

6 Histórico erosivo, morfologia do perfil praial e evolução da linha de costa das praias da enseada do Itapocorói. Santa Catarina (Brasil)

Erosional history, beach morphology and coastline evolution along the Itapocorói bay. Santa Catarina (Brazil)

R.S. ARAUJO,^{1,2} A.H.F. KLEIN,¹ D. FREITAS,¹ M. POLETTE,¹ F.T. PINTO²

¹ Universidade do Vale do Itajaí, Centro de Ciências da Tecnológicas da Terra e do Mar, Itajaí

² Universidade do Porto, Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos, Porto

Resumo: Este trabalho apresenta o histórico erosivo e a morfologia do perfil transversal das praias da Enseada do Itapocorói, Santa Catarina (Brasil), e faz uma análise da variação da posição da linha de costa nas últimas décadas (1938-2005). Para tanto, foram utilizados dados de perfis topográficos coletados antes (1998) e após (1999) às obras de recomposição da faixa de areia realizadas nas praias Alegre e Piçarras. Os resultados foram comparados com o monitoramento topográfico mensal estabelecido por este estudo. A variação da posição da linha de costa foi obtida através da análise de ortofotografias aéreas das décadas de 1930, 1950, 1970, 1990 e 2000, disponibilizadas em meio digital. O método de análise da variação da linha de costa se mostrou satisfatório, e foi validado pela comparação com as taxas obtidas através dos perfis praias transversais. Os resultados evidenciam que as praias apresentam distintas características morfológicas e sedimentares de acordo com o grau de exposição à energia de ondas incidente. Com relação ao aterro hidráulico, passados nove anos da conclusão da obra, 50% do volume médio depositado foi erodido. Verificou-se ainda o desenvolvimento de uma zona de erosão acentuada (ZEA) nas proximidades da desembocadura, com taxas de perda sedimentar na ordem de 90%. A análise das fotografias aéreas indicou que a partir da década de 70, com a estabilização da desembocadura do rio Piçarras a retração da linha de costa foi intensificada, especialmente na porção adjacente ao rio Piçarras, onde hoje se encontra a ZEA.

Palavras chave: Enseada do Itapocorói. Morfologia. Linha de costa. Zonas de erosão acentuada (ZEA).

Abstract: This work describes the erosional history, morphologic evolution and shoreline changes of the Itapocorói Bay, Santa Catarina (Brazil), through the comparison of beach profile data taken before (1998) and after (1999) the nourishment projects at Alegre and Piçarras beaches. Aerial photography analysis from different years (decades of 1930, 1950, 1970, 1990 and 2000) were also used. The shoreline analysis methodology was considered satisfactory, because the shoreline change rates obtained by the aerial photographs were validated with the beach profile data. The results show that the beaches have distinct morphologic and sedimentological behavior due to the increase in the wave energy exposition of the shore. 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 90%. The aerial photography analysis indicated that after the river stabilization and construction of the two jetties at the Piçarras river inlet (70's), the shoreline presented an increase in the retraction rates, where the hot spot is found today.

Key words: Itapocorói Bay. Beach morphology. Coastline change. Erosional hot spot.

ARAUJO R.S., KLEIN A.H.F., FREITAS D., POLETTE M., PINTO F.T.: Histórico erosivo, morfologia do perfil praial e evolução da linha de costa das praias da enseada do Itapocorói. Santa Catarina (Brasil). En: MAS-PLA J., ZUPPI G.M. (eds.): *Gestión ambiental integrada de áreas costeras – Gestão ambiental integrada dos áreas costeiras*. Barcelona, Rubes Editorial, 2009: 113-141.

6.1. Introdução

As praias, em geral, são ambientes altamente dinâmicos e em constante alteração morfológica resultante de variações no regime energético incidente (clima de ondas), na variação do nível d'água (relacionados à eventos de tempestade), e desequilíbrios no suprimento sedimentar local (Short, 1999; Klein, 2004). Um exemplo da interação destes processos modificadores pode ser observado nas praias da Enseada do Itapocorói, no litoral centro-norte do Estado de Santa Catarina, Brasil. Ao longo das últimas décadas, esta região vem apresentando sucessivos problemas decorrentes da erosão costeira, sobretudo na região sul da enseada, onde também se verificam as maiores taxas de desenvolvimento urbano.

Vários estudos foram realizados na medida em que o processo erosivo foi se intensificando, da mesma forma que algumas ações paliativas foram executadas, como a construção de muros de contenção, gabiões e espigões ao longo da orla, para tentar conter o transporte sedimentar longitudinal. Porém nenhuma intervenção conseguiu barrar o avanço da erosão (Reid *et al.*, 2005; Araujo, 2008; Klein *et al.*, 2009).

Em meados da década de 1990 a situação tornou-se crítica, a ponto de a região próxima à desembocadura do rio Piçarras apresentar praticamente toda a sua porção emersa de praia erodida ao longo de 2 km, o que motivou o governo municipal e a iniciativa privada, a propor e executar nos anos de 1998/1999 uma obra de recomposição da faixa de areia (Hoefel, 1998). Tal obra serviu para restabelecer a linha de costa existente anteriormente ao início do processo erosivo, porém não conseguiu interromper o mesmo. Atualmente se verifica uma forte erosão localizada nas adjacências da desembocadura do rio Piçarras, o que indica que a região continua instável do ponto de vista da dinâmica sedimentar (Araujo, 2008; Klein *et al.*, 2009).

O presente trabalho reúne os dados obtidos acerca do estudo conduzido nas praias da enseada do Itapocorói, Santa Catarina (Brasil), com ênfase na caracterização do processo erosivo observado ao longo das últimas décadas, na variação da morfologia praial e na variação histórica da linha de costa.

6.2. 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 (Dezembro a Fevereiro). Com cerca de 8 km de extensão, encontra-se delimitada ao norte pelo promontório de Itajuba, e ao sul pela foz do rio Piçarras. Ao sul da desembocadura encontra-se a praia Alegre, pertencente ao município de Penha, com cerca 1 km de extensão e que, juntamente com a praia de Piçarras, compreende a enseada do Itapocorói (fig. 6.1).

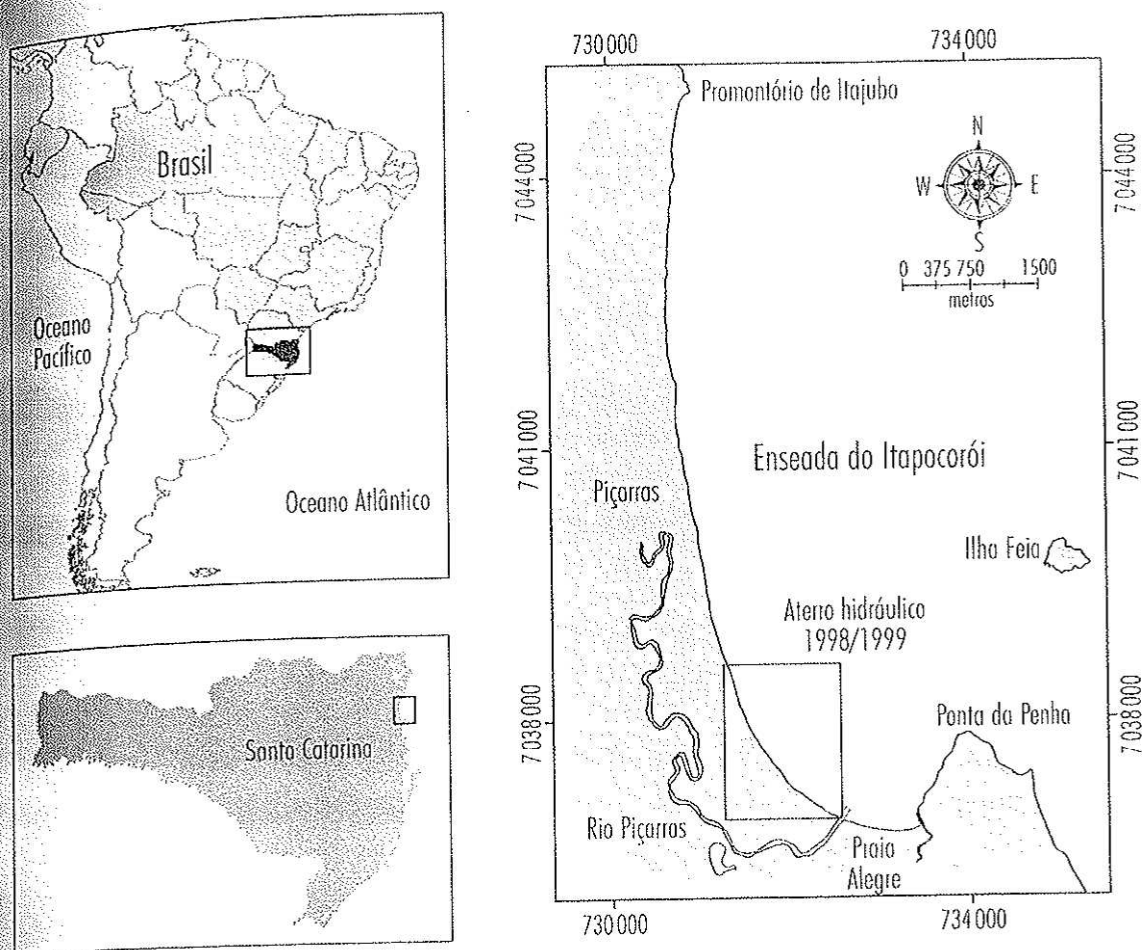


Figura 6.1: Localização geográfica da enseada do Itapocorói, Santa Catarina (Brasil). A área em destaque representa a região de execução do projeto de recomposição da faixa de areia em 1998/1999. Projeção UTM Datum SAD-69.

O segmento setentrional da enseada apresenta-se quase retilíneo, e a porção meridional assume uma conformação recurvada e protegida da ondulação proveniente dos quadrantes sul e sudeste. A ausência aparente de bancos submersos, e a granulometria relativamente grossa do sedimento (em torno de 0,3 mm) proporcionam a quebra das ondas muito próximas da costa, com arrebentação classificada como mergulhante (Hoefel, 1998).

O ambiente praial ao longo da enseada apresenta uma notável variação de volume e largura sub-aéreos. A partir da desembocadura em direção ao norte, a morfologia da praia é bastante variável devido à maior exposição ao regime energético incidente, enquanto que a porção sul, mais abrigada (praia Alegre), apresenta uma maior largura e menor mobilidade do perfil praial (Klein e Menezes, 2001; Araujo, 2008; Araujo *et al.*, 2009; Klein *et al.*, 2009). O estágio morfodinâmico da praia de Piçarras foi definido como refletivo, com grau de exposição às ondulações provenientes dos quadrantes S e SE variando de semi-exposta na porção junto à foz do rio, a exposta nas porções central e norte (Klein e Menezes, 2001). A praia Alegre apresenta uma bai-

xa dinâmica e assume características de ambiente dissipativo segundo o modelo proposto por Klein e Menezes (2001).

A região está inserida num ambiente de micromaré (< 2 m) com predominância semi-diurna (Carvalho *et al.*, 1996; Truccolo, 1998). Segundo os autores, a amplitude média é de 0,8 m, com mínimas de 0,3 m durante os períodos de quadratura e 1,2 m durante os períodos de sizígia. Medições não direcionais do clima de ondas realizadas na enseada do Itapocorói na década de oitenta, com um sensor de pressão fundeado a 10 m de profundidade, indicaram alturas de onda junto à costa entre 1 m a 1,5 m, com períodos de 7 s a 8 s, respectivamente (JICA, 1990). Observações visuais também mostraram um aumento progressivo da altura de onda em direção ao norte da enseada devido à maior exposição da linha de costa ao ataque das ondas provenientes dos quadrantes sul e sudeste (JICA, 1990; Klein e Menezes, 2001; Araujo, 2008; Araujo *et al.*, *in press*).

6.3. Histórico erosivo

Até meados da década de 70, a desembocadura do rio Piçarras encontrava-se livre, com a presença de um delta de maré vazante bem desenvolvido e uma laguna com cerca de 350 m de comprimento, paralela à linha de costa (fig. 6.2).

Na medida em que a cidade foi crescendo devido ao incremento das atividades da indústria do turismo, e com novas obras de infra-estrutura como a construção da avenida beira mar, o número de edificações próximas da orla aumentou consideravelmente, e a canalização de esgotos domésticos e de águas pluviais em direção à praia começaram a influenciar de forma visível no desenvolvimento do processo erosivo, principalmente após eventos de tempestade ou períodos chuvosos (INPH, 1986).

Em 1974, devido à instabilidade da foz e a tendência de um padrão migratório em direção ao norte, o que vinha causando constantes inundações às regiões adjacentes, foi realizada a retificação do canal e fixação da barra mediante a construção de dois guia-correntes com cerca de 15 m de extensão, sendo a laguna posteriormente aterrada (Hoefel, 1998).

