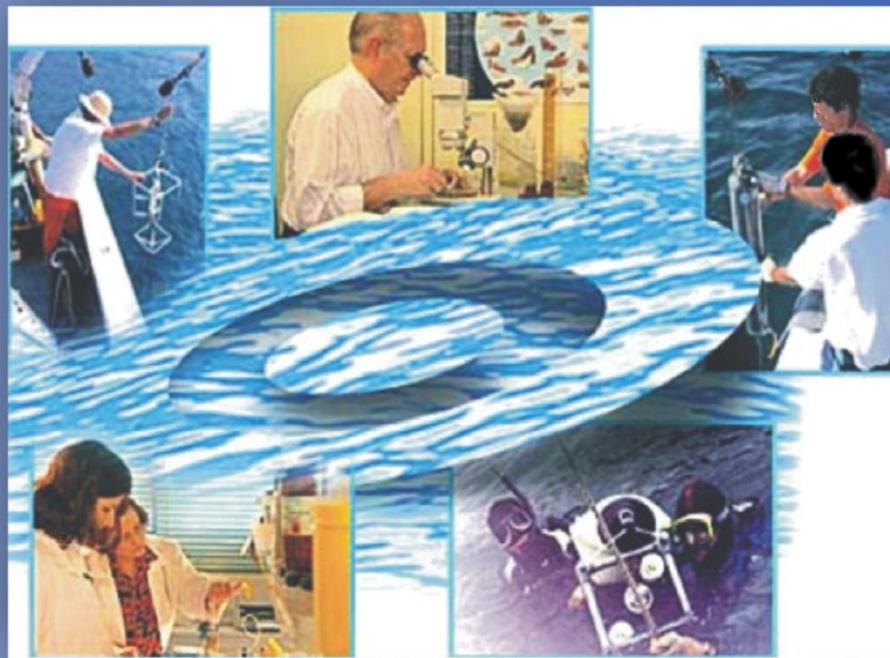


PLANO BÁSICO AMBIENTAL DA DRAGAGEM DE APROFUNDAMENTO DO CANAL DE NAVEGAÇÃO DO PORTO DE SANTOS



 **FUNDESPA**
Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas

RDC - 120612 - Estudo sobre a Hidrodinâmica e o
Transporte de Sedimentos na Ponta da Praia de
Santos e Praia do Góes.

Revisão 1

IDENTIFICAÇÃO

PRODUTO: RDC - 120612 – Revisão 1 - Estudo sobre a Hidrodinâmica e o Transporte de Sedimentos na Ponta da Praia de Santos e Praia do Góes.

DATA: 12 de Junho de 2012.

DATA DA REVISÃO: 25 de julho de 2013.

CONTRATANTE:

Dra. Alexandra Grotta

Companhia Docas do Estado de São Paulo - CODESP

Av. Conselheiro Rodrigues Alves, S/ nº

Bairro do Macuco - Santos - SP

Fone: (13) 3202 6429

End. Elet.: dcqsuper@portodesantos.com.br

CONTRATADO:

Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas – FUNDESPA

Av. Afrânio Peixoto, 412 – Cidade Universitária – São Paulo, SP

CEP: 05507-000

Fone: (11) 3816 2737

Prof. Dr. Luiz Roberto Tommasi

Diretor Presidente - FUNDESPA

End. Elet.: tommasi@fundespa.com.br

Contato: Dr. Roberto Ávila - avila@fundespa.com.br

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. ÁREA DE ESTUDO.....	5
3. SÍNTESE DOS ESTUDOS REALIZADOS	8
3.1. <i>Variação Espaço-Temporal dos Polígonos Praiais no período de 1962 a 2011</i>	8
3.2. <i>Marcos Temporais de Alterações Ambientais e Antrópicas na Linha de Costa Estuarina de Santos</i>	16
3.3. <i>Análise Histórica dos Registros de Ressacas ocorridas na Região da Baía e Estuário de Santos</i>	22
3.4. <i>Avaliação dos Processos Erosivos nas Estruturas Urbanas Localizadas entre o Canal 6 e o Ferry-boat</i>	27
3.5. <i>Caracterização do Transporte Sedimentar no Setor Nordeste da Baía de Santos</i>	31
3.6. <i>Avaliação da Estabilidade do Talude do Canal de Navegação e Modelagem Morfodinâmica na Baía de Santos</i>	37
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
5. CONCLUSÕES.....	51
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
7. ANEXOS	55

Estudo sobre a Hidrodinâmica e o Transporte de Sedimentos na Ponta da Praia de Santos e na Praia do Góes.

1. INTRODUÇÃO

A dragagem de um canal portuário implica na retirada de sedimentos do sistema costeiro e na modificação da topografia de fundo, cujas consequências podem ser alterações no balanço sedimentar costeiro e na hidrodinâmica local (Souza *et al.*, 2012) (Figura 1-1).

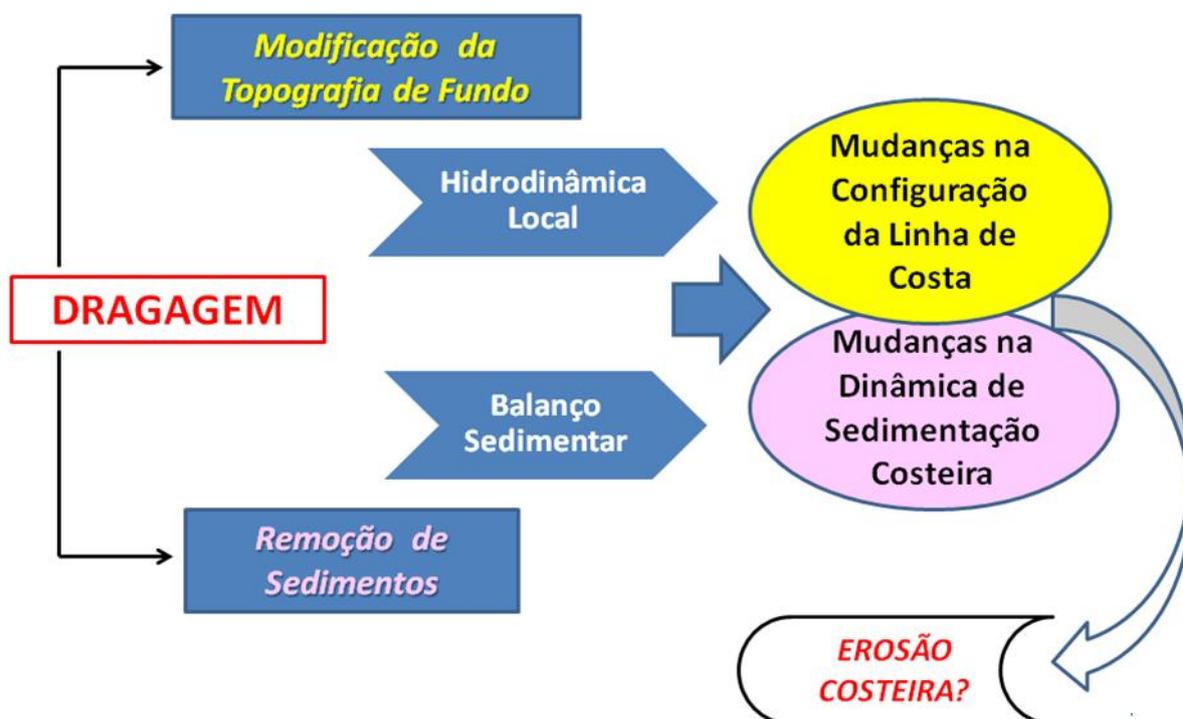


Figura 1-1. Possíveis impactos físicos da dragagem de um canal portuário (Souza *et al.*, 2012).

Porém, a intensidade e a velocidade dessa cadeia de processos/impactos podem variar em função de uma multiplicidade de fatores, que incluem: a herança geológica/geomorfológica da região, o balanço/equilíbrio sedimentar prévio da área, o aporte de sedimentos, a presença de sistemas fluviais, a hidrodinâmica

costeira (marés e ondas), a influência de fatores meteorológicos, e a intensidade e evolução das intervenções antrópicas na área (Souza *et al.*, 2012).

As respostas a esses impactos também podem variar espacial e temporalmente, quando se comparam os ambientes praias emerso e submerso e a plataforma continental rasa adjacente.

Para o melhor entendimento desses complexos processos sedimentares são necessários estudos multidisciplinares, que envolvem diferentes escalas temporais e métodos de investigação, como os apresentados a seguir.

Análise de Processos Pretéritos

Estes estudos referem-se à retroanálises de processos sedimentares ocorridos nas praias de Santos, Itararé e Góes e em parte da linha de costa interna ao Estuário Santista, compreendendo os seguintes trabalhos:

- **Variação Espaço-Temporal dos Polígonos Praiais no período de 1962 a 2011**

Este estudo dá ênfase às variações morfométricas dos polígonos praiiais nas praias de Santos, Itararé e Góes, no período entre 1962 e 2011, por meio da retroanálise de séries temporais de fotografias aéreas/imagens de satélite, incluindo cálculos de áreas, volumes e balanço sedimentar das praias, e tendências decadais dos processos costeiros.

- **Marcos Temporais de Alterações Ambientais e Antrópicas na Linha de Costa Estuarina de Santos**

Este estudo compreende uma retroanálise das principais intervenções antrópicas ocorridas no período entre 1962 e 2011 na linha de costa estuarina, entre a Ponta da Praia e a região da Alemoa (setor NW da Ilha de São Vicente), obtida por meio de técnicas de geoprocessamento em produtos de sensoriamento remoto. Para tanto, foram identificadas e quantificadas as principais variações ocorridas nos Terrenos Naturais (Canal Estuarino e Áreas com Vegetação

Nativa), e que podem ter afetado ou estão afetando o balanço sedimentar das praias da Baía de Santos e, mais especificamente, da Ponta da Praia de Santos.

- **Análise Histórica dos Registros de Ressacas ocorridas na região da Baía e Estuário de Santos**

Este estudo refere-se a um levantamento histórico da ocorrência de marés meteorológicas/ressacas e eventos atmosféricos extremos, incluindo a caracterização das principais condições de contorno e suas consequências nos ambientes costeiros.

O objetivo deste estudo foi identificar a ocorrência de eventos de Ressaca nos últimos 50 anos, por meio de levantamentos de notícias veiculadas em jornais (impresso e *online*) e constatações durante atividade de campo.

Análise de Processos Contemporâneos

Estes estudos referem-se à análise de processos contemporâneos às obras de dragagem e após o seu término, no setor nordeste da Baía de Santos, envolvendo os seguintes trabalhos:

- **Avaliação dos Processos Erosivos nas Estruturas Urbanas Localizadas entre o Canal 6 e o Ferry-boat**

Este estudo consistiu em avaliar as estruturas urbanas presentes na região entre a Ponta da Praia e o *Ferry Boat* tendo como foco os processos atuais de erosão costeira, em período correspondente à etapa final das obras de dragagem de aprofundamento.

- **Caracterização do Transporte Sedimentar no Setor Nordeste da Baía de Santos.**

Por meio de estudos texturais dos sedimentos e da caracterização do transporte residual que está ocorrendo na superfície do fundo marinho, que inclui

o perfil submerso da praia na Baía de Santos (entre o canal 6 e a Ponta da Praia de Santos) e a Praia do Góes, foi possível avaliar se as obras de dragagem de aprofundamento influenciaram ou estão influenciando os processos costeiros recentes.

