

MODIFICAÇÃO MARGINAL DAS ILHAS ESTUARINAS USANDO FERRAMENTAS DE AEROFOTOGRAFIA, SEDIMENTOLOGIA E BATIMETRIA

Marginal Modification on the isle's estuarines using tools of the Aerophotography, sedimentology and bathymetry

Susane Rabelo de Souza-Vieira¹
Carlos Hartmann²

¹Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências/Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido - LAIT
Bolsista PROSET/CT-Hidro/CNPq
Av. Augusto Correa 1, CEP 66.075-110, Belém-PA
e-mail: susane@ufpa.br

²Fundação Universidade Federal de Rio Grande
Departamento de Geociências/Laboratório de Oceanografia Geológica - LOG
Av. Itália, km 8, CEP 96.201-900, Rio Grande-RS
e-mail: dgecaco@furg.br

RESUMO

Este estudo refere-se às características morfológicas e sedimentológicas do Saco do Arraial, situado na margem oeste da zona estuarina da Laguna dos Patos, extremo sul do Brasil. A caracterização morfológica do saco foi realizada através da aplicação de recobrimentos aerofotográficos ao longo de 52 anos, onde foi possível avaliar a mudança morfológica das ilhas ali existentes, indicando as áreas mais susceptíveis a erosão e/ou deposição de sedimento. Deste modo, com as informações obtidas através destes recobrimentos foi possível avaliar perda considerável da área marginal a nordeste das ilhas, região mais afetada pelos ventos de NE e margem noroeste da ilha da Pólvora, resultado de interferências antrópicas, que modificaram a circulação hidrodinâmica do meio. Por sua vez, a estes dados foram agregadas sondagens geológicas *in situ* nas áreas marginais, a partir do qual se fez a caracterização ambiental baseada em análises granulométricas e morfologia de fundo.

Palavras chaves: Mudanças morfológicas e sedimentológicas, cartografia, interferência antrópica.

ABSTRACT

This work is related to morphological and sedimentological features from the Saco do Arraial located at the western margin of the Patos lagoon's estuarine zone, in southernmost Brazil. The morphological characterization was accomplished using aerophotographic surveys with regard to 52 years ago, as well as it was possible to evaluate morphologic changes on the isles' margins around the study site suggesting susceptible sectors under erosion and/or accretion processes. Therefore, in accordance with those charts reasonable losses of the sediments were indicated at the isles' northeastern margins probably by northeastern wind action and, at the Pólvora Isle's northwestern margin by means of anthropogenic activities causing shifts on local hydrodynamics. In order to confirm that former cited data, *in situ* geological soundings were carried out on the margins and morphology of the bed.

Keywords: Changes morphological and sedimentological, cartography, anthropogenic activities.

1. INTRODUÇÃO

A zona estuarina da Lagoa dos Patos, aqui mencionada por “*Laguna dos Patos*”, a fim de simplificar a denominação do corpo lagunar, conecta o oceano Atlântico com a referida laguna através de um canal estreito, conhecido por Canal de Rio Grande, apresentando características ambientais nitidamente transitórias de uma laguna costeira (MARTINS, 1971) do tipo estrangulado (KJERFVE, 1986), caracterizando um ambiente estuarino (PRITCHARD, 1967). Dessa forma, a desembocadura possui um comportamento morfodinâmico extremamente instável (HAYES, 1980), em função da sua configuração morfológica e das condicionantes meteorológicas, possuindo em 70% de sua área profundidades inferiores a 1 m, sendo as maiores confinadas aos canais de navegação (HARTMANN, 1996).

Esta área é caracterizada por apresentar uma série de enseadas rasas às margens da desembocadura, denominadas “*sacos*”, definidos como corpos de água delimitados por esporões recurvados geralmente arenosos (GODOLPHIM, 1976).

A área de pesquisa compreende uma dessas enseadas, junto à margem oeste da região estuarina, denominado Saco do Arraial, onde localizam-se ilhas de diferentes tamanhos, com fisiografia suave, atingindo uma altura máxima de 0,60 m acima do nível médio da laguna: Ilha das Pombas, da Pólvora e dos Cavalos, ao sul da Ilha dos Marinheiros (Fig. 1), com orientação N-S.

O Saco do Arraial limita-se ao sul com uma península (Fig. 2), onde está localizada a cidade de Rio Grande, na desembocadura do corpo lagunar. Esta enseada possui uma área de aprox. 45 km² de área, que mesmo situada em um local relativamente protegido de ventos fortes (os mais frequentes de NE, e os de maior energia, S/SE), aliadas à baixa profundidade do local, faz com que esse ambiente seja altamente dinâmico no que diz respeito aos processos físicos de erosão, transporte e deposição sedimentar.

Ao longo destas últimas décadas, diversas modificações naturais (erosão, deposição), e intervenções antrópicas (aterros, dragagens, construções portuárias etc.) (SEELIGER & COSTA, 1998), foram inseridas na área foco, sendo necessária uma avaliação no ambiente, com a finalidade de se inferir modificações nos processos de circulação, refletidos através de transformações na configuração costeira.

Este trabalho descreve a aplicação de recobrimentos aerofotográficos e sondagens “*in situ*” como importantes aliados aos estudos de áreas costeiras, onde alterações morfológicas marginais ocorrem continuamente, devido modificações na hidrodinâmica local, seja por influência antrópica (aterros/dragagens/enrocamentos) ou por processos naturais de acreção e erosão de sedimentos.

São inúmeras as formas de avaliar modificações marginais em regiões estuarinas, na tentativa de prever alterações futuras neste corpo hídrico. Essas análises são necessárias para a produção de subsídios, usadas no monitoramento ambiental dessas regiões estuarinas, que sofrem ocupações emergentes (instalação de portos, indústrias, áreas de recreação etc.), em virtude do crescente aumento nos dias atuais da ocupação da população mundial se encontrar aí estabelecido (aproximadamente 60%), o que torna estas áreas susceptíveis as constantes modificações de circulação causadas pela interferência antrópica (DISPERATI, 1991; MEYER, 1997).

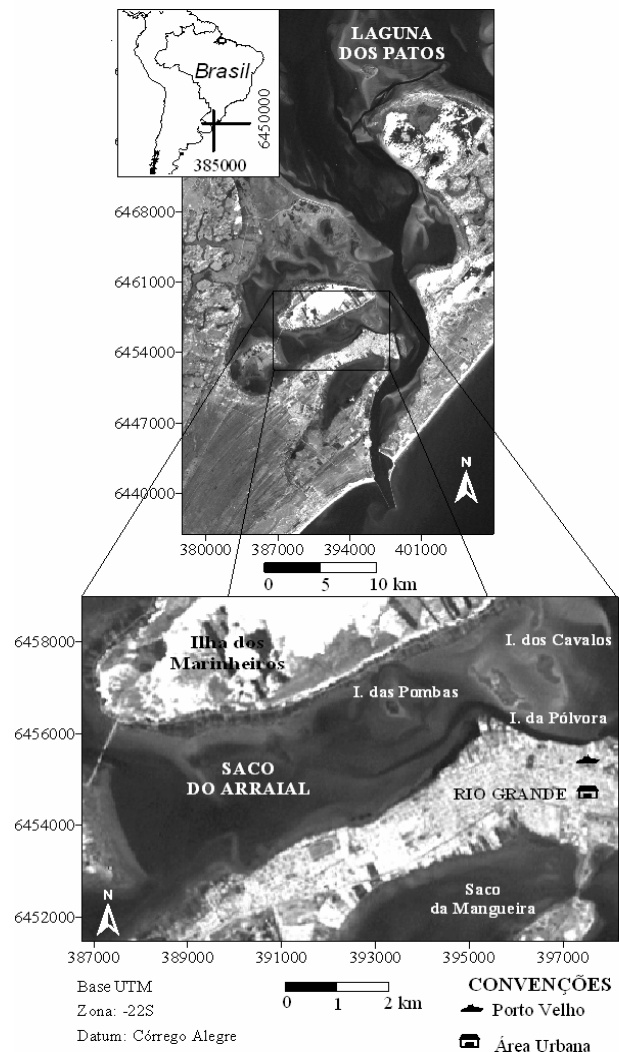


Fig. 1 - Localização da área de pesquisa.



