

Proposta para recuperação das áreas afetadas por erosão na praia estuarina do Barro Duro – Laguna dos Patos/RS

Andrea Fischer¹, Lauro Júlio Calliari²

¹Mestre do Curso de Engenharia Oceânica – FURG, Rio Grande, RS.
andrea@cefetr.rs.br

²Laboratório de Oceanografia Geológica, LOG/FURG, Rio Grande, RS.
lcalliari@log.furg.br

RESUMO: O estudo foi realizado no município de Pelotas/RS, costa noroeste da região estuarina da Laguna dos Patos, composto por quatro praias: Laranjal, Barro Duro, Totó e Colônia Z3. Foi feita a evolução da linha de costa entre 1980/1995 e o levantamento de perfis topográficos e batimétricos, com a caracterização granulométrica das porções subaéreas e subaquosas, durante maio/03 a agosto/04. A análise da variação da linha de costa mostrou que a praia do Barro Duro sofre taxas erosivas próximas a 1,04 m/ano. Para a revitalização da área foi proposto o engordamento com a construção de espigões de madeira. Os levantamentos e análises indicaram fontes de areia com características similares aos sedimentos do Barro Duro, a uma distância aproximada de 4,5 km. Este estudo pode indicar soluções a outros setores da margem oeste da Laguna, que atualmente sofrem problemas erosivos semelhantes.

PALAVRAS-CHAVE: Morfodinâmica Praial, Praias Estuarinas, Erosão Praial, Engordamento de Praia, Obras Costeiras.

1. INTRODUÇÃO

O estudo foi realizado na margem Noroeste da Laguna dos Patos entre a Barra do Canal São Gonçalo estendendo-se até a Colônia de Pescadores Z3, localizada entre os paralelos 31°47' e 31°41' de latitude sul e ente os meridianos 52°16' e 52° 05' de longitude oeste. Nas cartas de Hidrografia e Navegação elaboradas pela Marinha do Brasil esta região é denominada “Saco do Laranjal”. O Saco do Laranjal é composto por quatro localidades distintas: a Praia do Laranjal (compreendida entre os Balneários Valverde e Santo Antônio), a Praia do Barro Duro (Balneário dos Prazeres), a Praia do Totó (Região de mata nativa e do Ecocamping Municipal) e a Colônia de Pescadores Z3 (Figura 1).

O objetivo geral do trabalho foi caracterizar a morfodinâmica costeira do setor noroeste do Estuário da Laguna dos Patos para avaliar alterações recentes e atuais associadas aos processos morfológicos e sedimentares da linha de costa. A análise do conjunto de dados fornecerá subsídios a planos de gerenciamento costeiro que contemplem soluções e medidas mitigatórias para os processos erosivos e de urbanização da orla lagunar.

Desta maneira, foi feita a evolução da linha de costa, através de fotografias aéreas, entre os anos de 1980 e 1995 e o levantamento de cinco perfis praias topográficos e batimétricos, ao longo da área de estudo, com a caracterização granulométrica das porções subaéreas e subaquosas, durante o período de maio/03 a agosto/04. Além disso, foram analisadas as características de ondas do local.

O comportamento morfodinâmico e os processos associados fornecem subsídios importantes para planos de gerenciamento costeiro que objetivem minimizar os problemas

erosivos das áreas. Além disso, as informações obtidas através dos levantamentos realizados são importantes nas decisões do tipo de medidas de proteção ou de obras costeiras que podem ser efetuadas para a revitalização de áreas degradadas pela erosão praias.

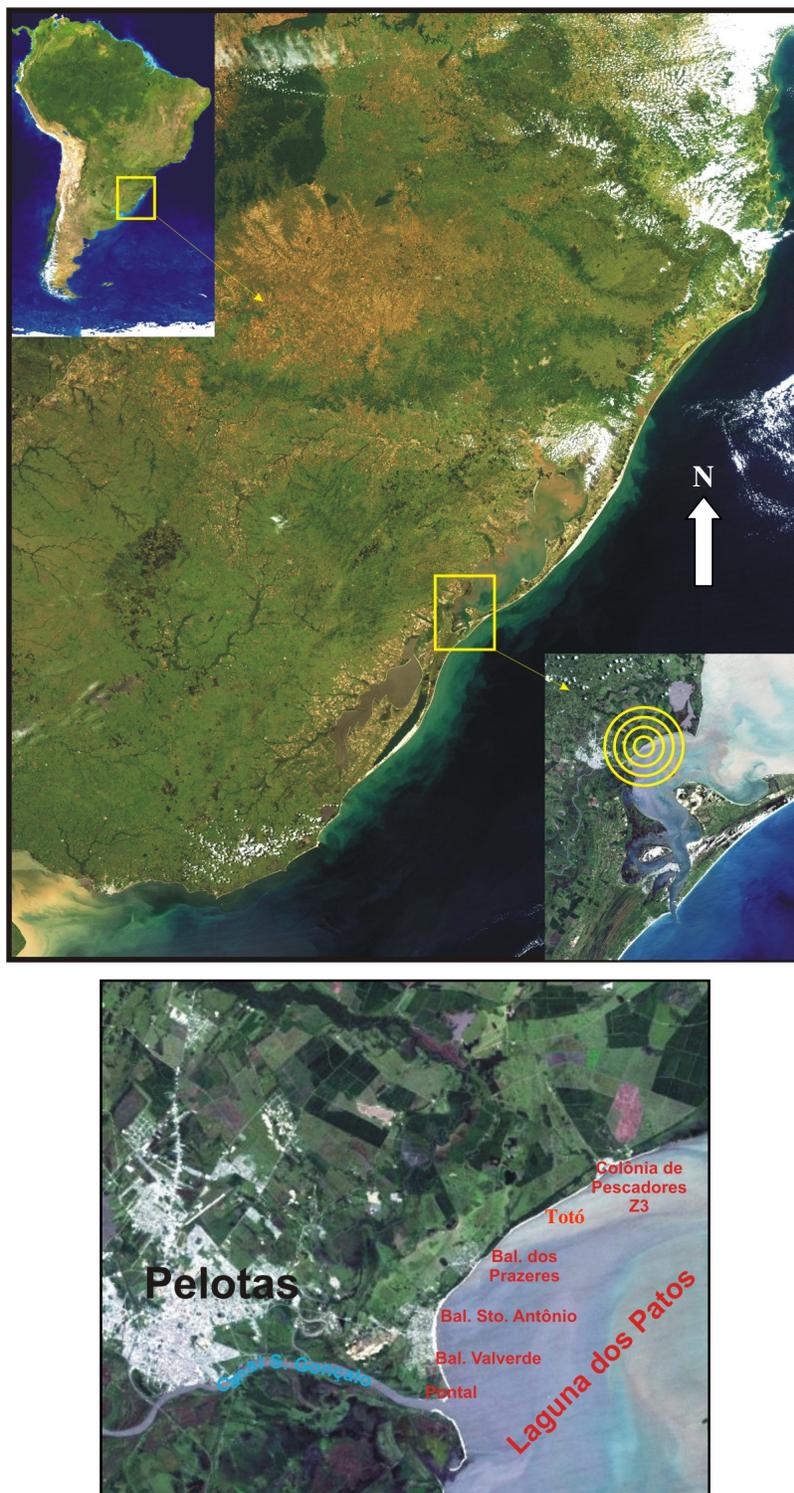


Figura 1 - Localização da área de estudo.

