

# VARIAÇÃO DA MORFOLOGIA PRAIAL E IDENTIFICAÇÃO DE ZONAS DE EROÇÃO ACENTUADA (ZEA) NA ENSEADA DO ITAPOCORÓI - SC

ARAUJO, R.S.\*; SPROVIERI, F.C.; FREITAS, D. & KLEIN, A.H.F.

Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar - CTTMar, Universidade do Vale do Itajaí - UNIVALI, Cx. Postal 360, Itajaí, SC, CEP 88302-202, Brasil.

\*Corresponding author: rsangoi@univali.br

## ABSTRACT

Araujo, R.S.; Sprovieiri, F.C.; Freitas, D. & Klein, A.H.F. 2010. Variation in beach morphology and identification of an erosional hot spot at Itapocorói Bay, SC. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.* 14(1): 29-38. ISSN 1808-7035. The main objective of this work was to describe the morphologic variation at Itapocorói Bay – SC, and to identify the development of an erosional hot spot, through the comparison of beach profile data taken before and after the beach nourishment project done by the year of 1999, with the monthly topographic survey obtained at 2008. The results show that the beaches have distinct morphologic behavior due to the increase in the wave energy exposition of the shore. The south portion of the bay is more sheltered, and has flat beach profile slopes (between 2° and 3°) while the northern part, more exposed, shows steeper slopes (5° to 7°) and scarped profiles. Nine years after the nourishment project completed at Piçarras beach, approximately 50% of the sediment volume was lost, especially at the south end next to the river, where there is a well developed hot spot, which shows rates of volume loss of about 95%. The survey also shown that there is no significant alongshore sediment transport to the north, what reinforces the idea that the cross-shore transport has importance at the erosional process.

**Keywords:** beach morphology; erosional hot spot; Itapocorói Bay;

## INTRODUÇÃO

As praias, em geral, são ambientes altamente dinâmicos, e estão constantemente sofrendo alterações morfológicas resultantes de variações no regime energético incidente (clima de ondas), na variação do nível d'água (eventos de tempestade), e desequilíbrios no suprimento sedimentar local (Short, 1999, Klein, 2004).

Um exemplo da interação destes processos pode ser observado na Praia de Piçarras e adjacências, no litoral centro-norte do Estado de Santa Catarina. Ao longo das últimas décadas, esta região vem apresentando sucessivos problemas decorrentes da erosão costeira, sobretudo na porção sul da enseada, local onde também se verificam as maiores taxas de desenvolvimento urbanístico.

Muitos estudos foram realizados à medida que o processo erosivo foi se agravando. Medidas de contenção tentaram sem sucesso resolver o problema, como a construção de gabiões e espigões ao longo da orla para conter o transporte sedimentar longitudinal, porém nenhuma intervenção conseguiu conter o avanço da erosão.

Em meados da década de 90 a situação tornou-se crítica a ponto da região sul da enseada, próximo à desembocadura do rio Piçarras, apresentar praticamente toda a sua porção emersa de praia erodida ao longo de 2km de extensão, o que levou o governo municipal,

juntamente com a iniciativa privada, a propor e executar em 1998/99 a realização de um aterro hidráulico.

A obra serviu para restabelecer a linha de costa existente anteriormente ao início do processo erosivo, porém não conseguiu interromper a continuidade do mesmo. Atualmente se verifica uma forte erosão localizada principalmente nas adjacências da desembocadura do rio Piçarras, o que indica que a região continua instável do ponto de vista da dinâmica sedimentar.

A análise do histórico erosivo da região e variação morfológica dos perfis transversais da praia de Piçarras, realizados antes e após as obras de recomposição da faixa arenosa serviram de base para o cálculo das taxas erosivas atuais e identificação de zonas de erosão acentuada (ZEA), bem como os prováveis fatores que desencadearam o processo.

## ÁREA DE ESTUDO

A praia de Piçarras está localizada no município de Balneário Piçarras, litoral centro-norte do Estado de Santa Catarina, e é considerada um importante centro turístico regional, especialmente durante os meses de verão. Com cerca de 8km de extensão, encontra-se delimitada ao norte pelo promontório de Itajuba, e ao sul pela foz do Rio Piçarras.

Ao sul da desembocadura está a praia Alegre, pertencente ao município de Penha, com aproximadamente 1km de extensão e que, juntamente com a praia

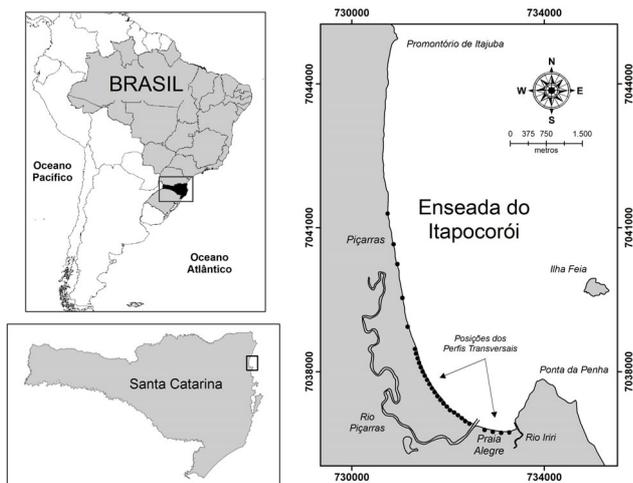


Figura 1. Localização geográfica da Enseada do Itapocorói – SC, com a posição dos perfis transversais utilizados durante o monitoramento topográfico.

de Piçarras compreende a Enseada do Itapocorói (Figura 1).

O segmento setentrional da enseada apresenta-se quase retilíneo, com orientação NNW-SSE, e a porção meridional assume uma conformação recurvada e protegida da ondulação proveniente dos quadrantes sul e sudeste (Hoefel, 1998). Adjacente ao promontório da Ponta da Penha encontra-se a Ilha Feia, na isóbata de 20 metros.

O ambiente praiado ao longo da enseada apresenta uma notável variação de volume e largura sub-aéreas. A partir da desembocadura do rio Piçarras em direção ao norte, a morfologia da praia possui uma alta variabilidade devido à maior exposição ao regime energético incidente, enquanto a porção sul mais abrigada (praia Alegre), apresenta uma maior largura e menor mobilidade do perfil praiado (Klein e Menezes, 2001, Araujo *et al.*, 2009, Klein *et al.*, 2009).

O estágio morfodinâmico foi definido por Klein e Menezes (2001) como refletivo, com grau de exposição às ondulações provenientes dos quadrantes sul e sudeste variando de semi-exposta na porção junto à foz do rio Piçarras, a exposta nas partes central e norte. A Praia Alegre, situada entre as desembocaduras do rio Piçarras ao norte e do rio Iriri ao sul junto ao promontório da Ponta da Penha, apresenta uma baixa dinâmica e assume características de ambiente dissipativo segundo o modelo proposto pelos autores.