Fig. 2 - Vista aérea oblíqua da área de pesquisa. Foto: Frederico M. Machado Neto, 2008.

Muitos trabalhos têm sido realizados na região adjacente ao Saco do Arraial, entre os quais podemos citar: aspectos geológicos (SOUZA, 2002), físico-químicos (BAUMGARTEN & NIENCHESKI, 1990), ecológicos (COSTA *et al.*, 1997) e topográficos (TAGLIANI *et al.*, 2006). O interesse se justifica pela fragilidade da região estuarina, em particular o Saco do Arraial que reúne vários ecossistemas (marismas, praias, dunas, terraços lagunares e etc.), e ao fazerem contato com pólos portuários e industriais devido à proximidade com a cidade de Rio Grande. Além disso, essas áreas representam um significado importante no ponto de vista sociocultural (população tradicional de pescadores e agricultores) e também de grande potencial turístico (museu, mirantes e etc...).

2. OBJETIVOS

O objetivo principal da pesquisa são: (i) fornecer o mapeamento da área em escala (1:40.000) do Saco do Arraial, através de recobrimentos aerofotográficos em escala temporal de 52 anos e (ii) descrever a textura dos sedimentos distribuídos em diversos pontos ao longo do saco e margens das ilhas, apontando áreas vulneráveis a acreção e erosão de sedimentos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A morfologia costeira apresenta diversas formas de investigação, dentre outras: o uso de fotografias aéreas temporais, que torna possível verificar as modificações morfológicas impostas pela ação do homem e por processos naturais (LIU, 1998). Estas observações associadas à textura dos sedimentos e morfologia do fundo permitem compreender a dinâmica sedimentar, identificando os domínios acrescionais e erosionais das margens das ilhas.

Para alcançar os objetivos propostos, as técnicas utilizadas consistiram: (i) análise de fotografias aéreas em escala temporal; (ii) coleta de dados “*in situ*” (profundidade e de sondagem de testemunhos em águas rasas), e (iii) análises texturais dos sedimentos.

3.1 TRATAMENTO DIGITAL DAS AEROFOTOGRAFIAS

As fotografias aéreas de 1947, 1953 na escala de 1:40.000 e de 1975 na escala de 1:20.000, foram obtidas no formato impresso em preto-branco. As mais recentes do ano de 1999, correspondem a fotografias aéreas de pequeno formato (FAPEF's), com importante papel no mapeamento, utilizada como ferramenta para manejo de recursos naturais (DISPERATI, 1991), ao permitirem o detalhamento necessário para visualização da área marginal. Estas FAPEF's foram obtidas no formato digital, faixa do visível, capturadas a 850 m de altitude (2.500 pés), pixel de 0,5 x 0,5 m com escala aproximada de 1:42.500, registradas pelo Sistema ADAR 1000 (*Airborne Data Acquisition and Registration*) (FONTOURA & HARTMANN, 2001), adquirido através do convênio com a Prefeitura de Rio Grande e Universidade Federal de Rio Grande (FURG).

Devido à dimensão da área e da cobertura no terreno pelas aerofotos, fez-se necessário à construção de mosaicos da área para as fotografias aéreas do ano de 1947 e 1999. O processamento e georreferenciamento das fotografias aéreas foi realizado no *software Idrisi*® v. 3.2 e seus contornos digitalizados no *software AutoCad Overlay*® 2000.

3.2 SONDAGEM BATIMÉTRICA

A baixa profundidade da área é um fator que dificulta a navegação para trabalhos de sondagem batimétrica. Para uma coluna d'água de 1 m, erros de 0,20-0,30 m são significativos. Entretanto, a sondagem foi realizada em vários perfis, utilizando-se para isto um bote de pequeno calado, boa fluviabilidade, com motor de popa (3,5 Hp) equipado com um ecobatímetro portátil marca *Hydrotac* de frequência simples 200 Khz de alta precisão (1 cm) acoplado a um GPS de navegação modelo *EZSurv Lite* precisão geodésica. Para as áreas de difícil acesso, foi realizado o método direto com a vara de prumo, utilizando-se uma régua de alumínio graduada de baixo para cima, em centímetros, com 3 m de comprimento, posicionado através de GPS com 5 m de precisão.

Para conferir a variação da lâmina d'água durante o período de sondagem foi utilizada a régua nivelada topograficamente e referenciada ao marco zero do IBGE, no Píer do Museu Oceanográfico de Rio Grande. Após a correção da altura da lâmina d'água e de acordo com o alinhamento dos “*tops*”, as isóbatas foram traçadas no *software Surfer*® v. 7, onde gerou-se o mapa batimétrico.

3.3 SONDAGEM DOS TESTEMUNHOS

Foram realizados 27 testemunhos com profundidade de 1 m, distribuídos ao longo da área (Fig. 3), sendo a maioria nas margens utilizando testemunhador mecânico específico para áreas rasas

(“*Russian Peat Borer*”) e descrição visual do sedimento *in situ*. Descrição detalhada sobre a utilização deste testemunhador pode ser encontrada em SOUZA *et al.*, 2008.

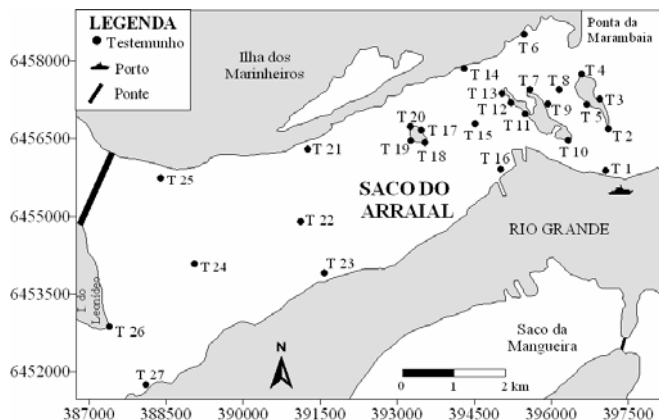


Fig. 3 - Localização dos testemunhos.

Cada testemunho foi fotografado com câmera digital Nikon com régua posicionada do topo à base do mesmo, identificação de cor e retirada amostra de sedimento para análise em laboratório, sendo posteriormente descartado a sobra de material sedimentológico. A determinação da cor do sedimento foi obtida através da comparação com o guia de cores padrão (GODDARD *et al.*, 1975). O meio flutuante utilizado para estas amostragens foi o bote de alumínio Prof. Moralles com motor de popa a serviço da frota oceanográfica da Universidade Federal de Rio Grande-FURG.

3.4 ANÁLISES DE LABORATÓRIO

No Setor de Sedimentologia do Laboratório de Oceanografia Geológica-FURG, foram analisadas as amostras, utilizando métodos clássicos de tratamento sedimentológico. A análise granulométrica foi executada mediante o procedimento mecânico, que consistiu do método de peneiramento para partículas maiores que 0,062 mm ($<4\phi$) de diâmetro e o método de pipetagem, para partículas menores que 0,062 mm ($>4\phi$), com intervalos de tamanho de grão da escala de WENTWORTH (1922). O processamento dos dados granulométricos foi efetuado no *software* de análise estatística e textural SysGran[®] 2.4 (CAMARGO, 1999). As amostras foram classificadas quanto ao tamanho médio de acordo com método de FOLK & WARD (1957).

