

## Padrões sedimentológicos e morfológicos de uma enseada numa lagoa costeira micromaré: Lagoa dos Patos, sul do Brasil

Suelen Cristine Costa da SILVA<sup>1</sup> & Lauro Júlio CALLIARI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade em Tapes. Av. Oscar Matzembacher, 475, CEP 96760-000, Tapes, Brasil. (suelen-costa@uergs.edu.br)

<sup>2</sup> Laboratório de Oceanografia Geológica, Departamento de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande. Av. Itália, s/n° km 8, Campus Carreiros, CEP 96201-900, Rio Grande, Brasil. (lcalliari@log.furg.br)

**Resumo.** Este trabalho apresenta as características batimétricas e sedimentológicas do Saco da Mangueira, uma enseada marginal semi-fechada, localizada ao sul da cidade do Rio Grande (RS), que se comunica com o estuário da Lagoa dos Patos através de uma estreita comunicação. Sua configuração batimétrica é predominantemente rasa, com profundidade média de 0,8 m e profundidade máxima de 9 m, próximo ao canal de ligação com o estuário. A orientação da enseada em relação aos ventos predominantes, a baixa profundidade, a disponibilidade de sedimentos e a elevada hidrodinâmica determinam sua morfologia atual com a presença de esporões arenosos típicos de enseadas estuarinas em região de micromaré. Com base nos sedimentos de fundo, sete classes texturais foram identificadas e associadas a quatro níveis de energia hidrodinâmica. De um modo geral, o grau de classificação diminui em direção as regiões de maior profundidade. A maior parte da enseada está condicionada a presença de areia fina (>90%). Com o aumento da profundidade, a quantidade de silte e argila aumenta e tipos de fundo com percentagens variando entre 10 e 90% de areia são encontrados. A ação da hidrodinâmica somada a morfologia do corpo exerce um controle direto sobre a distribuição dos tipos de fundo.

**Palavras-chave.** Saco da Mangueira, batimetria, tipos de fundo, hidrodinâmica.

**Abstract.** SEDIMENTOLOGICAL AND MORPHOLOGICAL PATTERNS OF A EMBAYMENT IN A MICROTIDAL COASTAL LAGOON: PATOS LAGOON, SOUTHERN BRAZIL. This work presents the bathymetric and sedimentological characteristics of Mangueira Embayment, a marginal semi-closed embayment, located at the south of Rio Grande (RS) city, connected to the Patos Lagoon estuary through a narrow inlet. Its bathymetric configuration is predominantly shallow, with an average depth of 0.8 m and a maximum depth of 9 m, close to the main estuarine channel. The orientation of the embayment in relation to the prevailing winds, the shallow depth, the availability of sediments and the high hydrodynamics determine its current morphology with the presence of sandy spits typical of estuarine micro-tidal embayment's. Based on the bottom sediments, seven textural classes were identified and associated with four levels of hydrodynamic energy. In general, the degree of sorting decreases towards regions of greater depth. Most of the embayment is conditioned by the presence of fine sand (> 90%). With the increase in depth, the amount of silt and clay increases and bottom types with percentages varying between 10 and 90% of sand are found.

**Keywords.** Mangueira Embayment, bathymetry, bottom types, hydrodynamic.

## 1 Introdução

Os estuários são definidos como corpos de água costeiros semifechados onde ocorre a mistura entre as águas oceânicas e as águas provenientes da drenagem continental (Cameron & Pritchard, 1963). Cada estuário possui características particulares que variam em função da descarga fluvial, do regime de ondas e marés, da ação dos ventos e da morfologia de fundo (Schettini, 2001). Estes ambientes são altamente dinâmicos em resposta as alterações nas forçantes hidrológicas, meteorológicas, climatológicas e oceanográficas (Fairbridge, 1980; Nichols & Biggs, 1985; Godin, 1985; Prandle, 1991; Geyer 1997; Dyer, 1997; Miranda *et al.*, 2002; Truccolo, 2009).

A região estuarina da Lagoa dos Patos apresenta características morfológicas herdadas a partir das variações do nível relativo do mar durante o Quaternário e dos processos hidrodinâmicos que ocorrem principalmente em função das condições meteorológicas (Calliari, 1980). Durante sua evolução holocênica os processos conjugados de erosão e de deposição determinaram a configuração morfológica atual, onde se destaca o aspecto recortado de suas margens, os pontais arenosos, as ilhas e as enseadas (Godolphim, 1976, 1985; Long & Paim, 1987).

Estas enseadas, que recebem a denominação regional de Sacos, são definidas como corpos de águas delimitados por esporões arenosos recurvados de grande área, baixa profundidade (Godolphim, 1976, 1985) e altamente produtivos, os quais contribuem para a exportação de energia enriquecendo a plataforma costeira adjacente em materiais em suspensão e nutrientes na forma dissolvida (Coutinho, 1982).

O Saco da Mangueira é uma enseada semifechada que se comunica com o estuário da Lagoa dos Patos por meio de uma estreita comunicação. Esta enseada sofre a influência de ventos fortes que aliados à baixa profundidade do local tornam este ambiente altamente dinâmico no que diz respeito às características sedimentares e a morfologia marginal (Monteiro *et al.*, 2005).

Além disso, por estar inserida em uma área urbana, onde inúmeras intervenções antrópicas ocorreram ao longo dos anos, os processos de circulação e hidrodinâmica foram afetados (Monteiro *et al.*, 2005; Leal *et al.*, 2019), contribuindo para as alterações das características morfológicas naturais da área.

Este trabalho tem por objetivo caracterizar a variação sedimentar superficial e a batimetria do Saco da Mangueira, fornecendo elementos para a interpretação morfo-sedimentar e hidrodinâmica responsáveis pelas suas características atuais.

## 2 Área, materiais e métodos

### 2.1 Características gerais da área

#### 2.1.1 Evolução

A Lagoa dos Patos está inserida na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, a qual é formada por dois tipos principais de sistemas deposicionais siliciclásticos: o sistema de leques aluviais e os sistemas do tipo laguna-barreira (Tomazelli *et al.*, 2000). A formação e a preservação dos quatro sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira estão associadas às quatro flutuações glacio-eustáticas do nível do mar no Quaternário, responsáveis por grandes deslocamentos laterais da linha de costa (Villwock *et al.*, 1986; Tomazelli & Villwock, 2000).

A Lagoa dos Patos originou-se como um complexo de múltiplos vales incisos adjacentes, onde cada célula pode ser interpretada como paleovale (Weschenfelder *et al.*, 2014; Bortolin *et al.*, 2019). Seu isolamento iniciou pela formação da barreira III (Villwock *et al.*, 1986), quando o transporte litorâneo isolou progressivamente o sistema lagunar, com exceção do canal que permitiu que as águas da bacia de drenagem atingissem o oceano (Calliari, 1997).

Desde então, os processos erosivos e deposicionais resultantes da ação morfodinâmica holocênica foram os responsáveis pela atual configuração geomorfológica do estuário da Lagoa dos Patos. O último máximo relativo do nível do mar holocênico ocorreu há aproximadamente 5,6 ka (Corrêa, 1986; Angulo *et al.*, 2006; Rosa *et*

*al.*, 2017; Barboza *et al.*, 2021), e inundou grandes áreas continentais. Após esse máximo relativo, o nível do mar baixou de maneira constante e lenta, causando a progradação e a estabilização da barreira holocênica IV, que se justapôs à barreira pleistocênica III (Dillenburg *et al.*, 2000, 2004, 2009, 2017; Lima *et al.*, 2013; Rosa *et al.*, 2017).

Dillenburg *et al.* (2017) analisando a barreira do Cassino determinaram que sua progradação não foi uniforme, iniciando há aproximadamente 5 ka ao norte, 6 ka no centro e 6,7 ka ao sul, em consequência de mudanças no balanço sedimentar produzido por alterações ambientais (oceanográficas e/ou climáticas). Além disso, durante a maior parte do tempo de progradação da barreira, ocorreu uma queda global do nível do mar de aproximadamente  $2 \pm 1$  m, sem indícios de ocorrência de oscilações de alta frequência.

Segundo Calliari (1997) a progradação da barreira IV originou duas perspectivas sobre a evolução estuarina. O enfoque de Godolphin (1976) postula que a interação entre o fluxo lagunar e a hidrodinâmica costeira, através das ondas e correntes litorâneas, foi o principal fator que influenciou a evolução do estuário da Lagoa dos Patos, enquanto Long & Paim (1987) enfocaram principalmente os processos fluviais relacionados às migrações cíclicas do canal principal.

### 2.1.2 Morfologia e Sedimentologia

A Lagoa dos Patos tem um comprimento de 240 km, uma largura média de 40 km, com uma superfície aproximada de 10.000 km<sup>2</sup> (Toldo Jr., 1994).

A batimetria do corpo lagunar principal é caracterizada por canais naturais e artificiais com profundidades entre 8 e 9 m, extensas áreas adjacentes aos mesmos (maior que 5 m de profundidade), e enseadas marginais rasas (Calliari, 1997). Na porção estuarina, predominam grandes bancos com profundidades entre 1 e 5 m, e a sua profundidade máxima (18 m) encontra-se associada ao canal que comunica a lagoa ao oceano atlântico (Calliari, 1980; Toldo Jr., 1991)

De acordo com a morfologia e sedimentologia Toldo Jr. (1994) e Toldo Jr. *et*

*al.* (2000) individualizaram a Lagoa dos Patos em dois setores distintos: a margem lagunar e o fundo lagunar. O primeiro compreende a região entre o contorno lagunar e a isóbata de -5 m; a margem oeste desenvolve-se sobre os depósitos costeiros que constituem o sistema de leques aluviais e o sistema laguna-barreira I, a margem norte desenvolve-se sobre os depósitos costeiros que constituem o sistema laguna-barreira II, e a margem leste desenvolve-se sobre os depósitos costeiros que constituem o sistema laguna-barreira III, ao passo que o fundo, ou piso lagunar, corresponde a um fundo plano que desenvolve-se da isóbata de -5 m para porções mais profundas do corpo lagunar.

Sete classes granulométricas foram identificadas no relevo submerso da laguna: areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina, areia muito fina, silte e argila, sendo as margens lagunares essencialmente compostas por sedimentos arenosos e o fundo lagunar plano composto predominantemente por silte, e argila restrita ao setor sul (Toldo Jr., 1994).

Especificamente para a porção estuarina, Calliari (1980) identificou seis tipos de fundo de acordo com as condições batimétricas e o nível de energia hidrodinâmica. Os canais profundos e enseadas rasas protegidas apresentam tipicamente sedimentos argilo-silticos, nos ambientes transicionais predominam fundos mistos, areno-argilosos e areno-silticos, ao passo que as margens e partes rasas dos grandes bancos arenosos exibem principalmente fundos arenosos. As marismas, praias arenosas e ilhas representam ambientes sedimentares adicionais.