### Evolução Geológica da Enseada do Itapocorói

Durante a transgressão marinha do Pleistoceno Superior (120.000 anos AP), o nível médio do mar encontrava-se a cerca de 8 metros acima do atual. Nesta época, a Enseada do Itapocorói abrigava um sistema

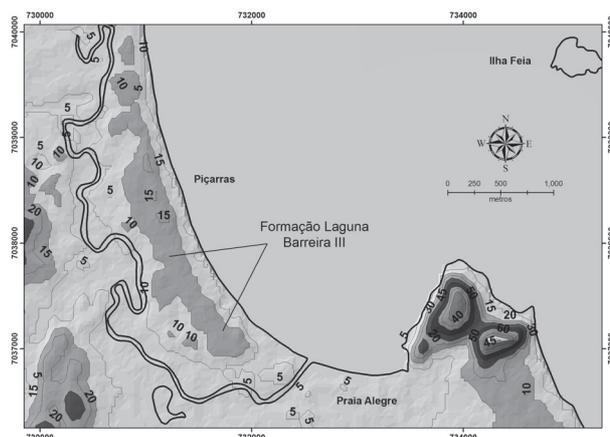


Figura 2. Enseada do Itapocorói. A região mais escura do mapa entre o leito do rio Piçarras e o oceano representa as terras mais elevadas remanescentes do Sistema Laguna Barreira III. As isolinhas representam as curvas de nível (m). Altimetria disponibilizada pela mapoteca digital da EPAGRI (<http://www.epagri.rct-sc.br/>). Último acesso 20/05/2008.

deposicional laguna barreira (Sistema Laguna Barreira III) (Caruso Jr., 1995; Hoefel, 1998) (Figura 2). Após esta fase seguiu-se um período regressivo que se estendeu até cerca de 18.000 anos AP, levando o nível médio do mar a cerca de 120 metros abaixo do atual. Durante este período a atual plataforma continental externa era influenciada por uma dinâmica costeira, depositando-se nesta região sedimentos arenosos praiados. A partir de 18.000 anos AP as calotas polares começaram a retrair e o nível médio do mar subiu, dando início à transgressão holocênica, responsável pelo afogamento de vales fluviais, retrabalhamento da Barreira III Pleistocênica, e formação de um novo sistema laguna-barreira (Sistema Laguna Barreira IV), a cerca de 5.000 anos AP (Caruso Jr., 1995).

O rebaixamento do nível relativo do mar, subsequente ao máximo transgressivo, levou à construção de terraços marinhos holocênicos a partir da barreira original, que passaram a ser retrabalhados por sucessivas oscilações de pequena escala do nível relativo do mar até o presente (Caruso Jr., 1995; Hoefel, 1998).

Segundo Caruso Jr. (1995), atualmente terraços marinhos encontram-se emersos e preservados nas porções central e norte da enseada, logo após o pós-praia em direção à terra (Figura 2). Sobre as porções anteriores, em direção ao mar, desenvolveram-se dunas de pequeno porte, que hoje encontram-se fixadas por vegetação, enquanto que as porções mais elevadas estão em grande parte ocupadas por construções. Com exceção de algumas ocorrências no sul da enseada, os terraços holocênicos foram completamente erodidos.

Lessa *et al.* (2000) sugerem a existência de uma célula de circulação sedimentar, a partir do norte do

estado de Santa Catarina, em direção ao Paraná. Segundo os autores, a deriva litorânea parece não ser interrompida ao longo da costa, uma vez que o sedimento transpassa as desembocaduras dos estuários, e os poucos promontórios presentes no trajeto localizam-se à profundidades inferiores a 10 metros.

### Zonas de Erosão Acentuada (ZEA)

Zonas de erosão acentuada (ZEA) correspondem a regiões que apresentam desequilíbrio no balanço sedimentar, ou seja, experimentam um transporte potencial de sedimentos sem ter um suprimento (aporte) adequado. São regiões que erodem mais rapidamente que áreas adjacentes, ou mais rápido que o esperado em um projeto de alimentação praial. Este processo pode ser identificado e avaliado quali-quantitativamente através de vários parâmetros, como a perda da largura praial (taxas de retração da linha de costa), perda de volume sedimentar (erosão), porcentagem de sedimento residual em comparação com o total depositado (no caso de projetos de recuperação praial), ou a comparação entre as perspectivas de comportamento de taxas evolutivas de linha de costa de áreas adjacentes (Bridges, 1995).

A definição original para ZEA foi desenvolvida para descrever comportamentos erosivos localizados e não antecipados, principalmente em locais que haviam sido recuperados com alimentação praial (Dean *et al.*, 1999). A partir de então, vários estudos foram realizados e inúmeros fatores condicionantes do desenvolvimento destes processos foram identificados.

Kraus e Galgano (2001) propuseram que este fenômeno pode ser classificado de diversas maneiras: segundo a duração, extensão de influência lateral, processos responsáveis pela formação, mecanismo de erosão predominante (longitudinal ou perpendicular em relação à linha de costa), e ainda se o processo pode ser previsto e/ou remediado. Dentre os vários tipos de ZEA definidos na literatura, citam-se alguns que podem ter relação com os processos identificados na Enseada do Itapocorói: (1) dragagem seletiva, com variação na composição granulométrica e tamanho médio de grão depositado na região do aterro; (2) presença de promontórios que podem alterar a orientação da linha de costa; (3) batimetria residual (após o aterro) que pode causar convergência e divergência de ondas e (4) barreiras (espigões, guia – correntes, marinas) localizadas nas proximidades;

Benedet *et al.* (2007) utilizaram uma definição adaptada daquela proposta por Kraus e Galgano (2001), na tentativa de definir as possíveis causas do desenvolvimento de zonas de erosão acentuada em áreas que sofreram aterro para recuperação da faixa de areia. Os autores definiram como ZEA as áreas que apresentam taxas erosivas pelo menos duas vezes maiores que a

média geral do aterro, e que podem ser quantificadas comparando-se as perdas de volume ( $m^3/m$ ) ou variações na posição da linha de costa ( $m/ano$ ) de um segmento específico da praia com a perda de volume média ao longo de toda a área aterrada.

Neste trabalho, a zona de erosão acentuada é definida como a região ou segmento (perfil transversal) que apresenta taxas de variação negativa do volume, em  $m^3/m/ano$ , iguais ou maiores a 50% acima da média geral.

## METODOLOGIA

A caracterização morfológica das praias e definição da ZEA foi obtida através do monitoramento do perfil praial em 30 pontos ao longo da enseada do Itapocorói, sendo 04 localizados na praia Alegre, espaçados aproximadamente 200 metros entre si, e mais 26 pontos na praia de Piçarras, sendo 21 com espaçamento de 100 metros entre si, a partir da foz do rio Piçarras em direção ao norte, e o restante espaçado a aproximadamente 600 metros entre si. Na Figura 1 observa-se a posição geográfica dos perfis ao longo da área de estudo.

Os perfis foram realizados com periodicidade mensal, entre agosto de 2007 a março de 2008, totalizando oito levantamentos. Para fins de comparação da evolução do aterro hidráulico realizado na praia de Piçarras entre os anos de 1998-1999, os perfis medidos na região da obra (perfil P1 ao P21) coincidem com os levantamentos realizados pela prefeitura municipal antes e depois da realização do aterro em 1999.