4. CONTEXTO OCEANOGRÁFICO E GEOLÓGICO

As características hidrodinâmicas da zona estuarina são exclusivamente provocadas pelas condições meteorológicas regionais e locais de precipitação e vento, devido, principalmente, a ausência expressiva de marés astronômicas, com máximas amplitudes de $\pm 0,45$ m. Estes fatores tornam preponderantes os efeitos dos regimes anemométricos e pluviométricos, controladores do processo hidrodinâmico de ondas e correntes, determinantes da variação do nível das águas, circulação e salinidade do estuário que por sua vez controlam a dinâmica sedimentar (HARTMANN, 1996.).

Sob a influência do anticiclone do Oceano Atlântico Sul resulta a dominância de ventos NE (velocidade média de 5 m/s) durante quase todo o ano e, secundariamente, por ventos dos quadrantes S/SE (velocidade média de 8 m/s) durante a passagem de frentes frias (STECH & LORENZETTI, 1992), que são mais comuns no inverno do que no verão (TOMAZELLI, 1993).

A precipitação pluviométrica anual (1.200-1.500 mm) varia marcadamente a cada ano, relacionada, também, ao padrão e frequência da passagem de frentes frias, sendo a média mensal maior durante o inverno e a primavera (junho a outubro) (HARTMANN *op. cit.*).

A configuração morfológica atual da região estuarina é resultado de processos sedimentares, que ocorreram nos dois últimos ciclos de transgressão-regressão do Sistema Laguna-Barreira (LONG, 1989). Juntamente com o surgimento dessas barreiras arenosas, algumas ilhas sedimentares quartzosas foram formadas por terraços pleistocênicos, posteriormente cobertas por areias aluviais e eólicas recentes, além de silte e argila, em menor quantidade, denominadas por DELANEY (1965) como lacustrinas, mediante o crescimento dos pontais arenosos que proporcionou a compartimentação da laguna (GODOLPHIM, 1976).

As fontes naturais de material sedimentar para o Saco do Arraial são provenientes principalmente, do aporte fluvial por suspensão e da ressuspensão do material já depositado, onde o principal agente remobilizador de sedimentos são as ondas geradas pelo vento e, em menor escala, as correntes de enchente e vazante que ressuspendem o fundo, causando erosão, nas margens expostas a ventos predominantes (SEELIGER & COSTA, 1998). Este processo de remobilização sedimentar é a chave na reciclagem dos sedimentos finos na zona estuarina (NICHOLS, 1986).

5. MUDANÇAS NA CONFIGURAÇÃO MARGINAL DAS ILHAS ESTUARINAS

Comparando as fotografias do ano de 1947 e 1953 (Figs. 4 e 5), pode-se observar que não houve modificações sensíveis na morfologia de fundo, corroborando com as observações feitas por CALLIARI (1980), que reuniu dados a respeito da

Bacia do Porto Velho, concluindo que para os anos de 1945 a 1958 a morfologia de fundo próxima ao porto manteve-se regular, com um fluxo hidrodinâmico confinado, paralelo à península onde se localiza a cidade de Rio Grande, mostrando que esta bacia não apresentava sérios problemas de assoreamento.

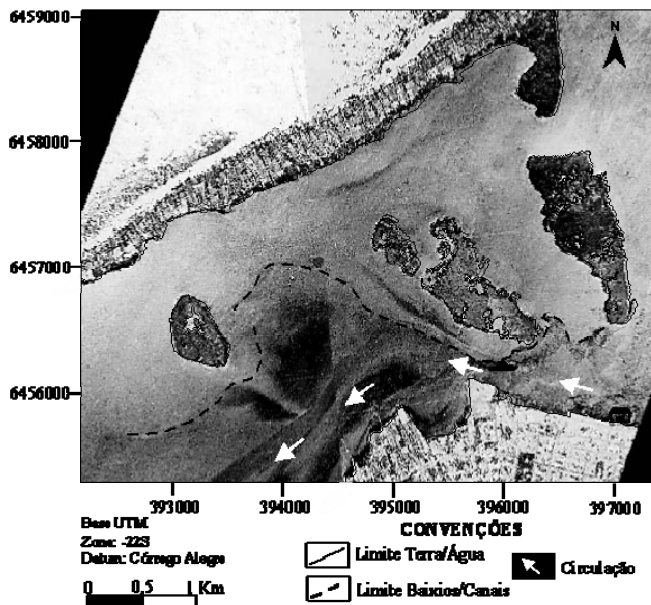


Fig. 4 - Fotografia aérea do ano de 1947. Esc. Aprox.: 1:40.000.

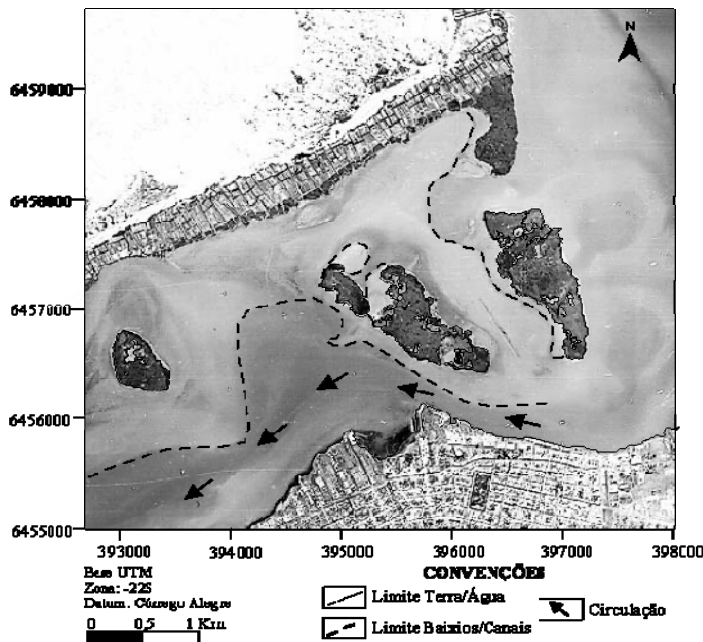


Fig. 5 - Fotografia aérea do ano de 1953. Esc. Aprox.: 1:40.000.

Entretanto, pelos resultados texturais dos sedimentos recentes coletados nos testemunhos as margens da Ilha das Pombas, verifica-se intercalações de camadas de sedimentos com areia fina na porção superior, nos primeiros 0,25 m e, abaixo deste nível, a ocorrência de fragmentos do molusco *Erodona mactroides* de forma expressiva ao longo do testemunho, chegando a afetar o grau de classificação do sedimento (T 17, T 18 e T 20) (Fig. 6), indicando que esta margem é vulnerável, nos dias atuais, as condições hidrodinâmicas, inibindo, portanto, a deposição de sedimentos finos, sendo caracterizada como margem erosional (Fig. 7).

Esta observação corrobora com os dados obtidos nas aerofotos de que esta margem é vulnerável a hidrodinâmica através de processos erosionais nos últimos 52 anos. Entretanto, na margem oeste a predominância de sedimentos silticos (T 19) (Fig. 6), sugere a deposição deste tipo de material, caracterizando a margem como acrescional (Fig. 7).

Na fotografia de 1975 (Fig. 8) observa-se que em consequência do estreitamento do canal paralelo à margem da cidade, causado pelo aterro usado na expansão da ocupação urbana, e aos enrocamentos marginais, fins da década de 60, principalmente nas proximidades do que é atualmente o Yacht Club, deu origem à modificação na circulação com aumento na velocidade de fluxo, gerando, um extenso processo erosivo ao longo da margem oeste da Ilha da Pólvora com aproximadamente 12,41 m de perda de área marginal no período de 52 anos, comparando com o recobrimento fotográfico do ano de 2000 (Fig. 9).