O único trabalho de aspecto geológico desenvolvido no Saco da Mangueira foi elaborado por Martins (1966) que analisou a granulometria dos sacos do Arraial, Umbú e Mangueira. Esse autor descreve os sedimentos da área como essencialmente arenosos, com ocorrência secundária de matéria orgânica, carbonato de cálcio e algum silte. A caracterização, entretanto, foi baseada em poucas amostras o que inviabilizou uma análise detalhada principalmente no que tange as características sedimentológicas espaciais da área.

### 2.1.3 Hidrografia

As características hidrográficas da Lagoa dos Patos e do estuário são dominadas pelos ciclos hidrológicos da bacia de drenagem. Aproximadamente 85% das águas da imensa bacia de drenagem do sistema Patos-Mirim são derivados dos rios Guaíba, Camaquã e do Canal de São Gonçalo, os quais drenam, respectivamente, para as regiões norte, central e sul da laguna (Garcia, 1997).

O fluxo de água mostra um padrão típico de fluxo sazonal de média latitude, com maior fluxo de água doce no inverno e na primavera austral, e menor fluxo no verão e outono austral (Möller *et al.*, 2001).

A costa do Rio Grande do Sul está localizada em uma região de mínima interferência da maré (Garcia, 1997), a qual possui uma amplitude média de 0,45 m (Toldo Jr., 1994). A influência da maré astronômica restringe-se ao baixo estuário da laguna, atenuando fortemente a amplitude ao adentrar no canal de Rio Grande (Möller *et al.*, 1996).

Por tratar-se de uma lagoa costeiras do tipo "estrangulado", a dinâmica de circulação é regida principalmente pelo regime de ventos e pela descarga fluvial (Kjerfve, 1986; Möller *et al.*, 2001; Fernandes *et al.*, 2004). A região da Lagoa dos Patos é influenciada por um regime de ventos alta energia e de natureza bimodal, com ventos predominantes de sentido NE intensificados durante os meses de primavera e verão, associados ao fortalecimento do Anticiclone do Atlântico Sul (Tomazelli, 1990, 1993), e aumento na frequência da ocorrência de ventos do quadrante S no inverno, ocasionado pelo aumento da frequência de passagem dos sistemas frontais (Castelão & Möller, 2003).

Möller *et al.* (1996, 2001) destacam a importância da influência dos ventos na hidrodinâmica lagunar no seu efeito local (mecanismo de elevação/rebaixamento) e não-local (transporte de Ekman agindo a 90° para a esquerda da direção do vento). Em períodos de vento NE, a combinação destes dois efeitos resulta em um gradiente de pressão barotrópico

que força o sistema a exportar água para a plataforma continental, enquanto sob o efeito dos ventos de SO ocorre o contrário, impulsionando a entrada de água salgada para o interior da laguna.

### 2.2. Localização da área

O Saco da Mangueira (Fig. 1) é uma enseada estuarina localizada junto à margem oeste da Lagoa dos Patos. Este sistema orientado na direção nordeste-sudoeste possui uma área submersa de 27 km<sup>2</sup> apresentando no seu eixo maior uma extensão de 11 km. Sua largura varia de 3,5 km na parte central a 240 m na sua desembocadura junto ao Canal do Rio Grande. Em uma extremidade recebe água vinda do estuário e na outra extremidade recebe uma pequena contribuição de água doce vinda dos arroios Vieira e Simão (Monteiro *et al.*, 2005).

Embora seja considerada uma área de conservação (Asmus *et al.*, 1998), protegida pelo Plano Diretor Municipal (Rio Grande, 2008) e de importância econômica, principalmente para o setor pesqueiro, esta enseada recebe 29% do total de efluentes da cidade do Rio Grande, incluindo efluentes pluviais e industriais, a maioria sem tratamento (Almeida *et al.*, 1993; Baumgarten *et al.*, 2001). Suas águas foram caracterizadas como eutróficas (Costa *et al.*, 1981; Persich, 1993; Baumgarten *et al.*, 1995) e a evolução até condições anóxicas na coluna da água e nos sedimentos de superfície não ocorreu em função de sua hidrodinâmica (Kantin & Baumgarten, 1982; Baumgarten *et al.*, 1995).

No estreito que comunica o saco ao corpo principal do estuário foi construída uma ponte (Ponte dos Franceses), que veio a causar alterações no padrão de circulação do sistema, influenciando o tempo de residência das águas dentro desta enseada e o comportamento dos processos locais de erosão e deposição de sedimento (Monteiro *et al.*, 2005). Adicionalmente, a embocadura do Saco da Mangueira foi aterrada em função de despejos de material dragado do canal de acesso a bacia do Porto Novo e do próprio Canal do Norte, o que veio a diminuir consideravelmente a largura dessa área.



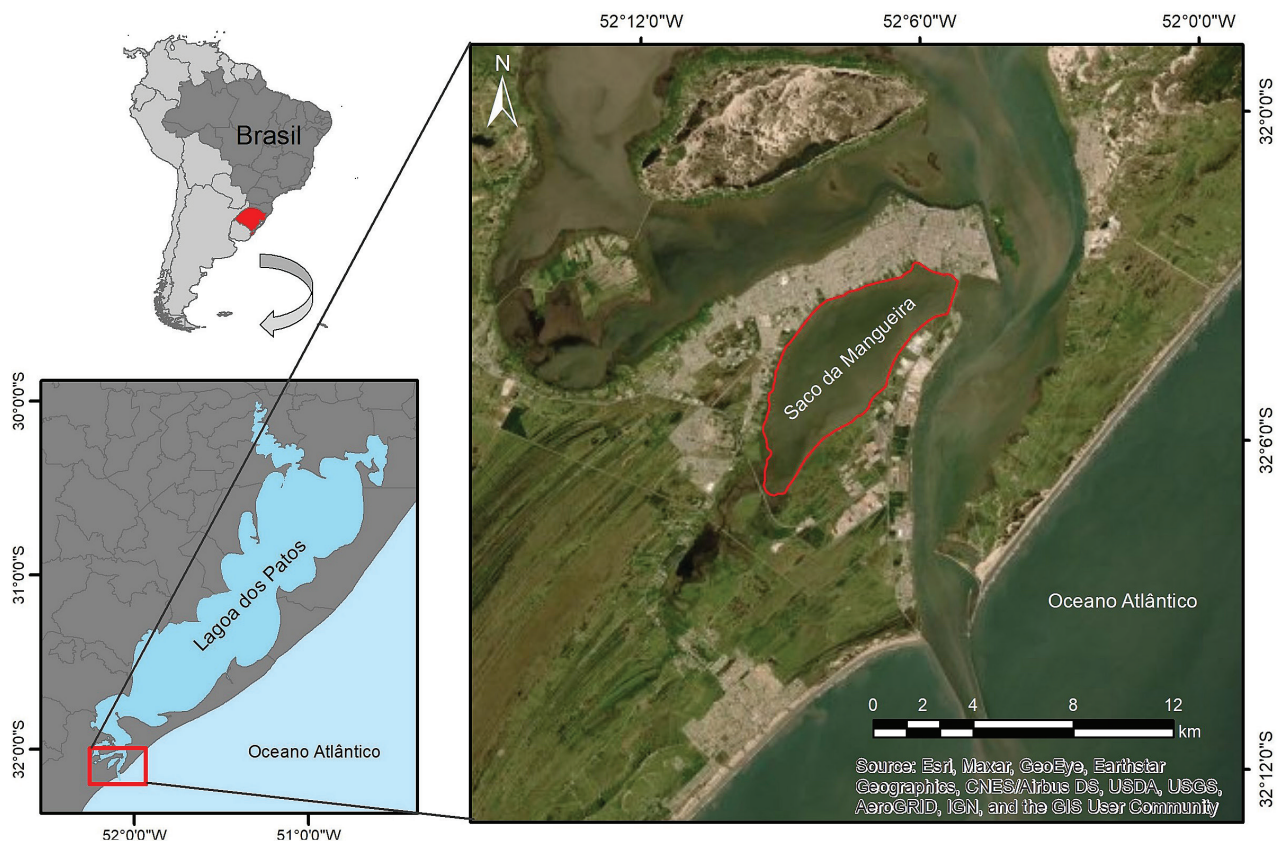


Figura 1. Mapa de localização do Saco da Mangueira (polígono vermelho).  
Figure 1. Location map of Mangueira Embayment (red polygon).

### 2.3 Materiais e Métodos

O mapa base do Saco da Mangueira foi elaborado a partir uma imagem georreferenciada do satélite *Quick Bird*, com resolução espacial de 0,5 m, de fevereiro de 2006, fornecida pelo departamento de física da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), sobre a qual foram planejados os trabalhos de campo.

A sondagem batimétrica foi efetuada a bordo de uma embarcação do tipo "*boston whaler*", de pequeno calado, equipada com um Ecobatímetro modelo hydrotrac da *Odom Hydrographic Systems*, trabalhando na frequência de 200 khz, com precisão de 0,01 m acoplado a um GPS, Garmim®. A partir das linhas de navegação, foram obtidos perfis batimétricos perpendiculares a margem do Saco da Mangueira. Para a correção do nível foi utilizado o registro da régua de maré da Estação da Praticagem da Barra do Rio Grande. A construção do mapa

batimétrico foi realizada no software Surfer® 8.0. Para a interpolação dos pontos foi utilizado o método de "*krigagem*".

Foram coletadas 100 amostras de sedimento superficial de fundo do Saco da Mangueira (Fig. 2) com um amostrador do tipo "*mud snapper*", nos locais de baixa profundidade e, com a draga de Petersen, nos canais mais profundos. As amostras foram analisadas no Laboratório de Oceanografia Geológica da Universidade Federal do Rio Grande (LOG/IO/FURG) através das técnicas tradicionais de peneiramento e pipetagem, com intervalos de tamanho de grão de ¼ phi na escala de Wentworth (1922). O cálculo dos parâmetros estatísticos baseou-se no método de Folk & Ward (1957) e foram processados no software de análise estatística e textural Sysgran®3.0. A partir dos dados obtidos foi realizada a caracterização dos sedimentos presentes na área de estudo de acordo com o diagrama de Shepard (1954).