FONTE: Fioravante Jaekel dos Santos (Land Sat 7; Bandas 3, 2 e 1).

A partir dos levantamentos efetuados foi verificado que a praia do Barro Duro é a localidade que apresenta as maiores taxas erosivas, cerca de 1,04 m/ano em alguns pontos. Esta praia é caracterizada por uma ampla área verde em sua orla, composta por árvores de idade centenária. O processo erosivo nesta praia vem sendo observado pelos moradores da região a pelo menos uns vinte anos. Desde o começo dos anos 80 a comunidade tem feito solicitações e abaixo assinados que são enviados para a Prefeitura Municipal de Pelotas e à Câmara de Vereadores do Município para que fossem tomadas providências que pudessem resolver o problema da erosão praial. Além disso, notícias sobre os processos erosivos e a perda da mata têm sido publicadas nos jornais do município desde os anos 80, ref. [19 e 20].

Relatos de moradores indicaram que a praia possuía há uns vinte anos atrás uma largura de aproximadamente uns 70 metros, enquanto que atualmente se verifica uma largura média em torno de 18 metros. A Figura 2 mostra a situação atual da mata nativa na orla da praia do Barro Duro.



Figura 2 - Área degradada devido ao processo erosivo na praia do Barro Duro.

Em vista deste problema, além dos levantamentos de campo e do estudo da evolução da linha de costa, foram estudadas formas de solucionar ou minimizar os processos erosivos através de obras de Engenharia Costeira para a recuperação e revitalização das áreas atingidas.

2. OBRAS DE ENGENHARIA COSTEIRA

Segundo Nordstron [17], 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 então reter os sedimentos e; aumentar as feições naturais usando vegetação ou engordamento artificial de praia.

Bush *et al.* [1] considera que a erosão praial não é um desastre natural. A retração de linhas de costa é esperada, pois é uma parte da praia que responde ao aumento do nível do mar, ao aumento de energia de onda ou a diminuição de suprimento de areia. A erosão não cria problemas para as praias, elas simplesmente iram mudar de posição com a retração de

suas linhas de costa. Os processos erosivos tornam-se problemas quando a dinâmica interfere nas atividades humanas, nas construções civis ou nos recursos fornecidos pelas praias.

Obras de engenharia costeira para conter a erosão praial não são um problema de simples resolução, estudos tem sido realizados em New Jersey, EUA, por mais de um século, ref.[1].

O gerenciamento para a estabilização costeira envolve alguns processos:

- Definição dos locais que serão protegidos e dos recursos das áreas adjacentes que podem ser afetados.
- Conhecimento dos processos morfodinâmicos e hidrodinâmicos. Para qualquer obra de engenharia que vise proteger a costa é fundamental conhecer os processos costeiros que contribuem para problemas de erosão. Por isso é importante a coleta de dados de altura, período e ângulo de incidência de ondas, já que elas são o principal agente causador de erosão. Também é recomendado o levantamento de perfis praiiais, de fotografias aéreas do local e, ainda, a coleta de sedimentos e sua análise granulométrica. Outro fator importante a ser observado são as variações do nível da água. Em lagoas costeiras, as variações de nível podem ser devido a tempestades e a marés astronômicas, ou podem ser periódicas devido às precipitações ao longo do ano, ref. [21].
- Conhecimento das direções do transporte de sedimentos. O suprimento de material litorâneo interfere na estabilidade de uma linha de costa. Quando existe um equilíbrio dinâmico, a linha de costa se mantém estável. As ondas mantêm o material litorâneo em constante movimento na mesma direção das correntes litorâneas, quando há suprimento de sedimentos as praias permanecem estáveis ou então, ocorre a progradação da linha praia, se o suprimento de sedimentos for deficiente, a linha de costa irá erodir. A direção do transporte, ou seja, a direção das ondas poderá variar de forma considerável de acordo com as estações do ano, principalmente devido a mudanças de direção dos ventos, ref. [21].
- Definição dos recursos financeiros disponíveis para a construção e a manutenção da obra a ser realizada.
- Conhecimento das regulamentações governamentais para ambientes costeiros.
- Seleção da alternativa mais adequada para o dado sistema, comparando o custo e a eficiência da obra com os benefícios que ela poderá trazer.

Nas praias estuarinas, as estratégias utilizadas para o controle da erosão são facilitadas quando comparadas a praias oceânicas, pois nos estuários as praias são menores estabelecendo-se em compartimentos isolados e a energia de onda geralmente é baixa, ref. [17].

Quando se tratam de obras de engenharia costeira, deve-se ter cuidado em se analisar o custo da obra. O baixo custo é um termo que reflete o custo da obra comparado com o valor da propriedade protegida, pois qualquer método de proteção costeira é considerado de alto custo quando implantado de maneira adequada. Outro fator a ser considerado é que uma vez que se começam obras de engenharia costeira não se pode interrompê-las, pois exigem manutenção constante, todavia a manutenção será sempre menor uma vez que o material já está retido na praia.

Obras que venham a estabilizar a linha de costa e que não venham a interferir na porção recreacional da praia poderão conduzir a um intenso desenvolvimento do local. Este desenvolvimento implica no aumento de atividades comerciais, econômicas, recreacionais, de habitação, sociais, entre outras.

De uma maneira geral, as medidas que podem ser tomadas para conter a erosão da linha de costa são classificadas como intervenções de estabilização pesada, de estabilização leve e de relocação e desapropriação.

A estabilização pesada constitui o grupo de ações que envolvem a construção de obras de engenharia que empregam concreto, madeira, rochas ou qualquer outro tipo de material similar. As estruturas podem ser construídas paralelamente à linha de costa (muros e

revestimentos), procurando bloquear a energia da onda, sendo conhecidas por defesas longitudinais. Quando construídas normalmente à costa, as obras são chamadas de defesas normais (espigões ou molhes), tendo como objetivo principal captar a areia transportada pela deriva litorânea, aumentando a área útil da praia. Quando as obras são efetuadas com blocos de rochas, independentemente da sua posição em relação à costa, tem-se utilizado o termo *enrocamento*. O uso da estabilização pesada tem sido a via mais comum de salvar as propriedades adjacentes à costa, apresentando como desvantagens a degradação da área recreativa da praia, um custo elevado, pouca esteticidade, além de tornar o acesso à praia difícil.

A estabilização leve envolve a tomada de atitudes para a estabilização da linha de costa que não envolvam obras complexas de engenharia. Enquadra-se neste grupo o enchimento artificial de uma praia, também chamado de engordamento. Embora questionado por vários autores, este método é menos radical do que os empregados na estabilização pesada. A engorda artificial tem como principal vantagem o aumento da área útil da praia.

Já a relocação e desapropriação são atitudes empregadas sem envolver obras de engenharia. Relocação significa remover as construções para uma nova área e a desapropriação trata-se da indenização dos proprietários pela perda de suas propriedades. São atitudes politicamente difíceis, causando a perda de áreas nobres geralmente comerciais, podendo muitas vezes ser economicamente inviáveis.