LÉLIS *et al.* (2000) quantificaram a partir de processamentos digitais em aerofotografias para os períodos de 1947-1975 e 1975-1999 a perda de 7,53 e 6,58 ha de marismas para esta ilha. Estudos de AZEVEDO (2000), também, verificou erosão na margem oeste desta ilha, no período de 1995-1997, o que sugere que a perda de áreas de marismas, evidenciadas nas fotos, representam a movimentação de grande volume de sedimento.

É evidente que o efeito do aterramento na margem da cidade, condiciona uma circulação diferente, adicionado principalmente pelos efeitos externos dos fortes ventos de SE, mais fortes, e que geralmente acompanham as frentes frias no inverno, provocando a subida da altura da lâmina d'água, configurando na margem oeste a perda perceptível de sedimentos por processos erosivos ao longo dos 52 anos.

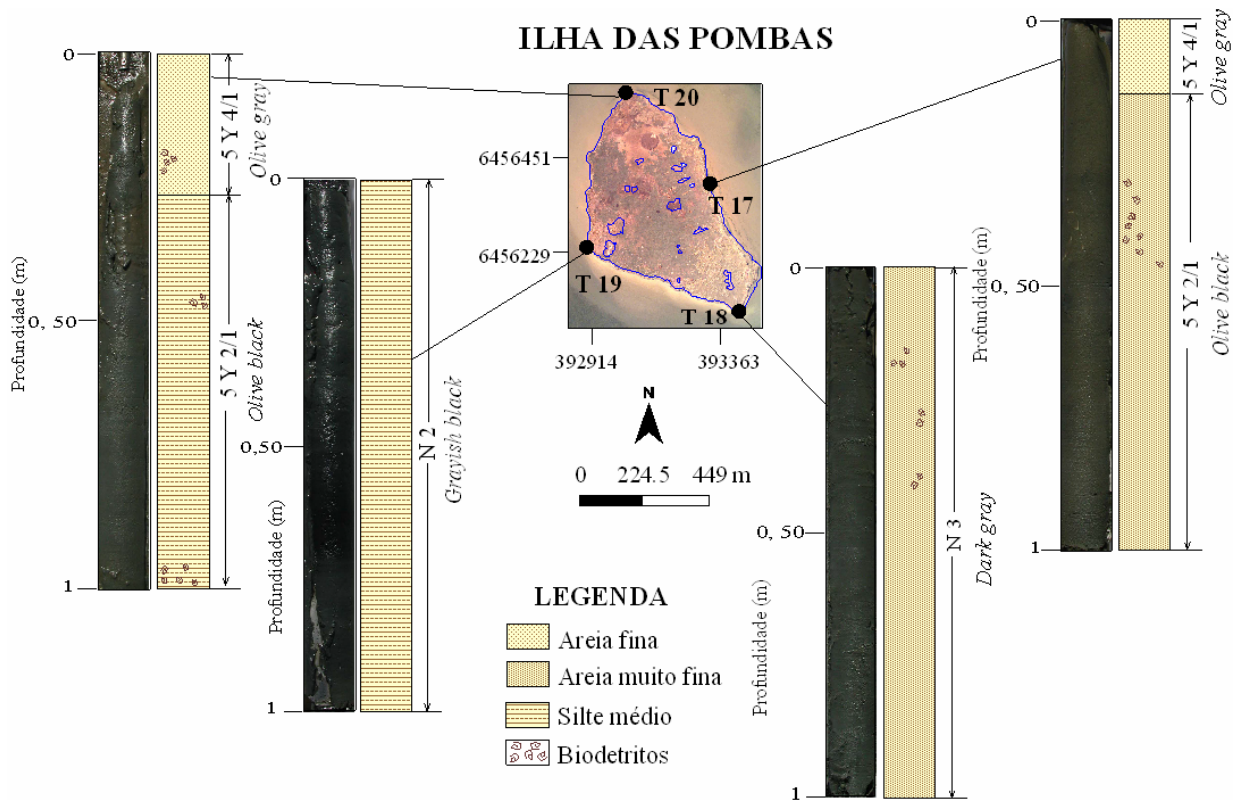


Fig. 6 - Distribuição dos testemunhos nas margens da Ilha das Pombas, e caracterização textural de suas margens, juntamente com classificação de cores segundo GODDARD *et al.* (1979).

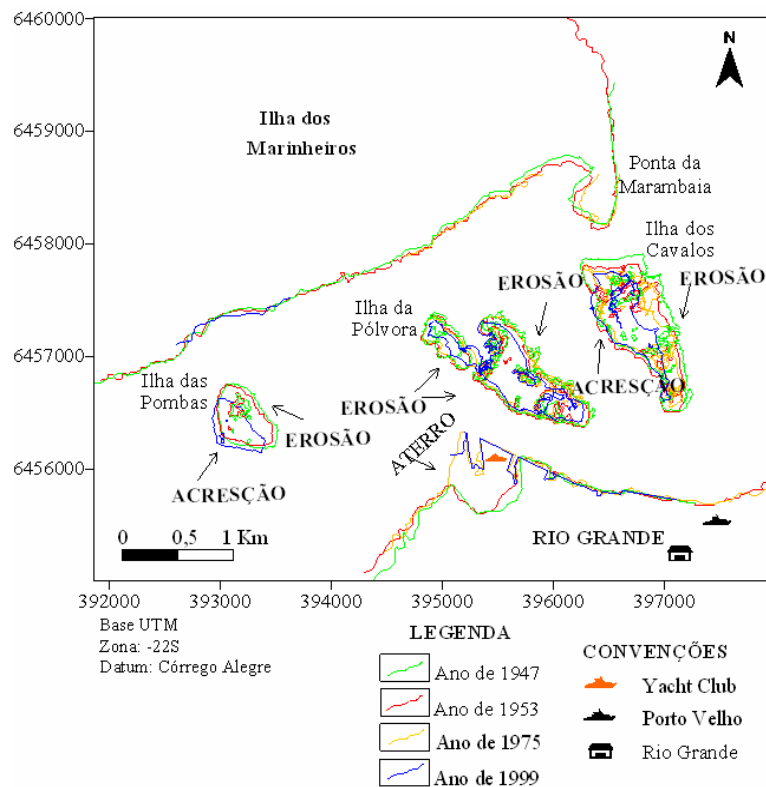


Fig. 7 - Mapa de vulnerabilidade das margens das ilhas, quanto a acreção e erosão de sedimentos.

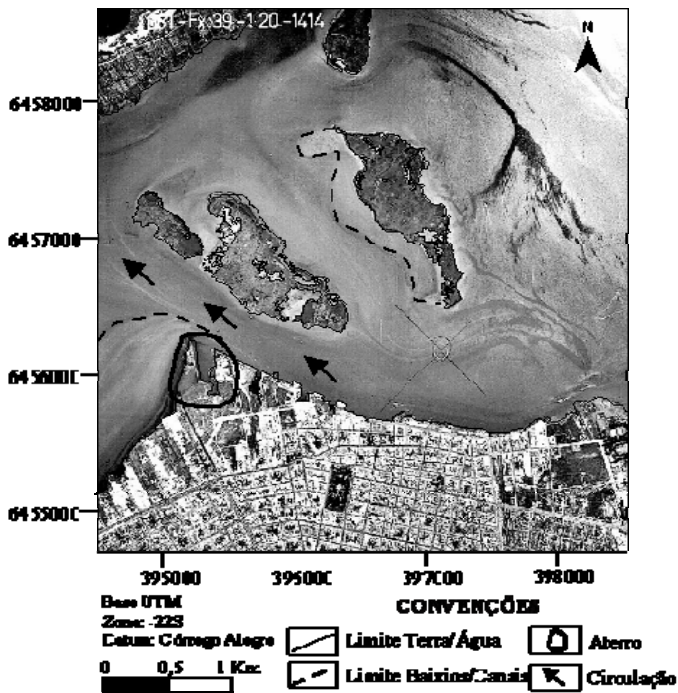


Fig. 8 - Fotografia aérea do ano de 1975. Esc. Aprox.: 1:40.000.