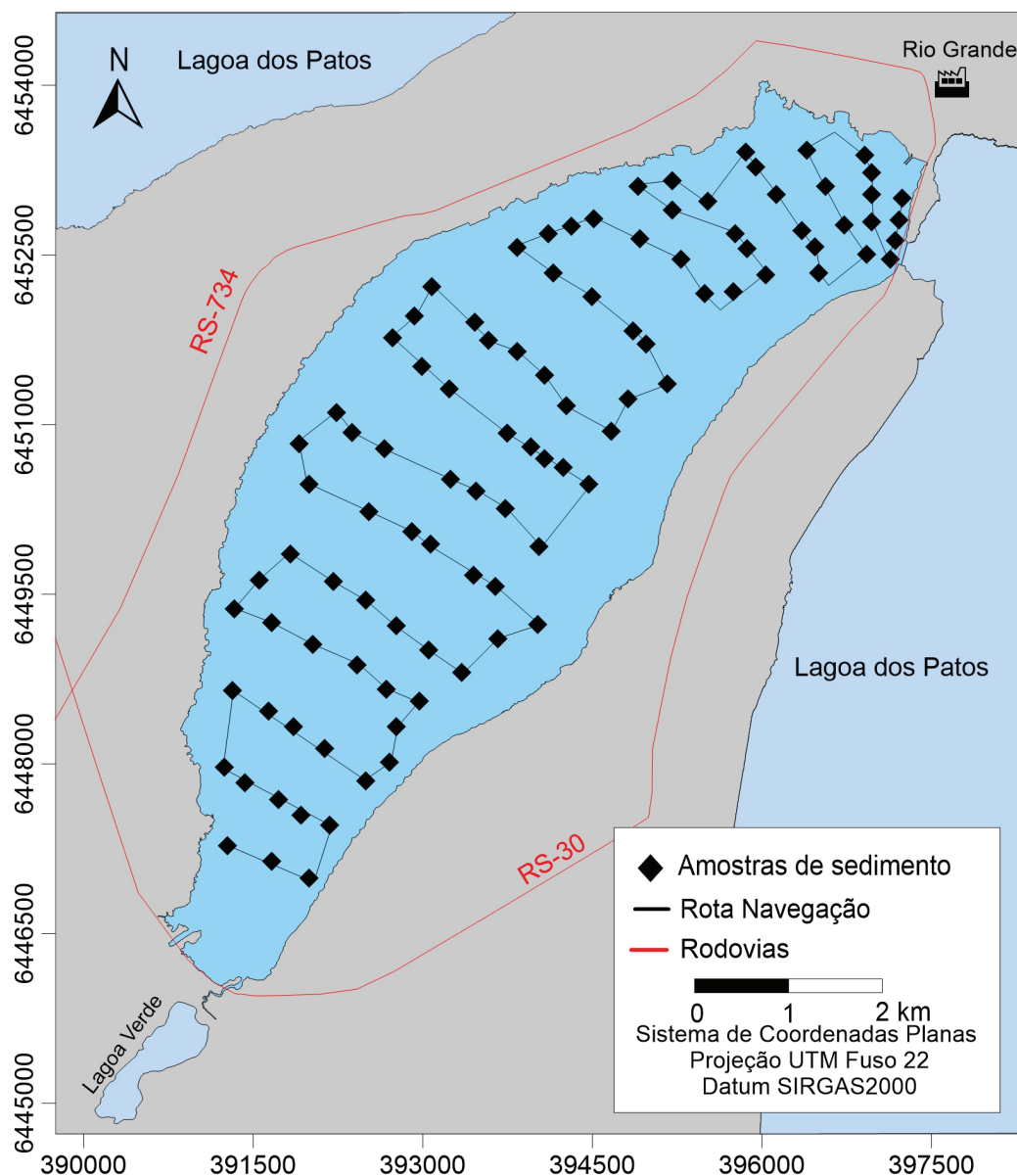


Figura 2. Mapa de localização das amostras sedimentológicas no Saco da Mangueira.  
Figure 2. Location map of sedimentological samples in Mangueira Embayment.

As interpretações hidrodinâmicas deposicionais foram feitas com base no diagrama triangular proposto por Pejrup (1988), utilizado para classificação dos sedimentos estuarinos, onde podem ser identificados os teores de argila nos sedimentos lamosos e as condições hidrodinâmicas predominantes no momento de deposição.

Os mapas representativos das variáveis analisadas foram elaborados no software Surfer®13.

### 3 Resultados e discussões

#### 3.1 Morfologia de fundo

Os dados batimétricos demonstram que o Saco da Mangueira é predominantemente raso, com profundidade média de 0,80 m e, profundidade máxima de 9 m, na área de ligação com o estuário da Lagoa dos Patos (Fig. 3).

Morfologicamente, destacam-se cúspides arenosas submersas, especialmente na margem

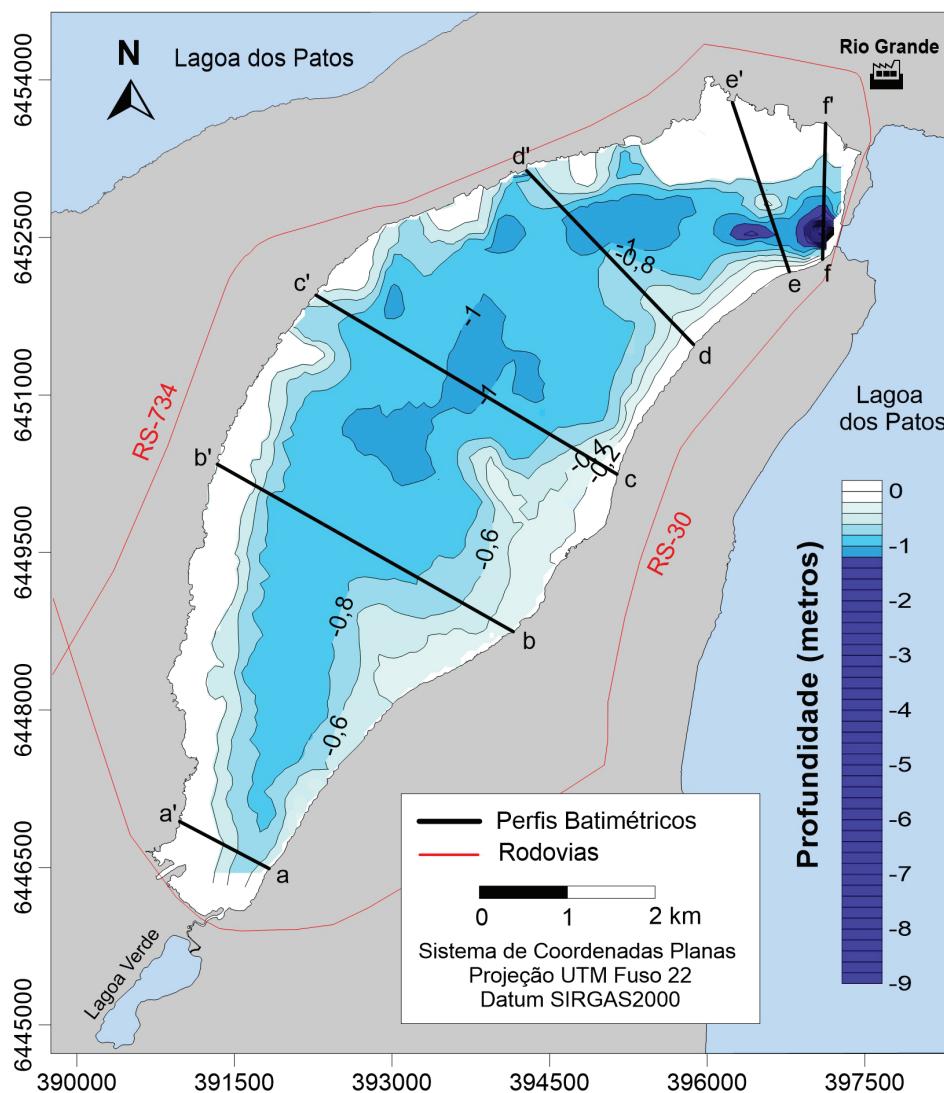


Figura 3. Mapa batimétrico do Saco da Mangueira, com a localização dos perfis batimétricos.  
 Figure 3. Bathymetry map of Mangueira Embayment, with the bathymetric profile's location.

leste, que se assemelham a esporões arenosos de pequena escala e baixa profundidade, análogos aos encontrados em escala maior ao longo das margens da Lagoa dos Patos.

Esporões arenosos representam continuações da linha de costa na direção preferencial do transporte de sedimentos. Sua formação é determinada pela direção e intensidade do vento e pela extensão do campo pelo qual esses ventos se propagam. Essas feições são formadas principalmente em lagoas costeiras alongadas, em resposta a ventos bidirecionais que sopram sub-paralelamente ao eixo principal do corpo d'água, produzindo ondas de altura reduzida que chegam obliquamente

à linha de costa pelo processo de refração em regiões de micro maré (Zenkovitch, 1959; Rosen, 1975; Miranda *et al.*, 2019).

Esse é o caso da Lagoa dos Patos, onde os dois maiores sistemas de vento NE e SO propagam-se em direção ao eixo principal da laguna e são mantidos pela ausência de correntes de maré expressivas. Conforme Miranda *et al.* (2020), ventos do quadrante NE são os mais frequentes na região (14,1%), seguidos pelos ventos de direção ENE (10,2%), E (7,6%), S (6,8%), e SSO (6,2%).

Segundo Toldo Jr. (1994), na margem oeste da Lagoa dos Patos são encontrados seis esporões arenosos, na margem norte ocorrem

dois e na margem leste se desenvolvem cinco desses esporões. No Brasil, feições semelhantes são encontradas na Lagoa de Araruama, no Rio de Janeiro, Lagoa da Conceição, em Santa Catarina, e na Lagoa Mangueira, no Rio Grande do sul (Alves, 2006; Alves *et al.*, 2006).

Pereira (1997) analisando a circulação do Saco da Mangueira por meio de simulações numéricas encontrou respostas rápidas desse ambiente para a ação do vento, principalmente em suas áreas mais rasas que chegaram a ter sentido de fluxo concordante com a direção do vento e oposto a força da maré.

A dinâmica do Saco da Mangueira está diretamente relacionada a dinâmica do canal de acesso ao estuário, a qual é controlada principalmente pelo efeito remoto do vento. O vento soprando de sudoeste causa um empilhamento de água na costa e um rebaixamento do nível dentro do estuário, e consequentemente dentro do Saco da Mangueira. Por sua vez, o vento de nordeste causa um rebaixamento do nível na costa, com aumento do nível dentro do estuário e no Saco da Mangueira (Monteiro *et al.*, 2005; Silva, 2020).

Pode-se considerar que a orientação desta enseada na direção nordeste-sudoeste e sua exposição ao regime de ventos predominante condiciona a formação dos esporões arenosos. As correntes geradas a partir do vento remobilizam o sedimento arenoso de fundo e o transportam ao longo das margens, onde as cúspides são formadas. Esse processo é responsável por suavizar e modelar as irregularidades na topografia e, dessa forma, determinam a configuração morfológica do Saco da Mangueira.

A presença das cúspides arenosas na margem leste em contraposição a ausência delas na margem oeste provavelmente está relacionada a maior disponibilidade de sedimentos arenosos, uma vez que a margem oeste sofreu interferência humana em função dos aterros construídos para tornar essa margem local de moradia.

Segundo Farina (1998), a ocupação do entorno da margem oeste do Saco da Mangueira iniciou por volta de 1978. Na década de 80, com o adensamento da ocupação, iniciaram-se os aterros em direção aos banhados adjacentes

adentrando o saco. Os aterros ainda são realizados, não existe nenhuma infraestrutura urbana, e os dejetos cloacais e resíduos continuam sendo jogados nas proximidades ou até mesmo dentro desta enseada.

