



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



## Morfodinâmica de praias estuarinas de baixa energia durante dragagem de aprofundamento do canal da Galheta, Paranaguá – PR

Silvio Roberto de Oliveira Filho<sup>1</sup>, Fabiane Bertoni dos Reis<sup>2</sup>, Guilherme Borges Fernandez<sup>3</sup>, Carlos Serafim dos Santos<sup>4</sup>, Leonardo da Silva Lima<sup>5</sup>, Estefan Monteiro da Fonseca<sup>6</sup>.

<sup>1</sup>Dr. em Geografia, Pesquisador PosDoc, Departamento de Geografia, LAGEF, Universidade Federal Fluminense, Av. Gal. Milton Tavares de Souza, s/n, CEP 24210-346, Niterói, Rio de Janeiro. (21) 2629-5944. [silviooliveira@id.uff.br](mailto:silviooliveira@id.uff.br) (autor correspondente). <sup>2</sup>Dra. em Geociências, LAGEMAR, Universidade Federal Fluminense, Av. Gal. Milton Tavares de Souza, s/n, CEP 24210-346, Niterói, Rio de Janeiro. (21) 2629-5944. [fabianebertoni@hotmail.com](mailto:fabianebertoni@hotmail.com). <sup>3</sup>Dr. Em Geografia, Professor Adjunto, Departamento de Geografia, LAGEF, Universidade Federal Fluminense, Av. Gal. Milton Tavares de Souza, s/n, CEP 24210-346, Niterói, Rio de Janeiro. (21) 2629-5944. [guilhermefernandez@id.uff.br](mailto:guilhermefernandez@id.uff.br). <sup>4</sup>Bacharel em Geografia, Universidade Federal Fluminense, Av. Gal. Milton Tavares de Souza, s/n, CEP 24210-346, Niterói, Rio de Janeiro. (21) 2629-5944. [serafim.caio@gmail.com](mailto:serafim.caio@gmail.com). <sup>5</sup>Mestre em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, Universidade Federal Fluminense, Av. Gal. Milton Tavares de Souza, s/n, CEP 24210-346, Niterói, Rio de Janeiro. (21) 2629-5944. [leodslima@gmail.com](mailto:leodslima@gmail.com). <sup>6</sup>Dr. em Geologia e Geofísica Marinha, LAGEMAR, Universidade Federal Fluminense, Av. Gal. Milton Tavares de Souza, s/n, CEP 24210-346, Niterói, Rio de Janeiro. (21) 2629-5944. [oceanos25@hotmail.com](mailto:oceanos25@hotmail.com).

Artigo recebido em 19/01/2021 e aceito em 04/05/2021

### RESUMO

Praias estuarinas são, geralmente, classificadas como de baixa energia ou abrigadas, devido à predominância de baixas alturas e curtos períodos de onda, que favorecem ângulos relativamente grandes de aproximação das ondas em decorrência da refração limitada, face de praia estreita e berma estreita ou inexistente. A instalação de portos no interior de estuários ocasiona diversos impactos negativos, principalmente em função da dragagem de canais de navegação e, secundariamente, pelo trânsito de embarcações. O objetivo do presente trabalho foi monitorar quatro praias estuarinas, nas margens da baía de Paranaguá - PR, caracterizadas como praias de baixa energia, com intuito de acompanhar as alterações morfológicas e volumétricas de curto prazo ocorridas durante a obra de dragagem de aprofundamento do canal de navegação da Galheta. Para isso, foram realizados levantamentos topográficos transversais à praia, entre fevereiro de 2017 e março de 2019, antes, durante e após a dragagem, em 10 pontos de monitoramento. Dentre todos os pontos monitorados somente os pontos mais a leste nas praias de Amparo e Maciel apresentaram erosão continuada. As causas dessa erosão devem estar relacionadas às correntes de maré associada a baixa altimetria do pós-praia, eventos relacionados às marés meteorológicas, e, à intervenção ocasionada pela obra de dragagem.

Palavras-chave: impactos de dragagem; morfodinâmica de praia; erosão de praia.

## Morphodynamic of low-energy estuarine beaches during dredging of deepening of the Galheta channel, Paranaguá – PR

### ABSTRACT

Estuarine beaches are generally classified as low-energy or sheltered due to the predominance of low waves and short periods, which favor the wave approach with large angles due to limited refraction, narrow beachface and narrow or nonexistent berm. The installation of ports in the interior of estuaries causes several negative effects, mainly due to the activities of dredging of navigation channels and secondly, due to the transit of vessels. The objective of the present work was to monitor four estuarine beaches, on the banks of the Paranaguá bay - PR, characterized as low energy beaches, with the purpose of following the short-term morphological and volumetric changes that occurred during a dredging of deepening in the Galheta navigation channel. For this purpose, cross-shore topographic surveys were carried out, before, during and after the dredging, between February 2017 and March 2019, at 10 monitoring sites. Among all the monitored sites, only the easternmost sites on the beaches of Amparo and Maciel show continuous erosion. The causes of this erosion may be related to tide currents associated with low altitudes of the beaches, storm surge events and dredging.

Keywords: Dredging impacts; beach morphodynamic; beach erosion.

## Introdução

Do ponto de vista oceanográfico, um estuário corresponde a um corpo de água costeiro semifechado com livre conexão com o mar, onde a água salgada é diluída com a água doce oriunda de drenagens continentais (Pritchard, 1967). Esse conceito se baseia nos processos de circulação estuarina, salinidade e densidade, os quais definem não somente os atributos físicos, químicos e biológicos de estuários como também atributos geomorfológicos, na medida que a geometria da bacia estuarina influencia a circulação e a salinidade (Jackson, 2013), e consecutivamente a densidade. A definição de Potter et al. (2010), acrescenta que esse corpo de água costeiro parcialmente fechado é também permanentemente ou periodicamente aberto ao oceano, recebendo pelo menos descargas periódicas de contribuição fluvial, com taxas de salinidade inferiores ao da água do mar, que variam temporariamente ao longo do seu comprimento, e que podem se tornar hipersalinos em regiões onde as perdas por evaporação são elevadas e as contribuições de água doce e do mar são insignificantes. Tomando como premissa as duas definições supracitadas, fica evidente que estuários são ambientes de extrema complexidade físico-química, biológica e geomorfológica. Para uma ampla revisão sobre os principais aspectos regentes dos estuários sugere-se, entre outros, Pritchard (1967), Perillo (1995) e mais recentemente Jackson (2013).

Dessa forma, estuários representam ambientes costeiros que envolvem fundamentalmente aspectos hidrodinâmicos associados à ação fluvial ou lagunar, em relação à ação das ondas, marés e correntes. Embora exista a influência de ondas oceânicas na foz do estuário e ondas geradas por vento local em seu interior, as marés são geralmente a maior forçante neste ambiente, gerando correntes de enchente e vazante que atuam até o limite superior da preamar (Jackson, 2013). A interação entre água doce e salgada associada aos processos morfodinâmicos, decorrentes da ação das marés, ventos e ondas, são responsáveis pela presença de uma rica variedade de conjuntos geomorfológicos, incluindo planícies de maré, pântanos, manguezais, falésias, barreiras arenosas e praias (Jackson, 2011).

Praias estuarinas são, geralmente, classificadas como de baixa energia (*low-energy*) ou abrigadas (*sheltered*), termos frequentemente usados para descrever praias que têm muitas características em comum com praias com pista de vento limitada (Jackson et al., 2002), ou seja, a pista, que corresponde ao tamanho da superfície que sofrerá a transferência de *momentum* a partir do vento, formando ondas de superfície (Hardaway

et al. 2019), tem um tamanho reduzido. Essas características incluem predominância de baixas alturas e curtos períodos de onda, que favorecem ângulos relativamente grandes de aproximação das ondas devido à refração limitada, face de praia estreita, berma estreita ou inexistente, distintas orientações e configurações de linha de costa, trocas limitadas de sedimentos entre os segmentos de praia (face de praia e antepraia) e características biogênicas notáveis, como bioturbação (Jackson et al., 2002). São geralmente mais evidentes nas margens de estuários abertos que têm maiores pistas de vento (Freire et al., 2013).

Jackson et al. (2002) sugerem que o termo “baixa energia” deve ser usado em locais onde a altura significativa de onda for inferior a 0,25 m, em condições de bom tempo, e abaixo de 0,5 m quando submetidas às ondas de mau tempo (tempestade). Outro critério para caracterizar praias de baixa energia, corresponde as características morfológicas herdadas de eventos de tempestade, que tendem a persistirem, devido ao limitado retrabalhamento dos sedimentos ocasionados pelas ondas de bom tempo.

Em praias estuarinas, as ondas podem ser geradas dentro do estuário por ventos locais ou por ondas oceânicas que entram pela desembocadura do estuário. Em estuários dominados por maré, caracterizados por uma conexão relativamente aberta com o oceano, as ondas geradas no oceano são capazes de viajar para o estuário, embora a magnitude da energia seja reduzida como resultado da difração e dissipação causada pelas profundidades das águas rasas e pelo atrito com o fundo. Assim, a região próxima a desembocadura do estuário está sujeita a maior influência das ondas oceânicas em comparação com o interior do estuário (Dalrymple e Choi, 2007).

A importância do nível da água está intimamente ligada a amplitude de maré, classificada por Davies (1964) como micro, meso ou macromaré. A amplitude da maré associada à morfologia do estuário, controlará o comportamento da onda de maré, onde um menor atrito da massa d'água com o fundo ocasiona maior amplitude de maré em direção a cabeceira, e no caso de maior atrito, a amplitude de maré tende a ser menor que o previsto (Jackson, 2013). A maré é responsável por limitar a ação das ondas à face de praia, onde os processos hidrodinâmicos estarão restritos entre as linhas de preamar e baixa-mar (Jackson, 1995; 2011; Jackson et al., 2002), com tendência de movimento verticalmente através do perfil à medida que o nível da maré se altera (Masselink, 1993).