Assim, os itens a seguir pretendem abordar de forma sintética algumas medidas, tanto de estabilização pesada quanto leve, que poderiam ser implementadas de uma maneira geral para minimizar problemas devido à erosão costeira.

2.1 Quebra Mares (*Breakwaters*)

Os Quebra Mares são estruturas construídas geralmente paralelas a linha de costa. Porém, em locais onde as ondas incidem muito obliquamente, com a formação de fortes correntes longitudinais, estas estruturas são orientadas paralelas às cristas das ondas. Tem a finalidade de dissipar ou refletir a energia de ondas incidentes, alterando a direção das ondas, diminuindo a altura pela difração e, desta forma, modificando o transporte de sedimentos ao longo da costa, ref. [22]. A capacidade de transporte de sedimento de uma onda é função de sua altura ao quadrado, então, se for possível diminuir a altura de onda, o efeito no transporte de sedimentos será reduzido, ref. [21].

Os quebra mares são designados para retardar a erosão em uma praia existente, promover a sedimentação natural para a formação de uma nova praia quando há suprimento de areia, aumentar a longevidade de uma praia engordada e manter a praia protegida de tempestades, ref. [4].

Alguns aspectos devem ser observados no planejamento e no projeto da obra, pois a capacidade de um quebra mar de acumular areia na praia é função da sua distância à costa, do comprimento paralelo à linha de praia, da sua altura, da porosidade e, quando são utilizadas estruturas segmentadas, do espaçamento entre elas. Durante aproximadamente 18 anos tem sido realizados estudos quanto às dimensões e posições destas estruturas na Baía de Cheesepeake, além do detalhamento das características físicas e geológicas dos locais onde estão instalados, ref. [7].

São bastante apropriados para a proteção da costa em lugares onde existe alta energia de onda, pois armazenam o sedimento ao seu redor, porém geralmente tem um custo elevado para a construção. Em regiões estuarinas, onde geralmente há combinação de baixa energia de onda e de baixa declividade, o trabalho de construção torna-se mais prático do que em ambientes oceânicos, pois menor quantidade de material é requerida, o material poderá ter um menor grau de qualidade e as águas são pouco profundas. Em muitas localidades estuarinas na

Virgínia, Estados Unidos, foram utilizadas pedras brutas para a construção das estruturas. Também tem sido utilizados sacos de areia e blocos de concreto em numerosos estuários nos Estados Unidos, ref. [17].

Segundo Hardaway e Byrne [7], 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*” (Figura 3). O material para o engordamento é retirado da dragagem dos canais de navegação. O uso desta obra tem o objetivo de criar uma suave transição no nível de energia entre as costas protegidas e às áreas adjacentes que estão sem proteção. Antes deste projeto, obras anteriores aceleravam os processos erosivos nas costas adjacentes, pois alteravam as condições de onda ou então cortavam o suprimento de sedimentos. Além disso, o método aplicado em Chesapeake não visa somente fornecer uma proteção de longo período para a linha de costa, mas também criar um perfil praiável estável. Este método tem possibilitado a estabilização das praias que sofrem erosão principalmente pela ação de ventos nas direções Sul-Sudoeste. É considerado que a erosão costeira que ocorre em alguns locais da Baía de Chesapeake está relacionada principalmente com o comprimento da pista de vento, nos locais onde a pista ultrapassa 16 km ocorre erosão severa da costa, ref. [8 e 9].



Figura 3 - Quebra mar segmentado construído na Baía de Chesapeake, EUA.
Fonte: Hardaway e Byrne [7].

De acordo com Coleman e Fulford [5], em relação aos impactos ambientais, os quebra mares modificam a circulação podendo ocorrer problemas na qualidade da água, entretanto podem aumentar o número de organismos e de biomassa em áreas adjacentes, funcionando como recifes artificiais.

2.2 Espigões (*Groins*)

São construções que se prolongam perpendicularmente à linha de costa. Eles são construídos quando é conhecida a direção do transporte de sedimentos devido às correntes longitudinais.

Geralmente é construído um conjunto de espigões ou campo de espigões, “*groin field*”, ao longo da costa, todavia também se pode construir somente um espigão. Nestas construções, a areia tende a acumular-se de um lado da estrutura e a erodir do outro. Porém, a taxa de transporte ao longo da costa decresce e a costa tende a estabilizar-se, ref. [1 e 21].

Este tipo de obra pode ser encontrada em praias do oeste da Florida, incluindo, Honeymoon Island, Sand Key, Madeira Beach, Treasure Island, Longboat Key, Anna Maria

Key e Manasota Península, ref. [1]. Hardway *et al.* [9] estipulam que existam aproximadamente 640.000 m de espigões construídos ao longo da costa estuarina da Virginia.

Os espigões oferecem utilidade bastante limitada em alguns estuários onde a taxa de transporte ao longo da costa e o suprimento de areia são baixos, ref. [17]. Na Baía de Chesapeake (Figura 4) observa-se que os espigões foram construídos em um local onde o suprimento de areia é inadequado, perdendo-se praia em um dos lados do campo de espigões.

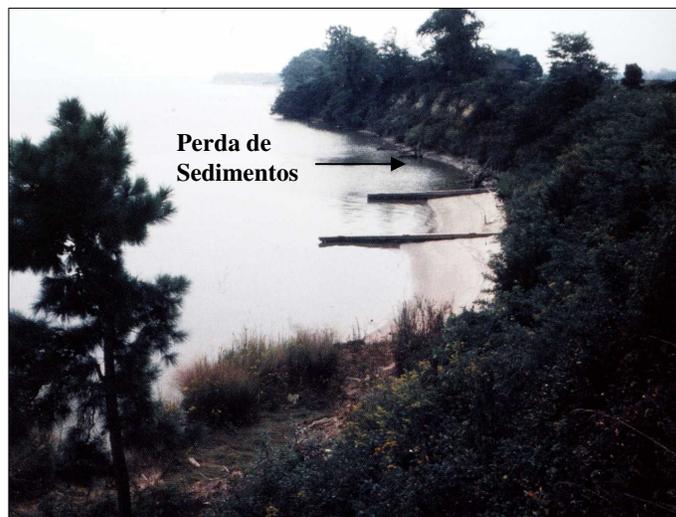


Figura 4 - Espigões na Baía de Chesapeake (suprimento de sedimentos insuficiente).

Fonte: Hardaway e Byrne [7].

Eles também não possuem uma boa performance funcional em locais onde o material litorâneo é composto por material mais fino do que a areia, pois siltes e argilas tendem a se mover em suspensão, não sendo retidos pelos espigões, ref. [21]. Entretanto, oferecem bons resultados onde o transporte ao longo da costa é intenso, como ocorre em praias com longos comprimentos da linha de costa com a mesma orientação e também, onde a energia de onda é relativamente alta possibilitando a mobilização dos sedimentos, ref. [17]

Estas estruturas são recomendadas para a retenção de sedimentos em praias que foram engordadas artificialmente ou então, para proteção de áreas naturais adjacentes as engordadas devido à excessiva sedimentação, ref. [21].

A desvantagem do uso destas estruturas é que elas poderão prejudicar as praias vizinhas, pois retém a areia que iria suprir estas praias, ref. [1].