Para uma melhor compreensão da morfologia de fundo foram realizados perfis a partir das linhas de navegação utilizadas durante a sondagem batimétrica.

O perfil a – a' (Fig. 4A), na extremidade sul da enseada, evidencia a presença um canal próximo à margem leste, com profundidade de 0,75 m, provavelmente relacionado com as trocas entre este corpo de água e a Lagoa Verde, através do Arroio Simão. A margem oposta mostra a presença de um banco com 0,40 m e uma variação mais suave na topografia.

O perfil b – b' (Fig. 4B), com profundidade máxima de 1 m, marca a presença de uma cúspide submersa na margem leste da enseada, enquanto a margem oposta apresenta um gradiente mais acentuado.

No perfil c – c' (Fig. 4C) fica evidente a presença de um canal no centro da enseada com profundidade da ordem de 1,20 m e outro próximo a margem oeste, com profundidade de 1,08 m, enquanto ambas as margens apresentam um gradiente acentuado.

Já no perfil d – d' (Fig. 4D) pode ser visualizado a presença de dois canais, um mais profundo com 1,16 m junto à margem oeste e outro mais suave próximo à margem leste, a qual possui um esporão submerso.

E, finalmente nos perfis e – e' (Fig. 4E) e f – f' (Fig. 4F), próximos ao canal de ligação do Saco da Mangueira com o estuário, observa-se uma soleira na parte interna da enseada caracterizando uma configuração morfológica típica de um *inlet*, onde a profundidade passa de 1,78 m no perfil e – e' para 9 m no perfil subsequente, em uma distância de aproximadamente 500 m.

Anteriormente, a construção da Ponte dos Franceses, a embocadura do Saco da Mangueira era bastante larga e o canal de ligação com o Canal do Norte era adjacente ao Pontal da Mangueira (Fig. 5). No entanto, para a construção da ponte a embocadura foi aterrada, causando alterações importantes na batimetria do canal natural.



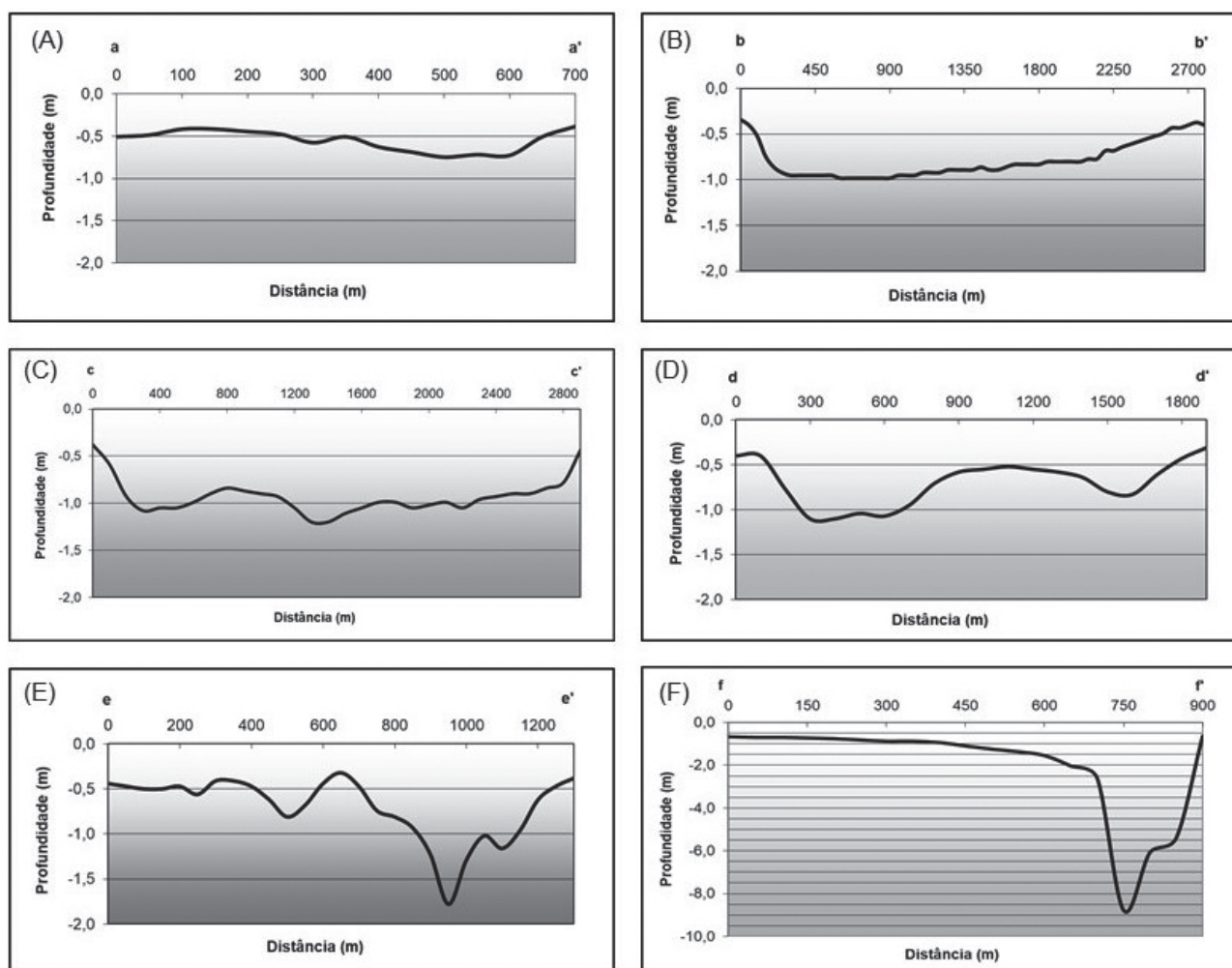


Figura 4. Perfis batimétricos do Saco da Mangueira (localizados na Figura 3).  
Figure 4. Bathymetric profiles of Mangueira Embayment (located in Figure 3).

Nesta região, que pode ser mais bem visualizada na Figura 6, provavelmente a alta velocidade das correntes entre a enseada e o canal produziu escarpas na topografia de fundo, remobilizando os sedimentos, e causando um desnível acentuado entre a porção interna e externa do saco. Monteiro *et al.* (2005) simulando a velocidade das correntes para este local, através de modelagem numérica, demonstrou que logo após a construção da Ponte dos Franceses a velocidade das correntes era mais elevada, com picos de velocidade máxima acima de 0,5 m/s, resultando na intensa erosão no local.

### 3.2 Sedimentologia

#### 3.2.1 Distribuição Textural

Com base no diagrama triangular proposto por Shepard (1954), elaborou-se o mapa

textural dos sedimentos superficiais do Saco da Mangueira (Fig. 7). A metodologia empregada permitiu a caracterização de sete classes de sedimento na área de estudo: areia, areia siltica, areia siltico-argilosa, areia argilosa, silte arenoso, silte e silte argilo-arenoso.

Nas regiões mais abrigadas da ação do vento ou de energia mais baixa predomina a deposição de sedimentos finos ou enriquecidos em silte e argila. Com a diminuição da profundidade sedimentos arenosos constituem a fração dominante, uma vez que se encontram em regiões onde a ação das ondas vagas, de baixo período e altura, propicia um maior nível energético impedindo, assim, a deposição das frações mais finas.

A análise granulométrica mostrou estar em conformidade com dados demonstrados por Martins (1966), para esta mesma área, onde os sedimentos encontrados foram



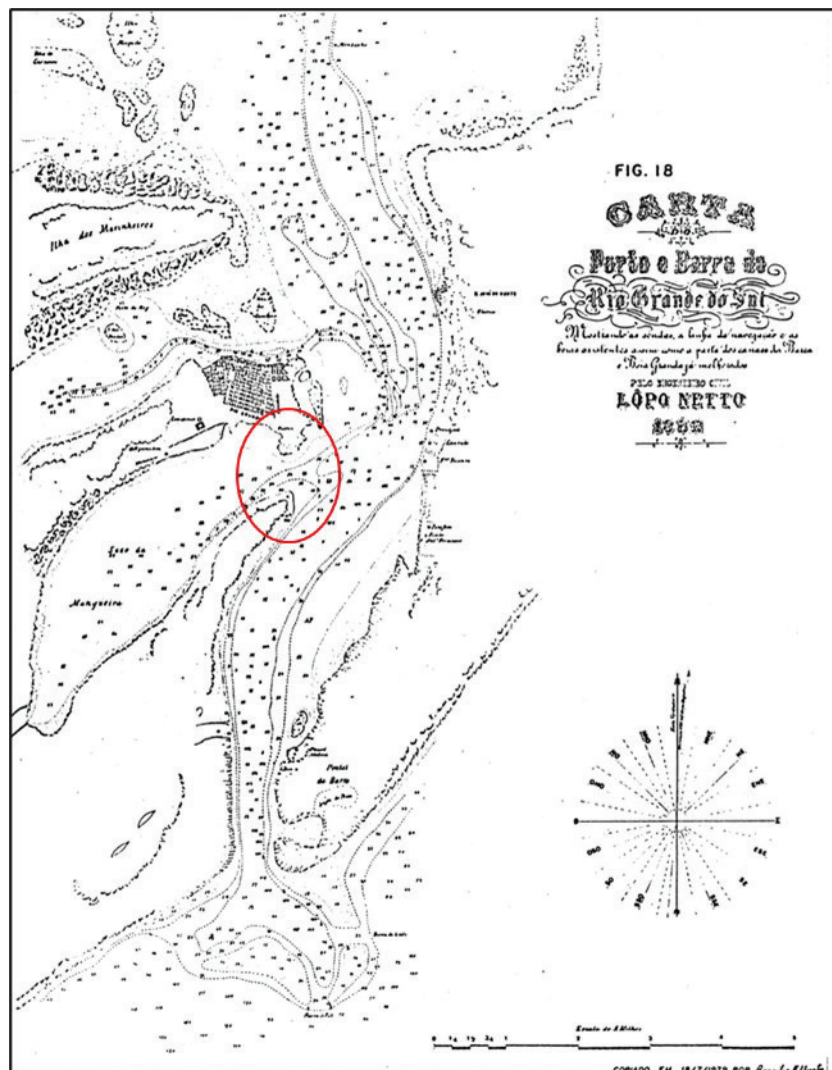


Figura 5. Carta do Porto e Barra do Rio Grande em 1882, segundo Lopo Netto, com destaque para a área de ligação do Saco da Mangueira com o estuário da Lagos dos Patos (modificado de Calliari, 1980).

Figure 5. Chart of the Port and Bar of Rio Grande in 1882, according to Lopo Netto, with emphasis on the connecting area of Manguera Embayment and Patos Lagoon estuary (modified from Calliari, 1980).