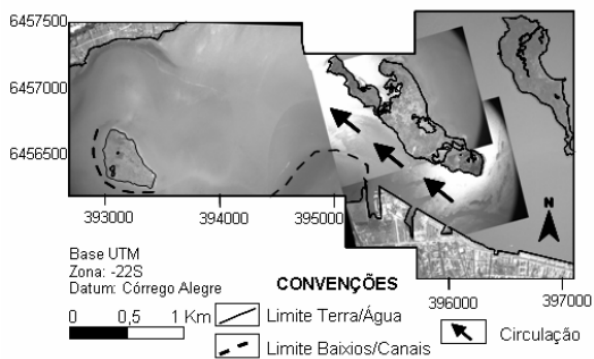


Fig. 9 - Fotografia aérea do ano de 1999. Esc. Aprox.: 1:40.000.

Na margem leste da Ilha da Pólvora é perceptível a feição concava na morfologia de fundo e marginal, como mostrado no perfil A-A' (Fig. 10), o que reflete o processo de erosão desta margem. Este processo erosional é comprovado através das nítidas intercalações de sedimentos sílticos com areia fina na porção superior do testemunho, com contato brusco entre estas camadas (T 10, T 11) e ocorrência de intercalações de biodetritos *Erodona mactroides* nos sedimentos de granulometria silte médio (T 12), sugerindo, uma margem exposta a variações bruscas na hidrodinâmica. Sedimentos inteiramente sílticos no testemunho foram encontrados apenas ao norte da ilha (T 13) (Fig. 11).

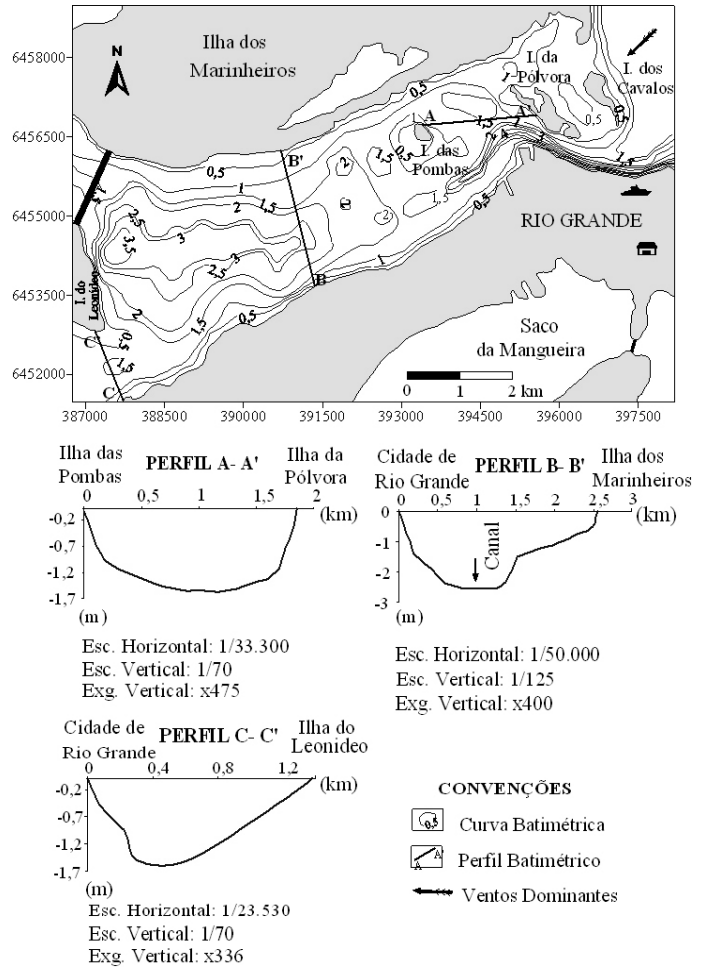


Fig. 10 - Morfologia de fundo e perfis transversais as margens das ilhas estuarinas.

Na margem leste desta ilha os testemunhos (T 7 e T 9) mostraram intercalações bruscas de sedimentos arenosos com sílticos (Fig. 11). Analisando a sobreposição das fotografias aéreas observa-se que a configuração geral das margens se modifica nitidamente ao longo dos 52 anos com perda de 41,83 m de sua margem, confirmando com os dados de morfologia de fundo e aspectos texturais dos sedimentos marginais.

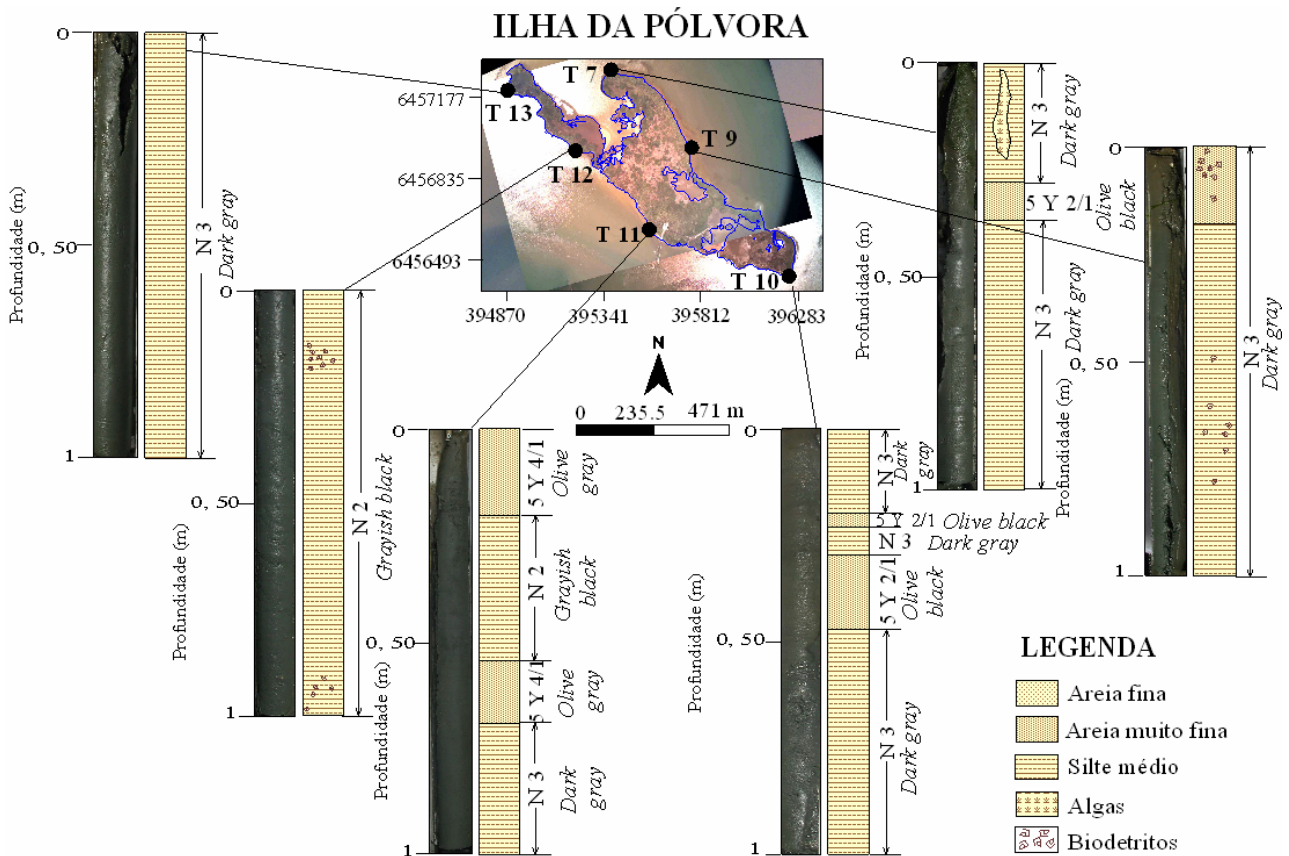


Fig. 11 - Distribuição dos testemunhos nas margens da Ilha da Pólvora, e caracterização textural de suas margens, juntamente com classificação de cores segundo GODDARD *et al.* (1979).