A morfologia praial foi obtida através do método topográfico proposto por Borges (1977), correspondendo à levantamentos perpendiculares à praia. Os levantamentos consistiram de medições das cotas dos perfis fazendo-se uso de um teodolito eletrônico e uma régua graduada. Posteriormente obtiveram-se os valores de diferença de nível e distância horizontal por trigonometria, através do seguinte procedimento:

$$DH = (L_2 - L_1) / (\cotg A_2 - \cotg A_1) \quad (1)$$

$$Cotas = Rn + Al + (V_1 - L_1) \quad (2)$$

$$V_1 = DH * \cotg (A_1) \quad (3)$$

sendo  $A_1$  o ângulo inferior,  $L_1$  a leitura inferior,  $A_2$  o ângulo superior,  $L_2$  a leitura superior,  $Al$  a altura do instrumento em relação ao ponto fixo no chão (cota conhecida),  $DH$  a distância horizontal a partir do aparelho, e  $V_1$  a distância vertical.

O processamento dos dados dos perfis foi realizado utilizando uma planilha de cálculo eletrônica para

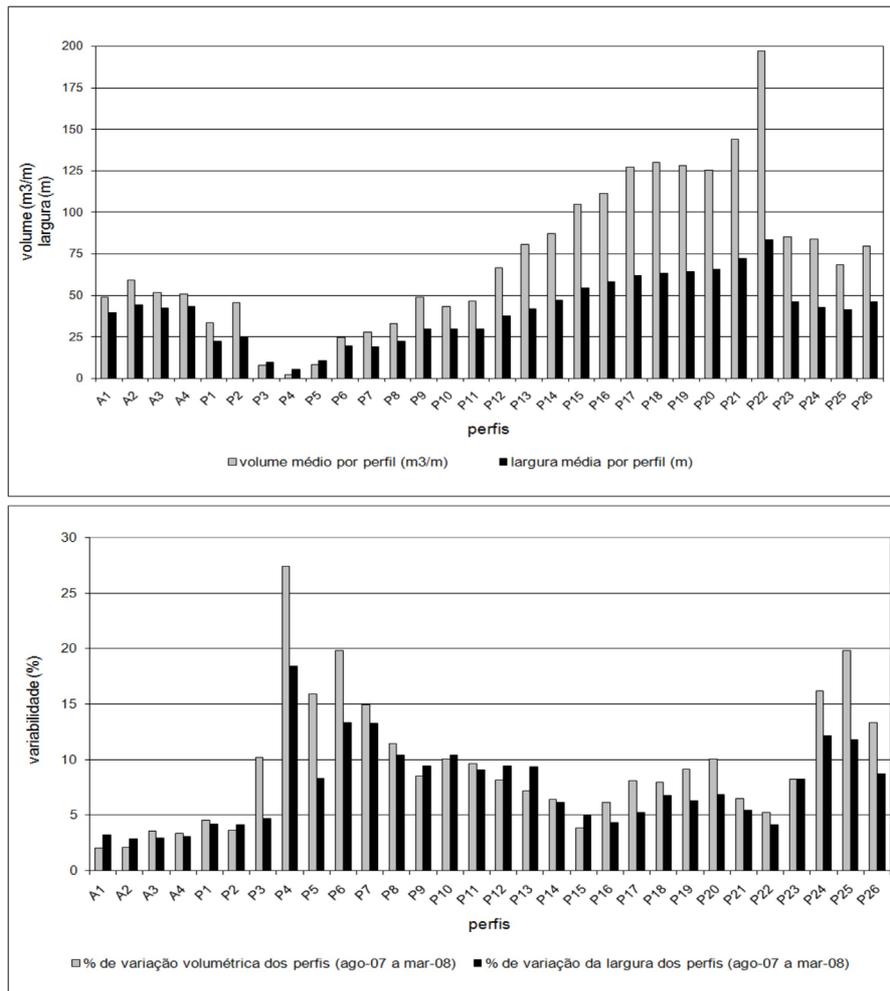


Figura 3. Volume (m³/m) e largura (m) médios calculados para cada perfil ao longo da Enseada do Itapororó (topo); coeficientes de variabilidade dos volumes e larguras calculados através da razão entre o desvio padrão e a média para cada perfil (base).

digitalização dos dados de campo e obtenção dos valores de cota e distância. Posteriormente, os perfis foram tratados pelo programa *BMAP – “Beach Morphology Analysis Package”* (USACE, 1995) para interpolação das cotas e distâncias a cada 0,5 metros entre pontos consecutivos, e cálculo do volume e largura médios de cada perfil.

$$V = \int_{x1}^{x2} y \cdot dx \quad (4)$$

O volume (V) foi calculado em m³/m, correspondendo à área da seção transversal da porção sub-aérea do perfil multiplicada por uma unidade de largura (1 metro), através do cálculo de integrais definidas (eq. 4).

A declividade média dos perfis foi obtida por trigonometria, a partir da cota e da largura média. A declividade da face da praia foi obtida com a ajuda de um clinômetro de nível colocado na porção média da zona de espraiamento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Morfologia

O monitoramento mensal mostrou que a morfologia do perfil praial varia bastante ao longo da enseada. As praias foram classificadas, segundo o modelo proposto por Klein e Menezes (2001) e Araujo (2008), como variando de uma situação dissipativa e abrigada na porção sul junto ao promontório da Ponta da Penha (praia Alegre), alternando para um ambiente refletivo e semi-exposto nas adjacências da desembocadura do rio Piçarras, para um ambiente refletivo exposto em direção ao norte da enseada.

De modo geral, os perfis transversais mostram que a praia aumenta sua largura média de sul para norte, o mesmo acontecendo com o volume. A praia Alegre apresenta uma configuração mais plana e suave (declividade média em torno de 2,8°), enquanto que a praia de Piçarras junto ao guia-correntes apresenta uma configuração inclinada (declividade média em torno de 7,9°), aumentando a largura em direção ao norte na

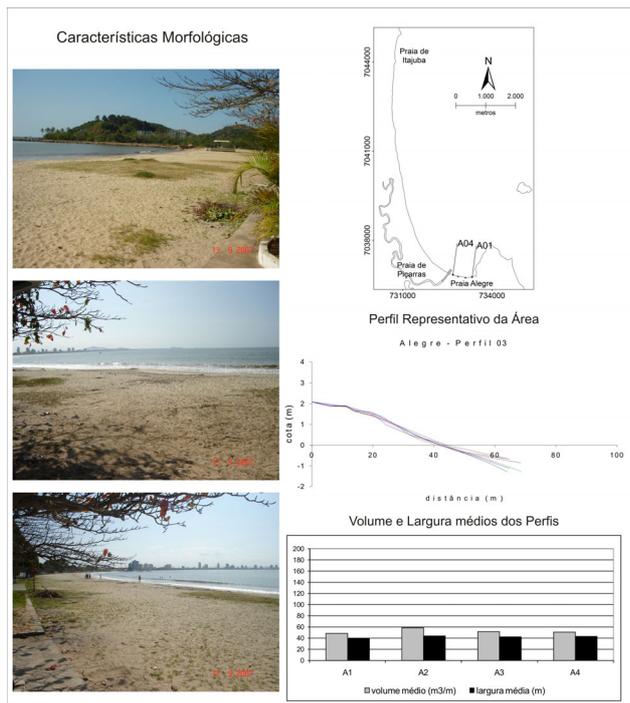


Figura 4. Características morfológicas do setor sul da Enseada do Itapocorói (praia Alegre), correspondente aos perfis A1 a A4.

medida em que a declividade média diminui (em torno de 5,0°).

