

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA

QUANTIFICAÇÃO DO PROCESSO EROSIVO E RECUPERAÇÃO SEDIMENTAR DA PRAIA DO  
BARRO DURO, PELOTAS, RS.

por

Nicole Motta Ferreira

Dissertação para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Rio Grande, dezembro, 2017.

QUANTIFICAÇÃO DO PROCESSO EROSIVO E RECUPERAÇÃO SEDIMENTAR  
DA PRAIA DO BARRO DURO, PELOTAS, RS

por

Nicole Motta Ferreira  
Tecnólogo em Geoprocessamento.

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica (PPGEO) da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Área de Concentração: Engenharia Costeira.

Orientador: Prof. Dr. José Antônio Scotti Fontoura

Co-orientador : Profa. Dra. Natália Lemke

Comissão de Avaliação:

Profa. Dra. Andrea Fischer - IFSUL

Profa. Dra. Daniela Tisot - UFPEL

Profa. Dra. Debora Machado - FURG

Prof. Dr. Lauro Calliari - FURG

Prof. Dr. Elizaldo Domingues dos Santos  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica

Rio Grande, 17 de dezembro de 2017.

## **AGRADECIMENTOS**

Seria impossível agradecer a todas pessoas que, de alguma forma, me ajudaram para que este trabalho fosse possível de ser realizado. Logo, para não ser injusta, caso alguém não seja citado, desde já vão meus agradecimentos.

Meus sinceros agradecimentos aos professores Dr. José Antônio Scotti Fontoura e Dra. Natália Lemke pela orientação, acolhimento, dedicação e preciosos ensinamentos! Com certeza, sem a paciência e interesse a cada atendimento e, principalmente, amizade de vocês, não seria possível chegar ao final desta pesquisa. Muito obrigada, de coração!

Aos meus pais Suedemir Borges Ferreira e Santa Ana Motta Ferreira, minha eterna gratidão! Muito obrigada por todo amor, carinho, dedicação e todos princípios a mim ensinados. Não tenho palavras para agradecer por tudo que fizeram. Sem a base que me proporcionaram, não seria possível chegar até aqui.

Às minhas irmãs Anne Caroline Motta Ferreira e Fernanda Motta Ferreira. Eu, como irmã casula, tenho o enorme orgulho em dizer que me espelho em vocês para cada dia tentar ser uma pessoa melhor. Vocês são as melhores amigas que eu poderia ter. Muito obrigada!

À minha filha Ana Laura, por me mostrar qual o real sentido de estar viva. A ti, dedico minha vida e o maior e mais puro sentimento que eu possa transmitir.

À instituição Universidade Federal do Rio Grande.

À CAPES pelo financiamento da bolsa.

Ao Laboratório de Engenharia Costeira (LEC) pela estrutura e por todo o apoio logístico que viabilizou o trabalho de campo.

Aos amigos e Técnicos do LEC, Veridiana Herreira e Marcelo Goulart, agradeço pelo auxílio e dedicação com o planejamento e execução do trabalho de campo. Sem vocês, essa e outras pesquisas não aconteceriam. Então, Muito Obrigada!

Aos queridos amigos do LEC que muito me ajudaram tanto com as disciplinas cursadas, quanto com o restante da dissertação, compartilhando muitos conhecimentos no laboratório, com direito a “vaquinha” para comprarmos cafés que tanto nos ajudaram nos estudos. Esta amizade e parceria nunca será esquecida. Muito obrigada, de coração!

Ao professor Dr. Christian Serpa, pela contribuição do seu conhecimento que possibilitou a execução do trabalho de campo e análise dos dados lá coletados.

A todos professores da FURG que, de alguma forma, contribuíram para esta pesquisa.

A todos os familiares e amigos (não poderia citar todos os nomes) pelo apoio, incentivo e carinho que sempre me proporcionaram.

A Deus, que me acompanha em todos os meus momentos.



## **Quantificação do processo erosivo e recuperação sedimentar da praia do Barro Duro, Pelotas, RS.**

### **RESUMO**

Estudos sobre a morfodinâmica costeira apresentam grande importância para a caracterização dos processos de avanço e retração da linha de costa, pois são essenciais para os projetos de proteção litorânea. Deste modo, o presente trabalho tem o objetivo de quantificar a evolução da linha de costa da Praia do Barro Duro, localizada no Município de Pelotas (RS), caracterizando-a de forma que seja possível avaliar essas mudanças dentro de um período de 52 anos e assim sugerir uma obra que auxilie o gerenciamento costeiro local, visando recuperar as áreas degradadas pela erosão. Primeiramente, estimou-se a taxa de retração costeira a partir da análise de imagens de aerolevantamentos e de satélites dos anos 1964, 2006 e 2016, obtendo-se valores de até 1,04 m/ano. Em campo, realizaram-se medições de perfis topográficos e coletas de sedimentos para análise granulométrica e, então, determinou-se a profundidade de fechamento da praia e o comprimento do perfil praiial ideal para que o mesmo alcance o equilíbrio. Por fim, calculou-se o volume apropriado de sedimentos, com opções granulométricas maiores que o grão nativo, para a proposta da obra de engordamento de praia, estabelecendo-se alternativas de comprimentos dos perfis de equilíbrio. A partir do conhecimento da granulometria do sedimento nativo encontrado ( $D_{50}$  médio de 0,1815 mm), e com as opções granulométricas de 0,24 mm (areia fina), 0,51 mm (areia média) e 0,85 mm (areia grossa), obtiveram-se, respectivamente, 35 m, 20 m e 15 m para o comprimento do perfil de equilíbrio. Considerando-se a extensão da praia estudada (1112 m), as referidas opções granulométricas e a adição de 40% como medida de proteção para obra obtiveram-se, respectivamente, 221.952,976 m<sup>3</sup>, 96.755,12 m<sup>3</sup> e 68.748,288 m<sup>3</sup> de volume de sedimentos para o preenchimento da praia. Os resultados adquiridos neste estudo contribuem para o gerenciamento costeiro da região, ofertando uma melhoria para população que a utiliza de forma recreativa.

Palavras-chave: Lagoa dos Patos, Erosão Costeira, Perfil de Equilíbrio, Engordamento Artificial de Praia.

## **Quantification of the erosional process and sediment recovery of Barro Duro beach, Pelotas, Brazil.**

### **ABSTRACT**

Studies on coastal morphodynamics have great importance to the characterization of coastline retreat and advance processes since they are essential to coastal protection works. Therefore, the aim of this study is to quantify the coastline evolution of Barro Duro beach – located in Pelotas, state of Rio Grande do Sul, Brazil – by characterizing it in such way that it is possible to assess these changes within a 52-year period. As a result, the suggestion of a coastal work that assists the local coastal management is intended, aiming at recovering the areas degraded by erosion. Firstly, the coastal retreat rate was estimated through the analysis of aerial survey and satellite imagery from 1964, 2006, and 2016, obtaining values of up to 1.04 m/year. In the field, topographic profile measurements and sediment sampling for granulometric analysis were performed, and then the closing depth and the ideal beach-profile length – so that it reaches equilibrium – were determined. Finally, the appropriate volume of sediments was calculated considering granulometric options larger than the native sediment for the proposal of a beach nourishment project, also establishing alternatives to the lengths of equilibrium profiles. After discovering the grain size of the native sediment found (mean  $D_{50}$  of 0.1815 mm) and considering the granulometric options of 0.24 mm (fine sand), 0.51 mm (medium sand), and 0.85 mm (coarse sand), the lengths of the resulting equilibrium profiles were 35 m, 20 m, and 15 m, respectively. Considering the extension of the studied beach (1,112 m), the mentioned granulometric options, and the addition of 40% as a measure of protection for the coastal work, the volumes of sediment for the beach nourishment project obtained were 221,952.976 m<sup>3</sup>, 96,755.12 m<sup>3</sup>, and 68,748.288 m<sup>3</sup>, respectively. The results found in this study contribute to the coastal management of the region in question, offering an improvement for the population that uses it recreationally.

Keywords: Patos Lagoon, Coastal Erosion, Equilibrium Profile, Artificial Nourishment of Beaches.

# ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELA

LISTA DE EQUAÇÕES

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	11
<b>2. OBJETIVOS</b>	16
2.1. OBJETIVO GERAL	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	17
3.1. EROÇÃO COSTEIRA	17
3.2 VARIAÇÃO DE LINHA DE COSTA	20
3.3 PROFUNDIDADE DE FECHAMENTO E PERFIL DE QUILIBRIO	23
3.4 ENGORDAMENTO DE PRAIA	30
<b>4. METODOLOGIA</b>	35
4.1. CÁLCULO DE VOLUME PARA ENCHIMENTO DA PRAIA	35
4.1.1. EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA COM BASE EM IMAGENS OBTIDAS EM DIFERENTES PERÍODOS	36
4.1.1.1. OBTENÇÃO E TRATAMENTO DE IMAGENS	36
4.1.1.2. VETORIZAÇÃO DA LINHA DE COSTA	38
4.1.1.3. TRAÇADO DOS TRANSECTOS	41
4.1.2. CALCULO DE VOLUME DE SEDIMENTOS	43



4.1.2.1. PERFIL DE EQUILÍBRIO E PROFUNDIDADE DE FECHAMENTO	43
4.1.2.2. CÁLCULO DE VOLUME NECESÁRIO PARA PERFIL DE EQUILÍBRIO	47
4.1.3. ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL PARA A NOVA PRAIA	49
4.1.4. DISTRIBUIÇÃO DO VOLUME DE SEDIMENTO AO LONGO DA ZONA ERODIDA	51
4.2. AQUISIÇÃO DOS DADOS DE CAMPO	52
4.2.1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	53
4.2.2. PERFIS TOPOGRÁFICOS	55
<b>5. RESULTADO E DISCUSSÕES</b>	<b>58</b>
5.1. EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA COM BASE EM IMAGENS OBTIDAS EM DIFERENTES PERÍODOS	58
5.1.1. OBTENÇÃO DO BANCO DE DADOS	58
5.1.2. VETORIZAÇÃO	61
5.1.3. TRANSECTOS	65
5.2. AQUISIÇÃO DOS DADOS DE CAMPO	75
5.2.1. PERFIS TOPOGRÁFICOS	77
5.2.2. AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS	83
5.3. PROFUNDIDADE DE FECHAMENTO E PERFIL DE EQUILÍBRIO	86
5.4. CÁLCULO DE VOLUME PARA ENGORDAMENTO DE PRAIA	91
<b>6. CONCLUSÕES</b>	<b>99</b>

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1:** Mapa de Localização

**Figura 2:** Sistema de proteção costeira chamado de Headland breakwater, conjuntamente a obra de enchimento de praia. Chesapeake Bay (EUA), FONTE: HARDAWAY e BYRNE (1999).

**Figura 3:** Relação espacial entre indicadores da linha de costa. Adaptada: Boak e Turner (2005).

**Figura 4:** Representação do perfil submerso proposto por Dean (1977). Adaptado: Dean et al., 1993.

**Figura 5:** Valores do parâmetro de escala da praia em função do diâmetro mediano, de 0,10 a 1,09 mm (Tabela 7.2 de DEAN et al. (2004))

**Figura 6:** Três tipos genéricos de perfis de praia alimentados (a) Perfil de intersecção ( $AF > AN$ ); (B) perfil não intersectante; (C) perfil submerso ( $AF < AN$ ) (Dean, 2004 – Figura 11.3).

**Figura 7:** Ilustração qualitativa de três componentes da recessão da linha costeira após um projeto de nutrição de praia mostrado para duas taxas de erosão de fundo e largura nutrida inicial de 75 m. (Figura 11.1, Dean et al., 2004))

**Figura 8:** Balança analítica utilizada para a pesagem dos materiais.

**Figura 9:** Peneiras com intervalo de  $\frac{1}{4} \Phi$ .

**Figura 10:** Estação total utilizada no trabalho de campo

**Figura 11:** Localização dos perfis topográficos na praia do Barro Duro.

**Figura 12:** Medição dos perfis topográficos.

**Figura 13:** Aerofotografia do ano de 1964.

**Figura 14:** Mosaico das imagens do ano de 2006.

**Figura 15:** Mosaico das imagens do ano de 2016.

**Figura 16:** Linha de costa do ano de 1964, vetorizada. **Figura 17:** Linha de costa do ano de 1964, vetorizada

**Figura 18:** Linha de costa do ano de 2016, vetorizada.

**Figura 19:** Linhas de costa sobrepostas dos anos de 1964 (verde), 2006 (laranja) e 2016 (vermelho).

**Figura 20:** Perfis transversais (em Lilás) traçados entre as Linhas de costa

**Figura 21:** Classificação dos transectos.

**Figura 22:** Cúspides Praiais na Praia do Barro Duro, na Primavera (19/11/03) (FISCHER, 2005 - FIGURA 5.7, Pág. 95)

**Figura 23:** Cúspides Praiais na Praia do Barro Duro, no Verão (05/01/04) (FISCHER, 2005 - FIGURA 5.8, Pág. 96).

**Figura 24:** Cúspides Praiais na Praia do Barro Duro, no Outono (24/05/03) (FISCHER, 2005 - FIGURA 5.9, Pág. 96).

**Figura 25:** Cúspides Praiais na Praia do Barro Duro, no Inverno (24/06/03) (FISCHER, 2005 - FIGURA 5.10, Pág. 96).

**Figura 26:** Figueira centenária com raízes amostra.

**Figura 27:** Árvores tombadas.

**Figura 28:** Processo erosivo junto às construções.

**Figura 29:** Perfil topográfico 1.

**Figura 30:** Perfil topográfico 2.

**Figura 31:** Perfil topográfico 3

**Figura 32:** Perfil topográfico 4.

**Figura 33:** Perfil topográfico 5.

**Figura 34:** Perfis topográficos medidos na praia do Barro Duro por FISCHER (2005).

**Figura 35:** Distâncias para cada perfil de equilíbrio de acordo com a classe granulométrica.

## **LISTA DE TABELAS**

**Tabela 1:** Coordenadas dos perfis topográficos.

**Tabela 2:** Medição dos transectos entre os anos de 1964 e 2016, e suas respectivas taxas de erosão

**Tabela 3:** Porcentagem da Classificação dos Transectos.

**Tabela 4:** Largura do Pós-praia em cada perfil medido

**Tabela 5:** Declividade dos perfis topográficos.

**Tabela 6:** Análise granulométrica das amostras coletadas em campo.

**Tabela 7:** Diâmetro Mediano do grão de cada perfil, separadamente, por local de coleta.

**Tabela 8:** Altura significativa das ondas de Janeiro a Julho de 2015, divididos em 11 classes.

**Tabela 9:** Período de pico das ondas na Lagoa dos Patos, medidas de Janeiro a Julho de 2015, divididos em 8 classes.

**Tabela 10:** Variáveis utilizadas para o cálculo de profundidade de fechamento.

**Tabela 11:** Aplicação do perfil de equilíbrio para diferentes grãos de sedimento.

**Tabela 12:** Cálculo de volume para cada tipo de sedimento.

**Tabela 13:** Volume total da obra de alimentação artificial da praia do Barro Duro.

**Tabela 14:** Volume total da obra após a adição de 40% do volume calculado, sugerido por Verhagem (1992).

**Tabela 15:** Taxa de recuo para uma vida útil de 10 anos de obra.

**Tabela 16:** Estimativa do volume perdido após 10 anos de obra.

## LISTA DE EQUAÇÕES

- (01) Perfil de Equilíbrio Dean 1977
- (02) Profundidade de Fechamento por Hallermeier (1978) usando parâmetro de Shields
- (03) Profundidade de fechamento por Hallermeier (1978) usando a teoria linear de ondas.
- (04) Profundidade de fechamento por Hallermeier (1978) usando parâmetros de ondas para águas profundas.
- (05) Comprimento de onda ( $L_0$ ) (DEAN e DALRYMPLE, 2004).
- (06) Profundidade de fechamento ( $h_c$ ), aplicando-se a relação de dispersão.
- (07) Cálculo de volume de engordamento de praia para perfil de equilíbrio Intersectado.

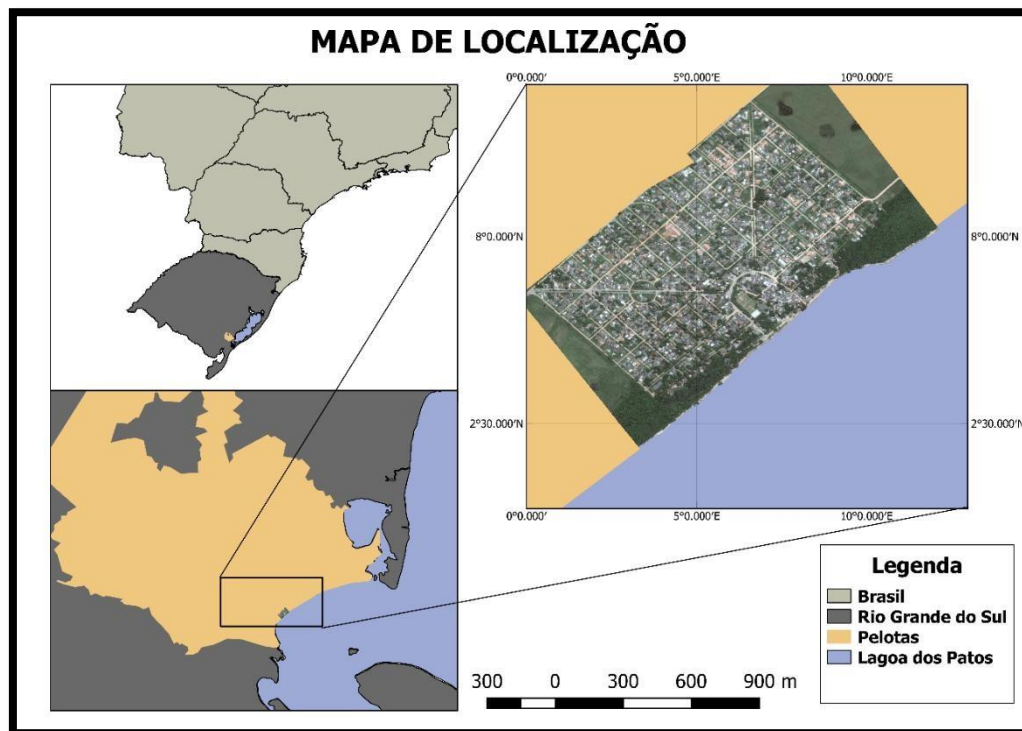
## 1. INTRODUÇÃO

A Lagoa dos Patos, está localizada no estado do Rio Grande do Sul, no sul do Brasil, e encontra-se entre as latitudes 30° S e 32° S. Possui 250 km de comprimento, largura média de 40 km e área total de 10.360 km<sup>2</sup>. Classificada como lagoa rasa, sua profundidade média é de 5 m (MOLLER, 1996). A Lagoa dos Patos desenvolve-se de forma paralela à linha de costa, e encontra-se abrigada da intensa atividade das águas do Oceano Atlântico por um sistema de barreiras arenosas. Entretanto, este ambiente relativamente protegido é de fato relacionado ao ambiente marinho e influenciado, principalmente no setor sul, pela água oceânica que ingressa ciclicamente em pequenas proporções através do estreitamento e único canal que comunica atualmente a laguna ao oceano, em Rio Grande, onde as características oceânicas são de micro maré (TOLDO Jr., 1991). Ainda Toldo Jr. (1994), diz que pode-se classificar a Lagoa dos Patos como um ambiente protegido, obtendo ondas com alturas inferiores a 0,5 m e com incidência paralela à praia.

A região estuarina corresponde a cerca de 10% de sua área onde, segundo Castello (1985), é a região compreendida entre os molhes da barra de Rio Grande e uma linha imaginária que liga a Ponta da Feitoria à Ponta dos Lençóis. Fisiograficamente, os estuários variam consideravelmente, e um tipo importante é o denominado estuário de planície costeira, comum ao longo das costas do Atlântico Norte, e dentro desta classificação a Lagoa dos Patos se enquadra (ARNASON, 1984).

Na costa noroeste desta região estuarina encontra-se uma enseada chamada “Saco do Laranjal” (localizada entre as Latitudes 31°47’ e 31°41’ S e longitudes 52°16’ e 52°5’ O). Esta enseada está dividida em, pelo menos, quatro localidades distintas: Praia do Laranjal (Balneário Valverde e Balneário Santo Antônio), Praia do Barro Duro (Balneário dos Prazeres), Praia do Totó e Colônia de pescadores Z3. Fischer (2005) estudou esta localidade afim de compreender a hidrodinâmica costeira e verificar se a mesma influencia na morfologia de suas praias. Dentre seus resultados, verificou-se pontos de erosão costeira extremamente significativos, principalmente na praia do Barro Duro, com taxas de 1,04 m/ano de retração em alguns pontos. Moradores da região percebem os problemas erosivos desde os anos 80. Diversas reportagens foram publicadas em jornais do município sobre a perda da mata ciliar centenária que se encontra ao longo de sua costa.

A figura a seguir (Figura 1) trata-se de um mapa de localização, o qual ilustra o posicionamento do Barro Duro na Lagoa dos Patos.



*Figura 1: Mapa de Localização.*

Segundo FISCHER (2005), assim como algumas praias oceânicas, as praias estuarinas também são passíveis de modificações morfológicas. Além disso, praias estuarinas também podem sofrer processos erosivos. Cientistas, planejadores e governantes de todo mundo tem despertado sua atenção para erosão de praias, buscando a compreensão das causas e como agir para minimizar os prejuízos decorrentes do problema. A Lagoa dos Patos, devido ao seu tamanho e à sua conexão livre com o mar, também fornece importantes evidências geomorfológicas quanto à variação do nível do mar. Ao longo de suas margens são registrados afloramentos de depósitos de turfa, indicando erosão atual (VILLWOCK, 1997 *apud* BARLETTA, 2000; TOLDO Jr., 1994).

Por se tratar de uma faixa de transição entre o mar e o continente, as zonas costeiras são consideradas dinâmicas, se modificando constantemente no espaço em uma escala de tempo variável, e instáveis por possuírem ecossistemas diversificados e frágeis e por estarem sujeitas a processos tanto naturais, como ações das ondas, correntes, marés e ventos, quanto antrópicos por nela se desenvolverem diversas atividades socioeconômicas e ecológicas, como o turismo, pesca, transporte, recreacionais, etc.



Para que haja compreensão dos mecanismos causadores de erosão ou de deposição em praias é fundamental o estudo da morfodinâmica. A morfodinâmica das praias envolve a interação entre as ondas, correntes, marés e topografia do perfil praiial. Já a interação dos ventos, ondas e marés, somando-se às características do material que compõe a praia, determinam a variação morfológica do sistema praiial (WRIGHT e SHORT, 1984). FISHER (2005) explica que a dinâmica determina a morfologia, e esta, depois de estabelecida, condiciona a dinâmica, ou seja, a dinâmica e morfologia evoluem conjuntamente. Como as praias são ambientes tão variáveis espaço- temporalmente, para qualquer tentativa de delimitar seus sub-ambientes devem-se considerar processos hidrodinâmicos e morfodinâmicos que promovem tais mudanças (PASOLINI, 2008).

Entre os problemas que as mesmas podem acarretar, as erosões costeiras são processos que preocupam e ocorrem em grande quantidade de praias do planeta. Por se tratar do recuo da linha de costa, estudos para a compreensão do dinamismo destas áreas servem de ferramentas fundamentais para o gerenciamento costeiro, para que se saiba quais medidas devem ser aplicadas, dependendo de suas características e dos impactos que as mesmas sofrem, não somente na delimitação de faixas de recuo e de áreas de risco de erosão costeira, mas também para que auxiliem na implantação de obras de proteção que intervirão no problema como os guias correntes, molhes, alimentação artificial de praia, etc. Davis (1997) explica que em praias arenosas os processos de deposição e erosão são controlados por um equilíbrio dinâmico que envolve três componentes principais: quantidade e tipo de sedimento disponível, energia física ao longo da costa e mudanças do nível do mar.

Villwock et al. (2007) afirma que a dinâmica costeira é a principal condicionante do desenvolvimento das praias arenosas e dos processos erosivos e deposicionais que as mantêm em constante transformação. Os ventos, as ondas por eles geradas e as correntes litorâneas que se desenvolvem quando as ondas chegam à linha de costa, atuam ininterruptamente sobre os materiais que ali encontram-se, erodindo, transportando e depositando sedimentos. A hidrodinâmica do estuário da Lagoa dos Patos é controlada pela combinação dos efeitos causados pela ação do vento local sobre superfície da água (mecanismo de elevação/rebaixamento), pela ação do vento não-local agindo na região costeira (transporte de Ekman agindo a 90° para a esquerda da direção do vento), e pela descarga dos rios na região norte da laguna (MOLLER et al., 1996). Ventos de nordeste são predominantes ao longo do ano, mas durante outono e inverno ventos de oeste e sudoeste também são importantes (TOMAZELLI, 1993).

Esta informação pode ser completada por uma citação de Villwock et al (2007) que diz que os principais aspectos da dinâmica apresentados para as costas oceânicas também são válidos para os corpos lagunares e lacustres da planície costeira. O mesmo afirma a importância dos ventos

que atuam na laguna pois “produzem ondas que, por sua vez, geram correntes, ambas erodindo, transportando e depositando materiais sedimentares, construindo uma grande variedade de formas de relevo costeiro em constante transformação. Dentre as inúmeras preocupações com as praias, as principais são as erosões costeiras, e por conta disto, diversos pesquisadores têm estudado métodos que auxiliem na estabilização de suas linhas de costa.

Segundo NORDSTRON (1992), existem algumas medidas para a estabilização de praias, tais como: estabelecimento de uma faixa de recuo que forneça proteção para as construções locais contra a erosão e as cheias; construção de estruturas rígidas de engenharia costeira que possam dissipar a energia de ondas ou reter os sedimentos e aumento de feições naturais usando vegetação ou engordamento artificial de praias. A alimentação ou engordamento artificial de praias consiste na inserção de areia previamente estudada para ser colocada sobre a praia, através de meios hidráulico ou mecânico, com o intuito de estabilizar ou aumentar a largura de sua área seca, a qual está sujeita à erosão, onde é considerada a técnica de menor impacto. O procedimento possui distintas vantagens como uma estética preferencial em relação a várias estruturas de engenharia e promove uma praia para recreação, bem como alguma proteção à erosão da linha de costa (KELLER, 1992). Segundo Browder & Dean (2000) *apud* Passos (2004) o engordamento de praia é atualmente a alternativa preferida para a estabilização da linha de costa em áreas que sofrem um déficit de areia devido tanto a causas naturais quanto a causas antrópicas.

Diante deste problema, o presente trabalho tem o propósito de compreender os processos costeiros que ocorrem na orla da praia do Barro Duro, para então propor uma obra de engordamento de praia.

