

MORFODINÂMICA DO BANCO DAS TRÊS MARIAS – BARRA DO RIO GRANDE

ELAINE SIQUEIRA GOULART & LAURO JÚLIO CALLIARI
 Universidade Federal do Rio Grande – FURG – Laboratório de Oceanografia Geológica, Rio Grande – RS – Brasil.
 Caixa Postal 474, CEP: 96201-900 elainegoulart@gmail.com, tsclauro@furg.br

RESUMO

Dados batimétricos detalhados obtidos na antepiraia adjacente ao Molhe Oeste conhecida como banco das Três Marias, evidenciaram a presença de uma fossa junto a extremidade do molhe e um banco na forma de domo a SO da depressão. O banco tem sua base e crista respectivamente nas cotas de 8 e 6 m. A feição é aproximadamente oval, com o eixo maior semiparalelo à costa (sentido NNE – SSO) medindo aproximadamente 1600 m. O eixo menor, quase transversal à costa (sentido L-O), apresenta cerca de 1200 m de extensão. O banco representa o resquício do lobo terminal do delta de maré vazante (barra) da laguna formado durante a fixação de sua desembocadura. A fossa junto ao cabeço do molhe apresenta pendente íngreme, que inicia na isóbata de 8 m e alcança a isóbata dos 17 m, sendo provavelmente formada pela ação da corrente longitudinal de SO para NE. Foram coletadas também amostras de sedimento. Estes dados evidenciaram ao menos três subambientes refletindo diferentes níveis de energia. Do mais enérgico para o menos: o banco, onde o sedimento é mais grosso e melhor selecionado, a antepiraia, com o sedimento pouco mais fino e a fossa, onde foi amostrada lama, mal selecionada.

PALAVRAS CHAVE: Batimetria, sedimentologia, delta de maré vazante, antepiraia

ABSTRACT

Três Marias Bank'S morphodynamics – Rio Grande Bar

The shoreface near the West jetty of the Lagoa dos Patos inlet was surveyed detailly. Beyond the bathymetric data, sediment samples were collected. The data showed a scour hole near the head of the jetty, and a shoal located SW the structure. The shoal starts at isobath of 8 m and its crest is located at the isobath of 6 m. The feature is almost oval, its greatest axis (NNE-SSW) is almost 1600m long,123; the smallest is 1200m. The shoal was identified like what have been left from the ebb tidal delta that used to grow in the lagoon inlet. The scour hole presents high slope, starts at 8m and ends at 17m. We supposed it is generated by interaction of coastal currents and the jetty. The samples of sediment evidenced the different energy regimes in each environment. Fine and very fine sand at the shoal and the surf zone respectively showed a more energetic regime, and the mud in the scour hole highlighted a low energy environment.

KEYWORDS: Bathymetry, sedimentology, ebb tidal delta, shoreface

INTRODUÇÃO

As desembocaduras (*inlets*) são acessos entre estuários e oceanos de grande importância tanto para o homem como para a natureza. Obras de engenharia bem-sucedidas em desembocaduras dependem de conhecimentos hidrodinâmicos e sedimentológicos nas áreas adjacentes.

A geometria de uma desembocadura é função de um sistema de controle auto ajustável, refletindo periódicas reversões de fluxo, sedimentação e o regime de ondas incidente. Hubard *et al.* (1979) dividiram as desembocaduras em três categorias: dominadas pela maré; transicional e dominadas por ondas evidenciando que o balanço entre ondas e maré determina a posição, o tamanho e a forma da desembocadura e das feições de fundo. Sistemas dominados por ondas possuem múltiplos canais rasos e variáveis, estruturas de vazante pouco desenvolvidas, e baixios de enchente com um grande, ou vários lobos terminais

A presença da desembocadura interrompe o transporte de sedimento ao longo da costa, podendo esta ser vista como uma “barreira hidráulica” para a deriva sedimentar. O sedimento que é barrado pode ficar ‘estocado’ a montante do sistema (Davis 1985).

A dominância de acúmulos de enchente ou de

vazante depende da direção da corrente residual, que pode ser controlada tanto pela assimetria da onda de maré ou por aumento do prisma de maré por descarga continental. Com o tempo, estas estruturas podem crescer consideravelmente, perturbando futuramente o campo de ondas incidentes (Carter 1988).

A configuração de cada desembocadura pode variar significativamente ao longo do tempo, sendo principalmente influenciada pelo equilíbrio entre o sedimento e a hidrodinâmica. (USACE 2002). A descrição detalhada da morfologia de fundo nas adjacências de desembocaduras é subsídio fundamental para estudos hidrodinâmicos associados a modelos numéricos especialmente os que enfocam a segurança a navegação.

Localizada à SO da extremidade (cabeço) do Molhe Oeste existe uma região de arrebenção de ondas, local onde, durante tempestades, frequentemente se observa arrebenção das mesmas (Figura 1), e é popularmente conhecido como “região das Três Marias”, ou ainda, “banco das Três Marias” (alusão a um provável sistema linear de bancos de areia, que levariam à quebra de onda no local).

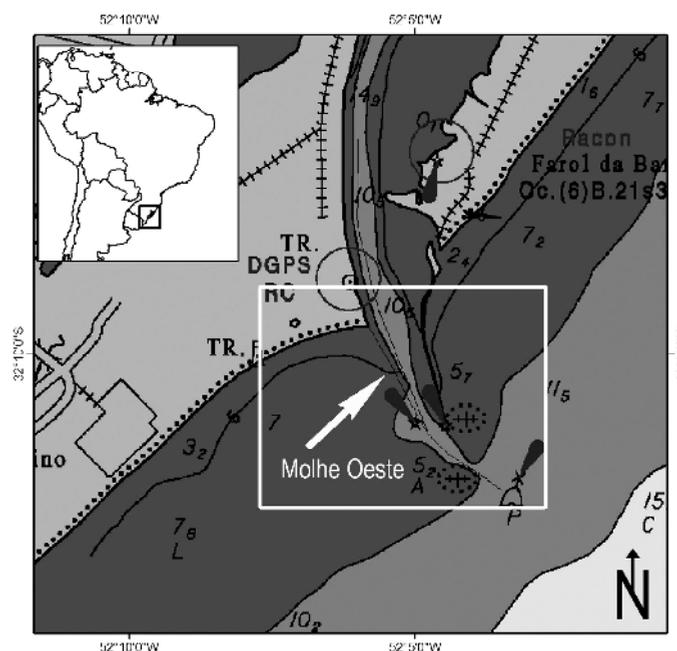


FIGURA 1 – Localização da área de estudo e fotos oblíquas ilustrando a linha de arrebentação nas Três Marias. Em detalhe arrebentação do tipo deslizante sobre o banco. Fotos de Pedro de Souza Pereira em 22 de maio de 2007.

O fato da existência de arrebentação à distância considerável da costa implica na existência de uma feição batimétrica responsável pela transformação das ondas provenientes de mar aberto, a qual traz implicações importantes na navegação de embarcações de pequeno porte e na prática de

Área de Estudo

A área de estudo compreende a região inferior do estuário da Laguna dos Patos, que abrange a antepraia adjacente à desembocadura fixada por dois molhes. A região entre os molhes é caracterizada por uma fossa que chega aos 20 metros de profundidade

esportes aquáticos. Assim, o conhecimento detalhado desta feição é essencial para entender os processos responsáveis pela formação e manutenção da mesma, além de sua influência na presença de outras feições morfológicas. A proposta do presente estudo é caracterizar a morfologia do banco das Três Marias.

junto ao molhe Leste, entre ela e o canal de acesso, que tem aproximadamente 14m de profundidade existe ainda um banco axial, provavelmente formado pelo sedimento erodido da fossa (Antiqueira *et al.*, 2005).

A antepraia da região adjacente ao molhe de

Rio Grande apresenta gradiente bem mais suave, quando comparado às regiões mais ao sul (Terminal e Querência), segundo Fachin (1998) isso se explica devido à influência da descarga sedimentar fina proveniente da desembocadura da Laguna dos Patos (Lelis & Calliari 2006).

A contribuição fluvial para a zona estuarina da Laguna dos Patos é resultado de uma enorme bacia de drenagem que tem 162000 km² (Motta 1969). Entre os rios que compõem esta bacia podemos citar o Camaquã, Jacuí, Taquari, Caí, Gravataí, além do canal são Gonçalo que liga a Laguna a Lagoa Mirim, segunda em extensão, onde deságuam o Piratini, o Jaguarão e o Cebollati. A vazão média da Laguna é de 2.400 m³/s (Vitta 2006). Tendo sido registradas em situações intensas vazões de até 22.600 m³/s em uma grande enchente que ocorreu em 1941 (Motta 1969).

De acordo com Saraiva *et al.* (2003), o regime de ventos na costa do Rio Grande do Sul é controlado, basicamente, por dois centros de alta pressão: o Anticiclone do Atlântico Sul – mais ativo durante os meses de verão e o Anticiclone Móvel Polar – mais influente nos meses de inverno. Este pode ser classificado como de alta energia. O vento predominante é o de nordeste.

Os ventos sofrem, assim, uma variação sazonal bem acentuada. Os ventos dos três setores de N-NE, NE e de E-NE são mais frequentes e violentos de setembro a abril e mais raros e fracos de maio a agosto. Por sua vez, os ventos de S e O se apresentam principalmente de maio a outubro e são raros de novembro a abril (Motta 1969).