A variabilidade do perfil praias também se altera conforme aumenta a exposição do ambiente à energia de ondas. A praia Alegre apresentou as menores variações de volume e largura durante o período monitorado, enquanto as porções no sul e norte da enseada as mudanças foram bastante significativas (Figura 3).

A região central da praia de Piçarras (entre os perfis P14 e P23) apresentou variações do volume e largura menores se comparado com as áreas adjacentes. Os perfis com menor variação são os que apresentam uma maior largura e menor declividade, proporcionando uma maior extensão para dissipação da energia de onda.

O perfil P4 apresentou a maior variação dentre todos (27% no volume e 18,4% na largura). Este perfil está localizado na ZEA, onde um muro vertical com mais de dois metros de altura foi construído para proteger as casas situadas imediatamente atrás, e hoje praticamente não existe praia emersa durante a preamar. Portanto, variações no volume e largura são esperadas devido à intensa remobilização sedimentar causada pela quebra da onda diretamente sobre o perfil.

As características morfológicas e hidrodinâmicas observadas ao longo da Enseada do Itapocorói foram agrupadas de acordo com as semelhanças apresentadas pelos perfis transversais para cada porção da costa, de sul para norte (Figuras 4 a 8).

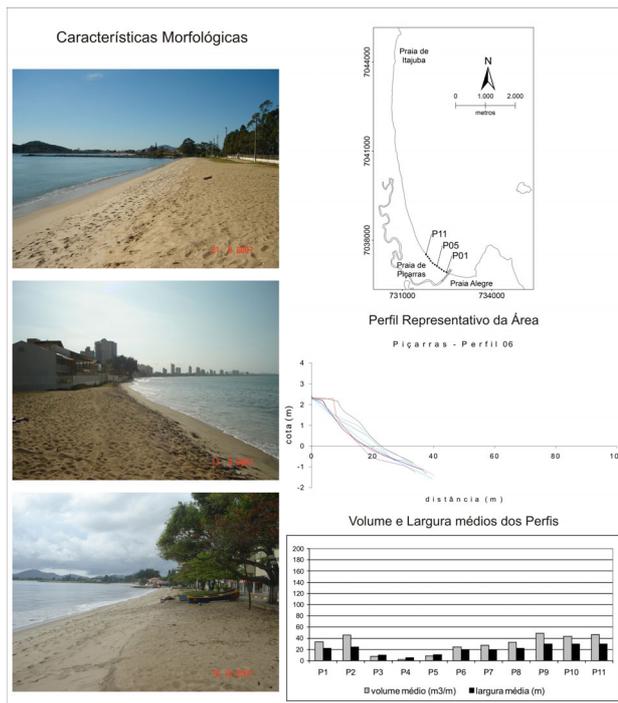


Figura 5. Características morfológicas do setor sul da Enseada do Itapocorói (praia de Piçarras), correspondente aos perfis P1 a P11.

A praia Alegre, situada na porção mais abrigada da Enseada do Itapocorói, apresentou ao longo do monitoramento a morfologia mais estável, com uma largura média da porção sub-aérea de 40 metros, um perfil com baixa declividade (entre 2° e 3°), não apresentando feições marcantes, como cúspides ou cavas, devido à baixa energia hidrodinâmica local. Também não foi observada a presença de bancos submersos próximos à costa (Figura 4).

Observações visuais da altura de onda durante o período de monitoramento indicaram variações entre 10cm a 20cm para esta região. O volume médio por perfil, calculado para a área não ultrapassou os 60m³/m, enquanto que a largura do perfil ficou em torno de 40m.

Na porção sul de Piçarras, a praia apresenta-se estreita e com alta declividade (variando de 5° a 7°), com características refletivas, sem zona de surfe e com arrebatamento do tipo ascendente. A observação visual da altura de onda identificou ocorrência entre 10 a 25 cm até o perfil 11 (Figura 5).

Durante eventos de tempestade esta região da praia é bastante afetada pela ação das ondas, e o perfil tende a erodir e assumir uma feição inclinada e escarpada. Por ser uma região classificada como refletiva, o volume sedimentar disponível tende a se acumular na porção sub-aérea do perfil, e por isso não se observa a ocorrência de bancos submersos.

A partir do perfil 12, a cerca de 1.200 metros ao norte da foz do rio Piçarras, a praia começa a apresen-

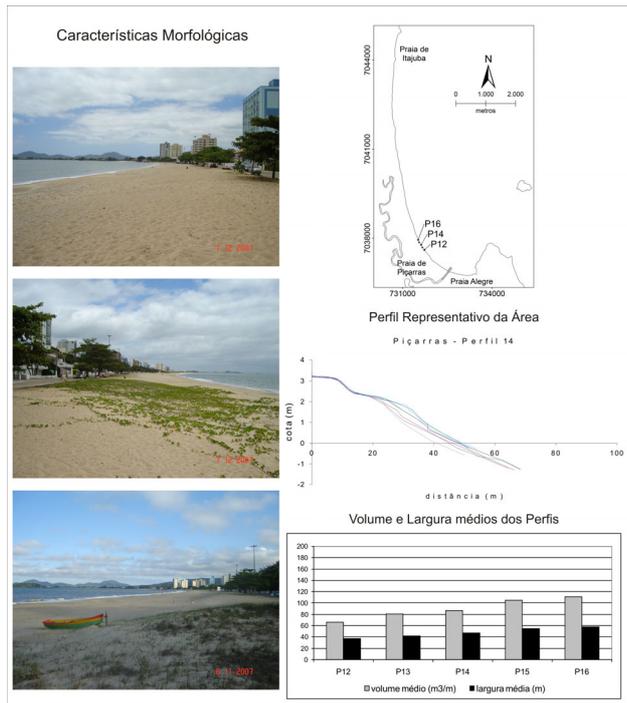


Figura 6. Características morfológicas da praia de Piçarras, correspondente aos perfis P12 a P16.