No ano de 1983, foi registrado o evento El Niño mais intenso do século xx na região, que ocasionou grandes cheias em toda a região sul do país, e uma forte ressaca que alagou completamente a avenida beira mar, causando vários danos estruturais ao longo da orla. Após este evento, foi construído um muro de contenção na região do pós-praia, estendendo-se verticalmente da cota +2,0 m até -1,0 m segundo o nível zero de referência do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (INPH, 1984).

Em 1984 e 1985 novamente ocorrem fortes ressacas que deixam alguns trechos da orla com ausência total de praia emersa, o que leva o poder público à reconstruir o muro de contenção em frente às casas atingidas e à contratação dos serviços do Ins-

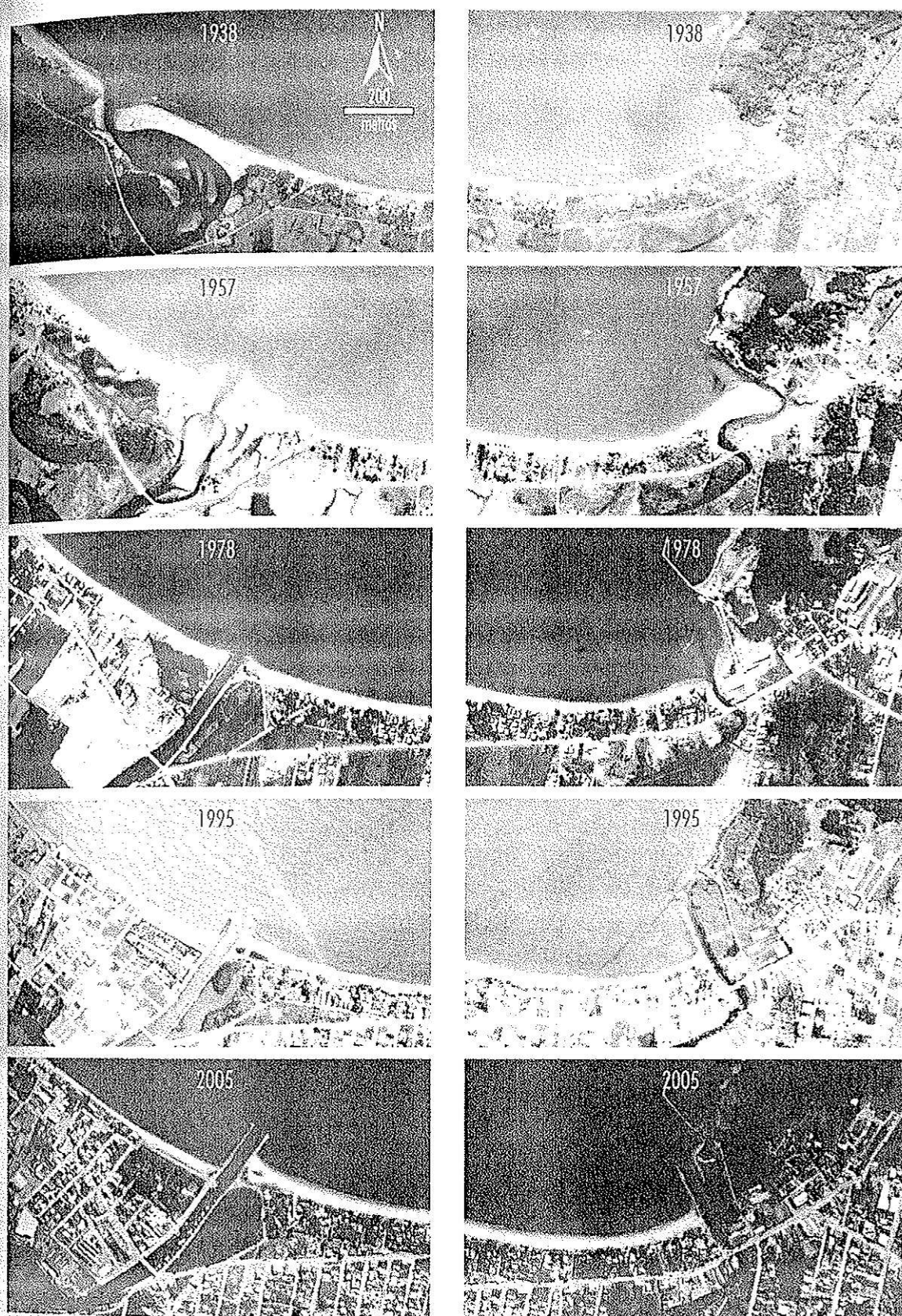


Figura 6.2: Evolução histórica da desembocadura dos rios Piçarras e Iriri a partir da década de 1930, evidenciando a instabilidade desta quanto à posição. A partir da década de 1970 houve a fixação da barra e intenso desenvolvimento urbanístico, o que acelerou o processo erosivo observado na enseada. Coluna da esquerda: rio Piçarras; coluna da direita: rio Iriri.

tituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH) para elaboração de um projeto de contenção do processo erosivo. Em 1986 é apresentado o relatório referente ao projeto, no qual é proposta a construção de 5 gabiões posicionados a cada 100 metros, a partir do início da avenida beira mar (INPH, 1986). Devido à atrasos orçamentários, a obra foi realizada somente em meados do ano de 1989.

Nos anos de 1990 e 1991, foi apresentado o relatório final do projeto *Feasibility Study on the Flood Control Project in the Lower Itajaí River Basin, Japan International Cooperation Agency* (JICA, 1990), o qual apresentou inúmeros dados topobatimétricos e hidrográficos coletados na enseada do Itapocorói, e o estabelecimento de um convênio entre o governo do estado e o INPH para realização de novos estudos prevendo a recuperação da praia.

Em 1997 foi emitido pela Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), um parecer técnico sobre as potencialidades da enseada do Itapocorói e adjacências como áreas fonte de sedimento para as obras de recuperação da praia (Hoefel e Klein, 1997). O trabalho considerou a jazida proposta (em frente à praia Alegre) inapropriada como fonte sedimentar para a praia de Piçarras, e que a utilização poderia acarretar desequilíbrio morfológico pela alta concentração de sedimentos finos. No mesmo ano, a prefeitura municipal conseguiu aprovar um projeto junto ao Ministério do Meio Ambiente para exploração da jazida desqualificada pelo parecer técnico, porém considerada apta pela empresa responsável pelo estudo de impacto ambiental (EIA-RIMA).

Em 1998 a situação da região sul da enseada encontrava-se crítica, com grandes prejuízos visivelmente ocasionados pela ação direta das ondas sobre a avenida beira mar e construções, bem como a drástica diminuição do fluxo turístico em decorrência da diminuição da beleza cênica local (Hoefel, 1998) (fig. 6.3).

Todos estes fatos levaram a prefeitura local a firmar uma parceria público-privada para realização das obras necessárias à proteção da faixa de areia ao longo da região atingi-



Figura 6.3: Vista da porção sul da enseada, mostrando a deficiência sedimentar causada pelo processo erosivo. (Fonte: Antonio Klein.)

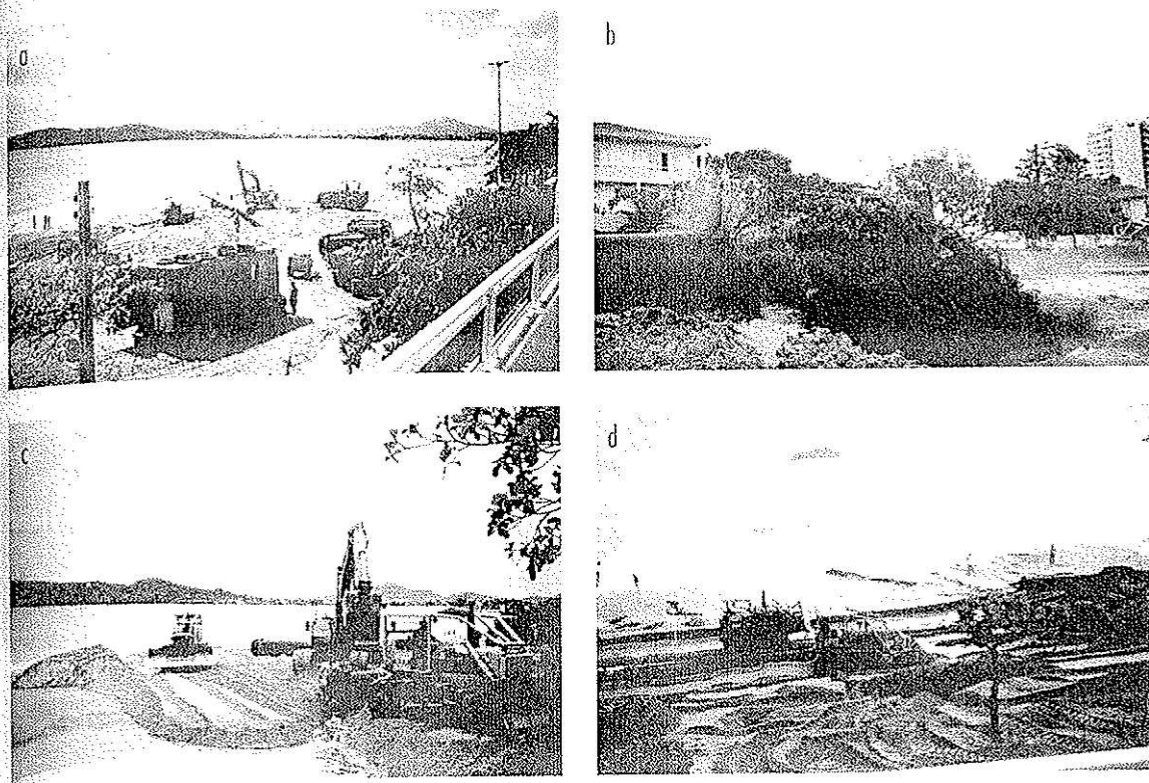


Figura 6.4: Deposição do sedimento dragado na região intermarés durante as obras de recomposição da faixa de areia na praia de Piçarras. (a) e (b) O sedimento é bombeado e despejado na praia através de tubulações flutuantes a partir da barcaça (navio draga); (c) e (d) processo de espalhamento mecânico da areia para construção da plataforma emersa. (Fonte: Antonio H.F. Klein.)

da. A população foi chamada à debate para conscientização dos benefícios diretos e indiretos decorrentes das obras, e foi proposta uma contribuição financeira na forma de taxas, que serviriam para custear metade do montante necessário, ficando o restante à cargo do poder público local e Governo Estadual. Segundo os estudos, a população se mostrou consciente do problema e dos benefícios que o projeto traria para a região, e se mostrou favorável à execução do projeto, mas contrária à contribuição financeira (Reid *et al.*, 2005). O problema foi resolvido através de decisão judicial e a população arcou com metade dos custos, conforme o projeto inicial proposto pelo poder público. O custo total da obra foi de US\$ 3,2 milhões de dólares, sendo o valor pago pelos moradores calculado de acordo com a área do terreno e a distância da praia. Proprietários de imóveis localizados mais próximos da costa pagaram uma porcentagem maior se comparados com imóveis mais interiorizados (Klein *et al.*, 2009).