- **Avaliação da Estabilidade do Talude do Canal de Navegação e Modelagem Morfodinâmica na Baía de Santos**

Este estudo tem como objetivo dar suporte a Codesp na investigação dos processos erosivos na Ponta da Praia, na Praia do Góes, e na Barra do Canal do Porto de Santos – SP, identificando se a dragagem de aprofundamento do canal do Porto influencia os processos de transporte de sedimento nas regiões de foco.

Este estudo permitirá identificar a estabilidade do talude do canal, a alteração no clima de ondas devido ao aprofundamento do canal e as possíveis alterações no transporte de sedimento na região da Ponta da Praia e Praia do Góes.

2. ÁREA DE ESTUDO

A Baía de Santos é circundada por praias dos municípios de São Vicente (Praia do Itararé), Santos (praias de Aparecida, Boqueirão, Embaré, Gonzaga, José Menino, Pompéia, Ponta da Praia) e Guarujá (Praia do Góes).

A área de estudo engloba todas essas praias, bem como o Canal Estuarino de Santos, desde a sua desembocadura até a Bacia de Evolução do Porto de Santos (Figura 2-1).

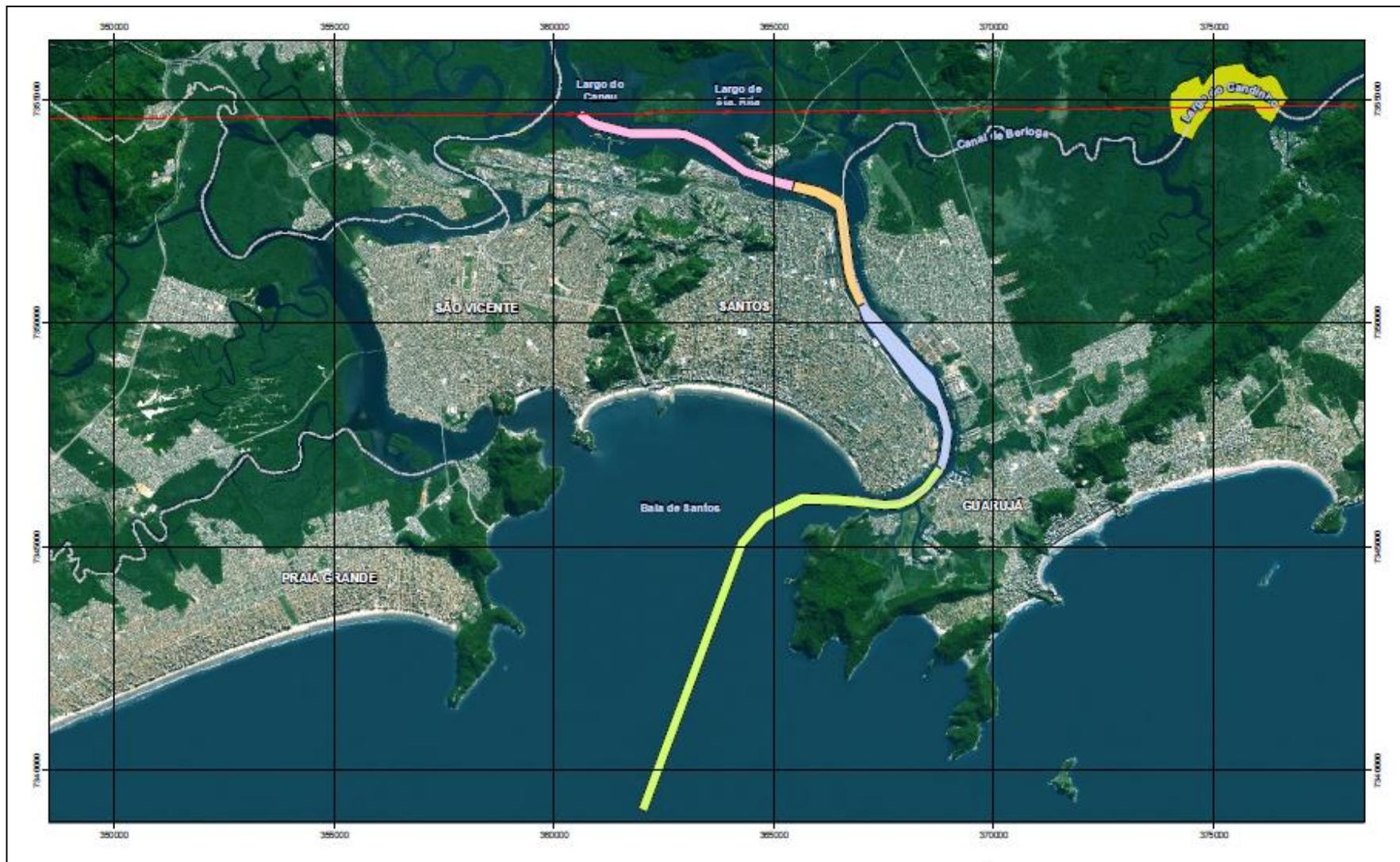


Figura 2-1. Localização da área de estudo.

No escopo dos estudos seguintes, duas áreas merecem destaque como principais áreas de interesse: Ponta da Praia de Santos e Praia do Góes (Figura 2-2).



Figura 2-2. Localização das principais áreas de interesse: Ponta da Praia de Santos e Praia do Góes.

3. SÍNTESE DOS ESTUDOS REALIZADOS

Este estudo engloba seis tipos de estudos que visam detalhar os processos costeiros pretéritos e atuais no setor nordeste da Baía de Santos, que inclui a porção leste da linha de costa de Santos, entre o Canal 4 e o Ferry-Boat, e a região da Praia do Góes (Guarujá). Segue um resumo executivo de cada estudo.

3.1. Variação Espaço-Temporal dos Polígonos Praiais no período de 1962 a 2011

3.1.1 Objetivos

O presente estudo mostra os resultados obtidos a partir de análises de variação espaço-temporal da linha de costa/polígonos praiiais nas praias de Santos, Itararé e Góes, para os últimos 50 anos, por meio da retroanálise de uma série histórica de fotografias aéreas e imagens de satélite de 1962, 1972, 1987, 1994, 2001, 2009 e 2011.

Os principais objetivos foram:

- Caracterizar as tendências evolutivas dos processos sedimentares atuantes nas praias de Santos, Itararé e Góes, para complementar o conhecimento da dinâmica sedimentar atual das mesmas (Programa de Monitoramento do Perfil Praial, realizado entre 2010 e 2011);
- Apontar possíveis alterações ou anomalias na dinâmica sedimentar dessas praias no período histórico;
- Identificar as principais causas possíveis dessas alterações;
- Identificar se obras de dragagem, ocorridas no passado, promoveram modificações intensas ou processos semelhantes aos observados em 2010 na Ponta da Praia e na Praia do Góes.

Os resultados deste estudo, na íntegra, constam do Anexo 7-1.

3.1.2. Metodologia

Os estudos envolveram dois passos sequenciais: o tratamento digital prévio dos produtos de sensoriamento remoto (imagens) e a aplicação de métodos de avaliação da variação da linha de costa, utilizando os *softwares* ERDAS IMAGINE 9.2 e o ArcGis 9.3.

A área de estudo englobou as praias: Itararé (São Vicente), Aparecida, Boqueirão, Embaré, Gonzaga, José Menino, Pompéia, Ponta da Praia (Santos) e Praia do Góes (Guarujá) (Figura 3.1.2-1).

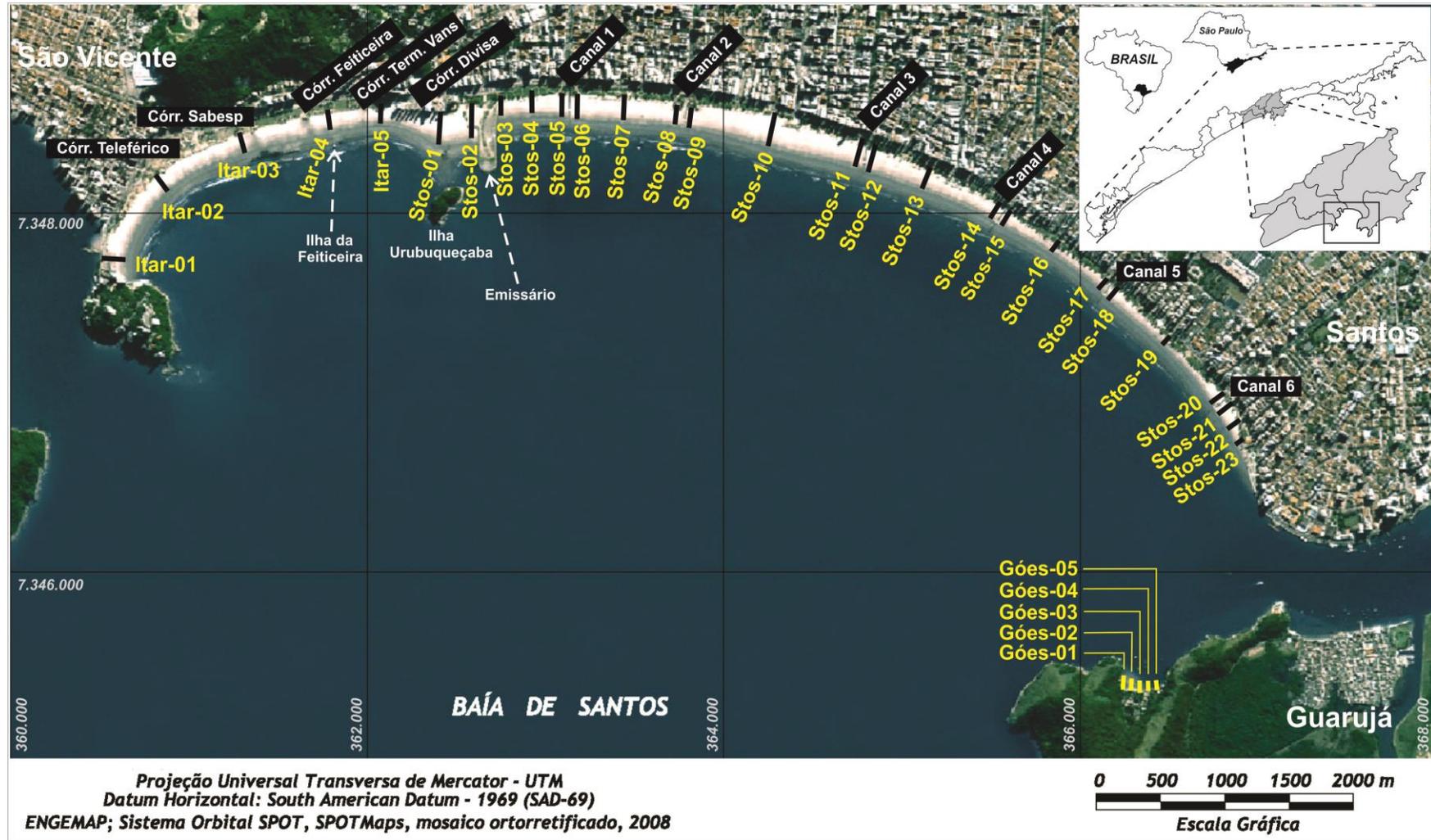


Figura 3.1.2-1. Localização da área de estudo e dos transectos analisados neste trabalho

Para este estudo foram selecionados 8 conjuntos de produtos de sensores remotos, a saber: fotografias aéreas de 1962, 1972, 1987, 1994 e 2001, e imagens de satélite de 2009 (2 conjuntos) e de 2011. A maioria desses produtos foi utilizada para a totalidade das praias e alguns para o detalhamento de trechos específicos.