As ondas que atingem a costa do Rio Grande do Sul podem ser classificadas em três tipos, cuja ocorrência se dá muitas vezes concomitantemente: ondulações (*swell*), vagas (*sea waves*) e ondas de tempestade (*storm waves*).

As ondulações, que são as ondas de maior período, menos esbeltas e com maior poder de transporte de sedimentos, formadas geralmente no cinturão tempestuoso subpolar, são predominantemente provenientes de SE (Tomazelli & Villwock 1992). As vagas, que são geradas pelos ventos locais, provém principalmente de NE, concordando os ventos dominantes na região. As ondas de tempestades têm menor frequência de ocorrência, são formadas por fortes ventos durante tempestades que ocorrem dentro

ou próximo à região costeira (Motta, 1969).

As correntes litorâneas ocorrem em ambos os sentidos (SO e NE), sendo as correntes para SO mais frequentes durante o ano e as para NE mais intensa (Tozzi 1999). São correntes geradas por ação de ondas e do vento. Esse tipo de fluxo é o principal agente transportador de sedimentos ao longo de uma praia arenosa.

Fontoura, em 2004, constatou que as direções da corrente longitudinal são governadas principalmente pela direção e intensidade da componente longitudinal do vento na costa, com exceção quando esta é muito pequena ou nula, caso onde a direção das ondas na arrebentação passa a ser dominante. O autor registrou correntes com velocidades em torno de 0,40 m/s, sendo o valor máximo encontrado perto de 0,80 m/s para ambas as direções (SO e NE). Valores extremos foram observados com mais frequência nas correntes para nordeste confirmando o predomínio em intensidade destas sobre as correntes para sudoeste.

Vitta (2006) estudou as medidas de velocidade das correntes no canal de acesso à Laguna dos Patos de 29 de abril a 21 de setembro de 2004. O autor registrou velocidades máximas de enchente de 0,68 m/s na superfície e 0,44 m/s no fundo associadas a ventos do quadrante sul e baixa descarga fluvial. Em situação de alta descarga fluvial combinada a vento NE o mesmo autor encontrou velocidades máximas de vazante de -0,46 m/s na superfície e -0,13 m/s no fundo. Ainda segundo autor, velocidade média de corrente encontrada foi de -0,25 m/s, caracterizando a predominância do regime de vazante para o período estudado.

A maré observada é mista com predominância diurna e tem altura máxima de 0,31 m (Möller *et al.* 1996), sendo assim considerada, de acordo com a classificação de Davies (1964), como sendo do tipo micromaré.

Apesar da maré astronômica ser pouco expressiva, a região de estudo conta com a significativa influência das marés provocadas por agentes meteorológicos (pode elevar o nível do mar em até 1,80 m). A coincidência da maré meteorológica e da maré de sizígia de grande amplitude representa, para certos trechos da costa, uma combinação desastrosa em termos de erosão (Calliari *et al.* 1998 e Saraiva *et al.* 2003). Durante tais

eventos, comumente tempestades do quadrante sul (SE, S e SO) ocasionam o aumento do nível e a ação de ondas que penetram na embocadura provocam erosão acentuada com sobrelavagem do pontal do DEPREC (Figura 1) (Antiqueira & Calliari 2005).

A deriva litorânea de sedimentos líquida vai de SO a NE, consequência da ondulação proveniente de SE, e um fluxo de sedimentos secundário vai de NE a SO, consequência das vagas, que vêm predominantemente de NE.

Segundo Martins *et.al.* (1969) a cobertura

sedimentar na plataforma rio-grandense é predominantemente arenosa, estando as texturas finas relacionadas à descarga fluvial.

A região de estudo se encontra localizada na fácies Patos. Tal fácies constitui uma sequência arenossiltica por vezes areno-argilosa de distribuição restrita à zona de influência da desembocadura da Laguna dos Patos. Representa uma mistura em proporções variáveis entre o material siltico-argiloso da carga de suspensão lagunar e as areias da plataforma interna (Martins & Melo. 1972, Corrêa & Martins. 1996).

MATERIAIS E MÉTODOS

Batimetria atual

Para a coleta dos dados de profundidade foi utilizada a ecosonda da marca Lowrance® (modelo LCX-19C), dupla frequência 200/50 kHz, precisão vertical na ordem dos centímetros, acoplada a um receptor beacon diferencial da mesma marca, a fim

de melhorar a precisão do posicionamento, que com o beacon é de aproximadamente 4m, instalada em um jet-ski da marca Sea Doo®, motor Bombardier 85 HP (Figura 2).



FIGURA 2 – Equipamento utilizado para realizar a batimetria detalhada. Jet-ski e eco-sonda, sendo: 1- antena do GPS, 2- Tela da eco-sonda, 3- Transdutor e 4 – Receptor beacon diferencial.

A escala escolhida para o presente levantamento foi de 1:15000. A distância entre as linhas de navegação para que tal escala fosse obtida foi de 150 m (Martini 2007).

Para a coleta de dados foram escolhidos dias em que as condições de mar e meteorológicas fossem as melhores possíveis, isto é, baixa energia de ondas e ventos fracos, a fim de evitar situações de maré meteorológica, risco pessoal, perda de equipamentos além de ruídos nos dados.

Em quatro dias (29/09/2007, 18/10/2007, 19/10/2007, 22/10/2007) de sondagem foram realizados 24 perfis, aproximadamente paralelos, partindo da zona de arrebentação, cerca da isóbata de 2 m, prolongando-se até a isóbata de -10 m (aproximadamente 6 km), sendo a primeira linha próxima ao Molhe Oeste, e as outras sucessivamente mais a sul. As linhas de navegação mostrando os perfis estão ilustradas na figura 3.

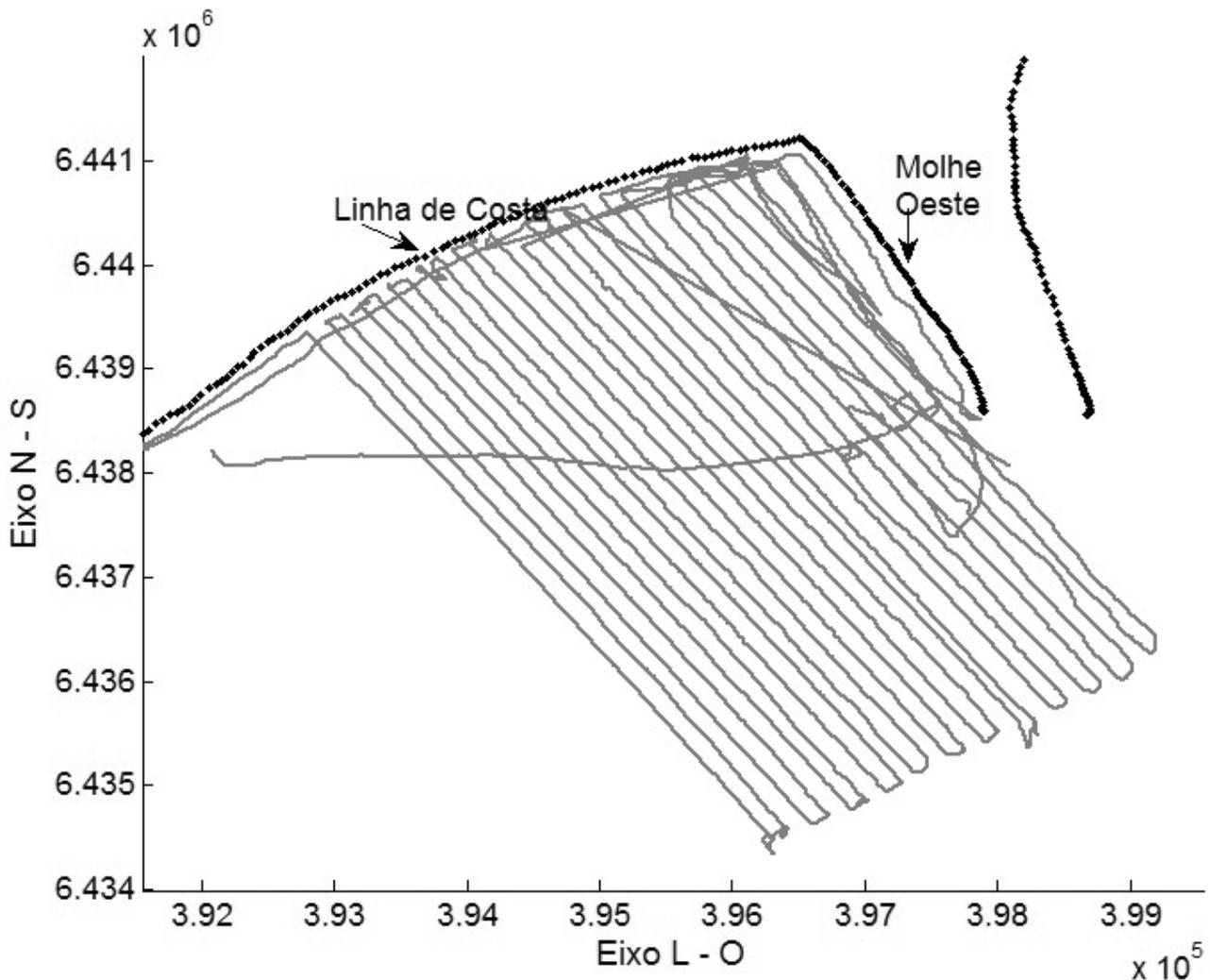


FIGURA 3 – Linhas de navegadas durante a batimetria detalhada (escala em UTM, datum WGS 83 e meridiano central 51°).