Foi então realizada, no ano de 1999, a recuperação da faixa de areia com a reposição de 880 000 m³ de sedimento em 2,1 km de segmento praial (419 m³/m). O material foi retirado de uma jazida marinha localizada próxima à costa (15 km), a uma profundidade de 20 m, transportado até a praia por tubulações flutuantes e depois espalhado para atingir a configuração do perfil de desenho do projeto (Araujo, 2008; Araujo *et al.*, *in press*) (fig. 6.4). A busca por uma jazida diferente daquela original-

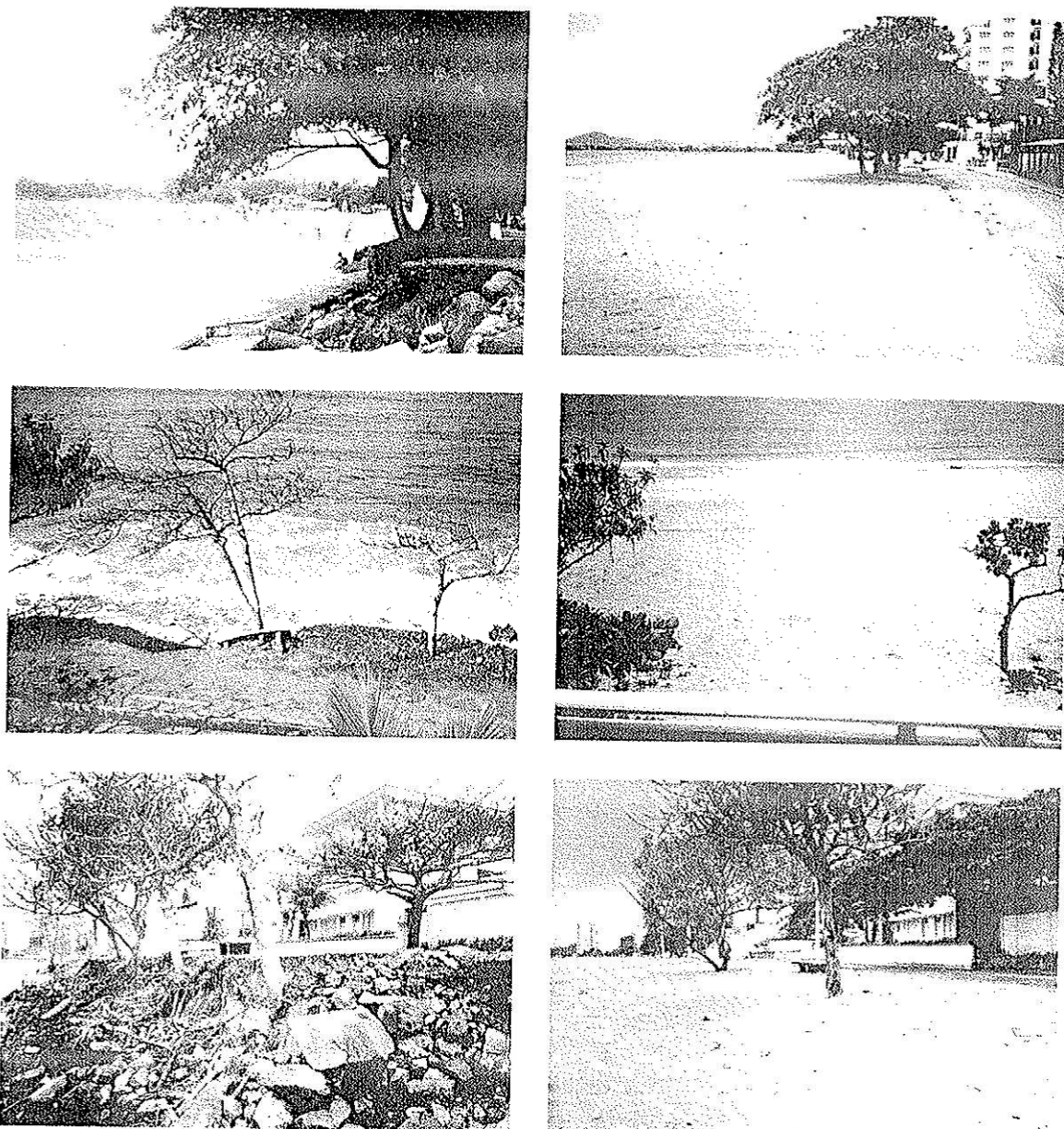


Figura 6.5: Vista da praia de Piçarras, antes e depois do término das obras de recomposição. Detalhe para a nova faixa arenosa com cerca de 40 a 50 metros de largura média. (Fonte: Antonio Klein.)

mente prevista no projeto se fez necessária, pela incompatibilidade desta para realização das obras, conforme apresentou o parecer técnico Hoefel e Klein (1997).

Na praia Alegre também foi realizado um aterro hidráulico no ano de 1999. A obra foi executada por uma draga da Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina (CIDASC) segundo especificações do Departamento de Edificações e Obras Hidráulicas (DEOH) do governo do estado, através do bombeamento e deposição de 70 000 m³ de sedimento (70 m³/m) retirado da jazida em frente à praia, na porção abrigada da enseada do Itapocorói. A jazida utilizada foi a mesma

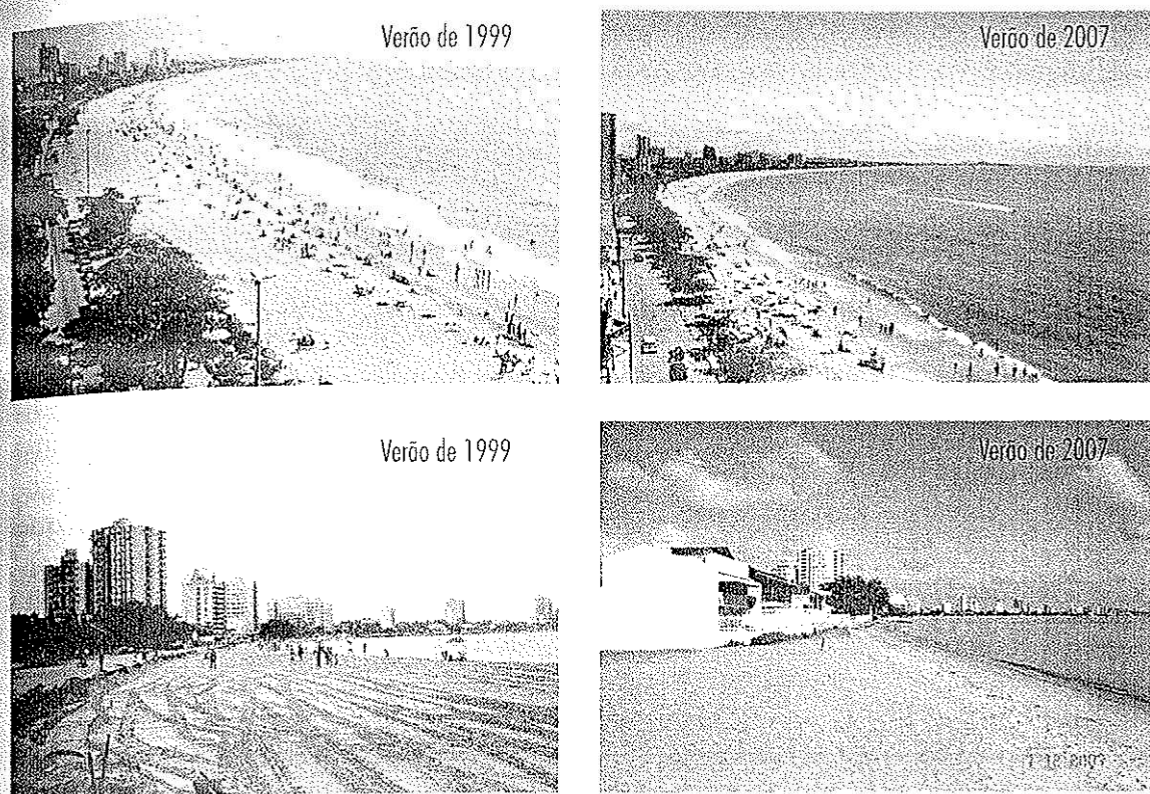


Figura 6.6: Configuração da praia de Piçarras logo após a conclusão das obras (verão de 1999) e atualmente (verão de 2007), evidenciando a continuidade do processo erosivo. Detalhe para a região sul da enseada junto ao foco erosivo, onde as taxas de erosão são mais acentuadas. (Fonte: CTTMar – UNIVALI.)

avaliada pelo parecer técnico de 1997, devido à natureza abrigada do local e das características sedimentares da praia (areia fina) (Araujo, 2008).

Após a realização das obras em Piçarras (fig. 6.5) constatou-se os inúmeros benefícios previstos para a região, como o incremento do fluxo turístico em cerca de 23%, aumento significativo do valor dos imóveis, principalmente daqueles próximos à orla, melhoria das condições sócio-econômicas em função da maior carga de investimentos, e conseqüentemente um aumento na oferta de empregos nos meses de maior aporte turístico (Reid et al., 2005).

Passados nove anos da realização das obras, a praia de Piçarras já apresenta diminuição do volume sedimentar, problemas estes que evidenciam a continuidade do processo erosivo (fig. 6.6). Isto se deve em parte, pelo fato de que nenhum plano de manutenção do aterro foi elaborado, apesar de a empresa garantir a vida útil da obra por apenas cinco anos. Em função disto, no ano de 2008 a prefeitura municipal de Piçarras iniciou processo licitatório para execução de um novo projeto de recomposição e manutenção do estoque sedimentar na faixa de areia, a fim de restabelecer a largura idealizada no ano de 1999, utilizando a mesma jazida desqualificada anteriormente pelo parecer técnico Hoefel e Klein (1997).

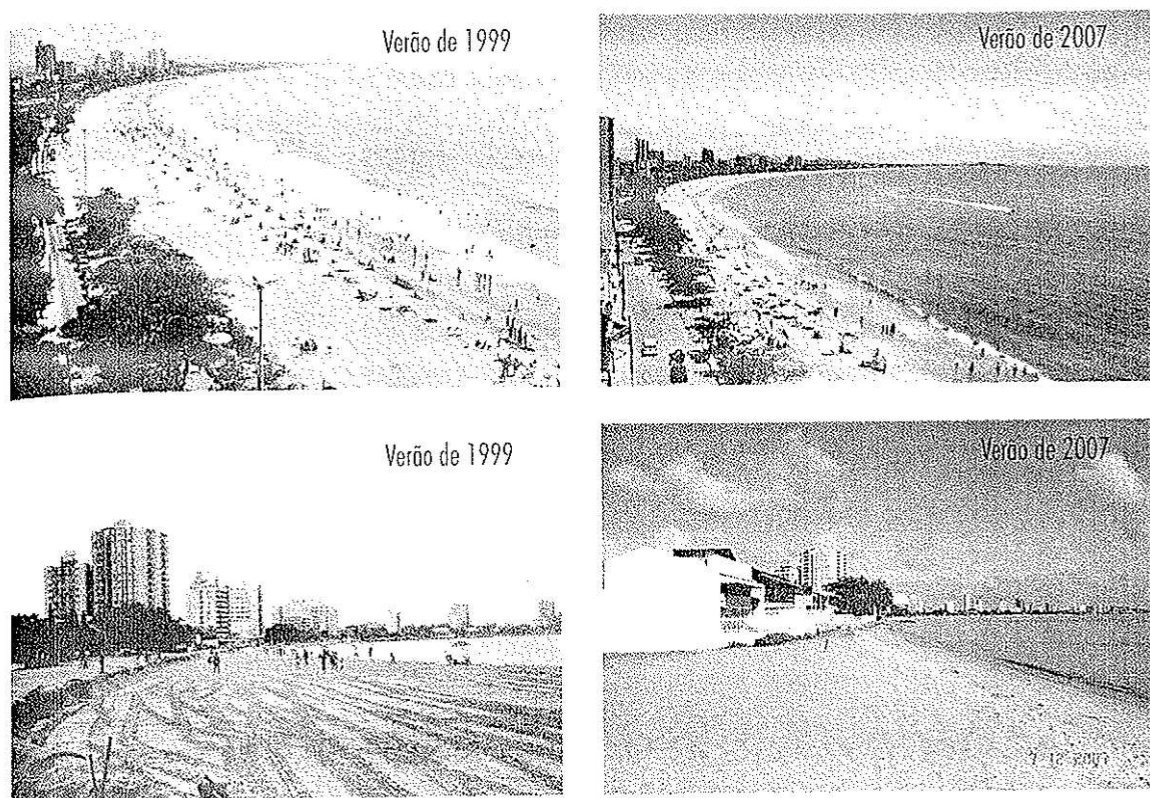


Figura 6.6: Configuração da praia de Piçarras logo após a conclusão das obras (verão de 1999) e atualmente (verão de 2007), evidenciando a continuidade do processo erosivo. Detalhe para a região sul da enseada junto ao foco erosivo, onde as taxas de erosão são mais acentuadas. (Fonte: CTTMar – UNIVALL.)

avaliada pelo parecer técnico de 1997, devido à natureza abrigada do local e das características sedimentares da praia (areia fina) (Araujo, 2008).

Após a realização das obras em Piçarras (fig. 6.5) constatou-se os inúmeros benefícios previstos para a região, como o incremento do fluxo turístico em cerca de 23%, aumento significativo do valor dos imóveis, principalmente daqueles próximos à orla, melhoria das condições sócio-econômicas em função da maior carga de investimentos, e conseqüentemente um aumento na oferta de empregos nos meses de maior aporte turístico (Reid et al., 2005).

Passados nove anos da realização das obras, a praia de Piçarras já apresenta diminuição do volume sedimentar, problemas estes que evidenciam a continuidade do processo erosivo (fig. 6.6). Isto se deve em parte, pelo fato de que nenhum plano de manutenção do aterro foi elaborado, apesar de a empresa garantir a vida útil da obra por apenas cinco anos. Em função disto, no ano de 2008 a prefeitura municipal de Piçarras iniciou processo licitatório para execução de um novo projeto de recomposição e manutenção do estoque sedimentar na faixa de areia, a fim de restabelecer a largura idealizada no ano de 1999, utilizando a mesma jazida desqualificada anteriormente pelo parecer técnico Hoefel e Klein (1997).