Os espigões podem ser construídos em alturas altas ou baixas. Os altos bloqueiam efetivamente o suprimento de areia para o outro lado da estrutura, não permitindo que a areia passe sobre ela. Já os baixos permitem que as ondas passem sobre ela, principalmente durante tempestades, permitindo que o sedimento a ultrapasse e preencha o outro lado.

O comprimento do espigão deve ser projetado para criar o formato desejado da praia. Se ele tiver uma boa extensão (comprimento), o sedimento que se desloca ao longo da estrutura talvez seja forçado a retornar das partes mais profundas para as mais rasas. Se o espigão for muito curto, talvez não se obtenha acumulação de sedimentos suficiente para a criação da largura de praia desejada.

Podem ser feitos de madeira, pedras, concreto, aço ou com sacos preenchidos com areia. Devendo ser resistente às forças produzidas por ondas e correntes, ao impacto de entulhos flutuantes e as pressões criadas pela diferença de altura da areia entre os lados da estrutura.

Em Chesapeake, nos Estados Unidos, 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 (HARDAWAY, 2005, comunicação eletrônica).

2.3 Revestimentos e Muros de Contenção (*Seawalls e Bulkheads*)

O revestimento consiste em uma camada de proteção no perfil praial. Estas construções têm a propriedade de proteger o espaço pós-praia e não a própria praia. Eles ajudam somente a prevenir a retração da linha de costa.

Os revestimentos dissipam a energia da onda em uma superfície inclinada e rugosa, sendo eficientes na proteção, porém limitam o acesso e o uso da praia, além do efeito estético negativo. Depende da capacidade de suporte do solo, e deve ser construído com uma declividade estável. Podem ser feitos de pedras, de blocos de concreto, na forma de gabiões (pedras envolvidas em telas de arame), sacos preenchidos com areia (Figura 5) e de outros materiais.



Figura 5 - Revestimento feito com sacos preenchidos com areia
Fonte: www.waterways.nsw.gov.br

Eles protegem a área onde foram construídos, não protegendo áreas adjacentes. Os problemas de erosão podem continuar em costas adjacentes. Em áreas próximas aos locais revestidos, a erosão pode ser acelerada e mais acentuada devido à reflexão de onda causada pela estrutura. As correntes longitudinais também podem incrementar a erosão em áreas vizinhas se o suprimento de material era proveniente da área protegida, ref. [21].

Em certos casos também é necessária a construção de espigões ou quebra-mares, juntamente ao revestimento de praia.

Os *Seawalls* e os *Bulkheads* são muros de contenção paralelos à costa e são as estruturas mais comuns para o controle da erosão em muitos estuários, ref. [17].

Os *Seawalls* são estruturas de engenharia construídas paralelas à linha de costa. Sendo designados para oporem-se as forças diretas de alta energia de onda, sendo geralmente construídos com concreto. Já os *Bulkheads* são muros construídos na linha da praia para proteger o pós-praia ou construções locais. Tem como função principal reter os sedimentos do pós-praia contra deslizamentos e como função secundária fornecer uma defesa contra a ação de ondas. São feitos normalmente em estruturas de madeira, fornecendo mínima proteção contra condições severas de energia de onda, ref. [7].

Segundo Bush *et al.* [1], assim como os revestimentos, os muros de contenção degradam a parte recreativa da praia devido a três motivos principais:

- Caso ocorra a migração de dunas e dos sedimentos do pós-praia, a estrutura irá conter esta migração.
- A perda da praia, que ocorre imediatamente, devido às obras.
- Erosão do sedimento em frente à estrutura devido à reflexão de onda e a intensificação de correntes formadas pela quebra de ondas.

Simples princípios de engenharia devem ser observados na construção destas estruturas. É essencial o uso de um filtro têxtil “geotextil ou bidim” abaixo das estruturas. O “geotextil” faz com que a areia não seja levada pela água e não permite que as pedras utilizadas na estrutura afundem na areia. Após o “geotextil”, deve ser colocada uma camada de cascalho. O tamanho e o peso das pedras que irão compor a parte superior da estrutura devem ser calculados de acordo com a energia de onda. A inclinação do talude geralmente é de 2:1. Além de pedras, podem ser feitos muros ou revestimentos com sacos de areia ou concreto pré-moldado. A altura dos muros devem ser superiores ao maior nível da água. A Figura 6 mostra um revestimento feito na Baía de Chesapeake que foi destruído devido ao tamanho das pedras estar subdimensionado, além de ter sido feita somente uma camada de pedras com uma declividade acentuada.

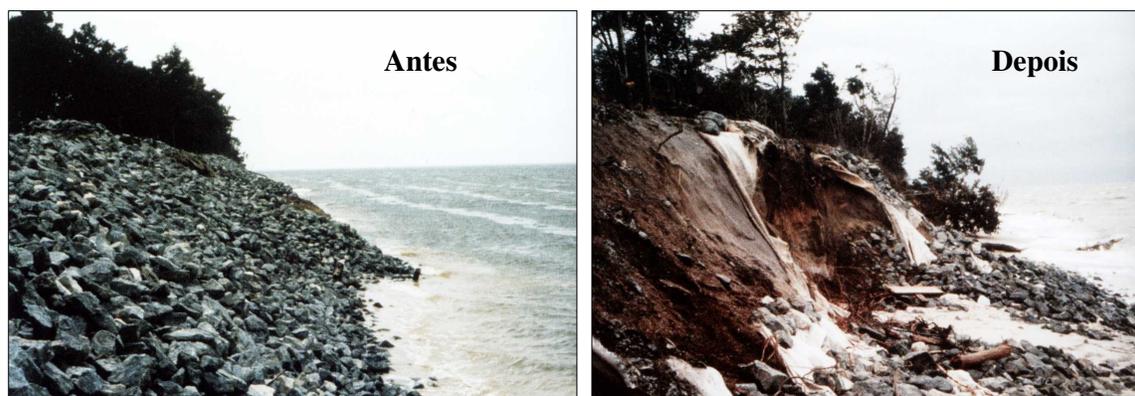


Figura 6 - Revestimento subdimensionado em Chesapeake, EUA.
Fonte: Hardaway e Byrne [7].

Um muro de contenção foi construído em parte da praia do Barro Duro e também em parte da Colônia de Pescadores Z3. Esta obra foi de caráter emergencial para amenizar os problemas ocorridos após uma tempestade severa ocorrida de outubro de 2001. O muro foi construído com pedras de tamanhos variados e sem o filtro “geotextil”. Atualmente, as pedras que compõem o muro estão sendo deslocadas para dentro da laguna devido à ação das ondas, provavelmente por não ter sido feito nenhum cálculo de tamanho destas pedras. As pedras dentro da laguna ocasionam riscos de acidentes para os banhistas (Figura 7). Este tipo de obra não seria adequado para o local, pois causa a perda da praia para atividades recreacionais e também faz com que aumente a reflexão de ondas, aumentando os processos erosivos nas adjacências.