No mapa de vulnerabilidade (Fig. 7) considera-se esta ilha como susceptível aos processos hidrodinâmicos, com erosão em suas margens devido a processos naturais e intervenções humanas.

Na Ilha dos Cavalos os sedimentos coletados nos testemunhos (T 2, T 3 e T 4) (Fig. 12) evidenciaram texturalmente a susceptibilidade desta ilha aos processos hidrodinâmicos causados pela dinâmica sedimentar em suas margens. Na margem leste, mais exposta e desabrigada da ilha observa-se que a distribuição dos sedimentos é intercalada com contatos bruscos entre areia fina e silte médio e, também, com a ocorrência de biodetritos do molusco *Erodona mactroides*, principalmente próximo ao topo do testemunho. Esta margem ao longo dos últimos 52 anos perdeu gradualmente uma grande quantidade de sedimentos, de aproximadamente 132,47 m, sendo considerada como uma margem altamente vulnerável as condições externas dos freqüentes ventos de NE e SE (Fig. 12).

Na margem oeste, abrigada desta ilha, ocorrem sedimentos silticos em todo o testemunho e ocorrência de algas isoladas próximo ao topo (T 5), caracterizando uma hidrodinâmica calma condicionada a esta margem, com 17,35 m de acresção de sedimentos ao longo dos 52 anos.

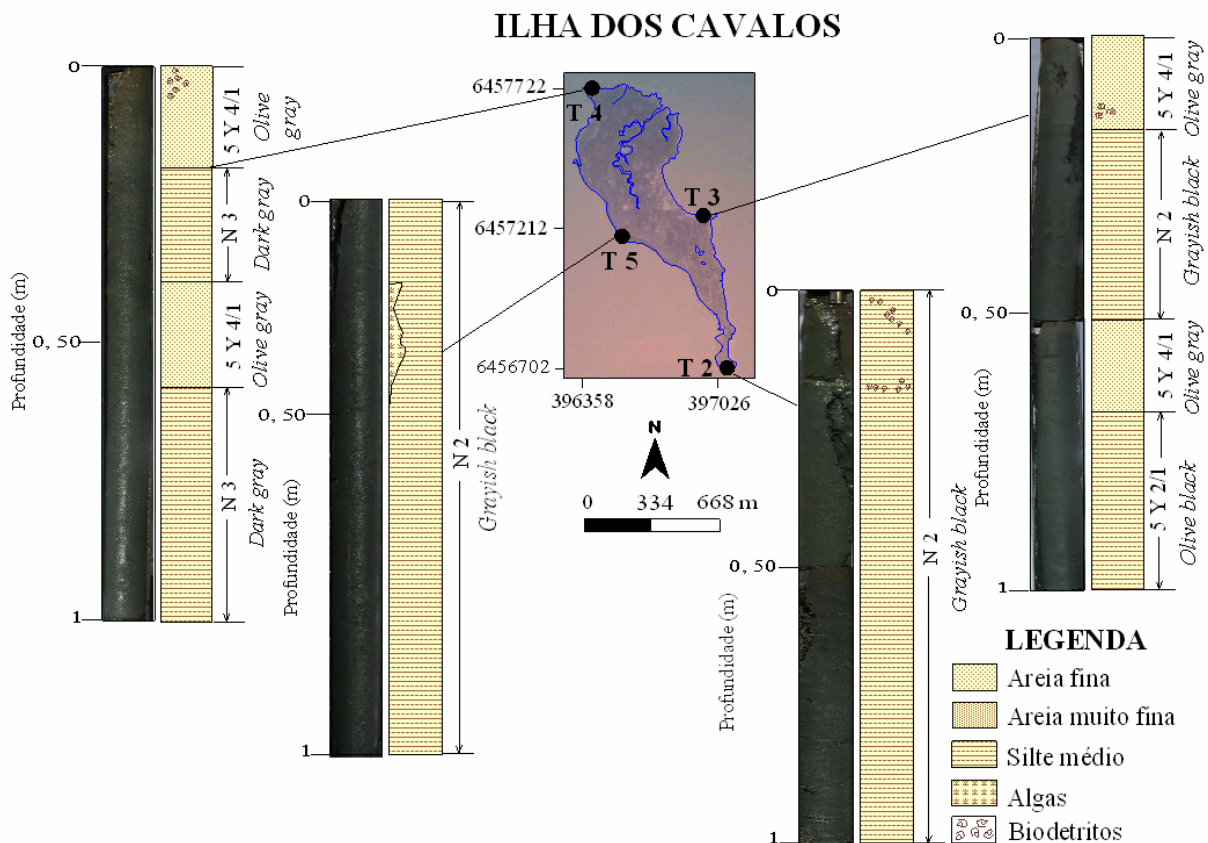


Fig. 12 - Distribuição dos testemunhos nas margens da Ilha dos Cavalos, e caracterização textural de suas margens, juntamente com classificação de cores segundo GODDARD *et al.* (1979).

Apartir das diferentes técnicas apresentadas, usadas de forma direta e indireta foi possível identificar modificações morfológicas nas margens das ilhas estuarinas ao longo dos anos analisados, como mostrado na Fig. 7, apontando perda considerável de área marginal a nordeste, principalmente da Ilha dos Cavalos região exposta aos ventos de NE e SE e deslocamento e/ou perda de área marginal a leste da Ilha das Pombas. As análises sedimentológicas contribuíram para tornar evidentes as alterações morfológicas, a partir da integração com dados texturais dos sedimentos que recobrem as áreas marginais das ilhas, os quais poderiam ser considerados locais teoricamente protegidos de eventos de alta energia, que tiveram seus ambientes modificados hidrodinamicamente como resposta a presença de influências antrópicas (aterros/enrocamentos), e interação dos efeitos externos do vento.

Na península da cidade, nos testemunhos (T 16, T 23 e T 27), nota-se a presença de material arenoso, indicando uma gradação entre areias finas a muito finas (Fig. 13). Entretanto, nos testemunhos (T 6, T 14, T 21 e T 25) coletados na margem da Ilha dos Marinheiros, o material tem uma granulometria de areia muito fina intercalado com silte, refletindo, portanto, condições hidrodinâmicas diferentes.

No perfil B-B' (Fig. 10), a convexidade marginal da Ilha dos Marinheiros, reflete o processo deposicional desta margem, enquanto o processo

erosional é identificado pela forma côncava deste mesmo perfil na margem da cidade, sugerindo, portanto, uma margem exposta a variações abruptas da hidrodinâmica.

O mesmo acontece com os testemunhos coletados na margem da Ilha do Leonídeo (T 26) que apresenta nos 0,10 m superiores de areia fina e em direção a base areia muito fina. No perfil C-C' classificou-se o perfil com uma convexidade, típica de margem acrescional, na Ilha do Leonídeo, enquanto para a cidade uma margem com tendência erosional. Os testemunhos estão ilustrados na Fig. 13.

No testemunho coletado na entrada do saco próximo a margem da cidade (T 1) o material foi classificado como siltico, resultado da deposição por floculação na forma de lama fluída, resultado da ação da água do mar (Fig. 13).