Todos os dados de profundidade foram corrigidos ao Nível de Redução (a média das baixas marés de sizígias do local) a partir de dados horários de nível d'água no momento das sondagens cedidos pela Praticagem da Barra de Rio Grande os quais são medidos no trapiche da mesma. Os dados foram

interpolados linearmente de segundo em segundo. Apesar dos dados de nível da Praticagem coletados dentro do estuário da Laguna possivelmente não serem ideais para correções de medições feitas fora do estuário, eles são os únicos dados de nível disponíveis atualmente.

Os dados foram então filtrados através de um filtro de ‘passa- baixa’ para minimizar o ruído introduzido pela ondulação durante a coleta de dados. Foi utilizado o filtro de cossenos ‘mylanczos’ (Thomson e Chow, 1980), com frequência de corte de 20 Hz e o número de

pesos 40.

Os dados filtrados foram interpolados através do método de interpolação linear, sendo após confeccionado um mapa batimétrico detalhado da região das Três Marias.

Sedimentos

Na saída de campo realizada em 18 de janeiro de 2007, a bordo da lancha Larus, foram coletados sedimentos em 17 pontos (Figura 4). As amostras foram

coletadas com uma draga pontual do tipo *Van-Veen* e acondicionadas em sacos plásticos identificados.

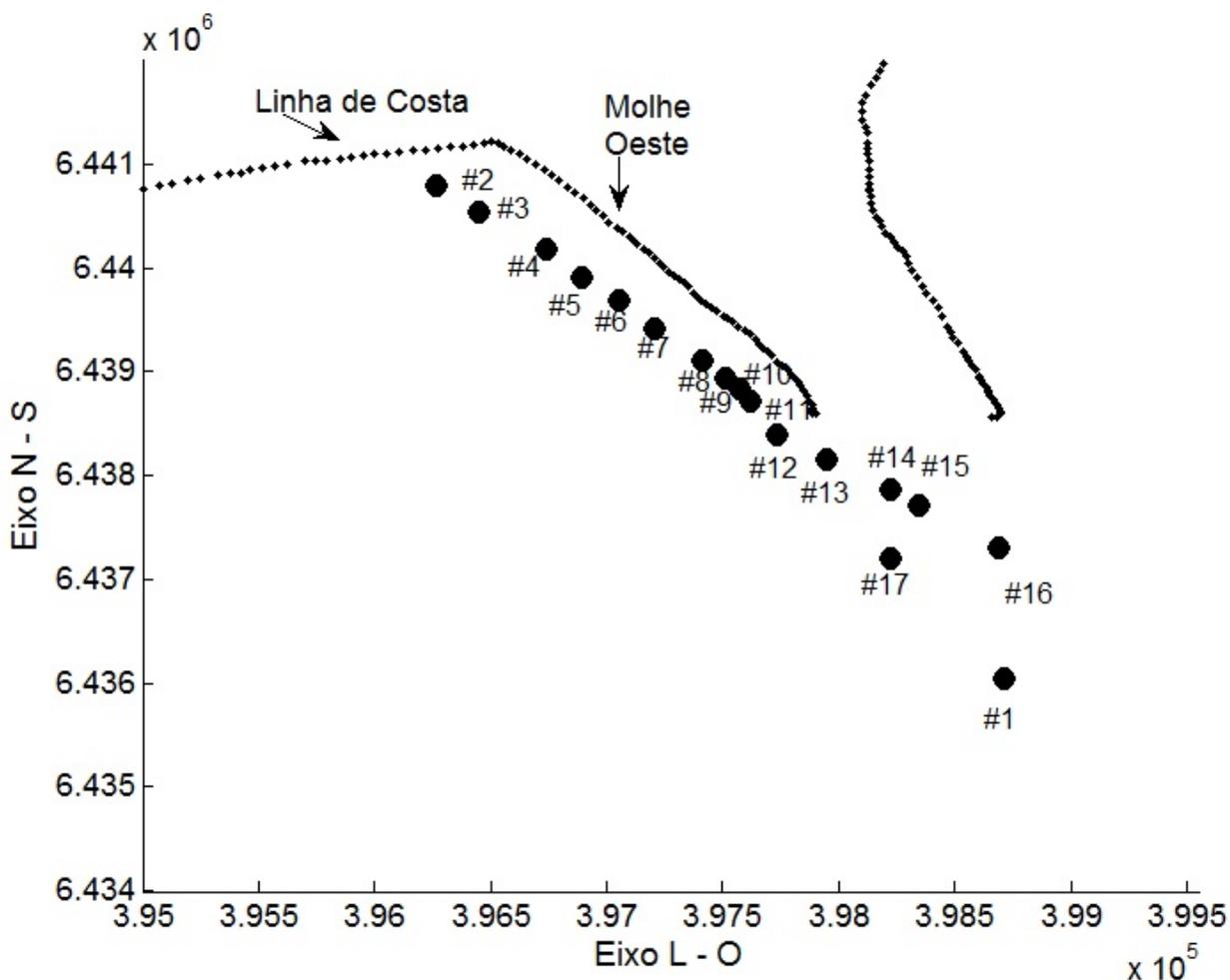


FIGURA 4 – Círculos pretos indicam a localização das amostras de sedimento. Coordenadas métricas UTM.

As amostras foram submetidas à análise granulométrica padrão, peneiragem mecânica, e pipetagem, sendo o intervalo das malhas entre as peneiras de $\frac{1}{4}$ de phi da escala de Wentworth (1922).

freqüência acumulada probabilística. As amostras foram classificadas ainda segundo Shepard (1954) e segundo os parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) através do software SisGran®.

As seguintes representações foram utilizadas para cada amostra: histograma, curva de freqüência simples, curva de freqüência acumulada e curva de

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Batimetria

O resultado obtido na sondagem de detalhe está ilustrado na figura 5. A batimetria caracteriza a antepaia na região adjacente ao Molhe Oeste e

destacam-se duas feições: a fossa junto ao cabeço do molhe oeste e o banco, a SO do mesmo.

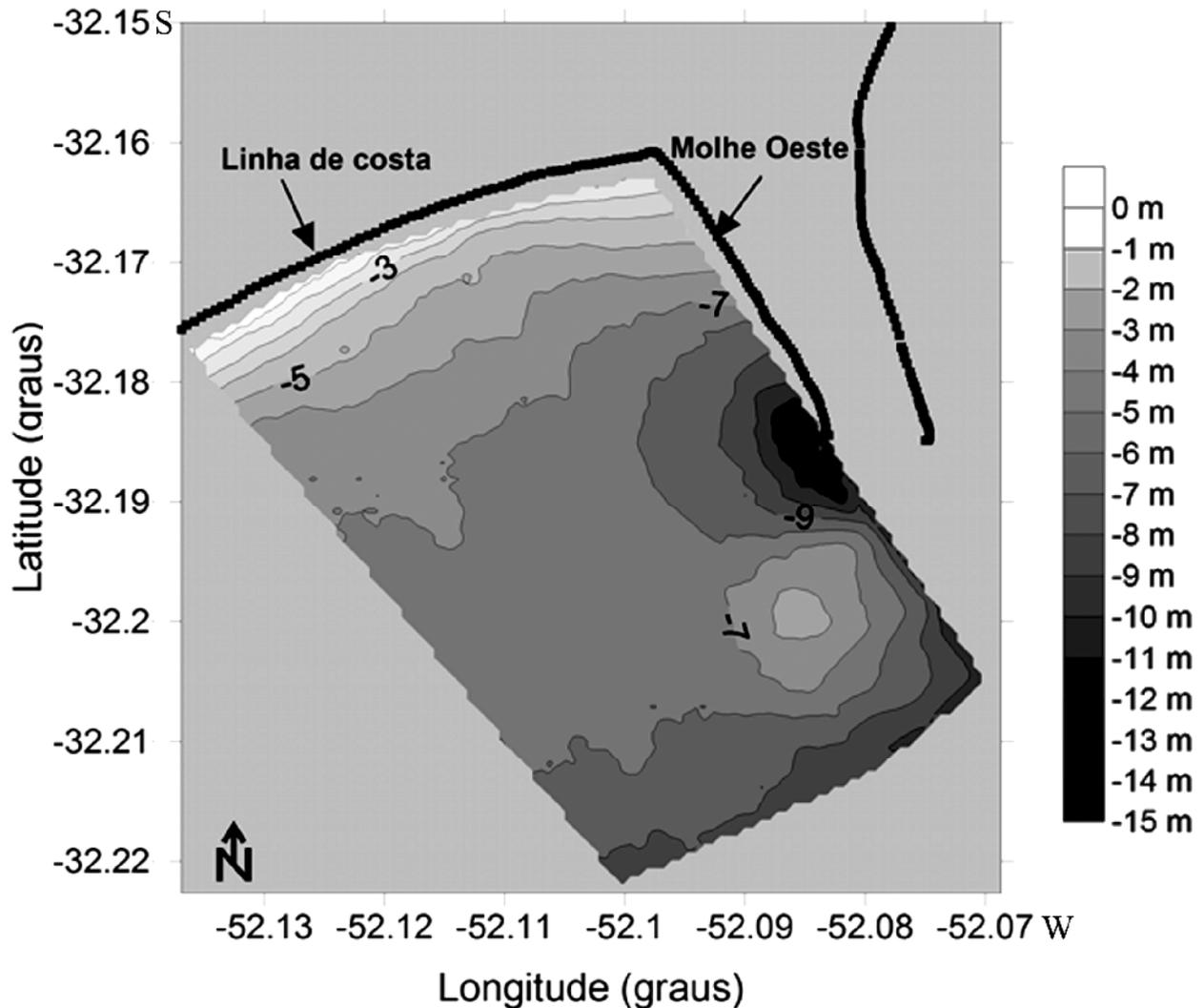


FIGURA 5 – Mapa batimétrico da região das Três Marias. Coordenadas métricas UTM, datum WGS 84. Escala de cores em metros.