Figura 7 - Perda das pedras na obra emergencial na Praia do Barro Duro

3.1.4 Engordamento de Praia

O engordamento de praia consiste no preenchimento de areia na linha de costa colocada através de meios mecânicos. A fonte de areia poderá estar no interior do corpo aquoso, de forma que deverá ser dragada ou, então, a fonte poderá estar situada em outro local onde a areia deverá ser transportada até a obra. É a medida de proteção costeira que mais se assemelha com o estado natural da praia ao contrário das estruturas rígidas de engenharia costeira.

Operações de engordamento têm sido documentadas desde 1920, sendo que um grande número de operações têm sido feitas em praias estuarinas, ref. [10 e 15]. A realização de um engordamento geralmente tem o objetivo de aumentar as dimensões de uma praia, fornecer uma melhor estética, restaurar ou revitalizar as partes recreacionais das praias, proteger construções civis através da diminuição dos processos erosivos, ou, ainda, de criar novas praias. Segundo Bush *et al.* [1], 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 para a proteção das construções civis existentes na costa.

Segundo Dean [6], para que o engordamento torne-se mais efetivo e economicamente viável é preciso que a erosão já esteja avançada, que a taxa de erosão seja baixa e que o valor do investimento seja compensado.

Antes da realização da obra é importante se fazer uma análise do custo do projeto comparando-o com o potencial econômico da praia a ser engordada, pois geralmente o custo é alto. 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, ref. [21].

O engordamento é altamente valorizado em praias localizadas em áreas urbanas onde existe a necessidade de recreação e de proteção das construções civis, podendo conduzir a um intenso desenvolvimento, não sendo recomendado em costas onde a demanda recreacional é pequena, ref. [17].

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, ref. [21].

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.

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.

O Município de Piçarras, no litoral Catarinense, realizou, de forma pioneira, a recuperação da praia utilizando-se de areia da plataforma interna adjacente para a reconstrução parcial do seu segmento praial. Foram utilizados cerca de 880.000 m³ de areia para aterrar um trecho de 2200 m de praia. A praia de Piçarras, antes da realimentação, era composta por areias de granulometria fina a média (ABREU e KLEIN *apud* ref. [3]). Os sedimentos dragados de um local distante de 15 a 18 quilômetros da costa e a uma profundidade de 20 m caracterizavam-se por serem ligeiramente mais grosseiros que os naturais, possibilitando uma maior estabilidade do material e sua permanência por maior período de tempo. As Figuras 8 e 9 mostram a vista da Praia de Piçarras antes e depois do engordamento artificial, respectivamente.



Figura 8 - Vista da praia de Piçarras antes do engordamento (Outubro de 1998).
Fonte: ref. [3].

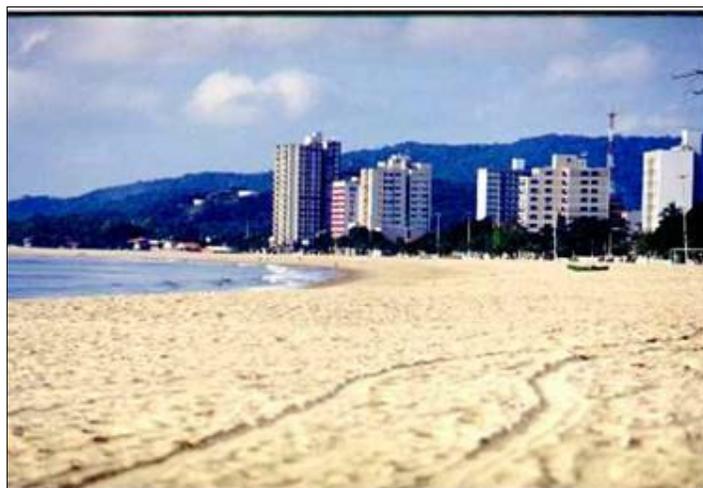


Figura 9 - Vista da praia de Piçarras após o engordamento (Janeiro de 1999).
Fonte: ref. [3].

Com o engordamento, somente a porção subaérea da praia é coberta com areia nova, de forma que é criada uma praia com um novo perfil praial que, por sua vez, possui um determinado degrau. Este novo perfil é retrabalhado pela ação das ondas e tende a voltar a sua forma original. Isto faz com que se tenha uma taxa de erosão aumentada logo que a praia é engordada.

Praias estuarinas engordadas podem retroceder em taxas mais baixas do que em condições naturais, entretanto estas taxas podem ser altas se as correntes longitudinais à costa forem fortes ou onde há ocorrência de sedimentos finos no pós-praia, ref. [17]. Os sedimentos finos poderão mover-se para o terraço de baixa maré e permanecer nas vizinhanças na forma de bancos, porém estas feições tem um pequeno efeito na atenuação da energia de onda principalmente quando o nível da água está alto, ref. [17]. Baixas taxas de retração após o engordamento também podem ocorrer quando o material de preenchimento é composto por sedimento grosseiro, que são menos prováveis de se moverem em condições de baixa energia de onda, ref. [14]. Praias localizadas em costas amplas e que seguem sempre a mesma orientação, onde geralmente as correntes longitudinais são altas, tem chances de perder o material de preenchimento mais rapidamente, sendo indicada a construção de estruturas que possam conter o engordamento, tais como espigões, ref. [21].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os cinco Perfis Praiais levantados no período de maio de 2003 a agosto de 2004, podem ser classificados como perfis íngremes, conforme a classificação proposta por Makaske e Augustinos [16] e Hegge *et al.* [11], devido às características topográficas e sedimentológicas da face praial e também pela altura de quebra de onda em condições normais, sem a ocorrência de tempestades.

O levantamento topográfico do Perfil Praial 3, na praia do Barro Duro indicou uma praia estreita com largura média de 17,92 m, sendo que 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. Esta praia é caracterizada por possuir uma face praial com declividade média em torno de 6° e uma largura reduzida, entre 2 a 3 m. Sendo a face de praia mais estreita de todos os demais perfis analisados.

Foi o perfil que 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 [2] calcularam um “CV” de 15. Relacionando esta alta mobilidade com a variação da linha de costa (taxas erosivas aproximadas a 1,04m/ano) nesta praia fica evidenciada a forte erosão que o local vem sofrendo ao longo dos anos.

A alta mobilidade mostrada pelo cálculo do coeficiente de variação pode estar relacionada com a forma rítmica desta praia devido à formação de cúspides praiais ao longo da linha da costa. Sonu (1973 *apud* ref. [16]) mostrou que a migração da topografia rítmica poderá causar consideráveis variações no perfil da face da praia.

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, ref. [17]. Na Praia do Delta do Rhône, na França, também foi observada topografia rítmica, com promontórios espaçados de 80 a 100 m, ref. [16].

As diferentes formações destes cúspides durante os meses de Primavera, Verão, podem ser observadas nas Figuras 10 e 11, respectivamente.



Figura 10 - Cúspides Praiais na Praia do Barro Duro, na Primavera (19/11/03).



Figura 11 - Cúspides Praiais na Praia do Barro Duro, no Verão (05/01/04).

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 migrem diferentes zonas hidrodinâmicas (estirâncio, surfe e de empolamento) para a parte superior ou inferior do perfil praial, ref. [18].