Tratamento Digital das Imagens

Para o tratamento digital das imagens foram desenvolvidos os seguintes procedimentos metodológicos:

- Escanerização, rasterização e tratamento das imagens disponíveis em papel;
- Georeferenciamento das imagens;
- Cálculos das correções e erros quadráticos;
- Geocodificação de dados;
- Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto para melhorar a capacidade de fotointerpretação e reduzir os erros de mapeamento.

As fotografias aéreas de 1962, 1972, 1987 e 1994 foram digitalizadas, com resolução inicial de 800 dpi, para posterior transformação em arquivos raster (não georreferenciados); enquanto que as ortofotos de 2001 e as imagens de satélite são produtos digitais já georreferenciados em sua origem.

Foram selecionados 21rasters para a aquisição da base vetorial. Todas as imagens utilizadas estão dentro do padrão de exatidão cartográfica requerida (segundo o Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Brasileira).

As ortofotos de 2001 serviram como a principal base dos pontos de controle para a realização do georeferenciamento das demais fotografias aéreas e das imagens de satélite.

Técnicas de ampliação de contraste e de composição colorida foram utilizadas para diminuir a margem de erro no procedimento de delimitação dos polígonos praias.

Variabilidade Espaço-Temporal dos Polígonos Praias e Balanço Sedimentar

Após o tratamento prévio das imagens passou-se à aplicação dos métodos de caracterização da variabilidade espaço-temporal da linha de costa. Foram então desenvolvidos os seguintes passos:

- Delimitação espacial dos polígonos praias em cada imagem/ano amostral (técnica diferente das convencionais, onde somente a linha de costa é desenhada);
- Cálculo das áreas dos polígonos em cada ano amostral;
- Inserção dos transectos de controle amostral em cada imagem;
- Aplicação dos métodos de análise temporal;
- Comparações espaço-temporais entre as áreas poligonais e os perfis praias;
- Cálculo da taxa e variação da linha de costa para o período entre 1962 e 2011;
- Cálculo do balanço sedimentar das praias para o período entre 1962 e 2011.

Em cada polígono praias delimitado temporalmente foram traçados transectos de controle, perpendiculares à linha de costa, cuja localização coincide com a dos perfis praias monitorados em cada praia desde janeiro de 2010, no âmbito do Programa de Monitoramento do Perfil Praial, realizado pelo Porto de Santos em atendimento à Licença de Instalação nº 666/2009 pelo IBAMA que autoriza a dragagem de aprofundamento do Canal de Navegação do Porto de Santos.

Ainda fazendo uso de ferramentas de geoprocessamento foram medidas as larguras da praia em cada transecto, para cada ano, e obtidas as médias

aritméticas correspondentes. Essas medidas correspondem à faixa seca da praia, ou seja, à pós-praia no momento do imageamento.

No presente estudo a variação da linha de costa ou do polígono praial foi estimada por meio dos métodos de *End-Point Rate* (EPR) e *Average of EPRs* (AEPR), conforme descrito no estudo anexo.

A EPR corresponde à diferença entre os valores de largura de cada transecto em cada período de referência (1962-1972, 1972-1987, 1987-1994, 1994-2001, 2001-2009 e 2009-2011) e a AEPR à média aritmética de cada EPR calculada para o conjunto de todos os anos (1962-2011). Foram ainda obtidas as médias totais de variação de largura para cada transecto e cada praia (conjunto de todas as EPRs), bem como a média total das AEPRs.

Por fim, a taxa média de retrogradação (reco) ou de progradação da linha de costa (polígono praial) foi calculada a partir da divisão entre a média das AEPRs e o intervalo de tempo total de análise, seja de 1962 até 2009 (48 anos) e de 1962 até 2011 (50 anos).

O balanço sedimentar das praias foi então obtido pela diferença entre os valores de volume de cada período de referência e os intervalos totais de 48 ou 50 anos.

3.1.3. Considerações

Este estudo mostrou, por meio da utilização de métodos científicos e técnicas de geoprocessamento modernas, as principais variações morfométricas ocorridas nas praias de Santos, do Itararé e do Góes ao longo das últimas 5 décadas.

As discussões dos resultados foram feitas à luz dos conhecimentos sobre as principais intervenções antrópicas ocorridas na linha de costa (incluindo as dragagens de aprofundamento), bem como dos fenômenos meteo-oceanográficos que provavelmente antecederam os sobrevoos.

Os resultados evidenciam a retrogradação generalizada da linha de costa nos segmentos Emissário-Ponta da Praia de Santos (média de -6,64 m) e Praia

do Itararé-Emissário (média de -3,36 m), ambos exibindo taxas diferenciadas para cada perfil e trecho da praia.

Em Santos, como esperado, a maior erosão ocorreu nos perfis Stos-23 (taxa média de -16,6 m) e Stos-22 (-13,1 m), seguido por Stos-16 (-12,22 m). As menores taxas foram encontradas no perfil Stos-10, com valor médio desprezível de -0,56 m (equilíbrio relativo). As taxas de recuo aumentam progressivamente a partir desse perfil, tanto para oeste em direção ao Emissário, quanto para leste, rumo à ponta da Praia.

No segmento Itararé-Emissário, também como esperado, os maiores recuos médios foram associados à Itar-05 (-8,09 m) e Itar-02 (-7,85 m). Na sequência vem Stos-01 (tômbolo), com -6,6 m.

A Praia do Góes, por outro lado, apresentou taxas de acreção/progradação média da ordem de 2,67 m. O setor oeste foi o mais deposicional, com o perfil Góes-01 (5,57 m), seguido pelo perfil Góes-05 (3,37 m) no outro extremo da praia. O único perfil com tendência erosiva foi Góes-02 (-0,44 m).

No cômputo final, para as 5 décadas, obteve-se uma taxa média de recuo da ordem de -0,14 m/ano para o segmento praias Emissário-Ponta da Praia e de -0,07 m/ano no segmento Praia do Itararé-Emissário. Na Praia do Góes ocorreu acreção/progradação da ordem de 0,05 m/ano.

Embora as taxas obtidas para os segmentos Itararé-Emissário e Praia do Góes possam ser consideradas desprezíveis em termos de valor absoluto, seus valores relativos mostram que elas exibiram tendências maiores de recuo ou de progradação no intervalo de tempo amostral. De qualquer forma, esses resultados indicam que ambas se encontram em equilíbrio relativo.

Em relação às tendências de variação de largura ao longo de cada praia, os resultados obtidos para as últimas 5 décadas se assemelham muito àqueles medidos nos 2 últimos anos (monitoramento praias realizado pelo Programa de Monitoramento do Perfil Praial, desde janeiro de 2010 até a presente data) nos segmentos Emissário-Ponta da Praia de Santos e Praia do Itararé-Emissário, evidenciando que a dinâmica sedimentar dessas praias tem sido, em geral, pouco variável. Isto é esperado para praias de morfodinâmica dissipativa de baixa

energia (abrigadas) com tendências intermediárias como essas. Para a Praia do Góes, entretanto, devido ao processo cíclico de transporte de sedimentos, as tendências gerais observadas entre março de 2010 a outubro de 2011 foram semelhantes apenas com o ano de 1987, quando ocorreu um pico característico deste fenômeno. Em relação aos anos de normalidade absoluta (1972, 2009), as características se aproximaram daquelas observadas no início do monitoramento (janeiro-fevereiro de 2010).

Para os cálculos de áreas praias e dos balanços sedimentares correspondentes, nas últimas 5 décadas foi observado que:

- O segmento praias Emissário-Ponta da Praia de Santos apresentou balanço sedimentar negativo, perdendo uma área de 154.984,37 m², que corresponde a uma perda de 342.515,45 m³ de areias;
- O segmento praias Praia do Itararé-Emissário também apresentou balanço sedimentar negativo, perdendo uma área de 76.012,33 m², correspondente a uma evasão de 180.149,22 m³ de sedimentos; esses valores sugerem que essa praia deve estar em equilíbrio ou até em balanço sedimentar positivo, uma vez que as intervenções antrópicas ocorridas nas décadas de 1990 e de 2000 não parecem tê-la afetado;
- O segmento praias Praia do Góes apresentou balanço sedimentar positivo ou em equilíbrio, ganhando uma área de 3.553,68 m², que corresponde a um ganho de 7.285,05 m³ de sedimentos.

Os resultados obtidos neste trabalho indicam que as obras de dragagem de aprofundamento que ocorreram no passado (1966 e de 1972 a 1975) não afetaram significativamente as praias, nem foram responsáveis pelo desencadeamento de fenômenos como a mobilização de sedimentos observada na Praia do Góes em 1987, ou a erosão na Ponta da Praia de Santos, em curso desde a década de 1940.

Na Praia do Góes, segundo a consultora, o transporte de sedimentos observado demonstrou ser um fenômeno cíclico e desencadeado por mecanismos naturais de autoajuste da praia (perfil de equilíbrio *versus* desequilíbrio), comuns em praias do tipo enseada.

Na Ponta da Praia de Santos o processo de erosão já estava em curso quando a primeira grande dragagem ocorreu (1966). Essa erosão parece ter tido início na década de 1940, em decorrência de uma série de intervenções antrópicas inadequadas na orla de Santos e no canal estuarino, cujas obras foram destinadas às atividades urbanas, de saneamento, náuticas, esportivas, de lazer, portuárias e retroportuárias. Com o passar do tempo outras intervenções se seguiram, incluindo a retirada intensiva de areia da praia e a implantação de obras de “proteção” costeira (muros de contenção e anteparos de pedra), também inadequadas.

Estas atividades e obras tem acelerado o processo erosivo nesse trecho, provocando inclusive a sua propagação para oeste, no sentido do Canal 6. Em outra escala de variabilidade temporal e espacial, também contribuem para essa erosão os efeitos das mudanças climáticas e da elevação do nível relativo do mar.

3.2. Marcos Temporais de Alterações Ambientais e Antrópicas na Linha de Costa Estuarina de Santos

3.2.1 Objetivos

Este estudo tem como objetivo principal identificar as principais alterações decorrentes de intervenções antrópicas ocorridas ao longo do Canal Estuarino de Santos desde 1962 e as suas possíveis relações com os fenômenos erosivos que vem ocorrendo na Ponta da Praia de Santos nas últimas 5 décadas.

O relatório deste estudo apresenta os resultados da retroanálise das intervenções antrópicas ocorridas no período entre 1962 e 2011 na linha de costa estuarina, entre a Ponta da Praia e a região da Alemoa (setor NW da Ilha de São Vicente), obtida por meio de técnicas de geoprocessamento em produtos de sensoriamento remoto. Para tanto, foram identificadas e quantificadas as principais variações ocorridas nos Terrenos Naturais (Canal Estuarino e Áreas com Vegetação Nativa), e que podem ter afetado ou estão afetando o balanço sedimentar das praias da Baía de Santos e, mais especificamente, da Ponta da Praia de Santos.