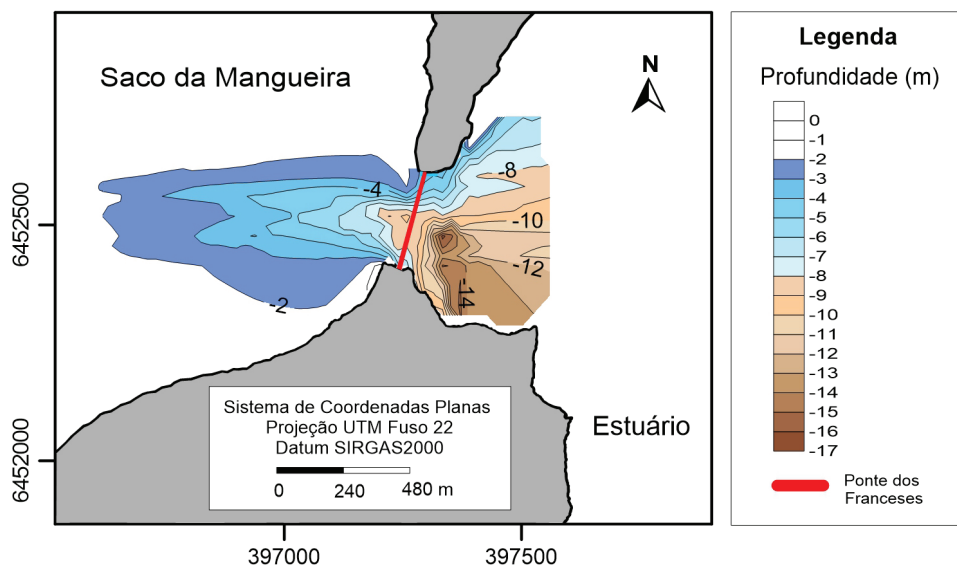


Figura 6. Batimetria de detalhe do Saco da Mangueira, mostrando a região próxima à Ponte dos Franceses.

Figure 6. Detail bathymetry of Manguera Embayment, showing the region near the French Bridge.

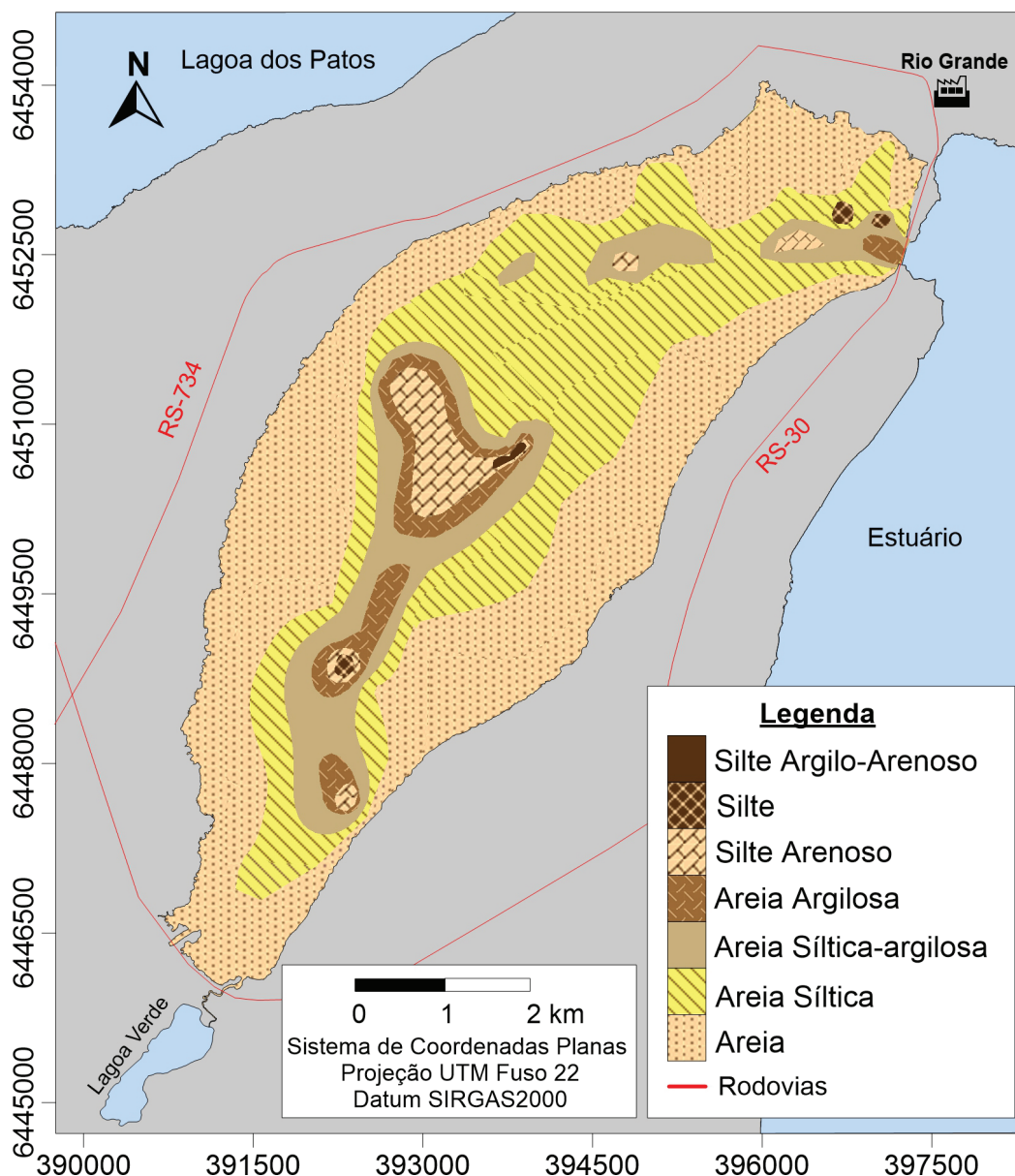


Figura 7. Mapa textural dos sedimentos superficiais do Saco da Mangueira, segundo a classificação de Shepard (1954).  
Figure 7. Textural map of surface sediments of Mangueira Embayment, according to Shepard (1954).

predominantemente arenosos com caráter secundário de matéria orgânica, carbonato de cálcio clástico e algum silte. A amostragem mais detalhada, entretanto, evidenciou a presença de argila associada a areia e ao silte.

Segundo Calliari (1980), duas fácies sedimentares encontram-se perfeitamente delimitadas no estuário da Laguna dos Patos: as fácies arenosas e argilo-siltica, caracterizadas respectivamente, por zonas mais rasas com maior dinâmica e zonas mais profundas ou regiões protegidas.

Sedimentos argilo-silticos são típicos de canais profundos e enseadas rasas protegidas (Martins 1963, 1966, 1971). Souza (2002)

estudando a sedimentologia do Saco do Arraial encontrou a fácies argilosa associada às zonas de canais com profundidade superior a 2 m, especialmente nas proximidades do Porto Velho, onde as texturas são constituídas por argila arenosa, argila siltica e argila siltico-arenosa.

De acordo com Martins (1963), a fácies siltica domina a maior parte do fundo lagunar, enquanto a fácies argilosa fica restrita ao setor meridional da laguna. Baisch & Wassermann (1998) analisando a distribuição granulométrica da fração fina dos sedimentos superficiais encontraram uma visível diminuição do conteúdo de silte da porção norte para a porção sul da laguna. Na mesma direção também foi

encontrado um aumento da fração granulométrica da argila. Segundo esses mesmos autores, o aumento da fração argilosa na célula sul da laguna coincide com o limite de intrusão da cunha salina, durante períodos de baixa descarga associados com ventos de quadrante sul, que vem a aumentar o conteúdo de argila devido a floculação.

Apesar do Saco da Mangueira localizar-se na porção sul da Lagoa dos Patos e apresentar áreas com profundidades superiores a 9 m (próximo a Ponte dos Franceses), a fração argilosa encontrada não foi representativa de um ambiente com tais características. Este fato se deve, provavelmente, a elevada hidrodinâmica do ambiente que aliada às intensas trocas de água com o estuário não propiciam condições para que os sedimentos de granulação mais fina possam se depositar. Para Pereira (1997), a velocidade de corrente nas partes mais profundas, próximo a comunicação do Saco com o canal, são mais intensas e sofrem redução gradual conforme se movem para o interior da enseada, onde a profundidade é consideravelmente menor. Devido ao estrangulamento do fluxo logo abaixo da Ponte dos Franceses, as velocidades de corrente tendem a aumentar para conservar a continuidade e, com isso remobilizam o sedimento de fundo.

### 3.2.2 Parâmetros Estatísticos

#### **Diâmetro Médio (Mz)**

A distribuição do diâmetro médio no Saco da Mangueira (Fig. 8) indica uma nítida diferenciação entre as áreas mais rasas e as porções mais profundas da enseada.

Nas margens, o diâmetro médio varia de 2,019 a 3,569  $\phi$ , correspondendo à faixa granulométrica de areia fina a muito fina na classificação de Wentworth (1922). Os resultados confirmam o quadro geral encontrado em outras regiões da parte sul da Lagoa dos Patos descritos por Martins (1963, 1966), Calliari (1980) e Oliveira (2015), refletindo zonas de nível energético elevado.

Nas zonas mais profundas ou protegidas da ação de ventos predominantes, onde a dinâmica é menos ativa, a granulometria tende para

sedimentos mais finos, admitindo-se entre eles uma série de misturas, com valores de diâmetro médio variando de 6,089 a 5,903  $\phi$ , predominado os sedimentos no intervalo silte.

#### **Desvio Padrão ( $\sigma_1$ )**

O desvio padrão na área de estudo (Fig. 9) apresenta valores que variam de 0,3020 a 3,604  $\phi$ , correspondendo respectivamente aos intervalos de areia fina a muito fina e, teores de silte e argila. As regiões de menor profundidade, próximo às margens ou junto a bancos, correspondem a sedimentos selecionados e muito bem selecionados, constituídos, em sua maioria por sedimentos unimodais, resultado do retrabalhamento durante ciclos de sedimentação e, submetidos a condições hidrodinâmicas suficientemente capazes de proporcionar um bom selecionamento.

De um modo geral, a classificação diminui em direção as regiões de maior profundidade. Assim, sedimentos pobremente selecionados a muito pobremente selecionados são encontrados nas áreas centrais desta enseada e próximo ao canal de ligação com o estuário. E, ainda, em áreas onde a mistura de mais de uma população vem a afetar a classificação do sedimento.

Segundo Calliari (1980), zonas protegidas da ação de ventos à medida que se tornam enriquecidas em sedimentos finos empobrecem o grau de selecionamento, devido a menor energia do ambiente em selecioná-los. Além disso, o grau de seleção é afetado pela distribuição de organismos bentônicos, especialmente biodetritos de *Erodona mactroídes* que vivem associados a fundos areno-sílticos e areno-argilosos.