## **2. OBJETIVOS:**

### **2.1. Objetivo Geral:**

Estudar a evolução espacial e temporal da linha de costa na praia do Barro Duro (Pelotas, RS), entre os anos de 1964 e 2016, bem como quantificar os volumes de sedimentos erodidos e propor a sua recuperação praial mediante a um engordamento de praia.

### **2.2. Objetivos Específicos:**

- Analisar fotos aéreas e levantar perfis praiais para determinar a retração da linha de costa.
- Determinar a profundidade de fechamento e perfil de equilíbrio da praia original.
- Determinar os volumes de sedimentos necessários para a recuperação da praia a partir

das distâncias de 15, 20 e 35 metros do topo da berma, medido em campo.

- Testar diferentes granulometrias com objetivo de estabelecer perfis intersectantes.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. EROSÃO COSTEIRA EM PRAIAS ARENOSAS

Na porção sul da Lagoa dos Patos tem-se durante praticamente o ano todo um ambiente estuarino. Esta área representa 10% da área lagunar total, e é nesta localidade que o município de Pelotas se encontra. Para Miranda *et al* (2002) um estuário é um corpo de água costeiro semi-fechado, com ligação livre com o oceano aberto, que se estende ao longo de um rio até o limite de influência da maré, no interior do qual a água do mar é diluída pela água doce oriunda da drenagem continental. A caracterização hidrodinâmica de um estuário em particular é fundamental para o entendimento dos processos físicos, geológicos, químicos e biológicos, os quais dão bases para conservação e uso sustentável destes ambientes (D'AQUINO *et al.*, 2011). O que difere estes ambientes entre si é a sua resposta a estas forçantes, que está diretamente relacionada às suas características geomorfológicas (KJERFVE e MAGILL, 1989).

A Lagoa dos Patos é considerada a maior laguna do tipo “estrangulada” do mundo (KJERFVE, 1986 *apud* ASMUS, 1998), e como a maioria das lagoas costeiras estranguladas, sua dinâmica depende essencialmente do vento e da descarga fluvial, não sendo a maré um componente importante na circulação estuarina (MOLLER *et al.*, 1996). Ainda Moller (1996) demonstra que a dinâmica da lagoa é claramente dominada pela ação de ventos em escalas temporais associadas à passagem de sistemas frontais. A ação local do vento se traduz através da transferência de momento pela fricção direta sobre o corpo lagunar, forçando correntes, gerando oscilações de curto período, como seiches que podem ter períodos de aproximadamente 24 horas na parte central e superior da laguna (Moller, 1996), e gerando desníveis entre suas extremidades com escalas temporais que seguem à dos processos meteorológicos de passagem de frentes (MARQUES, 2005).

A lagoa apresenta características de micro-maré, com amplitude média de 0,47 m (HERZ, 1977). O período natural de oscilação da lagoa, que se comporta como um sistema fechado é por volta de 24 horas e seiches têm este período atribuído à combinação dos efeitos de brisa e marés diurnas (Möller *et al.*, 2007 *apud* GIORDANO, 2008). Segundo Toldo Jr. (1994) a Lagoa dos Patos pode ser classificada com um ambiente protegido, pois permanece calma na maior parte do ano, com ondas de energia moderada, exceto em eventos de tempestade e fortes ventos quando são geradas ondas

de média energia e curto período. Ondas com alturas inferiores a 0,5 m e com incidência paralela à praia são observadas na Lagoa dos Patos. A frequência de ondas na margem leste é menor que na margem oeste, porém as ondas de tempestade incidem nesta margem devido ao padrão de ventos associados à entrada de sistemas frontais (Toldo Jr., 1994).

A circulação dirigida pelo vento provoca efeitos locais e não locais, produzindo oscilações de elevação ou rebaixamento na costa, devido ao transporte de Ekman, e ao longo da Lagoa dos Patos (MOLLER *et al.*, 2001). Marino et al. (2013) afirma que o vento é um dos agentes mais ativos, pois controla a formação de correntes costeiras e ondas, além do transporte de sedimentos para a formação dos depósitos eólicos de toda a zona costeira e pela diminuição dos sedimentos do perfil praiial. O vento possui grande influência na morfologia da Lagoa dos Patos, sua orientação longitudinal (Nordeste-Sudoeste) é decorrente da direção predominante dos ventos na região (CASTELÃO et al., 2003).

O transporte sedimentar, gerado pelos agentes que governam a dinâmica costeira (ondas, corrente e ventos), pode ser decomposto em transporte transversal e longitudinal. O primeiro trata-se do transporte que ocorre ao longo do perfil praiial. Pedruzzi (2005) comenta que de acordo com o nível de energia do sistema praiial (destacando-se as ondas), haverá uma migração do sedimento predominando para mar adentro ou em direção a face praiial, modelando o perfil. O autor ainda diz que outro importante processo de transporte transversal são as correntes de retorno (*rips*). Estas são caracterizadas por fluxos estreitos, posicionados normal ou obliquamente em relação à costa, que atravessam a zona de surfe em direção ao mar.

Já o transporte de sedimentos ao longo da costa é reconhecidamente realizado pelas correntes longitudinais. Confirma-se esta afirmação ao se observar os efeitos da colocação de estruturas como molhes. O transporte longitudinal de sedimentos é definido como a soma dos movimentos dos trens de ondas que chegam à costa, que podem ter diferentes direções. Os diferentes efeitos de transporte sedimentar causados pelos diferentes trens de ondas podem ter um efeito extremamente erosivo ou nulo, mesmo tendo altas taxas de locomoção de sedimento (KOMAR, 1998 *apud* PEDRUZZI, 2005).

Para que haja compreensão dos mecanismos causadores de erosão ou de deposição em praias é fundamental o estudo da morfodinâmica. A morfodinâmica das praias envolve a interação entre as ondas, correntes, marés e topografia do perfil praial. Já a interação dos ventos, ondas e marés, somando-se às características do material que compõe a praia, determinam a variação morfológica do sistema praial (WRIGHT e SHORT, 1984 *apud* FISCHER, 2005). Wright & Thom (1977) *apud* Albuquerque *et al.* (2009) definem morfodinâmica costeira como o ajustamento mútuo da topografia e dinâmica dos fluidos envolvendo o transporte de sedimentos. Ainda Albuquerque *et al.* (2009) relata que no Brasil, estudos referentes à morfodinâmica de praias, com ênfase na classificação proposta por Wright & Short (1984), foram implementados pioneiramente por Calliari & Klein (1993) e por Toldo *et al.* (1993) na costa do Rio Grande do Sul. A partir dos estudos na costa gaúcha, diversos pesquisadores adotaram a metodologia proposta por Wright & Short (1984) para caracterizar as praias do litoral brasileiro.

De acordo com Anders & Byrnes (1991) e Crowell *et al.* (1991) *apud* Marino *et al.* (2013) o mapeamento sistemático da linha de costa e o acompanhamento de suas mudanças representam ferramentas para a geração de informações de grande valor para o planejamento e gerenciamento costeiro, pois fornecem subsídios para o estabelecimento de faixas de recuos (*setback*) da zona litorânea, permitem a determinação de áreas de risco de erosão costeira e contribuem também com informações para a implantação de obras de intervenção direta na linha de costa (guias correntes, molhes, engordamento de praia, etc.).

### 3.2 VARIAÇÃO LINHA DE COSTA

O uso de ferramentas de geoprocessamento tem auxiliado na obtenção de dados georreferenciados, os quais são utilizados em diversas áreas do conhecimento, pois permitem a extração de informações de um determinado espaço geográfico com a construção de mapas temáticos que, ao serem cruzados, geram produtos que possibilitam a interpretação de um mesmo evento de diversas maneiras. Ainda sobre geoprocessamento, no que se refere ao problema de erosão dos solos, Xavier da Silva *et al.* (1993) fala que os levantamentos das condições ambientais são importantes para que sejam identificadas a extensão e a possível expansão territorial de um processo ambiental. Em estudos de monitoramento costeiro, a existência de imagens de sensores remotos de diferentes épocas converte a análise multitemporal em uma excelente ferramenta para auxiliar estudos geomorfológicos costeiros, ao estender informações pontuais de uma área para um contexto geográfico, possibilitando o entendimento da história evolutiva desses sistemas (TREBOSEN *et al.*, 2005, CHU *et al.*, 2006 *apud* MARINO *et al.*, 2013).

A análise multitemporal de imagens de sensoriamento remoto e de fotografias aéreas se mostra como uma ferramenta valiosa para a projeção e predição do comportamento desses ecossistemas às respostas do meio físico à introdução de elementos antrópicos e à dinâmica natural (MARINO, *et al.* 2013). Já Faria *et al.* (2003) explica que o uso de SIGs permite obter mapas com rapidez e precisão a partir da atualização dos bancos de dados, sendo uma ferramenta importante no estudo de potencialidades do ambiente, e, no caso da avaliação de áreas com susceptibilidade à erosão, constitui-se em uma etapa importante para a definição de práticas adequadas de manejo e conservação do solo e recursos hídricos. Segundo Madruga Filho (2004) a análise de mapas, cartas ou de fotografias aéreas, torna possível a obtenção da taxa de variação da linha de costa ocorrida durante um considerado intervalo de tempo.

Após estimar os valores determinados para as taxas de variação da linha de costa, Dias *et al.* (1994) diz que estas têm que ser analisadas com certo cuidado, pois correspondem à comparação de duas situações diferenciadas no tempo, não refletindo o que se verificou entre essas datas. Portanto, os respectivos valores representam um indicativo das tendências evolutivas do litoral, fornecendo subsídios para uma avaliação de possíveis impactos gerados por fatores perturbadores da dinâmica sedimentar costeira, como também auxilia no diagnóstico e gerenciamento de qualquer região litorânea. As taxas de variação da linha de costa constituem um dos melhores marcadores dos índices de erosão costeira quando esta atinge estágios avançados. Na maior parte dos casos, este índice é mais explícito e, frequentemente, mais confiável do que a avaliação da área perdida ou do volume erodido (DIAS *et al.*, 1994), já que há sempre uma tendência ao equilíbrio (ALMEIDA *et al.*, 2013).

Uma ferramenta bastante utilizada para a quantificação da evolução de linha de costa é o *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). O DSAS é uma extensão de software para o Esri ArcGIS v.10 10 que permite realizar cálculos estatísticos da taxa de variação da linha de costa a partir das análises de várias posições históricas do litoral. Os componentes da extensão e guia do usuário incluem instruções sobre a forma adequada de definir uma linha de base de referência para medições, geração automática e manual de transectos de medição e metadados com base em parâmetros especificados pelo usuário e saída de taxas calculadas de mudança de linha de costa e outras informações estatísticas. O DSAS gera transectos que são moldados perpendicularmente à linha de base de referência em um espaçamento especificado pelo usuário ao longo do mar. A distância entre a linha de base e cada ponto de interseção do litoral no transecto DSAS pode ser usada para calcular medições desta mudança (U.S. Geological Survey – USGS, 2009).

Outra forma de analisar as áreas erodidas e acrescidas entre as linhas de costa que foram vetorizadas é calculá-las no ambiente CAD (*Computer Aided Design*), pela construção de polígonos equivalentes à área existente entre a posição da linha de costa no ano de referência e o ano de comparação (ALMEIDA et al., 2013). Lemke (2015) realizou o traçado da linha de costa com base na marca da linha da água neste *software*. Para analisar a variação temporal da linha de costa, a autora traçou uma linha auxiliar, paralela à costa. Nesta linha auxiliar foram traçados perfis perpendiculares em intervalos de 50 metros. Estes perfis perpendiculares à linha auxiliar serviram de base para medir as distâncias entre as posições de linhas de costa das diferentes datas.

Fischer (2005) também utilizou o *software* Auto CAD, com a ferramenta gráfica “*polyline*” para digitalizar as feições, realizando uma sobreposição dos mosaicos de cada ano e com as feições devidamente digitalizadas. Sobre os mosaicos foram geradas linhas representativas da orientação da linha de costa e foram traçados perfis digitais perpendiculares a esta linha em intervalos regulares de 100 em 100 metros, totalizando 124 perfis. Sobre estes perfis e, através da sobreposição das feições digitalizadas foram calculadas as distâncias entre feições. Com estas distâncias calculou-se a média aritmética e dividiu-se esta pelo número de anos entre os levantamentos, obtendo-se a taxa de erosão ou de acresção dos locais analisados.

### **3.3 PROFUNDIDADE DE FECHAMENTO E PERFIL DE EQUILÍBRIO**

A erosão costeira é um processo natural que resulta de um balanço negativo de dinâmica sedimentar por efeito da agitação marítima, das correntes, das marés astronómicas, das marés meteorológicas, do set-up ou outros eventos associados a tempestades. Quando há equilíbrio na dinâmica sedimentar, a linha de costa permanece num estado de equilíbrio dinâmico (PINTO *et al.*, 2013). Muitos modelos de sistemas físicos encontrados na natureza têm sido criados para se definir as possíveis mudanças em um determinado ambiente. Para prever uma mudança é necessário definir um “estado de equilíbrio” referencial, pois assim consegue-se observar desvios entorno da configuração de equilíbrio (PEDRUZZI, 2005).

Muehe (1993) explica que a configuração de um perfil vai depender do ganho ou perda de areia, de acordo com a energia das ondas, ou seja, de acordo com as alternâncias entre tempo bom (engordamento = ganho de sedimento) e tempestade (erosão = perda de sedimento). Nas zonas em que o regime de ondas se diferencia significativamente entre verão e inverno, a praia desenvolve perfis sazonais típicos de acumulação (perfil

de verão) e erosão (perfil de inverno).

Prata (2005) *apud* Bird (1996) complementa, que quando a praia recebe mais sedimento do que perde, ela sofre construção, gerando um aumento topográfico e transversal sendo que a maré baixa e alta avança em direção ao mar, e a costa prograda. A erosão de praia acontece onde as perdas de sedimento excedem os ganhos fazendo costa regredir. Realizar um modelo de perfil praial de equilíbrio faz com que se possa verificar se a praia se encontra ou não em seu estado de equilíbrio, tendo o auxílio de equações matemáticas que são baseadas em dados empíricos.

O conceito de perfil de equilíbrio, na sua essência, indica a forma estável de um perfil quando submetido a um determinado regime de onda e uma determinada granulometria de sedimento, sendo definido como a forma final que o perfil assume sob determinadas condições hidrodinâmicas e sedimentológicas (PASOLINI, 2008). Carmo (2016) comenta que, uma praia em equilíbrio é aquela cuja curvatura plana e o perfil transversal são ajustados pela ondulação incidente de tal forma que a energia incidente é a necessária para transportar os sedimentos chegados à praia, ou ainda, de forma equivalente, uma praia em equilíbrio é aquela para qual a energia da ondulação incidente é dissipada com balanço nulo no transporte de sedimentos.

A aplicação do método de perfil de equilíbrio vem se mostrando como uma boa ferramenta para interpretar se o perfil real da praia apresenta déficit ou excesso de sedimento (DEAN et al., 1993 *apud* PASOLINI, 2008). Considerando que cada perfil é o produto de todas as forças, passadas e presentes, que atuam no modelamento do mesmo, então cada perfil contém uma abundância de informações em sua geometria e na textura do sedimento, o que tem permitido o desenvolvimento de expressões matemáticas para descrever a sua forma (DEAN, 1997 *apud* MANSO *et al*, 2001).

O primeiro modelo de Perfil de Equilíbrio foi idealizado inicialmente por Bruun (1954) e posteriormente documentado por Dean (1977). O modelo estabelece uma relação estreita entre o tamanho dos grãos do sedimento e a morfologia do perfil de praia. A aplicação deste método e a comparação com os perfis atuais são realizadas no sentido de interpretar se o perfil apresenta déficit ou excesso de sedimento e, portanto, se o perfil da costa encontra-se em retrogradação ou progradação (DEAN et al., 1992). CALLONI (2014) comenta que um bom método de previsão é o método empírico de medição de perfis por alguns anos e extrapolação da tendência para uma situação futura. Carmo (2016) diz que além do modelo de Dean (1977), outro bastante utilizado é o de Larson e Kraus (1989).



De acordo com Dean e Dalrymple (2004), há algumas relações empíricas conhecidas entre a forma do perfil de equilíbrio e as características dos sedimentos, ondas e marés.

Estas relações são as seguintes:

- **Tamanho dos sedimentos** - Os sedimentos grossos estão associados a declives íngremes da praia de equilíbrio. Esses sedimentos parecem ser capazes de suportar as forças destrutivas mais facilmente do que as areias mais finas, ou as forças construtivas os afetam em maior medida. Este efeito foi observado nas praias de Nova Jersey, onde praias mais estreitas (ou íngremes) foram caracterizadas por maiores grãos (BEACH EROSION BOARD, 1933). Bascom (1951) mostrou que a inclinação da praia para as praias da Califórnia foi correlacionada positivamente com a granulação.
- **Altura das ondas** – O aumento das alturas das ondas causa encostas mais leves, provavelmente porque o aumento da altura das ondas significa maiores forças destrutivas e, apenas com uma inclinação mais suave da praia, podem atingir o equilíbrio. Além disso, ondas mais elevadas resultam em uma zona de surf mais ampla, espalhando as forças destrutivas em uma região mais ampla e em águas mais profundas.
- **Período de onda** – O aumento dos períodos de ondas tende a fazer com que o sedimento seja transportado para a costa e a costa média avança para o mar, de modo que a inclinação média da praia seja mais acentuada do que para ondas de período mais curto.
- **Nível de água** – Um aumento da maré crescente ou do nível de água faz com que o sedimento seja transportado para o mar. O aumento do nível da água exige um novo perfil de equilíbrio, mas um verticalmente levantado e movendo-se para a costa. Isso significa que a recessão do litoral e um transporte offshore de sedimentos devem ocorrer.

Bruun (1954), em um estudo de campo de perfis de praia na baía de Monterey, Califórnia, e ao longo da costa da Dinamarca, foi o primeiro a identificar empiricamente a lei dos dois terços, como uma representação adequada dos perfis naturais. Dean (1977) examinou cerca de 502 perfis de praia nos Estados Unidos, que se estendem do extremo leste de Long Island ao redor da Península da Flórida até a fronteira Texas-México. Nesta avaliação, foi feito um ajuste de mínimos quadrados para cada um dos perfis com a seguinte lei de perfil:

$$h_{(y)} = A y^m \quad \text{Eq. (01)}$$

Onde  $h(y)$  é a profundidade (m),  $A$  e  $m$  são coeficientes empíricos baseados em perfis representativos e distância ( $y$ ) a partir da linha de costa em direção offshore (DEAN, 1997 *apud* MANSO *et al.*, 2001). O valor médio do expoente ( $m$ ) foi encontrado em aproximadamente 0,66, o que está em bom acordo com o resultado derivado. Infelizmente, poucos dados de sedimentos definitivos estavam disponíveis para correlacionar os vários

“parâmetros A” associados aos perfis individuais. (DEAN *et al.*, 2004). No entanto, Dean (1977) observou que 99% de todos os valores calculados de A estavam entre 0,0 e  $0,3 ft^{1/3}$  com a maioria dos valores  $0,1 < A < 0,2 ft^{1/3}$ .

Modificações na equação geral foram propostas para melhor indicar a profundidade calculada nas proximidades da linha de costa (Larson 1988; Larson and Kraus 1989; Dean 1991), e para incluir a influência de variações de granulometria nos sedimentos (Larson 1991; Work and Dean 1991; Moutzouris 1991). Foi demonstrado que a Equação 1 com  $m = 2/3$  é consistente com a dissipação uniforme da energia da onda por unidade de volume na zona de arrebentação (Dean, 1977). A relação entre o parâmetro dimensional, A, e a granulometria do sedimento, foi examinada por Moore (1982) e Dean (1987) (Wang *et al.*, 2007).

Para determinar o equilíbrio de um perfil, precisa-se encontrar seu limite externo na porção subaquosa, que seria a profundidade a qual o sedimento não é mais transportado ativamente pelas ondas incidentes, geralmente a menos de 15 m, sendo esta chamada de profundidade de fechamento (KOMAR, 1976). A profundidade de fechamento ou limite litorâneo, sob o ponto de vista estatístico, é o parâmetro que melhor define uma avaliação rápida e relativamente segura, da possibilidade de movimentação do fundo arenoso, sob a ação das ondas. Esta profundidade identifica a fronteira da zona de transporte arenoso longitudinal e transversal ativo, ou seja, é a profundidade para a qual já não ocorrem alterações significativas da cota do fundo (ALMEIDA *et al.*, 1999). Já para Kraus *et al.* (1999) a profundidade de fechamento corresponde à área que separa a zona ativa de transporte de sedimento no segmento litorâneo submerso adjacente à praia, da área mais profunda onde ocorre reduzida deposição e erosão durante um certo intervalo de tempo. Para além desta profundidade, embora as ondas possam movimentar sedimentos, o transporte líquido de sedimentos não resulta em alterações significativas na profundidade da água.

Tal dado pode ser determinado sob duas perspectivas. A primeira utiliza medições, realizadas em campo através da produção de perfis de praia em sequências temporais, dos padrões típicos de comportamento e da magnitude das mudanças ocorridas ao longo dessa escala temporal (e.g., Birkemeier, 1985; Larson and Kraus, 1994). O segundo corresponde à um cálculo empírico, mais desenvolvido a partir de dados coletados no campo, utilizando condições de ondas extremas (e.g., Hallermeier 1978, 1981) ou a altura média significativa anual obtida através de medidores de onda (Houston 1995) (WANG *et al.*, 2007).

Hallermeier (1978) examinou a profundidade de fechamento usando testes de tanque de ondas do perfil de praia de equilíbrio estabelecido em praias originalmente planas. O autor usou o parâmetro de Shields para determinar a profundidade de corte (ou fechamento) (DEAN et al., 2004):

$$\frac{\rho u^2}{(\rho_s - \rho) g h_c} = 0,03 \quad \text{Eq. (02)}$$

Sendo  $h_c$  a profundidade de corte,  $\rho$  e  $\rho_s$  a densidades da água e do sedimento, respectivamente,  $u_b$  é a velocidade máxima horizontal do fluido a uma profundidade  $h$  de acordo com a teoria linear de ondas e  $g$  é a aceleração da gravidade.

Ao substituir  $u_b = a\sigma / \sinh kh$  da teoria das ondas lineares, a equação pode ser escrita como (DEAN et al., 2004):

$$k h_c \sinh^2 k h_c = \frac{\rho a^2 \sigma^4}{0,03 g^2 (\rho_s - \rho)} \quad \text{Eq. (03)}$$

Esta expressão pode ser resolvida iterativamente para  $kh_c$ . No entanto, é mais conveniente usar valores de águas profundas para as características da onda, assim podendo convertê-la para (DEAN et al., 2004):

$$k h_c \sinh^2 k h_c \tanh^2 k h_c \left( 1 + \frac{2k h_c}{\sinh 2k h_c} \right) = \frac{329 \rho H_0^2}{(\rho_s - \rho) L_0^2} \quad \text{Eq. (04)}$$

Hallermeier (1978) apontou várias aplicações das fórmulas da profundidade de fechamento. No planejamento das pesquisas de praia, o conhecimento do clima de ondas permite que a profundidade de fechamento seja calculada e, portanto, dispensa a necessidade de realizar vários perfis por ano para determinar empiricamente a profundidade de fechamento (DEAN et al., 2004).

Com efeito, na dedução e aplicação destes modelos, é assumido que, para uma determinada costa, é possível descrever o perfil de equilíbrio, definido como o perfil que a costa tomaria se o clima forçador (ondas, marés, etc.) fosse invariável num período de tempo suficientemente longo (CARMO, 2016).

Calloni (2014) diz que para um projeto de alimentação artificial, deve-se levar em conta uma percentagem adicional de erosão, devido às incertezas do método hoje, e cita que um dos melhores modelos semi-empíricos para a concepção de um projeto de alimentação de praia é o método de Dean (1977), que se baseia no trabalho empírico de Bruun.

Atualmente, o método de perfil de equilíbrio é uma ferramenta amplamente utilizada em obras costeiras, principalmente em processos de alimentação de praias erodidas. Uma alimentação representa, claramente, uma perturbação do equilíbrio de um sistema costeiro (PASOLINI, 2008). A utilização do engordamento praiar criou a necessidade de averiguar sua eficiência, que varia com as características oceanográficas locais. Uma das formas de se determinar essa eficiência é a realização do monitoramento do perfil praiar, propiciando uma série de informações, que permitem o desenvolvimento de modelos matemáticos para descrever uma possível forma de equilíbrio, sendo chamado de Perfil Praial de Equilíbrio (PPE) (PEDRUZZI, 2005).

### **3.4 ENGORDAMENTO DE PRAIA**

Atualmente, os métodos de proteção contra erosão praiar são classificados dentro de duas categorias: não-estrutural e estrutural. A categoria não-estrutural baseia-se principalmente no controle do uso e ocupação da linha de costa (PRATA (2005) *apud* HEDRICK (2000)). A categoria estrutural inclui métodos “duros” e “macios” de estabilização da linha de costa. Medidas de proteção costeira chamadas “duras” incluem estruturas como espigões, quebra mares e molhes. Estas soluções não preservam o sistema de dunas, atualmente, sabe-se que elas são geralmente responsáveis pela erosão, degradação ou destruição (MATIAS et al., 2004). No começo de 1980, após a ineficiência de muitas medidas “duras” para proteção de praias arenosas, tornou-se evidente do ponto de vista tanto técnico como econômico, o interesse em usar medidas remediadoras “macias” (CAPOBIANCO et al. 2002).

Progressivamente o engordamento de praia, uma solução de engenharia “macia”, tem se

tornado muito popular para solucionar problemas de erosão de praia e é agora usado quase rotineiramente em muitas linhas de costa do mundo (SWART, 1991 *apud* PRATA, 2005). Segundo Bush et al. *apud* Fischer *et al.*, (2006), os motivos que levam muitas comunidades a aplicar este tipo de obra são devido à melhoria da parte recreacional da praia, à diminuição da erosão da linha de costa e à proteção das construções civis existentes na costa. Verhagen (1992) explica que para um bom projeto, o propósito da alimentação deve ser claramente definido. Em geral, há três razões para a alimentação da praia: combater a erosão costeira (erosão crônica), prevenir inundações (segurança) e manter uma ampla praia de recreio.

Em sua mais pura forma, o engorde envolve a colocação artificial de areia em praias com a expectativa da formação de um pacote de sedimento extra. O procedimento possui distintas vantagens como uma estética preferencial em relação a várias estruturas de engenharia e promove uma praia para recreação, bem como alguma proteção à erosão da linha de costa (KELLER, 1992 *apud* PASSOS, 2004). De todas as medidas mitigadoras de erosão de praias, a alimentação artificial é o único método que introduz areia adicional ao sistema, abordando diretamente o déficit de sedimentos. Todas as outras procuram reorganizar a areia existente de maneira a beneficiar uma porção da praia. Desta forma, é a solução mais eficaz, benigna e aceitável para a mitigação da erosão praial, pois irá restaurar a faixa de areia sem a possibilidade de causar efeitos adversos sobre as porções adjacentes (DEAN *et al.*, 2004 *apud* ALFREDINI, 2005).