Os testemunhos coletados nas regiões centrais, mais profunda e abrigada (T 8 e T 15) mostraram a deposição de areia muito fina sobre os sedimentos silticos, sobretudo no T 15, sugerindo a existência de uma seqüência de sedimentação de finos na parte central e arenosa nos flancos marginais, com interdigitação dos dois domínios principais.

No T 22 uma camada de lama bastante fluída, provavelmente representa a contribuição atual da carga em suspensão. Enquanto, que no T 24 observa-se, um bom grau de compactação da lama, a partir dos 0,20 m

do topo, o que indica uma seqüência mais antiga que a da zona superficial que possui biodetritos.

Como resultado geral, pode-se concluir que os testemunhos localizados na parte central do corpo lagunar e nas áreas rasas abrigadas aos fortes ventos e correntes são tipicamente constituídos de sedimentação fina, alguns predominantemente silticos. Entretanto,

nas áreas desabrigadas e sujeitas a ação de corrente e ventos nota-se seqüências alternadas de sedimentos silticos e arenosos, com contatos bruscos bem definidos, indicando mudanças rápidas no regime hidrodinâmico da área.

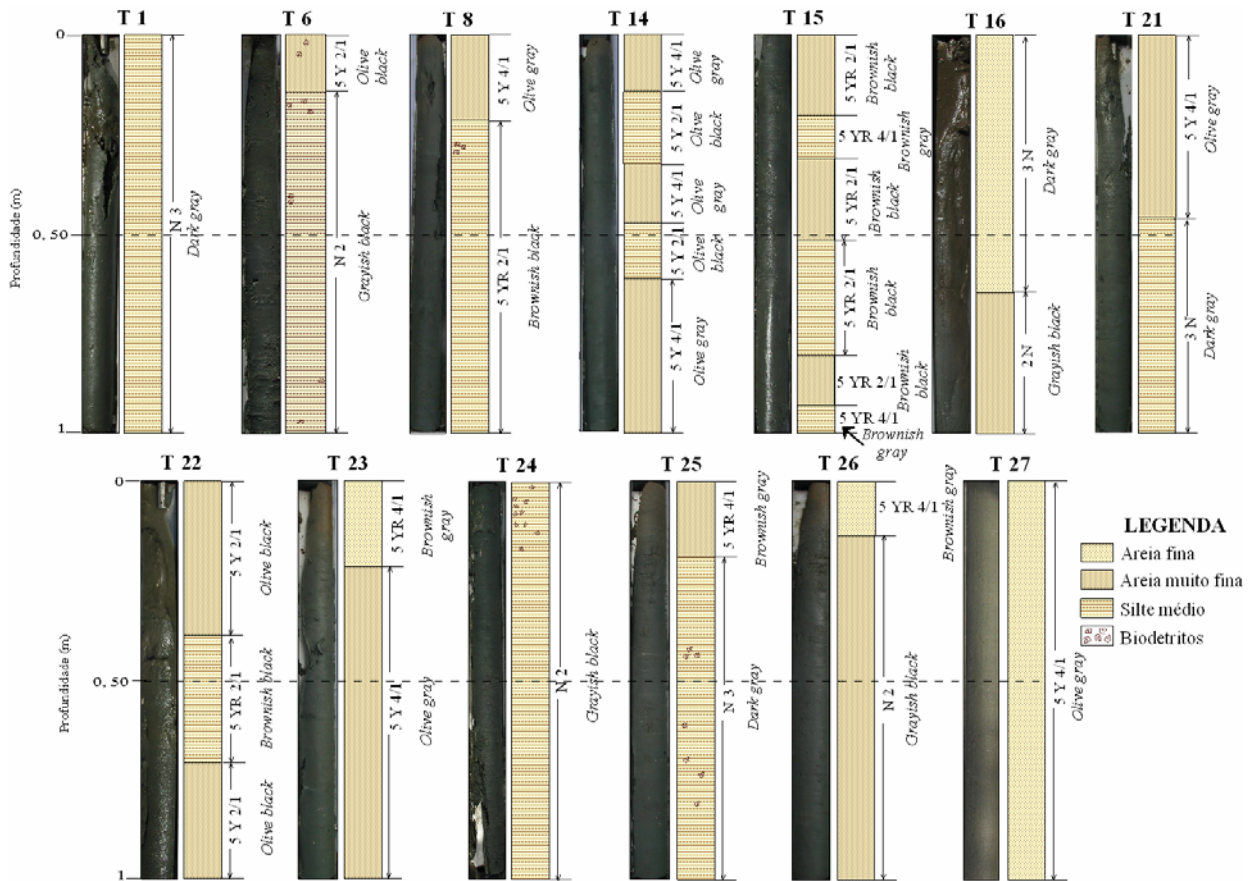


Fig. 13- Testemunhos coletados ao longo das margens e áreas centrais do Saco do Arraial.

De forma geral, sabe-se que além de outros agentes, o vento é o fator externo mais importante no transporte de material e o principal responsável no aumento da turbidez da água causada pela ressuspensão de material já depositado, tanto no fluxo de vazante como no de enchente.

Assim, tanto, em situações de vazante como de enchente, é o vento do quadrante E que, remove os sedimentos dos taludes côncavos das ilhas na margem oeste, desabrigada, que promovem a deriva de material mais fino no sentido oeste e depositando na margem abrigada da Ilha das Pombas.

Secundariamente, na margem da Ilha dos Cavalos a deriva ocorre por ação das correntes geradas pelos ventos de NE e SE, pois estes ventos controlam a circulação das águas, gerando ondas e correntes litorâneas. Esta circulação é ainda influenciada pelo fornecimento d'água ao corpo lagunar pelos rios provenientes da margem lagunar e pela Laguna Mirim

através do Canal São Gonçalo, tornando a área um ambiente vulnerável a processos erosionais/deposicionais em suas margens.

Como decorrência, é possível concluir a existência de períodos alternados dos regimes de sedimentação do corpo d'água, sendo mais expressivo no período de cheias, com a maior contribuição de sedimentos ao sul da desembocadura, devido à predominância dos ventos do quadrante NE. Estes ventos quando associados a uma alta precipitação pluviométrica, propiciam a formação de uma pluma de direção SW, onde os sedimentos finos transportados nessa pluma floculam e são depositados nas proximidades da desembocadura em forma de lama fluída recobrendo parcialmente as areias da parte rasa.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As enseadas rasas do estuário da Laguna dos Patos vêm sofrendo modificações naturais (erosão, deposição) e artificiais (aterros, dragagens, construções portuárias, além de outras), que afetam principalmente a circulação e indiretamente os processos de erosão e deposição ao longo dos últimos 52 anos, resultado da sedimentação natural, a partir da evolução constante, devido ao regime de ventos e aos totais de precipitação das bacias hidrológicas Patos e Mirim.

Por outro lado, também tem recebido influências diretas de processos antrópicos, como os aterros, para o desenvolvimento urbano e portuário, afetando sobremaneira áreas de habitats vitais das pradarias submersas e marismas. Estes habitats são particularmente sensíveis a mudanças de circulação, que se reflete numa dinâmica sedimentar com acreção e erosão marginal das ilhas estuarinas.

A dinâmica sedimentar gerada pela hidrodinâmica local implica na deposição e erosão marginal, influenciando desse modo no caráter morfológico das margens, que são ocupadas pelas marismas, que facilitam a deposição do material em suspensão, reduzindo a erosão na área. Entretanto, processos erosivos também ocorrem neste sistema, em margens expostas a ventos predominantes ou próximos a canais de navegação naturais ou produzidos por dragagens.

Neste sentido, a utilização de fotografias aéreas temporais tornou-se um recurso técnico importante para analisar com visão geoambiental, pois permite comparar ao longo do tempo a evolução marginal destas ilhas, além de fornecer subsídios para o mapeamento de detalhe destas áreas de proteção, que por definição possuem um expressivo significado ecológico e que devem ficar livres de qualquer desenvolvimento e protegidas de degradação.