#### **Assimetria ( $sk_1$ )**

A área de estudo está coberta por sedimentos, em sua maioria, com assimetria positiva (Fig. 10), retratando uma tendência de enriquecimento de finos ou mistura entre as populações. Valores de assimetria negativa e simétricos são característicos das zonas marginais e bancos, locais de alta hidrodinâmica, onde os sedimentos estão em constante retrabalhamento pelas ondas e correntes. Já valores de assimetria muito positiva são

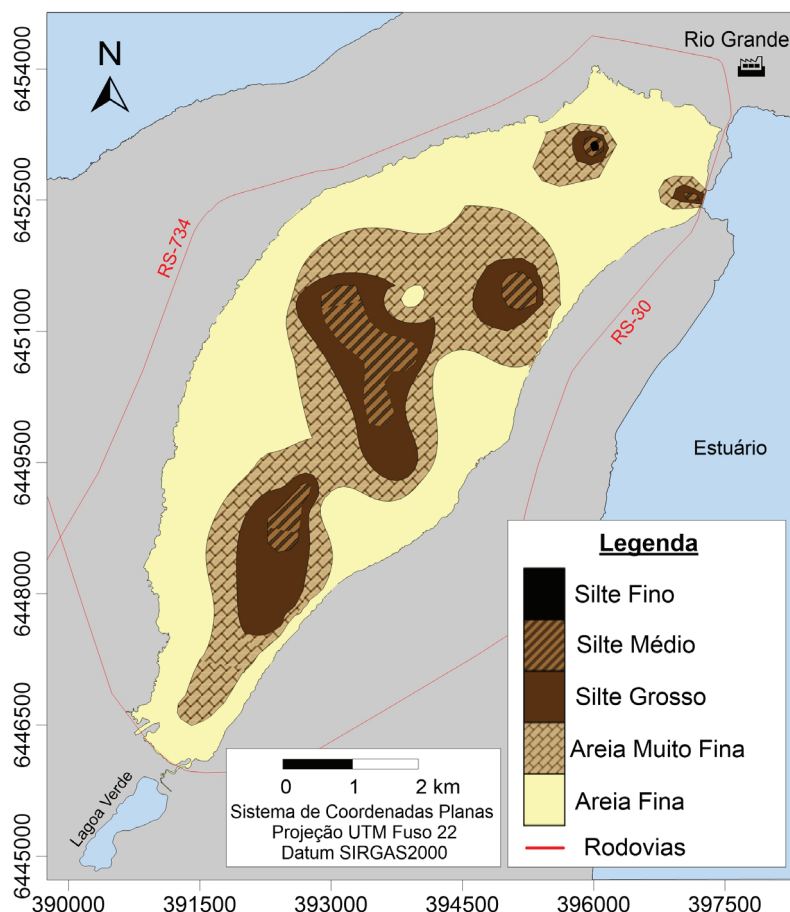


Figura 8. Mapa de variação da média aritmética dos sedimentos superficiais do Saco da Mangueira.  
Figure 8. Variation map of the arithmetic mean of Mangueira Embayment surface sediments

encontrados em regiões de maior profundidade, como a parte central do Saco da Mangueira e próximo a Ponte dos Franceses.

Da mesma forma que o desvio padrão, este parâmetro também retrata a influência dos biodetritos na fração grossa, os quais evidenciam os valores extremo de assimetria negativa.

### 3.2.3 Hidrodinâmica Sedimentar

A partir do resultado das análises granulométricas das amostras superficiais de fundo do Saco da Mangueira foi elaborado um mapa baseado no diagrama triangular proposto por Pejrup (1988), delimitando quatro áreas representativas da hidrodinâmica (Fig. 11).

A maior parte desta enseada está condicionada a depósitos de sedimento sob condições de alta hidrodinâmica (III). Essas áreas de alta energia estão localizadas nas margens devido a ação das ondas ou em regiões mais profundas onde as correntes de fundo

desempenham um papel importante. As áreas marginais apresentaram amostras dentro do grupo III-A, contendo de 90 a 100% de areia. À medida que a profundidade aumenta, como na porção próxima a Ponte dos Franceses, o sedimento passa a caracteriza-se como pertencente aos grupos III-B (50 a 90% de areia) e III-C (10 a 50% de areia).

Apenas duas áreas apresentam uma elevada hidrodinâmica, uma mais ao norte, situada em um canal próximo à ligação do saco com o estuário e outra mais ao sul, também em um canal nas proximidades da margem leste. As amostras nessas regiões caem dentro dos grupos IV-A (90 a 100% de areia), IV-B (50 a 90% de areia) e IV-C (10 a 50% de areia), e estão relacionadas provavelmente a locais que apresentam correntes de fundo remobilizando os sedimentos.

As zonas de baixa hidrodinâmica ficaram restritas a pequenas áreas, mais protegidas da ação do vento, e são representadas por amostras



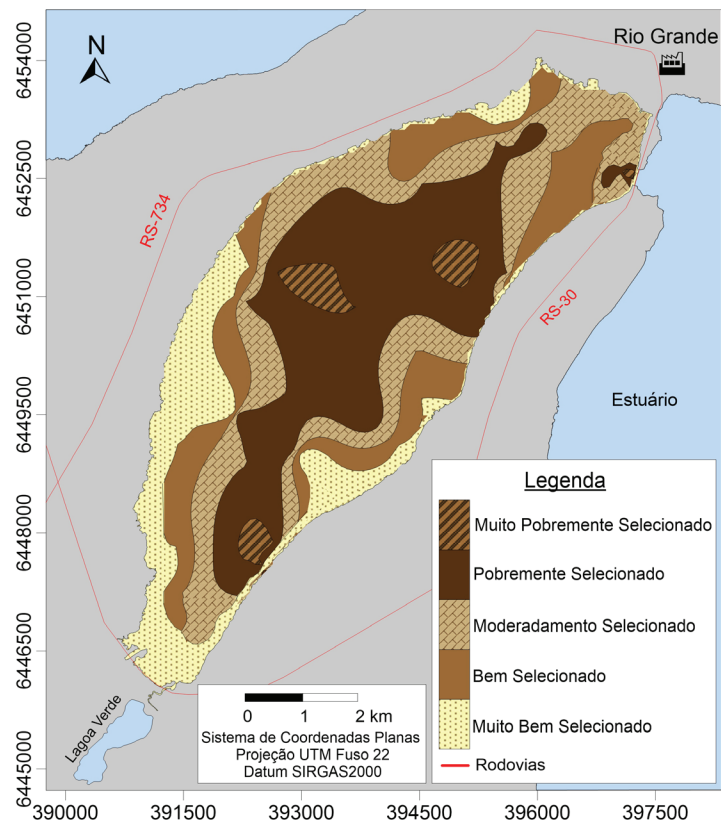


Figura 9. Mapa de variação do desvio padrão dos sedimentos superficiais do Saco da Mangueira.  
Figure 9. Variation map of standard deviation of Mangueira Embayment surface sediments.

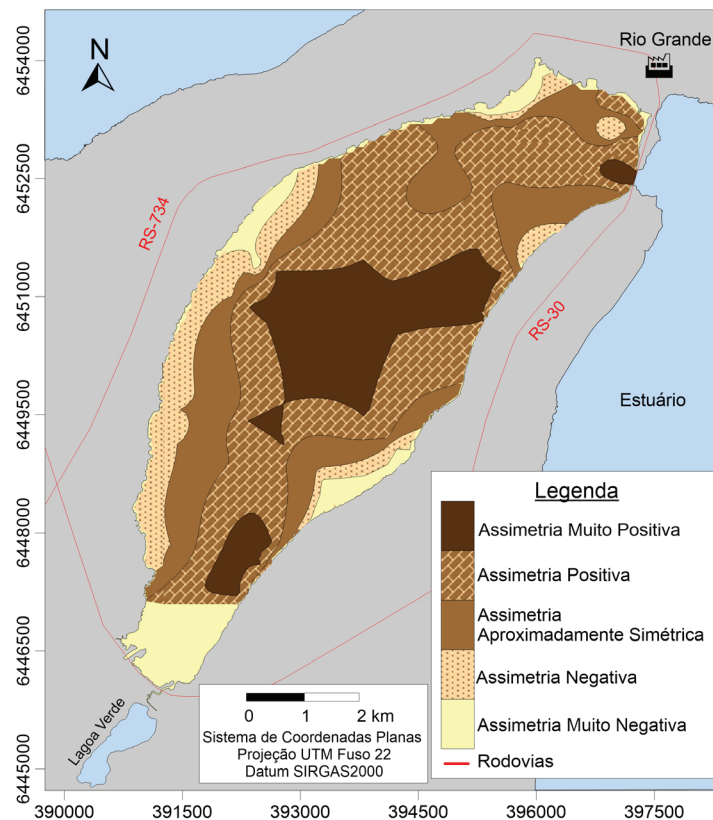


Figura 10. Mapa de variação da assimetria dos sedimentos superficiais do Saco da Mangueira.  
Figure 10. Variation map of skewness of Mangueira Embayment surface sediments.

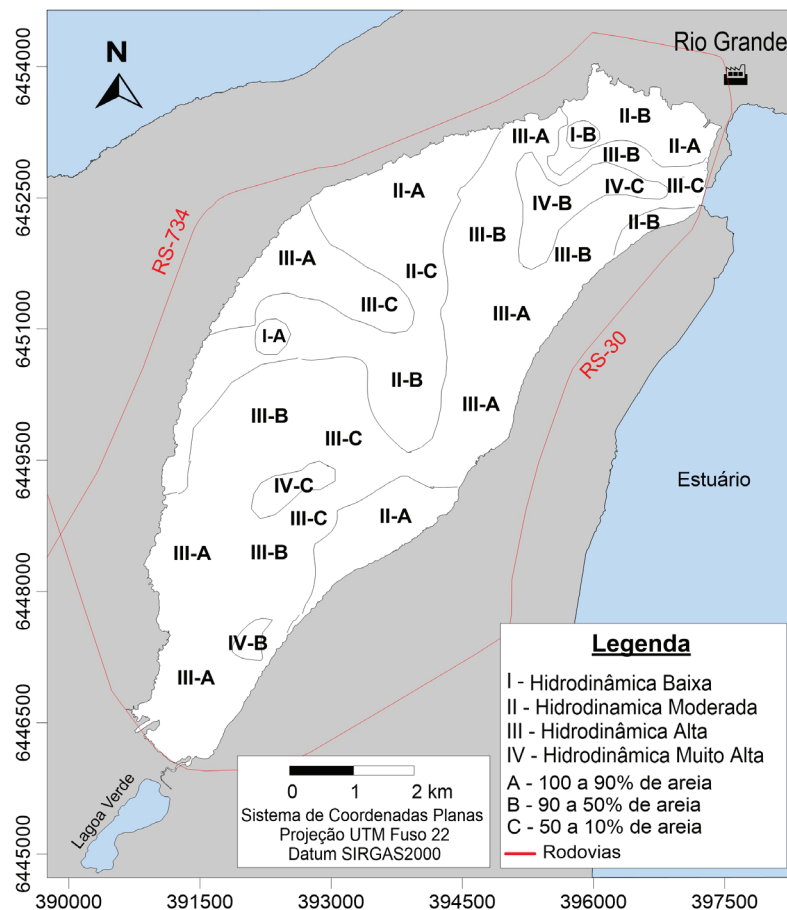


Figura 11. Mapa da hidrodinâmica do Saco da Mangueira, segundo o diagrama de Pejrup (1988).  
Figure 11. Hydrodynamic map of Mangueira Embayment, according to the diagram by Pejrup (1988).

do grupo IB, correspondendo a sedimentos que contém de 50 a 90% de areia. Estes sedimentos são depositados sob condições hidrodinâmicas muito calmas, porém em áreas mais abrigadas em relação ao vento NE predominante na região. Segundo Pejrup (1988), essas são situações muito raras em ambientes estuarinos, sendo mais típicos de ambientes de lagoas costeiras e sacos protegidos.