Outro fator relacionado a elevação do nível da água é a ocorrência de marés meteorológicas, que podem ocasionar uma elevação momentânea provocada por alterações do tempo meteorológico. Essa elevação adicional do nível da água condiciona o local de atuação dos processos erosivos e deposicionais. A frequente subida e descida das marés, associada ao retrabalhamento das ondas, geram faces de praia homogêneas com sedimentação bem selecionada, enquanto episódios de maré meteorológica, menos frequentes, ocasionam alterações pronunciadas na porção superior da face de praia, devido a maior elevação do nível da água, empobrecendo o selecionamento dos grãos (Jackson et al., 2002).

Muitos estuários em todo o mundo foram modificados nas últimas décadas, a fim de permitir o acesso de navios às vias navegáveis interiores. Essas intervenções incluem o aprofundamento e a retificação de canais, realizados através de obras de dragagem, frequentemente levando a uma combinação de amplificação das marés, aumentando a circulação estuarina e a dominância de inundação, intensificando a assimetria das marés (Winterwerp et al., 2013a), além de recuo da linha de costa (Van Maren et al., 2015) e erosão de praias estuarinas.

Nos portos brasileiros são realizadas cada vez mais dragagens para possibilitar o acesso a navios de maior calado, ocasionando importantes modificações na dinâmica costeira (Angulo, 2004). O principal problema, que geralmente ocorre em zonas costeiras oceânicas, diz respeito a erosão provocada pelo assoreamento do canal de navegação, que aprisiona os sedimentos dispostos em deriva litorânea, podendo ocorrer erosão a sotamar do canal. Quando a erosão ocorre em costas não ocupadas, não acarreta grandes problemas, pois a morfodinâmica tende a se ajustar as novas configurações de suprimento sedimentar, entretanto, quando a erosão ocorre em costas ocupadas podem trazer sérios danos ambientais, materiais e humanos.

Os trabalhos que abordam erosão costeira em decorrência de obras de dragagem se concentram geralmente em praias oceânicas, as quais possuem regimes hidrodinâmicos mais severos, devido à exposição às ondas oceânicas, com maiores alturas e períodos, caracterizando praias de alta energia. Entretanto, a erosão costeira também pode ocorrer em praias abrigadas, sejam em costas oceânicas ou em praias estuarinas, que, devido às características das ondas nessas praias, são frequentemente classificadas como de baixa energia.

Durante os anos de 2017 e 2018, o canal de navegação denominado de canal da Galheta,

utilizado pelos portos de Paranaguá e Antonina, ambos situados no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), passou por obra de dragagem de aprofundamento. Nesse contexto, o objetivo central desse trabalho foi monitorar quatro praias estuarinas (Amparo, Piaçaguera, Maciel e Encantadas), nas margens da baía de Paranaguá, caracterizadas como praias de baixa energia e ocupada por população tradicional, no intuito de acompanhar as alterações morfológicas e volumétricas de curto prazo ocorridas durante a obra de dragagem de aprofundamento.

### Área de Estudo

As praias de Amparo, Piaçaguera, Maciel e Encantadas encontram-se situadas no Complexo Estuarino de Paranaguá, Estado do Paraná (Figura 1). O complexo Estuarino de Paranaguá possui uma extensão total de 612 km<sup>2</sup>, no qual fazem parte desse complexo dois corpos d'água: as baías de Paranaguá e Antonina (eixo E-O) e a baía de Laranjeiras (eixo N-S). O sistema se conecta ao mar aberto através de três canais de maré, sendo os dois canais principais ao redor da Ilha Mel (Lana et al. 2001).

De acordo com Angulo & Araújo (1996) no complexo estuarino de Paranaguá podem ser encontrados dois tipos de costas sedimentares: costas associadas a planícies de maré cobertas por vegetação de mangue e as associadas às desembocaduras. Enquanto no primeiro tipo são dominadas pelas marés, no segundo tipo, apresentam sua dinâmica dominada por ondas e correntes de maré, onde são observadas praias arenosas semelhantes às oceânicas, porém com grande variabilidade temporal.

Os ventos da região, de acordo com Cazal et al. (2011), têm como direções mais frequentes E-SE-S, com predominância de ventos intensos, superiores a 7,4 m.s-1, em todas as estações do ano. No verão, as direções de vento E, SE e S representaram 59 % das observações. A velocidade média para esse período foi de 3,7 m.s-1. No inverno, predomina ventos com direção S, com 19,2% das observações e velocidade média de 2,7 m.s-1, que está relacionado a maior atuação de frentes frias na região.

Em relação ao clima de ondas, Nemes e Marone (2013) realizaram a caracterização de ondas de superfície para plataforma interna do estado do Paraná e apontaram que aproximadamente 65% da frequência de ondas é associada a vagas, que atingem altura significativa de 1 a 1,5 m e período 8 a 9 s, com direção principal entre ESE e SE, enquanto 35% da frequência de ondas estão associadas a marulhos, que atingem

altura significativa de 1 a 1,8 m, período entre 10 e 11 s, com direção principal de SSE. Quanto aos eventos extremos, caracterizados pelos autores como ondas com períodos igual ou superior a 10 s, 100% são originados por pistas de ventos formadas

por Ciclones Subtropicais, entretanto, ondas de alta energia são mais determinadas pelo posicionamento das pistas de ventos do que pela passagem de frentes frias.



Figura 1. Mapa de localização da área de estudo mostrando a posição de todos os pontos monitorados, distribuídos nas quatro praias estuarinas.

Rosa (2009) realizou uma avaliação in loco relacionada aos parâmetros de onda, onde a Praia de Piaçaguera apresentou-se sem ondas durante a baixa-mar, e altura de onda de 0,1 m e período de 2,2 s durante a preamar. O autor também analisou praias na desembocadura do estuário, mais precisamente na praia do Poço, aproximadamente 2 km à leste da praia de Maciel, seguindo a mesma linha de costa, onde a altura significativa e período de onda durante a baixa-mar foram 0,1 m e 4,3 s, respectivamente, e durante a preamar, 0,15 m e 3,6 s.

As marés da região são semi-diúrnas desiguais, em regime micromaré, com amplitudes máximas variando entre 1,7 m na desembocadura, e 2,7 m no interior da baía (Camargo e Harari, 2003). Essa amplificação da maré no interior da baía de Paranaguá ocorre devido ao processo de ressonância de maré, definida como fluxos de maré influenciados pela geometria de fundo da baía, Oliveira Filho, S.R.; Reis, F.B.; Fernandez, G.B.; Santos, C.S; Lima, L.S.; Fonseca, E.M.

estabelecendo assimetrias entre os fluxos de enchente e vazante (Angulo, 1998) e, assim, gerando fluxos residuais de maré (Miranda et al., 1998). Dentro do estuário, as marés são as principais forçantes dos processos e mecanismos de controle de fluxo e de transporte de material, apresentando-se como forçante dominante durante a estação menos chuvosa, enquanto o escoamento da água doce juntamente com as marés prevalece durante a estação chuvosa, apresentando assim, dinâmica sazonal (Angulo et al., 2017).

A praia do Amparo é uma pequena enseada, com cerca de 850 m, ancorada por dois promontórios rochosos (Figura 2A). Na parte central da enseada ocorre a presença de outro promontório rochoso com um píer adjacente. Existem na praia de Amparo aproximadamente 300 famílias, com alta densidade de residência posicionadas frontalmente a praia, onde a grande

maioria pertence a população tradicional, e uma minoria representa casas de veraneio.

A praia de Piaçaguera tem aproximadamente 3,5 km de extensão, em forma de arco reverso (Figura 2B). Piaçaguera é a praia com

maior proximidade do canal da Galheta, como é chamado o canal de navegação utilizado pelos portos de Paranaguá e Antonina, para trânsito de navios entre o complexo estuarino de Paranaguá e o mar aberto.