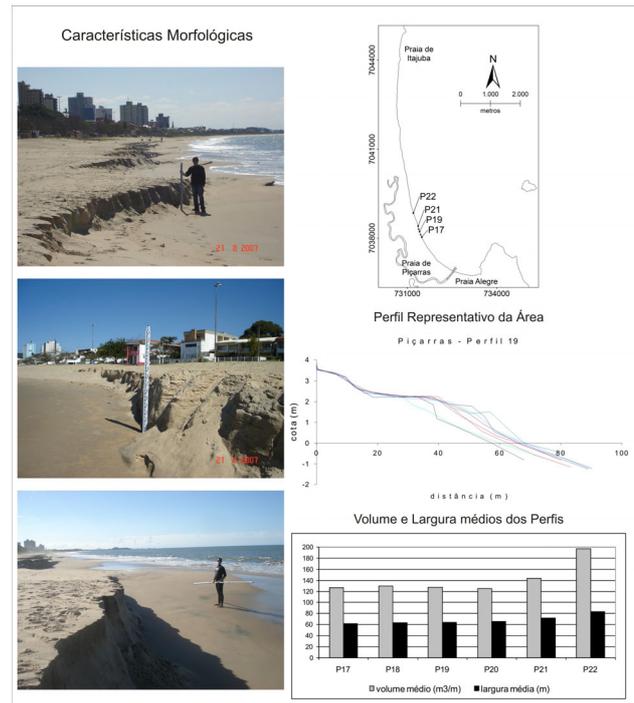


Figura 7. Características morfológicas da praia de Piçarras, correspondente aos perfis P17 a P22.

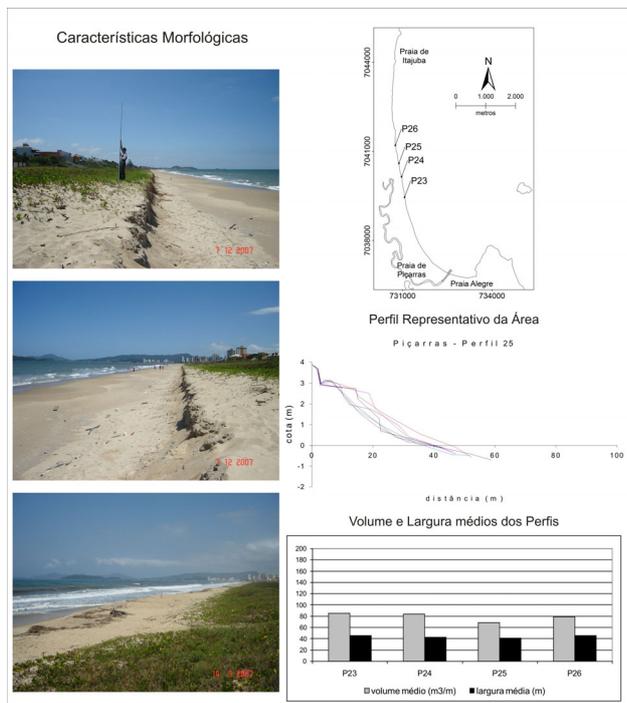


Figura 8. Características morfológicas da praia de Piçarras, correspondente aos perfis P23 a P26.

tar características mais energéticas, com aumento da largura média, diminuição da declividade e aumento gradual da altura de onda na arrebentação (entre 25 a 50cm). O volume médio varia entre 60 e 100m<sup>3</sup>/m de sul para norte. É possível observar também a presença de uma morfologia mais variável, em especial na região

do berma próxima da face da praia, com formação de cúspides e cavas pouco desenvolvidos durante eventos de alta energia (Figura 6).

A cerca de 1.700 metros da desembocadura (perfis P17 a P22) já se observa uma praia com alta energia de ondas, com alturas variando de 50cm a 80cm, uma zona de surfe de aproximadamente 12m de extensão, presença de escarpas e cúspides bastante pronunciados, fato que se deve à configuração mais exposta desta porção da enseada ao ataque da ondulação incidente (Figura 7). O perfil transversal apresenta uma alta variabilidade morfológica na porção próxima da zona de espraiamento, comumente apresentando escarpas que chegam a 1 metro de altura. O volume neste setor varia de 120 a 200m<sup>3</sup>/m em direção ao norte.

A região localizada mais ao norte da praia de Piçarras (perfis P23 ao P26) é classificada como exposta à ondulação incidente e, por isso, apresenta as maiores alturas de onda observadas, em torno de 50cm a 1 metro. A largura média dos perfis é menor que os localizados mais ao sul. Porém, nesta região a presença de dunas vegetadas ajuda a proteger o cordão litorâneo da ação energética das ondas (Figura 8).

### Evolução do Aterro Hidráulico

Para efeitos de comparação, tanto os valores de largura média e volume médio dos perfis representam a porção sub-aérea da praia, referenciados ao nível médio do mar. A porção submersa do perfil não foi consi-

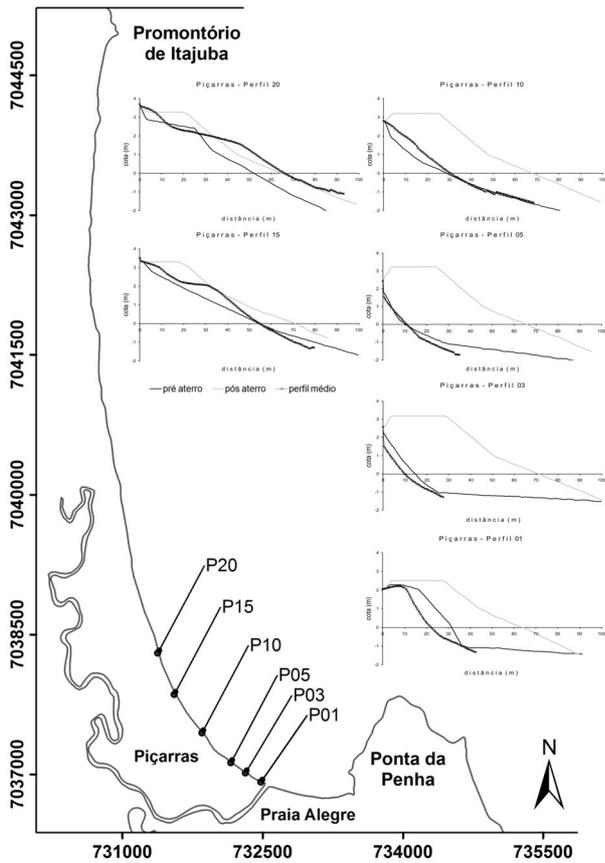


Figura 9. Configuração morfológica dos perfis praias antes (azul) e depois (verde) do aterro hidráulico, em comparação com os perfis médios atuais (vermelho).

derada nas análises comparativas com os perfis anteriores e posteriores ao aterro, em função da dificuldade de aquisição de dados a profundidades maiores que 1,5 metros com o tipo de equipamento utilizado.

É possível observar que a porção sul de Piçarras, no entorno da desembocadura (entre os perfis P01 e P10) apresentou perfis médios atuais com características morfológicas semelhantes às anteriores da realização do aterro, o que evidencia uma forte perda sedimentar naquela região (Figura 9).