Os resultados deste estudo, na íntegra, constam do Anexo 7-2.

3.2.2. Metodologia

As etapas desenvolvidas para a análise dos marcos temporais de intervenções antrópicas na área de estudo são sintetizadas a seguir.

- a) Tratamento digital prévio das imagens selecionadas.
- b) Georreferenciamento das imagens selecionadas.
- c) Elaboração do mapa base, tendo como referência as fotografias aéreas de 1962.
- d) Mapeamento dos limites dos terrenos naturais (Canal Estuarino e Áreas Vegetadas) em todas as imagens selecionadas.
- e) Edição topológica dos terrenos naturais em todas as imagens selecionadas e avaliação dos diferentes casos de alteração desses terrenos.
- f) Mapeamento e análise das alterações observadas nos terrenos naturais causadas por intervenções antrópicas.
- g) Mapeamento e análise das alterações observadas nos terrenos naturais causadas por processos naturais (processos erosivos e de sedimentação).
- h) Sobreposição espacial dos mapas (anos amostrais) para cálculos das áreas suprimidas ou acrescidas nos terrenos naturais e análise temporal;
- i) Setorização da área de estudo tendo como base as atividades portuárias e urbanas, para a caracterização detalhada das alterações espaço-temporais.
- j) Cálculo das variações de área atribuídas a intervenções antrópicas (grau de antropização) e a processos naturais.
- k) Avaliação das tendências ao longo do tempo e interpretações quanto às possíveis causas.

A caracterização das atividades portuárias apresentadas foi elaborada com base na Carta de Atividades Portuárias do Porto Organizado de Santos e de vistorias de campo.

Para a elaboração da retroanálise foram selecionados 5 conjuntos de produtos de sensores remotos, a saber: fotografias aéreas de 1962, 1994, ortofotos de 2001, e imagens de satélite de 2009 e 2011 (ambas do satélite Quickbird).

3.2.3. Considerações

Este estudo permitiu a identificação de marcos temporais de alterações ambientais devido a intervenções antrópicas na região do Estuário de Santos, com ênfase nos últimos 50 anos. Estes marcos são importantes para compreender como essas alterações afetam ou afetaram as praias da região, em especial quanto aos fenômenos erosivos da Ponta da Praia de Santos.

Cabe ressaltar, no entanto, que independente do nível de detalhamento do estudo, não é possível determinar com exatidão como e quando as intervenções antrópicas afetaram as praias da região.

As intervenções anteriores aos anos de 1960, *datum* de referência deste estudo, foram interpretadas com base em acervo bibliográfico, documentos e mapas históricos, e fotografias antigas disponíveis na *web*.

Os últimos 50 anos (1962-2011) foram marcados por diversas intervenções antrópicas na faixa marginal de todo o Canal Estuarino, intervenções estas que se deram na planície costeira (Terrenos com Cobertura Vegetal), nas margens do canal e para dentro do próprio canal.

O período de 1962 e 1994 (3 décadas) foi o mais marcante em termos de alterações da paisagem natural remanescente. A supressão de cobertura vegetal nativa, em sua maioria manguezais, foi de 5,89 km² (área original total de 14,17 km²), dos quais 5,85 km² corresponderam a intervenções antrópicas diretas. O Canal Estuarino (área original total de 21,17 km²) também teve áreas suprimidas, num total de 1,03 km², dos quais 0,78 km² se deveram à construção de obras sobre o canal.

As intervenções antrópicas responsáveis por esses resultados foram:

- Dragagens, aterros (hidráulicos ou não) e obras sobre o canal para a implantação de estruturas portuárias e retroportuárias no Porto Organizado de Santos (e.g. Alemoa-Saboó, Paquetá-Estuário e Conceiçãozinha) e fora dele, para além do limite norte da área de estudo (e.g. Cosipa, Ultrafertil, Dow Química etc.);
- Implantação e/ou ampliação de diversas estruturas de apoio náutico localizadas principalmente ao sul da área de estudo (CING, *Ferry-Boat*, píeres da Marinha, do Clube de Pesca e da Praticagem);
- Novas invasões e adensamento de antigas ocupações sobre grandes áreas de manguezal (Vicente de Carvalho, Vila Lígia e N. Sra. dos Navegantes); dragagem de aprofundamento do canal para a implantação do terminal de Conceiçãozinha.

No período entre 1994 e 2009 as alterações foram bem menores, contabilizando perdas de 0,012 km² de vegetação e 0,23 km² de área do canal. Não foram feitas grandes obras na região. Entretanto, nos dois últimos anos, entre 2009 e 2011, verificou-se um recrudescimento das alterações sobre os terrenos naturais, em grande parte no extremo norte da área de estudo, devido à implantação do Terminal Portuário da Embraport. Mais 0,67 km² de remanescentes florestais foram suprimidos, e mais 0,50 km² de área da superfície do Canal Estuarino foi invadida.

No cômputo geral, entre 1962 e 2011, a área total suprimida (aterrada) do Canal Estuarino foi de 1,73 km², que corresponde a uma redução de 8,17% da área mapeada em 1962. Desse montante, 1,71 km² foram áreas essencialmente ocupadas por estruturas portuárias e de apoio náutico. Os restantes 0,02 km² compreendem áreas suprimidas do canal em função da expansão de planícies de maré/manguezais ao redor da Ilha dos Bagrinhos, fenômeno este provavelmente relacionado a dragagens e aterros hidráulicos ocorridos na região, não descartando as contribuições de outras obras e da própria movimentação de navios e outras embarcações nos terminais portuários particulares localizados a montante dessa área (e.g. Cosipa, Ultrafertil etc.).

Em relação aos Terrenos com Cobertura Vegetal nativa (na maior parte manguezais), no período entre 1962 e 2011 foram suprimidos 6,58 km², que correspondem a 46,44% da área total mapeada em 1962. Desse valor, quase a totalidade (6,577 km²) está associada a processos de antropização.

Entretanto, processos naturais de erosão lateral do canal na região de Torre Grande (Vicente de Carvalho) também contribuíram com essa supressão, destruindo uma área de manguezal de 0,06 km². Este fenômeno pode ter sido desencadeado pelas grandes modificações geradas pela implantação do Terminal de Conceiçãozinha, que incluíram uma dragagem de aprofundamento do local, o avanço de 0,39 km² de estruturas rígidas sobre o canal e a supressão de 2,22 km² de terrenos com cobertura vegetal na planície costeira.

O setor de Conceiçãozinha foi o que apresentou as maiores modificações ambientais observadas na região nos últimos 50 anos, resultando em alterações significativas no Canal Estuarino e na planície costeira. Na sequência vem a Ilha Barnabé, em decorrência da implantação da Embraport.

Em relação à erosão acelerada na Ponta da Praia de Santos, esta parece ter iniciado entre meados da década de 1930 e o início da década de 1940, mas se tornado mais intensa a partir de meados dessa década. Ao que tudo indica, ela foi desencadeada, principalmente pela construção da avenida à beira-mar sobre a própria praia, visto a carência de espaços livres entre as diversas construções existentes ao longo da orla e o mar.

Com o tempo os impactos de outras intervenções na região da Ponta da Praia/entrada do Canal Estuarino foram se somando, dentre elas:

- Destruição de dunas, de depósitos marinhos antigos (cordões litorâneos) e de manguezais (planícies de maré);
- Impermeabilização dos terrenos próximos à linha de costa;
- Alterações na rede de drenagem da planície costeira;
- Aterros e construções de estruturas rígidas transversais e paralelas à linha de costa, nas margens do canal e sobre o mesmo.

Os principais impactos dessas intervenções são a redução do balanço sedimentar costeiro e modificações na hidrodinâmica costeira.

A intensificação da erosão na Ponta da Praia também se deu pelas intervenções no interior do Estuário de Santos, apontadas neste estudo, pois todas, sem exceção, provocaram alterações no balanço sedimentar regional, contribuindo para a redução dos estoques sedimentares das praias da região. Isto porque, do balanço final foram “retirados” grandes volumes de sedimentos do sistema, seja pela sua remoção direta (dragagens), seja pela sua eliminação como fontes de sedimentos em potencial (como os manguezais e os depósitos da planície costeira), causada pela impermeabilização dos terrenos. As antropizações nas margens do Canal Estuarino modificam os processos sedimentares de maneira mais direta, em decorrência de mudanças na hidrodinâmica local. Exemplos claros de ambos os processos são os fenômenos identificados na Ilha dos Bagrinhos e na região da Torre Grande.

Apesar de, no estudo da Variação Espaço-Temporal dos Polígonos Praiais entre 1962 e 2011, concluir-se que a Praia de Santos como um todo parece não ter sido afetada de forma contundente pelas obras de dragagens ocorridas nas décadas de 1960 e 1970, no caso específico da Ponta da Praia, e levando em consideração uma escala temporal de longo termo, todas as intervenções antrópicas observadas podem ser apontadas como potencialmente aceleradoras da erosão observada nesta área da praia.

Em termos regionais, devem ser levadas em consideração outras intervenções que também interferiram no balanço sedimentar das praias das baías de Santos e de São Vicente, tais como: a construção dos canais de saneamento de Saturnino de Brito (segmentaram o arco praiial de Santos e interferiram na dinâmica de circulação costeira); o aterramento da passagem arenosa (tômbolo) entre a Praia do Itararé e a Ilha Porchat em 1944, que provocou a progradação acelerada da Praia do Itararé e o aprisionamento de parte do estoque de sedimentos provenientes das praias e da Baía de Santos; a construção do Emissário Submarino de Santos-São Vicente, em 1973, que segmentou novamente a Praia de Santos, impedindo o trânsito livre de sedimentos entre as praias, o que alterou novamente a dinâmica de

sedimentação de ambos os arcos praias, com efeitos ainda pouco estudados como, por exemplo, os processos ligados à dinâmica de ondas e correntes geradas por elas, o aprisionamento de sedimentos em determinados locais da praia e da baía e modificações no transporte eólico.

Assim, qualquer tentativa de recuperação da Ponta da Praia de Santos e/ou de mitigação dos processos erosivos ali instalados deve levar em consideração a evolução histórica dos fenômenos envolvidos e sua interação com os processos naturais e antrópicos contemporâneos que, juntos, condicionam a dinâmica sedimentar atual desse trecho de praia, bem como de toda a Praia de Santos.

3.3. Análise Histórica dos Registros de Ressacas ocorridas na Região da Baía e Estuário de Santos

3.3.1 Objetivos

O objetivo principal deste estudo foi identificar a ocorrência de eventos de ressaca nos últimos 50 anos, a partir da década de 1960 até agosto de 2011, por meio de levantamentos de notícias veiculadas em jornais (impresso e *online*) e constatações durante atividade de campo, bem como caracterizar as condições de contorno que geraram esses eventos.

Os resultados deste estudo, na íntegra, constam do Anexo 7-3.