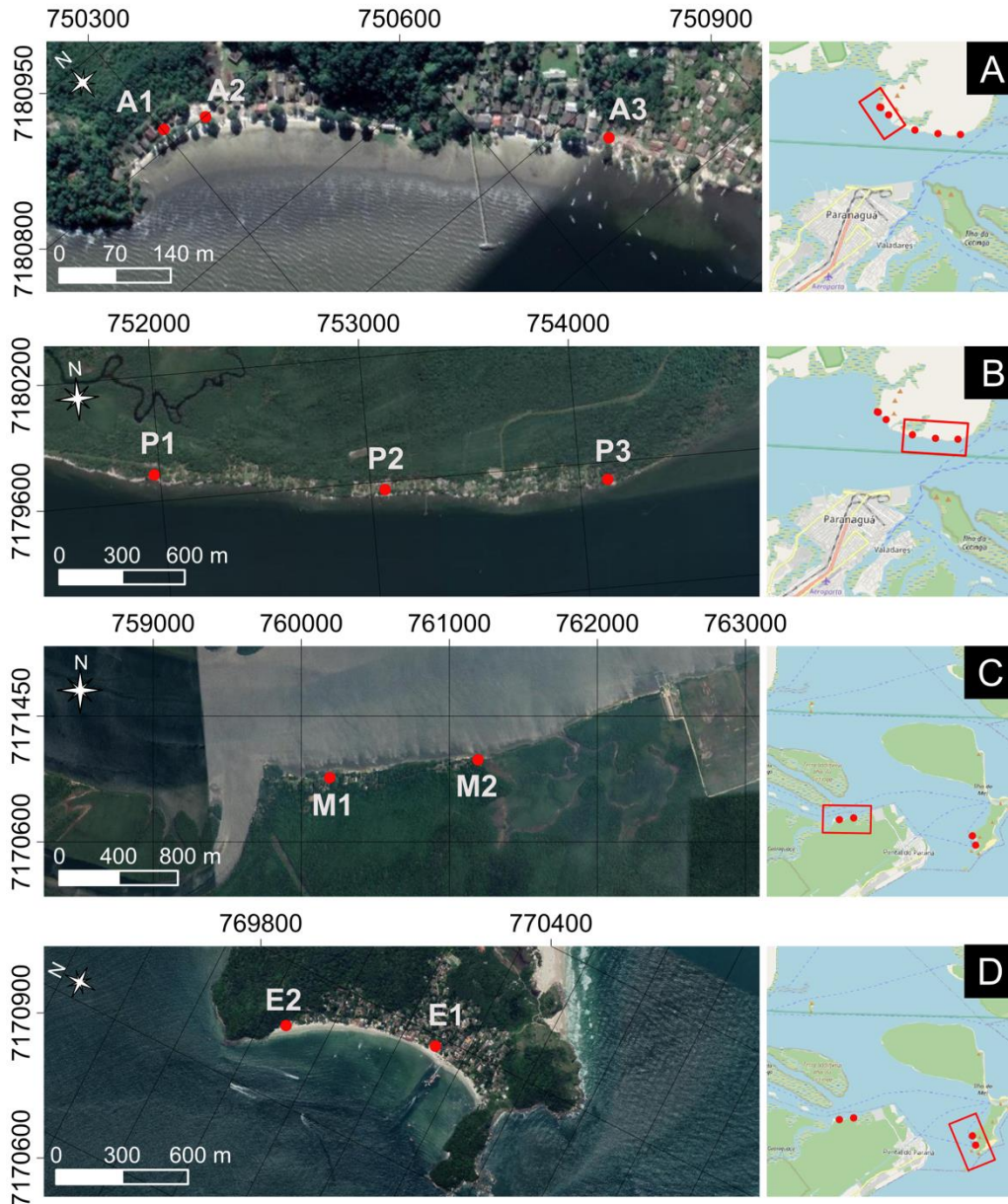


Figura 2. Mapa de Localização das praias estudadas. A) Amparo; B) Piaçaguera; C) Maciel; e D) Encantadas.

A praia de Maciel possui aproximadamente 1,2 km de extensão e encontra-se a E da desembocadura do rio Maciel, a retaguarda do município de Pontal do Paraná, e, de frente a ilha da Coatinga (Figura 2C). Possui aproximadamente 35 famílias que povoam a localidade.

A praia de Encantadas está localizada na porção SO da ilha do Mel, próximo a desembocadura sul do estuário, onde está posicionado o canal da Galheta (Figura 2D). Possui extensão de 1,1 km, com ocupação bastante densa,

de cerca de 700 pessoas. É na praia de Encantadas que está situado o píer de atracação principal para quem chega à ilha do Mel.

### Material e métodos

As praias de Amparo, Piaçaguera, Maciel e Encantadas foram selecionadas para o monitoramento de alterações morfológicas e do estoque volumétrico emerso por estarem dentro da área indiretamente afetada pela obra de dragagem de aprofundamento do canal de navegação da

Galheta. Todas as praias selecionadas são ocupadas por comunidades tradicionais, as quais são vulneráveis aos processos erosivos, principalmente aqueles induzidos pela sociedade. Dessa forma, foram estabelecidos 10 pontos de monitoramento, sendo 3 em Amparo, 3 em Piaçaguera, 2 em Maciel e 2 em Encantadas (Figura 2).

Com o intuito de quantificar as variações ocorridas na morfologia e no volume sedimentar das praias, foram realizados levantamentos topográficos bidimensionais transversais à costa em todos os pontos de monitoramento, antes, durante e após a obra de dragagem de aprofundamento do canal de navegação do Porto de Paranaguá. Os perfis topográficos iniciaram-se sempre a partir de um referencial de nível, materializado na forma de marco geodésico. Os marcos geodésicos de cada estação amostral foram instalados em fevereiro de 2017, pela APPA (Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina), conforme Tabela 1, com a finalidade de servir como referencial de nível para o plano de monitoramento de perfilagem praial, um dentre os vários planos ambientais exigidos pelo órgão ambiental para que a obra de dragagem ocorresse.

As coordenadas  $x$  e  $y$ , bem como a altimetria dos marcos geodésicos, foram aferidas através da utilização de GNSS (*Global Navigation Satellite System*) aplicando-se o método de posicionamento relativo em modo estático. O método relativo estático utiliza dois receptores GNSS geodésicos, onde um permanece estático sobre um ponto com posição e altimetria conhecidas, denominado de base e, o outro, permanece estático sobre o marco geodésico para materialização da posição e da altimetria, garantindo erro máximo de 3 e 6 mm, respectivamente. A altitude ortométrica foi calculada utilizando a ferramenta MAPGEO 2010, do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), utilizando como dados de entrada as alturas elipsoidais obtidas por GNSS. Dessa forma, todas as altimetrias estão referenciadas ao datum de Imbituba, utilizado como referencial pela Rede Altimétrica do IBGE, uma componente do Sistema Geodésico Brasileiro – SGB.

O método de levantamento topográfico utilizado foi o mesmo descrito por Birkemeier (1981), entretanto utilizando estação total e prisma refletor, equipamentos estes mais modernos e precisos. Os levantamentos topográficos consistiram em levantar informações de distância horizontal e vertical, relacionados sempre a um

referencial de nível, para que então fossem obtidos os desníveis do terreno. A aquisição de dados contemplou a morfologia emersa da praia e parte da morfologia submersa, onde o perfil topográfico foi estendido, sempre que possível, até a zona submarina adjacente para contemplar o 0 m geodésico.

Os valores de distância horizontal e vertical de cada perfil de monitoramento foram tratados no programa Excel do pacote Microsoft Office 365, onde foram calculadas as altimetrias, distâncias horizontais relativas aos marcos geodésicos, calculada a declividade da face de praia e antepraia, e, confeccionados os gráficos de representação topográfica do terreno, utilizando o modo dispersão com linhas suavizadas.

O acompanhamento do estoque sedimentar emerso antes, durante e após a tempestade foi realizado utilizando os dados dos levantamentos topográficos transversais às praias. O cálculo do volume sedimentar seguiu o mesmo princípio utilizado por Birkemeier (1984), a qual deve ser calculada a área do trapézio a cada duas medições topográficas sequenciais, estabelecidas em campo (Figura 3A). De acordo com Oliveira Filho et al. (2020) para calcular volume utilizando apenas dados de altimetria e distância, como no caso de perfis topográficos bidimensionais, a unidade estabelecida é o metro cúbico por metro ( $m^3/m$ ), que é obtido adicionando como medida de largura 1 m, permitindo a cubagem de sedimentos (Figura 3B). O volume total da seção transversal corresponderá a soma de todas as áreas obtidas de cada trapézio, que representará uma seção transversal à praia, com 1 m de largura.

Como os pontos de monitoramento nas praias de Amparo e Piaçaguera estão situados no interior do estuário, sofrem uma amplificação das marés em relação a foz da baía de Paranaguá (Bigarella et al., 1978; Angulo, 1992). Assim, nem sempre foi possível estender os levantamentos até o zero geodésico. Dessa forma, a elevação de referência escolhida para os cálculos de volume desses perfis foi 1 m, altimetria essa contemplada em todos os levantamentos. Para os pontos de monitoramento nas praias de Maciel e Encantadas, a elevação de referência utilizada foi o zero m geodésico, pois, devido à proximidade desses pontos com a foz, não mais sofrem amplificação da maré.

Tabela 1 - Localização e altimetria dos marcos geodésicos situados nos pontos de monitoramento topográfico.

Ponto de monitoramento	X (UTM)	Y (UTM)	Elevação (m)
P1	7179727,432	751971,585	3,725
P2	7179560,421	753066,565	5,341
P3	7179516,806	754133,738	3,759
A1	7180452,406	750723,921	3,618
A2	7180798,847	750351,895	3,823
A3	7180820,649	750301,353	4,446
M1	7171033,019	760191,567	3,889
M2	7171153,903	761193,978	1,385
E1	7169242,240	769755,198	2,107
E2	7169891,588	769529,387	2,484

Fonte: Administração dos portos de Paranaguá e Antonina – APPA.

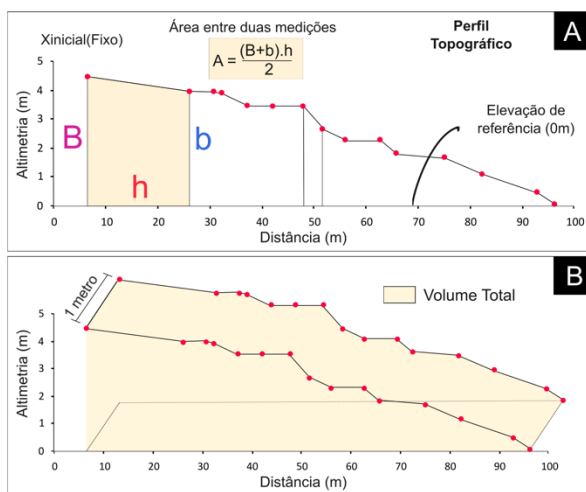


Figura 3. Esboço mostrando como é calculado o volume de sedimentos a partir de perfil topográfico. Modificado de Oliveira Filho *et al.* (2020).

É importante ressaltar que, para que a comparação das alterações volumétricas de cada campanha seja válida, o “Xinicial” deve estar associado sempre ao mesmo referencial de nível, e a elevação de referência deve ser a mesma para toda a série de perfis topográficos do ponto analisado. Isso garante que a comparação seja feita de forma acurada sem que haja alteração do volume pela inserção de áreas não contempladas em todos os levantamentos. Por conta disso, no cálculo do volume será sempre levado em consideração alguma porção situada fora da praia, uma vez que um referencial de nível deve estar fora da parte dinâmica do prisma praiial.

A classificação morfodinâmica de todas as praias estuarinas estudadas foram realizadas através de critérios morfológicos, uma vez que a aplicação de modelos morfodinâmicos desenvolvidos para praias oceânicas tem sofrido críticas, muitas vezes mostrando-se ineficientes (Jackson *et al.*, 2002; Eliot *et al.*, 2006; Jackson, 2011; Nordstrom e Jackson, 2012; Vila-Concejo *et*

al., 2020), mesmo quando se utiliza o critério de avaliação da influência da maré, através do índice RTR (*Relative Tidal Range*) proposto por Masselink e Short (1996) e revisado por Short (2006). A não aplicação do modelo morfodinâmico clássico em praias estuarinas ocorre porque os tipos morfodinâmicos de praias elaborados por Wright e Short (1984) são baseados na ocorrência e disposição de bancos submersos onde ocorrem a quebra de ondas, além de correntes de retorno na zona de surfe, feições essas que não são, geralmente, encontradas em praias estuarinas de baixa energia (Jackson *et al.*, 2002).