Com o uso das fotografias aéreas temporais georreferenciadas na mesma escala, foi possível avaliar a alteração morfológica das ilhas, permitindo construir o mapa de vulnerabilidade, quanto à acreção e erosão marginal.

A presente pesquisa evidenciou grande quantidade de informações nas aerofotografias constituindo, uma importante ferramenta as quais possibilitaram, na caracterização de alguns aspectos como resultado da hidrodinâmica do meio. Todavia, ficou também demonstrado que, em investigações desta natureza, é importante que o pesquisador tenha conhecimento sobre o local, servindo como suporte a investigação. Para isso as informações obtidas através das observações realizadas pelo recobrimento aerofotográfico, associados com as informações *in situ* de morfologia de fundo e aspectos texturais de sedimentos, possibilitaram conhecer as modificações da morfologia do saco e das ilhas.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de mestrado (Processo 130975/2000-1) financiado ao primeiro autor. Ao MSc. Juliano César Marangoni (Lab. de Ecologia Vegetal Costeira - FURG) pelo fornecimento de algumas fotografias aéreas. Ao Prof. Dr. Carlos R. A. Tagliani pelo auxílio no uso do *software Idrisi*® v. 3.2 e Prof. MSc. Gilberto Griep pelo apoio dispensado para a execução das atividades de campo e utilização do testemunhador, modelo "Russian Peat Borer", ambos do Laboratório de Oceanografia Geológica - FURG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUTODESK Inc. 2000. Manual do Usuário - CAD Overlay v2000.
- AZEVEDO, A. M. G. 2000. Hábitats, Associações Vegetais e Fenologia das Plantas das Marismas da Ilha da Pólvora, Estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil). Dissertação de Mestrado. Fundação Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande-RS, 121p.
- BAUMGARTEN, M. da G. & NIENCHESKI, L. F. 1990. O Estuário da Laguna dos Patos: Variações de Alguns Parâmetros Físico-Químicos da Água e Metais Associados ao Material em Suspensão. *Ciência & Cultura*, **42** (5/6):390-396.
- CALLIARI, L. J. 1980. Aspectos Sedimentológicos e Ambientais da Região Sul da Lagoa dos Patos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre-RS, 190p.
- CAMARGO, M. G. 1999. Sysgran para Windows: Versão 2.4. Sistema de Análises Granulométricas. Pontal do Sul-PR. Download disponível gratuitamente em: www.ufpr.br.
- COSTA, C. S. B.; SEELIGER, U.; OLIVEIRA, C. P. L. & MAZO A. M. M. 1997. Distribuição, Funções e Valores das Marismas e Pradarias Submersas no Estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil). *Atlântica*, Rio Grande-RS, **19**: 65-83.
- DELANEY, P. J. V. 1965. Fisiografia e Geologia da Superfície da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. *Publicação Especial da Escola de Geologia*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, 6:1-105.
- DISPERATI, A. A. 1991. Obtenção e Uso de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR, 289p.
- EASTMAN, J. R. 1995. Idrisi para Windows. Manual do Usuário. Clark University, Worcester: 440 p.
- FOLK, R. L. & WARD. W. C. 1957. Brazos River Bar: A Study in the Significance of Grain Size Parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, Tulsa, Okla, 27(1):3-26.
- FONTOURA, J.A.S & HARTMANN, C. 2001. Capture small format aerial digital images using the airborne data acquisition system (ADAR 1000) from positive System Company. *Pesquisas*, 28 (2):373-381.

- GODDARD, E. N.; TRASK, P. D.; FORD, R. K.; ROVE, O. N.; SINGEWALD, J. T. & OVERBECK, R. M. 1975. *The Rock-Color Chart Committee*. Geological Society of America Boulder, Colorado, USA, 31p.
- GODOLPHIM, M. F. 1976. Geologia do Holoceno Costeiro do Município de Rio Grande-RS. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre-RS, 146p.
- GOLDEN SOFTWARE Inc., 1999. Surfer para Windows. Versão 7. Manual do Usuário. Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers.
- HARTMANN, C. 1996. Dinâmica, Distribuição e Composição do Material em Suspensão na Região Sul da Laguna dos Patos, RS. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre-RS, 363p.
- HAYES, M. O. 1980. General morphology and sediment patterns in tidal inlets. *Sedimentary Geology*, 26: pp. 139-156.
- KJERFVE, B. 1986. Comparative Oceanography of Coastal Lagoons. In: Wolfe D.A. (ed.). *Estuarine Variability*, Academic Press, New York, 63-81.
- LIU, J. K. 1998. *Developing Geographic Information System Applications in Analysis of Responses to Lake Erie Shoreline Changes*. The Degree Master of Science in the Graduate School of the Ohio State University, 119 p.
- LÉLIS, R. F., HARTMANN, C. & GRIEP, G. 2001. Batimetria e Dinâmica Sedimentar dos Canais, Margens e Áreas Rasas da Extremidade Sul da Laguna dos Patos, RS, Brasil. *Relatório Interno (PELD/ECOLAP)*: 17 p.
- LONG, T. 1989. Le Quaternaire Littoral du Rio Grande do Sul. Témoin des Quatre Derniers Episodes Eustatiques Majeurs. *Geologie e Evolution. These de Doctorat. Univesité de Bordeaux I*, 282:183p.
- MARTINS, L. R. 1971. Sedimentologia do Canal do Rio Grande. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre-RS, 38p.
- MEYER, P. M. 1997. History of Small Format Aerial Photography. The First North American, Symposium on Small Format Aerial Photography. In: Cloquet, Minnesota, USA, 3 p.
- NICHOLS, M. M. 1986. Effects of Fine Sediment Resuspension in Estuaries. *Coastal and Estuarine Studies*. In: Mehta, A. J. (ed.). *Estuarine Cohesive Sediment Dynamics*, Springer-Verlag, Berlin, 14:5-41.
- PRITCHARD, D. W. 1967. What is an Estuary: Physical Viewpoint. In: Lauff, G. H. (ed.). *Estuaries*. American Association for the Advance of Science, 83:3-5.
- SEELIGER, U. & COSTA, C. S. B. 1998. Impactos Naturais e Humanos. In: Seeliger, U., Odebrecht, C. & Castello, J. P. (eds.). *Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil*. Editora Ecocientia. Rio Grande-RS, 219-226.
- SOUZA, S. R. 2002. *Caracterização morfo-sedimentar do Saco do Arraial – extremo sul da Laguna dos Patos/RS*. Dissertação de Mestrado. Fundação Universidade Federal de Rio Grande. 164 p.
- SOUZA, S. R.; OLIVEIRA, A. O. & HARTMANN, C. 2008. Utilização do Testemunhador Russian Peat Borer no Saco do Martins e Arraial, Estuário da Laguna dos Patos: RS, Brasil. *Gravel*, 6(1):1-13.
- STECH, J. L. & LORENZETTI, J. A. 1992. The Response of the South Brazil bight to the Passage of Wintertime Cold Fronts. *Journal Geophysical Research*, 97(C6):9507-9520.
- TAGLIANI C. R. A., CONTERATO M. R., ANTIQUEIRA J. A. F., CALLIARI L. J., TAGLIANI P. R. & SOARES M. N. 2006. Construção de um Modelo de Elevação Digital de Terreno para a Ilha dos Marinheiros, Rio Grande, RS, com Uso de DGPS e Rotinas de Geoprocessamento. *Gravel*, 4: 89-98
- TOMAZELLI, L. J. 1993. O Regime dos Ventos e a Taxa de Migração das Dunas Eólicas Costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas*, Porto Alegre-RS, 20(1):18-26.
- WENTWORTH, C. K. 1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *Journal Sedimentology Petrology*, 30:377-392.