6.4. Evolução do aterro hidráulico e a Zona de Erosão Acentuada (ZEA)

Dentre os principais efeitos das variações morfodinâmicas, ocasionadas por processos naturais ou induzidas pelo homem, estão a retração da linha de costa e a perda de volume sedimentar, caracterizados pelo comportamento erosivo da costa em médio e longo prazo. Este processo erosivo reflete uma reação natural do sistema às mudanças geradas pela alteração na dinâmica energética local, como a variação no clima de ondas e balanço sedimentar.

A erosão costeira inclui uma ampla gama de processos que interagem a diferentes escalas temporais e espaciais. Processos rápidos, agindo no intervalo de segundos geralmente envolvem o movimento de pequenas partículas sedimentares, enquanto que lentas variações da linha de costa, ao longo de anos ou décadas afetam extensas porções costeiras, cobrindo dezenas ou centenas de quilômetros (Larson e Kraus, 1995).

Considerada na escala instantânea, a erosão diz respeito aos processos hidrodinâmicos, isto é, que ocorrem no intervalo de segundos, minutos ou horas e são causados primariamente por ondas e correntes, e em menor frequência, por ventos. Estes processos usualmente afetam porções costeiras restritas, variando de metros a dezenas de metros. Causas da rápida erosão relacionada nesta escala são atribuídas a grandes alturas de ondas e fortes correntes litorâneas associadas a eventos de tempestade. Outros fatores como variações na pressão atmosférica, que influenciam na sobrelevação do nível do mar, ou a ação sinérgica das marés, podem influenciar no surgimento localizado de focos erosivos (Sherman *et al.*, 1994). Eventos erosivos de curta escala são aqueles associados a mudanças ocorridas no período de dias a meses, onde mudanças morfológicas podem ser claramente visualizadas em uma praia arenosa, por exemplo. Estas mudanças afetam regiões costeiras não muito extensas, variando de metros a quilômetros. Este tipo de erosão pode ser associada a eventos de tempestades de longa duração, incidência de grandes ondulações na costa (*swells*), fortes correntes litorâneas persistentes, ou a ação concomitante de estruturas de engenharia costeira, que podem concentrar ou dispersar a ação de ondas de tempestade e consequentemente processos erosivos em determinados locais concentrados. Um exemplo disso são os quebra-mares e espigões. Assim, o ambiente passa a apresentar características erosivas localizadas, podendo ocorrer o desenvolvimento de zonas de erosão acentuada (ZEA). (Gracia *et al.*, 2005).

Uma zona de erosão acentuada (ZEA) é uma região que experimenta um transporte potencial de sedimentos sem ter um aporte adequado, ou seja, apresenta um desequilíbrio no balanço sedimentar. São regiões que erodem mais rapidamente que áreas adjacentes, ou mais rápido que o esperado em um projeto de recomposição praial. Estas zonas podem ser identificadas e avaliadas quantitativamente e qualitativamente através de diversos parâmetros, como: diminuição da largura praial (taxas de retração da linha de costa), diminuição do volume sedimentar (erosão), a comparação entre as perspectivas de comportamento de taxas de variação de linha de costa de

áreas adjacentes, ou a comparação entre o volume de sedimento restante com o total depositado (no caso de projetos de recomposição praial) (Bridges, 1995). Este último foi o parâmetro utilizado para determinação da zona de erosão acentuada na enseada do Itapocorói (Araujo, 2008).

6.4.1. Metodologia

Para a caracterização morfológica das praias e posterior avaliação do comportamento do aterro hidráulico e identificação de zonas de erosão acentuada (ZEA), foi realizado um monitoramento do perfil praial em 30 locais ao longo da enseada do Itapocorói, sendo 4 localizados na praia Alegre, e mais 26 pontos na praia de Piçarras, a partir da foz do rio Piçarras em direção ao norte (fig. 6.7).

Os levantamentos foram realizados com periodicidade mensal, entre agosto de 2007 a março de 2008, consistindo de medições transversais das cotas topográficas, com auxílio de um teodolito eletrônico e régua graduada. Para fins de análise 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.

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

6.4.2. Resultados

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 figura 6.7 mostra a comparação da forma geral dos perfis médios, referenciados ao nível zero do IBGE. As características morfológicas e hidrodinâmicas observadas ao longo da enseada do Itapocorói podem ser agrupadas de acordo com as semelhanças apresentadas pelos perfis transversais para cada porção da costa, de sul para norte.

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. Observações visuais da altura de onda durante o período de mo-

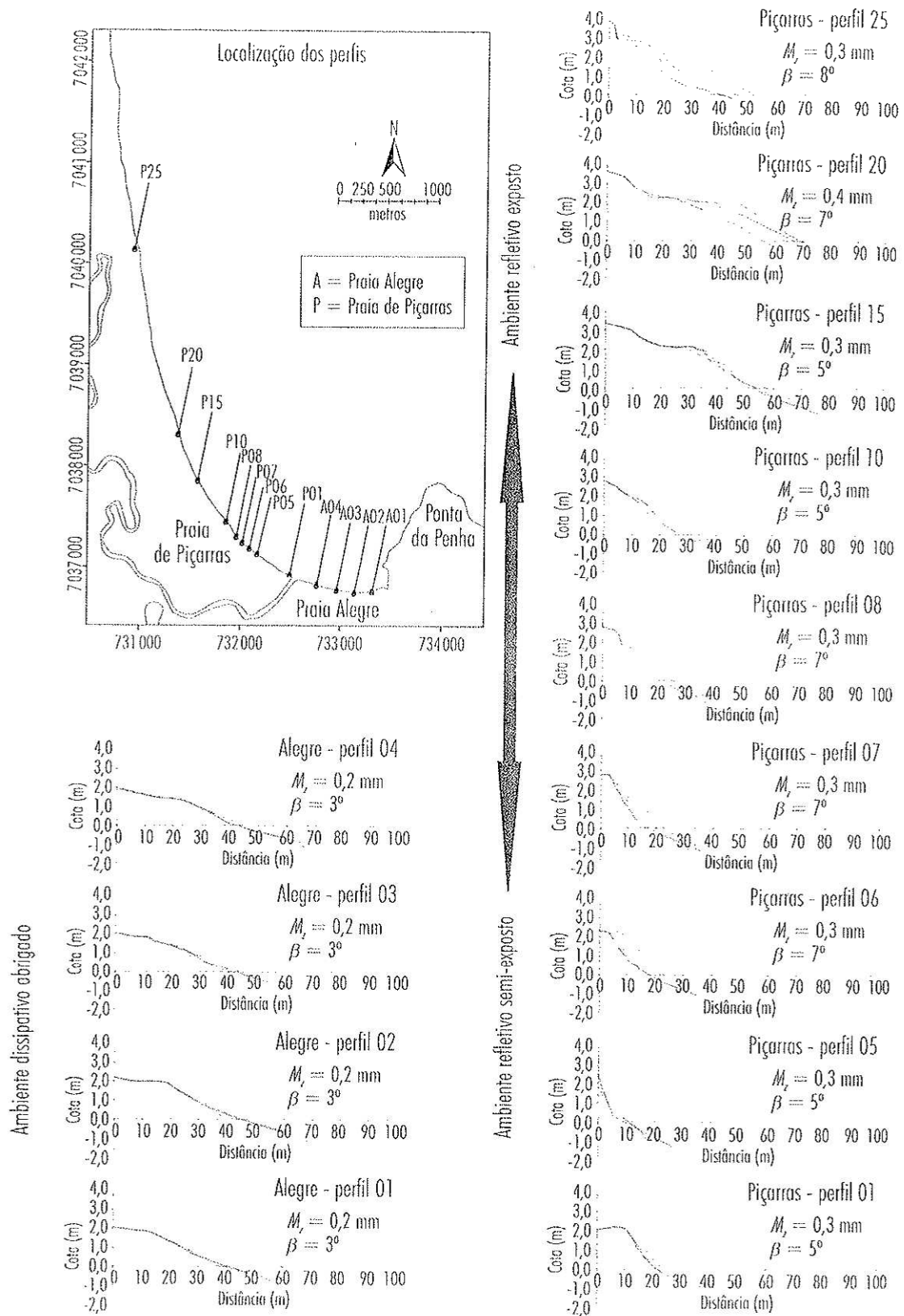


Figura 6.7: Perfis praias mensais obtidos na Enseada do Itapocorói durante os meses de agosto de 2007 a março de 2008. M_z representa o tamanho médio de grão (mm), e β a declividade média do perfil (graus) (Araujo *et al.*, *in press*).

monitoramento indicaram variações entre 10 cm a 20 cm para esta região. O volume médio por perfil, calculado para a área não ultrapassou os $60 \text{ m}^3/\text{m}$, enquanto que a largura do perfil ficou em torno de 40 m.

Já a região localizada 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 50 cm a 1 m. 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.

No estudo do comportamento da evolução do aterro hidráulico, para efeitos de comparação, tanto os valores de largura média e volume médio dos perfis são representativos da porção sub-aérea da praia, referenciados ao nível zero do IBGE. A porção submersa dos perfis não foi considerada nas análises comparativas com os perfis anteriores e posteriores ao aterro, em função da dificuldade de aquisição de dados a profundidades maiores que 1 m com o tipo de equipamento utilizado.

A figura 6.8 traz a relação de alguns perfis transversais de antes e depois da obra em 1998 e 1999, respectivamente, e o perfil médio atual, calculado com base no monitoramento topográfico.

É possível observar que a porção sul da enseada, localizada nas adjacências da desembocadura do rio Piçarras (entre os perfis P01 e P05), apresenta perfis médios atuais com características semelhantes às anteriores da realização do aterro, o que evidencia uma forte perda sedimentar naquela região.

Os dados mostram que a média de variação volumétrica foi de $-7,2 \text{ m}^3/\text{m}/\text{ano}$ para toda a área aterrada (2100 m em direção ao norte a partir da desembocadura). 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 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 profundidades além da profundidade de fechamento na região sul da enseada.

Neste trabalho, 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 quadro 6.1 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 de-

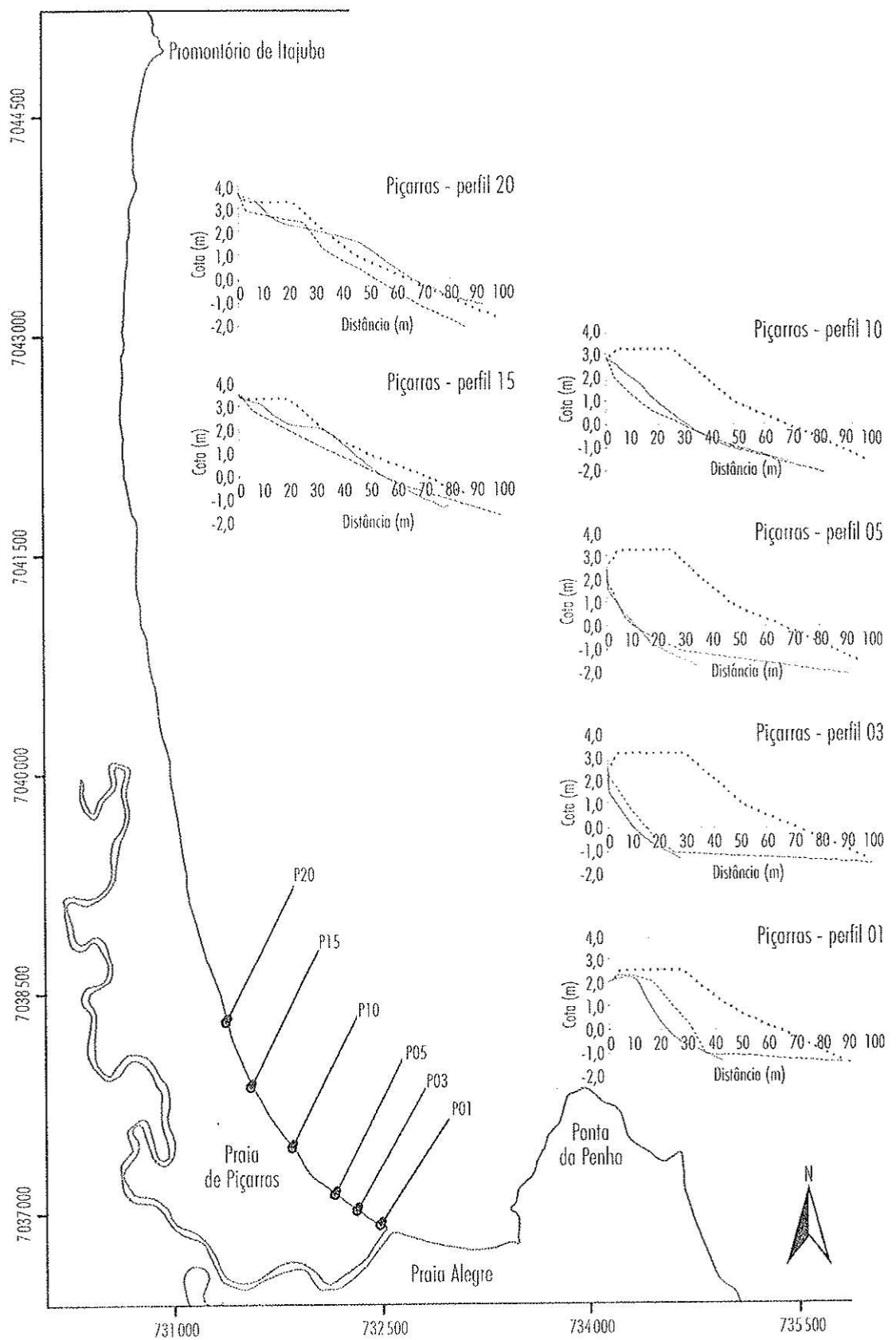


Figura 6.8: Configuração morfológica dos perfis praias antes (linha tracejada) e depois (linha marcada com x) do aterro hidráulico, em comparação com os perfis médios atuais (linha sólida sem marcação). (Araujo *et al.*, *in press*).