Dessa forma, os critérios morfológicos analisados foram a declividade da face de praia, bancos de espraiamento, presença de conchas ou cascalhos, presença ou ausência de terraços de baixa-mar, presença de bancos transversais ou longitudinais, aspectos texturais granulométricos visualizados em campo, presença de vegetação no caso da existência de terraço, e, bioturbação. A partir desses critérios, as praias de baixa energia da área de estudo foram classificadas como proposto por Jackson *et al.* (2002), onde deve-se fazer uma classificação voltada para a face de praia e outra para a zona submarina. Vale ressaltar que a nomenclatura utilizada é idêntica a utilizada na classificação morfodinâmica para praias expostas definida por Wright e Short (1984), entretanto tal nomenclatura se refere apenas a feição morfológica (e.g. Terraço de Baixa-mar; e, Banco e Calha Longitudinal). Dessa forma, a utilização dessa nomenclatura se refere apenas a presença dessas feições e não necessariamente aos processos como descritos pelos autores.

## Resultados

Os resultados serão abordados em dois momentos, onde primeiramente será apresentada

uma caracterização morfológica de todos os pontos de monitoramento, para em seguida, apresentar as variações morfológicas e volumétricas ocorridas durante o período de monitoramento.

*Estado Modal*

As praias de Amparo, Piaçaguera e Maciel apresentaram características fisiográficas distintas da praia de Encantadas. Em Amparo, Piaçaguera e Maciel a face de praia é íngreme, superior a 5,3° (Tabela 2), e estreita, sempre com largura inferior a 15 m, o que caracteriza o estado modal dessas

praias como refletivo. Essas mesmas praias tiveram também a presença de terraço de maré, feição também denominada de planície de maré por Rosa e Borzone (2008) em língua portuguesa, e, *terrace* (terraço) ou *low-tide terrace* (terraço de baixa-mar) em língua inglesa (Masselink e Short, 1993). A diferença entre as características fisiográficas da face de praia e terraço, nessas praias, podem ser percebidas pela mudança brusca da declividade (Figura 4), marcando um ponto de inflexão na morfologia, e que é nítida também quanto a granulometria, onde o terraço é mais lamoso.

Tabela 2 – Declividades da face de praia e antepraia em todos os pontos de monitoramentos, associando a morfologia com estado modal dessas feições.

Ponto	Face de Praia					Antepraia				
	Média	Desvio Padrão	Maior Valor	Menor Valor	Estado Modal	Média	Desvio Padrão	Maior Valor	Menor Valor	Estado Modal
A1	5,3°	1,0°	7,7°	4,1°	Refletivo	0,8°	0,2°	1,1°	0,4°	Terraço de Baixa-mar
A2	6,4°	1,4°	7,9°	2,6°	Refletivo	0,8°	0,2°	1,3°	0,5°	Terraço de Baixa-mar
A3	7,3°	0,5°	8,1°	6,4°	Refletivo	0,8°	0,2°	1,2°	0,6°	Terraço de Baixa-mar
P1	6,8°	1,1°	8,7°	4,8°	Refletivo	0,7°	0,2°	1,1°	0,3°	Terraço de Baixa-mar
P2	5,8°	0,9°	7,5°	4,1°	Refletivo	0,6°	0,2°	1,2°	0,3°	Terraço de Baixa-mar
P3	5,1°	0,7°	6,0°	3,5°	Refletivo	0,8°	0,2°	1,2°	0,6°	Terraço de Baixa-mar
M1	8,7°	0,4°	9,2°	7,8°	Refletivo	0,8°	0,3°	1,2°	0,6°	Terraço de Baixa-mar
M2	6,2°	0,4°	7,3°	5,7°	Refletivo	1,0°	0,1°	1,3°	0,9°	Terraço de Baixa-mar
E1	3,3°	0,5°	4,5°	2,6°	Refletivo	0,4°	0,4°	1,2°	0,1°	Terraço de Baixa-mar
E2	2,5°	0,3°	3,0°	2,0°	Refletivo	2,8°	1,4°	5,0°	0,5°	Banco e Calha Longitudinal

A = Amparo; P = Piaçaguera; M = Maciel; E = Encantadas

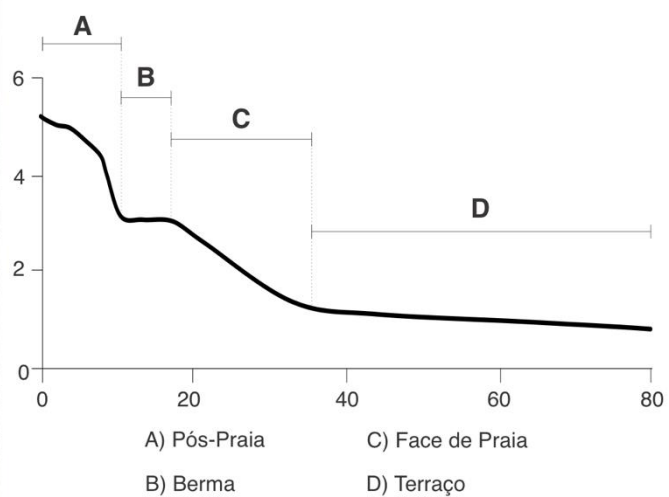


Figura 4. Foto e perfil topográfico do ponto de monitoramento P2, na praia de Piaçaguera, mostrando as distintas feições encontradas.

Em Encantadas a declividade da face de praia é mais suave que a das demais praias,

variando entre 2,5° e 3,3° (Tabela 2), e mais larga, sempre superior a 30 m. Apesar da declividade

mais suave, foram também caracterizadas como estado modal refletivo. Em relação a porção submersa, o ponto de monitoramento E1 apresentou sempre a morfologia de um terraço, eventualmente exposto durante a baixa-mar, e o ponto de monitoramento E2 apresentou a formação de bancos longitudinais à praia, sendo o estado

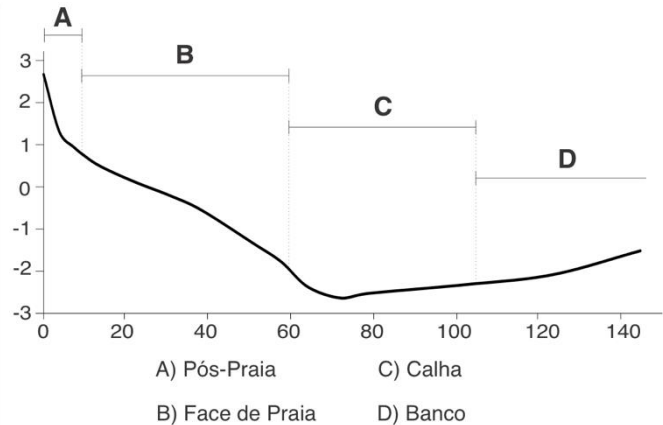


Figura 5. Foto e perfil topográfico do ponto de monitoramento E2, na praia de Encantadas, mostrando as distintas feições encontradas.

#### *Variações Morfológicas e Volumétricas*

Na praia de Amparo os pontos de monitoramento A1 e A2 apresentaram maiores alterações morfológicas e volumétricas do que o ponto A3 (Figura 6). No ponto A1, analisando a variação morfológica, entre o primeiro e o último levantamento a base da escarpa de pós-praia teve recuo de 1,2 m, enquanto o contato da face de praia com o terraço teve um recuo de 3,5 m. Esse contato fica bem marcado na série de perfis topográficos devido à abrupta mudança de declividade e pode ser percebido também em campo por conta das características dos sedimentos. Esses recuos também podem ser inferidos a partir da variação volumétrica, mostrando que março de 2019 foi o mês com menor volume total amostrado, correspondendo a 61,1 m<sup>3</sup>/m, ou seja, 6,8 m<sup>3</sup>/m inferior que o volume amostrado na primeira campanha, com total de 67,9 m<sup>3</sup>/m. Apesar do levantamento de fevereiro de 2018 ter apresentado valor próximo (61,7 m<sup>3</sup>/m) ao de março de 2019, o perfil teve novamente acreção no levantamento seguinte (abril de 2018). No ponto A2, a variação morfológica foi bem menos significativa que no ponto A1, mas sem ocorrência de alteração da posição da face de praia, não caracterizando efeito erosivo “contínuo”. No entanto, a variação morfológica, assim como no perfil A1, foi de déficit sedimentar. O levantamento com menor valor volumétrico ocorreu em dezembro de 2018, correspondendo a 50,4 m<sup>3</sup>/m, e o levantamento com maior volume aconteceu em abril de 2017,

modal caracterizado banco e calha longitudinal à praia. Na Figura 5, é possível ver o auxiliar de topografia sobre o banco na antepraia. Quanto a sedimentação, não foi perceptível visualmente a diferenciação granulométrica entre face de praia e antepraia.

com 57,4 m<sup>3</sup>/m, representando 7 m<sup>3</sup>/m de amplitude volumétrica.

O ponto de monitoramento A3 foi o único ponto da praia de Amparo que permaneceu estável morfológica e volumetricamente. Apesar de apresentar perdas e ganhos ao longo do monitoramento, o ponto A3 apresentou em março de 2019, último mês levantado, 57,7 m<sup>3</sup>/m, volume esse superior ao primeiro mês levantado, em fevereiro de 2017, quando o total volumétrico foi 56,1 m<sup>3</sup>/m.

