista do Instituto do Ceará**, 23: 183-188, 1909. Barbosa, 2005 apud Revista Brasileira de Geomorfologia. v. 6, n. 2. Set., 2005. p. 103-113.

HERBSTER, A. **Planta da cidade da Fortaleza/ Capital da Província do Ceará**. In: CASTRO, J.L. (1994) Contribuição de Adolfo Herbster à forma urbana da cidade da Fortaleza. **Revista do Instituto do Ceará**, 108: 44 - 99, 1888.

HERBSTER, A. **Planta da Cidade da Fortaleza e Subúrbios**. Arquivo Nirez, Fortaleza, 1875.

HERBSTER, A. **Planta Exacta da Capital do Ceará/Abril de 1859**. Arquivo Nirez, Fortaleza, 1859.

INPH – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS HIDROVIÁRIAS. **Modelagem Matemática para Avaliação das Alturas de Ondas na Praia Mansa e no Futuro Terminal de Passageiros, Após Dragagem no Porto de Mucuripe (Fortaleza - CE)**. Rio de Janeiro, março, 2013. 32p.

LEME, A. B. P.. **História Física da Terra** – vista por quem a estudou no Brasil. Rio de Janeiro, F. Briguiet & Cia., 1943. 1.020p. (obra póstuma).

MAIA, L. P. **Procesos Costeros y Balance Sedimentario a lo Largo de Fortaleza (NE-Brasil)**: Implicaciones para una Gestión Adecuada de la Zona Litoral. 1998. 269p. Tese (Doutorado em Geologia) – Faculdade de Geologia, Departamento de Estratigrafia e Paleontologia, Universidade de Barcelona, Barcelona, 1998.

MAIA, L. P.; MORAIS, J. O. Aspectos Históricos e Evolução em Médio Prazo da Costa de Fortaleza. In: **Anais do 1º Simpósio sobre Processos Sedimentares e Problemas Ambientais na Zona Costeira do Nordeste do Brasil**, Recife, 1995. p. 67-70.

MORAIS, J. O. Evolução Sedimentológica da Enseada de Mucuripe (Fortaleza – Ceará - Brasil). **Arq. Ciên. Mar**, Fortaleza, CE, v. 21, n. 1/2, p. 19-46, dez, 1981.

MORAIS, J. O. **Aspectos de Geologia Ambiental Costeira do Município de Fortaleza (Estado do Ceará)**. 1980. 282p. Tese de Professor Titular – Centro de Ciências, Departamento de Geociências, Universidade Federal do Ceará, 1980.

MORAIS, J. O. Processos de Assoreamento do Porto do Mucuripe. **Arq. Ciên. Mar**, Fortaleza, CE, v. 12, n. 2, p. 139-149, dez, 1972.

MORAIS, J. S. D. **Gerenciamento de Informações na Análise de Impactos Ambientais no Litoral Oeste de Fortaleza da Região Metropolitana de Fortaleza**. 2001. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual do Ceará. 2001.

OCCHIPINTI, A. G. **Projeto do Emissário Submarino do Sistema de Coleta, Transporte e Disposição Final de Esgotos de Fortaleza**. Relatório R. 2 – 12 capítulos + anexos, Fortaleza, 1975.

PASKOFF, R. **Les Littoraux**: impact des aménagements sur leur évolution. Col. Géographie. 2ª Ed. Paris: Masson, 2001, 185 p.

PAULET, A.S. **A planta do Porto e da Vila de Fortaleza**. Arquivo Nirez, Fortaleza, 1813.

PITOMBEIRA, E. S. Litoral de Fortaleza – Ceará – Brasil, um exemplo de degradação. In: **Anais do 1º Simpósio sobre Processos Sedimentares e Problemas Ambientais na Zona Costeira do Nordeste do Brasil**, Recife, 1995, p. 59-62.

PITOMBEIRA, E. S. Deformação das Ondas por Difração no Molhe do Porto do Mucuripe (Fortaleza – Ceará – Brasil). **Arq. Ciên. Mar**, Fortaleza, CE, v. 16, n. 1, p. 55-58, jun, 1976.

REBOUÇAS, R.B.M. **A Influência Portuária no Modelado e Reconfiguração da Orla**: O Caso do Porto do Mucuripe e Praia do Serviluz (Fortaleza, Ceará, Brasil). 2010. 132p. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará. 2010.

SENTINEL 2, 2018. <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em 01/10/2018.

SEP - SECRETARIA DE PORTOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Plano Mestre - Porto do Mucuripe**. FLORIANÓPOLIS, Maio de 2015, 388 p.

SOGREAH – Laboratoire Dauphinois d’Hydraulique. **Porto do Mucuripe (Estado do Ceará) – Proteção do Porto Contra as Ondas e o Assoreamento**. Estudo em Modelo Reduzido. GRENÔBLE.1957. 45p.

SOUZA, M. A. de L. Recuperação de Praias com o uso do Dissipador de Energia Bagwall no Litoral dos Estados de Alagoas e do Ceará, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada** 11(4):p. 487-489, 2011. NOTA TÉCNICA.

SOUZA, M. J. N. **Análise geoambiental e ecodinâmica das paisagens do Estado do Ceará**. 1998, 191p. Tese de Professor Titular - Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.

VALENTINI, E. M. S. **Avaliação de processos litorâneos e consequências para o gerenciamento costeiro no Ceará**. 1994. 80 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências em Engenharia Oceânica, Departamento de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1994.

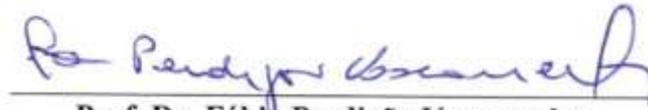
VASCONCELOS, F. P. **Parecer Técnico da Praia do Futuro** apresentado ao Processo nº 2005.17654-5, da Perícia Técnica solicitada pelo Juizado da 4ª Vara da Seção Judiciária Federal no Estado do Ceará, 2009. 113 p.

VASCONCELOS, F. P.; MORAIS, J. S. D.; DINIZ, M. T. M.; REGO FILHO, F. F.; ROCHA, G. C. **Determination of Shoreline variations of the Metropolitan Region of Fortaleza (Ceará State - Brazil) Using Methodology of GIS**. In: Santamaria, R. M.; Alonso, M. G.; Lizama, C. E. (Org.). *Coast Gis 07: Paperbook*. 1ed.Santander: Copicentro-Bonifaz, 2007, v. 2, p. 233-343.

VASCONCELOS, F. P. **Gestão Integrada da Zona Costeira**: ocupação antrópica desordenada, erosão, assoreamento e poluição ambiental do litoral. Fortaleza: Premius, 2005.

XIMENES NETO, A. R. **Evolução da Paisagem Submarina do Litoral Norte de Fortaleza – CE.** 2015, 78 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia/Bacharelado) – Universidade Estadual do Ceará, 2015.

Fortaleza, 18 de outubro de 2018



**Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos**  
Coordenador do LAGIZC

**Doutor em Oceanografia Costeira e Ambiental**  
**Professor Associado da Universidade Estadual do Ceará**

## **11.ANEXO**

**MODELAGEM MATEMÁTICA PARA AVALIAÇÃO DAS ALTURAS DE ONDAS NA PRAIA MANSA E NO FUTURO TERMINAL DE PASSAGEIROS, APÓS DRAGAGEM NO PORTO DE MUCURIBE (FORTALEZA – CE).**

**NOTA TÉCNICA**

**RELATÓRIO INPH : 013 / 2013 Rev.01**

**ANO 2013**