Quadro 6.1- Relação dos valores de volume e largura sub-aéreos calculados para a região do aterro hidráulico

Perfil	Volume sub-aéreo (m ³ /m)			Var. volume 1999-2008 (m ³ /m/ano)	Var. total volume 1999-2008 (m ³)	% 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	-13,2	-118,8	-94	14,8	63,8	9,9	-6,0	-53,9	-84,5
P04	6,6	132,2	2,2	-14,4	-130,0	-98	10,0	66,6	5,2	-6,8	-61,4	-92,2
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	-12,0	-107,7	-82	27,1	66,6	19,9	-5,2	-46,7	-70,1
P07	27,5	134,2	27,6	-11,8	-106,6	-79	23,3	66,7	19,7	-5,2	-47,0	-70,5
P08	27,6	136,2	33,0	-11,5	-103,2	-76	27,4	67,0	22,5	-4,9	-44,5	-66,4
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	95,5	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

*Taxas em preto representam a Zona de Erosão Acentuada (ZEA) e correspondem a variações 50% ou mais acima da média geral do aterro.

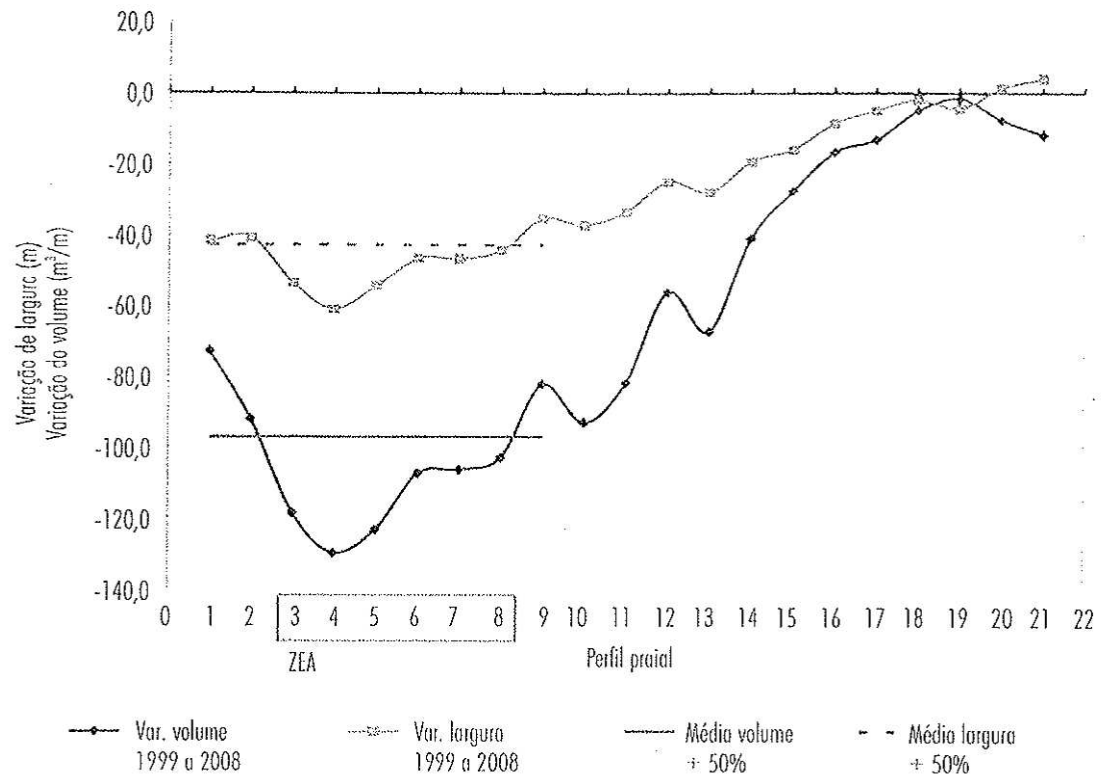


Figura 6.9: Variações de volume (m^3/m) e largura (m) da região do aterro hidráulico, calculados a partir de dados de perfis transversais coletados após a conclusão da obra (1999) e durante o monitoramento conduzido por este estudo (2007/2008). A região destacada (entre os perfis 3 e 8) corresponde à zona de erosão acentuada (ZEA), e equivale a perdas sedimentares (m^3/m) 50% acima da média geral do aterro (Araujo *et al.*, *in press*).

positado 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 mais praia emersa durante os períodos de maré cheia ou 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, assinaladas em vermelho na figura 6.9.

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 variação da largura e volume na mesma proporção (-4% do volume e -3% da largura), enquan-

to que o perfil P19 teve uma redução da largura maior que a perda de volume (-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, próximo da zona de espriamento, diminuindo a declividade média (quadro 6.1).

6.5. Variação histórica da linha de costa

A determinação da posição da linha de costa e seu comportamento migratório ao longo do tempo são de extrema importância para inúmeras atividades, sejam elas de pesquisa, de engenharia e de planejamento (NRC, 1990). Tanto projetos de engenharia quanto planos de gerenciamento costeiro requerem informações a respeito da posição da linha de costa no presente, o seu comportamento no passado e a possibilidade de previsão para o futuro. Exemplos disso são os projetos de proteção da zona costeira (CERC, 2002), estudos sobre variação do nível médio do mar e determinação de zonas de risco (Leatherman, 2001; Freitas, 2008), estudos sobre morfodinâmica, erosão costeira e monitoramento ambiental (Araujo, 2008; Klein *et al.*, 2009) e formulação e regulamentação de leis de gerenciamento costeiro (NRC, 1990). Através da análise da variação da posição da linha de costa pode-se ainda identificar os processos de reorientação da mesma no entorno de estruturas rígidas, determinar os padrões de modificação na largura e volume de praias, assim como quantificar taxas históricas de migração (Komar, 1998; Moore, 2000; Araujo, 2008; Klein *et al.*, 2009).

Em função da dinâmica natural do sistema praial, a definição da posição desta no tempo e no espaço ainda é um desafio para os pesquisadores. Para fins práticos, o uso de indicadores da linha de costa torna-se mais viável, sendo geralmente uma feição usada como aproximação para uma linha de costa «verdadeira». O ideal é aquela facilmente visualizada em campo, em fotografias ou imagens aéreas e em qualquer praia, e deve estar presente em todas as séries temporais caso o trabalho utilize comparações em escala temporal (Boak e Turner, 2005). Algumas feições já foram sugeridas como indicadores, como a linha da vegetação costeira, a base ou a crista da duna frontal, escarpas ou cristas no perfil praial, e a máxima linha d'água atingida durante um ciclo de maré (interface areia seca/molhada). Esta última é o indicador mais frequentemente utilizado, sobretudo porque este limite caracteriza-se por uma mudança nítida de tonalidade na areia da praia, facilmente identificável (Morton e Speed, 1998; Pajak e Leatherman, 2002).

Num estudo realizado sobre definição e detecção da linha de costa, Boak e Turner (2005) expõem uma variedade de fontes possíveis de se extrair indicadores da linha de costa, dentre os quais se destacam: a) sensoriamento remoto (fotografias aéreas e imagens de satélite); e b) levantamento topográfico (perfil praial).

Este trabalho propõe a combinação da análise de fotografias aéreas e imagens de satélite de diferentes anos para caracterização do comportamento migratório da linha de costa em escala decenal, e sugere uma forma de validação dos resultados através da comparação com dados obtidos através monitoramento topográfico (perfis praias).

6.5.1. Metodologia

A metodologia sugerida se baseia em seis passos, envolvendo etapas de *pré-processamento* (aquisição dos dados, georreferenciamento e construção dos mosaicos das séries temporais), *análise da variação da linha de costa* (com ferramenta computacional, envolvendo a extração da LC e cálculo das taxas da variação da posição), e a *validação dos resultados* (através da comparação com dados de monitoramento topográfico) (fig. 6.10).

Para evidenciar o padrão evolutivo da linha de costa (LC) da enseada do Itapocorói, utilizou-se um acervo de fotografias aéreas obtidas de quatro levantamentos aerofotogramétricos (1938, 1957, 1978, 1995). Como forma de incluir o comportamento mi-

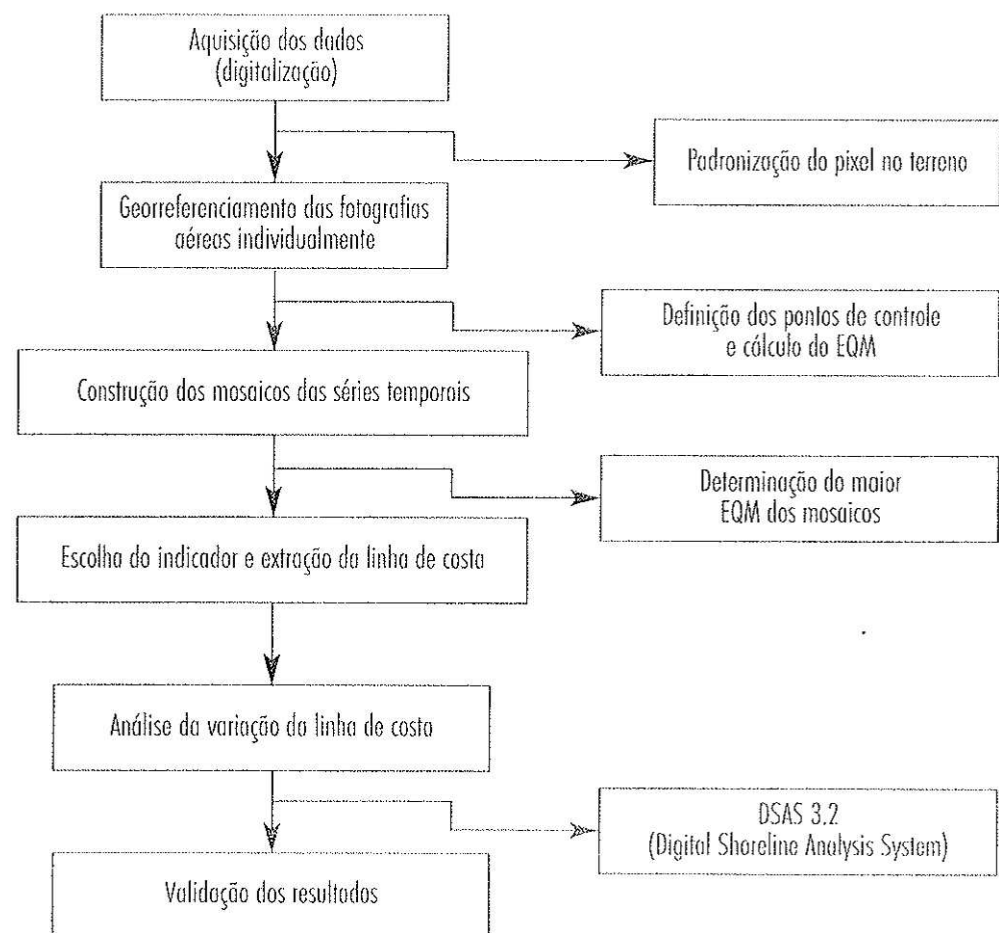


Figura 6.10: Etapas da metodologia empregada para análise da variação da linha de costa.