Na parte central do saco e em algumas áreas marginais localizam-se ainda amostras de sedimento caracterizadas por uma hidrodinâmica intermediária, representativas dos grupos II-A e II-B, contendo respectivamente, de 90 a 100% de areia e de 50 a 90% de areia.

Oliveira (2015) encontrou resultados semelhantes aplicando o diagrama de Pejrup no Saco do Justino e Enseada do Martins, na Lagoa dos Patos, demonstrando predominantemente uma alta hidrodinâmica, com a maior parte das

amostras classificadas como pertencente aos grupos III e IV, com maior concentração de areia.

A granulometria de um sedimento depende das condições hidrodinâmicas nos mais variados ambientes. A velocidade das correntes, turbulência, densidade do meio transportador, aliados a estabilidade das condições das correntes, são intensamente responsáveis pelos diferentes tipos de distribuições de frequência de tamanho.

Desse modo, a hidrodinâmica predominantemente alta e moderada no Saco da Mangueira impede que os sedimentos da fração mais fina, como a argila, mesmo em profundidades maiores, possam ser depositados e permanecer incorporados ao sedimento de fundo. A ação das correntes ou até mesmo a turbulência do meio são responsáveis pela remobilização desses sedimentos.

## 4 Conclusões

Os estudos realizados no Saco da Mangueira permitiram evidenciar que a região de ligação desta enseada com a Lagoa dos Patos sofreu mudanças significativas em sua morfologia de fundo ao longo dos anos. A construção da Ponte dos Franceses ocasionou o desenvolvimento de um *inlet*, em resposta ao estreitamento do canal, para que dessa forma o equilíbrio hidrodinâmico pudesse ser mantido. Este local apresenta hoje profundidades da ordem de 9 m e caracteriza-se por uma elevada hidrodinâmica, onde as altas velocidades de corrente geradas pelos fluxos de enchente e vazante, determinam a deposição de sedimentos areno-argilosos.

A orientação da enseada no sentido nordeste-sudoeste, aliada a baixa profundidade do local, e a disponibilidade de sedimentos determinam sua configuração morfológica. O regime de ventos NE e SO, predominante na região, são responsáveis pela formação dos esporões arenosos nas margens do saco, principalmente na margem leste, e definem os padrões de sedimentação desta área. A margem oeste, entretanto, por apresentar uma menor disponibilidade de areia em suas margens, devido em grande parte aos aterros construídos para a ocupação urbana, não desenvolve tais feições.

As tentativas de caracterização ambiental baseadas em análises granulométricas demonstraram que os métodos de Folk & Ward (1957) são efetivamente úteis na descrição e interpretação de ambientes de sedimentação recente, como o Saco da Mangueira, onde os parâmetros físicos são conhecidos.

A mistura entre areia, silte e argila compõem a cobertura sedimentar desta enseada, resultando em sete classes texturais: areia, areia siltica, areia siltico-argilosa, areia argilosa, silte arenoso, silte e silte argilo-arenoso. Essas fácies representam ambientes deposicionais diferenciados com base na morfologia de fundo, profundidade, tipo e intensidade do processo deposicional.

A primeira área é formada pelo ambiente marginal do Saco da Mangueira e é composto essencialmente por fácies texturais arenosas, com exceções das áreas abrigadas que são enriquecidas em sedimentos mais finos. Os

processos sedimentares são controlados basicamente pela ação de ondas de pequena amplitude e período, bem como correntes geradas pelo vento. Os sedimentos acumulados nessas regiões e que se distribuem pela margem constituem a principal fonte das areias características dessa fácies, onde a classe modal dominante é a areia fina. Este ambiente é caracterizado por sedimentos bem selecionados a muito bem selecionados, com assimetria negativa a aproximadamente simétrica.

A segunda área é formada por regiões mais profundas onde a profundidades varia de 1,2 m, no centro da enseada, até 9 m próximo a Ponte dos Franceses. Os sedimentos depositados nesses locais são enriquecidos em silte e misturas texturais que incluem alguma quantidade de argila. Neste ambiente de menor hidrodinâmica, os sedimentos apresentam-se pobremente a muito pobremente selecionados, com sedimentos finos predominando sobre os grossos, o que lhes confere uma assimetria positiva a muito positiva.

Entre esses dois ambientes predomina uma área de transição onde o regime hidrodinâmico condiciona características intermediárias entre a fácies arenosa das margens e a fácies siltica das áreas mais profundas, evidenciando sedimentos típicos de uma zona de transição formada por diferentes misturas populacionais.

O Saco da Mangueira possui predominantemente alta hidrodinâmica, controlada pelo regime de ventos que geram ondas e correntes litorâneas as quais são responsáveis pelo transporte e deposição do material sedimentar. A circulação das águas é ainda influenciada pelo influxo de massas d'água da Lagoa dos Patos, que em períodos de cheia contribui significativamente com a dinâmica desta enseada. A ação da hidrodinâmica somada a morfologia do corpo exerce um controle direto sobre a distribuição dos tipos de fundo.

A ausência de sedimentos argilosos associado a este ambiente parece estar relacionado à permanente agitação da água, que coloca essa fração em movimentação constante e, permitindo que apenas pequenas quantidades de argila sejam incorporadas a frações maiores de silte e areia.

## Referências

- Almeida, M.T.A.A., Baumgarten, M.G.Z. & Rodrigues, R.M.S. 1993. Identificação das possíveis fontes de contaminação das águas que margeiam a cidade do Rio Grande-RS. *Série Documentos Técnicos – Oceanografia 06*. Editora da Universidade do Rio Grande, Rio Grande, Brasil, 34 p.
- Alves, A.R., Wassermam, J.C.F.A. & Fernandez, G.B. 2006. Potencial de formação de Esporões em Lagunas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., 2006, Goiânia. *Anais... SINAGEO*, v.1, p. 1-8.
- Alves, A.R. 2006. *Modelagem numérica aplicada ao estudo da origem e evolução morfológica dos esporões da lagoa de Araruama – RJ*. Niterói, 99p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense.
- Angulo, R.J., Lessa, G.C. & Souza, M.C. 2006. A critical review of Mid- to Late Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*, 25(1): 486-506.
- Asmus, H.E., Garreta-Harkot, P.F. & Tagliani, P.R. 1998. Geologia Ambiental da Região Estuarina da Lagoa dos Patos, Brasil. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 7., 1998, Belém. *Anais... SBG*, v.1, p. 408-417.
- Baisch, P.R. & Wasserman, J.C. 1998. Chemistry and distribution of Trace Elements in the Patos Lagoon, South Brazil. In: Wasserman, J., Silva-Filho, E.V. & Villas-Boas, R. (Ed.). *Environmental Geochemistry in the Tropics*. Berlin, Springer, p. 97-126.
- Barboza, E.G., Dillenburg, S.R., Ritter, M.N., Angulo, R.J., Biancini da Silva, A., Rosa, M.L.C.C., Caron, F. & Souza, M.C. 2021. Holocene Sea-Level Changes in Southern Brazil Based on High-Resolution Radar Stratigraphy. *Geosciences (Switzerland)*, 11(8): 326.
- Baumgarten, M., Niencheski, L. & Veeck, L. 2001. Nutrientes na coluna da água e na água intersticial de sedimentos de uma enseada rasa estuarina com aportes de origem antrópica. *Atlântica*, 23(1): 101-116.
- Baumgarten, M.G.Z., Niencheski, L.F.H. & Kuroshima, K.N. 1995. Qualidade das Águas Estuarinas que Margeiam o Município de Rio Grande (RS, Brasil): Nutrientes e Detergentes Dissolvidos. *Atlântica*, 17(1):17-34.
- Bortolin, E., Weschenfelder, J. & Cooper, A. 2019. Holocene evolution of Patos Lagoon, Brazil: The role of antecedent topography. *Journal of Coastal Research*, 35(2), 357–368.
- Calliari, L.J. 1980. *Aspectos Sedimentológicos e Ambientais da Região Sul da Lagoa dos Patos*. Porto Alegre, 190p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Calliari, L.J. 1997. Geological setting. In: Seeliger, U., Odebretch, C. & Castello, J.P.S. (Ed.). *Subtropical Convergence Environments: The Coast and the Sea in the Southwestern Atlantic*, Springer-Verlag, Berlin, p. 13-18.
- Cameron, W.M. & Pritchard, D.W. 1963. Estuaries. In: *The Seas, Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas*, Interscience Publ, 2, p. 306-324.
- Castelão, R.M. & Möller, O.O. 2003. Sobre a circulação tri-dimensional forçada por ventos na Lagoa dos Patos. *Atlântica*, 25 (2): 91-106.
- Corrêa, I.C.S. 1986. Evidence of Sea Level Fluctuation in the Rio Grande do Sul Continental Shelf, Brazil. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, 4(1): 237-249.
- Costa, N.R., Baumgarten, M.G.Z., Kantin, R., Baptista, J.R. & Niencheski, L.F. 1981. Poluição Orgânica das Águas que Rodeiam a Cidade do Rio Grande. *Engenharia Sanitária*, 21(2): 222-231.
- Coutinho, R. 1982. *Taxonomia, Distribuição, Crescimento Sazonal, Reprodução e Biomassa das Algas Bentônicas no Estuário da Lagoa dos Patos (RS)*. Rio Grande, 232p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande.
- Dyer, K.R. 1997. *Estuaries: A Physical Introduction* (2 ed). New Jersey, John Wiley & Sons, 195p.
- Dillenburg, S.R., Roy, P.S., Cowell, P.J. & Tomazelli, L.J. 2000. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the shoreface translation-barrier model (STM). *Journal*