Durante o período de estudo não ocorreram tempestades anormais e a precipitação pluviométrica ao longo da bacia hidrográfica não foi acentuada, de modo que a elevação do nível do estuário ocorreu pela atuação de ventos locais, principalmente por ventos soprando do quadrante Leste e Nordeste, que tendem a “empilhar” a água nas margens dos locais estudados. Foi verificado que a elevação do nível exerce influência nas feições morfológicas praiais, causando modificações na posição das linhas de berma e na formação de escarpas.

Praias localizadas em ambientes de micro maré podem sofrer significantes variações geomorfológicas na face da praia por pequenas mudanças nos parâmetros de ondas, pois os processos da zona do estirâncio (*swash e backswash*) estão continuamente ativos nesta porção da praia, ref. [16].

A caracterização de altura e período de onda foi feita mediante a entrada de dados no Programa SMB e também com observações visuais nos locais de previsão. Com isto foram obtidos valores de altura significativa de onda (H_s) entre 0,10 e 0,35 m e de período significativo (T_s) entre 1,2 a 2,9 segundos.

Foram observadas ondas incidindo obliquamente à praia em praticamente todas as direções do vento, Figura 12. Como as ondas dentro da Laguna têm um curto período, são menos afetadas pelo efeito da refração, incidindo com um ângulo de inclinação em relação à linha de costa. Este ângulo de inclinação aumenta o potencial de correntes paralelas à costa e, desta forma, aumenta o transporte de sedimentos ao longo da praia, ref. [13].



Figura 12 - Incidência Oblíqua de ondas, com ventos na direção NE e SE.

A máxima variação vertical do volume do pacote de sedimentos foi de 86,73 cm, na face da praia. Na face da praia ocorreram as maiores variações, observando-se até mesmo a formação de escarpas na linha da praia em dois meses, novembro/03 e janeiro/04, conforme visualização na Figura 13.



Figura 13 - Formação de escarpas na Praia do Barro Duro em Janeiro/04 e Novembro/03.

Quando aumenta o nível da água, principalmente pela ação dos ventos que sopram de leste e nordeste, a excursão vertical (run-up) se eleva, retirando sedimentos e formando as escarpas que, por sua vez, ocorrem em praias inclinadas com granulometria grosseira e com pequena extensão horizontal do estirâncio.

Na evolução espaço-temporal e no gráfico do envelope de perfis da praia do Perfil 3 (Figuras 14 e 15), pode ser observado que a porção subaquosa é bastante estável, sem ocorrência de formação de bancos paralelos à praia, entretanto, na face da praia ocorrem variações significativas.

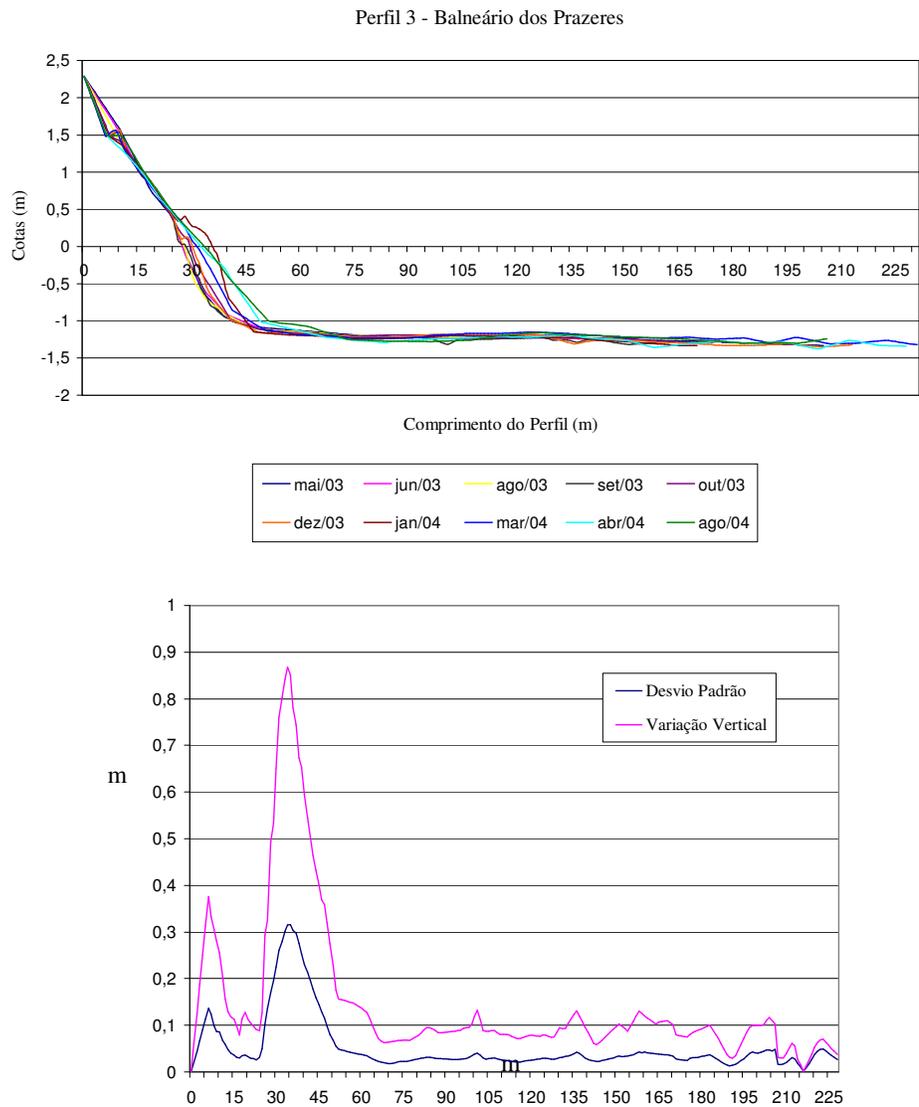


Figura 14 - Envelope de Perfis e Variação Vertical de volume de sedimentos praias.
Perfil 3 – (Praia do Barro Duro)