A média de variação volumétrica entre os anos de 1998 a 2008 foi de  $-7,2\text{m}^3/\text{m}/\text{ano}$  para toda a área aterrada (2.100 metros; Tabela 1). As taxas variam ao longo da enseada, com valores atingindo desde  $-14,4\text{m}^3/\text{m}/\text{ano}$  na região mais crítica da praia, até  $-0,2\text{m}^3/\text{m}/\text{ano}$  na porção terminal da obra.

De modo geral, todos os perfis monitorados apresentaram características erosivas, o que indica que o sedimento está sendo removido da parte sul, mas não está sendo depositado na mesma proporção na direção da deriva litorânea. Este fato pode estar relacionado com o transporte sedimentar transversal para além da profundidade de fechamento na região sul da enseada. Através de simulações numéricas conduzidas para a enseada do Itapocorói, van den Heuvel *et al.* (2008) calcularam a profundidade de fechamento com base nos dados dos perfis transversais e levantamentos batimétricos para a região da praia de Piçarras (Figura 10).

O gráfico indica claramente um aumento da profundidade de fechamento em direção ao norte, coincidindo com o aumento da exposição da praia à energia de ondas, porém os valores não ultrapassam os 4,5 metros, ficando em torno de 2 a 3 metros na região do aterro.

Não existem registros batimétricos atualizados na região da enseada, bem como não foram realizados levantamentos sedimentológicos de sondagem na plataforma interna adjacente para verificação da existência de areia de granulometria compatível com a que foi

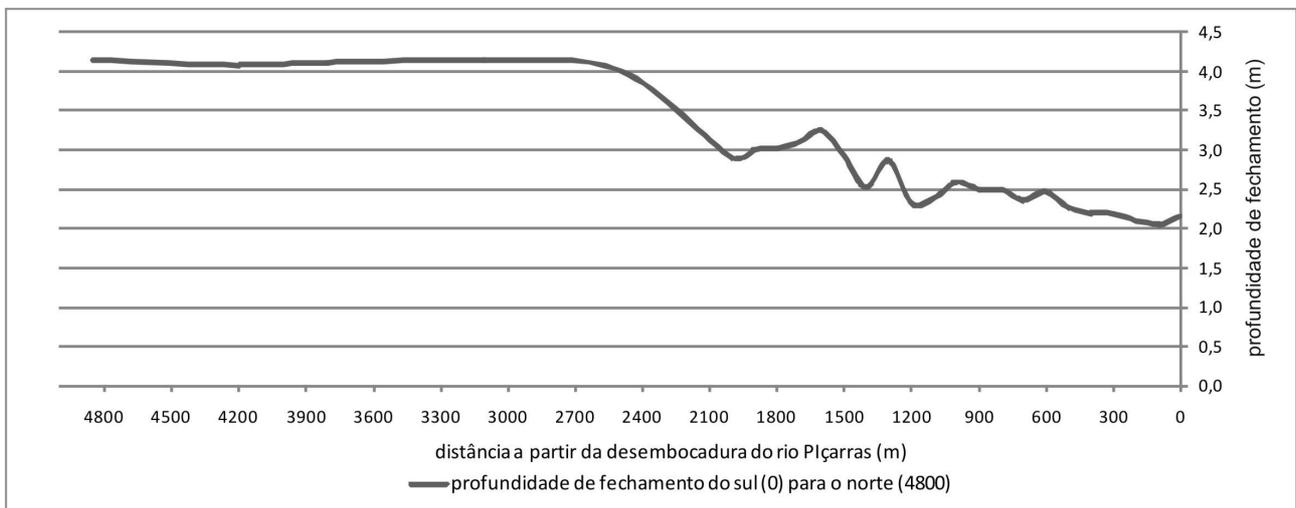


Figura 10. Profundidade de fechamento calculada para a região da Enseada do Itapocorói, através de simulação numérica (van den Heuvel *et al.*, 2008). O eixo horizontal representa a distância em metros a partir da desembocadura do rio Piçarras em direção ao norte, e o eixo vertical traz a profundidade, em metros.

Tabela 1. Relação dos valores de volume e largura sub-aéreos calculados para a região do aterro hidráulico. Os valores em negrito representam os perfis que se localizam na região classificada como ZEA.

Perfil	Volume sub-aéreo ( m <sup>3</sup> / m )			Var. volume 1999-2008 (m <sup>3</sup> / m / ano)	Var. total volume 1999-2008 (m <sup>3</sup> )	% Var. Total Volume	Largura sub-aérea ( m )			Var. largura 1999-2008 ( m / ano)	Var. total largura 1999-2008 (m)	% Var. Total Largura
	1998	1999	2008				1998	1999	2008			
P01	51,9	106,7	33,6	-8,1	-73,1	-68	31,5	63,8	22,1	-4,6	-41,7	-65,4
P02	52,4	137,9	45,6	-10,3	-92,3	-67	31,5	65,5	24,6	-4,5	-40,9	-62,4
P03	15,6	126,6	7,8	<b>-13,2</b>	<b>-118,8</b>	<b>-94</b>	14,8	63,8	9,9	<b>-6,0</b>	<b>-53,9</b>	<b>-84,5</b>
P04	6,6	132,2	2,2	<b>-14,4</b>	<b>-130,0</b>	<b>-98</b>	10,0	66,6	5,2	<b>-6,8</b>	<b>-61,4</b>	<b>-92,2</b>
P05	8,3	131,9	8,3	-13,7	-123,5	-94	10,3	65,7	10,9	-6,1	-54,8	-83,4
P06	34,1	131,8	24,1	<b>-12,0</b>	<b>-107,7</b>	<b>-82</b>	27,1	66,6	19,9	<b>-5,2</b>	<b>-46,7</b>	<b>-70,1</b>
P07	27,5	134,2	27,6	<b>-11,8</b>	<b>-106,6</b>	<b>-79</b>	23,3	66,7	19,7	<b>-5,2</b>	<b>-47,0</b>	<b>-70,5</b>
P08	27,6	136,2	33,0	<b>-11,5</b>	<b>-103,2</b>	<b>-76</b>	27,4	67,0	22,5	<b>-4,9</b>	<b>-44,5</b>	<b>-66,4</b>
P09	31,0	131,2	48,5	-9,2	-82,7	-63	32,4	65,2	29,7	-3,9	-35,5	-54,5
P10	28,8	136,6	43,2	-10,4	-93,4	-68	28,7	67,8	30,5	-4,1	-37,3	-55,1
P11	29,9	128,4	46,2	-9,1	-82,2	-64	28,5	63,6	30,1	-3,7	-33,5	-52,7
P12	29,9	122,9	66,3	-6,3	-56,6	-46	28,5	63,4	38,3	-2,8	-25,1	-39,6
P13	44,1	147,9	80,3	-7,5	-67,6	-46	36,8	70,5	42,5	-3,1	-28,0	-39,7
P14	58,4	127,8	86,8	-4,6	-41,1	-32	46,3	66,3	46,9	-2,2	-19,4	-29,2
P15	83,9	132,4	104,6	-3,1	-27,7	-21	54,4	70,5	54,6	-1,8	-15,9	-22,5
P16	65,1	127,7	111,0	-1,8	-16,6	-13	47,1	66,6	58,2	-0,9	-8,4	-12,7
P17	93,3	139,8	126,8	-1,5	-13,1	-9	50,9	67,3	62,4	-0,5	-4,9	-7,3
P18	85,0	134,1	129,2	-0,5	-4,9	-4	42,8	65,7	63,8	-0,2	-1,9	-3,0
P19	99,5	128,9	127,4	-0,2	-1,6	-1	52,2	69,3	64,8	-0,5	-4,5	-6,5
P20	94,2	132,5	124,8	-0,9	-7,7	-6	52,0	64,7	66,1	0,2	1,4	2,2
P21	107,8	155,1	143,3	-1,3	-11,8	-8	58,8	68,0	72,1	0,4	4,0	5,9
média	51,2	132,5	67,7	-7,2	-64,9	-49,5	35,0	66,4	37,8	-3,2	-28,6	-43,3