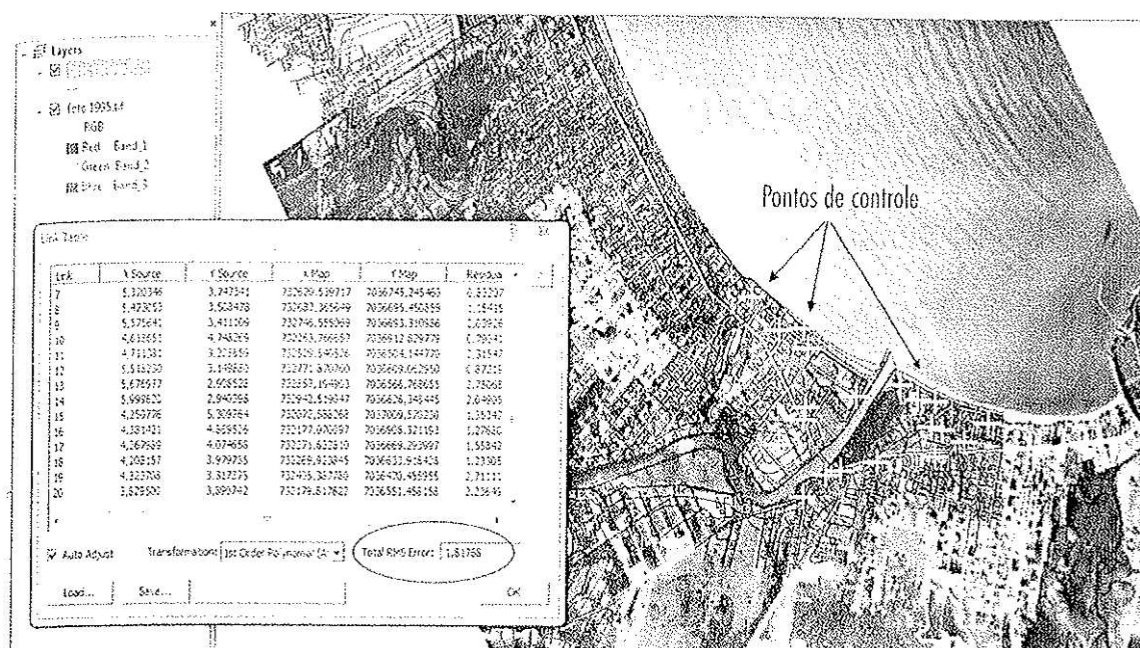


Figura 6.11: Processo de retificação geométrica das imagens aéreas. Foram utilizados 20 pontos de controle sobre uma base cartográfica em escala 1:2000 para cada ortofotografia, distribuídos uniformemente ao longo da área de interesse, que no caso corresponde à área de entorno da desembocadura do rio Piçarras (Araujo *et al.*, 2009).

gratório recente da linha de costa, utilizou-se uma imagem orbital do ano de 2005 obtida pelo sensor *QuickBird* e disponibilizada através do software *Google Earth*® 2008.

O georreferenciamento foi efetuado com a utilização do Sistema de Informação Geográfica *ArcGis*® 9.2. A base cartográfica utilizada para tal, foi disponibilizada pela Secretaria do Patrimônio da União (SPU), em meio digital na escala de 1:2000, e serviu para a fixação dos pontos de controle (PCs), necessários ao processo de correção. Como referência para a demarcação dos PCs, utilizou-se cruzamentos de ruas e avenidas, e obras de engenharia de baixa altura, como casas. (fig. 6.11).

A fim de mensurar imprecisões decorrentes do processo fotogramétrico, como variações na altitude do voo e inclinação da câmera, utilizou-se a metodologia proposta pelo Comitê Norte-Americano de Padronização de Dados Geográficos (FGDC-STD, 1998), que utiliza o Erro Quadrático Médio (EQM) para quantificar o erro atribuído ao processo. Segundo o método, não devem ser consideradas variações totais (m/ano), menores ou iguais ao valor do EQM, pois estes valores podem estar inseridos na amplitude da incerteza.

Dada a complexidade da detecção da LC, associada a certo grau de subjetividade, a extração desta foi efetuada através do indicador mais discernível e constante nas imagens, que foi a máxima linha d'água observada na fotografia pela mudança de reflexão do sedimento; sendo que a areia seca tem maior refletância que a molhada, o gera uma diferença na tonalidade da superfície da praia (fig. 6.12).

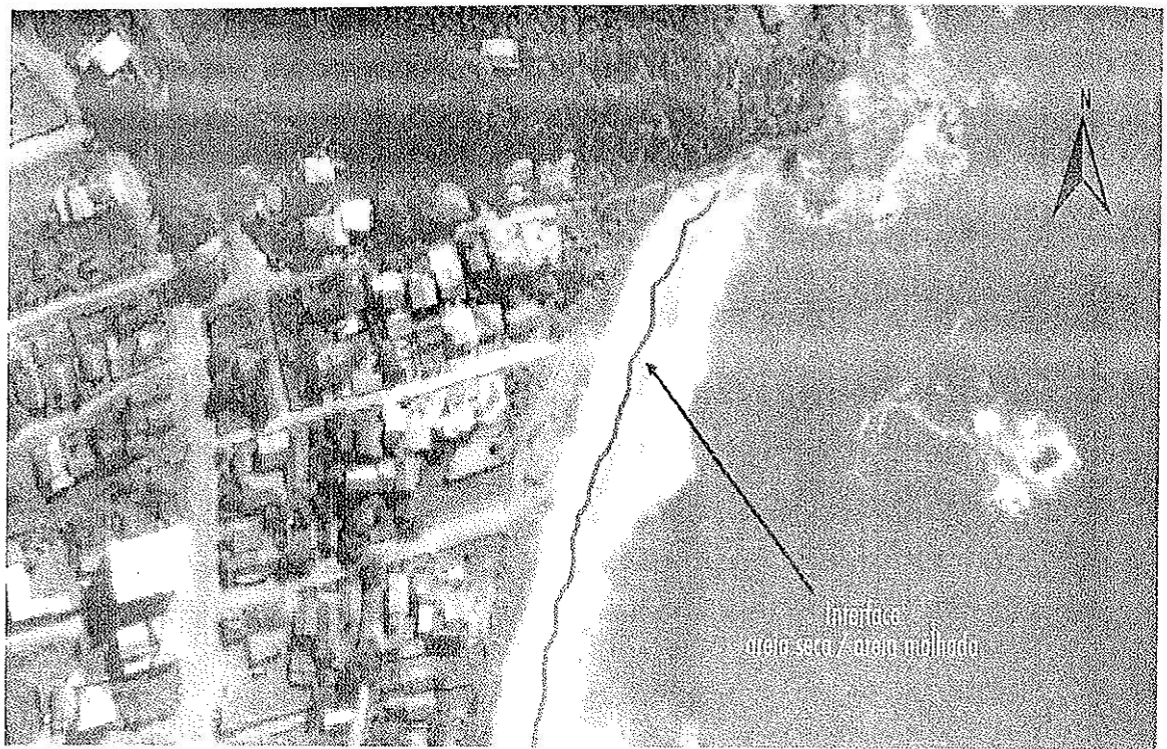


Figura 6.12: Exemplo de extração de linha de costa da imagem de 2005 utilizando a interface areia seca/molhada como indicador (Araujo *et al.*, 2009).

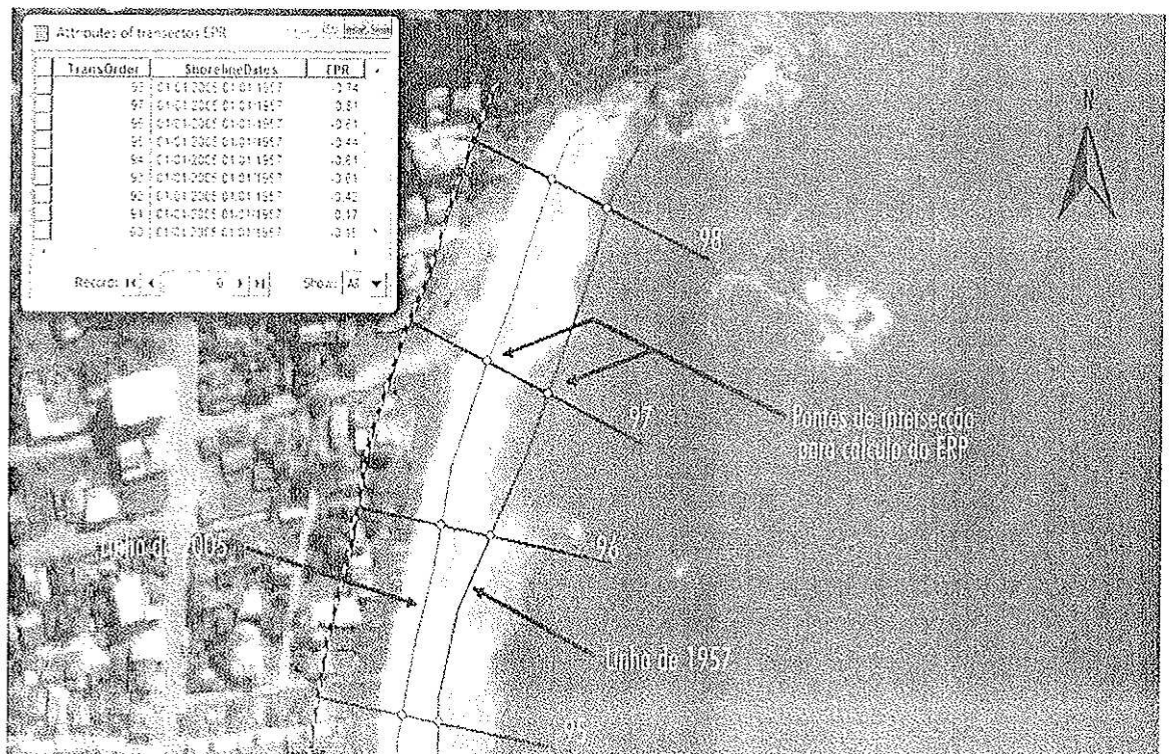


Figura 6.13: Exemplo do procedimento de cálculo das taxas de variação da LC através do método EPR. Os pontos representam as intersecções entre as linhas de costa de 1957 e 2005. A distância total (m) entre as linhas, dividida pelo intervalo de tempo (anos) corresponde à taxa de variação (m/ano) (Araujo *et al.*, 2009).

A ferramenta computacional desenvolvida para uso no SIG, DSAS 3.2 (*Digital Shoreline Analysis System*), proposto por Thieler *et al.* (2005), foi utilizada para o cálculo de variação da LC entre os diferentes anos. Essa extensão utiliza o método de análise EPR (*End Point Rate*) para calcular a taxa de variação linear entre duas LC, com espaçamentos determinados ao longo da costa. O princípio é obter a distância de movimentação da LC entre dois períodos distintos e dividi-la pelo tempo transcorrido, fornecendo assim, a taxa anual de migração, em metros (fig. 6.13).

O arco praial da enseada do Itapocorói foi segmentado em 98 perfis transversais (transectos) numerados do sul para o norte a cada 100 m a partir da praia Alegre, e a partir destes, foi calculada a taxa de variação da LC para cada perfil.

A área de estudo foi dividida em 3 setores para facilitar a análise, devido à sua extensão. O Setor 01 corresponde à praia Alegre, o Setor 02 abrange a praia de Piçarras na região do aterro hidráulico (2 km), e o Setor 03 na sequência, até o final da enseada em direção ao norte, junto ao promontório de Itajuba (fig. 6.14).

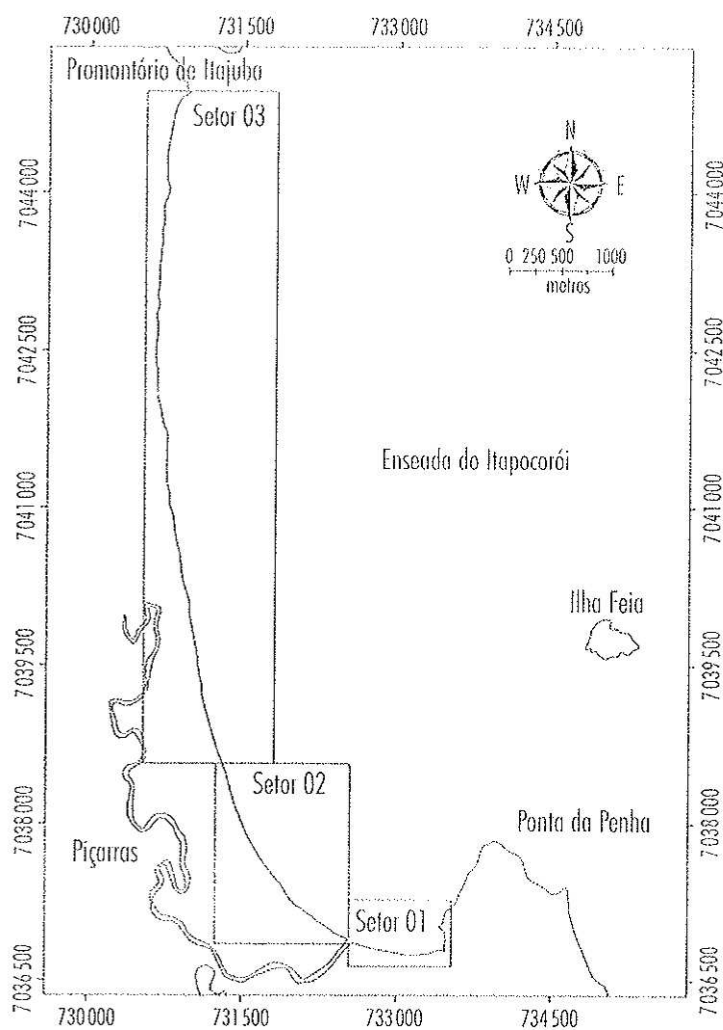


Figura 6.14: Setorização utilizada para análise da variação da linha de costa ao longo dos anos.