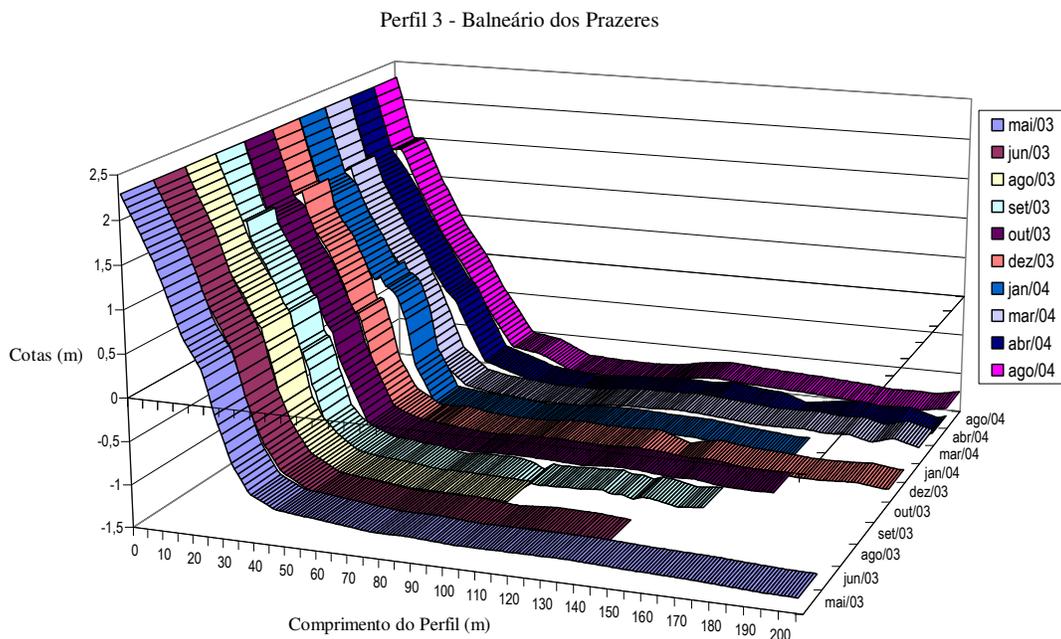


Figura 15 - Evolução Morfológica espaço-temporal da praia do Barro Duro

Desta maneira, a distância do fetch, a orientação e a morfologia da linha de costa, a altura de maré e a taxa de submergência devido às flutuações de nível são identificados como os principais controles que operam na morfodinâmica de praias estuarinas, ref. [12].

A estabilidade da região subaquosa no Perfil 3 provavelmente indica que o transporte transversal a praia “cross-shore” seja mínimo ou inexistente. Isto ocorre, pois a porção subaquosa apresenta uma camada compacta (Barro Duro). A análise granulométrica de uma amostra desta camada indica uma porcentagem significativa de silte e argila, Figura 16.

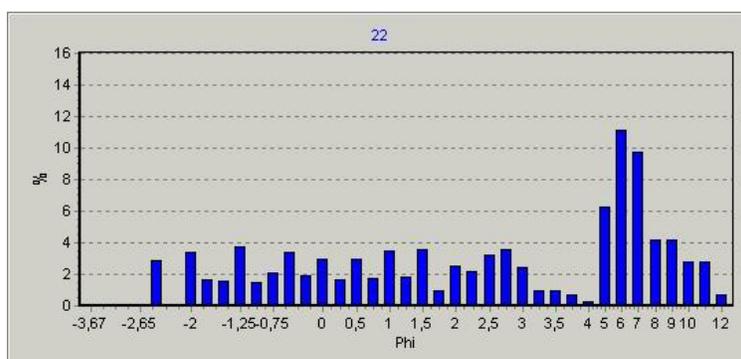


Figura 16 - Histograma da amostra granulométrica “22” que representa a camada compacta na porção subaquosa da praia do Barro Duro.

Acredita-se que esta camada compacta pode estar representando afloramentos da Formação Graxaim. Desta forma a energia de onda do local não é capaz de remover este sedimento, fazendo com que o transporte transversal de sedimentos da praia seja mínimo. 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. Acredita-se que ocorre a predominância de transporte paralelo a praia “*longshore*” que provavelmente fornece e retira sedimentos, e por fim causa um balanço negativo, entendendo-se que não existe um estoque de sedimentos na porção subaquosa.

Os perfis propostos por Jackson e Nordstron [12] evidenciam esta situação de domínio de transporte paralelo à costa. Onde ocorre a retração da linha da praia, sem a troca de sedimentos entre a porção inferior e superior da face da praia que só ocorre quando existe transporte transversal de sedimentos.

A mudança na geometria do perfil é caracterizada por um ciclo de corte no volume de sedimentos do pós-praia e posterior recuperação. Este movimento claramente representa um transporte de sedimentos transversal à costa. A demora na recuperação de um perfil em praias de baixa energia pode ser influenciada pela disponibilidade de sedimentos. A não recuperação poderá ocorrer em lugares onde o transporte paralelo é dominante e, quando as correntes que vem da direção das fontes de sedimentos são restritas, ref. [13].

Os sedimentos que compõe a porção subaérea da praia do Barro Duro são caracterizados texturalmente como areia muito grossa, com tamanho médio do grão de $-0,068 \phi$ ($\approx 1,01\text{mm}$), mediana de $-0,1 \phi$ ($\approx 1,09\text{mm}$) 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, FIG. 5.26, 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).

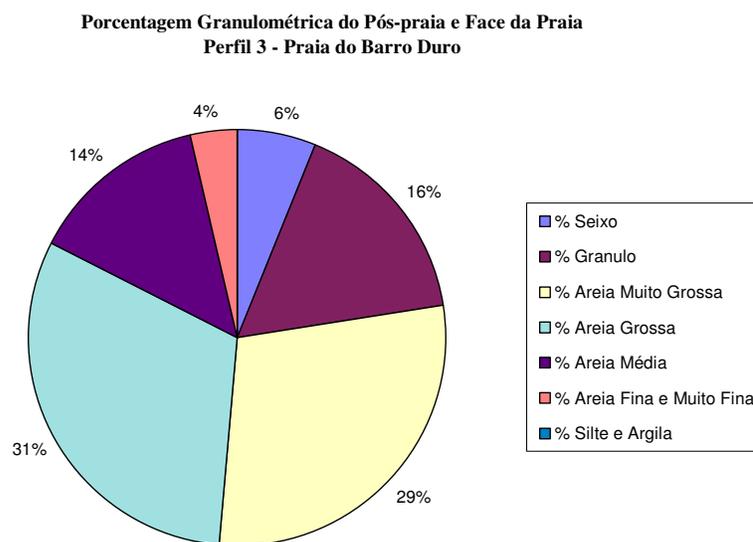


Figura 17 - Porcentagem Granulométrica do Pós-praia e da Face da praia do Perfil 3.

Foram levantados cinco perfis batimétricos ao longo das praias do Saco do Laranjal. A localização e a orientação de cada perfil batimétrico foram as mesmas utilizadas nos levantamentos dos perfis topográficos praias. Nestes perfis foram coletadas um total de 56 amostras de sedimentos, onde a maioria não apresentava características aceitáveis para obras de engordamento devido a presença de finos. Porém, ao longo do levantamento batimétrico do Perfil 4, na Praia do Totó, foram encontradas as amostras com características semelhantes a amostras da porção subaérea da praia do Barro Duro. Duas destas amostras, localizadas a 519

metros e a 887m da face da praia do Totó e a aproximadamente 4,5 km da praia do Barro Duro podem ser indicadas como uma fonte de sedimentos para o engordamento de praia, pois mostram características muito semelhantes a porção subaérea da praia do Barro Duro.

4. CONCLUSÕES

Através dos estudos e levantamentos efetuados nas praias que compõe o “Saco do Laranjal”, ficou evidenciado que a praia do Barro Duro sofre processos erosivos. Acredita-se que a alta mobilidade da face praial e do pós-praia deve-se ao fato da existência de transporte paralelo à costa, que retira sedimentos destas partes do perfil, principalmente quando o nível das águas da Laguna se eleva, modificando os locais de atuação de ondas. O transporte paralelo ocorre pela presença de correntes longitudinais que são formadas na praia devido à incidência oblíqua de ondas na costa. Outro fator que influencia nas variações da porção subaérea da praia do Barro Duro é a presença de cúspides praias, deixando a praia com uma topografia rítmica bastante evidenciada, modificando constantemente a largura do pós-praia.