O banco a SO da extremidade do molhe tem sua base na isóbata de 8 m e a crista aproximadamente na cota de -6 m (Figura 5). O formato da estrutura é levemente oval, sendo que o eixo maior é semi-paralelo à costa (sentido NNE – SSO) e mede aproximadamente 1600m, já o eixo menor, quase transversal à costa (sentido L-O), tem pouco mais de 1200 m. A declividade é aproximadamente 1:700 nas faces voltadas para sul e norte, e um pouco maior, 1:500 nas faces voltadas para leste e oeste.

Segundo Toldo & Dillemburg (2001) e Antiquiera & Calliari (2005), a desembocadura da Laguna dos Patos apresenta características similares ao modelo morfológico de deltas de maré vazante proposto por Hayes (1980), no qual o autor descreve a morfologia padrão de um delta de maré vazante não fixado por estruturas (molhes) (Figura 6) e classifica a feição como sendo característica de ambiente de mesomaré. De acordo com o referido autor, um típico delta de maré vazante é uma estrutura que inclui um *canal de vazante principal*, caracterizado pela

dominância de fluxos de vazante sobre o de enchente. Às margens do canal principal se encontram os *bancos lineares marginais*, que são formados pela interação entre as correntes de enchente e de vazante com as correntes geradas por ondas. Ao fim do canal principal se encontra o *lobo terminal*, um corpo arenoso íngreme e inclinado à

barlamar. Lentes de areia estão presentes em ambos os lados do canal principal, são as chamadas *plataformas de swash*. Comumente feições formadas pela ação das ondas, as *barras de swash*, ocorrem isoladas nas plataformas de swash. *Canais marginais de enchente* estão presentes usualmente entre as plataformas de swash e as praias adjacentes.



FIGURA 6 – Delta de maré vazante proposto por Hayes (1980). Nota-se o lobo terminal, as barras de swash, canal de vazante principal e os canais de enchente marginais.

Toldo & Dillemburg (2001) estudaram a desembocadura da Laguna dos Patos, antes da construção dos molhes (1883 a 1909), através de cartas batimétricas históricas, e descreveram a feição presente na região adjacente à desembocadura, a barlamar, como um delta de maré vazante bem desenvolvido (Figura 7), em condições de micromaré,

forte descarga lagunar e energia de ondas de moderada a alta. Os autores identificaram o lobo terminal de formato côncavo-convexo (bancos sul e sudeste), além de barras de swash (bancos sudoeste e nordeste) que migravam sobre a plataforma de swash em direção à praia até se soldarem a ela.

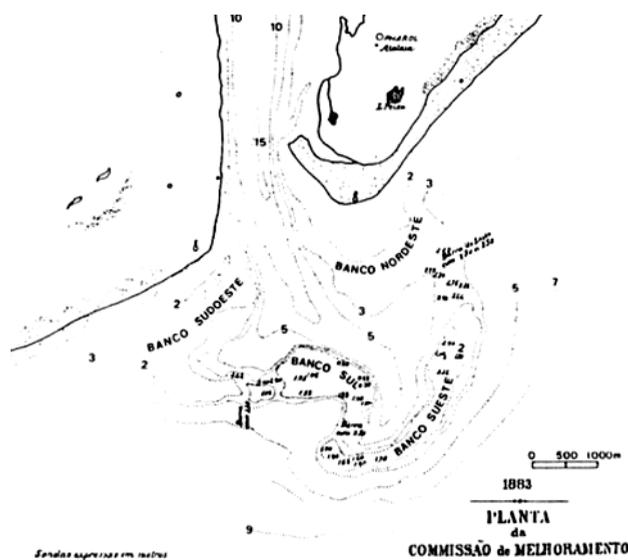


FIGURA 7 – Desembocadura da Laguna dos Patos em 1883 (antes da construção dos molhes). Os bancos Sul e Sudeste correspondem ao lobo terminal do delta de maré vazante, os bancos sudoeste e nordeste correspondem às barras de swash.

Antiqueira & Calliari (2005), estudando a região entre os molhes, concluíram que a desembocadura da Laguna dos Patos continua apresentando características similares ao modelo de Hayes (1980). Segundo os autores, o banco axial, corresponde ao

banco linear marginal, e a fossa, que chega a ter -20 m de profundidade junto ao Molhe Leste, é o canal preferencial de correntes de enchente provocadas por ventos do quadrante sul (Figura 8), principalmente SE.

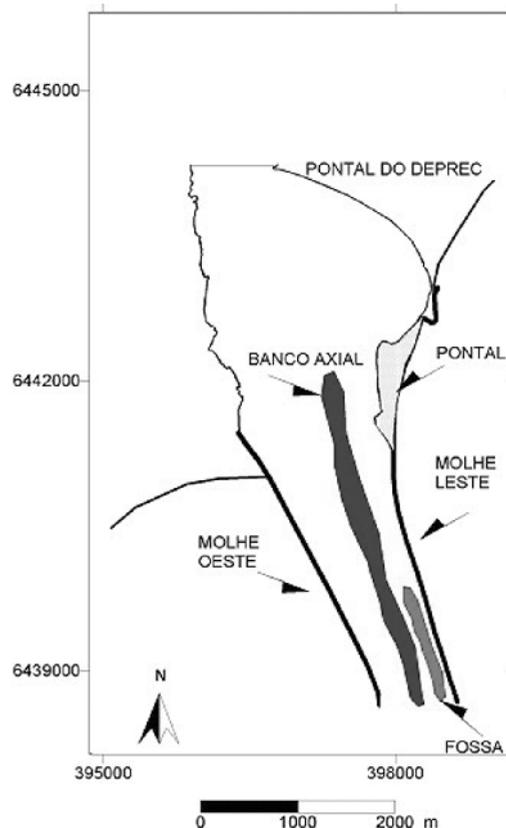


FIGURA 8 – Estruturas típicas de delta de maré vazante na região entre os molhes. Banco axial (em azul) e fossa junto ao Molhe Leste (canal de enchente, em vermelho). Retirado de Antiqueira & Calliari, 2005. Coordenadas no sistema métrico UTM.

Segundo Motta (1969) nos anos seguintes à construção dos molhes sobre a barra, houve a formação e o desenvolvimento de um novo banco ao largo da desembocadura das estruturas. De acordo com o autor, a nova barra se formou devido ao fato de não ter havido dragagem concomitantemente a construção dos molhes. À medida que a construção progrediu houve o deslocamento da barra (aproximadamente $3.000.000\text{m}^3$, Motta 1969) para fora das extremidades dos molhes. A nova barra diferiu da antiga em alguns aspectos como: menor volume, maiores profundidades de controle para a navegação, e ausência da barra de swash.

Em 1972 o canal de Rio Grande foi estendido no sentido NO-SE para a zona externa aos molhes e aprofundado para a cota de -14 m. Nesse processo a

Barra foi dividida em duas, uma mais desenvolvida para SO e outra menos desenvolvida para ESE. A partir de então, o canal passou a ser dragado aproximadamente a cada três anos, para manter o calado em -12 m (Hartmann 1996).

Assim, o banco identificado na sondagem se trata da porção SO remanescente do antigo lobo terminal, que é resultado da interação entre as ações do jato das correntes de vazantes empurrando sedimento do canal e da antepraia em direção ao mar e do campo de ondas incidentes fazendo o oposto, transportando o mesmo sedimento em direção à costa.

O fato de uma feição de ambiente mesomaré se apresentar tão bem desenvolvida num ambiente de micromaré pode ser explicada pelo fato das correntes de vazante serem intensificadas pelos

ventos de NE, que são dominantes na região, e em épocas de elevados índices pluviométricos. De maneira análoga, feições de mesomaré no estuário inferior associadas ao regime de enchente, que é intensificado em situações de vento do quadrante sul, também foram descritas por (Antiqueira & Calliari, 2005). Os autores descrevem a evolução do Pontal do DEPREC, cujo crescimento deve-se a incidência de ondas do quadrante sul que se propagam para dentro do canal e elevam o nível do baixo estuário.

A fossa junto ao cabeço no Molhe Oeste é uma feição que apresenta pente bastante íngreme, que se inicia próximo a isóbata de -8 m e alcança a isóbata dos 17 m (Figura 5).