Para obter um perfil de equilíbrio pós-obra, similar ao perfil de equilíbrio original, o tamanho de grão tem que ser maior ou igual ao tamanho do grão do sedimento nativo. Granulometrias maiores induzem uma maior declividade no perfil de equilíbrio, enquanto um sedimento mais fino induz a formação de um perfil de equilíbrio com inclinação mais suave (DEAN *et al.*, 2004). Segundo Kana & Mohan (1998) *apud* Prata (2005), o perfil de estabilidade de engordamento é definido como a habilidade da praia reter o material da engorda na praia emersa, podendo ser influenciado por numerosas variáveis. Isto inclui técnicas de preenchimento, distribuição do tamanho do grão do material de engordamento e fatores ambientais tais como: taxas de erosão da praia, morfologia da costa, ondas, correntes, marés e frequência de tempestades. A areia que é colocada em uma praia nutrida é retrabalhada para a zona offshore pela ação das ondas, até o perfil de equilíbrio ser atingido. Aplicada a alimentação da praia, o perfil de equilíbrio é definido, em longo prazo, como um perfil do leito do oceano produzido por “um clima de ondas particular e pelo tipo de sedimentos” (Zeidler, 1982 *apud* GREENE, 2002).

Este perfil de equilíbrio pode levar vários meses ou anos para se estabelecer, dependendo de um número de fatores, mais notavelmente, da ação das ondas (GREENE, 2002).

Projetos de engordamento são menos custosos em baías e enseadas do que em áreas oceânicas, pois geralmente uma pequena quantidade de preenchimento é requerida e, se forem utilizadas dragas, elas são mais fáceis de operar devido à baixa energia de onda (U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1981). Um programa de alimentação de praia consiste em uma série de projetos que visam realimentar a praia no mesmo local durante um período de tempo, muitas vezes até 50 anos, para o caso de projetos financiados pelo governo federal. As manutenções da obra geralmente são obrigatórias para manter as praias artificiais, e o tempo entre os episódios de re-engordamento depende das condições locais (NRC, 1995 *apud* GREENE, 2002).

A quantidade de areia necessária para o projeto depende de vários parâmetros. O clima de ondas e a relação de tamanho entre a granulometria do sedimento nativo e o de preenchimento são dois exemplos importantes. O clima de ondas tem impacto sobre o local da profundidade de fechamento e, portanto, afeta o volume de alimentação. A relação entre os diâmetros dos grãos nos perfis é responsável pela diferença de inclinação entre a praia nativa e praia modificada. Com o uso de um sedimento mais grosso e conseqüentemente uma maior inclinação da praia, o volume da areia necessária para a alimentação diminui. Já quando se utiliza um material mais fino que o material encontrado naturalmente, a nova inclinação é muito mais suave que a original, portanto, o volume de sedimento a ser utilizado é maior (BRUIJN et al., 2004 *apud* CALLONI, 2014).

Uma questão importante a ser abordada em projetos de alimentação artificial de praias é a vida útil da obra, principalmente quando aplicada a ambientes que apresentam uma erosão acentuada, pois os processos físicos atuantes na região continuarão agindo, bem como os mecanismos que levam à erosão do ambiente (Dean, 2002 *apud* CALLONI, 2014). A vida útil deste tipo de obra depende do quão rapidamente erode a praia, de forma que rápidos e sucessivos eventos de tempestades poderão eliminar rapidamente o preenchimento em um curto espaço de tempo. Este tipo de obra requer uma manutenção periódica e, o custo desta manutenção deverá ser adicionado ao projeto (U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1981 *apud* FISCHER, 2005).

Segundo Fischer *et al.* (2006), no Brasil, foram efetuados engordamentos em diversas praias, na maioria dos casos em praias oceânicas, onde existe o interesse de investimentos na área turística, tal como a praia de Copacabana no Rio de Janeiro. Ainda Fischer *et al.* (2006) relata que recentemente, no litoral centro-norte do Estado de

Santa Catarina, técnicas de recuperação da faixa de praia através do engordamento artificial têm sido consideradas como uma alternativa viável frente a outras ações mitigadoras e vem sendo cada vez mais adotadas como solução para este problema ambiental compensado.

No Rio Grande do Sul, diversas são as praias que sofrem com processos erosivos. Segundo Fischer (2005), na própria Lagoa dos Patos temos as praias de Arambaré, São Lourenço do Sul e a Ilha da Torotama que estão perdendo sedimentos e são locais passíveis de intensa ocupação futura. Por isso, é importante que desde já se pense em alternativas que possam reduzir os danos causados pela erosão costeira. Estas alternativas poderiam ser medidas simples, como o estabelecimento de faixas de recuo, oferecendo segurança para empreendimentos costeiros. Também seria interessante um programa de engordamento de praia para a revitalização turística e para a proteção destes locais (FISCHER, 2005).

No Brasil, existem algumas praias que já aderiram às obras de engordamento. A praia de Copacabana, por exemplo, foi local de um projeto de alimentação artificial que virou referência no país e no mundo. Desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Lisboa (LNEC) e realizado em parceria com a Superintendência de Urbanização e Saneamento do Estado da Guanabara nos anos de 69 e 70, a praia teve sua faixa de areia aumentada em 100 metros aproximadamente. Dois anos de coleta de dados e observações de campo permitiram o desenvolvimento de um modelo em escala reduzida. Projetos semelhantes foram realizados posteriormente em diversos estados litorâneos do país. Os dados dos levantamentos preliminares na praia de Copacabana mostraram que a praia recuava cerca de 30 metros em situações de tempestade e os sedimentos nativos da praia foram classificados como areias médias (predominantemente) e finas (VERA-CRUZ, 1972).

Passados 40 anos após o início da intervenção costeira, pode-se dizer que o projeto foi bem sucedido, ainda que seu perfil praias tenha sido alterado devido à utilização de sedimentos mais grossos que o nativo. A praia tornou-se mais inclinada e houve uma diminuição da extensão da zona de surfe e do número de bancos submarinos, acarretando em maior perigo ao banho de mar e piora nas condições para a prática do surfe. (OLIVEIRA, 2012).

A Praia de Camburi, localizada na Baía do Espírito Santo, já passou por diversos processos de intervenções, com o intuito de deter a indesejável erosão iniciada com a construção do Porto de Tubarão na década de 60 (ARAÚJO et al., 2000). Muito importante para área de lazer e recreação para

os habitantes da capital do Estado do Espírito Santo, com uma orla repleta de hotéis, restaurantes e quiosques, mostra-se relevante para cenário turístico da cidade. (PRATA, 2005).

Como resposta à erosão, a Prefeitura Municipal de Vitória realizou aterros na faixa litorânea e construiu 2 espigões transversais à praia, estas foram algumas intervenções realizadas para solucionar o processo erosivo (ALBINO & OLIVEIRA, 2000). Os problemas erosivos se agravaram ao longo do tempo e culminaram no recente engordamento da faixa de areia da praia, com areias retiradas na zona submersa adjacente (FERNANDES, 1999; OLIVEIRA et al., 1999; ALBINO & OLIVEIRA, 2000). A solução foi a realizar uma obra de engordamento artificial, despejando 730 mil m<sup>3</sup> de areia, retiradas de jazidas da Baía do Espírito Santo, entre os espigões 1 e 2 (até 2800m a partir do Canal da Passagem) e 240 mil m<sup>3</sup> de areia entre os espigões 2 e 3 (até 3500m) (PRATA, 2005). Esta praia vem sendo estudada por diversos pesquisadores ao longo dos anos, como Pedruzzi (2005) e Passos (2004), que escreveram sobre perfil de equilíbrio e as variações morfotextural da praia de Camburi, respectivamente.

Outra praia alimentada artificialmente foi a Praia de Piçarras, em Santa Catarina. Foi realizada, no ano de 1999, a recuperação da faixa de areia com a reposição de 880.000 m<sup>3</sup> de sedimento em 2,1 km de segmento praial (419 m<sup>3</sup>/m). O material foi retirado de uma jazida marinha localizada próxima à costa (15 km), a uma profundidade de 20 m, transportado até a praia por tubulações flutuantes e depois espalhado para atingir a configuração do perfil de desenho do projeto (ARAÚJO, 2008).

É importante salientar que, de acordo com Oliveira (2012), após a realização das obras em Piçarras, constatou-se os inúmeros benefícios previstos para a região, como o incremento do fluxo turístico em cerca de 23%, aumento significativo do valor dos imóveis, principalmente daqueles próximos à orla, melhoria das condições socioeconômicas em função da maior carga de investimentos, e conseqüentemente um aumento na oferta de empregos nos meses de maior aporte turístico (REID et al., 2005 apud OLIVEIRA, 2012). Passados nove anos da realização das obras, a praia de Piçarras já apresenta diminuição do volume sedimentar, problemas estes que evidenciam a



continuidade do processo erosivo. Isto se deve em parte, pelo fato de que nenhum plano de manutenção do aterro foi elaborado, apesar de a empresa garantir a vida útil da obra por apenas cinco anos (OLIVEIRA, 2012).

Na praia Alegre também foi realizado um aterro hidráulico no ano de 1999. A obra foi executada por uma draga da Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina (CIDASC) segundo especificações do Departamento de Edificações e Obras Hidráulicas (DEOH) do governo do estado, através do bombeamento e deposição de 70.000 m<sup>3</sup> de sedimento (70 m<sup>3</sup> /m) retirado da jazida em frente à praia, na porção abrigada da enseada do Itapocorói (OLIVEIRA, 2012).

Segundo Hardaway *et al.* (1999), os espigões também podem ser usados em margens de baixa energia. Eles foram usados com sucesso em conjunto com engordamento de praia e plantações de zonas úmidas. Podem ser de pedra ou madeira e geralmente são discretos. Os autores dizem ainda que no sistema estuarino da Baía de Chesapeake, Estados Unidos, a alternativa para estabilização costeira que vem sendo utilizada e amplamente estudada ao longo dos anos é o uso de quebra mares segmentados próximos à linha da costa em conjunto com o engordamento artificial de praia, chamada de “*Headland breakwater systems*” (HARDAWAY et al., 1999). Ainda comenta que foram construídos espigões de madeira “*wood groins*” em conjunto com o engordamento para resolver problemas de erosão praial. O custo médio desta estrutura foi de \$225,00 por metro. Os projetistas desta obra ressaltam a importância de um bom suprimento de sedimentos migrando ao longo da costa (FISCHER, 2005 *apud* HARDAWAY, 2005).



*Figura 2: Sistema de proteção costeira chamado de Headland breakwater, conjuntamente a obra de enchimento de praia. Chesapeake Bay (EUA), FONTE: HARDAWAY e BYRNE (1999).*

Nos engordamentos de praia sempre ocorrem perdas de sedimentos, ou pelas laterais do trecho engordado, ou para locais ao largo da praia. A quantificação do volume de perda é importante em projetos deste tipo, pois o volume de sedimentos total para o engordamento será a soma do volume de perdas com o volume de areia necessário para que a obra atinja seus objetivos. Para isso, existem diversas formas de adquirir este valor, a partir de um estudo completo da morfologia e processos costeiros que auxiliarão na interpretação do problema em determinada região. Para diminuir a perda do material de preenchimento, bem como reduzir o processo de manutenção do engordamento, seria adequada a técnica de uma solução mista. Esta solução mista pode ocorrer fazendo o engordamento juntamente com a construção de espigões de madeira.

O engordamento seria uma boa alternativa para o preenchimento e revitalização da Praia do Barro Duro devido a sua principal característica que é a de manter a forma natural e a estética da praia. Com este tipo de obra implementado, a mata de figueiras do local estaria preservada, não ocorrendo a queda de árvores que já acontece há alguns anos (FISCHER, 2005). Como foi verificada a ocorrência de transporte de sedimentos ao longo da costa do

Barro Duro, os espigões funcionariam bem neste tipo de praia de forma a reter o sedimento (FISCHER, 2005).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Cálculos do volume para enchimento da praia

Este trabalho é embasado no método Holandês proposto por Verhagen (1992) *apud* Dean (2004), o qual é utilizado para fixar a linha de costa com um projeto de engordamento de praia, considerado ser bastante simples e eficaz, seguidas as cinco etapas apresentadas:

- Etapa 1: Realizar o levantamento dos perfis de praia em secções costeiras definidas para determinar a evolução da linha de costa (pelo menos 10 anos).
- Etapa 2: Calcular a perda de areia em metros cúbicos por ano por seção costeira.
- Etapa 3: Adicionar 40% de perda.
- Etapa 4: Multiplicar esta quantidade por uma vida útil conveniente (por exemplo, 5 anos).
- Etapa 5: Colocar esta quantidade em algum lugar na praia entre a linha de 1 m de água baixa e o pé de dunas.

Logo, com o auxílio desta metodologia pode-se obter o volume estimado de sedimentos para a implantação da obra de alimentação artificial da praia. Para realizar este cálculo é necessário obter, além dos dados da variação da linha de costa (adquiridos pelas análises das aerofotografias) e da profundidade de fechamento, informações do tamanho do grão e valores do perfil topográfico local. Desta forma, este capítulo descreve os processos.

#### 4.1.1 Evolução da linha de costa com base em imagens obtidas em diferentes períodos

A primeira etapa do método de Verhagen (1992) foi feita com o auxílio do software livre Quantum GIS 2.16, projeto oficial da **Open Source Geospatial Foundation (OSGeo)**.

##### 4.1.1.1 Obtenção e Tratamento de imagens

As taxas de variação da linha de costa constituem um dos melhores marcadores dos índices de erosão costeira quando esta atinge estágios avançados. Na maior parte dos casos, este índice é mais explícito e, frequentemente, mais confiável do que a avaliação da área perdida ou do volume erodido já que há sempre uma tendência ao equilíbrio (DIAS *et al.*, 1994). Para iniciar esta análise, buscou-se obter imagens orbitais de alta resolução espacial que propusessem melhor a identificação das feições que serão avaliadas. Para tanto, resolveu-se utilizar uma aerofotografia antiga retirada de levantamentos realizados pela Prefeitura Municipal de Pelotas que dessa maior relevância à geração dos resultados. No acervo da prefeitura, foram encontradas diversas datas entre os anos 60 e 2000, com intervalos entorno de 10 em 10 anos, que dariam maior relevância à análise temporal da erosão costeira. Porém, infelizmente, algumas não abrangiam toda área que desejava-se estudar (1974 e 1991), e outras não possuíam uma resolução adequada (1954 e 1980). Assim, escolheu-se utilizar a imagem do ano de 1964, pois no intuito de observar com clareza a linha de costa de toda extensão compreendida como praia do Barro Duro, esta fotografia correspondeu a estes fatores. Esta aerofotografia foi obtida no formato impresso, nas cores preta e branca e em uma escala de 1:8000.

Além da fotografia de 1964, adquiriram-se 3 imagens de satélite do ano de 2006, já georreferenciadas e mosaicadas pela própria Prefeitura de Pelotas, na Secretaria de Gestão Urbana (SGU), com resolução espacial de aproximadamente 60 cm, a qual se tornou própria para o estudo. Buscando atualizar os dados obtidos por Fischer (2005), escolheu-se trabalhar com

imagens do ano de 2016 obtidas através do software gratuito Google Earth Pro, que é considerado de alta resolução espacial, com *pixels* de menos de 40 cm. Em relação às altas resoluções encontradas nas imagens coletadas, Almeida et al. (2013), diz que é possível representar as feições em suas tonalidades o mais próximo do real e que isso facilita nas operações de interpretação e vetorização da linha de costa.

Com o banco de dados montado, foi possível começar os procedimentos de georreferenciamento e tratamento de imagem. Segundo Almeida (2008), justifica-se a execução do registro e/ou georreferenciamento em imagens, pois as mesmas são produzidas por sensores remotos ou *escanerizadas* sem o necessário rigor geométrico para trabalhos fotogramétricos, sejam elas ortofotocartas, imagens de satélite e/ou fotografias aéreas, e apresentam uma série de distorções espaciais, não possuindo, portanto, precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos nelas representados. Como as imagens de 2006 já haviam recebido os procedimentos necessários, como georreferenciamento e mosaicagem, para os fins de analisar as feições da linha de costa, somente nas imagens de 1964 e 2016 foi preciso realizar o processo de aplicação das coordenadas geográficas, situando-as ao Sistema de Referência SIRGAS 2000, coordenadas UTM e zona 22 Sul, sendo o mesmo sistema que a imagem de 2006 foi georreferenciada.

Além do georreferenciamento, na imagem de 2016 aplicou-se o método de mosaicagem, pois para abranger toda a área da praia do Barro Duro foram capturadas 03 cenas. Para a aerofotografia do levantamento de 1964 não foi preciso aplicar o método de mosaicagem, pois já haviam as informações necessárias do local em apenas uma imagem. Os produtos dos processos anteriores se encontraram no capítulo de resultados.

#### **4.1.1.2 Vetorização da linha de costa**

Com a conclusão da etapa de tratamento de imagens, é possível então realizar os processos de vetorização da linha de costa. O processo se resume em uma digitalização das feições que serão analisadas posteriormente, neste caso as

linhas de costa, gerando uma camada vetorial, a qual é utilizada para armazenar a geometria, posição e atributos das feições com informações em formas de ponto, linha ou polígono, geralmente no formato *shapefile* (.shp). No QGIS, ao criar uma nova camada vetorial, o usuário deve escolher o tipo de feição (ponto, linha ou polígono), o Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) e os atributos a serem inseridos na tabela (SILVA et al., 2014).

No presente trabalho utilizou-se o modo “linha” para a vetorização da região costeira, utilizando como feição indicadora para todas imagens a linha d’água instantânea (interface entre água e areia). Alguns autores como Crowell (1991), dizem que a definição comumente adotada para identificar a posição da linha de costa em áreas costeiras arenosas, tem incidido na utilização da “linha” que marca o limite atingido durante a preamar (*high water line*), caracterizando uma mudança nítida de tonalidade nas areias da praia, facilmente identificável nas fotografias aéreas e imagens de sensoriamento remoto. Toldo Jr. et al. (2003) explica que por causa da variabilidade natural das praias arenosas, da sua natureza particular e de sua evolução ao longo do tempo, é muito difícil estabelecer uma feição física como sendo representativa da linha de praia.

Segundo Pajak e Leatherman (2002), a feição indicadora da linha de praia deve ser prática, e principalmente, a feição deve existir consistentemente ao longo de toda área investigada. Boak et al. (2005) publicou um esboço da relação espacial entre muitos dos indicadores da linha costeira comumente utilizados (Figura 2).



*Figura 3: Relação espacial entre indicadores da linha de costa. Adaptada: Boak e Turner (2005).*

Os principais e mais utilizados indicadores descritos pela literatura são a linha de vegetação, crista da duna frontal, pé da duna frontal, crista do berma, limite entre a praia úmida e a praia seca, linha da maré alta e a linha d'água (ABSALONSEN et al., 2007). No município de Biguaçu, localizado no centro-norte do estado de Santa Catarina, Barattela et al. (2011), realizou uma Análise da variação da linha de costa a qual utilizou como indicador a máxima linha d'água (preamar), observada nas imagens pela diferença de reflexão do sedimento. Onde a areia seca tem maior reflectância que a areia molhada, gerando diferença de tonalidade na imagem.

Almeida et al., (2013) realizou com o auxílio de imagens georeferenciadas, utilizando o *software* AUTOCAD, uma análise da posição da linha de costa no ano de 2005 em formato vetorial. Após análise das imagens orbitais, em função da qualidade destas e da morfologia da área, determinou-se à linha de vegetação como referencial para a vetorização da posição da linha de costa. A vantagem do emprego da linha de vegetação na determinação da posição da

linha de costa, está no fato da mesma ser menos passível de alterações quando comparada com a Linha Definida por Dunas e Linha de Preamar, pois geralmente a mesma é definida pelo nível máximo que a maré alcança, como também, por apresentar uma melhor reflectância nas imagens, facilitando a interpretação e demarcação (ALMEIDA, 2008).

Entre os indicadores citados na imagem anterior, aderiu-se a linha d'água instantânea, sendo considerada a mais confiável para este estudo. Esta escolha foi feita devido ao fato da imagem mais antiga (1964) se encontrar em tons de cinza e devido à sua baixa resolução espacial, não sendo viável adotar feições às quais se obtivesse dúvidas de suas localizações, mesmo que se torne necessário assumir um erro em relação à sua posição exata, por se tratar de uma representação do momento em que a fotografia foi tirada. As imagens devidamente vetorizadas que serão utilizadas para a próxima etapa encontram-se no Capítulo 5, de Resultados e Discussão.

#### **4.1.1.3 Traçado dos Transectos.**

Este estudo foi baseado no método EPR (*End Point Rate*), contido na ferramenta DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*), desenvolvida para uso em plataforma ArcGIS. Esta análise consiste na “geração de transectos ortogonais às linhas de costa com espaçamentos pré-definidos, abrangendo duas linhas de costas de períodos distintos, e na divisão da distância entre os transectos destas datas pelo tempo transcorrido entre elas, gerando assim a taxa anual de migração em metros” (BARATTELA *et al.*, 2011).

Este método é usado com maior frequência entre os pesquisadores que desejam quantificar uma evolução costeira. Dalbosco (2013) realizou uma análise das taxas de variação da Linha de Costa, as quais foram calculadas utilizando a ferramenta computacional DSAS 3.2. Para este estudo, os transectos foram gerados com um espaçamento definido em 50 metros, gerando 67 transectos para a Praia da Armação, localizada na Ilha de Santa Catarina (SC). Já Barattela et al. (2011), que estudou a erosão costeira no município de Biguaçu, diz ter utilizado o mesmo método para traçar 58 transectos espaçados em 50 metros entre si, e com 230 metros de



comprimento, comparando as linhas de costa de 1938 e 1957, 1957 e 1978, 1978 e 2010 e 1938 e 2010. O autor ainda diz que a linha de base foi traçada em duas linhas devido à desembocadura cruzar a linha de costa ao meio da área de estudo.

Como, no presente trabalho foi utilizado o software QGIS, a técnica “EPR” foi realizada manualmente, respeitando suas devidas características. Desta forma, para obter dados da regressão da linha de costa entre os 52 anos analisados, foram traçados 236 perfis perpendiculares e ao longo da mesma, com intervalos de 10 metros entre um e outro. Com isso, pode-se realizar a média dessas distâncias para gerar a taxa de erosão no intervalo de 42 anos (entre 1964 e 2006) e a taxa nos últimos 10 anos (entre 2006 e 2016), além de uma taxa média a partir de 52 anos de dados. No capítulo 5 encontra-se uma imagem que exemplifica o modo em que os perfis foram traçados.

Fischer (2005) e Lemke (2015) utilizaram o mesmo método realizado manualmente com o auxílio do software Auto Cad. Fisher (2005) diz que foi feita a sobreposição dos mosaicos de cada ano e com as feições devidamente digitalizadas. Sobre os mosaicos foram geradas linhas representativas da orientação da linha de costa e foram traçados perfis digitais perpendiculares a esta linha em intervalos regulares de 100 em 100 metros, totalizando 124 perfis. Sobre estes perfis e, através da sobreposição das feições digitalizadas foram calculadas as distâncias entre feições. Com estas distâncias foi calculada a média aritmética e dividiu-se esta pelo número de anos entre os levantamentos, obtendo-se a taxa de erosão ou de acreção dos locais analisados.

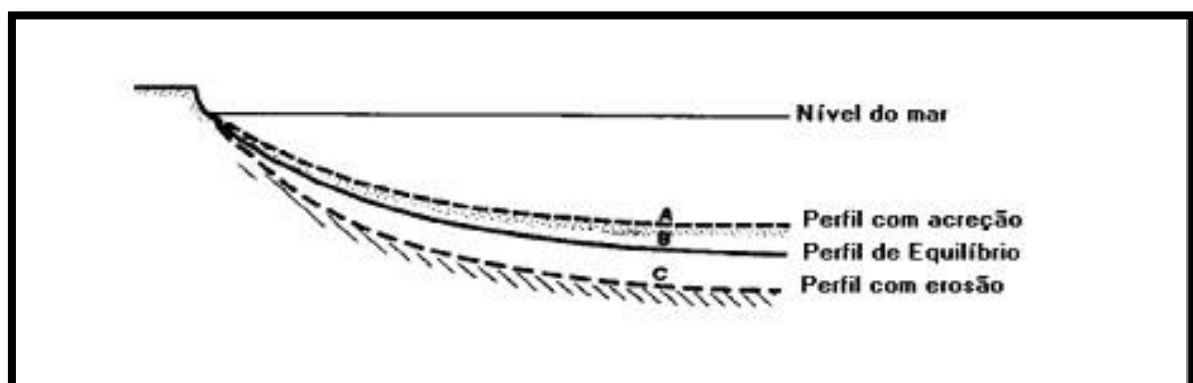
Já Lemke (2015) relata que em seu estudo o traçado da linha de costa foi feito com base na marca da linha da água. Para analisar a variação temporal da linha de costa, traçou-se uma linha auxiliar, paralela à costa. Nesta linha auxiliar foram traçados perfis perpendiculares em intervalos de 50 metros. Estes perfis perpendiculares à linha auxiliar serviram de base para medir as distâncias entre as posições de linhas de costa das diferentes datas.

## 4.1.2 Cálculo do Volume de Sedimentos

### 4.1.2.1 Perfil de Equilíbrio e Profundidade de Fechamento

A quantificação da profundidade de fechamento e de perfis de equilíbrio de praia faz parte de inúmeros estudos de engenharia costeira e morfologia litorânea. Por exemplo, a profundidade de fechamento é necessária no processo de alimentação artificial de praias, e também no uso de modelos morfológicos ou de transporte de sedimentos, representando o elemento de separação entre a zona de transporte ativo de sedimentos e a zona mais profunda onde ocorre baixa taxa de sedimentação e erosão (WANG *et al.*, 2007).

Para isso, diversos modelos foram propostos para representar o perfil de equilíbrio praias (PEP). Um modelo de perfil de equilíbrio permite avaliar processos de acréscimo ou déficit de sedimento, bem como a declividade ao longo do perfil (Figura 3).



**Figura 4:** Representação do perfil submerso proposto por Dean (1977). Adaptado: Dean *et al.*, 1993.

Um melhor entendimento do perfil praias de equilíbrio com relação às forças indutoras e aos mecanismos associados, podem aumentar o grau de confiança em prever as respostas do perfil, como por exemplo, ao incremento do nível do mar, sem considerar particularidades da hidrodinâmica do sistema praias (MANSO *et al.*, 2001). Para esta análise, apoiou-se nos estudos de Bruun (1954, 1988) e Dean (1977, 1991), que possibilitam calcular o perfil de equilíbrio através de uma equação empírica que relaciona os parâmetros profundidade ( $h$ ), distância ( $y$ ) a partir da linha de costa em direção offshore e com um parâmetro de forma ( $A$ ) (Equação 1).