# valores em destaque representam a Zona de Erosão Acentuada (ZEA) e correspondem a variações 50% ou mais acima da média geral do aterro

depositada no aterro, para comprovar a hipótese de transporte sedimentar naquela direção. Porém, a análise da variação da posição da linha de costa realizada por Araujo (2008) e Klein *et al.* (2009) demonstra que não houve deposição sedimentar significativa na região norte da enseada.

Uma hipótese a ser testada em futuros estudos é que a declividade acentuada da plataforma adjacente, em especial na região de entorno da desembocadura do rio Piçarras, associada ao efeito das ressacas sobre a orla, facilita a remoção de grandes quantidades de sedimento da porção sub-aérea do perfil para a coluna d'água. Este sedimento não retorna na sua totalidade para recompor o prisma praiial, ao invés disso, é transportado para regiões profundas onde deposita, e a energia das ondas não consegue retrabalhar este sedimento e transportá-lo de volta para a costa.

### Identificação da Zona de Erosão Acentuada (ZEA)

A determinação da ZEA na região do aterro foi obtida pela comparação do volume médio de cada perfil transversal atual (2008) com o volume calculado para o mesmo perfil, obtido ao término da obra em 1999. As taxas de variação maiores ou iguais a 50% acima da média geral do aterro foram consideradas como zonas de erosão acentuada (ZEA).

A Tabela 1 apresenta os valores de volume e largura para os diferentes anos, e mostra que passados 9 anos da realização das obras, cerca de 50% do volume total depositado na porção sub-aérea foi completamente removido. De forma geral, a perda de volume sedimentar está associada com a diminuição da largura, com exceção da porção final do aterro, que apresenta um comportamento inverso.

Pela comparação das taxas, observa-se que a região entre os perfis P03 e P08 tiveram porcentagens

de perda sedimentar bem acima da média geral nos últimos 9 anos, com valores que variam de 76% no perfil P08 a 98% de perda no perfil P04. De fato, esta região apresenta-se como a mais crítica, e praticamente não existe praia emersa durante os períodos de preamar. Seguidamente observa-se a ação das ondas diretamente sobre os muros e calçadas, o que vem causando prejuízos estruturais, da mesma forma como ocorria antes da realização das obras em 1998. Sendo assim, foi considerada como zona de erosão acentuada a região entre os perfis P03 e P08 (Figura 11).

A análise comparativa da variação da largura do perfil ao longo dos nove anos, com a variação volumétrica para o mesmo período mostra que apesar de todos os perfis do aterro terem perdido volume, a porção terminal (perfis P18 a P21) demonstrou um comportamento distinto dos demais.

O perfil P18 apresentou uma diminuição da largura e volume na mesma proporção (4% do volume e 3% da largura), enquanto que o perfil P19 teve uma diminuição da largura maior que a perda volumétrica (1% do volume e 6,5% da largura), o que indica que o sedimento acumulou nas porções mais elevadas do pós-praia.

Já os perfis P20 e P21 mostraram diminuição de volume sub-aéreo e aumento da largura. Este fato é explicado pela configuração média que os perfis apresentam hoje, com dois degraus acentuados. O sedimento que antes estava depositado na porção superior (próximo da calçada) foi transportado para a porção inferior, junto à zona de espraiamento, diminuindo assim a declividade média.

Segundo a teoria de Kraus e Galgano (2001), a formação de ZEAs são esperadas se diferentes composições granulométricas são depositadas na praia (geralmente sedimentos mais finos são remobilizados mais facilmente). Jazidas podem apresentar diferenças

significativas no tamanho de grão. Isto pode ocorrer em função dos processos de bombeamento e recalque, da redução de custos operacionais (dragar locais mais próximos da obra, maior eficiência e menor gasto de combustível no bombeamento de sedimentos finos a distâncias maiores, entre outros). Sendo assim, áreas que receberem sedimentos mais finos tenderão a perder volumes mais facilmente da porção sub-aérea, na maioria dos casos em função do transporte perpendicular para fora da costa.

Processos de refração e difração de ondas, gerados pela presença dos promontórios da Ponta da Penha e Itajubá, por exemplo, podem causar diferenças no transporte sedimentar pela geração de correntes longitudinais e alterar a configuração da linha de costa. Da mesma forma, se o sedimento for depositado de forma irregular ao longo da extensão do projeto, ou se o mesmo for colocado além da profundidade de fechamento, podem ocorrer alterações dos contornos batimétricos e conseqüente modificação nos padrões de propagação de ondas. Essa distribuição irregular de energia de onda sobre a costa pode influenciar no transporte sedimentar longitudinal e gerar ZEAs.

Outro fator importante é a presença de barreiras localizadas próximo à regiões com características erosivas, que geralmente promovem a diminuição ou mesmo a interrupção do transporte sedimentar longitudinal para as regiões à barlar e podem ocasionar o surgimento de processos erosivos.

## CONCLUSÃO

As praias da enseada do Itapocorói apresentaram características morfológicas e dinâmicas distintas, variando de um ambiente dissipativo de baixa energia no sul (praia Alegre) passando a um ambiente refletivo semi-exposto (Piçarras sul) e refletivo exposto (Piçarras norte).

Apraia Alegre não demonstrou variações significativas no volume e largura do perfil transversal ao longo do período monitorado, com uma média de 40-60m<sup>3</sup>/m, e 40m, respectivamente. Por estar confinada na porção sul da enseada, protegida da ondulação incidente pelo promontório da Ponta da Penha, e ser limitada ao norte pelo guia-correntes do rio Piçarras, e ao sul pelo guia-correntes do rio Iriri, a praia Alegre não apresenta problemas de erosão, e não se evidencia transporte sedimentar longitudinal.

Ao norte do rio Piçarras, os problemas erosivos são bem evidentes, principalmente na região identificada como zona de erosão acentuada (ZEA), que corresponde a cerca de 500 metros de extensão (entre os perfis P03 e P08). Nesta porção da enseada, os perfis transversais apresentaram alta variabilidade de volume e largura (entre 20 a 30%), diminuindo de sul para norte, na medida em que a largura e volume dos perfis aumentam.