Sumer, Whitehouse *et al.* (2001) e Fredsoe & Sumer (1997) estudaram através de modelagem numérica a formação de fossas associadas a vários tipos de estruturas de engenharia oceânica. Segundo os autores, depressões na extremidade deste tipo de

estrutura são formadas tanto pela ação de correntes como de ondas. A dimensão da fossa depende tanto das características das ondas (período, esbeltez e ângulo de incidência) e correntes (velocidade) como do diâmetro do cabeço, rugosidade do substrato (granulometria) e declividade da estrutura.

O padrão de erosão/deposição encontrado por Fredsoe & Sumer (1997) é bastante semelhante ao encontrado na região do cabeço do Molhe Oeste (Figura 9). Na figura 9 nota-se a diferença nas dimensões das depressões e das elevações formadas em torno à extremidade de uma estrutura de acordo com a variação do número de Keulegan-Carpenter ($KC = UmT/D$, sendo Um a velocidade máxima do fluxo em m/s, T o período da onda em s e D o diâmetro do cabeço da estrutura em m). As setas vermelhas apontam para a depressão análoga à formada junto ao cabeço do Molhe Oeste (figura 5).

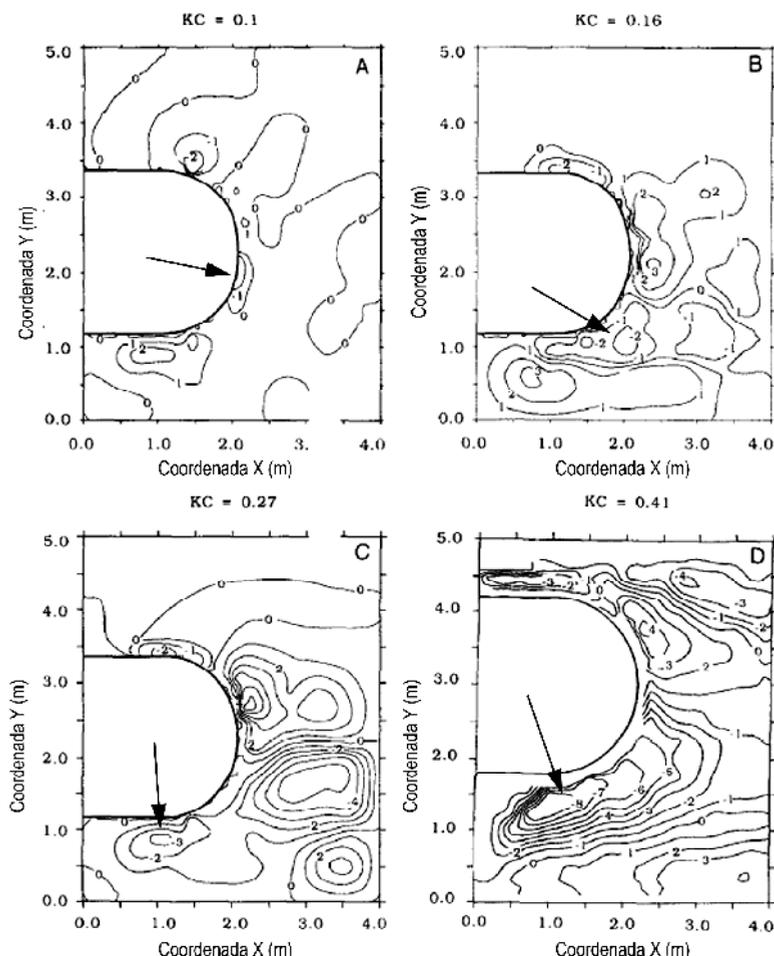


FIGURA 9 – Diferentes padrões de depressões e elevações para diferentes situações de KC. Sendo $KC = UmT/D$, com: Um a velocidade máxima do fluxo em m/s, T o período da onda em s e D o diâmetro do cabeço da estrutura em m. Figura modificada de Fredsoe e Sumer (1997). As setas vermelhas indicam a depressão análoga à encontrada no MO.

As correntes que incidem diretamente na posição da fossa são as geradas por ventos do quadrante sul. Então, pode-se concluir que, assim

como a fossa na parte interna do Molhe Leste, a fossa no cabeço do Molhe Oeste se deve à ação das correntes geradas por ventos do quadrante sul.

Sedimentos

As amostras de sedimentos (Figura 10) evidenciaram padrões sedimentares espacialmente

variáveis de acordo com a profundidade.

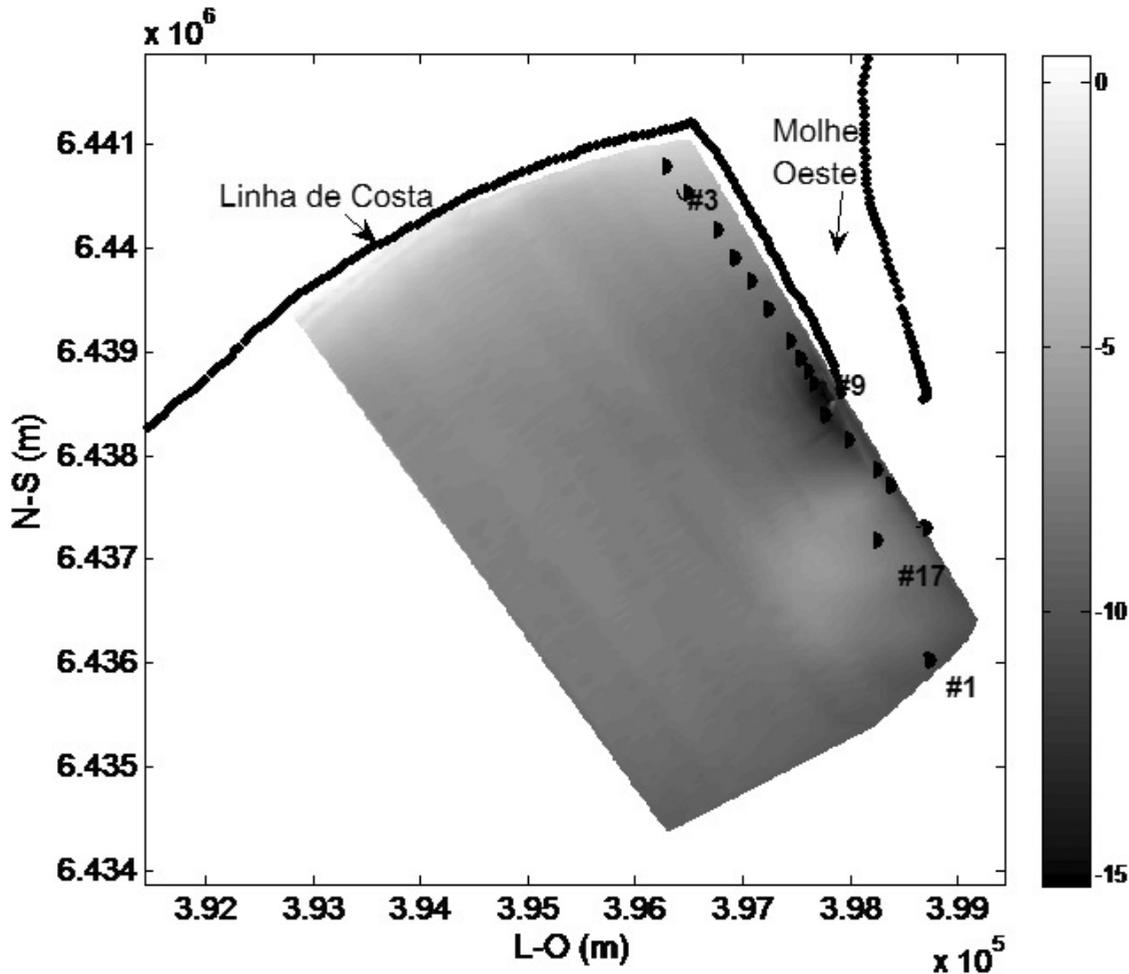


FIGURA 10 – Localização das amostras de sedimento. Coordenadas no sistema métrico UTM.

Na figura 11 estão os diagramas de dispersão confrontando parâmetros texturais (assimetria, curtose, desvio padrão e média) das amostras. Segundo Friedman (1961) este tipo de representação pode ser útil na diferenciação de amostras retiradas de ambientes ou subambientes distintos. Os diagramas de dispersão tendem a agrupar as

amostras que apresentam características semelhantes e isolar amostras diferentes. Amostras agrupadas pelos diagramas de dispersão indicam que foram depositadas por processos sedimentares semelhantes e de mesma intensidade, ou pelo menos que a ação dos processos sedimentares (mesmo diferentes) resultou em características comuns.