6.5.2. Resultados

A variação da linha de costa está representada na forma de gráficos, mostrando a variação total em metros (progradação ou retração) ao longo do período analisado, para cada setor individualmente.

5.5.2.1. Setor 01

A praia Alegre se mostrou relativamente estável até 1995. O que corrobora isso são as taxas de variação da LC entre os anos de 1957 a 1978, 1957 a 1995 e 1978 a 1995 (fig. 6.15).

No primeiro período, 21 anos, a média de variação desse setor foi de cerca de 4 m (0,2 m/ano), contendo uma incerteza de 7,70 metros, ou seja, podemos afirmar que não houve variação superior a esse EQM.

Quando se analisa desde 1957 até 1995, chega-se a valores muito pequenos para se verificar alguma variação. Os valores brutos são 8,15 m possuindo erro inerente ao processo de 7,70 metros. Em função da longa diferença de datas (38 anos), caso esse ambiente estivesse enfrentando algum recuo/avanço expressivo da LC, haveria valores de movimentação maiores que o erro embutido nessa comparação. Mesmo analisando uma evolução mais recente, 1978 a 1995, onde o erro é de 4,40 metros, nota-se uma variação média total de apenas 3,4 metros. Considerando apenas as estimativas de variação de linha de costa, assume-se que a praia Alegre, de uma forma geral, encontra-se em equilíbrio nos últimos 50 anos. No ano de 1999 foi realizada uma obra de alargamento da praia apenas para fins estéticos, pois o ambiente não apresentava um recuo em sua LC.

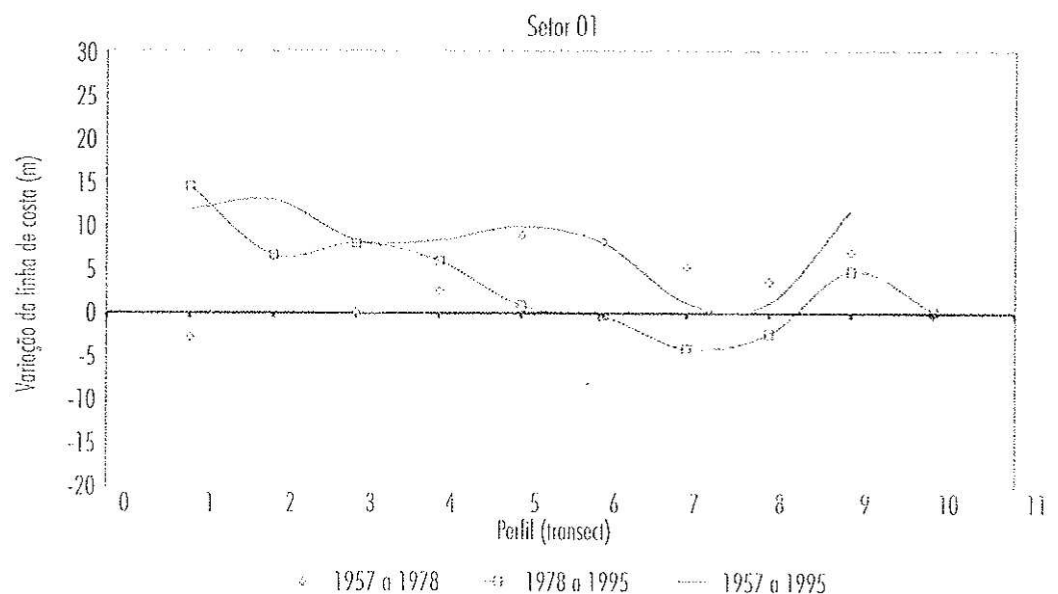


Figura 6.15: Representação da variação da linha de costa para o setor 01, localizado na praia Alegre.

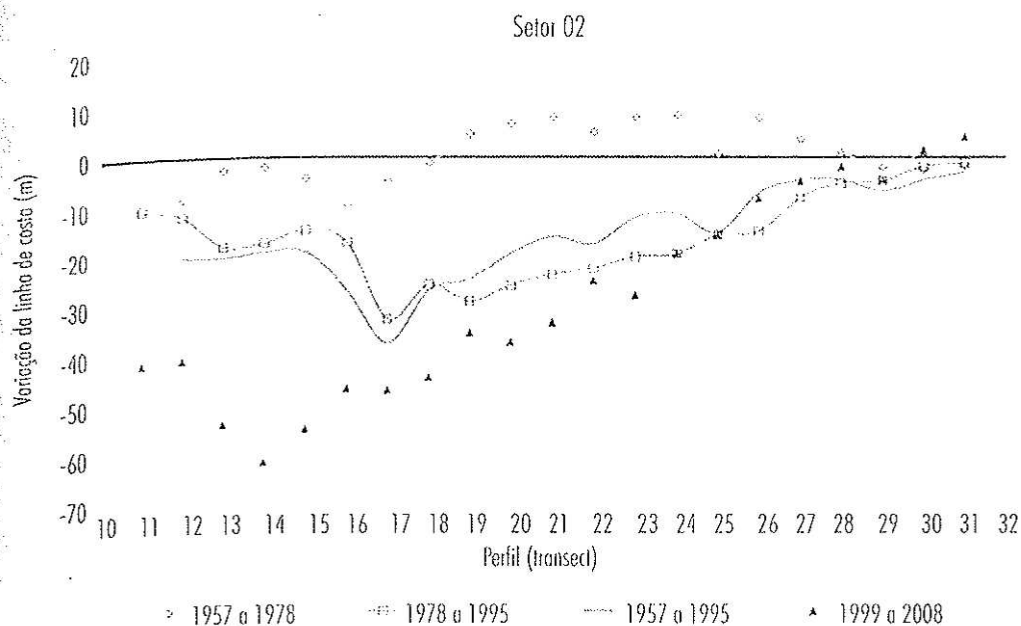


Figura 6.16: Representação da variação da linha de costa para o setor 02, localizado na praia de Piçarras, região do aterro hidráulico.

A variação da LC entre 1995 e 2005 não foi considerada por ter sofrido a influência do aterro, apresentando taxas bastante elevadas se comparadas as análises de 1957-1995 e 1957-2005 (8,15 metros e 19,95 metros, respectivamente).

6.5.2.2. Setor 02

O setor 02 está localizado na extremidade sul da praia de Piçarras, encontra-se na região mais atingida pelos processos erosivos, onde a análise das taxas de variação mostra valores bem distintos ao longo do perfil longitudinal (fig. 6.16).

O erro associado ao processo de retificação das fotografias para o período de 57-78 foi de 7,70 metros. Como a variação média total da linha de costa para este setor foi da ordem de 0,7 metros (com perfis mostrando retração de -9,66 metros e outros apresentando progradação de até +7,98 metros), não se pode afirmar que houve variações efetivas nesse período.

Para o período de 57-78 não houve variação significativa, mas sim uma tendência a maiores retrações da LC nos perfis 12 e 16, onde se percebeu taxas de retração acima erro de $\pm 7,7$ m.

Foi a partir de 1978 a 1995 que o processo de migração da LC em direção ao continente se tornou evidente. A retração média desse perfil foi de -16,20 m para um intervalo de confiança de $\pm 4,4$ m (EQM), chegando num máximo de retração média de -32,81 m entre os perfis 17 a 20, refletindo nitidamente uma zona de erosão acentuada (ZEA), assumindo uma taxa de variação maior ou igual a 50% acima da média geral do setor.

1995 a 2005			1998 a 1999 - Perfil			1999 a 2008 - Perfil		
Perfil	Taxa	Variação	Perfil	Taxa	Variação	Perfil	Taxa	Variação
11	-1,02	-10,2	11	32,4	32,4	11	-5,2	-41,7
12	-0,50	-5,0	12	34,1	34,1	12	-5,1	-40,9
13	0,31	3,1	13	49,0	49,0	13	-6,7	-53,9
14	0,17	1,7	14	56,6	56,6	14	-7,7	-61,4
15	0,30	3,0	15	55,4	55,4	15	-6,9	-54,8
16	0,81	8,1	16	39,5	39,5	16	-5,8	-46,7
17	1,80	18,0	17	43,4	43,4	17	-5,9	-47,0
18	1,25	12,5	18	39,6	39,6	18	-5,6	-44,5
19	1,18	11,8	19	32,8	32,8	19	-4,4	-35,5
20	0,54	5,4	20	39,1	39,1	20	-4,7	-37,3
21	0,35	3,5	21	35,1	35,1	21	-4,2	-33,5
22	0,46	4,6	22	34,8	34,8	22	-3,1	-25,1
23	0,17	1,7	23	33,7	33,7	23	-3,5	-28,0
24	0,52	5,2	24	20,0	20,0	24	-2,4	-19,4
25	0,58	5,8	25	16,1	16,1	25	-2,0	-15,9
26	-0,04	-0,4	26	19,5	19,5	26	-1,1	-8,4
27	-0,20	-2,0	27	16,5	16,5	27	-0,6	-4,9
28	0,08	0,8	28	22,9	22,9	28	-0,2	-1,9
29	0,53	5,3	29	17,1	17,1	29	-0,6	-4,5
30	0,34	3,4	30	12,6	12,6	30	0,2	1,4
31	0,39	3,9	31	9,2	9,2	31	0,5	4,0
Taxa média		0,4	Variação média		31,4	Taxa média		-3,2
Variação total média		3,8	(m)			Variação total média		-28,6

Setor 02		
Método de comparação	Período	Variação média da linha de costa (m)
Fotografias aéreas	1995-2005	-27,6
Perfil topográfico médio	1999-2008	-28,6

Figura 6.17: Validação do método de extração da linha de costa. O procedimento compara as taxas de variação obtidas pela análise de fotografias aéreas com dados de perfis transversais.

Em 1998, com o aterro hidráulico o setor 02 teve sua faixa de areia acrescida em média 31,4 m. Ao se analisar a evolução da LC de 1995 a 2005, constatou-se que em média a progradação foi de +3,8 m (influência do aterro). Portanto, a área teve uma variação equivalente à 3,8 m – 31,4 m (aproximadamente -27,7 metros em 10 anos). Dados obtidos através dos perfis praias de 1999 e 2008 possibilitaram corroborar o procedimento acima, visto que a variação média dos perfis de 1999 para os perfis de 2008 resultou numa retração média de -28,60 m (fig. 6.17).

A coluna da esquerda apresenta a taxa de progradação média entre 1995-2005, ou seja, com a influência do aterro hidráulico. A variação média da largura medida através dos perfis transversais de antes e depois de aterro (coluna do meio) indica uma taxa de progradação média de 31,4 m. Finalmente, a coluna da direita apresenta a taxa real de retração da linha de costa entre 1999-2008, medida com base nos perfis transversais, que foi de -28,6 m em média para a região.

Subtraindo-se a taxa de variação calculada pela análise das fotografias aéreas pela largura média adicionada nos perfis pelo aterro, ou seja, $3,8 \text{ m} - 31,4 \text{ m}$, chega-se ao valor de retração média de -27,6 m para a região, muito próxima da taxa real medida (-28,6 m).

6.5.2.3. Setor 03

O setor 03 segue a partir do final do aterro hidráulico em direção ao norte da enseada, até o promontório de Itajuba. É o segmento mais extenso, e apresenta características da variação da linha de costa que diferem na sua porção sul, central e norte (fig. 6.18).

As evoluções do setor 03 indicaram que no geral a LC encontra-se estável ao longo do tempo. No período de 1957 a 1978, onde o erro foi de 7,70 m, a variação total média foi de 1,23 m, não indicando, então, variações maiores que o erro. Contudo percebe-se um comportamento progradante entre os perfis 59 a 81, enquanto que os perfis 48 a 58 e 82 a 98 apresentaram fortes retrações durante este período.