Ao invés da utilização de estruturas de engenharia pesada, a obra de engordamento de praia seria uma boa alternativa para o preenchimento e revitalização da praia do Barro Duro, pois desta forma se manteria a forma natural e a estética da praia. As atividades recreacionais e comerciais seriam mantidas e até mesmo poderiam ser potencializadas, gerando maiores recursos tanto financeiros quanto sociais para a comunidade local e para o município, pois a praia estaria maior e com um aspecto mais agradável. E ainda, pelo aspecto de preservação do meio ambiente, a mata de figueiras do local estaria preservada.

Pelos estudos granulométricos dos sedimentos através da coleta de amostras ao longo dos perfis batimétricos foi verificada a existência de duas fontes de areia a uma distância de aproximadamente 4,5 km da praia do Barro Duro. Maiores estudos a respeito destas fontes de sedimentos seriam necessários para verificar se a fonte supriria o volume necessário para o preenchimento da praia.

Como geralmente ocorre a perda do material do engordamento e para que a manutenção da obra não seja efetuada em períodos muito curtos, seria adequada a adoção de uma solução mista, fazendo-se a obra do engordamento juntamente com a construção de espigões de madeira. Os espigões funcionariam bem neste tipo de praia de forma a reter o sedimento, já que foi constatado um transporte paralelo a praia. Entretanto, será necessário um estudo mais aprofundado para obtenção de dados de transporte de sedimentos, ou seja, da deriva litorânea líquida nos locais a serem engordados.

Os locais mais indicados para a obra seriam aqueles situados em frente à mata nativa, principalmente por serem os locais de uso intensivo da praia do Barro Duro pela população. Deste modo, a obra protegeria as árvores e também incrementaria o uso da praia pelos banhistas.

Os estudos, as análises e os levantamentos de dados feitos neste trabalho podem auxiliar para a realização de futuros programas de gerenciamentos costeiros, não somente nos locais estudados como também em outras áreas estuarinas, principalmente da margem oeste da Laguna dos Patos, que atualmente sofrem problemas erosivos semelhantes. Um programa de gerenciamento costeiro para estas localidades seria importante, pois em vista do grande potencial turístico, sua orla está sujeita a uma intensa ocupação futura e, ainda, por possuir importantes áreas de preservação ambiental.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BUSH, D. M.; LONGO, N. J.; NEAL, W. J.; ESTEVES, L. S., PILKEY O. H.; PILKEY D. F.; WEBB, C. A. "Living on the edge of the Gulf". *The west Florida and Alabama Coast*. Duke University Press, Durhan and London, 2001, 340 p.
2. CALLIARI, L. J.; KLEIN, A. H. da F., Características Morfodinâmicas e Sedimentológicas das Praias Oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. *Pesquisas*, Porto Alegre, UFRGS, v. 20(1), p. 48-56, Junho, 1993.
3. CALLIARI, L.J.; REIS, E.G.; ASMUS, M.L.; TAGLIANI, C.A. Gerenciamento Costeiro Integrado: Trocas e inter-relações entre os sistemas continental e oceânico adjacente. In: PROGRAMA TRAIN-SEA-COAST BRASIL, 2001, Florianópolis - SC. FURG, CIRM, DOALOS/ONU. 13ª edição, pasta com 5 módulos e 4 sub-módulos. CD-ROM.
4. CHASTEN, M. A., McCORMICK, J. W., ROSATI, J. D. Using Detached Breakwaters for Shoreline and Wetland Stabilization. U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi, 1994.
5. COLEMAN, W. E., FULFORD, E. T. Chesapeake Bay Field Modeling and Monitoring Projects. *Coastal Sediments*. New York, American Society of Civil Engineers, v. 91, p. 1727-1739, 1991.
6. DEAN, Robert G., Beach Nourishment: Processes and Performance. International Conference on Coastal Research in Terms of Large Scale Experiments. *Coastal Dynamics*, Florida, University of Florida, p. 27, 1995.
7. HARDAWAY Jr., C. S., BYRNE, R. J., *Shoreline Management in Chesapeake Bay*. Virginia Institute of Marine Science, College of William and Mary Gloucester Point, Special Report in Applied Marine Science and Ocean Engineering, nº 356, Virginia, outubro, 1999.
8. HARDAWAY Jr., C. S., GUNN, J. R., Shoreline Protection: Design Guidelines for Pocket Beaches in Chesapeake Bay, USA. *Carbonates*. ASCE – American Shore and Beach Preservation Association. 2000.
9. HARDAWAY Jr., C. S., GUNN, J. R., REYNOLDS, R. N., Breakwater Design in the Chesapeake Bay: Dealing with the End Effects. *Coastal Engineering Considerations in Coastal Zone Management*. Proceedings, 8º Symposium on Coastal and Ocean Management, New Orleans, Louisiana, p. 27- 41, 1993.
10. HEALY, R. G., KIRK, R. M., LANGE, W. P. Beach Renourishment in New Zealand. *Journal of Coastal Research*, v. 6, p. 77-90, 1990.
11. HEGGE B., ELIOT, I., HSU, J. Sheltered Sandy Beaches of Southwestern Austrália. *Journal of Coastal Research*, Flórida, v. 12 (3), p. 748-760, 1996.
12. JACKSON, N. L., NORDSTRON K. F., Site Specific Controls on Wind and Wave Processes and Beach Mobility on Estuarine Beaches in New Jersey, U.S.A. *Journal of Coastal Research*, Florida, v. 8, p. 88-98, 1992.

13. JACKSON, N. L., NORDSTRON K. F., ELIOT, I., MASSELINK, G., "Low Energy" sandy beaches in marine and estuarine environments: a review. *Geomorphology*, v.48, p. 147-162, 2002.
14. JOHNSON, L., BAUER, W. Beach Stabilization Design. *Coastal Zone*, New York, American Society of Civil Engineers, p. 1432-1445, 1987.
15. KOIKE, K. Artificial Beach Construction on the shores of Tóquio Bay, Japan. *Journal of Coastal Research*, v.6, p. 45-54, 1990.
16. MAKASKE, B., AUGUSTINUS, P. G. E. F., Morphologic Changes of a Micro-tidal, Low Wave Energy Beach Face during a Spring-Neap Tide Cycle, Rhône-Delta, France. *Journal of Coastal Research*, Flórida, v. 14 (2), p. 632-645, 1998.
17. 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, 1992. 225 p.
18. NORDSTRON, K. F., ROMAN C. *Estuarine Shores: Evolution, Environments and Human Alterations*. New York: John Wiley & Sons Ltd, 1996, 484 p.
19. OLIVEIRA, Valdir. Prazeres: Moradores Preocupados com Proteção Ambiental. *Diário da Manhã*, Pelotas, 04 fev. 2001.
20. OLIVEIRA, Valdir. Figueira do Barro Duro. *Diário Popular*, Pelotas, 04 fev. 2001. Caderno Opiniões, p. 3.
21. U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, *Low Cost Shore Protection, a Guide for Engineers and Contractors.*, 1981, 173 p.
22. U.S. ARMY ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION, Use of Segmented Offshore Breakwaters for Beach Erosion Control. *Coastal Engineering Technical Note*. Vicksburg, Mississippi, 1984.