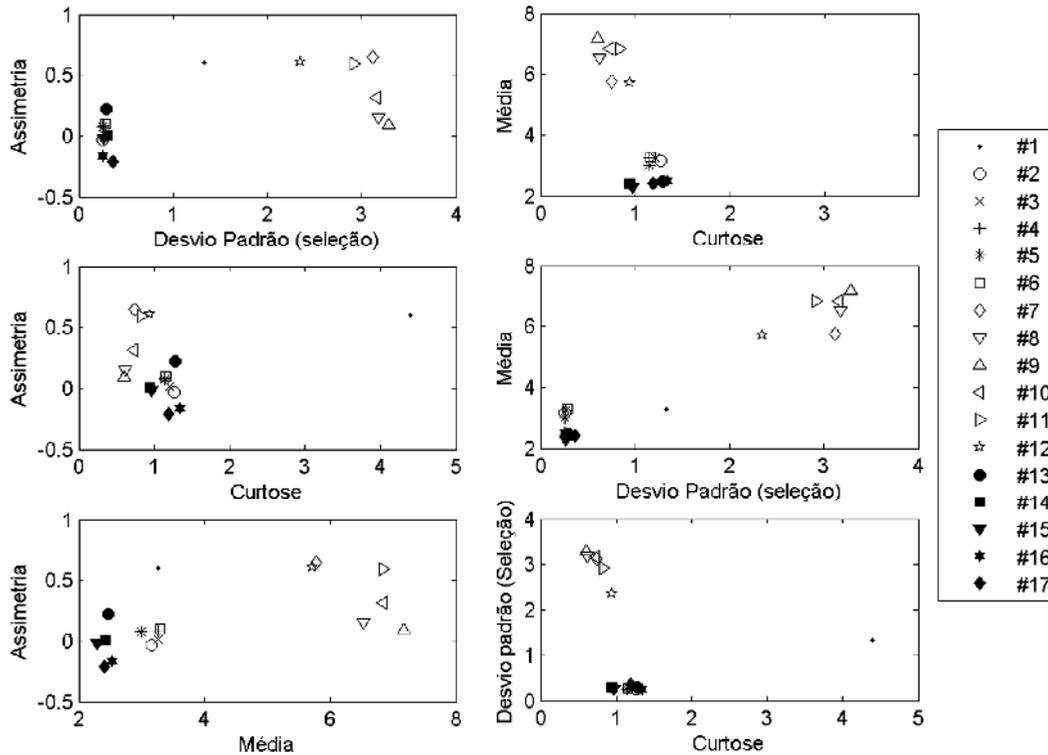


FIGURA 11 – Diagramas de dispersão confrontando parâmetros texturais das amostras do perfil. A) assimetria versus desvio padrão (grau de seleção); B) média versus curtose; C) assimetria versus curtose; D) tamanho médio de grão versus desvio padrão; E) assimetria versus tamanho médio de grão, f) desvio padrão versus curtose.

O diagrama que melhor separou os ambientes de deposição foi assimetria x média, no qual é possível notar uma distinção entre os quatro subambientes: zona de surf, fossa, banco e pós-banco. Nos outros, os ambientes zona de surf e banco se apresentam como um mesmo grupo, mas os grupos fossa e pós-banco ainda podem ser identificados.

O grupo Fossa (amostras de #7 a #12, Figura 10)

representa as amostras mais finas, localizadas na depressão, a partir da isóbata de -8 m (Figura 10), enquadradas nas classes intermediárias (entre areia-siltica e silte-argiloso) no diagrama de Shepard (1954) (Figura 12), consideradas segundo a classificação de Folk e Ward (1957) como silte (de médio a muito fino), muito pobremente selecionadas e apresentando assimetria positiva.

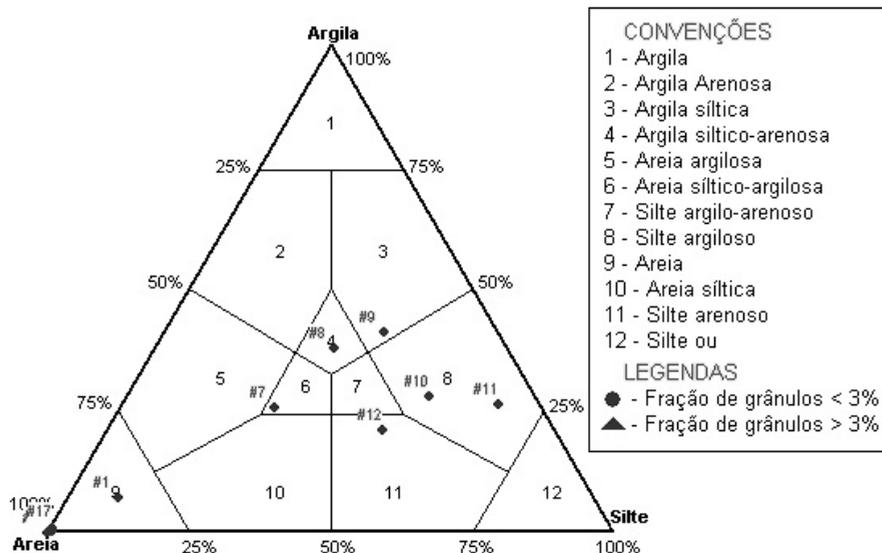


FIGURA 12 – Diagrama de Shepard das amostras de sedimento preliminares.

Em 2000, o Laboratório de Oceanografia Geológica / DGEO, executou um trabalho que teve como objetivo verificar através de sondagem por testemunhos obtidos com um testemunhador a gravidade as características texturais, geoquímicas e geotécnicas do material de fundo encontrado ao longo dos canais de navegação do Porto de Rio Grande, áreas previstas para a realização de dragagens no ano do trabalho. O testemunho D2 (Figura 13) realizado numa região bastante próxima à fossa (Relatório de Sondagem Geológica, Geoquímica e Geotécnica – RSGGG, 2000) mostra uma estratificação bem marcada entre areia, lama

arenosa e lama. Essa estratificação pode ser resultado da alternância entre os regimes de enchente e vazante. Tal fato pode ser a razão da presença desse sedimento fino superficialmente numa feição onde se espera uma alta dinâmica, devido aos processos que a mantém (correntes, principalmente as para NE, e ondas incidentes). Sendo assim, a presença dessa fração fina na superfície, pode ser reflexo de um estado momentâneo de baixa dinâmica. Para que isso fosse comprovado seria necessária a análise de mais testemunhos de diferentes pontos da feição ou mesmo estudos sobre a sedimentação local.

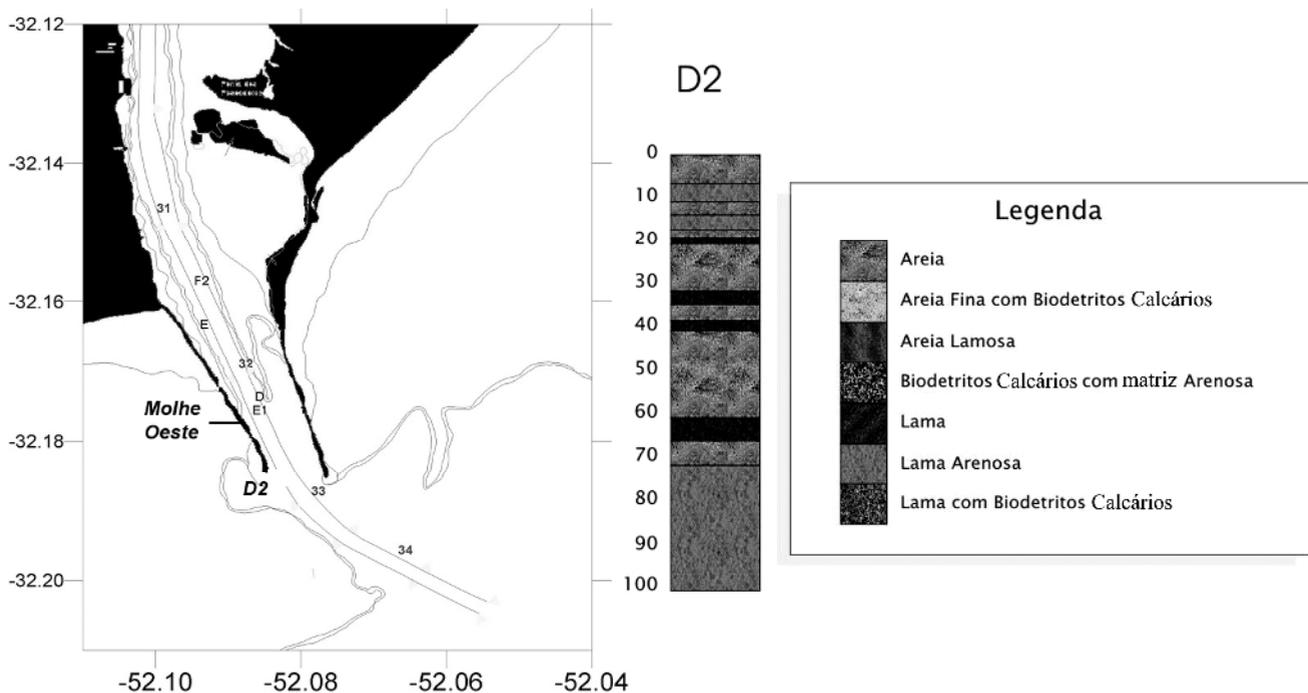


FIGURA 13 – Testemunhos na desembocadura da laguna. Em destaque o testemunho D2, localizado na extremidade do Molhe Oeste. RSGGG (2000).