O parâmetro A é determinado através da tabela mostrada na Figura 4 sendo definido a partir do diâmetro mediano dos sedimentos.

d (mm)	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.1	0.063	0.0672	0.0714	0.0756	0.0798	0.084	0.0872	0.0904	0.0936	0.0968
0.2	0.100	0.103	0.106	0.109	0.112	0.115	0.117	0.119	0.121	0.123
0.3	0.125	0.127	0.129	0.131	0.133	0.135	0.137	0.139	0.141	0.143
0.4	0.145	0.1466	0.1482	0.1498	0.1514	0.153	0.1546	0.1562	0.1578	0.1594
0.5	0.161	0.1622	0.1634	0.1646	0.1658	0.167	0.1682	0.1694	0.1706	0.1718
0.6	0.173	0.1742	0.1754	0.1766	0.1778	0.179	0.1802	0.1814	0.1826	0.1838
0.7	0.185	0.1859	0.1868	0.1877	0.1886	0.1895	0.1904	0.1913	0.1922	0.1931
0.8	0.194	0.1948	0.1956	0.1964	0.1972	0.198	0.1988	0.1996	0.2004	0.2012
0.9	0.202	0.2028	0.2036	0.2044	0.2052	0.206	0.2068	0.2076	0.2084	0.2092
1.0	0.210	0.2108	0.2116	0.2124	0.2132	0.2140	0.2148	0.2156	0.2164	0.2172

**Figura 5:** Valores do parâmetro de escala da praia em função do diâmetro mediano, de 0,10 a 1,09 mm (Tabela 7.2 de DEAN et al. (2004))

Veiga (2005) sugere o uso do conceito de profundidade de fechamento no gerenciamento costeiro, buscando estabelecer um zoneamento de áreas-fonte de extração de areias para programas de realimentação artificial de praias. Para a realização do cálculo de perfil de equilíbrio, a primeira etapa é calcular de profundidade de fechamento ( $h_{(y)}$ ).

Uma refinada definição de profundidade de fechamento, enfatizando o significado da escala temporal, foi proposto por Kraus et al. (1999), que afirmaram que “a profundidade de fechamento para um dado ou característico intervalo de tempo é definida como a profundidade no meio litorâneo submerso mais próximo da faixa de praia na qual não existe significativa mudança na batimetria nem tampouco ocorre uma troca importante de sedimentos entre o setor litorâneo e o segmento offshore.”

Hallermeier (1977, 1978, 1981, 1983) desenvolveu um procedimento para empiricamente prever a profundidade de fechamento usando condições extremas de ondas, baseado sobretudo em dados de laboratório e em algumas medidas de campo, na costa do Pacífico e do Golfo do México (WANG et al., 2007).

Neste trabalho utilizou-se uma equação desenvolvida por Hallermeier (1978) (Equação 4), que examinou a profundidade do fechamento usando testes de tanque de ondas do perfil de equilíbrio da praia, estabelecido em praias originalmente planas (DEAN e DALRYMPLE, 2004). Esta equação envolve os parâmetros de onda ( $H_0$  e  $L_0$ ) e as densidades da água e do sedimento ( $\rho$  e  $\rho_s$ , respectivamente). Esta expressão pode ser resolvida iterativamente para  $kh_c$ . No entanto, é mais conveniente usar valores de águas profundas para as características da onda. Para encontrar o comprimento de onda ( $L_0$ ), utilizamos a Equação (05) (DEAN e DALRYMPLE, 2004):

$$L = \frac{gT_p^2}{2\pi} \quad \text{Eq. (05)}$$

Ao resolver a Equação 2 de forma iterativa, encontra-se o valor para “ $kh$ ”. Obtendo esta informação, pode-se achar o valor de profundidade de fechamento ( $h_c$ ), aplicando-se a relação de dispersão (Equação 6) (DEAN e DALRYMPLE, 2004- Pag.217):

$$h_c = \frac{gkh_c \tanh kh_c}{\sigma^2} \quad \text{Eq. (06)}$$

Substituindo  $\square = 2\pi/T_p$ , encontra-se o valor da profundidade de fechamento, sendo possível substituí-la na equação do perfil de equilíbrio (Equação 1) e obter o valor de  $Y$ , correspondente ao comprimento do perfil de equilíbrio, distância a partir da linha de costa em direção a *offshore*.

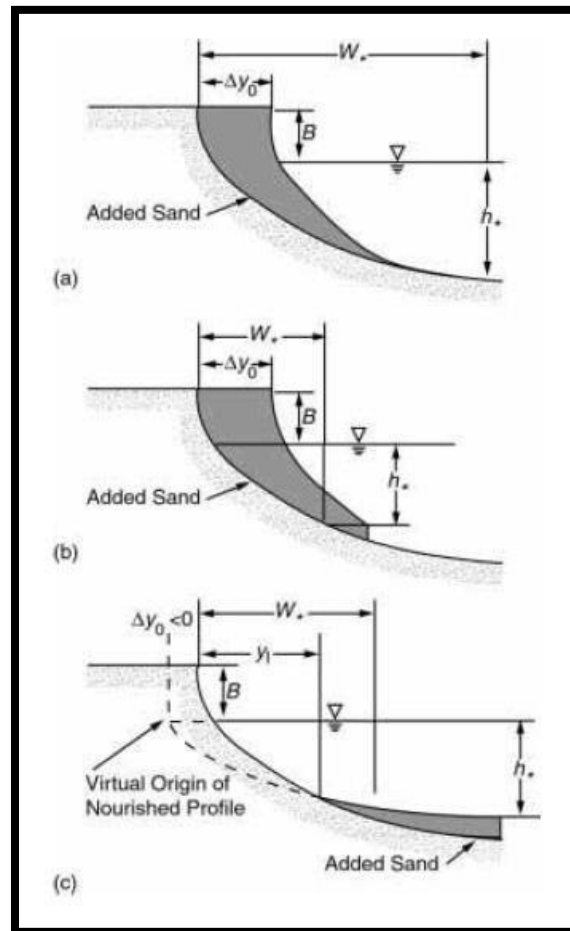
Almeida *et al.* (1999) testaram as equações de Hallermeier (1981) e Birkemeier (1985) no litoral norte do Rio Grande do Sul e encontraram alguma concordância com o fechamento através da superposição de perfis topográficos, embora sua série de dados seja pequena e exista alguma divergência entre as diferentes equações testadas.

#### **4.1.2.2 Cálculo de volume necessário para o Perfil de Equilíbrio.**

Segundo Prata (2005) *apud* Kana e Mohan (1998), o perfil de estabilidade de engordamento é definido como a habilidade da praia reter o material da engorda na praia emersa, podendo ser influenciado por numerosas variáveis. Isto inclui técnicas de preenchimento, distribuição do tamanho do grão do material de engorda, fatores ambientais tais como: taxas de erosão da praia, morfologia da costa, ondas, correntes, marés, e frequência de tempestades.

Para que se possa obter um perfil em equilíbrio, Dean (2004) desenvolveu um método alternativo para determinar a compatibilidade do preenchimento. Este método tem a vantagem de incluir os efeitos das forças que moldam os perfis naturais e alterados da praia. A dependência do fator de escala de sedimento  $A$  no diâmetro  $d$ , leva a algumas consequências interessantes relativas à alimentação da praia (DEAN et al., 2004).

Quando o volume  $V$  de areia de enchimento por unidade de comprimento é adicionado ao perfil de praia nativo, assume-se que ele irá se equilibrar. Dependendo dos parâmetros da escala ( $A$ ) dos sedimentos de preenchimento e nativo,  $A_F$  e  $A_N$ , respectivamente, e do volume adicionado, o perfil de praia alimentado pode estar intersectado, não intersectado ou submerso (Figura 8) (DEAN et al., 2004). Determina-se  $A_F$  e  $A_N$  a partir da tabela anterior de Dean (2004) (Figura 5), que relaciona o parâmetro  $A$  com os tamanhos de sedimento nativo e o que se aplicará na obra.



**Figura 6:** Três tipos genéricos de perfis de praia alimentados (a) Perfil de intersecção ( $AF > AN$ ); (B) perfil não intersectante; (C) perfil submerso ( $AF < AN$ ) (Dean, 2004 – Figura 11.3).

Dean et al. (2004) diz ainda que um requisito necessário, mas não suficiente, para que os perfis se intersectem é que o material colocado seja mais grosso do que o nativo. Da mesma forma, perfis não intersectados ou submersos sempre ocorrerão se o sedimento colocado for do mesmo tamanho ou mais fino do que o nativo.

De acordo com Gravens et al. (2001), o engordamento de praia consiste então, em promover a construção de alguma região praial, como berma, duna, berma submarino, estabilização de dunas (cercando o sedimento), preencher áreas erodidas por obras de engenharia (como espigões) com sedimento não proveniente da própria praia, geralmente dragado da região submarina da plataforma continental adjacente.

Para cada tipo de perfil que se queira alcançar com a obra, Verhagen (1992) *apud* Dean et al. (2004) propôs um tipo de equação diferente. Neste caso, será proposto que o perfil de equilíbrio se enquadre na classificação de Perfil Intersectado. Para tanto, deve se utilizar a equação a seguir (Equação 7) para se obter os resultados esperados:

$$V_1 = B\Delta_{Y0} + \frac{3}{5}AN \frac{\Delta_{Y0}^3}{[1 - (\frac{\Delta_{Y0}}{AF})^2]^3} \quad \text{Eq. (7)}$$

Onde: “ $V_1$ ” é o volume que se quer encontrar; “ $B$ ” a altura da Berma; “ $\Delta Y_0$ ” é o comprimento do perfil em direção *offshore*; “ $AN$ ” e “ $AF$ ” os valores do parâmetro  $A$  para o diâmetro do sedimento nativo e do sedimento que será utilizado na obra, respectivamente.

De acordo com o método de Verhagen (1992), deve-se adicionar ao volume total calculado a quantia de 40% deste, de forma a suprir eventuais perdas sedimentares e para que o perfil se estabilize como forma de proteção à obra. A adição de 40% do volume total consiste em “compensar as variáveis não controláveis, como por exemplo: maior ação da agitação, perdas por dispersão longitudinal ou lavagem de finos” (MARTINS et al., 2011).

### 4.1.3 Estimativa de vida útil para a nova praia

Os procedimentos de dimensionamento de uma estrutura de defesa costeira aderente, qualquer que seja a sua constituição, depende das condições locais e envolve a análise de vários parâmetros hidráulicos (agitação marítima, níveis de maré e correntes), estruturais e geotécnicos. Para cada tipo de parâmetro devem ser considerados cenários alternativos, posteriormente avaliados quanto ao nível de proteção e os requisitos de manutenção durante a vida útil da obra longitudinal aderente (PINTO *et al.*, 2013).

Dean *et al.* (2004) diz que um problema significativo associado com uma alimentação de praia é prever o tempo de vida do projeto de preenchimento. Eles ainda afirmam que uma substituição da praia originalmente erodida é simplesmente um meio de voltar no tempo, para os mecanismos de erosão que estão ainda em vigor. Portanto, a praia acabará por erodir novamente voltando ao seu estado original e continuará a erodir ainda mais. A questão é: quanto tempo vai demorar este processo?

Sabe-se que, a partir da aplicação de uma obra de engordamento, os processos costeiros continuarão a agir, restaurando o equilíbrio e forma do perfil. Dean *et al.* (2004) citam três estágios dos processos de mudança subsequente do litoral:

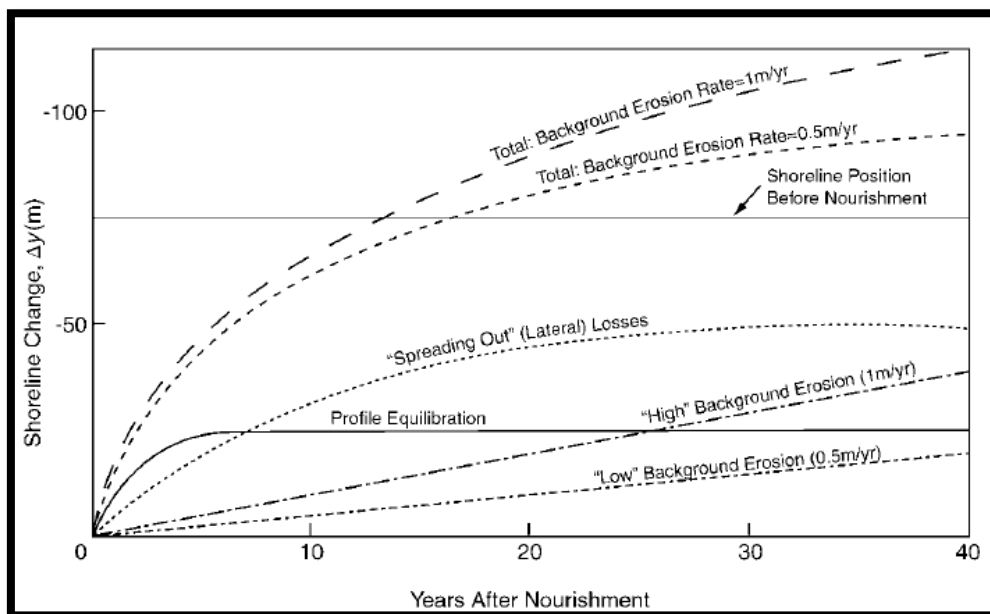
- o equilíbrio do perfil, que geralmente resulta em uma transferência de areia da parte superior para as partes mais baixas do perfil e, portanto, uma recessão na linha de costa, mas não uma transferência de areia para fora do perfil;
- uma transferência de areia ao longo da extensão da praia, resultante da anomalia criada pela areia colocada;



- a erosão da linha costeira devido aos processos em curso antes da implantação do projeto.

Estes três componentes da mudança operam simultaneamente. No entanto, eles geralmente têm escalas de tempo um pouco diferentes. O equilíbrio do perfil geralmente domina as escalas de tempo na ordem de anos, enquanto que, para os projetos mais longos, as perdas por difusão ao longo da costa geralmente ocorrem na ordem de décadas (DEAN et al., 2004).

CAMPBELL et al. (1990) e VERHAGEN (1992) apud Menezes (2002) dizem que de 20 a 40% do volume total de sedimentos adicionado à praia é perdido durante a acomodação do sedimento ao perfil de equilíbrio natural. Para que se possa estimar a vida útil de uma obra de alimentação artificial, Dean et al (2004) apresentam um esquema (Figura 6) que ilustra qualitativamente os três componentes de recessão de linha de costa, citados anteriormente, após a implantação da obra, onde o eixo vertical representa a mudança da linha de costa ( $\Delta y$  (m)) e o eixo horizontal representa os anos da vida útil do projeto.



**Figura 7:** Ilustração qualitativa de três componentes da recessão da linha costeira após um projeto de nutrição de praia mostrado para duas taxas de erosão de fundo e largura nutrida inicial de 75 m. (Figura 11.1, Dean et al., 2004)

Finalmente, na avaliação do dimensionamento conceptual, devem identificar-se as alternativas que permitem uma otimização dos níveis de proteção e das necessidades de manutenção durante a vida útil da obra (PINTO *et al.*, 2013). Logo, para o presente estudo, buscou-se fixar o valor de 10 anos de vida útil da obra afim de assegurar que, independente do volume que será aplicado, a mesma resistirá à este período que antecede a manutenção. Este período pré determinado foi confirmado entre os volumes de obras testados e apresentados no capítulo de resultado.

#### **4.1.4 Distribuição do volume de sedimentos ao longo da zona a alimentar, entre o sopé da duna e 1 m de profundidade a partir da baixa-mar.**

Esta última etapa está relacionada à implantação da obra de engordamento de praia onde, segundo Verhagen (1992), o material deve ser colocado ao longo da costa, entre o pé da duna e em 1m de profundidade.

## **4.2 Aquisição de dados de campo**

Sobre perfis topográficos, Campo (1992) *apud* Tenório et al. (2008) diz que os mesmos representam a altimetria de uma linha, mas não de uma área. Dessa forma, a visão geral fica prejudicada, pois torna-se necessário um número imenso de perfis do mesmo terreno em posições e direções diferentes para uma visualização panorâmica. Mas ainda assim, é importante o traçado do perfil, pois ele auxilia na identificação do perfil local, no cálculo das declividades do terreno e no cálculo de volume.

A realização de trabalhos de campo é importante para obter dados que auxiliaram na observação e interpretação dos fenômenos locais, a partir das condições naturais que lá ocorrem. Com base nos referenciais que embasam esse texto, o trabalho de campo pode ser entendido como uma técnica para a realização do estudo do meio, conceituado por Pontuschka (1994) como "um método para conhecer um objeto de estudo extraído da realidade local ou de outras realidades" (SILVA, 2002).

De forma semelhante, levantamentos topográficos e batimétricos podem ser considerados de mesma funcionalidade. Na topografia a superfície a ser levantada é visível, sendo assim, os pontos de mudança de declividade podem ser facilmente localizados e levantados. Além disso, é possível materializar pontos estáveis de observação (marcos) e efetuar medições repetidas, para um posterior ajustamento de observações. O levantamento batimétrico é uma das principais tarefas de um levantamento hidrográfico. É através deste que se obtêm as profundidades,

indispensáveis na representação do relevo submerso (FERREIRA, 2013).

Neste trabalho, realizou-se um trabalho de campo no dia 19 de abril de 2017, coletando dados sedimentológicos, topográficos e batimétricos da praia em questão, sendo que os últimos não foram utilizados para esta dissertação, porém em outro momento serão de extrema utilidade.

#### 4.2.1 Análise granulométrica

No trabalho de campo foram coletadas 10 amostras distribuídas aos pares em cada um dos 5 perfis topográficos medidos, sendo que para cada par, uma amostra foi retirada da porção aérea da praia e outra da porção aquosa. Após adquirir as amostras, estas foram encaminhadas para o Laboratório de Engenharia Costeira (LEC), onde foram realizadas as análises granulométricas. Visualmente, as amostras já apresentavam características de sedimentos grossos, os quais possuem partículas maiores que 0,062 mm. Então, após devidamente lavadas e secas, pode-se se iniciar os procedimentos próprios para este tipo de grão, realizando um peneiramento mecânico, utilizando peneiras com intervalos de  $\frac{1}{4} \Phi$ , conforme a escala de Wentworth (1922) (SUGUIO, 1973), e pesadas posteriormente. A seguir, nas Figuras 7 e 8 são apresentados os equipamentos utilizados nessa etapa.



*Figura 8: Balança analítica utilizada para a pesagem dos materiais.*



**Figura 9:** Peneiras com intervalo de  $\frac{1}{4} \Phi$ .

Após o peneiramento das 10 amostras, se calculou as porcentagens simples e acumulada de cada classe granulométrica, utilizando programa Excel. Estas informações são importantes, pois para este estudo foi necessário o valor do  $d_{50}$  de cada amostra. Então, com o *software* de análise estatística textural *SysGran 3*, foram processados os dados obtendo-se a média e a mediana de cada amostra, as porcentagens simples de cada classe granulométrica. Construíram-se as curvas granulométricas e também os histogramas para a verificação da classe modal de cada amostra.

### 4.2.2 Perfis Topográficos

Com o uso de uma estação total da marca Leica, modelo Ts-06 R500 plus (Figura 9), realizou-se o levantamento topográfico de 5 perfis distribuídos ao longo da orla, na região que abrange os locais onde se verificou maior erosão a partir do auxílio das aerofotografias e imagens de satélites.



*Figura 10: Estação total utilizada no trabalho de campo.*

Na Figura 10, está exposta as distribuições dos 5 perfis na área de estudo, enquanto que na Tabela 1 são apresentadas suas devidas coordenadas.



**Figura 11:** Localização dos perfis topográficos na praia do Barro Duro.

**Tabela 1:** Coordenadas dos perfis topográficos.

PERFIL	COORDENADAS (S, W)	
	Latitude	Longitude
1	31 <sup>0</sup> 44' 9.67"	52 <sup>0</sup> 12' 35.15"
2	31 <sup>0</sup> 44' 11.42"	52 <sup>0</sup> 12' 36.59"
3	31 <sup>0</sup> 44' 15"	52 <sup>0</sup> 12' 39.99"
4	31 <sup>0</sup> 44' 18.094"	52 <sup>0</sup> 12' 43.23"
5	31 <sup>0</sup> 44' 24.68"	52 <sup>0</sup> 12' 49"

Estes perfis foram medidos a partir da linha de costa até aproximadamente 100 metros em direção *offshore*, como demonstrado na Figura 11.



*Figura 12: Medição dos perfis topográficos.*

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES:**

Neste capítulo serão apresentados os resultados das três etapas que foram realizadas neste trabalho: evolução da linha de praia por análise de imagens de satélite e de aerofotografias coleta e análise dos dados de campo e cálculo de volume para se propor a obra de engordamento de praia.

### **5.1 EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA COM BASE EM IMAGENS OBTIDAS EM DIFERENTES PERÍODOS:**

#### **5.1.1 OBTENÇÃO DO BANCO DE DADOS.**

A seguir, encontram-se as imagens utilizadas neste estudo após todos os procedimentos de tratamento de dados, descritos na metodologia.



*Figura 13: Aerofotografia do ano de 1964.*





*Figura 14: Mosaico das imagens do ano de 2006.*



*Figura 15: Mosaico das imagens do ano de 2016.*

### **5.1.2 VETORIZAÇÃO:**

A análise evolutiva da linha de costa da praia do Barro Duro consistiu-se em uma comparação de três imagens devidamente corrigidas e vetorizadas que abrangeram 52 anos de dados. As Figuras a seguir ilustram a forma pela qual se digitalizou o indicador de linha de costa escolhido (linha d'água) nas fotografias de 1964, 2006 e 2016, respectivamente.



*Figura 16: Linha de costa do ano de 1964, vetorizada.*

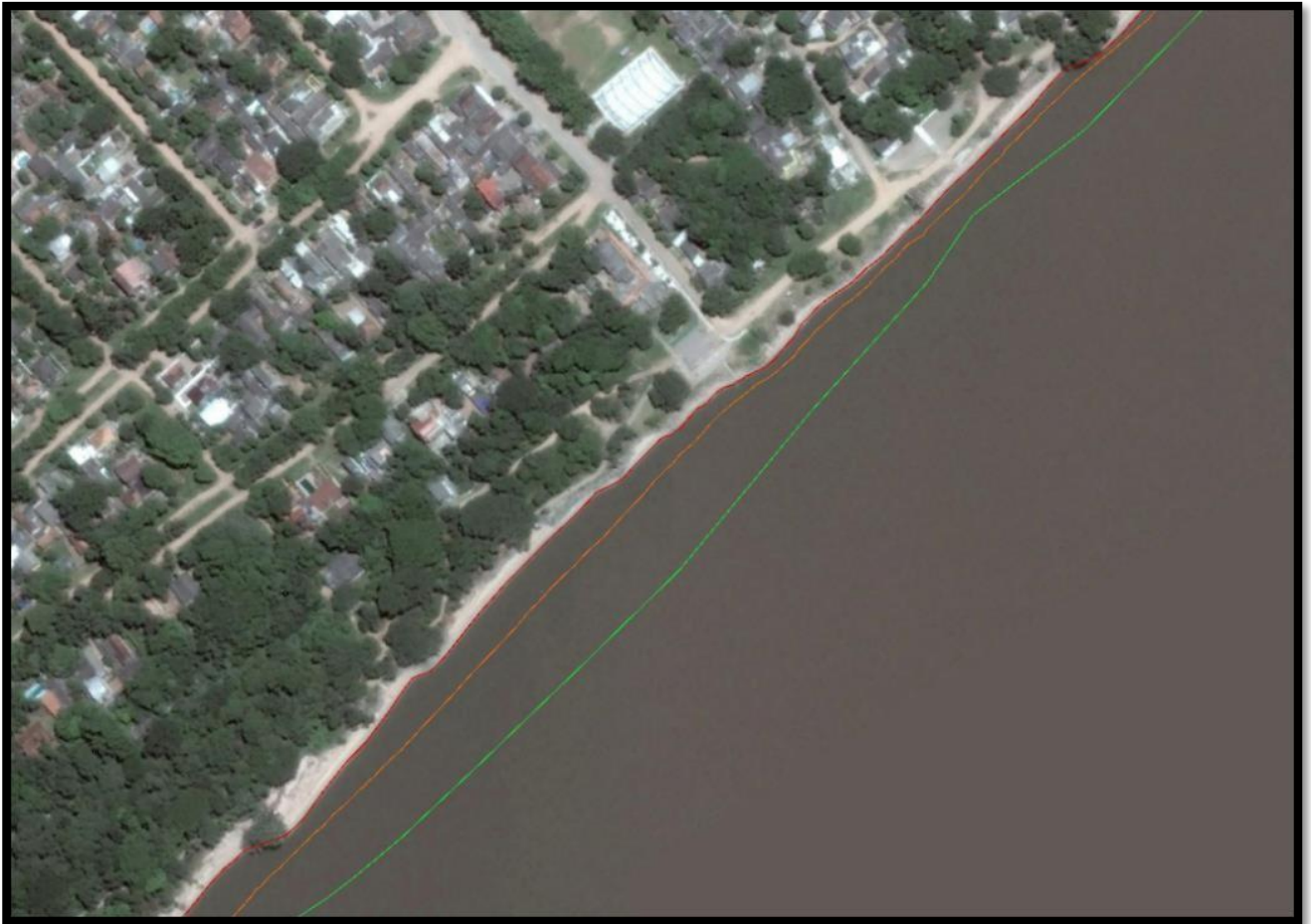


*Figura 17: Linha de costa do ano de 1964, vetorizada.*



*Figura 18: Linha de costa do ano de 2016, vetorizada.*

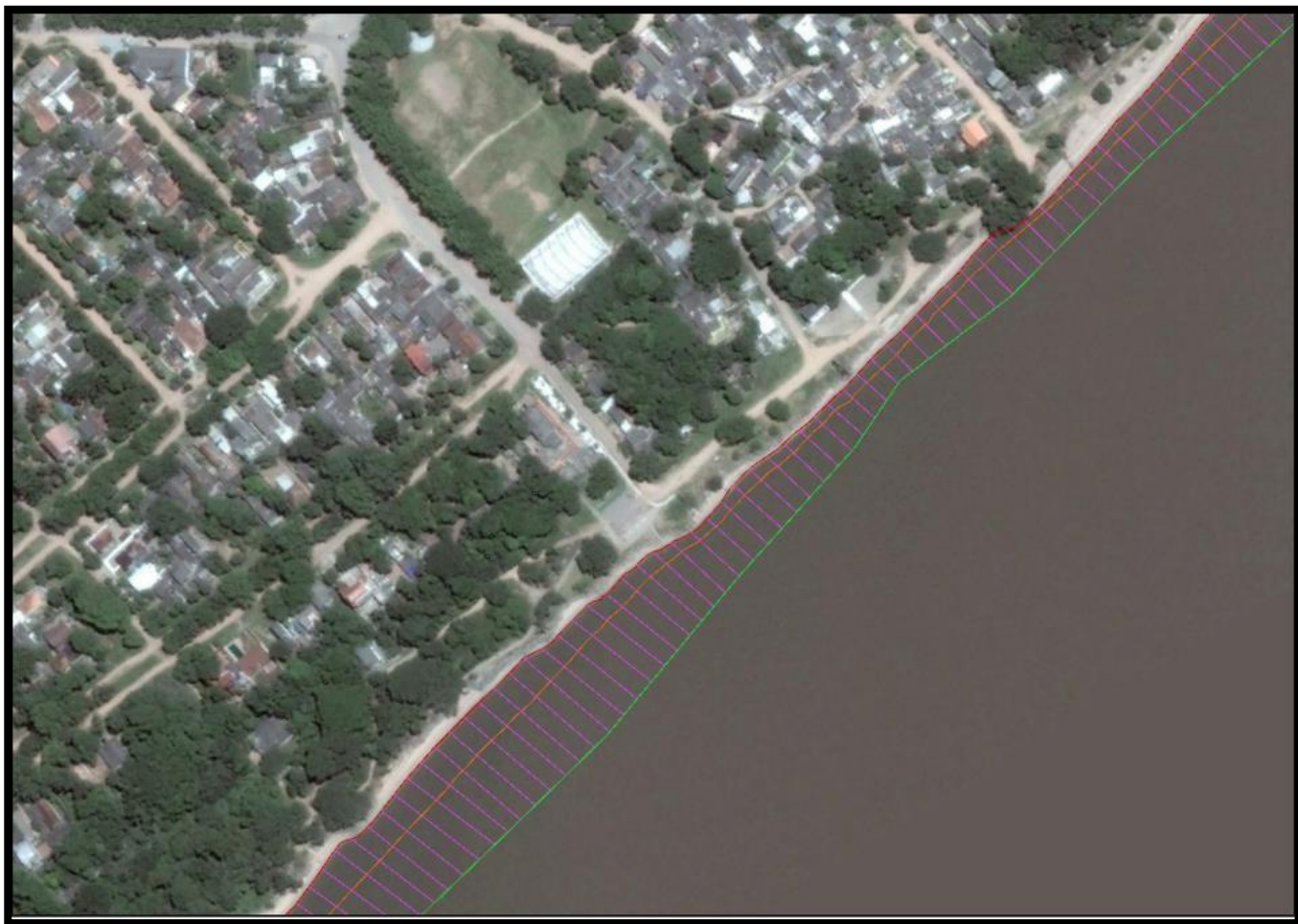
Para melhor interpretar o processo erosivo na praia, sobrepôs-se as três linhas de costa vetorizadas. A Figura 18 demonstra este procedimento.