3.3.2. Metodologia

Para o resgate histórico da ocorrência de eventos de Ressaca foram consultadas as seguintes fontes de dados:

- a) Banco de dados compilado por Gutjahr (2011), baseado no levantamento de eventos extremos (principalmente escorregamentos e enchentes, mas com algumas indicações da ocorrência de Ressacas), a partir de notícias de jornal existentes no arquivo histórico do Jornal A Tribuna de Santos, compreendendo o período de 1923 a 2010;

- b) Jornal *on line* A Tribuna de Santos (www.tribuna.com.br), cujos registros disponíveis compreendem o período de janeiro de 1998 a dezembro de 2009;
- c) Outros jornais, como Expresso Popular, Jornal da Tarde, Diário do Litoral e D.O. Urgente, também serviram de base para consultas esporádicas e complementares.
- d) Os levantamentos realizados no âmbito do Programa de Monitoramento do Perfil Praial, realizado pelo Porto de Santos em atendimento à Licença de Instalação nº 666/2009 emitida pelo IBAMA que autoriza a dragagem de aprofundamento do Canal de Navegação do Porto de Santos, entre janeiro de 2010 e dezembro de 2011 também serviram como base para a identificação de eventos de Ressaca, embora alguns deles não tenham sido noticiados. Esses eventos foram caracterizados como Ressacas com base em critérios meteorológicos, oceanográficos, bem como geomorfológicos e sedimentológicos da praia. De acordo com esses levantamentos e levando em consideração os dados do “Programa de Modelagem Operacional da Pluma de Sedimentos”, também realizado pelo Porto de Santos em atendimento à Licença de Instalação nº 666/2009, foi postulado que a ocorrência de Ressacas pode ser associada à conjugação dos seguintes condicionantes: atuação de sistema frontal, ondas com altura máxima igual ou superior a 2 m com direções SSW-S-SSE, e ventos com velocidade igual ou superior a 8 m/s (17 nós).

Os descritores de caracterização das condições de contorno de cada evento utilizadas neste estudo são:

- Fase lunar;
- Altura da máxima da preamar;
- Precipitação acumulada de 24 horas;
- Direção e intensidade do vento na região;
- Direção e altura das ondulações na região;
- Anomalias e fenômenos atmosféricos: *El Niño*, *La Niña*;

- Evolução sinótica de eventos específicos.

Considerando o aumento excepcional do número de ressacas na última década e em 2011, e principalmente porque na escala dos processos costeiros o comportamento dos fenômenos na atualidade e nos próximos anos será muito mais semelhante ao comportamento observado na última década, então foram escolhidas 5 Ressacas importantes que ocorreram ao longo dessa década, nos anos de 2001, 2005, 2009, 2010 e 2011, para caracterizar de forma mais detalhada a última década.

Os eventos de 2001, 2005 e 2009 foram escolhidos por representarem o início, o meio e o fim da década de 2000. O ano de 2009 também tem o importante papel de representar um período de “pré-dragagem” de aprofundamento do Canal do Porto de Santos. Os eventos de 2010 e 2011 ocorreram durante o período de obras da dragagem.

3.3.3. Considerações

Este estudo permitiu uma avaliação dos principais eventos de ressacas que ocorreram na região de Santos a partir de 1961 até 2011.

As análises gerais de distribuição dos eventos bem como os parâmetros utilizados, como os descritores das condições de contorno das ressacas, mostraram-se adequados, pois permitiram distinguir eventos anômalos e estabelecer as principais tendências.

O fato das séries antigas de dados meteo-oceanográficos não serem de domínio público, prejudicou um pouco as análises apresentadas aqui. Neste rol estão os parâmetros relacionados às ondas e ventos, cujos dados disponíveis se referem ao período entre 2006 e 2011, embora o número de eventos desse período (41) corresponda a quase a metade do total de eventos. Da mesma forma, a precipitação foi caracterizada para 43 eventos do intervalo entre 1961 e 2004, que também englobam quase a metade do total.

Apesar disso, as tendências obtidas no presente estudo se mostraram compatíveis com outros estudos realizados na região, o que confere certo grau de confiabilidade aos resultados apresentados aqui.

Por outro lado, no que se refere a esses parâmetros oceanográficos e meteorológicos, avaliar a última década foi fundamental, pois, levando em consideração as escalas e a evolução dos processos costeiros, essa década é referência para a compreensão dos eventos atuais e também daqueles que ocorrerão nos próximos anos.

Dentre os 89 eventos catalogados, 67 ocorreram entre 2000 e 2011. Nas décadas anteriores o número máximo foi de 11 ressacas (década de 1980). Na década de 1960 apenas 1 evento foi noticiado; nos anos de 1970 foram 4 eventos e de 1990 outras 6 ressacas. O salto no número de ressacas anuais ocorreu a partir do ano de 1999.

As principais causas para essa explosão de eventos a partir da última década parecem estar mais ligadas a mecanismos e processos naturais associados às mudanças climáticas e à elevação atual do nível relativo do mar. Fatores de ordem sociológica relacionados à percepção do fenômeno e à modernização do sistema de disponibilização da informação, também parecem contribuir com uma pequena parcela dessa explosão.

A distribuição mensal/sazonal dos eventos de ressaca evidenciou maior frequência nos meses de outono-inverno (abril a setembro) (76,4%), corroborando com o período atribuído à “Temporada de Ressacas”. Maio foi o mês que se destacou com o maior número de eventos, seguido de setembro; dezembro foi o de menor ocorrência, assim como todo o verão.

Os resultados obtidos, quando comparados à bibliografia disponível, sugerem que a distribuição sazonal/mensal dos eventos não variou desde a década de 1950, embora o número de ressacas tenha-se elevado muito a partir de 1999.

Também ficou claro que dentre o grande número de eventos de sobrelevação do nível do mar (marés meteorológicas) que ocorrem anualmente na costa de Santos, somente parte deles se torna ressaca, e desta parte, uma

pequena parcela, apenas as mais intensas, acaba afetando de forma mais energética as populações costeiras, quando então se tornam notícias de jornais.

De todos os eventos selecionados para análise de detalhe, alguns chamam a atenção, seja pelo comportamento anômalo em relação aos parâmetros analisados, seja porque o evento causou efeitos não esperados.

A ressaca de 8 de setembro de 2009 se destacou das demais pelas suas condições de contorno pouco comuns a um evento de Ressaca dessa magnitude, que segundo os jornais gerou ondas “gigantes” em Santos. Todos os parâmetros analisados estão fora dos padrões: ondas de SE (único registro na série) com Hs de apenas 2,0 m, altura de maré previsional de apenas 1,30 m, e ventos de N (único registro na série) com velocidade de 8,22 m/s. Ao que parece, o grande empilhamento de ondas na costa pode ter sido provocado por fatores locais, como ventos muito fortes e uma linha de costa já muito vulnerável ao ataque das ondas no momento da ressaca, devido à ocorrência de sucessivas ressacas nos meses anteriores.

A ressaca de 03 de maio de 2011, que também gerou ondas muito elevadas em Santos, esteve associada a ondas com Hs de 5,6 m e direção W, altura de maré previsional de 1,6 m, e ventos com direção S, porém com velocidade de 5,91 m/s, abaixo da média geral. Não houve atuação de sistema frontal na região.

A ressaca de 08 a 10 de abril de 2010 não teve muito destaque na mídia durante a sua ocorrência, porque não foi um evento muito intenso como os acima, embora de mais longa duração (3 dias). Entretanto, como causou erosão acentuada na Ponta da Praia e forte assoreamento nos canais 1, 2 e 3 (assim como a maioria dos eventos de ressaca), acabou despertando a atenção de muitos, por se tratar de um evento que ocorreu em concomitância ao já polêmico início das obras de dragagem de aprofundamento do Canal do Porto de Santos. Nesse evento a altura da maré foi de 1,44 m, as ondas atingiram Hs de 4,19 m, com direção de SSE, e os ventos apresentaram velocidade de 8,22 m/s e direção SSW.

Os resultados mostraram também a ocorrência de um número elevado (11) de ressacas fortes entre janeiro e setembro de 2009, ano anterior ao início das

obras de dragagem de aprofundamento do Canal do Porto de Santos. Essas ressacas sem dúvida afetaram o balanço sedimentar das praias da região, em especial aquelas já com problemas de equilíbrio, como a Ponta da Praia de Santos e a Praia do Góes, áreas que são normalmente as mais afetadas por essas ondas de alta energia.

Então é fácil deduzir que essas praias não tiveram tempo de se recuperar em 2009, ficando assim mais vulneráveis e suscetíveis à erosão, no caso da Ponta da Praia, e ao transporte de sedimentos, no caso da Praia do Góes, quando da primeira ressaca de 2010, ocorrida no dia 17 de março, época em que a dragagem estava apenas começando no trecho 1. Durante todo ao ano de 2010 as fortes ressacas continuaram a ocorrer, com o total de 14 registros, sendo este um ano em que predominaram alturas de ondas de ressaca entre 2,0 e 4,0 m, em combinação com as mais altas velocidades de ventos da série analisada, com média em torno de 8,0 m/s.

Em 2011, embora com os eventos mais fortes concentraram nos meses de março e maio, os efeitos das 5 ressacas registradas até agosto continuaram a ser bastante elevados para essas praias, que se encontravam ainda mais vulneráveis do que antes.

Finalmente, levando em consideração o comportamento das ressacas nas últimas cinco décadas e, em especial, nos últimos 13 anos, bem como os impactos das mudanças climáticas e da elevação atual do nível relativo do mar, não é difícil supor que esses eventos continuarão a acontecer, e de maneira cada vez mais intensa.

3.4. Avaliação dos Processos Erosivos nas Estruturas Urbanas Localizadas entre o Canal 6 e o Ferry-boat

3.4.1 Objetivos

O principal objetivo deste estudo consiste em avaliar as estruturas urbanas presentes na região da Ponta da Praia, tendo como foco os processos atuais de

erosão costeira, em período correspondente à etapa final das obras de dragagem de aprofundamento.

Para tanto, foi estabelecido um monitoramento com abrangência de 6 coletas realizadas nos meses de abril, maio, junho, julho, agosto e novembro de 2011. A importância dos cinco primeiros meses se dá, pelo fato de coincidirem com a temporada anual de ressacas; por outro lado, novembro foi incluído em caráter excepcional, em função da reprogramação da finalização das obras de dragagem de aprofundamento.

Os resultados deste estudo, na íntegra, constam do Anexo 7-4.

3.4.2. Metodologia

A abordagem metodológica foi especialmente desenvolvida para atender às necessidades do presente estudo, sendo baseada na experiência e em conhecimentos prévios da equipe.

Nos dias 3 e 16 de abril de 2011 foram realizadas campanhas prévias de reconhecimento da área de estudo, com o intuito de traçar um plano de trabalho adequado para atingir os objetivos propostos.

A 1ª campanha do monitoramento foi realizada nos dias 17 e 18 de abril de 2011, sob condições de maré de sizígia.

A escolha desta fase de maré se apoiou no fato de haver maior exposição das estruturas urbanas durante as baixamares e maior encobrimento das mesmas nas preamares, esta última ideal para identificação de processos hidrológicos.

Os trabalhos consistiram nos seguintes levantamentos:

- a) Medida do posicionamento geográfico de cada pino monitorado (coordenadas UTM);
- b) Análise das estruturas urbanas presentes na linha de costa, com caracterização dos seus atributos;
- c) Identificação e monitoramento de indicadores de erosão costeira;

- d) Identificação e monitoramento de indicadores de deposição costeira, com descrição e caracterização morfométrica de ambientes deposicionais presentes na base de algumas estruturas urbanas;
- e) Identificação e monitoramento de indicadores de transporte costeiro;
- f) Observações e medições de parâmetros do clima de ondas naturais e induzidas e caracterização das condições meteorológicas no dia do monitoramento;
- g) Estabelecimento de um zoneamento de risco à erosão costeira nas estruturas baseada na distribuição da potência total de ondas que atingem essas estruturas.