A curva de frequência acumulada probabilística (Figura 14 - B) desse grupo indica que a amostra pode ser dividida em duas subpopulações, a primeira, mais grossa, transportada por saltação, corresponde a aproximadamente 45% do total da amostra, apresentando um grau de seleção pouco maior que o segundo grupo, das classes mais finas, transportadas por suspensão, correspondentes aos outros 55% da amostra. Esse padrão indica que o sedimento depositado na fossa provém de pelo menos duas

fontes, a primeira, possivelmente a pluma da laguna, traz sedimentos finos em suspensão, e a segunda, que pode ser tanto ação das ondas como das correntes geradas por onda e vento, que traz sedimento mais grossos (areia) (Visher 1969). Possivelmente, a dominância de um grupo ou de outro é dependente das variáveis ambientais como o regime de ventos, a descarga fluvial e consequentemente as correntes de vazante e enchente.

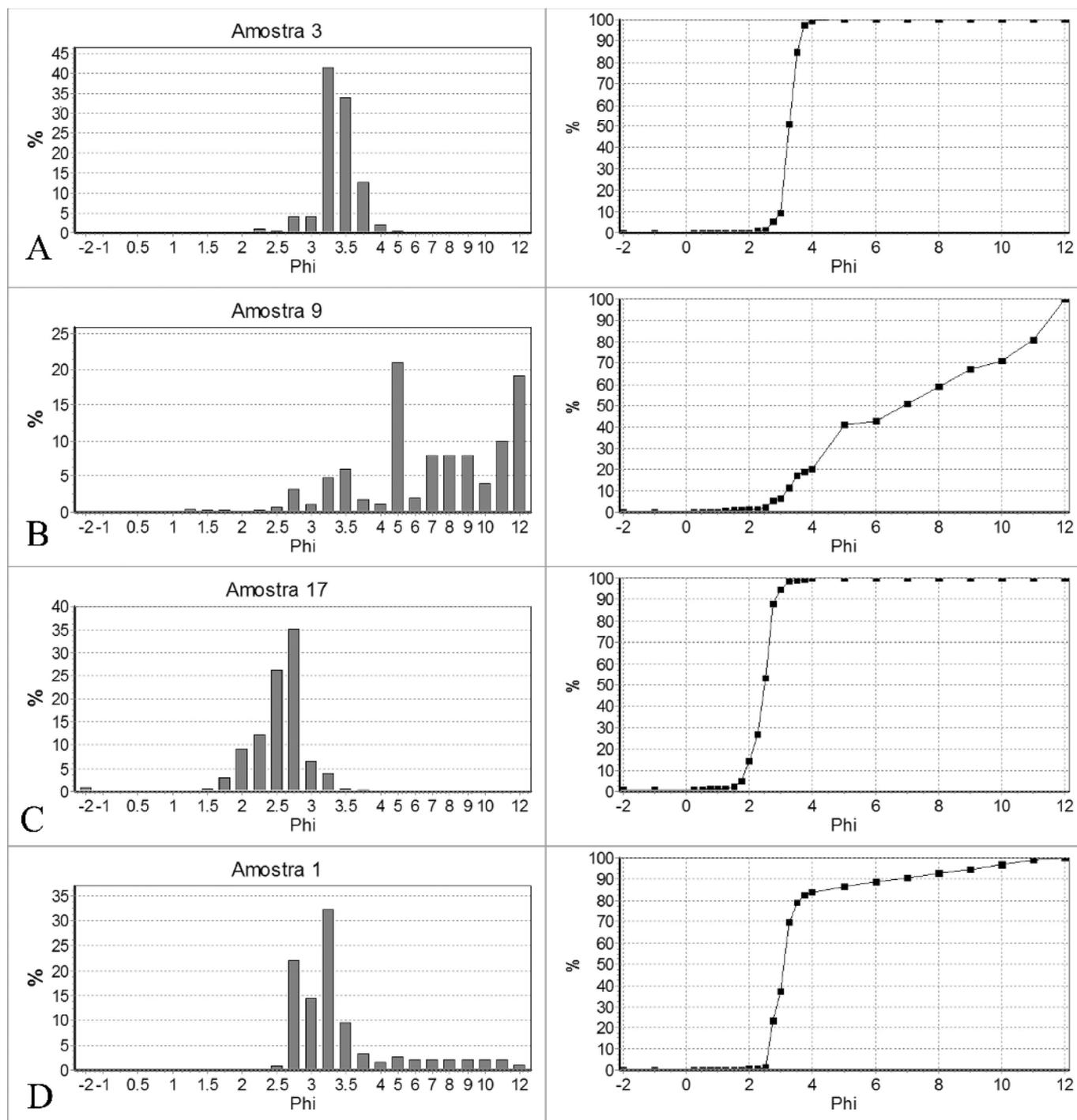


FIGURA 14 – Histogramas e curvas de frequência acumulada probabilística para os principais subambientes. A) Praia, B) Fossa, C) Banco, D) Pós-Banco.

Os dois grupos de amostras Zona de Surf (amostras de #2 a #6, Figura 10) e Banco (amostras de #13 a #17, Figura 10) apresentam granulometria um pouco mais grossa. Enquadrados na classe areia na classificação de Shepard (1954), são classificados como sedimento muito bem selecionado e possuem distribuição aproximadamente simétrica pelo sistema

de Folk & Ward (1957). Esse sedimento caracteriza um ambiente deposicional mais energético, podendo ser influenciado por ondas e pelas correntes longitudinais.

As amostras do grupo da zona de surf, representam o ambiente mais próximo à praia, e são compostas de areia-muito-fina. Esse grupo possui características muito semelhantes às encontradas por

Lisniewski (2006) quando analisou o sedimento transportado em suspensão pelas correntes longitudinais na Praia do Cassino e por Figueiredo e Calliari (2006) ao estudar a granulometria das praias adjacentes às desembocaduras do estado do Rio Grande do Sul. A curva de frequência acumulada probabilística (Figura 14 - A) desse grupo evidencia duas populações transportadas por saltação, sendo alto o grau de seleção do agente transportador. Somente uma fração bem pequena dos sedimentos (0,5%) é transportada por suspensão.

O sedimento depositado nessa região está sob forte influência de ondas e correntes geradas por ondas e ventos. A oscilação das ondas é responsável por um processo denominado *winnowing*, responsável por um alto grau de seleção e remoção da fração mais fina, que se reflete na estreita faixa granulométrica onde se encontra a população transportada por saltação (Visher 1969). Ainda segundo o mesmo autor, a ausência da população transportada por arrasto pode ser efeito da presença de correntes intensas.

Já as do grupo do banco, as amostras

CONCLUSÕES

A batimetria da região das Três Marias mostrou que a estrutura responsável pela arrebentação não é um banco linear, e sim um banco em formato de domo. Levando em conta que as feições sedimentares adjacentes à desembocadura da Laguna dos Patos já foram descritas por diversos autores (Toldo & Dillemburg 2001 e Antiquiera & Calliari 2005) como estruturas típicas do modelo de delta de maré vazante de Hayes (1980), e com base no histórico dos molhes e da Barra de Rio Grande, conclui-se que o banco é um resquício do antigo lobo terminal do delta de maré vazante.

A fossa encontrada na extremidade do Molhe Oeste parece ter sido formada pela atuação conjunta da corrente longitudinal, e das ondas, sendo que a ação das ondas pode estar sendo incrementada pelas transformações que as mesmas sofrem ao

localizadas sobre o banco, região altamente influenciada pelas correntes e ondas e incidentes, são constituídas por areia-fina. Como o ambiente deposicional é altamente energético, somente o sedimento um pouco mais grossos (areia fina, sendo a moda do tamanho de grão em torno entre 2.5 e 2.75 phi) é depositado. A curva de frequência acumulada probabilística (Figura 14 - C) desse grupo se assemelha muito às curvas encontradas por Visher (*op cit.*) para ambientes influenciados por ondas. O autor destaca nesse grupo a população transportada por arrasto se apresenta com uma baixa seleção e a por saltação com uma seleção bem maior. Nesse caso o processo de *winnowing* também se mostra bastante importante.

A amostra 1, grupo pós-banco (Figura 10), foi coletada na parte mais distal da barra. Classificada como areia muito fina, assimetria positiva e pobremente selecionada. Depositada em ambiente de menor energia, maior profundidade, menos influenciado pelas ondas, é composta por sedimentos finos de origem lagunar e areia muito fina da ante-praia.

interagirem com a morfologia do fundo (banco). Para comprovar essa hipótese são necessárias medições de correntes e ondas no local, em diversas situações de vento, onda e descarga.

A distribuição de sedimentos caracterizou as ondas e as correntes (tanto as geradas pelas ondas e ventos como a fluvial) como sendo responsáveis pelos processos de transporte e deposição de sedimentos na região da antepraia, sendo que a atuação de cada fator varia de intensidade de acordo com o subambientes. Na fossa o sedimento variou entre areia-siltica e silte-argiloso, evidenciando um ambiente de baixa dinâmica, na zona de surf e sobre o banco o sedimento do tamanho areia fina, no banco, e muito fina, na zona de surf, caracterizaram ambientes de maior dinâmica.