Devido à alta declividade do perfil praiar na região da ZEA (entre 5° e 7°), associada à profundidade de fechamento da porção sul da enseada (entre 2 e 3 metros), e aos efeitos das constantes ressacas que atingem a orla, grandes quantidades de sedimento da porção aérea do perfil estão sujeitos à remobilização e

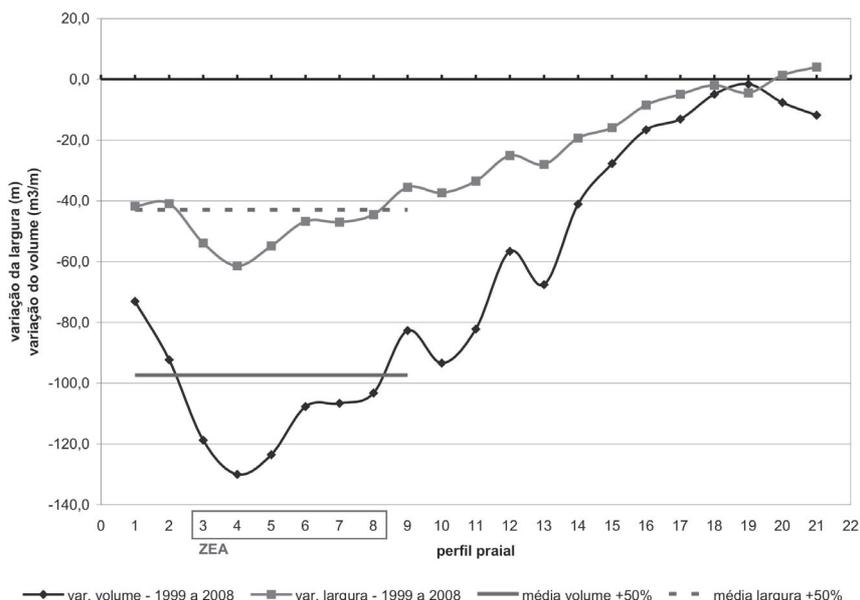


Figura 11. Variações de volume (m<sup>3</sup>/m) e largura (m) da região do aterro hidráulico, calculados a partir de dados de perfis transversais coletados após a conclusão da obra (1999) e durante o monitoramento conduzido por este estudo (2007/2008). A região destacada corresponde à zona de erosão acentuada (ZEA), e equivale a perdas sedimentares (m<sup>3</sup>/m) 50% acima da média geral do aterro.

transporte em direção à plataforma adjacente, não retornando na sua totalidade para recompor o perfil praiial, o que contribui para o aumento do processo erosivo.

As taxas de perda do volume sedimentar caracterizaram a evolução da obra de alimentação praiial nos últimos nove anos, mostrando que o aterro já perdeu cerca de 50% do seu volume sub-aéreo, sendo que na região da ZEA, 95% do volume depositado em 1999 foi removido. Os dados dos perfis transversais também demonstraram que não houve um transporte longitudinal significativo em direção ao norte, o que reforça a idéia de que o transporte sedimentar transversal para fora da costa seja importante no processo erosivo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, R.S. 2008. Morfologia do Perfil Praial, Sedimentologia e Evolução Histórica da Linha de Costa das Praias da Enseada do Itapocorói – SC. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), Itajaí, SC, 145p.
- ARAUJO, R. S. ; KLEIN, A. H. F. ; FREITAS, D. ; POLETTE, M. ; PINTO, F. T. . 2009. Histórico erosivo, morfologia do perfil praiial e evolução da linha de costa das praias da enseada do Itapocorói, Santa Catarina (Brasil). In: Josep Mas-Pla; gian Maria Zuppi. (Org.). Gestión ambiental de áreas costeras (Gestão ambiental integrada das áreas costeiras). 1 ed. Barcelona: Rubes Editorial, 2009, v. , p. 113-141.
- BENEDET, L.; FINKL, C.W.; HARTOG, W.M. 2007. Processes Controlling Development of Erosional Hot Spots on a Beach Nourishment Project. *Journal of Coastal Research*, v.23, n.1, p. 33-48.
- BORGES, A.C. 1977. Topografia Aplicada à Engenharia Civil. São Paulo: Edgard Blucher, v.1.
- BRIDGES, M.H. 1995. Analysis of the Processes Creating Erosional Hot Spots in Beach Nourishment Projects. Coastal & Oceanographic Engineering Program. University of Florida, Gainesville, FL. 135p.
- CARUSO JR., F. 1995. Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Sudeste de Santa Catarina. Brasília: DNPM. 1 mapa. Escala 1:50.000.
- DEAN, R.G.; LIOTTA, R.; SIMÓN, G. 1999. Erosional Hot Spots. Coastal & Oceanographic Engineering Program. University of Florida, Gainesville, FL. 60p.
- HOEFEL, F.G. 1998. Diagnóstico da Erosão Costeira na Praia de Piçarras, Santa Catarina. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ. 86p.
- KLEIN, A.H.F.; MENEZES, J.T. 2001. Beach Morphodynamics and Profile Sequence for a Headland Bay Coast. *Journal of Coastal Research*, v.17, n.4, p. 812-835.
- KLEIN, A.H.F. 2004. Morphodynamics of Headland Bay Beaches. 2004. Tese (Doutorado) – Universidade do Algarve, Faro, Portugal. 450p.
- KLEIN, A. H. F. ; ARAUJO, R. S. ; POLETTE, M. ; SPERB, R. M. ; FREITAS, D. ; SPROVIERI, F. C. ; PINTO, F. T. 2009. Ameliorative strategies at Balneário Piçarras Beach - Brazil. In: A.T. Williams; A. Micallef. (Org.). Beach Management Guidelines: Principles and Practice. London: Earthscan Publisher, 2009, v. , p. 241-255.
- KRAUS, N.C.; GALGANO, F.A. 2001. Beach Erosional Hot Spots: Types, Causes and Solutions. Coastal and Hydraulics Engineering Technical Note (CHETN-II-44). U.S. Army Engineering Research and Development Center. Vicksburg: [s.n.].
- LESSA, G.C.; ANGULO, R.J.; GIANNINI, P.C.; ARAÚJO, A.D. 2000. Stratigraphy and Holocene Evolution of a Regressive Barrier in South Brazil. *Marine Geology*, v.165, p. 87-108.
- SHORT, A. 1999. Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics. New York: John Wiley e Sons.
- USACE. 1995. Beach Morphology Analysis Package (BMAP). Coastal Engineering Technical Notes (CETN II-34), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Coastal and Hydraulics Laboratory. Vicksburg: [s.n.].
- VAN DEN HEUVEL, S.; HOEKSTRA, R.; DE ZEEUW, R.; ZOON, A. 2008. Case study Piçarras Beach: erosion and nourishment of a headland bay beach. Final report, MSc Project CT4061, Hydraulic Engineering. Projectgroup CF81, TUDelft, The Netherlands. 235p.

Submetido: Outubro/2008  
Revisado: Novembro/2008  
Aceito: Novembro/2008