Em dias com ocorrência de ressacas fora do período de monitoramento, também foram realizadas vistorias em caráter extraordinário, visando avaliar o comportamento das ondas em relação às estruturas urbanas.

3.4.3. Considerações

Os estudos realizados permitiram uma avaliação detalhada das estruturas urbanas localizadas entre ao *Ferry Boat* e a Ponta da Praia, no que se refere à ocorrência de processos erosivos e suas causas em escala temporal recente.

Não foram constatados indícios de que as obras de dragagem estejam acelerando esses processos, os quais já estavam em curso há algumas décadas, mais especificamente, desde 1940.

O muro de contenção se manteve relativamente estável durante o período de monitoramento, não ocorrendo grandes modificações estruturais desde a primeira aferição da Codesp, realizada em agosto de 2010. Estas ocorreram apenas localmente, provavelmente em decorrência da ressaca que aconteceram em 3 e 4 de maio de 2011.

A maioria dos indicadores de erosão identificados na área é mais antiga que o período da dragagem e não apresentaram alterações que possam ser relacionadas a impactos causados pelas obras de dragagem de aprofundamento. Os indicadores mais recentes surgiram após eventos de ressacas.

Também não foram observadas variações significativas nos depósitos sedimentares que afloram na base do muro de contenção nos trechos mais internos do canal.

A atuação das embarcações na geração de ondas induzidas, de caráter erosivo e deposicional ao longo do Canal, foi um ponto de destaque. Estas, embora possuam clima de ondas diferenciado em relação às ondas naturais, mostraram determinados padrões, revelando um comportamento não caótico. Os resultados obtidos para a Potência total dessas ondas evidenciaram uma relação direta com os tipos de linha de costa observados na área (depósitos, plataformas e anteparos). Dependendo do local, elas podem apresentar potências tão elevadas quanto algumas ondas de ressaca. Foi constatado que elas têm influência nos processos de deposição e erosão, podendo ser apontadas como agente morfodinâmico importante na manutenção dos depósitos sedimentares mapeados. Portanto, seu comportamento deve ser considerado em qualquer projeto de engenharia costeira.

As ondas naturais, ao contrário das induzidas, desempenham papel mais importante apenas nas áreas mais próximas à desembocadura do Canal Estuarino, entre a Ponta da Praia e as proximidades do Mirante. Essas ondas são responsáveis pela presença de uma zona de divergência de células de deriva litorânea normalmente localizada no trecho entre os pontos P29 (em frente à Rua Afonso Celso) e P31 (em frente à Rua Carlos de Campos), mas que se desloca para o interior do Canal durante as ressacas, até provavelmente o ponto P28 (Deck do Pescador). Esse comportamento explica a forte erosão nas estruturas urbanas (mesmo com a “proteção” do anteparo alto de blocos rochosos), bem como as frequentes inundações costeiras nessa área durante as ressacas.

As ondas de ressaca, como esperado, apresentaram alturas e potências elevadíssimas, as quais podem ser até 10 vezes superiores às obtidas para as ondas naturais. A influência dessas ondas é sentida até o ponto P23 (Restaurante Píer 1), enquanto que em condições de tempo bom ela não ultrapassa o ponto P25 (Mirante), onde se inicia o anteparo alto de blocos rochosos.

A predominância das classes de Risco Muito Alto (66,7%) e Alto (33,3%) no trecho entre a Ponta da Praia e o Píer da Praticagem aponta para a necessidade

de intervenções para que, antes de tudo minimizem as causas dessa erosão acelerada, de preferência com medidas que não envolvam novas obras rígidas e/ou avanços sobre o Canal Estuarino. Neste sentido, as várias estruturas rígidas presentes ao longo do canal, como o próprio muro de contenção, as plataformas de concreto, as rampas de acesso à praia/linha de costa, as estruturas de apoio náutico/pesca e os anteparos de pedras, já compõem um conjunto nocivo de superfícies refletoras de energia das ondas que prejudicam a fixação de sedimentos junto à linha de costa.

Os trechos sob Risco Médio de erosão devem ser manejados adequadamente para não haver aumento da intensidade do risco. A manutenção dos depósitos sedimentares presentes nessas áreas deve ser prioritária, pois eles protegem as estruturas urbanas e dissipam a energia das ondas.

3.5. Caracterização do Transporte Sedimentar no Setor Nordeste da Baía de Santos

3.5.1 Objetivos

O objetivo deste estudo é caracterizar a distribuição textural e química e o transporte residual dos sedimentos de superfície de fundo da área de estudo, de maneira a avaliar se as obras de dragagem de aprofundamento influenciaram ou estão influenciando nos processos costeiros recentes na Praia do Góes e na Ponta da Praia.

Os resultados deste estudo, na íntegra, constam do Anexo 7-5.

3.5.2. Metodologia

3.5.2.1 Coleta de campo

A malha amostral é composta por 17 transectos e 128 pontos de coleta de amostras, sendo 8 transectos com um total de 52 amostras no Setor Góes, e 9

transectos com um total de 76 amostras no Setor Ponta da Praia (Figura 3.5.2.1-1).

A distribuição espacial dos transectos se deu em função da necessidade de se compreender mais amplamente os processos erosivos da Ponta da Praia (segundo o Programa de Monitoramento do Perfil Praial, realizado pelo Porto de Santos em atendimento à Licença de Instalação nº 666/2009 emitida pelo IBAMA, que autoriza a dragagem de aprofundamento do Canal de Navegação do Porto de Santos, a erosão em Santos começa a partir do Canal 4) e a mobilização de sedimentos ocorrida na Praia do Góes (Souza, 2011). Também contou com o apoio de imagens do sonar de varredura lateral (*Side Scan*) executadas em parte da área de estudo, e dos resultados dos levantamentos batimétricos e do monitoramento das estruturas urbanas entre a Ponta da Praia e o *Ferry-Boat* (estudo “*Avaliação dos Processos Erosivos nas Estruturas Urbanas Localizadas entre o Canal 6 e o Ferry-boat*”).

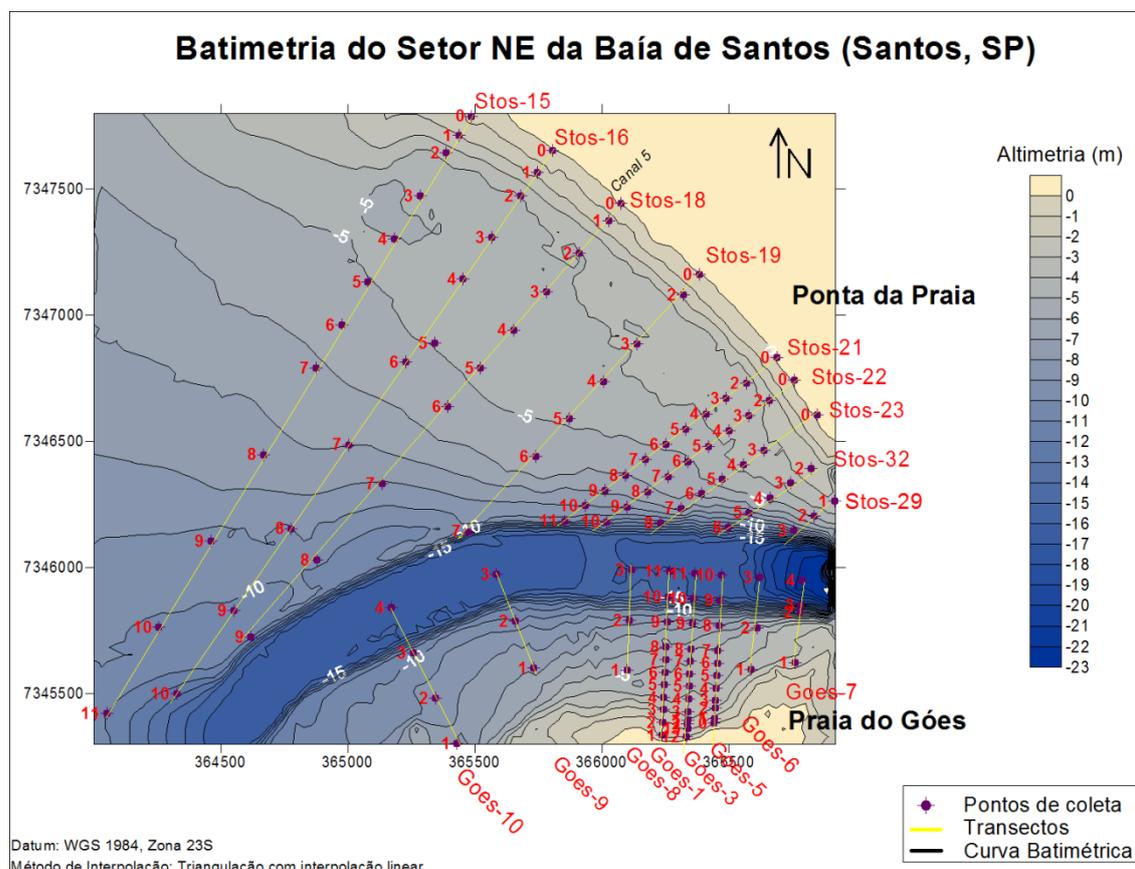


Figura 3.5.2.1-1. Batimetria e malha amostral de sedimentos de superfície de fundo.

Assim, a malha amostral apresenta a seguinte distribuição:

- 4 transectos entre o Canal 4 e o Canal 6 (Transectos 15, 16, 18 e 19), totalizando 40 pontos (amostras), equidistantes em 200 m, entre a linha de costa e a isóbata de 5 m, e em 400 m, entre a isóbata de 5 m e o canal de navegação/isóbata de 10 m;
- 5 transectos entre o Canal 6 e a área próxima ao Píer do Pescador/Instituto de Pesca (Transectos 21, 22, 23, 29 e 32), totalizando 36 pontos equidistantes em 100 m;
- 3 transectos entre a Ponta dos Limões e a entrada NW da Enseada do Góes (Transectos 8, 9 e 10), totalizando 10 pontos de coleta equidistantes em 200 m;
- 2 transectos localizados entre a entrada NE da Enseada do Góes e a Fortaleza da Barra, de totalizando 7 pontos equidistantes em 200 m (Transecto 6) e em 100 m (Transecto 7);
- 3 transectos no interior da Enseada do Góes (Transectos 1, 3 e 5), totalizando 35 pontos equidistantes em 50 m (entre a linha de costa e a isóbata de 5-6 m) e em 100 m (a partir dessa profundidade até o centro do canal de navegação).

A identificação dos transectos segue a mesma numeração dos pontos de monitoramento do Programa de Monitoramento do Perfil Praial, realizados mensalmente nas praias (Transectos 1, 3, 5, 15, 16, 18, 19, 21, 22 e 23). Os Transectos 29 e 32 estão associados a pontos de monitoramento alocados na mureta da praia no âmbito do estudo “*Avaliação dos Processos Erosivos nas Estruturas Urbanas Localizadas entre o Canal 6 e o Ferry-boat*”. Os demais transectos foram numerados sequencialmente a partir dos transectos do Setor Góes.