- Coastal Research*, 16(1): 71-81.
- Dillenburg, S.R., Tomazelli, L.J. & Barboza, E.G. 2004. Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. *Marine Geology*, 203(1): 43-56.
- Dillenburg, S.R., Barboza, E.G., Tomazelli, L.J., Hesp, P.A., Clerot, L.C.P. & Ayup-Zouain, R.N., 2009. The Holocene coastal barriers of Rio Grande do Sul. In: Dillenburg, S.R., Hesp, P.A. (Eds.). *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Springer, Lecture Notes in Earth Sciences Vol. 107, p. 53-91.
- Dillenburg, S.R., Barboza, E.G., Rosa, M.L.C.C., Caron, F. & Sawakuchic, A.O. 2017. The complex prograded Cassino barrier in southern Brazil: Geological and morphological evolution and records of climatic, oceanographic and sea-level changes in the last 7–6 ka. *Marine Geology*, 390: 106-119.
- Fairbridge, R.W. 1980. The estuary: its definition and geodynamic cycle. In: Olausson, E & Cato, I (Eds.). *Chemistry and biogeochemistry of estuaries*. John Wiley and Sons, New York, p. 1-35.
- Farina, F.C. 1998. *Utilização de Técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas para definição de áreas aterradas marginais à Enseada Mangureira – Rio Grande/RS*. Rio Grande, 60p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geografia Bacharelado, Instituto de Ciências Humanas e da Informação, Universidade Federal do Rio Grande.
- Fernandes, E.H.L., Mariño-Tapia, I., Dyer, K.R. & Möller, O.O. 2004. The attenuation of tidal and subtidal oscillations in the Patos Lagoon estuary. *Ocean Dynamics*, 54(3): 348-359.
- 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.
- Garcia, C.A.E. 1997. Physical Oceanography. In: Seeliger, U., Odebretch, C. & Castello, J.P.S. (Ed.) *Subtropical Convergence Environments: The Coast and the Sea in the Southwestern Atlantic*. Springer-Verlag, Berlin, p. 18-21.
- Geyer, W.R. 1997. Influence of wind on dynamics and flushing of shallow estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44: 713-722.
- Godin, G. 1985. Modification of rivers tides by the discharge. *Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering*, 111(2): 257-274.
- Godolphim, M.F. 1976. *Geologia do Holoceno Costeiro do Município de Rio Grande-RS*. Porto Alegre, 146p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Godolphim, M.F. 1985. Paleogeografia da região do Cassino no município de Rio Grande, BR/233. *Pesquisas*, 17: 5-23.
- Kantin, R. & Baumgarten, M.G.Z. 1982. Observações Hidrológicas no Estuário da Lagoa dos Patos: os Elementos Nutrientes Dissolvidos. *Atlântica*, 5(1): 76-92.
- Kjerfve, B. 1986. Comparative oceanography of coastal lagoons. In: Wolfe, D.A. (Ed.) *Estuarine Variability*. New York, Academic Press, p. 63-81.
- Leal, T.F., Lopes, B.V., Kirinus, E.P., Monteiro, C.B., Silva, M.C., Möller, O.O., Oleinik, P.H., Trombetta, T.B. & Marques, W.C. 2019. Forçantes Externas Dominantes nos Processos Hidrodinâmicos na Região do Saco da Mangureira na Lagoa Dos Patos-RS. *Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão*, 4(2): 1-23.
- Lima, L.G., Dillenburg, S.R., Medeanic, S., Barboza, E.G., Rosa, M.L.C., Tomazelli, L.J., Dehnhardt, B.A. & Caron, F. 2013. Sea-level rise and sediment 107 budget controlling the evolution of a transgressive barrier in southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 42(1): 27-38.
- Long, T. & Paim, P.S.G. 1987. Modelo de evolução histórica e holocênica do estuário da Lagoa dos Patos, RS. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 20., 1987, Porto Alegre. *Anais... ABEQUA*, v.1, p. 227-248.
- Martins, L.R. 1963. Contribuição à Sedimentologia da Lagoa dos Patos, 1. Sacos do Rincão e do Medanha. *Boletim da Escola de Geologia*, 13(1): 1-43.
- Martins, L.R. 1966. Contribuição à Sedimentologia da Lagoa dos Patos, 2. Saco do Umbu, Arraial e Mangureira. *Notas e Estudos*, 1(1): 27-44.
- Martins, L.R. 1971. *Sedimentologia do Canal do*

- Rio Grande. Porto Alegre, 38p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Miranda, I.I., Toldo, Jr., E.E.; Klein, A.H.F., Strauss, D. & Vieira Da Silva, G. 2020. The Role of Cuspate Spits on Wave Attenuation and Energy Redistribution in a coastal Lagoon, Lagoa dos Patos, Brazil. *Geo-Marine Letters*, 40(6): 1069–1086.
- Miranda, I.I., Toldo, Jr., E.E.; Klein, A.H.F. & Vieira Da Silva, G. 2019. Shoreline Evolution of Lagoon Sandy Spits and Adjacent Beaches, Lagoa dos Patos, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 35(5): 1010-1023.
- Miranda, L.B., Castro, B.M. & Kjerfve, B. 2002. Princípios de Oceanografia Física de Estuários. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo – EDUSP, 424 p.
- Möller, O.O., Castaing, P., Salomon, J.C. & Lazure, P. 2001. The influence of local and non-local forcing effects on the subtidal circulation of Patos Lagoon. *Estuaries*, 24(2): 297-311.
- Möller, O.O., Lorenzzentti, J.A., Stech, J.L. & Mata, M.M. 1996. The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics. *Continental Shelf Research*, 16(3): 335- 351.
- Monteiro, I.O., Pearson, M.L., Möller, O.O. & Fernandes, E.H.L. 2005. Hidrodinâmica do Saco da Mangueira: Mecanismos Que Controlam as Trocas Com o Estuário da Lagoa dos Patos. *Atlântica*, 27(2): 87-101.
- Nichols, M.M. & Biggs, R.B. 1985. Estuaries. In: Davis, R.A. (Ed.). *Coastal sedimentary environments*. New York, Springer-Verlag, p. 77-186.
- Oliveira, A.O. 2015. Caracterização Sedimentar e Aplicação do Diagrama de Pejrup para Interpretação da Dinâmica em uma Enseada Estuarina na Lagoa dos Patos/Brasil. *Geographia Meridionalis*, 1(2): 363-384.
- Pereira, A.F. 1997. *Simulação Numérica da Circulação do Saco da Mangueira (estuário da Lagoa dos Patos), Utilizando o Método de Elementos Finitos*. Rio Grande, 90p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Oceanologia, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande.
- Pejrup, M. 1988. The Triangular Diagram Used for Classification of Estuarine Sediments: a new Approach. In: Boer, P.L., Gelder, A. & Nio, S.D. (Eds.). *Tide-Influenced Sedimentary Environments and Facies*. Dordrecht, Publishing Company, p. 289-300.
- Persich, G. R. 1993. *Ciclo Anual do Fitoplâncton e Alguns Parâmetros Abióticos no Saco da Mangueira, Estuário da Lagoa dos Patos*. Rio Grande, 120p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande.
- Prandle, D. 1991. Tides in estuaries and in embayments (Review). In: Parker, B.B (Ed.). *Tidal Hydrodynamics*. New York, John Wiley and Sons, p 125-152.
- Rio Grande. Prefeitura Municipal de Rio Grande. 2008. Plano Diretor Participativo do Município Do Rio Grande. Lei nº 6.585, de 20 de agosto de 2008. Disponível em: <[https://www.riogrande.rs.gov.br/consulta/arquivos/secretaria\\_servico/plano\\_diretor/Leis\\_do\\_Plano\\_Diretor/Lei\\_6.585\\_Plano\\_Diretor.pdf](https://www.riogrande.rs.gov.br/consulta/arquivos/secretaria_servico/plano_diretor/Leis_do_Plano_Diretor/Lei_6.585_Plano_Diretor.pdf)>. Acesso em: 12 set. 2019.
- Rosa, M.L.C.C., Barboza, E.G., Abreu, V.S., Tomazelli, L.J. & Dillenburg, S.R. 2017. High-Frequency Sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): a record of degradational stacking as a function of longer-term base-level fall. *Brazilian Journal of Geology*, 47(2):183-207.
- Rosen, P.S. 1975. Origin and processes of cuspate spit shorelines. In: Cronin, L.E. (Ed.). *Estuarine Research, Vol II*. New York, Academic Press, p. 77–92.
- Schettini, C.A.F. 2001. *Dinâmica de sedimentos finos no estuário do rio Itajaí-Açu-SC*. Porto Alegre, 92p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Shepard, F.P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay rations. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24(1): 151-158.
- Silva, M.C. 2020. *Modelagem Dinâmica da Dispersão de Efluentes no Estuário da Lagoa dos Patos-RS, Brasil*. Rio Grande, 92p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-

- graduação em Engenharia Oceânica, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande.
- Souza, R.S. 2002. *Caracterização Morfo-Sedimentar do Saco do Arraial – Extremo Sul da Laguna dos Patos – RS*. Rio Grande, 164 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande.
- Toldo Jr., E.E. 1991. Morfodinâmica da Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 18(1): 58-63.
- Toldo Jr., E.E. 1994. *Sedimentação, predição do padrão de ondas, e dinâmica sedimentar da antepraia e zona de surfe do sistema lagunar, da Lagoa dos Patos, RS*. Porto Alegre, 189p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Toldo Jr., E.E., Dillenburg, S.R., Corrêa, I.C.S. & Almeida, L.E.S.B. 2000. Holocene sedimentation in Lagoa dos Patos Lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 16(3): 816-822.
- Tomazelli, L.J. 1990. *Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul – Com ênfase no sistema eólico*. Porto Alegre, 270p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Tomazelli, L.J. 1993. O Regime de ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 20(1): 18-26.
- Tomazelli, L.J., Dillenburg, S.R. & Villwock, J.A. 2000. Late Quaternary History of Rio Grande do Sul Coastal Plain, Southern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(3): 470-472.
- Tomazelli, J. L. & Villwock, J.A. 2000. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: Holz, M., De Ros, L. F. (Ed.) *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 444p.
- Truccolo, E.C. 2009. *Hidrodinâmica em frequência Mareal e Submareal do Estuário do Rio Itajaí-Açu*, SC. 180p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Villwock, J.A., Tomazelli, L.J., Loss, E.L., Dehnhardt, E.A.; Horns Filho, N.O., Bachi, F.A. & Dehnhardt, B.A. 1986. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. In: Rabassa, J. (Ed.). *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*. Balkema, Rotterdam, p. 79-97.
- Wentworth, C.R. 1922. A Scale of Grade and Class Terms of Clastic Sediments. *Journal of Geology*, 30(1): 377-392.
- Weschenfelder, J., Baitelli, R., Corrêa, I.C.S., Bortolin, E.C. & Santos, C.B. 2014. Quaternary incised valleys in southern Brazil coastal zone. *Journal of South American Earth Sciences*, 55(1): 83-93.
- Zenkovitch, V.P. 1959. On the genesis of the cusped spits along lagoon shores. *The Journal of Geology*, 67(3): 269-277.