Na praia de Piaçaguera as variações morfológicas e volumétricas se mantiveram estáveis ao longo de toda a série temporal. Mesmo que ao longo de toda a praia seja visível a presença de escarpas de pós-praia, não foram percebidos recuos da mesma em nenhum dos três pontos de monitoramento. Os pontos P1 e P3 apresentaram em março de 2019 estoque sedimentar emerso maior que o monitorado durante o mês de fevereiro de 2017, primeiro mês de campanha. O ponto de monitoramento P2 apresentou durante o mês de março de 2019, último levantamento, 71,1 m<sup>3</sup>/m, volume este abaixo do levantado na primeira campanha (73,9 m<sup>3</sup>/m), entretanto essa diferença, cerca de 2,8 m<sup>3</sup>/m representa apenas 4% do estoque total observado durante a primeira campanha (Figura 7).

Na praia de Maciel, o ponto de monitoramento M1 apresentou grande estabilidade morfológica e volumétrica (Figura 8). O pós-praia, utilizado como indicador de recuo da linha de costa, permaneceu sem indícios de alteração

significativa. O volume sedimentar da porção emersa observado durante o mês de março de 2019 foi de 60 m<sup>3</sup>/m, 1 m<sup>3</sup>/m superior ao primeiro mês de levantamento, em fevereiro de 2017.

O ponto de monitoramento M2 apresentou uma relativa variabilidade morfológica e volumétrica. A morfologia foi alterada principalmente pelo recuo do topo da escarpa de

pós-praia, da ordem de 1 m, entre o primeiro e o último levantamento topográfico. Em relação ao volume emerso, o ponto M2 apresentou estoque de 7,2 m<sup>3</sup>/m em março de 2019, apenas 0,7 m<sup>3</sup>/m abaixo do primeiro mês de levantamento, em fevereiro de 2017, mas que representa 10% a menos de volume de sedimentos.

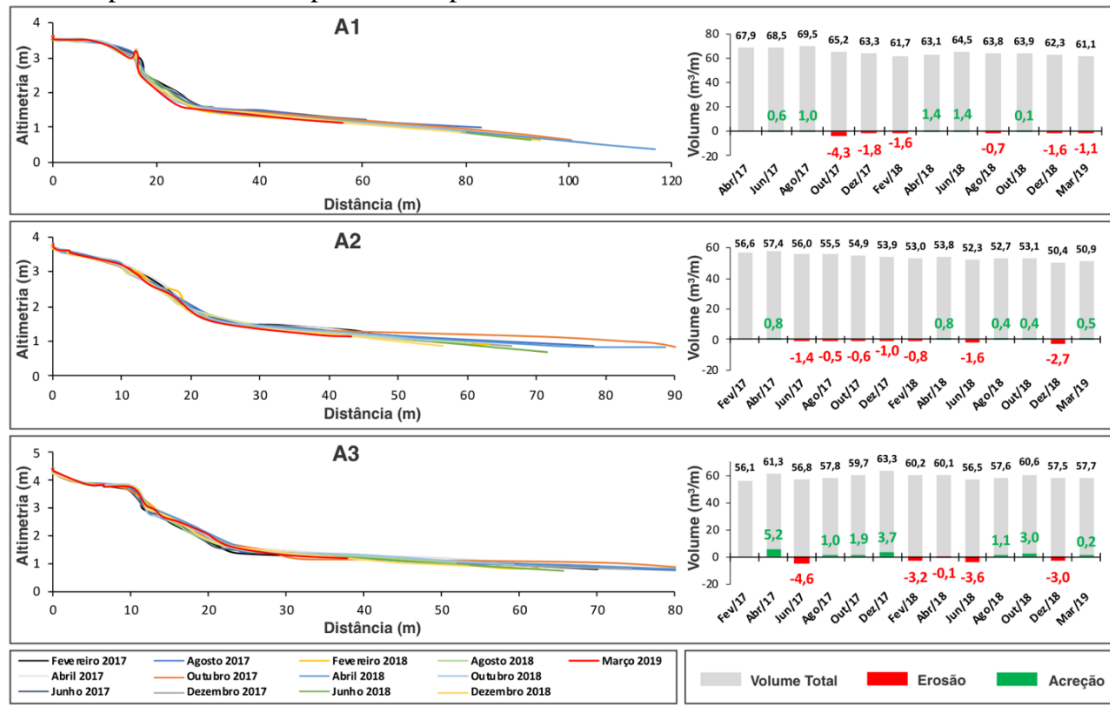


Figura 6. Sobreposição da série temporal de perfis topográficos na praia do Amparo, e alterações volumétricas ao longo do tempo.

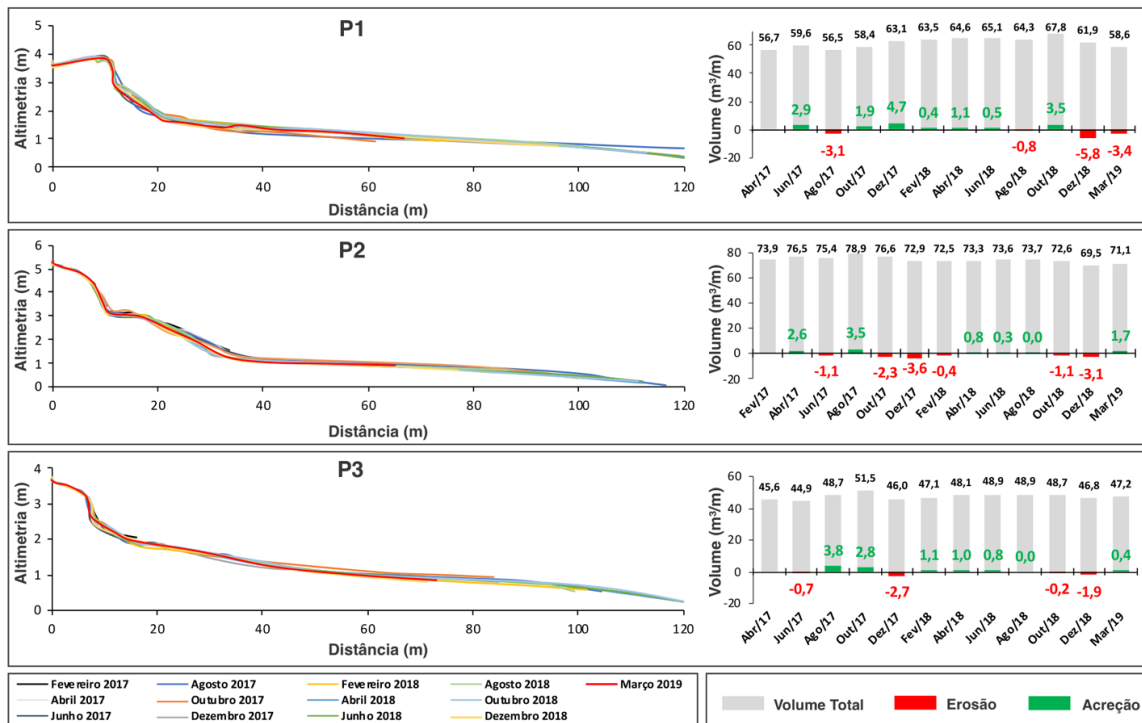


Figura 7. Sobreposição da série temporal de perfis topográficos na praia de Piaçaguera, e alterações volumétricas ao longo do tempo.

A praia de Encantadas apresentou variações morfológicas e volumétricas, entretanto parece ocorrer um comportamento cíclico, sem erosão continuada (Figura 9). O ponto de monitoramento E1 apresentou em março de 2019, última campanha, 64,7 m<sup>3</sup>/m, ou seja, 2,8 m<sup>3</sup>/m a mais que a campanha de fevereiro de 2017, primeiro levantamento da série temporal de perfis. Durante a série, é possível visualizar perdas e ganhos ao longo das campanhas, onde os meses de verão tendem a apresentar menor quantidade de sedimentos, apesar das variações não serem tão expressivas.

No ponto de monitoramento E2, o levantamento de março de 2019 apresentou estoque

sedimentar de 17,5 m<sup>3</sup>/m, valor esse abaixo do volume obtido durante a primeira campanha, em fevereiro de 2017, quando foram medidos 19,8 m<sup>3</sup>/m. No entanto, o valor apresentado na última campanha também foi percebido no mês de outubro de 2017, além de valores ainda mais baixos nos meses de agosto e outubro de 2018, quando foram medidos 17,3 m<sup>3</sup>/m. Dessa forma, o perfil E2 não indica, durante o período monitorado, indícios de processo erosivo continuado. No perfil E2 as variações volumétricas mostram que também ocorre esse padrão cíclico de erosão e acreção, entretanto em padrão oposto ao ponto E1. Nesse ponto os estoques máximos são observados durante o verão, e os mínimos durante o inverno.

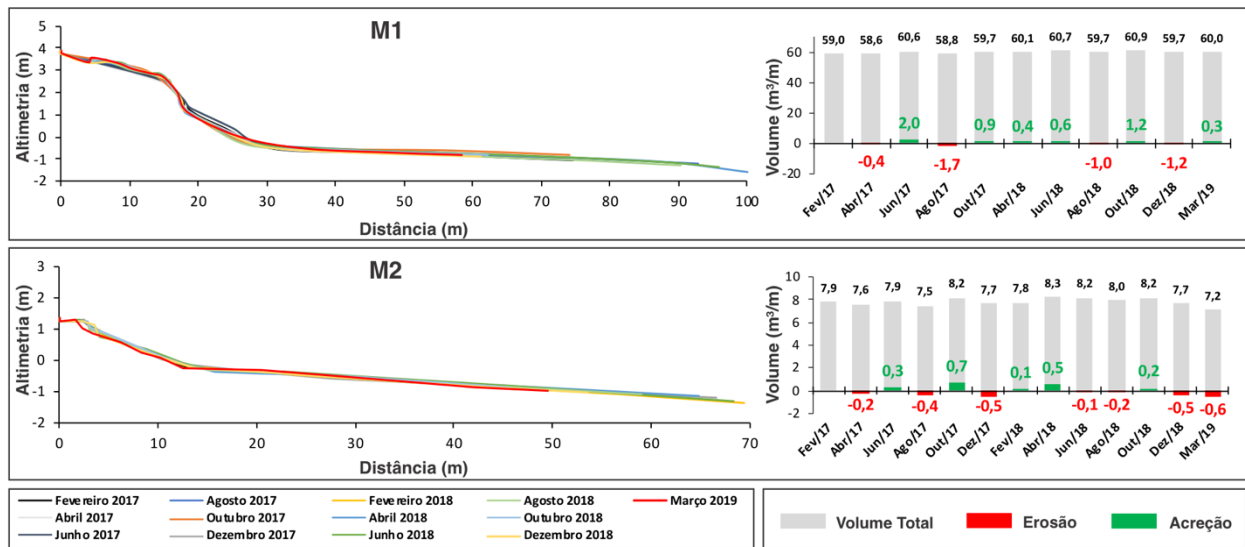


Figura 8. Sobreposição da série temporal de perfis topográficos na praia de Maciel, e alterações volumétricas ao longo do tempo.