REFERÊNCIAS

- ANTIQUERA, J. A. F. D. & L. J. CALLIARI 2005. "Características sedimentares da desembocadura da Lagoa dos Patos." *Gravel UFRGS* 3: 39-46.
- ANTIQUERA, J. A.; CALLIARI, L. J. E FONTOURA, J. A. S., 2005. Geomorphologic evolution of a sand spit located in the mouth of a choked coastal lagoon. Lagoa dos Patos: Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39, (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), 255 - 258g. Itajaí, SC, Brazil, ISSN 0749-0208.
- BARLETTA, R. C. 2006. Teste e Aplicação de Modelos Parabólicos de Refração- Difração com Ênfase na Propagação de Ondas sobre Parcéis. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis, UFSC: 137.
- CALLIARI, L. J. 1980. Aspectos geológicos e ambientais da região estuarial da Lagoa dos Patos. Curso de Pós-graduação em Geociências. Porto Alegre, UFRGS. Mestrado: 190.
- CALLIARI, L. J. & S. FACHIN 1993. "Lagoa dos Patos. Influência nos Depósitos Lamíticos Costeiros." *Pesquisas* 20 (1): 57 - 69.
- CALLIARI, L. J.; TOZZI, H. A. M. & KLEIN, A. H. F., 1998. Beach Morphology and Coastline Erosion Associated With Storm Surges in Southern Brazil – Rio Grande to Chuí, RS. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 70 (2): 231-247.
- CALLIARI, L. J. & SPERANSKI, N. S. 2000. "The mud banks of Cassino Beach, Southern Brazil: Characteristics, Processes and Effects." *Journal of Coastal Research ICS* 2000: 1-9.
- CALLIARI, L. J. & HOLAND, T. 2005. Experimento Cassino 2005: Uma Síntese dos Levantamentos Efetuados na Ante-Praia e Zona de Arrebentação.
- CARTER, R. W. G. 1988. *Coastal Environments. An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines*. London, Academic Press.
- COLI, A. B. & MATA, M. M. 1996. "Caracterização das Alturas de Onda no Atlântico Sul Ocidental Através da Altimetria TOPEX/POSEIDON." *Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*.
- CORRÊA, I. C. S. & MARTINS, L. R. S. 1996. "Evolução Sedimentológica e Paleogeográfica da Plataforma Continental Sul e Sudeste do Brasil." *Notas Técnicas (CECO/IG/UFRGS)* 9: 51-56.
- DAVIS, A. R. 1985. *Coastal Sedimentary Environments*. New York, Springer-Verlag New York Inc.
- DAVIS, J.L. (1964). A morphogenic approach to the world shorelines. *Zeitschr. Geomorph.* 8 (Sonderheft). 127-142.
- USACE. 2002. *Coastal Engineering Manual*.
- FACHIN, S. 1998. Caracterização do Perfil de Equilíbrio da Antepraia na Costa do Rio Grande do Sul. *LOG/GDGeo*. Rio Grande, FURG: 105.
- FIGUEIREDO, S. A. & L. J. CALLIARI 2006. "Sedimentologia e suas Implicações na Morfodinâmica das Praias Adjacentes às Desembocaduras da Linha de Costa do Rio Grande do Sul." *Gravel UFRGS* 4(ISSN 1678-5975): 73-87.
- FOLK, R. L. & WARD, W. C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1): 3-26.
- FONTOURA, J. A. 2004. Hidrodinâmica Costeira e Quantificação do Transporte Longitudinal de Sedimentos Não Coesivos na Zona de Surfe das Praias Adjacentes aos Molhes da Barra do Rio Grande, RS, Brasil. Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, UFRGS. Doutorado: 281.
- FORSGREEN, G., MALMGREN, L. BRYDSTEN, L., JANSSON, M. 1993. "Characterization of sediments by high-frequency echosounding." *Environmental Geology* 21: 14-18.
- FREDSOE, J. AND B. M. SUMER 1997. "Scour at the round head of a rubble-mound breakwater." *Coastal Engineering* 29(3-4): 231-262.
- FRIEDMAN, G. M. 1961. "Distinction Between Dune, Beach and River Sands from their textural characteristics." *Journal of Sedimentary Petrology* 31(4): 514-529.
- HARTMANN, C. 1996. Dinâmica, Distribuição e Composição do Material em Suspensão na Região Sul da Lagoa dos Patos, RS. Curso de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre, UFRGS. Doutorado: 363.
- HAYES, M. O. 1979. Barrier Island morphology as a function of tidal and wave regime. *Barrier Islands*. S. P. Leatherman, Academic Press Inc.
- HAYES, M. O. 1980. "General Morphology and Sediments Patterns in Tidal Inlets." *Sedimentary Geology* 26: 139-156.
- HOFFMAN, B. 1933. "A Barra de Rio Grande." *Boletim da Sociedade de Engenharia do Rio Grande do Sul* 4.
- HUBBARD, D. K. 1979. "The Role of Waves and Tidal Currents in the Development of Tidal- Inlet Sedimentary Structures and Sand Body Geometry: examples from North Carolina, South Carolina and Georgia." *Journal of Sedimentary Petrology* 29.
- INPH 1998. Estudos hidráulico- sedimentológicos em modelagem matemática para melhoria das condições de navegabilidade e aprofundamento do canal de acesso do Porto de Rio Grande – RS.
- JUNG, G. B. 2007. Comportamento das correntes litorâneas longitudinais na região da Querência, praia do Cassino, Rio Grande do Sul, Brasil. *Log/DGEO*. Rio Grande, FURG. Graduação: 60.
- KOMAR, P. 1998. *Beach processes and sedimentation*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, Inc.
- LÉLIS, R. J. F. E CALLIARI, L. J. 2006. Historical shoreline changes near lagoonal and river stabilized inlets in Rio Grande do Sul state, southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), 301 - 305. Itajaí, SC, Brazil, ISSN 0749-0208.
- LISNIEWSKI, M. A. 2006. Variação Granulométrica nos Sedimentos em Suspensão Transportados Longitudinalmente na Zona de Surfe na Praia do Cassino (RS) *LOG/DGEO*. Rio Grande, FURG: 99.
- MARTINI, L. 2007. *Topografia Aplicada aos Levantamentos Hidrográficos*. Curitiba.
- MANRINS, L. R., URIEN, C. M., EICHLER, B. B. 1969. Distribuição dos Sedimentos Modernos da Plataforma Continental Sul Brasileira e Uruguia. *Anais do XXI Congresso Brasileiro de Geologia*, v. 1, p. 29-43.
- MARTINS, L. R. & MELO, U. 1972. "Distribuição Faciológica da Margem Continental Sul Riograndense." *Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Geologia*: 115-132.
- MÖLLER, O., P. CASTAING, J. SALOMON, E P. LAZURE, 2001: The influence of Local e Non-Local Forcing Effects on the Sub tidal Circulation of Patos Lagoon. *Estuaries*, 24(2), 297_311.

- MÖLLER, O., J. LORENZZETTI, J. L. STECH, E M. M. MATA, 1996: The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics. *Continental Shelf Research*, 16(3), 335-351.
- MOTTA, V. 1969. Relatório- diagnóstico sobre a melhoria e o aprofundamento do acesso pela barra de Rio Grande. Porto Alegre, Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS: 114.
- R.S.G.G.G., 2000. Relatório Final de Sondagem Geológica, Geoquímica e geotécnica. Rio Grande. FURG., pp. 210
- SARAIVA, J.M.B., BEDRAN, C., CARNEIRO, C. 2003: Monitoring of Storm Surges on Cassino Beach, *Journal of Coastal Research*, vol.35, special issue, pp. 323-331.
- SHEPARD, F.P., 1954, Nomenclature based on sand-silt-clay ratios: *Journal Sedimentary Petrology*, v. 24, p. 151-158.
- SPERANSKI, N. & L. J. CALLIARI 2001. "Bathymetric Lenses and Localized Coastal Erosion in Southern Brazil." *Journal of Coastal Research*(Special Issue 34): 209 - 215.
- SUMER, B. M., R. J. S. WHITEHOUSE, . 2001. "Scour around coastal structures: a summary of recent research." *Coastal Engineering* 44(2): 153-190.
- THOMSON, R. E. AND K. Y. CHOW, 1980, "Butterworth and Lanczos-Window Cosine Digital Filters: With application to data processing on the Univac 1106 computer". Technical Report. Institute of Ocean Science, Sydney, B.C., 1980.
- TOLDO, E. E. AND S. R. DILLENBURG 2001. "Swash Bar Migration at the Inlet of the Lagoa dos Patos Lagoon, Brazil." *Journal of Coastal Research ICS Proceedings*(Special Issue 34): 489-492.
- TOMAZELLI, L. J. AND J. A. VILLWOCK 1992. "Algumas Considerações sobre o Ambiente Praial e a Deriva Litorânea de Sedimentos ao Longo do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil." *Pesquisas* 19: 1-26.
- TORRES, R. O. 2005. Estudo sobre a Distribuição e Causalidade dos Acidentes Marítimos no Litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. Departamento de Oceanologia. Rio Grande, FURG. Graduação: 62.
- TOZZI, H.A.M. 1999. Influência das tempestades extratropicais sobre o estoque das praias entre Rio Grande e Chuí, RS. Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre, 115p.
- VISHER, G. S. 1969. "Grain Size Distributions and Depositional Processes." *Journal of Sedimentary Petrology* 39: 1074 - 1106.
- VITTA, A. P. 2006. Caracterização Hidrodinâmica da área do Canal de Acesso da Lagoa dos patos. Laboratório de Oceanografia Física. Rio Grande, FURG: 39.
- WENTWORTH, C.K. 1922. A Scale of grade and Class Terms for Clastic Sediments. *Journal of Geology*, 30: 377-392.

Submetido – 20/05/10

Aceito – 21/09/11