Os trabalhos de coleta de sedimento de superfície de fundo foram realizados à bordo da embarcação Fortaleza I, do tipo catraia. As amostragens foram realizadas com auxílio de um pegador de fundo do tipo *Van Veen*, de um GPS para averiguar o posicionamento espacial de cada ponto previamente estabelecido, e de uma ecossonda de bordo para a obtenção da profundidade

relativa nos pontos de coleta e controle do perfil batimétrico de fundo ao longo de cada transecto.

Nas profundidades inferiores a 2 m, onde, por questões de segurança a embarcação não podia navegar, os trabalhos foram realizados por meio de mergulho livre, orientados por balizamento a partir do perfil praiado emerso correspondente, cuja orientação é a mesma do transecto, e localização do ponto pré-estabelecido por meio de GPS.

Os trabalhos ocorreram nos dias 19 e 20 de outubro de 2011, em fase de maré de quadratura e condições de tempo bom, e em concomitância com o monitoramento do perfil praiado mensal. As coletas foram realizadas entre as 8h30 e as 16h30 de cada dia. Não foram efetuadas as correções em relação aos dados de maré real, dada a inoperância dos marégrafos locais.

Os sedimentos foram mantidos sob refrigeração (caixa térmica com gelo) até a chegada aos laboratórios de análise granulométrica e química.

3.5.2.2 Análise Textural e Química dos Sedimentos

As amostras foram analisadas conforme descrito em Suguio (1973), e com eliminação prévia do carbonato biodetrítico. As análises químicas compreenderam a obtenção dos teores de carbonato de cálcio (calcário biodetrítico) e matéria orgânica (Suguio, 1973).

A partir dos resultados das análises texturais foram obtidos os parâmetros estatísticos texturais de Folk & Ward (1957), diâmetro médio, desvio padrão, assimetria e curtose, por meio do *software* ANASED 1.0.

3.5.2.3 Modelagem de Tendência do Transporte Sedimentar

No presente estudo foram testados os métodos de: GSTA (Gao & Collins, 1991, 1992; Gao, 1996), a modificação do GSTA implementada por Asselman (1999) e Poizot *et al.* (2006), GSTAST (Chang *et al.*, 2001) e TRANSVEC (Le Roux, 1994a, 1994b).

Neste estudo, foram realizados diversos testes empíricos e ajustes para a seleção dos modelos mais aplicáveis. Estes foram então comparados com os modelos desenvolvidos no âmbito do estudo “*Avaliação da Estabilidade do Talude do Canal de Navegação e Modelagem Morfodinâmica na Baía de Santos*”.

3.5.3. Considerações

O estudo das características texturais e químicas dos sedimentos de fundo, bem como a aplicação de métodos de tendência de transporte sedimentar residual, baseados nas características texturais desses sedimentos, se mostraram ferramentas úteis para a compreensão dos processos sedimentares atuantes no prisma emerso das praias, bem como puderam ajudar na avaliação dos possíveis impactos atuais e futuros das obras de dragagem de aprofundamento no fundo marinho e nas praias.

Algumas conclusões são destacadas a seguir.

- O perfil de fechamento da Praia do Góes se encontra entre 3,5 e 4,5 m de profundidade.
- Na área frontal à Enseada do Góes a borda do novo Canal de Navegação está entre 5,60-6,60 m de profundidade, o que fragiliza a Praia do Góes, deixando-a vulnerável caso haja erosão na borda do talude.
- No Setor Góes, a distribuição caótica dos valores dos parâmetros texturais observadas apenas no interior da Enseada do Góes (até 4,00 de profundidade) e as relativamente menores correlações dos mesmos com a profundidade, refletem instabilidade sedimentar atual e processos internos independentes das obras de dragagem, mas certamente relacionados com o processo de transporte de sedimentos identificado no perfil emerso da praia (sendo que a granulometria dos sedimentos do perfil submerso mostrou-se diferente do emerso, evidenciando que essas areias são trazidas de fora durante os regimes de ondas mais intensos, como as ressacas).

- A ocorrência de uma estreita faixa contínua de depósitos anômalos e idênticos entre si, localizada no centro da Enseada do Góes, entre as profundidades de 1,70 e 2,20 m, e sem associação a qualquer anomalia batimétrica, indica a presença de uma superfície provavelmente relictas, exposta pela erosão superficial associada ao processo de transporte de sedimentos citado pela consultora.
- O perfil de fechamento da Praia de Santos, entre o Canal 4 e a Ponta da Praia (transectos Stos 15 a Stos 23), está entre 5,00 e 7,00 m de profundidade.
- A presença de areias muito finas nos transectos Stos 29 e 32, até profundidades de 8,00 m, indica o transporte dessas da Praia de Santos para o interior do Canal Estuarino.
- As características texturais em alguns pontos (transectos Góes 9, 10) da borda do canal sugerem impactos das obras de dragagem associados ao corte de depósitos antigos e escorregamentos no talude.

Em relação ao transporte residual (modelos GSTA e TRANSVEC), destacam-se três importantes mecanismos, comuns aos dois modelos utilizados:

- Na área entre o Canal 5 até a Ponta da Praia, a fuga de sedimentos da praia para as maiores profundidades e em direção ao Estuário, pode explicar a erosão acelerada que vem sendo observada nesse trecho da Praia de Santos.
- As direções de transporte (longitudinal para leste, costa adentro) identificadas na Praia/Enseada do Góes integram os fatores necessários para desencadear o mecanismo natural de mobilização de sedimentos, iniciado entre fevereiro e março de 2010, após um ano de muitas ressacas como foi 2009.
- Os transportes costa-afora a partir da isóbata de 6 m e para dentro do Canal de Navegação indicam fuga de sedimentos da área contígua à Enseada do Góes. Como a borda do novo Canal de Navegação está entre

5,60-6,60 m de profundidade, essa fuga de sedimentos pode ser considerada um impacto da obra de dragagem de aprofundamento.

Os resultados desses modelos corroboram com aqueles apresentados pela modelagem feita no âmbito do estudo “*Avaliação da Estabilidade do Talude do Canal de Navegação e Modelagem Morfodinâmica na Baía de Santos*”.

De acordo com os estudos, as bordas do novo Canal de Navegação estão em profundidades em torno de apenas 1,50 a 2,00 m abaixo dos limites de profundidade de fechamento das praias de Santos e do Góes. Portanto, fica o alerta que, em período futuro os reajustes dos processos erosivos que estão em curso nessas áreas de borda de canal poderão se intensificar e levar à interceptação da base do perfil praiial (profundidade de fechamento) e, então, desencadear e/ou aumentar os processos erosivos nessas praias. Neste sentido, a Praia do Góes é a mais vulnerável.

3.6. Avaliação da Estabilidade do Talude do Canal de Navegação e Modelagem Morfodinâmica na Baía de Santos

3.6.1. Objetivos

Este estudo, por meio da investigação dos processos erosivos na Ponta da Praia, na Praia do Góes e na Barra do Canal do Porto de Santos – SP tem como objetivo principal verificar se a dragagem de aprofundamento do canal do porto interfere nos processos de transporte de sedimento nessas regiões em foco.

Este estudo também procurou investigar as alterações no clima de ondas devido ao aprofundamento do canal, a estabilidade do talude do canal e as possíveis alterações no transporte de sedimento na região da Ponta da Praia e Praia do Góes.

Os resultados deste estudo, na íntegra, constam do Anexo 7-6.

3.6.2. Metodologia

A área de interesse para o presente projeto é a Ponta da Praia de Santos e a praia do Góes (Guarujá), conforme apresentado na (Figura 3.6.2-1).



Figura 3.6.2-1 - Localização das principais áreas de interesse, Ponta da Praia de Santos e Praia do Góes (Guarujá).

Visando atender o objetivo proposto, um conjunto de levantamentos de dados e modelagens computacionais foram realizados. Este capítulo descreve sucintamente as metodologias utilizadas para os levantamentos geofísicos e geotécnicos, a coleta de dados de ondas e o desenvolvimento da modelagem integrada (hidrodinâmica, onda e transporte de sedimentos) para compreensão dos processos oceanográficos na região.

Coleta de dados de ondas

A coleta de dados de ondas foi realizada pelo período de 6 meses, com início em 18 de janeiro de 2011 e término em 18 de julho de 2011. A localização de fundeio do equipamento de aquisição de dados, ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) foi: 24°00'21.51''S e 46°20'21.77'' W (*datum* WGS 84,

Figura 3.6.2-2). Os dados de onda coletados forneceram uma análise do clima de onda na região conforme apresentado nos resultados (Anexo 7-6).

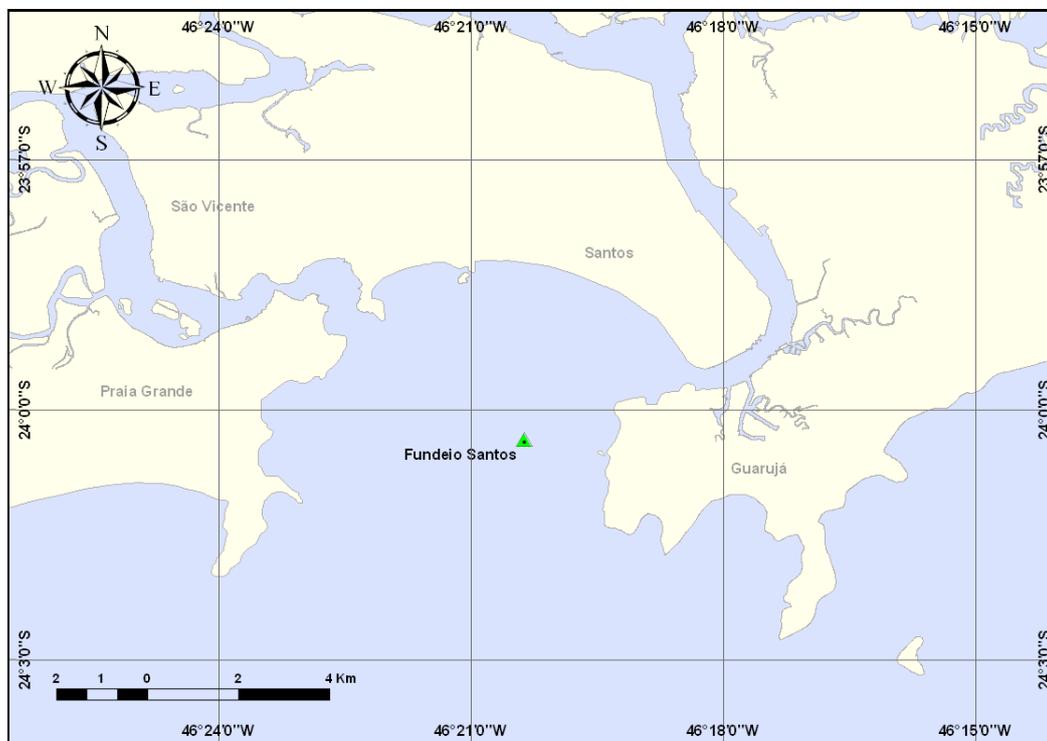


Figura 3.6.2-2 - Localização do ponto de fundeio do ADCP na Baía de Santos, coordenadas 24°00'21,51''S e 46°20'21,77''W – WGS 84.