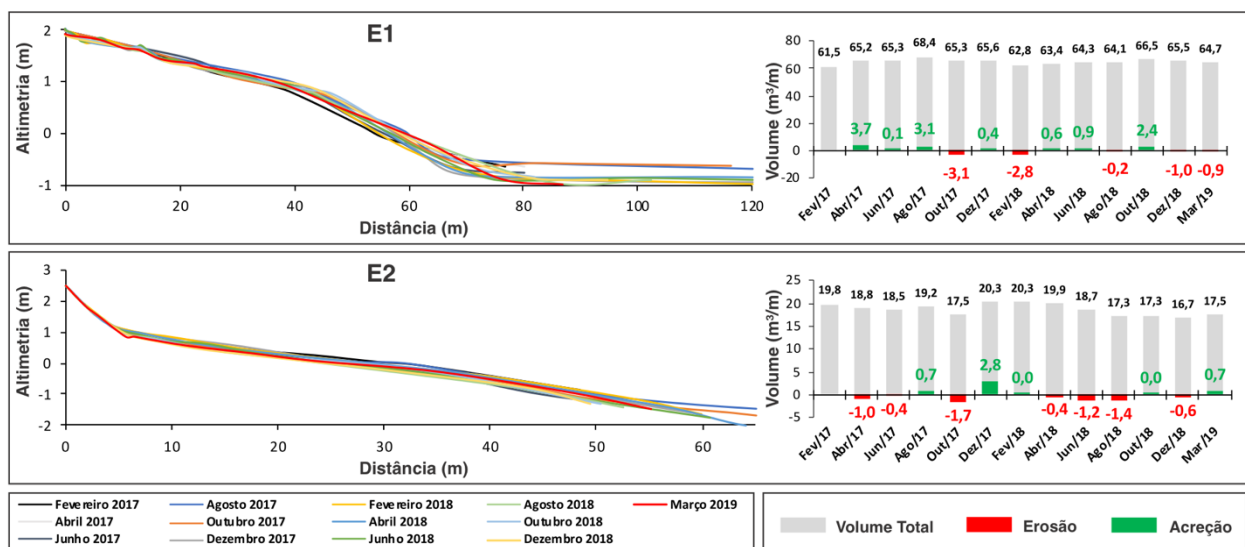


Figura 9. Sobreposição da série temporal de perfis topográficos na praia do Encantadas, e alterações volumétricas ao longo do tempo.

## Discussão

Apesar de não ter sido realizada análise granulométrica no presente trabalho, foi abordado no início dos resultados sobre um ponto de inflexão entre a face de praia e o terraço, das praias de Amparo, Piaçaguera e Maciel, discernível através da quebra de declividade, e, através da sedimentação percebida em campo. Os trabalhos de Rosa e Borzone (2008) e Rosa (2009) elucidam a diferença em termos granulométricos, entre a face de praia e a antepraia. Os autores realizaram a descrição granulométrica de 13 praias estuarinas na baía de Paranaguá, inclusive com amostragem na praia de Piaçaguera (face de praia e terraço). Os autores apontam que, quanto mais se adentra na baía, mais marcada fica a diferença granulométrica dos sedimentos entre face de praia e terraço, onde os sedimentos tendem a aumentar de tamanho na face de praia e diminuir no terraço. Em Piaçaguera, praia comum a este trabalho e aos supracitados, a quantidade de finos (<0,062 mm) na face de praia foi inferior a 4%, enquanto no terraço, superior a 40%.

Em relação a sedimentação da praia de Encantadas, quanto a não ser perceptível uma diferenciação granulométrica entre a face de praia e a antepraia, os trabalhos de Rosa e Borzone (2008) e Rosa (2009) corroboram essa interpretação. Apesar dos autores não amostrarem a praia de Encantadas, amostraram a praia de nova Brasília, na mesma ilha, distante 3 km e com mesma orientação da linha de costa. O resultado da sedimentação apontou semelhança granulométrica entre face de praia e antepraia, compostas por areia muito fina e com fração de finos inferior a 3%, diferindo apenas no selecionamento dos grãos, com a antepraia apresentando grãos com melhor selecionamento. Os autores atribuem essa semelhança, em termos granulométricos, entre face de praia e antepraia, à proximidade dessas praias com a desembocadura do estuário.

Em Amparo, os pontos de monitoramento A1 e A2 apresentaram erosão, enquanto o ponto A3 permaneceu estável. Um promontório rochoso, a noroeste do píer utilizado para atracação de pequenas embarcações da comunidade, tende a separar dinamicamente o ponto A1 dos outros dois pontos, fazendo com que a praia do Amparo tenha uma dinâmica de circulação dividida em duas células. Os pontos A1 e A2 estariam menos protegidos durante as marés vazantes, pois a deriva de sedimentos seria no sentido NO-SE. De acordo com Noernberg (2001) e Noernberg et al. (2007), as correntes de maré vazante são, em média, 10 a 15 % superiores às de enchente, e possuem direção

preferencial de NO-SE, sendo direcionadas pelo canal da Galheta. Dessa forma, o ponto A3 pode estar protegido devido a sua localização, uma vez que este ponto está situado próximo ao promontório rochoso NO que ancora a praia de Amparo (Figura 2A).

A praia de Piaçaguera foi única praia monitorada que apresentou estabilidade morfológica e volumétrica. Isso provavelmente ocorre devido à morfologia do fundo da antepraia, que tem uma declividade mais suave que a da praia de Amparo. Além disso, existe a O do P1, a presença da Ilha da Guadalupe, e, a SO, lajes emersas e submersas, que podem atenuar a velocidade das correntes de maré vazante. Mantovanelli et al. (2004) analisaram o transporte de água, material em suspensão e salinidade ao longo de um transecto S-N, que parte do porto de Paranaguá rumo ao P1 de Piaçaguera, onde foram coletados dados ao longo de toda a coluna d'água em 5 estações distintas. Os autores apontam que o transporte de água e sedimentos é influenciado pela assimetria da maré, onde as correntes são mais intensas durante a maré vazante, sendo o transporte influenciado pela batimetria, gerando uma diferença lateral da velocidade da corrente ao longo das estações amostradas, onde as correntes foram mais intensas nos pontos de maior profundidade.

Na praia de Maciel ocorreu erosão no ponto mais a leste (M2) enquanto o ponto mais a oeste (M1) permaneceu estável. Essa estabilidade no ponto M1 ocorreu provavelmente por dois fatores. Primeiro, o pós-praia nesse ponto tem maior altimetria, com cerca de 2,7 metros, que tende a atuar como uma barreira eficiente durante condições de nível da água mais elevado, observados durante a passagem de frentes frias, quando nível da água pode sofrer uma elevação adicional provocada pelos ventos mais intensos, conhecida como maré meteorológica. Segundo, a presença de vegetação no pós-praia, composta por gramínea e um denso bambuzal, tende a reforçar a defesa à força hidrodinâmica. No ponto M2, ao contrário do ponto de monitoramento M1, o pós-praia tem altimetria mais baixa, com aproximadamente 1,3 m, o que diminui a eficiência desta feição frente a ação hidrodinâmica. Apesar disso, a presença da vegetação no pós-praia, associada a uma fina camada de solo compacto, tem protegido este ponto, da praia de Maciel, de recuos ainda mais intensos. A Figura 10 mostra a erosão do pós-praia ocorrendo por solapamento do solo, onde a ação hidrodinâmica remove o sedimento praiado abaixo da camada de solo e vegetação.



Figura 10. Erosão do pós-praia por solapamento no ponto M2 da praia de Maciel.

Jackson et al. (2002) apontam que marés meteorológicas podem desempenhar um papel importante em praias de baixa energia, especialmente quando o nível da água excede a amplitude da maré. Essa importância se deve ao fato de as marés meteorológicas ocasionarem uma variação do local da praia onde os processos de espraiamento e refluxo irão atuar. Em condições normais, os processos erosivos e deposicionais ficam limitados a face de praia (Jackson, 1995; 2011) e tendem a se mover verticalmente, para cima, através do perfil à medida que o nível da água se eleva (Masselink, 1993). Dessa forma, praias estuarinas com baixa altimetria do pós-praia tendem a ser mais suscetíveis a erosão, em decorrência dos processos remodeladores atuarem sobre o pós-praia e não somente em sua base.

O efeito de marés meteorológicas no Complexo Estuarino de Paranaguá foi abordado por Marone e Camargo (1994) onde os autores analisaram cartas sinóticas e dados de medição de maré no porto de Paranaguá, em agosto de 1993. A maré meteorológica ocorrida neste período, afetou grande parte do litoral sudeste, ocasionando, segundo os autores, uma elevação adicional do nível da água em 80 cm acima do previsto, que somado a maré astronômica de sizígia, teria alcançado 3,5 m.

A proximidade das praias de Maciel e Encantadas com a desembocadura do estuário também pode implicar em maiores alturas de onda que nas praias de Amparo e Piaçaguera, principalmente durante eventos extremos. Ondas oceânicas são capazes de adentrar estuários, entretanto, a magnitude da energia dessas ondas é

reduzida, devido à dissipação ocasionada pelo atrito destas com o fundo (Dalrymple e Choi, 2007), processo esse conhecido como refração. Além disso, a difração também tende a dissipar a energia das ondas, tornando-as menos energéticas, à medida que estas se propagam pelo estuário.