*Figura 19: Linhas de costa sobrepostas dos anos de 1964 (verde), 2006 (laranja) e 2016 (vermelho).*

### **5.1.3 TRANSECTOS:**

Verifica-se, com a sobreposição das linhas de costas, a existência de um processo erosivo na praia do Barro Duro, sem nenhum ponto aparente de acreção. Precisando quantificar a extensão do problema, pôde-se traçar transectos perpendiculares à linha de costa que auxiliaram na medição das distâncias entre os anos estudados. A Figura 19 exemplifica a forma pela qual os transectos foram posicionados.



*Figura 20: Perfis transversais (em Lilás) traçados entre as Linhas de costa.*

Por se tratar de 236 perfis, não foi possível os representar visualmente em sua totalidade já que estão espaçados de 10 em 10 metros, porém esta exemplificação consegue demonstrar de alguma maneira a localização dos mesmos. Além disso, dos 236 transectos, somente 132 foram utilizados (do “Id” 27 ao 158), no intuito de usar apenas o que se encontram no local que será aplicado a obra de engordamento, não sendo necessário os demais.

A Tabela 2 é uma exposição reduzida das medições encontradas nestes transectos, contendo as 10 menores e as 10 maiores distâncias, em ordem crescente, juntamente com as taxas erosivas em cada localidade. Os números da coluna Id indicam sua identificação no arquivo.

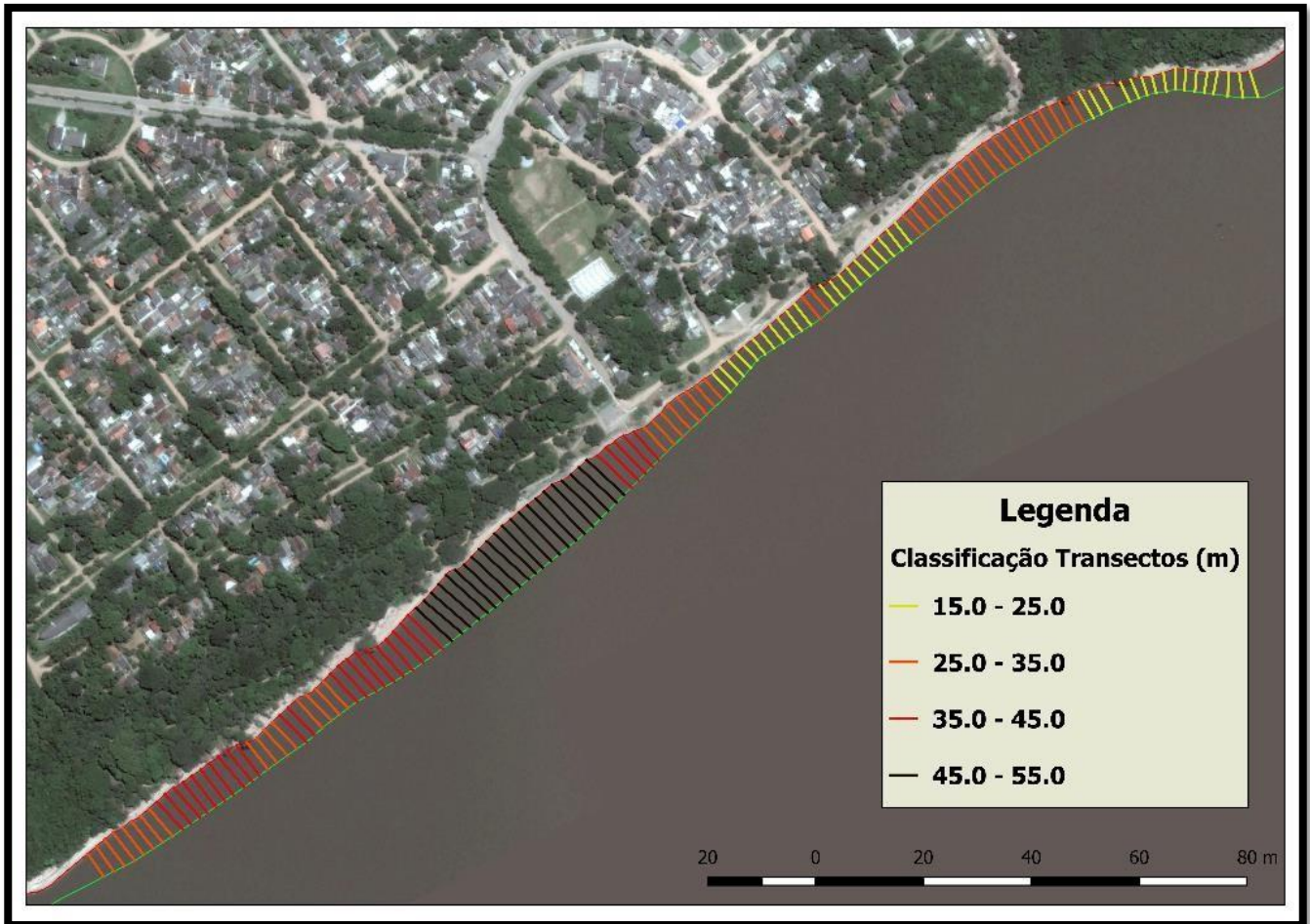
*Tabela 2: Medição dos transectos entre os anos de 1964 e 2016, e suas respectivas taxas de erosão.*

<b>Id</b>	<b>Distância 2016 - 1964</b>	<b>Taxa (m/ano)</b>
<b>149</b>	16,099	0,309
<b>151</b>	16,686	0,321
<b>150</b>	17,084	0,328
<b>148</b>	17,111	0,329
<b>104</b>	17,426	0,335
<b>105</b>	17,844	0,343
<b>147</b>	18,326	0,352
<b>154</b>	18,348	0,353
<b>153</b>	18,689	0,359
<b>106</b>	18,729	0,362
...	...	...
<b>69</b>	51,861	0,997
<b>74</b>	52,749	1,014
<b>75</b>	53,407	1,027
<b>80</b>	53,892	1,036
<b>76</b>	53,969	1,038
<b>77</b>	53,978	1,038
<b>81</b>	54,066	1,039
<b>78</b>	54,161	1,041
<b>79</b>	54,288	1,044
<b>82</b>	<b>54,467</b>	<b>1,047</b>

A partir destes transectos, foi possível verificar taxas erosivas significativas, obtendo um valor máximo de 1,047 m/ano, no perfil 82. Tais dados possibilitam comparar com as informações dadas por Fisher (2005), a qual relata ter encontrado, através da análise da variação da linha de costa, taxas erosivas de 1,04 m/ano na praia do Barro Duro.

Para melhor averiguação desta evolução costeira, realizou-se uma classificação de acordo com as distâncias entre as vetorizações dos anos 1964 e 2016. Com a ajuda das ferramentas do Quantum GIS, criou-se 4 classes desde 15 até 55 metros, com intervalos de 10 em 10 metros, para abranger as distâncias encontradas neste período. A Figura 20, mostra como as mesmas se distribuíram ao longo do segmento estudado.





*Figura 21: Classificação dos transectos.*

Esta classificação permitiu visualizar com maior clareza, e assim realizar a análise quantitativa desta erosão que ocorreu durante os 52 anos, verificando quais localidades foram mais afetadas pela mesma. Na Tabela 3 tem-se a porcentagem que representa o número de perfis dentro de cada intervalo de classes.

*Tabela 3: Porcentagem da Classificação dos Transectos.*

Classes	Nº de transectos	(%)
15-25	37	28,03
25-35	46	34,85
35-45	27	20,45
45-55	22	16,67
<b>TOTAL</b>	<b>132</b>	<b>100</b>

Tanto visualmente quanto com a tabela, ficou claro que nenhuma classe criada teve um destaque dentre os 132 transectos traçados, em relação à porcentagem representada por cada classe. Logo, pôde-se afirmar que foi correto realizar as taxas de erosão individualmente, por não obter-se um resultado significativo ou homogêneo. Essas diferenças podem ser explicadas com estudos morfodinâmicos mais aprofundados, que mostrarão pontualmente a dinâmica costeira, o que não foi possível realizar neste trabalho.

FISCHER (2005), por outro lado, realizou um estudo morfodinâmico das praias do Saco do Laranjal, para melhor compreensão dos resultados. Um dos métodos que a auxiliou em sua compreensão foi baseado nos estudos de Dolan et al. (1978), Short e Hesp (1982) que, de acordo com ela “estudaram perfis de praias oceânicas na costa Sudeste da Austrália, compostas por sedimentos médios e finos. Neste estudo, definiram que a mobilidade de uma praia (movimento perpendicular à linha de costa) pode ser medida em termos dos parâmetros morfométricos de desvio padrão ( $\sigma_{yb}$ ) e que o índice de mobilidade do pós-praia pode ser verificado pelo coeficiente de variação (*CV*) da posição significativa da linha de praia”.

Concretizando esta pesquisa, FISCHER (2005) salienta que o perfil medido na praia do Barro Duro “apresentou um pós-praia com a maior mobilidade, com um coeficiente de variação (*CV*) de 25, portanto mostrando-se como uma praia fortemente sujeita a episódios de erosão. O valor deste coeficiente de variação nesta praia estuarina mostrou-se maior do que em algumas praias oceânicas que vem sofrendo forte processo erosivo, tal como a Praia do Hermenegildo (Chuí), onde Calliari e Klein (1993) calcularam um “*CV*” de 15”. FISCHER (2005) ainda conclui que “relacionando esta alta mobilidade com a variação da linha de costa nesta praia fica evidenciada a forte erosão que o local vem sofrendo ao longo dos anos”.

De acordo com a autora, “a alta mobilidade mostrada pelo cálculo do coeficiente de variação pode estar relacionada com a forma rítmica desta praia devido à formação de cúspides praias ao longo da linha da costa” (FISCHER, 2005). Em seu estudo, acompanhou o comportamento da linha de costa nas quatro estações do ano e presenciou o depósito e retirada dos sedimentos que formavam as cúspides. Nas figuras a seguir, se encontraram as fotografias

tiradas em campo pela autora, que demonstram este processo e comprovam o que seu estudo encontrou.



**Figura 22:** *Cúspides Praiais na Praia do Barro Duro, na Primavera (19/11/03) (FISCHER, 2005 - FIGURA 5.7, Pág. 95).*



*Figura 23: Cúspides Praiais na Praia do Barro Duro, no Verão (05/01/04) (FISCHER, 2005 - FIGURA 5.8, Pág. 96).*



*Figura 24: Cúspides Praiais na Praia do Barro Duro, no Outono (24/05/03) (FISCHER, 2005 - FIGURA 5.9, Pág. 96).*



*Figura 25: Cúspides Praiais na Praia do Barro Duro, no Inverno (24/06/03) (FISCHER, 2005-FIGURA 5.10, Pág. 96).*

Em New Jersey, nos Estados Unidos, a praia de Island Beach State Park mostra uma complexa topografia rítmica que é frequentemente encontrada na face de praias em ambientes de micromaré. Estas praias mostram dramáticas diferenças em distâncias curtas nas condições de deposição e erosão que podem ocorrer em praias estuarinas de baixa energia (NORDSTRON, 1992, apud FISCHER, 2005).

Algumas informações retiradas do trabalho de Fischer (2005) sobre o regime ondulatório observado no Saco do Laranjal auxiliaram na formação de algumas interpretações sobre os causadores desta retração da linha de costa encontrada. Por se tratar de um regime ondulatório pouco energético, com ondas de curto período, as mesmas incidem obliquamente à praia. De acordo com Carter (1980) apud Fischer (2005) estas ondas são menos afetadas pelo efeito de refração, resultando num ângulo de incidência que aumenta o potencial de correntes litorâneas paralelas à costa. Com estas características o transporte de sedimento ao longo da praia também aumenta.

Fischer (2005) define a praia do Barro Duro como praia reflexiva. Isso ocorre por que no local têm-se o tipo de rebentação denominada mergulhante que, associada a uma granulometria grossa, a caracterizam como reflexiva. Além disso, acredita-se que haja uma camada compacta representando afloramentos da Formação Graxaim, ocorrentes em alguns lugares da Lagoa, de acordo com Calliari et al. (1980). Como a energia da onda local não é capaz de remover este sedimento, o transporte transversal (cross-shore) é mínimo, havendo uma predominância do transporte longitudinal à praia (*longshore*). Diz ainda que “é verificada somente uma pequena camada de areia sobre a zona compacta, que pode ser o resultado dos sedimentos que estão em movimento ocasionando transporte ao longo da costa” (FISCHER, 2005).

## 5.2 AQUISIÇÃO DOS DADOS DE CAMPO:

O trabalho de campo foi realizado no dia 19 de abril de 2017 no intuito de adquirir dados que auxiliassem na execução dos demais métodos utilizados. Foram medidos os perfis topográficos da praia, juntamente com a amostragem de sedimentos.

Durante o trabalho de campo, ficou visível a evolução do processo erosivo na praia do Barro Duro. Encontraram-se diversas árvores tombadas e calçadas destruídas, conforme mostram as figuras a seguir:



**Figura 26:** Figueira centenária com raízes amostra.



*Figura 27: Árvores tombadas.*

Um fato interessante foi que, ao longo da orla, encontram-se escadas que levariam para entrar na mata nativa, porém uma delas estava isolada e solta no meio da faixa de areia, sem apoio da berma (Figura 28).



*Figura 28: processo erosivo junto às construções.*

Percebeu-se que, apenas a escada que possuía um enrocamento ao seu redor não estava inutilizada, mostrando que esse tipo de obra protegeu aquele local, atrasando o processo erosivo.

### **5.2.1 PERFIS TOPOGRÁFICOS**

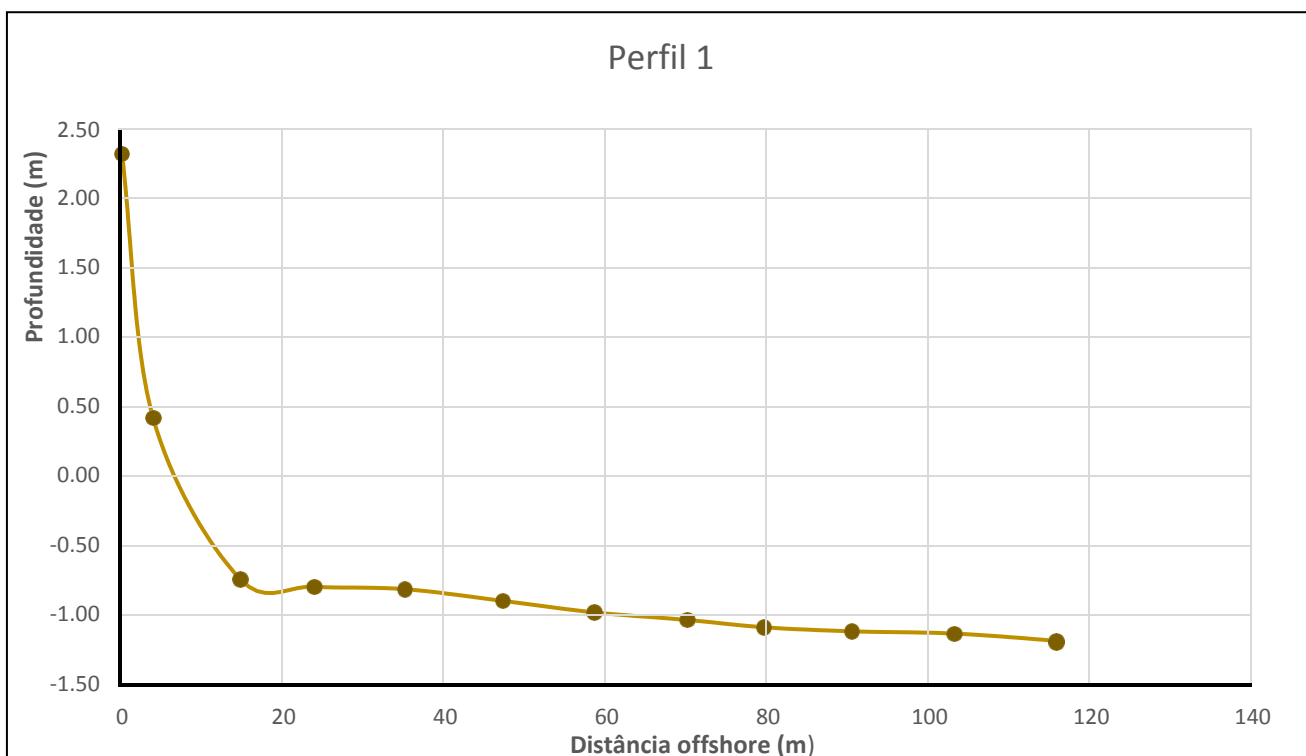
Durante o trabalho de campo, realizou-se uma campanha destinada à medição de perfis topográficos, na qual pode-se medir 5 perfis distribuídos ao longo da costa da praia do Barro Duro. Fischer (2005) também realizou em sua campanha a medição de perfis topográficos. “A mesma encontrou no Perfil 3 (situado na Praia do Barro Duro) medido até um comprimento de 228 m, uma largura média do pós-praia é de 17,92 m, sendo uma praia mais estreita quando comparada a praia do Laranjal. Nos Perfis 1 e 2 (Praia do Laranjal), a maior largura observada ocorreu no mês de abril de 2004 atingindo 28,26 m enquanto que a menor ocorreu no mês de junho de 2003 com 13,09 m” (FISCHER, 2005).

Provavelmente, a menor largura da faixa de praia encontrada por Fischer (2005) tenha sido medida em um momento de cheia da Lagoa dos Patos. Os efeitos das flutuações de nível da água são importantes para as variações na morfologia e também nos processos que ocorrem na praia. A mudança do nível da água faz com que diferentes zonas hidrodinâmicas (estirâncio, surfe e de empolamento) migrem para a parte superior ou inferior do perfil praiial (NORDSTRON e ROMAN, 1996).

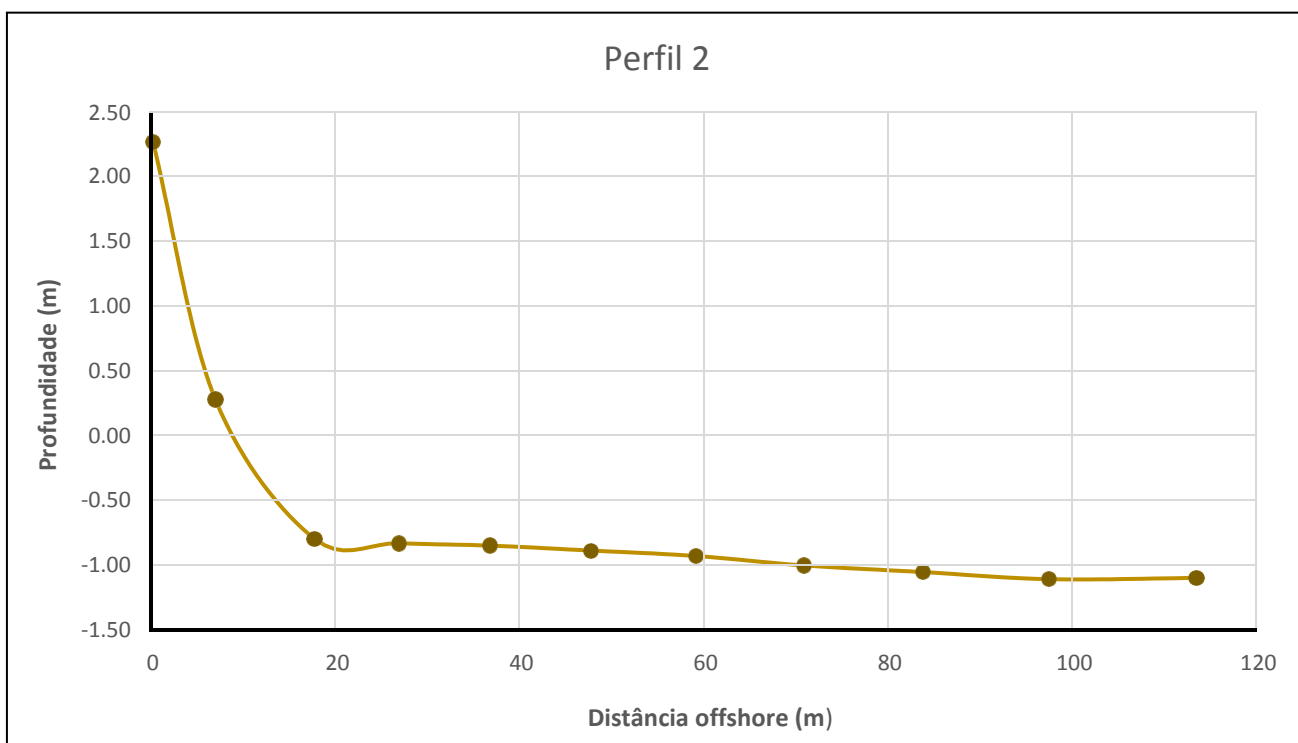
Fischer (2005) ainda cita o trabalho de Antikeira (2003), o qual estudou a evolução geomorfológica de um pontal próximo a desembocadura da Laguna dos Patos, fazendo uma série de levantamentos de perfis praiiais em três áreas distintas. Segundo Fischer (2005), o autor concluiu que “duas destas áreas sofrem a influência de ondas oceânicas e de marés meteorológicas. Desta forma, verificou episódios sazonais de erosão quando o nível das águas do estuário sofria elevação. A elevação do nível das águas, por sua vez, ocorria em função de ventos provenientes do quadrante sul e pela influência oceânica devido às marés meteorológicas”.



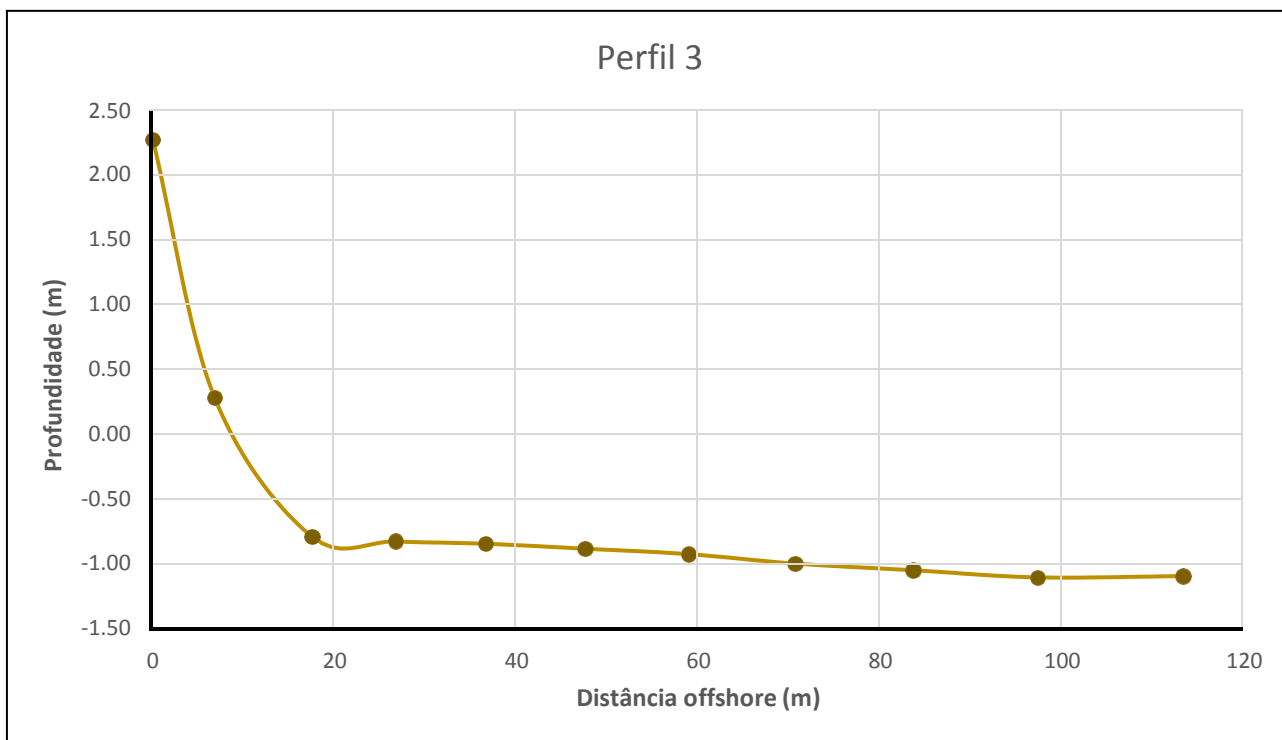
A partir das medições realizadas no presente trabalho, foi possível gerar o corte de cada perfil, para se analisar separadamente suas características. A seguir, as Figuras 28, 29, 30, 31 e 32 apresentaram os resultados obtidos dos perfis medidos, individualmente.