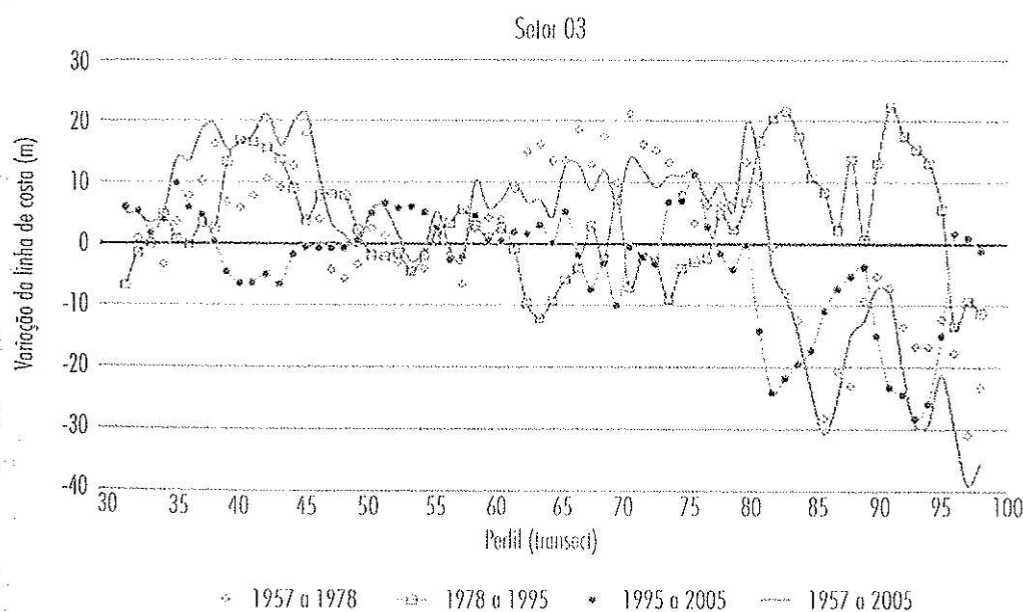


Figura 6.18: Representação da variação da linha de costa para o setor 03, localizado na praia de Piçarras, região central e norte da enseada.

No período seguinte (1978-1995), onde o EQM foi quase a metade do anterior, $\pm 4,40$ metros, a média de movimentação ficou abaixo do erro ($+3,55$ m), reafirmando a hipótese de estabilidade para esses perfis. O comportamento dos perfis 32 ao 61 neste período é semelhante ao padrão apresentado durante a análise da variação de 57-78. Porém, a partir do perfil 61 até o final o comportamento é antagônico. Onde ocorreu progradação no período anterior, ocorreu retração na análise de 78-95, e vice-versa. A região terminal da enseada, entre os perfis 81 a 86, e 90 a 94, apresentou progradações em torno de $+20$ m.

A evolução de 1995 a 2005, mais recente e também com maior acurácia, $\pm 4,10$ m, refletiu ainda uma variação média abaixo do erro, $-3,12$ m de variação média, conferindo a esse setor um caráter estacionário na movimentação da LC. Porém, se podem perceber nitidamente padrões diferenciados entre os perfis que compõe esse setor. Os perfis 40 a 45, que apresentavam uma tendência de progradação da costa mais acentuada que o resto do setor nos períodos anteriores, passou a ter um padrão de retração da LC, computando uma variação média de $-5,0$ m, pouco diferindo do erro determinado ($4,10$ m).

Novamente a porção terminal da enseada, a partir do perfil 80, apresentou fortes retrações da linha de costa, com variações totais da ordem de $-16,9$ m.

6.6. Considerações gerais

O método utilizado neste trabalho (ortofotografias e perfis praias) proposto por Araujo (2008) se mostrou bastante satisfatório como ferramenta de análise da variação da linha de costa, visto que a comparação das taxas obtidas através das fotografias aéreas foram condizentes com as taxas calculadas pelas variações dos perfis praias (com retrações de $-27,6$ m e $-28,6$ m, respectivamente).

O setor 01 (praia Alegre) se mostrou estável ao longo das décadas, apresentando uma ligeira progradação decorrente do aterro hidráulico realizado em 1999. O setor 02 (Piçarras na região do aterro) apresentou um comportamento de retração da linha de costa desde o início da década de 70, influenciado pela retificação da desembocadura do rio, o que se intensificou a partir de 1978, quando as taxas de retração naquela região aumentaram bastante se comparadas com a análise anterior.

A evolução da linha de costa, de 1957 até 1995, mostra uma ZEA localizada 300 metros mais ao norte se comparada com a definida por este estudo através do cálculo da variação volumétrica.

O setor 03 apresentou ao longo do tempo uma forte retração da linha de costa na porção terminal da enseada, e de fato, de 1957 até hoje, aquela região sofreu uma diminuição da largura da faixa de areia bastante considerável ($-20,75$ metros a partir do perfil 82, com um máximo de $-38,9$ metros, no perfil 97).

Sendo assim, percebe-se que a região da enseada do Itapocorói apresenta uma alta dinâmica, que afeta diretamente a morfologia praial e o transporte sedimentar. Este fato é perceptível desde a década de 1930, quando a desembocadura do rio Piçarras ainda possuía a capacidade de migração lateral da barra, aumentando muito após a década de 1970, quando a desembocadura foi fixada e o processo de desenvolvimento imobiliário se acelerou na região.

O estudo deixa claro como a influência antrópica, quando não acompanhada de estudos efetivos acerca dos processos condicionantes do ambiente, pode alterar significativamente a morfodinâmica local e regional, podendo desencadear ao longo do tempo uma condição de déficit sedimentar e consequente erosão de largas porções da zona costeira.

A mais eficiente forma de se evitar o problema da erosão, desencadeado pela ação do homem, é o correto gerenciamento dos recursos naturais disponíveis, associado a um plano de ordenação da zona costeira que preserve as características naturais do ambiente em concordância ao desenvolvimento das sociedades.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao projeto ELAN CAM: European and Latin America Network on Coastal Area Management. Projeto UE ALFA, Number EU Grant: AML/19.0902/97/0666(II-0419-FA-FCD-FI) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Santa Catarina (FAPESC – Proc. Número 12.275/2007-0), à Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI/CTTMar/Brasil), através do Programa Acadêmico de Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental (MCTA) e Programa Integrado de Pós-Graduação e Graduação (PIPG). R.S. Araujo agradece à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (U.Porto/FEUP/Portugal) e pelo suporte no desenvolvimento deste trabalho. A.H.F. Klein agradece ao suporte do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/Brasil) - bolsa de produtividade em pesquisa (Proc. Número 307267/2006-7).

REFERÊNCIAS

- ARAUJO R.S. (2008). Morfologia do Perfil Praial, Sedimentologia e Evolução Histórica da Linha de Costa das Praias da Enseada do Itapocorói – Santa Catarina. Dissertação de Mestrado. Universidade do Vale do Itajaí, Programa Acadêmico de Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental, Itajaí, SC, Brasil (*unpublished*).
- ARAUJO R.S., KLEIN A.H.F., SILVA G.V., FREITAS D. (2009). Georreferenciamento de Fotografias Aéreas e Análise da Variação da Linha de Costa. In: Alcântara-Carrió, J. (ed.). Métodos en Teledetección Aplicada a la Prevención de Riesgos Naturales en el Litoral. Universidad Católica de Valencia, Espanha. p. 123-138.
- ARAUJO R.S., SPROVIERI F.C., FREITAS D., KLEIN A.H.F. Variação da Morfologia Praial e Identificação de Zonas de Erosão Acentuada (ZEA) na Enseada do Itapocorói – SC. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology, Itajaí, SC (*in press*).

- BOAK E.H., TURNER I.L. (2005). Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research* 21 (4): 688-703.
- 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, p. 135.
- CARVALHO J.L.B., KLEIN A.H.F., SCHETTINI C.A.F., JABOR P.M. (1996). Marés Meteorológicas em Santa Catarina: Influência do Vento na Determinação de Parâmetros de Projeto para Obras Costeiras. In: III Simpósio sobre Oceanografia, 1996, São Paulo. Proceedings... São Paulo: [s.n.], p. 380.
- CERC (COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER) (2002). Coastal Engineering Manual. Washington, DC: US Army Corps of Engineers. Manual online.
- FGDC-STD (FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE) (1998). Geospatial Positioning Accuracy Standards (part 3): National Standard for Spatial Data Accuracy. Washington, DC: Federal Geographic Data Committee, 25 pp.
- FREITAS D. (2008). Quantificação de Perigos Costeiros e Projeção de Linhas de Costa Futuras para a Enseada do Itapocorói. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Oceanografia, Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), Itajaí, SC, 61 pp.
- GRACIA F.J., ANFUSO G., BENAVENTE J., DEL RÍO L., DOMÍNGUEZ L., MARTÍNEZ J.A. (2005). Monitoring Coastal Erosion at Different Time Scales on Sandy Beaches: Application to the Spanish Gulf of Cadiz Coast. *Journal of Coastal Research* 49: 22-27. Edição especial.
- HOEFEL F.G., KLEIN A.H.F. (1997). Parecer Técnico Sobre as Potencialidades da Enseada do Itapocorói e Imediações como Área Fonte de Sedimento para o Engordamento Artificial da Praia de Piçarras (SC). Universidade do Vale do Itajaí, Faculdade de Ciências do Mar, Itajaí, SC.
- HOEFEL F. (1998). Diagnóstico da erosão costeira na praia de Piçarras. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Oceânica, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 158 pp (não publicado).
- INPH (1984). Relatório de Viagem, Inspeções às Erosões da Praia de Piçarras, Relatório 251/84, Piçarras 500/01: Instituto de Pesquisas Hidroviárias, Rio de Janeiro.
- INPH (1986). Projeto de Proteção às Benfeitorias da Praia de Piçarras – SC. Relatório 05/86, Piçarras 930/01: Instituto de Pesquisas Hidroviárias, Rio de Janeiro.
- JICA (1990). Feasibility Study on the Flood Control Project in the Lower Itajaí River Basin: Final Report, Supporting Report: Japan International Cooperation Agency.
- KLEIN A.H.F., MENEZES J.T. (2001). Beach Morphodynamics and Profile Sequence for a Headland Bay Coast. *Journal of Coastal Research* 17 (4): 812-835.
- KLEIN A.H.F. (2004). Morphodynamics of Headland Bay Beaches. Tese (Doutorado) – Universidade do Algarve, Faro, Portugal. 450 pp.
- KLEIN A.H.F., ARAUJO R.S., POLETTE M., SPERB R.M., FREITAS D., CAMARGO J.M., SPROVIERI E.C., PINTO F.T. (2009). Ameliorative Strategies at Balneário Piçarras Beach – Brazil.
- KOMAR P.D. (1998). Beach Processes and Sedimentation. 2nd ed. New Jersey: Prentice-Hall.
- LARSON M., KRAUS N.C. (1995). Prediction of Cross-shore Sediment Transport at Different Spatial and Temporal Scales. *Marine Geology* 126: 111-127.
- LEATHERMAN S. (2001). Social and Economic Costs of Sea Level Rise. San Diego, California: Academic Press. 232 pp.
- MOORE L.J. (2000). Shoreline Mapping Techniques. *Journal of Coastal Research* 16 (1): 111-124.
- MORTON R.A., SPEED F.M. (1998). Evaluation of Shorelines and Legal Boundaries Controlled by Water Levels on Sandy Beaches. *Journal of Coastal Research* 14 (4): 1373-1384.
- NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL) (1990). Managing Coastal Erosion. Washington: National Academic Press. p. 182.

- PAJAK M.J., LEATHERMAN S.P. (2002). The High Water Line as Shoreline Indicator. *Journal of Coastal Research* 18 (2): 329-337.
- REID J., SANTANA G.G., KLEIN A.H.F., DIEHL E.L. (2005). Perceived and Realized Social and Economic Impacts of Sand Nourishment at Piçarras Beach, Santa Catarina. *Shore Beach Journal* (American Shore Beach Preservation Association, Fort Myers, Florida) 73 (4): 14-18.
- SHERMAN D.J., NORDSTROM K.F., JACKSON N.L., ALLEN J.R. (1994). Sediment Mixing-depths on a Low-energy Reflective Beach. *Journal of Coastal Research* 10: 297-305.
- SHORT A.D. (1999). Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics – John Wiley & Sons Ltda, Baffins Lane, Chichester, 379 pp.
- THIELER E.R., HIMMELSTOSS E.A., ZICHICHI J.L., MILLER T.L. (2005). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 3.0: An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report – 1304, Woods Hole, CA.
- TRUCCOLO E.C. (1998). Maré Meteorológica e Forçantes Atmosféricas Locais em São Francisco do Sul – SC. 1998. 100p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Depto. de Engenharia Sanitária, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC.
- USACE. BEACH MORPHOLOGY ANALYSIS PACKAGE (BMAP) (1995). Coastal Engineering Technical Notes (CETN II-34), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Coastal and Hydraulics Laboratory. Vicksburg: [s.n.].