O trabalho de Paranhos Filho (1996) sugere haver erosão ao longo de toda a praia de Encantadas, a partir de monitoramento realizado entre o verão 1991 e o inverno de 1992, utilizando 4 pontos de monitoramento. Entretanto, no presente trabalho não foi percebida erosão continuada e sim ciclos de erosão/acreção ao longo do período monitorado, que pode ser comprovado através tanto da análise volumétrica como morfológica, pois não foi identificada a presença de feições tipicamente erosivas, como recuo do pós-praia, nem alteração da zona dinâmica do espraiamento das ondas.

As variações volumétricas e morfológicas na praia de Encantadas indicam alterações cíclicas de sedimentos, entretanto, antagônicas entre os dois pontos de monitoramento. Enquanto no ponto E1 os picos de acreção parecem estar ligados a estação do verão, no ponto E2 os períodos de acreção se apresentam próximos ao inverno. O conceito relacionado a sazonalidade foi apresentado primeiramente por Shepard (1950), entretanto, Aagaard e Masselink (1999), apontam que a acumulação de sedimentos ocorre em diferentes épocas do ano, sendo condicionadas por variações na hidrodinâmica das ondas, e não necessariamente pela sazonalidade.

Na realidade, o que parece ocorrer na praia de Encantadas, é um padrão rotacional da praia, que

segundo Short (1999) se refere ao movimento lateral periódico do suprimento sedimentar para os extremos de uma praia de enseada, que se manifesta através de uma aparente rotação da praia. Entretanto, no caso da praia de Encantadas, a variação ocorre principalmente em termos de estoque sedimentar na porção emersa, do que de fato, no aumento da largura horizontal da praia, apesar de variações horizontais serem também constatadas. Short et al. (2014) denominam essa variação vertical como oscilações de praia, que geralmente estão associadas a um padrão rotacional.

A praia de Encantadas se enquadraria, levando em consideração o modelo conceitual de praias rotacionais elaborado por Harley et al. (2015), como rotacional devido à reversão da corrente longitudinal condicionada pela mudança sazonal da direção das ondas. A baixa energia das ondas promove a formação de um banco longitudinal que se estende por toda a praia, onde este possui características bem marcadas no ponto E2 e se transforma em um terraço de baixa-mar no ponto E1, provavelmente por causa da zona de sombra promovida pelo píer de atracação dos barcos (Figura 2D), que tende a diminuir ainda mais as ondas que chegam à costa.

Segundo Camargo e Marone (1995) os ventos predominantes, associados a bom tempo, variam entre ENE e SE, entretanto com baixas velocidades (4 m.s<sup>-1</sup>). Esses ventos de bom tempo favoreceriam acumulação sedimentar ao longo de toda a praia de Encantadas, uma vez que a sedimentação da praia estaria condicionada as correntes de maré, principalmente relacionada ao delta de vazante. Em ocasiões de perturbações ocasionadas por frentes frias, ainda que de menor intensidade durante o verão (Sugahara, 2000), seriam mais erosivas no perfil E2, em virtude da refração das ondas, que no ponto E1 estaria mais protegido devido à presença do terraço na antepraia e por estar abrigado pelo píer de atracação dos barcos, enquanto no ponto E2 as ondas conseguiriam atingir diretamente a praia. Durante os meses de inverno, com intensificação das frentes frias, as ondas provenientes de SO, com alturas significativas maiores e períodos mais longos, teriam maior destaque no trecho sul da praia, onde está posicionado o perfil E1, por atacarem com mais intensidade o terraço, enquanto a presença do banco submerso na antepraia do ponto E2 atenuaria a energia das ondas.

Obras de dragagem de aprofundamento de canais de navegação podem ocasionar amplificação das marés, aumentando a diferença de intensidade entre os deltas de vazante e enchente, que resultaria na deposição sedimentar migrando

cada vez mais em direção a cabeceira do estuário (van Kessel et al., 2015). Além disso, o aprofundamento do canal pode provocar distúrbios locais no estado estacionário entre morfologia e condições hidrodinâmicas de depósitos que eram anteriormente coesos (não erodíveis), criando novas fontes de sedimentos que tendem a elevar a concentração de sedimentos em suspensão ao longo da coluna d'água (de Jonge, 1983; de Jonge et al., 2014). Entretanto, essas modificações parecem ocorrer a longo prazo (van Kessel e van Maren, 2013; van Kessel et al. 2015), enquanto uma obra de dragagem acontece, geralmente, em um prazo curto a médio (1 a 3 anos). Isso provocaria um descompasso entre as obras de dragagem e os efeitos erosivos/acrecionais decorrentes, observados em praias estuarinas, uma vez que, a baixa energia observada nesses ambientes tende a reduzir as trocas sedimentares, necessitando de um prazo mais longo para novamente atingir o equilíbrio entre morfologia e ação hidrodinâmica. Por conta disso, mesmo pequenas alterações morfológicas e volumétricas, como as percebidas nos pontos A1 (Amparo) e M2 (Maciel), devem ser consideradas críticas.

Outro fator não analisado neste trabalho corresponde a formação de ondas longas geradas por embarcações de grande porte, como embarcações utilizadas em obras de dragagem e navios de cabotagem. Schoellhamer (1996) aponta que as ondas geradas por grandes embarcações são responsáveis pela suspensão de sedimentos do fundo do estuário, além destas se propagarem para áreas mais rasas em uma velocidade maior que a velocidade de propagação de ondas livres, provocando distúrbios na linha de costa. Os sedimentos que são colocados em suspensão voltam a ser depositados, entretanto, permanecem mais suscetíveis à erosão em decorrência da ação das ondas e correntes de maré. O autor aponta que a altura da onda, e conseqüentemente sua energia, aumentam principalmente devido à velocidade de trânsito da embarcação e secundariamente por causa de seu tamanho (largura e calado). Dessa forma, o trânsito de embarcações, durante e após a obra de dragagem, pode atuar potencializando efeitos erosivos nas praias próximas ao canal de navegação.

### **Considerações Finais**

As praias estuarinas abordadas nesse artigo apresentaram, de fato, dinâmica de ambientes de baixa energia, apresentando baixas taxas de alterações morfológicas e volumétricas. As praias de Amparo, Piaçaguera e Maciel apresentaram características fisiográficas homogêneas, com face de praia estreita e íngreme, e a presença de terraço

na antepraia, com declividade suave, que se torna parcialmente exposto durante a baixa-mar. A praia de Encantadas apresentou características fisiográficas distintas das demais praias, com face de praia mais larga e baixa declividade, presença de terraço na antepraia do ponto E1 e a presença de calha e banco, ambos submersos, na antepraia do ponto E2. Apesar do ponto E1 apresentar a feição de terraço, é nítida a diferença relativa as demais praias, onde a sedimentação, tanto da antepraia como da face de praia é mais arenosa, com baixa concentração de sedimentos lamosos. Essa diferença ocorre em função da proximidade da praia de Encantadas com a foz sul do estuário de Paranaguá, fazendo com que a sedimentação tenha forte influência de sedimentos oriundos das praias oceânicas.

Dentre os 10 pontos monitorados, somente os pontos A1 e M2, nas praias de Amparo e Maciel, respectivamente, parecem apresentar erosão continuada. As causas dessa erosão não podem ser de fato estabelecidas, devido à interrupção do monitoramento, entretanto, devem estar associadas às correntes de maré, baixa altimetria do pós-praia, eventos relacionados às marés meteorológicas, e, à intervenção ocasionada pela obra de dragagem. Nesse último caso, em decorrência da diferença do tempo de resposta entre a intervenção da obra de dragagem e os efeitos adversos desencadeados, que provocam a interrupção do equilíbrio entre morfologia e hidrodinâmica, ocorre a necessidade de monitoramento por períodos mais longos, que visem identificar essas alterações à médio e longo prazo, uma vez que os reajustes morfodinâmicos em ambientes de baixa energia, tendem a apresentar-se de forma mais lenta do que costas oceânicas expostas.

É sabido que, após casos de tempestades excepcionais, esses ambientes de baixa energia tendem a se recuperar naturalmente, entretanto, levam um tempo mais longo que praias oceânicas expostas. Justamente por causa das baixas taxas de alterações morfodinâmicas, esses ambientes de baixa energia, com grande interferência pela sociedade, devem ser monitorados continuamente, principalmente durante e após obras de dragagem, para que alterações desses ambientes, como erosão, sejam identificadas de imediato, com o intuito de proteção não somente desses ambientes como também das comunidades tradicionais que ali residem.

#### Agradecimentos

À Secretaria Nacional de Portos (SNP) e a Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA), por disponibilizarem os dados do

Programa de Monitoramento de Perfilagem Praial para que o presente estudo fosse desenvolvido. À CAPES, pela concessão de bolsa PNPD ao autor principal, fundamental para o desenvolvimento da pesquisa.