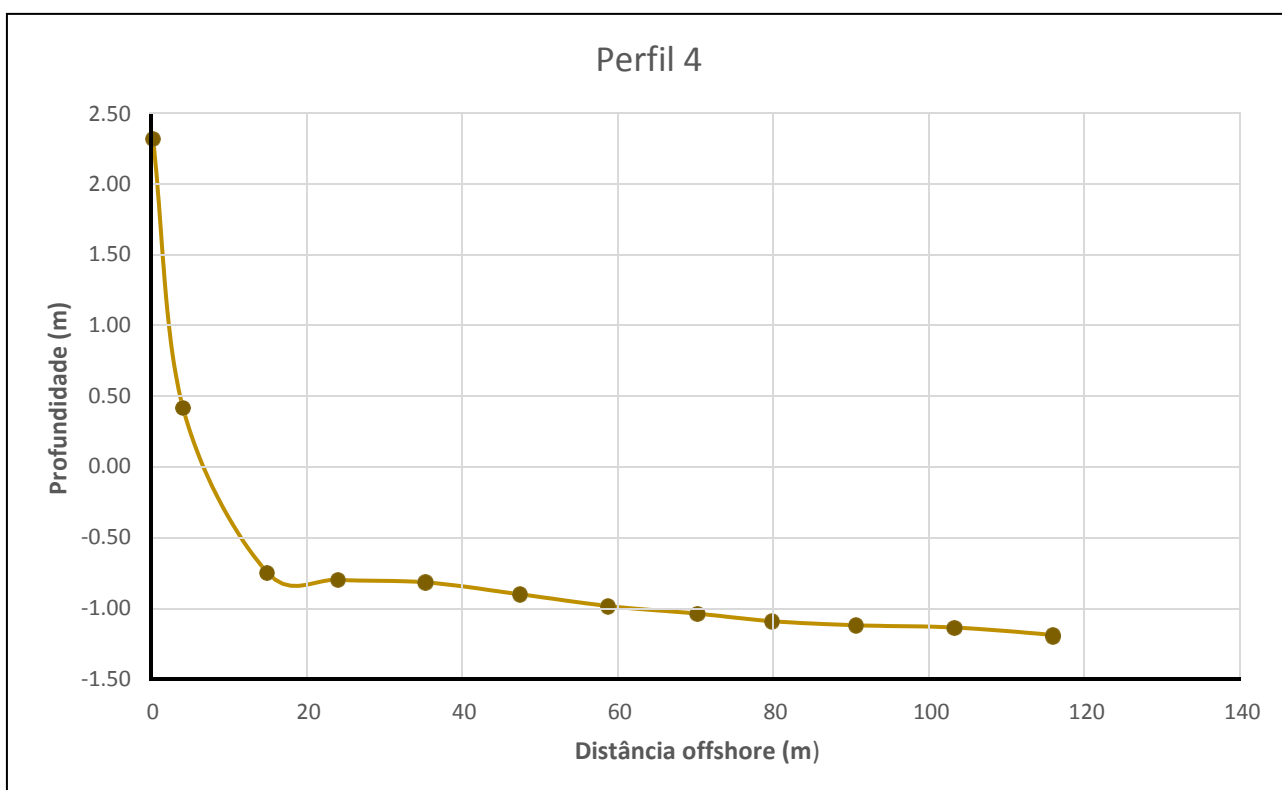
*Figura 29: Perfil topográfico 1.*



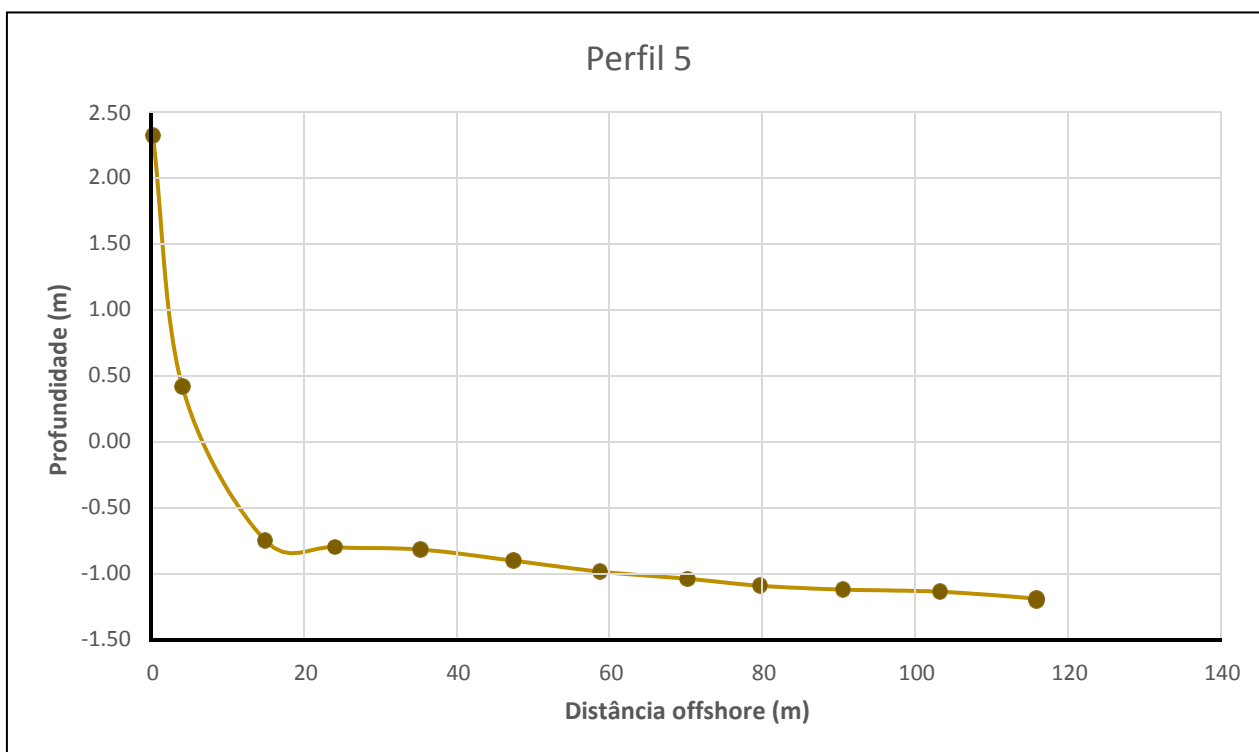
*Figura 30: Perfil topográfico 2.*



*Figura 31: Perfil topográfico 3.*



*Figura 32: Perfil topográfico 4.*



*Figura 33: Perfil topográfico 5.*

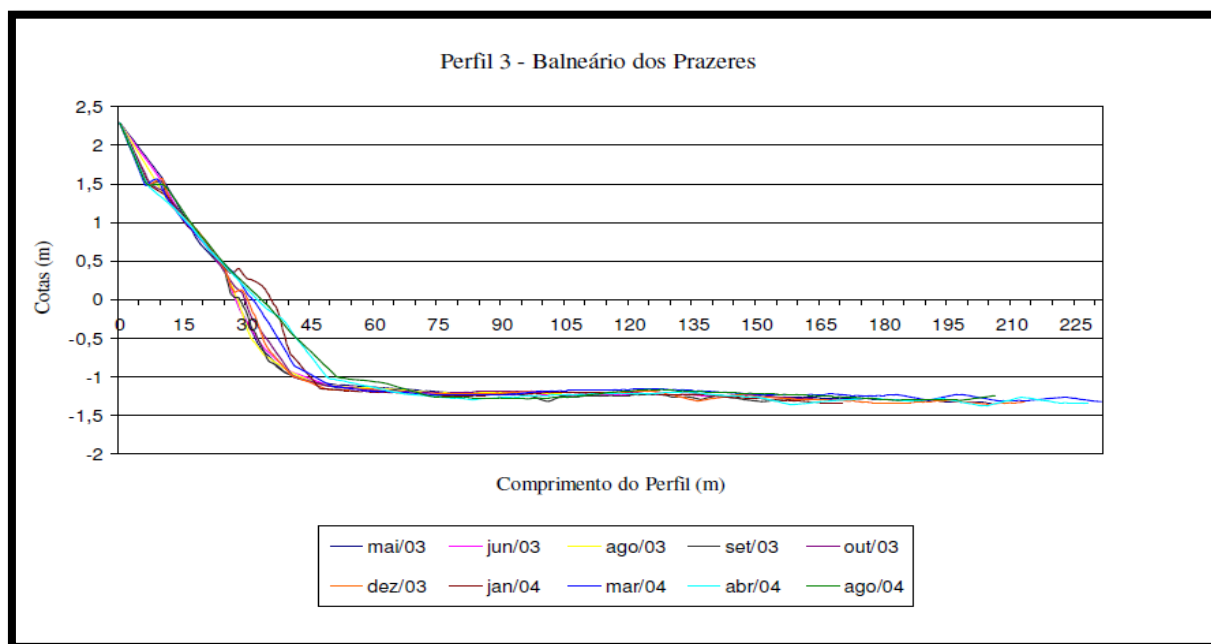
Ao analisá-los separadamente, observa-se que todos os perfis obtiveram o mesmo comportamento ao longo dos 100 metros de comprimento medido. Os dois primeiros pontos coletados tratam-se do topo e base da berma, respectivamente, e nos 5 casos apresentaram a mesma altura em relação ao referencial altimétrico. Observa-se que a porção subaquosa é estável, sem ocorrência de bancos paralelos à linha de costa, confirmando a presença da camada compacta de sedimento ao fundo.

Em relação a largura do pós-praia, a Tabela 4 demonstra os valores obtidos em cada perfil medido.

*Tabela 4: Largura do Pós-praia em cada perfil medido*

<b>PERFIL</b>	<b>LARGURA PÓS-PRAIA (m)</b>
1	10,820
2	10,753
3	15,633
4	12,047
5	16,418
<b>Média</b>	<b>13,134</b>

Ao coletar os perfis topográficos, pôde-se determinar uma largura média que representa a extensão da faixa de areia da praia do Barro Duro, a qual possui o valor de 13,134 metros. Fischer (2005) também encontrou uma largura média do pós-praia considerada estreita, se comparada com as demais praias estudadas pela autora, de 17,92 m. A Figura 33 trata-se da campanha de medição de perfis topográficos realizada por Fischer (2005) na praia do Barro Duro.



**Figura 34:** Perfis topográficos medidos na praia do Barro Duro por FISCHER (2005).

Praias embaçadas freqüentemente mostram um gradiente granulométrico no litoral, com areias finas e declividade suave da face praial na zona de sombra e areias grossas e alta declividade da face praial na zona exposta. O gradiente pode ser atingido por vários fatores, incluindo energia de ondas, padrão de transporte 30 sedimentar, configuração da linha de costa, fonte de sedimento, entre outros (SILVA et al., 2006). Logo, pôde-se verificar que o comportamento dos perfis nos dois trabalhos apresentam certa semelhança, obtendo uma declividade da praia suave em sua porção subaquosa e média na face da praia.

Com base nos estudos de Wright e Short (1984), que elaboraram uma escala de classificação para as praias com seis estágios, sendo as praias refletivas ( $\Omega < 1$ ) e as praias dissipativas ( $\Omega > 6$ ) os extremos destas classes. Os outros estágios são considerados intermediários, por envolver tanto processos dissipativos quanto refletivos. A caracterização morfodinâmica é complexa e dependente de fatores físicos ao longo destas praias, sendo classificadas considerando uma seqüência de declínio energético e aumento da granulometria.

A Tabela 5 ilustra os valores de declividade encontrados para cada perfil topográfico medido.

*Tabela 5: Declividade dos perfis topográficos.*

<b>PERFIL</b>	<b>DECLIVIDADE (°)</b>
1	1,93
2	1,89
3	2,27
4	1,69
5	1,37
<b>MÉDIA</b>	<b>1,83</b>

Encontrando uma declividade de 1,83° aproximadamente, os perfis se encontram dentro dos estágios intermediários da classificação de Wright e Short (1984).

### **5.2.2 AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS**

No mesmo local em que se realizou a medição dos perfis, também se coletaram os sedimentos nativos, tanto na porção subaérea quanto na porção subaquosa da praia. Com estas amostras, foram determinadas as porcentagens encontradas dentro de cada classe granulométrica, as frequências acumuladas e pode-se construir os histogramas de frequência.

Tanto os histogramas quanto as curvas granulométricas de cada amostra estão expostos no capítulo ANEXOS.

Na Tabela 6 são apresentados os valores encontrados na análise granulométrica feita com ajuda do software Sysgran 3.0, tais como diâmetro médio e diâmetro mediano do grão. Também se calculou a porcentagem das classes granulométricas de acordo com a escala de Wentworth (1922). Já a Tabela 7 trata da análise do diâmetro mediano dos grãos nos 5 perfis amostrados considerando o comportamento das amostras na porção subaérea e na porção subaquosa, separadamente, apresenta também uma média dos valores de D50 em cada local.

*Tabela 6: Análise granulométrica das amostras coletadas em campo.*

Amostra	Local de Coleta	Média (Φ)	Média (mm)	Mediana (Φ)	Mediana (mm)	Seleção	Assimetria	Curtose	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
P01	SUBAÉREA	2,175	0,15399	2,391	0,1692828	1,541	-0,2232	0,9301	2,948	90,33	6,723	0
	SUBAQUOSA	1,898	0,1343784	2,227	0,1576716	1,782	-0,259	0,8026	6,887	86,49	6,621	0
P02	SUBAÉREA	2,145	0,151866	2,403	0,1701324	1,565	-0,2358	0,8674	2,086	91,08	6,837	0
	SUBAQUOSA	2,671	0,1891068	2,869	0,2031252	1,309	-0,2697	1,188	1,448	89,35	9,2	0
P03	SUBAÉREA	1,703	0,1205724	1,826	0,1292808	1,719	-0,1333	0,8319	7,228	87,6	5,169	0
	SUBAQUOSA	2,882	0,2040456	2,922	0,2068776	1,138	-0,174	1,335	1,519	89,07	9,415	0
P04	SUBAÉREA	2,725	0,19293	2,812	0,1990896	1,146	-0,1454	1,056	0,1019	91,17	8,725	0
	SUBAQUOSA	2,921	0,2068068	3,037	0,2150196	1,164	-0,2452	1,306	2,084	87,41	10,51	0
P05	SUBAÉREA	2,599	0,1840092	2,661	0,1883988	1,209	-0,1246	1,035	0,9497	91,18	7,866	0
	SUBAQUOSA	2,3	0,16284	2,477	0,1753716	1,485	-0,2176	0,9879	3,072	89,75	7,178	0

**Tabela 7:** Diâmetro Mediano do grão de cada perfil, separadamente, por local de coleta.

<b>PERFIL (SUBAÉREO)</b>	<b>D50 - <math>\Phi</math> (Phi)</b>	<b>D50 (mm)</b>	<b>PERFIL (SUBAQUOSO)</b>	<b>D50 - <math>\Phi</math> (phi)</b>	<b>D50 (mm)</b>
<b>P01</b>	2,391	<b>0,1693</b>	<b>P01</b>	2,227	<b>0,1577</b>
<b>P02</b>	2,403	<b>0,1701</b>	<b>P02</b>	2,869	<b>0,2031</b>
<b>P03</b>	1,826	<b>0,1293</b>	<b>P03</b>	2,922	<b>0,2069</b>
<b>P04</b>	2,812	<b>0,1991</b>	<b>P04</b>	3,037	<b>0,2150</b>
<b>P05</b>	2,661	<b>0,1884</b>	<b>P05</b>	2,477	<b>0,1754</b>
<b>MÉDI A</b>	<b>2,4186</b>	<b>0,1712</b>	<b>MÉDI A</b>	<b>2,7064</b>	<b>0,1916</b>

Contudo, nota-se que todos os perfis analisados apresentam em sua maioria grãos de areia, representando em torno de 90% de todo sedimento coletado. Além disso, esta análise granulométrica permitiu determinar o valor do D50 médio dos cinco perfis, além de informar o valor do mesmo em cada perfil amostrado. Já na Tabela 4, o D50 está registrado para cada local de coleta, na face da praia e dentro da água, 0,1712 e 0,1916 (mm), respectivamente.

Sendo assim, pode-se afirmar que o D50 médio, informação esta necessária para que se prossiga com os métodos de cálculo de volume apresentados anteriormente, pode ser representado pelos valores 2,5625 phi ( $\Phi$ ) ou 0,1815 mm. De acordo com a classificação de Wentworth (1922), o tamanho do sedimento nativo encontrado na análise granulométrica faz parte da classe de areia fina.

Fischer (2005) obteve diferentes resultados para sua análise granulométrica. No perfil medido em frente à praia do Barro Duro, a autora encontrou um sedimento “caracterizado texturalmente como areia muito grossa, com tamanho médio do grão de -0,068 phi (1,01mm), mediana de -0,1 phi (1,09mm) e com grau de seleção moderado, através da análise de 28 amostras. Também apresenta características de bimodalidade mostrando classes modais com valores diferentes do tamanho médio do grão. Pela porcentagem granulométrica, vê-se que a porção subaérea da praia é composta por areias muito grossas e grossas em sua maior parte (60%), não existindo finos (silte e argila)” (FISCHER, 2005).

Ao longo dos 5 perfis estudados, encontraram-se pequenas quantidades de cascalho e silte, 2,085 e 7,52 %, respectivamente. No perfil 4 chegou-se a encontrar 10% de silte. Porém, neste caso, não se obteve diferentes porcentagens entre as porções subaéreas e subaquosas, encontrando sempre valores muito próximos.

Novamente, comparando com os resultados de Fischer (2005), a autora encontrou valores e obteve conclusões diferentemente das que foram achadas neste trabalho. “Ao longo do perfil situado a frente do Barro Duro, foram coletadas 16 amostras. As amostras A35, A36 e A37, a aproximadamente 300,

200 e 100 metros da praia, respectivamente, apresentaram areia fina bem selecionada. As amostras apresentaram grande porcentagem de areia fina e muito fina e algumas, mostraram valores de até 12% de silte e argila, mostrando que a porção subaquosa do Perfil 3 tem características granulométricas diferentes do que a porção subaérea” (FISCHER, 2005).

### **5.3 PROFUNDIDADE DE FECHAMENTO E PERFIL DE EQUILÍBRIO.**

Para a determinação do perfil de equilíbrio, a primeira etapa consiste na determinação da profundidade de fechamento. Neste trabalho utilizou-se uma equação desenvolvida por Hallermeier (1978), que examinou a profundidade do fechamento usando testes em tanque de ondas do perfil de equilíbrio da praia, partindo de praias originalmente planas (DEAN e DALRYMPLE, 2004). Esta equação envolve os parâmetros de onda ( $H_0$  e  $L_0$ ) e a densidade da água e do sedimento ( $\rho$  e  $\rho_s$ , respectivamente). Esta expressão pode ser resolvida iterativamente para  $khc$ . No entanto, é mais conveniente usar valores de águas profundas para as características da onda (Equação 4).

Os valores de altura significativa de onda e período de pico, sendo o último necessário para encontrar o parâmetro “L” (Equação 5), foram retirados dos dados de um ondógrafo fundeado no interior da Lagoa dos Patos, com o intuito de adquirir séries temporais de parâmetros de ondas. Fundeio este realizado pelo projeto “Rede Ondas”, coordenado pelo Laboratório de Engenharia Costeira (LEC) da FURG.

De acordo com Lemke (2015) “o ondógrafo direcional *waverider* esteve em operação na Lagoa dos Patos durante o período de 22/01/2015 a 01/07/2015 a aproximadamente 14 km da costa de São Lourenço do Sul, em uma profundidade média de 7 metros. O instrumento realiza medições de altura de onda, direção de onda, temperatura e posição geográfica. As aquisições dos dados de ondas são realizadas em tempo contínuo e, após o processamento, os dados permanecem disponíveis no *site* da Rede Ondas: <http://redeondas.herokuapp.com>”.





De acordo com a Tabela 6, observa-se que, os intervalos de classes de 20 à 25 cm, 25 à 30 cm e 50 à 55 cm de altura de onda obtiveram porcentagens ocorrências de ondas mais frequentes, com 8,44%, 7,66% e 8,67%, respectivamente. Dentre os dados brutos, se encontravam valores menores que 10 e maiores que 65 cm, porém não ocorreram em todos os meses de medição, não entrando assim nos casos de altura de onda mais frequentes.

Logo, com o intuito de obter somente um valor para  $H_s$ , decidiu-se usar o maior entre as alturas de onda mais frequentes, sendo o  $H_s$  de 65 cm o adotado. Esta decisão deu-se pelo fato de que será realizada uma obra de engordamento de praia que será agredida por parâmetros de onda de diversos valores. Pensou-se que, se fosse utilizado o maior valor entre os mais frequentes, se estaria simulando um estado crítico para esta obra, dando maior durabilidade a mesma, do que se usasse um valor menor.

Para o segundo parâmetro, as frequências do período de pico das ondas ficaram mais claras. Entre as classes determinadas, o intervalo de 3 aos 3,5 segundos obteve uma porcentagem significativa se comparada com as demais, sendo esta de 60,46% de ocorrência das ondas no intervalo de 6 meses. Desta forma, o período de pico adotado para realizar o cálculo da profundidade de fechamento foi de 3,5 segundos.

“Toldo et al. (2006) realizaram as primeiras medições de ventos e predições de ondas ao longo do litoral da Lagoa dos Patos com base em dados de intensidades e direções de ventos registrados a cada hora durante todo ano de 1988. Concluíram que no lado oeste da laguna, onde prevalecem ventos de nordeste durante primavera e verão, a direção de ondas dominantes é NE e ENE, com médias das alturas significativas entre 0,5 e 0,7 metros, e períodos entre 2,7 e 3,3 segundos” (LEMKE, 2015).

Ainda Lemke (2015), diz que neste estudo se realizaram medições com duas estações para a obtenção dos dados de onda próximas a São Lourenço do Sul, que apresentaram alturas significativas e período de pico médias dentro dos intervalos entre 0,5 e 0,6 metros e 2,7 e 3,1 segundos, respectivamente, durante as estações primavera e verão. Já, durante inverno e outono, valores médios de alturas significativas das ondas ficaram entre 0,3 e 0,5 metros, e períodos entre 1,9 e 2,8 segundos.

Fischer (2005) também utilizou valores semelhantes de altura significativa e período de pico das ondas para a realização do cálculo de profundidade de fechamento, utilizando 0,5 metros para o dado de altura de onda significativa e 3 segundos para o período de pico.

Logo, a Tabela 10 demonstra os valores de cada variável necessária para o cálculo de profundidade de fechamento de Hallermeier (1978):

*Tabela 10: Variáveis utilizadas para o cálculo de profundidade de fechamento.*

$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	$H_0$ (m)	$L_0$ (m)	$g$ (m/s <sup>2</sup> )	$T_p$ (s)
1000	2650	0,65	19,13	9,81	3,5

Realizando as devidas substituições na equação 4 e resolvendo de forma iterativa, encontrou-se o valor de 0,4857 para  $k_h c$ .

Com este valor, pôde-se encontrar com a Equação 6 o valor de 1,2 metros de profundidade de fechamento ( $h_c$ ). Fischer (2005), ao realizar seus cálculos utilizando as equações de Hallermeier (1981), considerando os parâmetros de onda  $H_s=0,5$  metros e  $T_p=3$  segundos, a densidade da areia igual a 2650 (kg/m<sup>3</sup>), a profundidade de fechamento calculada foi de 0,96 m. Já com as equações de Birkemeier (1985), utilizando as mesmas variáveis, encontrou 0,94 m para a profundidade de fechamento. Entretanto, para a validação destes valores é importante que sejam trabalhos dados estatísticos de altura e período significativos de onda (FISCHER, 2005).

Tendo o valor da profundidade de fechamento, pôde-se utilizar a equação de perfil de equilíbrio de

Dean e Dalrymple (2004) (Equação 1), substituindo o dado encontrado para profundidade de fechamento ( $h_c$ ) em  $h(y)$  e o parâmetro escalar A que é relacionado ao tamanho do sedimento, para obter-se o comprimento do perfil de equilíbrio.

Para esta análise, decidiu-se testar alguns tamanhos de sedimentos distintos ao nativo, possuindo um valor representante de cada classe criada por Wentworth (1922) a partir dos diâmetros dos grãos (Tabela 11):

*Tabela 11: Aplicação do perfil de equilíbrio para diferentes grãos de sedimento.*

<b>Perfil de Equilíbrio para diferentes tamanhos de sedimento</b>				
<b>Classificação</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>h* (m)</b>	<b>A</b>	<b>Y* (m)</b>
<b>Sedimento Nativo</b>	0,18146	1,2	0,0936	<b>45,91</b>
<b>Areia Fina</b>	0,24	1,2	0,112	<b>35,07</b>
<b>Areia Média</b>	0,51	1,2	0,1622	<b>20,12</b>
<b>Areia Grossa</b>	0,85	1,2	0,198	<b>14,92</b>

Percebe-se que, quanto maior for o diâmetro do grão, menor a distância Y em direção a offshore. Resumidamente, este cálculo serviu para comprovar que a forma final que o perfil praias se encontra, depende das condições de ondas constantes e de um dado tamanho de grão. Além disso, o conceito do perfil de equilíbrio é de central importância para o gerenciamento costeiro porque fornece uma base para avaliar uma forma característica para uma praia em situações de análise. Uma praia com um tamanho de grão específico, se exposta à condição de forças geradoras constantes (ondas monofásicas ou com propriedades constantes) normalmente irá desenvolver uma forma de perfil que não mostra transporte líquido durante o tempo, apesar do movimento dos sedimentos (LARSON et. al., 1999).

Com o auxílio de alguns métodos como os que foram utilizados até agora, se faz possível realizar um gerenciamento costeiro com maior acurácia nos resultados e, provavelmente, a solução para um determinado problema será melhor aplicada. Obras de engenharia costeira são exemplos de ações que podem diminuir ou estagnar tal problema, pois protegem a orla das diversas forças, naturais ou antrópicas, que as prejudicam de alguma forma.