#### Referências

- Aagaard, T., Greenwood, B., Hughes, M. 2013. Sediment transport on dissipative, intermediate and reflective beaches. *Earth-Science Review*, 124, 32-50, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.05.002>
- Angulo, R.J., Souza, M.C., Lamour, M.R. 2006. Coastal erosion problems induced by dredging activities in the navigation channel of Paranaguá and São Francisco do Sul harbor, southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), pp. 1801-1803. Itajaí, SC, Brazil.
- Angulo, R.J. 1992. Geologia da Planície Costeira do Estado do Paraná. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 334 p.
- Angulo, R.J. 1999. Morphological characterization of the tidal deltas on the coast of the State of Paraná. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, v. 71, n. 1, p. 935-959.
- Angulo, R.J. 2004. Aspectos físicos das dinâmicas de ambientes costeiros, seus usos e conflitos. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 10, 175-185.
- Angulo, R.J., Araujo, A.D. 1996. Classificação da costa paranaense com base na sua dinâmica, como subsídio à ocupação da orla litorânea. *Boletim Paranaense de Geociências*. 44, 7 - 17.
- Angulo, R. J., Souza, M.C., Müller, M.E.J., Noernberg, M.A., Soares, C. R., Borzone, C.A., Marone, E., Quadros, C.J.L. 2017. Paraná. In: Muehe, D. (org.). *Panorama da erosão costeira no Brasil*. MMA, Brasília, p. 583-636.
- Bigarella, J.J., Becker, R.D., De Matos, D.J., Werner, A. 1978. A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná. Um problema de segurança ambiental e nacional (contribuição à geografia, geologia e ecologia regional). Curitiba, governo do estado do Paraná, Secretaria de Estado do Planejamento - Associação de Defesa e Educação Ambiental (ADEA). 248 p.
- Birkemeier, W.A. 1981. Fast accurate two-person beach surveys. *Coastal Engineering Technical Aid n. 81-11*, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Mississippi.
- Birkemeier, W.A. 1984. A user's guide to ISRP: The interactive survey reduction program. In: *Instruction Report CERC-84-1*, U.S. Army

- Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg.
- Camargo, R., Harari, J. 2003. Modeling the Paranaguá Estuarine Complex, Brazil: tidal circulation and cotidal charts. *Revista Brasileira de Oceanografia*, São Paulo, v. 51, n. único, p. 23-31, <https://doi.org/10.1590/S1413-77392003000100003>.
- Camargo, R., Marone, E. 1995. Comportamento do vento de superfície em Pontal do Sul (PR, Brasil) - Análise preliminar. VI COLACMAR, Mar del Plata, p.63.
- Cazal, H.S.V., Fomin, I.M., Oliveira, B.A., Sutil, U.A., Ferreira, T.L., Oliveira, E., Dourado, M. S. 2011. Caracterização Sazonal da Precipitação Anual na Região De Pontal do Paraná, Paraná, Brasil Entre 2002 e 2010. Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar. Balneário Camboriú – SC.
- Dalrymple, R.W., Choi, K. 2007. Morphologic facies trends through the fluvial- marine transition in tide-dominated depositional systems: a schematic framework for environmental and sequence-stratigraphic interpretation. *Earth Science Reviews*. 81,
- Dalrymple, R.W., Zaitlin, B.A., Boyd, R 1992. Estuary facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, 62, 1130–1146.
- Davies, J.L. 1964. A morphogenetic approach to world shorelines. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 8.
- De Jonge, V.N. 1983. Relation between annual dredging activities, suspended matter concentrations, and the development of the tidal regime in the Ems estuary. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 40, SI. 289-300., <https://doi.org/10.1139/f83-290>
- De Jonge, V.N., Schuttelaars, H.M., Beusekom, J.E.E., Van Talke, S.A., Swart, H.E. 2014. The influence of channel deepening on estuarine turbidity levels and dynamics, as exemplified by the Ems estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 139,
- Eliot, M.J., Travers, A., Eliot, I. 2006.. Morphology of a low-energy beach, Como Beach, Western Australia. *Journal of Coastal Research*, 22, 63–77,
- Freire, P., Jackson, N.L., Nordstrom, K.F. 2013. Defining beaches and their evolutionary states in estuaries In: Conley, D. C., Masselink, G., Russell, P. E., O’hare, T. J. (eds.), *Proceedings 12th International Coastal Symposium (Plymouth, England)*, *Journal of Coastal Research*, SI65, 482-487.
- Hardaway Jr, C.S., Milligan, D.A., Varnell, L. 2016. Estuarine Beaches. In: Kennish, M.J. (eds) *Encyclopedia of Estuaries*. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Dordrecht, pp. 243-246, <https://doi.org/10.1007/978-94-017-8801-4>
- Harley, M.D., Turner, I.L., Short, A.D. 2015. New insights into embayed beach rotation: The importance of wave exposure and cross-shore processes. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 120, 1470–1484.
- Jackson, N.L. 1995. Wind and Waves: Influence. *Annals of the Association of American Geographers*. 85, 21–37.
- Jackson, N.L. Estuaries. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Sherman, D.J. (Ed.), 2013. *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA, vol. 10, Coastal Geomorphology, 308–327.
- Jackson, N.L., Nordstrom, K.F., Eliot, I., Masselink, G. 2002. “Low energy” sandy beaches in marine and estuarine environments a review. *Geomorphology*, 48, 147–162.
- Lana, P.C., Morone, E., Lopes, R.M., Machado, E.C. The Subtropical Estuarine Complex of Paranaguá Bay, Brazil. In: Seeliger, U., Kjerfve, B. (eds.) *Coastal Marine Ecosystems of Latin America*. Berlin, Springer-Verlag, p. 131-145, 2001.
- Mantovanelli, A., Marone, E., Da Silva, E.T., Lautert, L.F., Klingen-Fuss, M.S., Prata, V.P, Noernberg, M. A., Knoppers, BA., Angulo, RJ. 2004. Combined tidal velocity and duration asymmetries as a determinant of water transport and residual flow in Paranaguá Bay estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 59, 523–537.
- Marone, E., Camargo, R. 1994. Marés meteorológicas no litoral do estado do Paraná: o evento de 18 de agosto de 1993. *Nerítica*. 8, 73-85.
- Van Maren, D. S., Van Kessel, T., Cronin, K., Sittoni, L. 2015. The impact of channel deepening and dredging on estuarine sediment concentration. *Continental Shelf Research*, 95, 14,
- Masselink, G. 1993.. Simulating the effects of tides on beach morphodynamics. *Journal of Coastal Research*, SI15, 180–197,
- Masselink, G., Short, A.D. 1993. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: A conceptual beach mode. *Journal of Coastal Research*, 9, 785–800.
- Masselink, G., Short, A. 1993.. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. *Journal of Coastal Research*. 9, 785-800.

- Miranda, L.B., De Castro, B. M., Kjerfve, B. 1998. Circulation and Mixing Due to Tidal Forcing in the Bertioga Channel, São Paulo, Brazil. *Estuaries*, 21, 204-214, <https://doi.org/10.2307/1352469>
- Nemes, D.D., Marone, E. 2013. Caracterização das ondas de superfície na plataforma interna do Estado do Paraná, Brasil. *Boletim Paranaense de Geociências*, 68, –25.
- Noernberg, M.A. 2001. Processos Morfodinâmicos no Complexo Estuarino de Paranaguá – Paraná – Brasil: Um Estudo a Partir de Dados in situ e Landsat – TM. Curitiba. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Tese de Doutorado, 180 p.
- Noernberg M.A., Marone, E., Angulo, R. Coastal 2007. Currents and Sediment Transport in Paranaguá Estuary Complex Navigation Channel. *Boletim Paranaense de Geociências*, 60-61, 45-54.
- Nordstrom, K.F., Jackson, N.L. 2012. Physical processes and landforms on beaches in short fetch environments in estuaries, small lakes and reservoirs: A review. *Earth-Science Reviews*. 111, 232-247.
- Oliveira Filho, S.R., Santos, R.S., Fernandez, G.B. 2020. Erosão e Recuperação de praias refletivas de alta energia impactadas por ondas de tempestade geradas por Ciclone Tropical. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 21, 289-312, DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i2.1455>
- Paranhos Filho, A.C. 1996, O processo erosivo e as variações morfodinâmicas das praias na Ilha do Mel (Baía de Paranaguá-PR). Curso de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Dissertação de Mestrado, 239p.
- Perillo, G.M.E. 1995. *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Elsevier, 53, 471p.
- Potter, I.C., Chuwen, B.M., Hoeksema, S.D., Elliott, M. The concept of an estuary: 2010. A definition that incorporates systems which can become closed to the ocean and hypersaline. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87, 497–500, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2010.01.021>
- Pritchard, R.W. 1967. What is an estuary? Physical viewpoint. In: Lauff, G.H. (Ed.), *Estuaries*. American Association for the Advancement of Science, Washington, D.C., pp. 3–5,
- Rosa, L.C. 2009. As praias estuarinas da Baía de Paranaguá (região sul do Brasil): aspectos morfodinâmicos e ecológicos. Programa de Pós-graduação em Oceanografia Biológica, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, , 140p.
- Rosa, L.C., Borzone, C. 2008. A. Uma abordagem morfodinâmica na caracterização física das praias estuarinas da Baía de Paranaguá, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 38.
- Schoellhamer, D.H. 1996. Anthropogenic sediment resuspension mechanisms in a shallow microtidal estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 43, 533–548.
- Shepard, F.P. 1950. Beach cycles in Southern California. Beach Erosion board. Technical Memorandum, 20, 26p.
- Short, A.D. 2006. Australian Beach Systems—Nature and Distribution. *Journal of Coastal Research*, 221, 27.
- Short, A.D., Bracs, M. A., Turner, I.L. 2014. Beach oscillation and rotation: local and regional response at three beaches in southeast Australia. *Journal of Coastal Research*, 70, SI65, 712–717,
- Short, A.D. 1999. *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. Chichester, Wiley, 379 p.
- Sugahara, S. 2000. Variação Anual da Frequência de Ciclones no Atlântico Sul. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, II Encontro Brasileiro de Interação Oceano- atmosfera, Rio de Janeiro, 1, 2607-2611.
- Vila-Concejo, A., Gallop, S. L., Largier, J. L. (2020). Sandy beaches in estuaries and bays. In *Sandy Beach Morphodynamics* (pp. 343–362). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102927-5.00015-1>
- Vilas, F., Rubio, B., Rey, D., Bernabeu, A.M. Estuary. In: *Encyclopedia of Planetary Landforms*, 1–7, 2014. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9213-9\\_621-1](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9213-9_621-1)
- Winterwerp, J.C., Wang, Z.B. 2013a. Man-induced regime shifts in small estuaries—I: theory. *Ocean Dynamics*, 63, 1279–1292, doi:10.1007/s10236-013-0662-9.
- Winterwerp, J.C., Wang, Z.B., Van Braeckel, A., Van Holland, G., Kösters, F. 2013b. Man-induced regime shifts in small estuaries—II: a comparison of rivers. *Ocean Dynamics*, 63, pp. 1293–1306, <http://dx.doi.org/10.1007/s10236-013-0663-8>.
- Wright, L.D., Short, A.D. 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. *Marine Geology*, 56, 93–118.