## 5.4 CÁLCULO DE VOLUME PARA ENGORDAMENTO DE PRAIA

De acordo com Dean e Dalrymple (2004), há três tipos genéricos de perfis para praias artificialmente preenchidas (DEAN,1991): (a) Perfil com intersecção  $AF > AN$ ; (b) perfil sem intersecção; (c) perfil submerso  $AF < AN$ . No presente trabalho, pretende-se realizar uma obra de engordamento artificial para a praia do Barro Duro que se enquadre no tipo de perfil com intersecção. Para que se tenha êxito, é preciso que o diâmetro do sedimento proposto para a obra seja maior que o nativo.

Como visto anteriormente, a partir da análise granulométrica realizada encontrou-se um  $d_{50}$  médio de 0,18146 mm, que faz parte da classe de areia fina. Na Tabela 11 já foram mostrados os valores dos grãos, em suas diferentes classes, que possibilitam analisar como se comportaria o perfil de equilíbrio com a presença destes materiais. Porém, nesta etapa, iremos utilizar os mesmos tamanhos dos sedimentos constantes na Tabela 9, para realizar o cálculo de diferentes volumes para a obra.

Para um perfil com intersecção, requer-se que  $AN < AF$ . Neste caso, precisa-se determinar o volume colocado por unidade comprimento da frente de praia ( $V_1$ ) que renderá um avanço do litoral ( $\Delta Y_0$ ). A Equação 7, segundo DEAN e DALRYMPLE (2004), é a fórmula correta para determinar-se o volume.

Utilizando os diâmetros dos sedimentos testados (Tabela 11), determinou-se o volume para cada classificação de areia (Tabela 12), sendo que  $B$  representa as alturas de berma medidas nos perfis topográficos,  $\Delta y_0$  os comprimentos dos perfis em direção offshore,  $AN$  e  $AF$  o parâmetro  $A$  correspondente de cada tamanho de grão nativo e para preenchimento, respectivamente.

*Tabela 12: Cálculo de volume para cada tipo de sedimento.*

Classificação	Diâmetro (mm)	B (m)	$\Delta y_0$ (m)	AN	AF	$V_1$ (m <sup>3</sup> /m)
Areia Fina	0,24	2,5	35	0,0936	0,112	142,57
Areia Média	0,51	2,5	20	0,0936	0,1622	62,15
Areia Grossa	0,85	2,5	15	0,0936	0,198	44,16

A Tabela 12 apresenta os volumes de sedimento “ $V_1$ ” (m<sup>3</sup>/m) por unidade de frente de praia, utilizando cada um dos valores de “ $Y$ ” (comprimento do perfil) encontrado no perfil de equilíbrio.

Como encontraram-se o comprimento do perfil ( $Y$ ) para cada classe de areia (Tabela 11), utilizaram-se os mesmos valores para o cálculo de volume, apenas realizando um arredondamento para melhor distribuição. Na Tabela 13, são apresentados os valores totais do volume de areia necessário ao enchimento ( $V$ ), representados pelo comprimento total da praia a ser preenchida (1112 m) multiplicado pelo volume unitário encontrado e apresentado na Tabela 12 ( $V_I$ ).

**Tabela 13:** Volume total da obra de alimentação artificial da praia do Barro Duro.

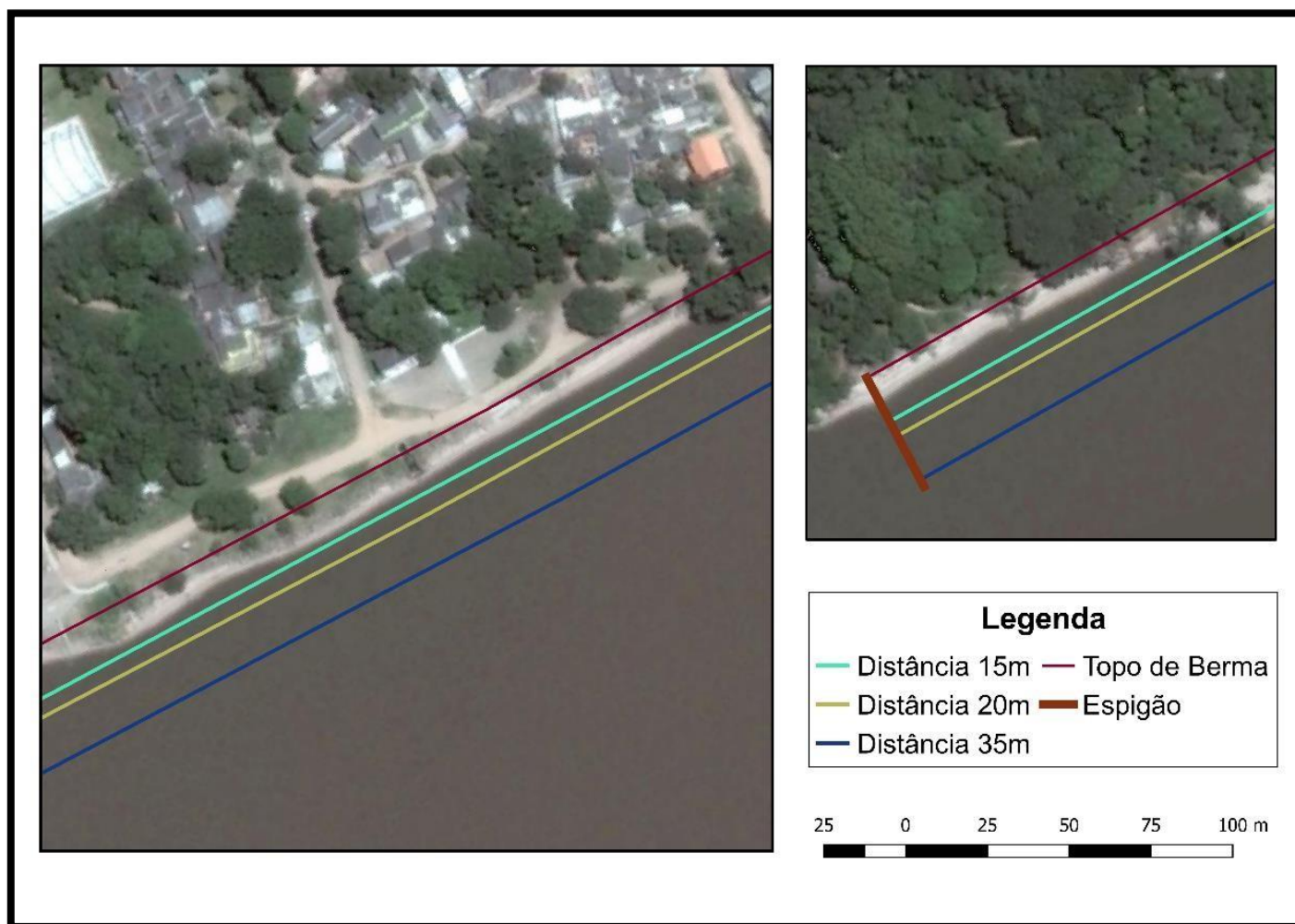
Classificação	Diâmetro (mm)	$\Delta y_0$ (m)	V (m <sup>3</sup> )
Areia Fina	0,24	35	158.537,84
Areia Média	0,51	20	69.110,80
Areia Grossa	0,85	15	49.105,92

Observa-se que, quanto maior o tamanho do sedimento menor o volume de areia necessário para o preenchimento do perfil. A Tabela 12 trata-se da adição de 40% para assegurar que a obra está protegida de eventos não esperados que poderão acelerar o processo de perda sedimentar.

**Tabela 14:** Volume total da obra após a adição de 40% do volume calculado, sugerido por Verhagem (1992).

Classificação	Diâmetro (mm)	$\Delta y_0$ (m)	V (m <sup>3</sup> )	40% do total (m <sup>3</sup> )	Volume Total (+40%)
Areia Fina	0,24	35	158.537,84	63.415,14	221.952,98
Areia Média	0,51	20	69.110,80	27.644,32	96.755,12
Areia Grossa	0,85	15	49.105,92	19.642,37	68.748,29

A Figura 35 apresenta como estariam posicionadas as linhas de praia no caso de cada um dos perfis de equilíbrio para os diferentes diâmetros de sedimentos.



*Figura 35: Distâncias para cada perfil de equilíbrio de acordo com a classe granulométrica.*

As distâncias para preenchimento foram tomadas a partir do topo da berma, medida nos perfis topográficos feitos em campo, usado assim como linha base para a nutrição da praia. O trecho a ser preenchido compreende um segmento de 1112 m de praia arenosa reservado para utilização para banho pela população local e turistas regionais. Além disso, a proposta de obra para solucionar o problema de erosão costeira seria de forma mista, ou seja, não será apenas realizada a alimentação artificial da praia do Barro Duro, mas também será posicionado um espigão de madeira na extremidade sul do segmento acrescido. Servirá como garantia de que a vida útil da obra se manterá por mais tempo diminuindo os custos de manutenção regular, uma vez que as perdas laterais de sedimentos serão controladas pela presença do espigão. O projeto do espigão não faz parte deste trabalho. Sugere-se, também, que após o trecho de praia balneável se estude formas de fixação das margens feitas por outros dispositivos de custo menor e maior vida útil como por exemplo: instalação de espigões sucessivos ou mesmo enrocamento paralelo.

Fischer (2005) relata algumas hipóteses sobre o transporte sedimentar causador da erosão costeira na Praia do Barro Duro. Uma delas seria a predominância de uma deriva litorânea de sedimentos para o sul da enseada, em direção a Praia do Laranjal. Esta hipótese foi levantada a partir da ocorrência frequente de ventos NE, gerando ondas que incidem obliquamente na costa e, conseqüentemente, uma acresção de sedimentos ao sul, como verificado em seu trabalho. Outra hipótese seria a existência de um transporte bidirecional (ventos NE e SE), que incidem também ondas oblíquas a costa, porém levando parte do sedimento para o norte da enseada, aumentando suas feições como, por exemplo, na Ponta da Feitoria.

Para qualquer umas das hipóteses a obra de engordamento de praia é eficaz e, se realizado maiores estudos da hidrodinâmica da área, pode-se acrescentar ao projeto de engenharia os espigões, devidamente posicionados, de acordo com os resultados da deriva litorânea, afim de auxiliar na vida útil da obra.

## 5.5 Vida útil da obra.

Estabelecendo os 10 anos de vida útil da obra, buscou-se encontrar o recuo médio da linha de costa, mesmo que a região costeira não se comporte igualmente em todos os pontos analisados com os transectos ao longo de todo período (1964 à 2016). Em um primeiro momento, não foi a melhor opção para analisar o processo erosivo do balneário, porém, pôde-se usar esta taxa média para determinar quantos metros em média ela vai recuar nos próximos 10 anos. A Tabela 15 mostra a taxa de recuo para a vida útil estabelecida.

*Tabela 15: Taxa de recuo para uma vida útil de 10 anos de obra.*

<b>Distância media transectos (2016-1964) - (m)</b>	<b>Taxa de recuo média - (m/ano)</b>	<b>Taxa de recuo para vida útil da obra (m/10 anos)</b>
32,759	0,63	6,3

Obtendo o valor de 6,3 metros de recuo médio durante os 10 anos de vida útil da obra, pôde-se dizer quantos metros cúbicos precisará repor após este período, para que a praia se encontre de novo na mesma posição determinada final da obra.

Utilizando a mesma metodologia do cálculo de volume e os mesmos parâmetros, foi possível quantificar quantos metros cúbicos de sedimento em média se perderá ao longo dos 10 anos se exposto as mesmas condições antes da obra. A seguir, a Tabela 16 mostra os valores obtidos.



*Tabela 16: Estimativa do volume perdido após 10 anos de obra.*

<b>Classificação</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b><math>\Delta y_0</math> (m)</b>	<b>V (m<sup>3</sup>)</b>	<b>40% do total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume Total (+40%) (m<sup>3</sup>)</b>
Areia Fina	0,24	6.3	21.007,95	8.403,18	29.411,13

Nota-se que foi utilizado o grão de preenchimento mais próximo do nativo, respeitando a mesma classe granulométrica encontrada na área de estudo e assim simulando a perda de sedimento que mais se aproxima com a realidade, encontrando uma perda de 21.007,95 m<sup>3</sup> a cada 10 anos. A adição de 40% deu-se como forma de segurança caso se escolha utilizar a granulometria mais próxima à nativa na realização da obra.

## 6 CONCLUSÕES

Com a realização da análise espaço temporal da linha de costa da praia do Barro Duro, pôde-se verificar que a mesma se encontra em um processo erosivo a qual, ao longo dos 52 anos estudados, apresentou taxas erosivas extremamente significantes de até 1,047 metros por ano. Além disso, após a classificação dos transectos traçados, comprovou-se que é viável analisar as respostas da linha de costa de forma pontual, e não realizando uma taxa média para todos os transectos, pois cada local reagiu de modo divergente aos demais.

A execução do levantamento dos perfis topográficos e das amostragem de sedimentos foram indispensáveis para geração dos resultados desta pesquisa, pois a partir da medição dos perfis, percebeu-se que a praia possui uma porção subaquosa muito estável, sem muitas diferenças de profundidade. Já com a coleta de sedimentos apurou-se que, considerar que a praia estudada é arenosa (90% de todo sedimento coletado), é correto. Além disso, sendo a mediana do grão um parâmetro importante para os cálculos de profundidade de fechamento e perfil de equilíbrio.

Aplicando os métodos de Hallermeier (1978) e Dean (1977), mesmo que empíricamente, pôde-se estimar o comportamento do perfil praiar de equilíbrio adquirindo valores, não somente com informações do sedimento nativo, mas também para diâmetros maiores que este, situados no intervalo das classes granulométricas de Wentworth (1922). Resumidamente, estes cálculos serviram para comprovar que a forma final que o perfil praiar de equilíbrio deve conter depende tanto das condições energéticas locais quanto do tamanho de grão.

Já o teste granulométrico contribuiu para análise de implantação da obra de engordamento, pois respeitando o conceito de perfil intersectado os resultados apresentaram que, quanto maior for o diâmetro do sedimento menor será a faixa necessária para realizar a nutrição artificial e, conseqüentemente, menor será o volume a ser preenchido.

Tendo em vista que a praia do Barro Duro localiza-se próximo a praia do Laranjal, ponto turístico da cidade de Pelotas, estudar a evolução espacial e temporal de sua linha de costa, bem como propor uma obra de recuperação de sua orla, serve de grande auxílio para seu gerenciamento costeiro e, conseqüentemente, oferece uma melhoria para população que a utiliza de forma recreativa.

Sugere-se que estudos mais aprofundados de morfodinâmica costeira sejam realizados para a melhor compreensão deste fenômeno no balneário, utilizando-se, por exemplo, a modelagem numérica para simular o comportamento da praia ao longo do tempo, antes e após a implementação da obra de engordamento de praia, e até mesmo com outros tipos de obras de engenharia costeira.

## 7 REFERÊNCIAS.

ABSALONSEN, L.; TOLDO JR., E.E. (2007). **A Influência da Inflexão Costeira na Variabilidade da Linha de Praia em Mostardas – RS.** Revista Pesquisas em Geociências, 34 (1): 3-18.

ALBINO, J.; OLIVEIRA, R.M.S. **Monitoramento topográfico e granulométrico das areias da praia de Camburi antes, durante e após o engordamento artificial.** In: *Simpósio sobre Praias Arenosas, Anais de resumos expandidos.* UNIVALI Itajaí – SC. 355- 56p. Agosto 2000.

ALBUQUERQUE, M. da G.; CALLIARI, L. J.; CORRÊA, I. C. S.; PINHEIRO, L. de S. **Morfodinâmica da Praia do Futuro, Fortaleza-CE: uma síntese de dois anos de estudo.** Quaternary and Environmental Geosciences, 01(2): 49- 57. (2009).

ALFREDINI, P. **Obras e Gestão de Portos e Costas.** São Paulo: Edgard Blucher (2005).

ALMEIDA, L.E.S.B.; TOLDO Jr., E. E.; MARTINS, R.R. **The Sea-Sled - A Sled for Measuring Bottom Profiles in the Surf Zone. Summary of Communications.** Academia Brasileira de Ciências. Porto Alegre, Brasil. Anais v.71, p. 827 (1999).

Almeida, H. R. R. C. **Séries Temporais de Imagens Sub-Orbitais e Orbitais de Alta Resolução Espacial na Avaliação da Morfodinâmica Praial no Município do Cabo de Santo Agostinho – PE.** Recife. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação/UFPE, 2008. 106 p (2008).

ALMEIDA, H. R. R. de C.; CRUZ, R. S.; LIMA, A. H. de A.; LUZ, V. T. **Avaliação das taxas de variação da linha de costa através de imagens orbitais e levantamento GPS na praia de riacho doce Maceió – AL.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril, INPE (2013).

ARAUJO, R. F. de; ALBINO, J.; OLIVEIRA, R. **Variação Temporal da Granulometria das Areias da Praia De Camburi** - Vitória, ES. In: II SEPES Seminário de Extensão e Pesquisa do Espírito Santo, Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, p. 17, (2000).

ARAUJO, R.S. **Morfologia do Perfil Praial, Sedimentologia e Evolução Histórica da Linha de Costa das Praias da Enseada do Itapocorói – SC**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), Itajaí, SC, 145p (2008).

ARNASON, G. **Estuary Modeling**. In: MATTEWS, S. & GOLDBERG, G. ed *Man's Impact on Terrestrial and Oceans Ecosystems*. Massachusetts, the Massachusetts Institut of Technology, v. 1, p. 431-477, (1984).

ASMUS, M.L. **Lagoa dos Patos como Unidade Ambiental**. In: SEELIGER, U., ODEBRECHT, C., CASTELLO, J.P. Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil. Rio Grande: Ecoscientia, p:9-12, (1998).

BARLETTA, R. C. **Efeito da interação oceano-atmosfera sobre a morfodinâmica das praias do litoral central do Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil**. Dissertação de Mestrado. Fundação Universidade Federal do Rio Grande (2000).

BARATTELA, G. de G.; MENEZES, J. T. de. **Análise da variação da linha de costa do município de Biguaçu, SC**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio, INPE p.4986, (2011).

BOAK, E. H.; TURNER, I. L. **Shoreline Definition and Detection: A Review**. Source: Journal of Coastal Research, Number 214:688-703. Published By: Coastal Education and Research Foundation (2005).

CALLONI, B. **Impactos das Obras de Alimentação Artificial em uma praia de enseada**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências. Porto Alegre, (2014).

CAPOBIANCO, M.; HANSON, H.; LARSON, M.; STEETZEL, H.; STIVE, M. J. F.; CHATELUS, Y.; AARNINKHOT, S.; KARAMBAS, T. **Nourishment Design and Evolution: Applicability of Model Concepts**. Coastal Engineering nº 47, p.113– 135, (2002).

CARMO, J. S. A. do. **Processos Físicos e Modelos Computacionais em Engenharia Costeira**. Imprensa da Universidade de Coimbra, (2016).

CASTELÃO, R. M.; MOLLER Jr., O. O. **Sobre a Circulação Tridimensional forçada por ventos na Lagoa dos Patos**. In: Atlântica, Rio Grande, 25(2): 91 106, (2003).

- CASTELLO, J. P. **La ecologia de los consumidores del estuario da Lagoa dos Patos, Brasil**. In: YAÑES-ARANCIBIA, A. (ed.). *Fish Community Ecology in Estuaries and Coastal Lagoons: Towards an Ecosystem Integration*. DR (R) UNAM Press, México, chap 17:383-406, (1985).
- CROWELL, M.; LEATHERMAN, S. P.; BUCKLEY, M. K. **Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy**. *Journal of Coastal Research*, 7(3), 839–852, (1991).
- D'AQUINO, C. de A.; NETO, J. S. de A.; BARRETO, G. A. M.; SCHETTINI, C. A. F. **Caracterização Oceanográfica e do Transporte de Sedimentos em Suspensão no Estuário do Rio Mampituba, SC**. *Revista Brasileira de Geofísica*, 29(2): 217-230, (2011).
- DAVIS, R.A. **Regional Coastal Morphodynamics along the United States Gulf of Mexico**. *J. Coastal Research*, 13, p.595-604, (1997).
- DALBOSCO, A. L. P. **Análise Histórica da Linha de Costa e dos Padrões Hidrodinâmicos e de Transporte de Sedimentos da praia da Armação, Ilha de Santa Catarina, SC**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Florianópolis, (2013).
- DEAN, R. G.; HEALY, T. R.; DOMMERHOLT, A. P. A **“blind-folded” Test of Equilibrium Beach Profile concepts with New Zealand data**. *Marine Geology. USA*, v. 109, p. 253- 266, (1992).
- DEAN, R. G.; DALRYMPLE, R. A. **Coastal Processes with Engineering Applications**. Cambridge University Press, (2004).
- DIAS, J. M. A.; FERREIRA, O. M. F. C.; PEREIRA, A. P. R. R. **Estudo sintético de diagnóstico da geomorfologia e da dinâmica sedimentar dos trechos costeiros entre Espinho e Nazaré**. (1994).
- FARIA, A. L. L.; SILVA, J. X. da; GOES, M. H. de B. **Análise Ambiental por Geoprocessamento em Áreas com Susceptibilidade à Erosão do Solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG)**. *Revista Online Caminhos de Geografia* - 4(9)50-65, jun/ (2003).
- FERREIRA, I. O. **Coleta, Processamento e Análise de Dados Batimétricos visando a Representação Computacional do Relevo Submerso utilizando Interpoladores Determinísticos e Probabilísticos**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais (2013).
- FISCHER, A. **Morfodinâmica do “Saco do Laranjal”: Costa Noroeste do Estuário da Laguna dos Patos – RS**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil (2005).

FISCHER, A.; CALLIARI, L. J. **Proposta para recuperação das áreas afetadas por erosão na praia estuarina do Barro Duro – Laguna dos Patos/RS.** Disponível em: <http://repositorio.furg.br/handle/1/2152> (2006).

GIORDANO, P. B. **Modelagem Hidrodinâmica do Saco do Arraial, Estuário da Lagoa dos Patos, RS.** Dissertação de Mestrado - Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Fundação Universidade Federal do Rio Grande (2008).

GRAVENS, M.; EBERSOLE, B.; WALTON, T.; WISE, R. **Beach Fill Design (Part V).** EM 1110-2-1100, p.10. 30 Sep. (2001).

GREENE, K. **Beach Nourishment: A Review of the Biological and Physical Impacts.** *Atlantic States Marine Fisheries Commission.* ASMFC Habitat Management Series #7 (2002).

HARDAWAY, B. C. S.; BYRNE, R. J. **Shoreline Management In Chesapeake Bay.** Virginia Institute of Marine Science College of William and Mary Gloucester Point, Virginia (1999).

HEGGE B.; ELIOT, I.; HSU, J. **Sheltered Sandy Beaches of Southwestern Austrália.** *Journal of Coastal Research*, Flórida, v. 12 (3), p. 748-760, (1996).

KELLER, E. A. **Environmental Geology.** Macmillan Publishing Company. 521 p. (1992).

HERZ, R. **Circulação das águas de superfície da Lagoa dos Patos.** Tese de Doutorado - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (1977).

KJERFVE, B.; MAGILL, K. E. **Geographic and hydrographic characteristics of shallow coastal lagoons.** *Marine Geology* 88:187-199, (1989).

KOMAR, P. **Beach processes and sedimentation.** Prentice Hall, New Jersey. 429p. (1976).

KOMAR P. D. **Environmental controls on littoral sand transport.** Pp. 1238- 1252 in *Proceedings of 21st Coastal Engineering Conference*, Vol. 2. New York: American Society of Civil Engineers (1988).

KOMAR, P. D. **Beaches processes and sedimentation.** 2nd ed. USA: Prentice Hall Inc. (1998).

KRAUS, N.C.; LARSON, M.; WISE, R. A. **Depth of closure in beach fill design.** Proc. 1999 National Conference on Beach Preservation Technology, FSBPA, Tallahassee, Florida, (1999).

LARSON, M.; KRAUS, N. C.; WISE, R. A. **Equilibrium beach profiles under breaking and non-breaking waves**. Coastal Engineering. USA, v. 36, p. 59-85, (1999).

LEMKE, N. **Morfodinâmica da Embocadura do Arroio Carahá. Lagoa dos Patos. São Lourenço do Sul - RS**. Tese de Doutorado – Programa de Pós Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande (2015).

Madruga Filho, J. D. **Aspectos Geoambientais entre as praias do Paiva e Gaibu, Município do Cabo de Santo Agostinho (Litoral Sul de Pernambuco)**. Tese de Doutorado - Curso de Pós-Graduação em Geociências/UFPE, 272 p. (2004).

MANSO, V. A. V.; TOLDO Jr., E. E.; MEDEIROS, C.; ALMEIDA, L. E. S. B. **Perfil Praial de Equilíbrio da Praia de Serinhaém, Pernambuco**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Volume 2, Nº 1, 45-49. (2001).

MARINO, M. T. R. D.; FREIRE, G. S. S. **Análise da evolução da linha de costa entre as Praias do Futuro e Porto das Dunas, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), estado do Ceará, Brasil**. Revista da Gestão Costeira Integrada 13(1):113-129, (2013).

MARTINS, H.; GOMES, F. V. **Alimentação Artificial de Praias em Ambientes Energéticos Intermédios**. 6º Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente. FEUP, ISBN 978-989-95557-5-4. (2011).

MARQUES, W. C. **Padrões de variabilidade temporal nas forçantes da circulação e seus efeitos na dinâmica da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Fundação Universidade do Rio Grande. (2005).

MATIAS, A; FERREIRA, O; DIAS, J. A; VILA-CONCEJO, A. **Development of Indices for the Evolution of Dune Recovery Techniques**. Coastal Engineering, nº 51 p.261–276. (2004).

MENEZES, J. T. **Alimentação Artificial do Segmento Praial Navegantes/Gravatá, SC**. Dissertação de mestrado - Programa de Pós- Graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina. 114p. (2002).

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 414p. (2002).

MÖLLER, O. O. **Hydrodynamique de la Lagune dos Patos (30°S, Brasil). Measures et Modelisation**. Tese de Doutorado. L'Universite Bordeaux I, Ecole Doctorale des Sciences de la Terre et de la Mer. (1996).

- MÖLLER, O. O.; LORENZZETTI, J. A.; STECH, J. L.; MATA, M. M. **The Patos Lagoon Summertime Circulation and Dynamics.** *Continental Shelf Research* 16: 335-351. (1996).
- MÖLLER, O.O.; CASTAING, P.; SALOMON, J. C.; LAZURE, P. **The influence of local and non-local forcing effects on the subtidal circulation of the Patos Lagoon.** *Estuaries*, 24(2): 275-289 (2001).
- MUEHE, D. **Geomorfologia Costeira.** In GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. da (orgs). **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos.** Ed. Bertrand Brasil. (1993).
- NORDSTRON, K. F. **Estuarine Beaches: an introduction to the physical and human factors affecting use and management of beaches in estuaries, lagoons, bays and fjords.** New York: Elsevier Science Publishers Ltd, 225 p. (1992).
- NORDSTRON, K. F., ROMAN C. **Estuarine Shores: Evolution, Environments and Human Alterations.** New York: John Wiley & Sons Ltd, 484 p. (1996).
- OLIVEIRA, J. F. de. **Identificação de Áreas de Sedimentos Compatíveis na Plataforma Continental Interna para Recuperação de Praias entre as Cidades de Niterói e Macaé, RJ.** Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências. Porto Alegre, (2012).
- PAJAK, M.J.; LEATHERMAN, S. **The High-Water Line as Shoreline Indicator.** *Journal of Coastal Research*, 18(2), 329-337. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208. (2002).
- PASOLINI, A. **Utilização do Método de Perfil de Equilíbrio para Determinar a Estabilidade e a Evolução de Perfis de Praias Arenosas.** Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico. Vitória, (2008).
- PASSOS, R. de C. S. dos. **Variação Morfotextural da Praia de Camburi, Vitória – ES, após Engordamento Artificial.** Graduação em Oceanografia – Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, (2004).
- PEDRUZZI, C. V. **Perfil de Equilíbrio da Praia de Camburi, Vitória – ES.** Graduação em Oceanografia – Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, (2005).
- PINTO, F. T.; BESSA, M.; NEVES, L. das. **Análise Qualitativa do Comportamento de Diferentes configurações de Estruturas de Defesa Costeira Aderentes.** 8<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária. LNEC. Outubro (2013).

PRATA, P. M. **Variação Textural dos Sedimentos da Praia de Camburi, Vitória – ES Após o Engordamento Artificial.** Graduação em Oceanografia – Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, (2005).

SILVA, A. M. R. da. **Trabalho de Campo: prática "andante" de fazer Geografia.** Geo UERJ. Revista do Departamento de Geografia, Rio de Janeiro n. 11. p. 61-73 jan. (2002).

SILVA, J. de C.; MONTEIRO, G. O.; PAMBOUKIAN, S. V. D. **Sistema de Informações Geográficas (SIG).** Congresso Alice Brasil Anais. 2014/2015 p.165. (2014).

SUGUIO, K. **Introdução a Sedimentologia.** São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo. 317 p. (1973).

TENÓRIO, B.; SEIXAS, A. de. **Delimitação e Reconstrução Tridimensional de Bacias Hidrográficas a partir de Curvas de Nível – Atividade Prática da Disciplina de Topografia. II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, 8-11 de setembro/ (2008).**

TOLDO, E. E. Jr. **Morfodinâmica da Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul.** Revista Pesquisas. Volume 18, No 1, p. 58-63. ISSN 0100-5375. (1991).

TOLDO JR., E. E. **Sedimentação, Predição do Padrão de ondas e dinâmica sedimentar da antepraia e zona de surfe do sistema lagunar da Lagoa dos Patos.** Tese de doutorado - Curso de pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 183 p. (1994).

TOLDO Jr., E. E.; ALMEIDA, L. E. S. B.; CORRÊA, I. C. S. **Forecasting Shoreline Changes of Lagoa dos Patos Lagoon, Brazil.** Journal of Coastal Research. Volume 35, p. 43-50. (2003).

TOMAZELLI, L. J. **O regime de ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil.** Pesquisas 20: 18-26. (1993).

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, **Low Cost Shore Protection, a Guide for Engineers and Contractors.** 173 p. (1981).

U.S. Geological Survey (USGS). **Digital Shoreline Analysis System: Computer Software for Calculating Shoreline Change (or any issue dealing with the positional change of a boundary over time).** Disponível em: <https://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/> (2009).

VEIGA, F.A. **Processos morfodinâmicos e sedimentológicos na plataforma continental rasa paranaense.** Tese de Doutorado - Pós-Graduação em Geologia Ambiental, Universidade Federal do Paraná. 176p. (2005).



VERA-CRUZ, D. **Artificial Nourishment of Copacabana Beach.** Proceedings of the International Conference on Coastal Engineering. No 13. Chapter 80. (1972).

VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L. J. **Planície Costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem natural.** In: Fernando Gertum Becker, Ricardo Aranha Ramos & Luciano de Azevedo Moura (org.), *Biodiversidade Regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, Planície Costeira do Rio Grande do Sul*, pp.20 33, Editora SCAN, Brasília, DF, Brasil. ISBN 85-7738- 037-8.

WANG, P.; DAVIS Jr., R. A. **Profundidade de Fechamento e Perfil de Equilíbrio de Praia: Um estudo de caso em Sand Key, Florida.** Mercator - Revista de Geografia da UFC, ano 06, número 12, (2007).

WRIGTH, L.D; SHORT, A. D. **Morphodynamic variability of beaches and surf zones, a synthesis.** Marine Geology, 56. 92-118p. (1984).

XAVIER DA SILVA, J.; CARVALHO FILHO, L. M. **Sistemas de Informação Geográfica: uma proposta metodológica.** In: IV Conferência Latino – americana sobre Sistemas de Informação Geográfica e II Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. Anais... São Paulo: USP, p. 609-628. (1993).

## ANEXO A:

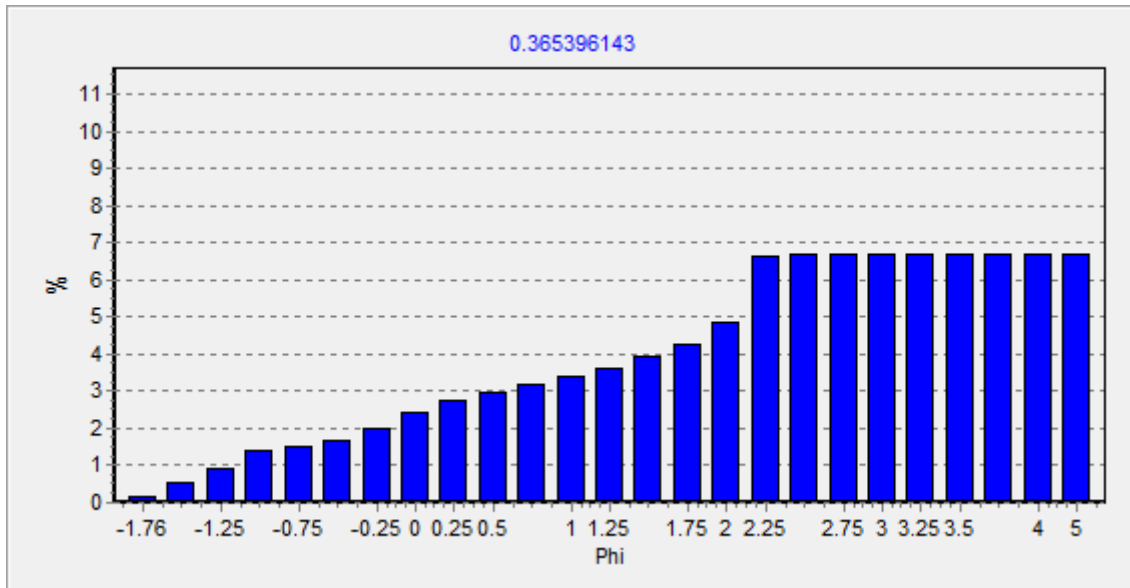


Figura 36: Histograma da Amostra P01, porção aérea.

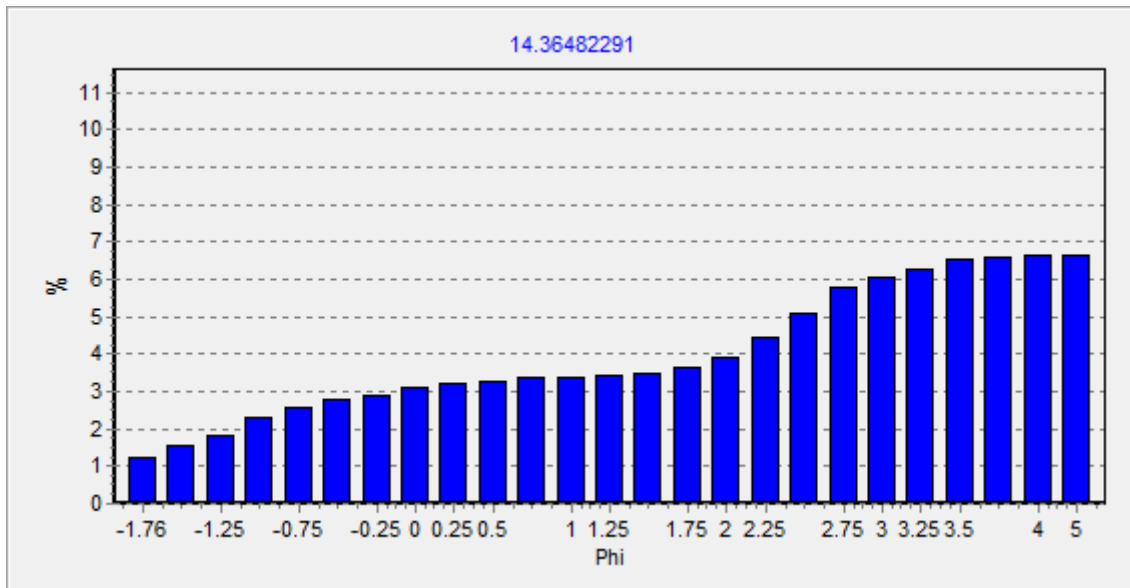


Figura 37: Histograma da Amostra P01, porção aquosa.

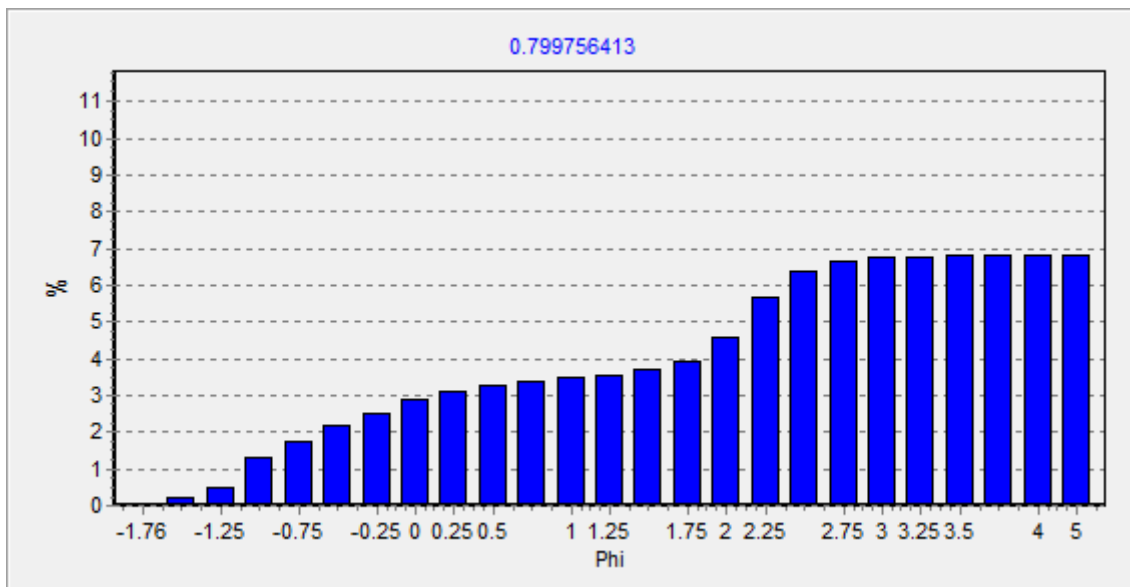
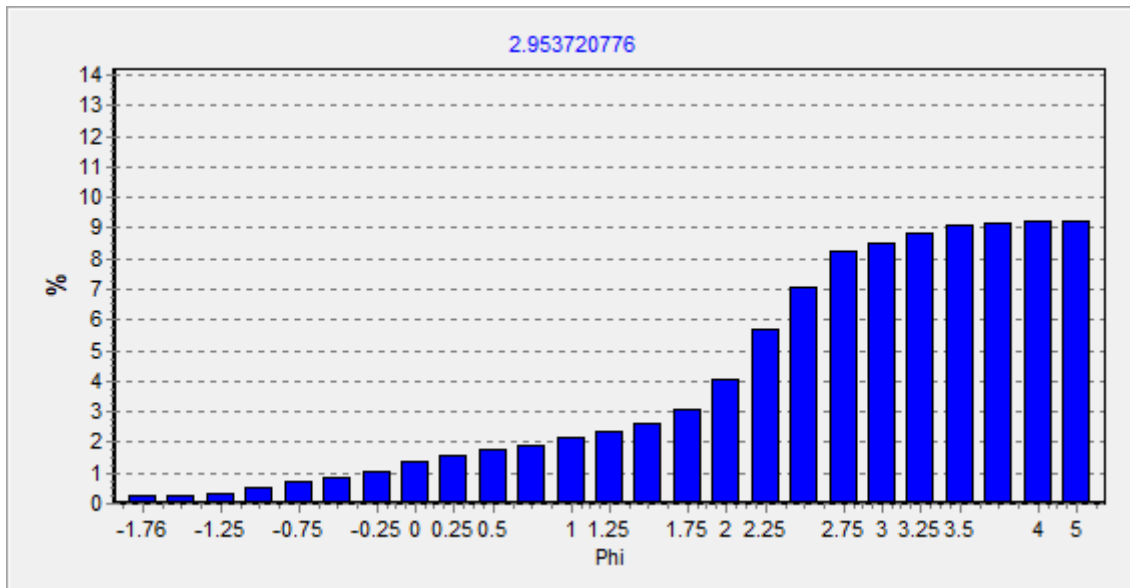
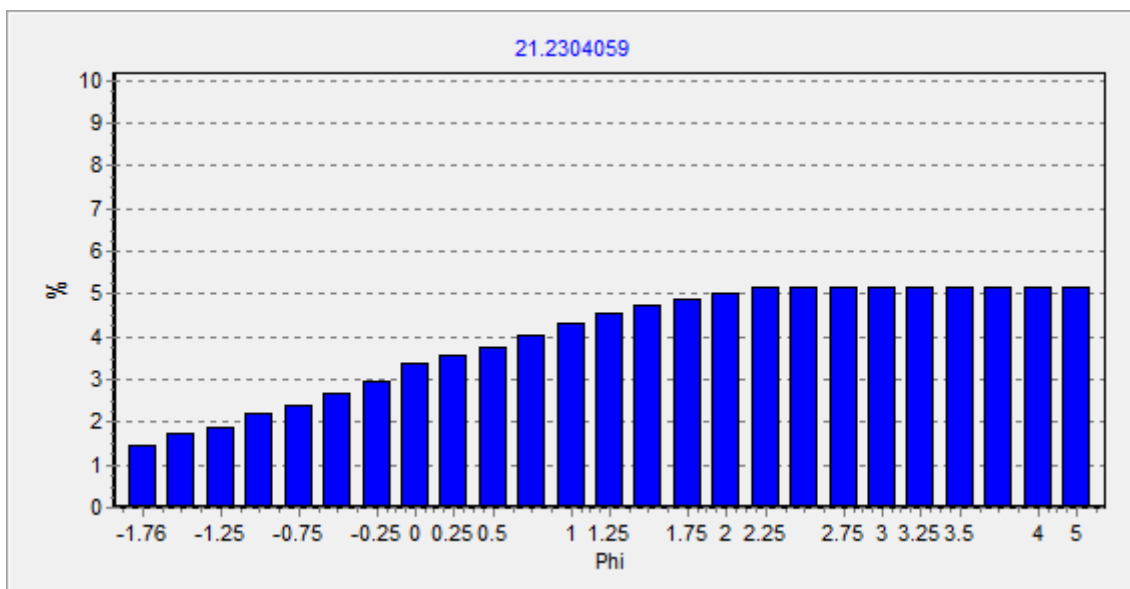


Figura 38: Histograma da Amostra P02, porção aérea.



*Figura 39: Histograma da Amostra P02, porção aquosa.*



*Figura 40: Histograma da Amostra P03, porção aérea.*

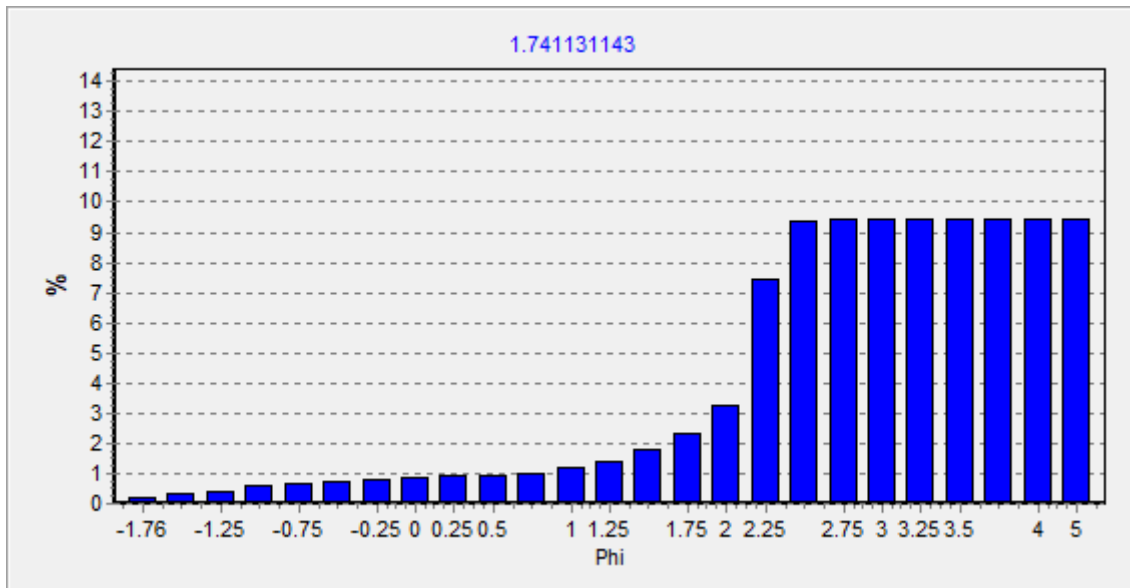


Figura 41: Histograma da Amostra P03, porção aquosa.

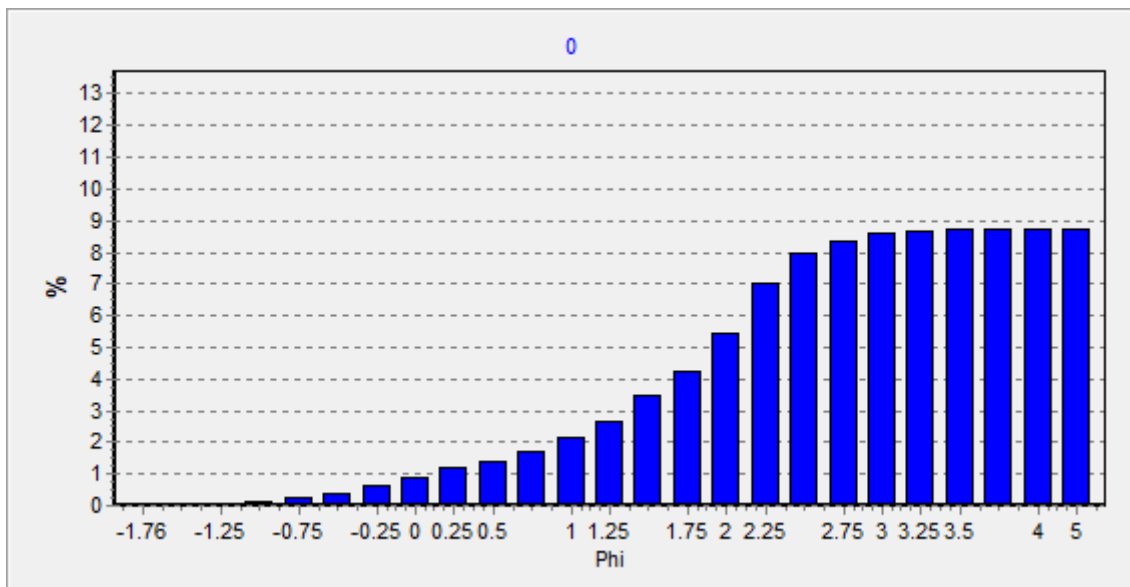


Figura 42: Histograma da Amostra P04, porção aérea.

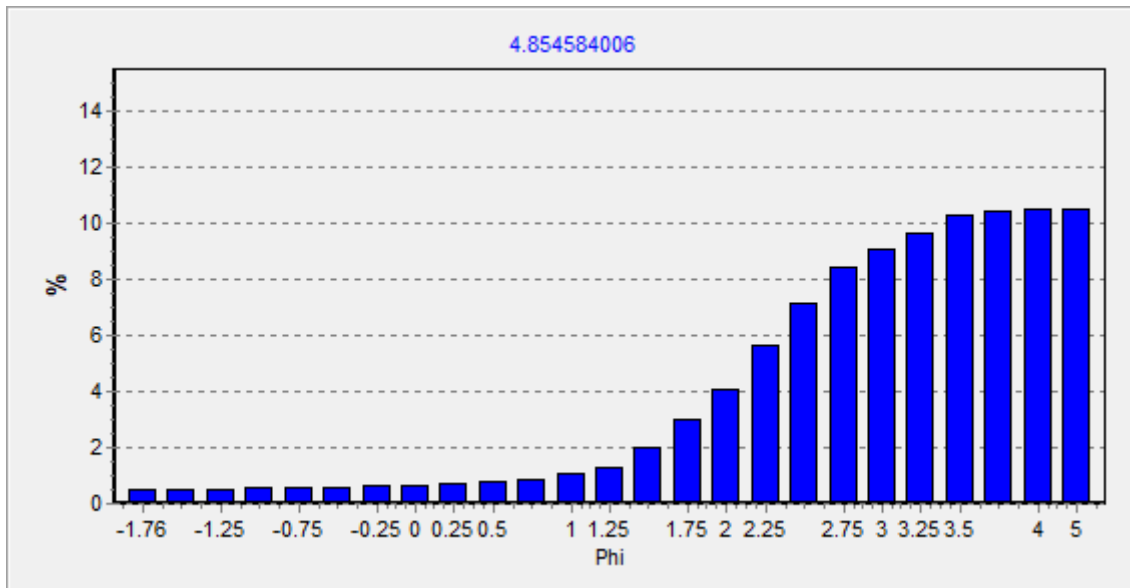


Figura 43: Histograma da Amostra P04, porção aquosa.

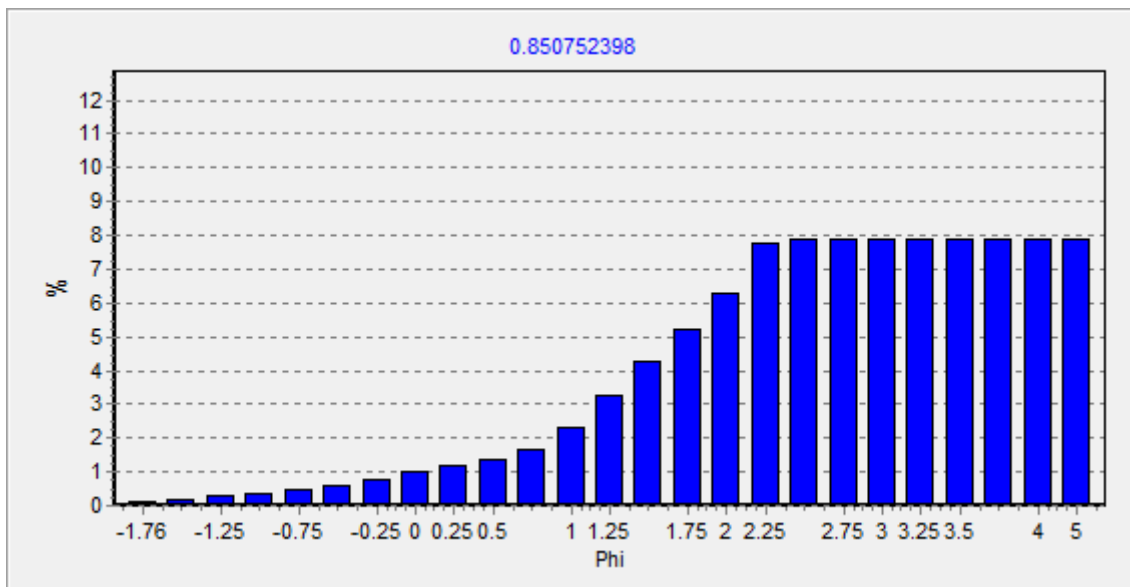


Figura 44: Histograma da Amostra P05, porção aérea.

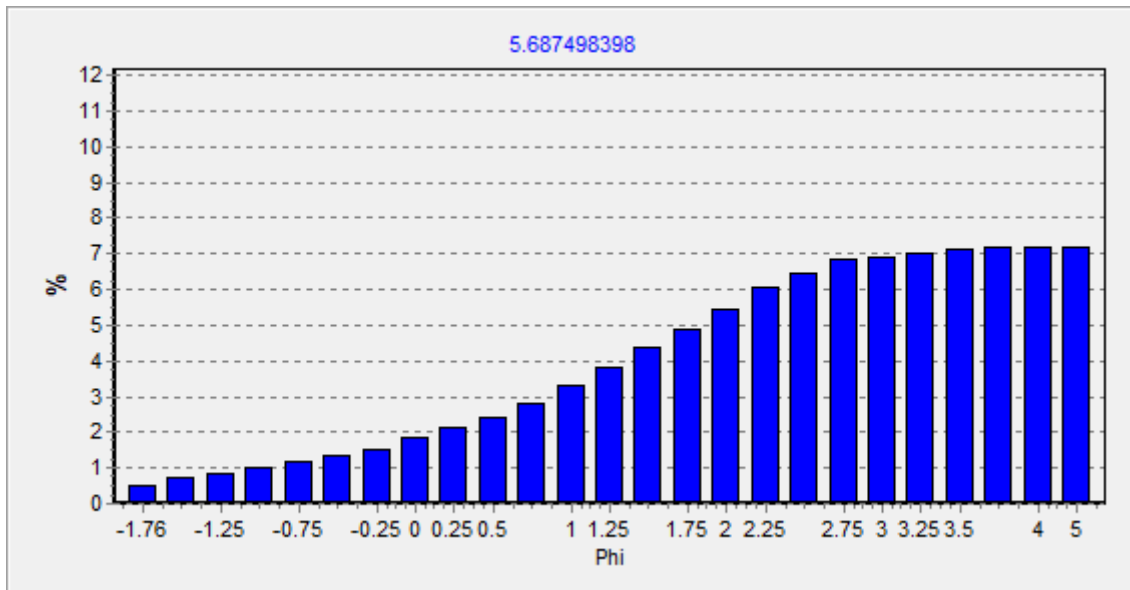


Figura 45: Histograma da Amostra P05, porção aquosa.