Levantamentos geofísicos

Durante o trabalho de campo, entre 11 e 13 de maio de 2011, foram realizados 130 km lineares de perfis distribuídos na área de estudo, com a utilização de um sonar de varredura lateral, um sistema de perfilagem sísmica contínua multifrequencial (com *boomer* e dois *chirps*) e um ecobatímetro de dupla frequência, sendo a coleta de dados simultânea, ou seja, estavam em operação: um sonar de varredura lateral (100 e 500 kHz), um *chirp* 2-8 kHz, um *chirp* 10-18 kHz e um *boomer* (500-2000 kHz).

A localização da área de investigação foi definida de acordo com a área em estudo. O posicionamento dos perfis acústicos levantados na área de interesse (Figura 3.6.2-3) foi gerenciado por um DGPS (*Differential Global Positioning System*) com correção em tempo real, e o *software* Hypack, versão 2009.

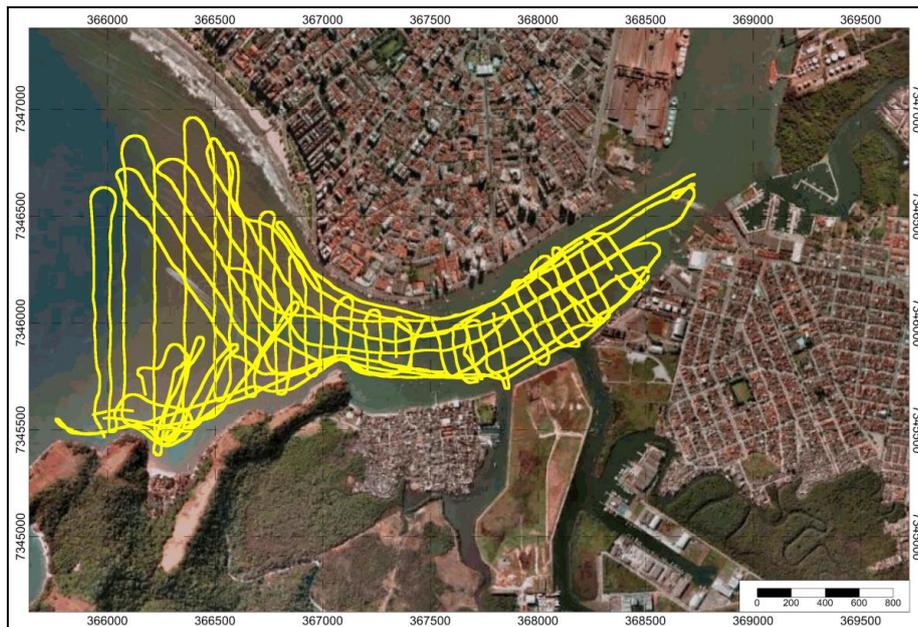


Figura 3.6.2-3 - Localização dos perfis geofísicos (em amarelo) executados na área em estudo.

Caracterização da sequência sedimentar

A caracterização do pacote de sedimentos que recobre a área de estudo (Canal do Porto de Santos, entre o *Ferry-boat* e a Barra) forneceu os dados necessários para a determinação da capacidade de estabilização do talude entre o canal de navegação e o limite lateral formado pelos muros e avenida da região da Ponta da Praia.

Para a definição da estabilidade do talude foi necessário caracterizar a sequência sedimentar, desde o fundo atual, até profundidades ligeiramente maiores do que a profundidade de aprofundamento do canal. Esta caracterização implicou na execução de um conjunto de sondagens à percussão, com amostragem do tipo *Shelby*, quando também se obtém os ensaios de SPT (*Standard Penetration Test*), associadas aos ensaios geotécnicos *in situ*, do tipo *Vane Test* ou ensaio da palheta, para determinação da resistência ao cisalhamento de sequências de argilas moles, já detectadas na área por levantamento geológico/geotécnicos anteriores.

Foram realizadas 3 (três), sondagens à percussão e 10 (dez) ensaios de palheta – *Vane Test*) nas margens do canal de acesso ao porto, no lado de Santos (Figura 3.6.2-4).



Figura 3.6.2-4 - Posicionamentos das sondagens à percussão.

As sondagens foram executadas a partir de um amostrador cravado por meio de golpes de um martelo de 65 kg em queda livre de 75 cm. Durante o ensaio foi registrado o número de golpes necessários à penetração de cada 15 cm da camada investigada, além da observação das características do solo trazido pelo amostrador.

Modelagem integrada (hidrodinâmica, ondas, transporte de sedimentos/morfodinâmica costeira)

Para a realização da modelagem hidrodinâmica e de ondas foram implementadas duas grades numéricas para cada modelagem com o compromisso de representação dos processos dinâmicos do sistema, considerando os recursos computacionais e o tempo de processamento necessário. Uma primeira grade, abrangendo a parte costeira da Baía de Santos

e todo o estuário santista, e uma segunda grade, menor e mais resolvida, focando o local de estudo, Ponta da Praia e Praia do Góes (Figura 3.6.2-5).

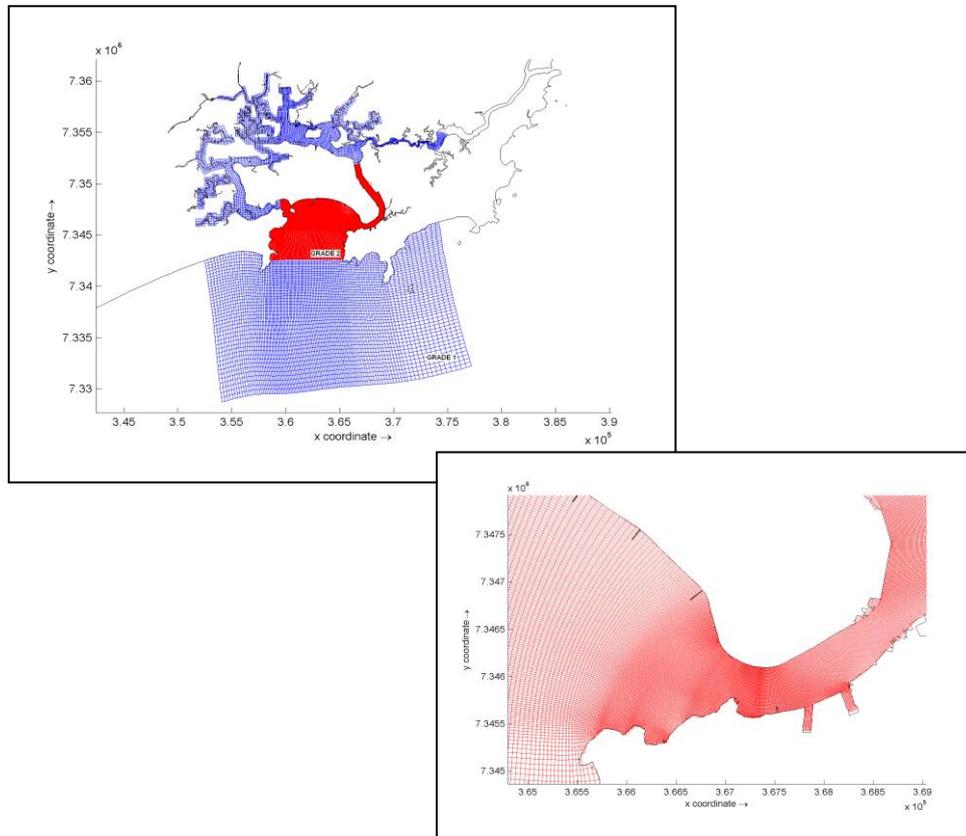


Figura 3.6.2-5- Baía de Santos e plataforma adjacente (SP) com grade computacional (numérica) hidrodinâmica implementada ao sistema de modelos Delft3D.

Os dados de profundidade utilizados na modelagem são provenientes das cartas náuticas da DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha) números 1.701 e 1.711, dados batimétricos fornecidos pela CODESP e dados de batimetria coletados com DGPS acoplado a um *jet ski* na zona de surfe e com DGPS na porção emersa da Ponta da Praia e da Praia do Góes, além de dados de batimetria coletados com ecobatímetro na região da Ponta da Praia, canal do Porto e Praia do Góes. Os resultados da interpolação realizada no modelo Delft3D para realização de levantamentos batimétricos pré e pós-dragagem (com DGPS – *jet ski* e na porção emersa das praias, com ecobatímetro e fornecidos pela CODESP) podem ser observados nas Figuras 3.6.2-6 e 3.6.2-7.

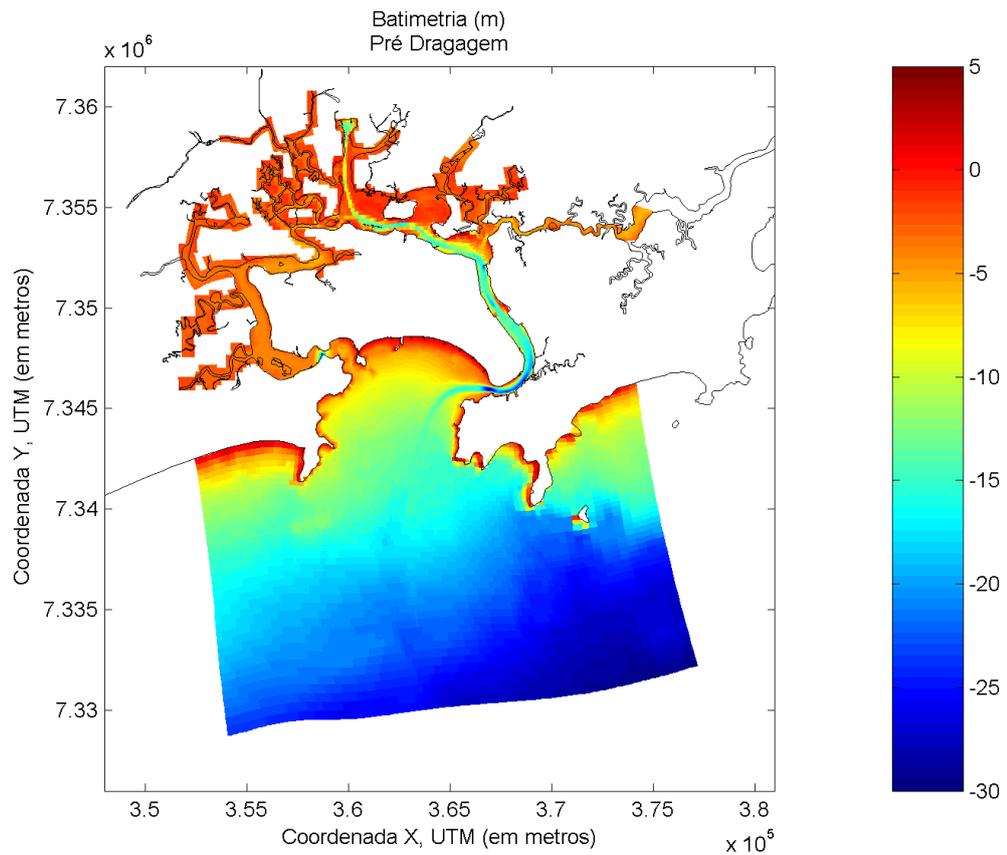


Figura 3.6.2-6 - Batimetria da região de Santos. A profundidade no canal neste caso é a anterior ao início da dragagem de aprofundamento do Canal.

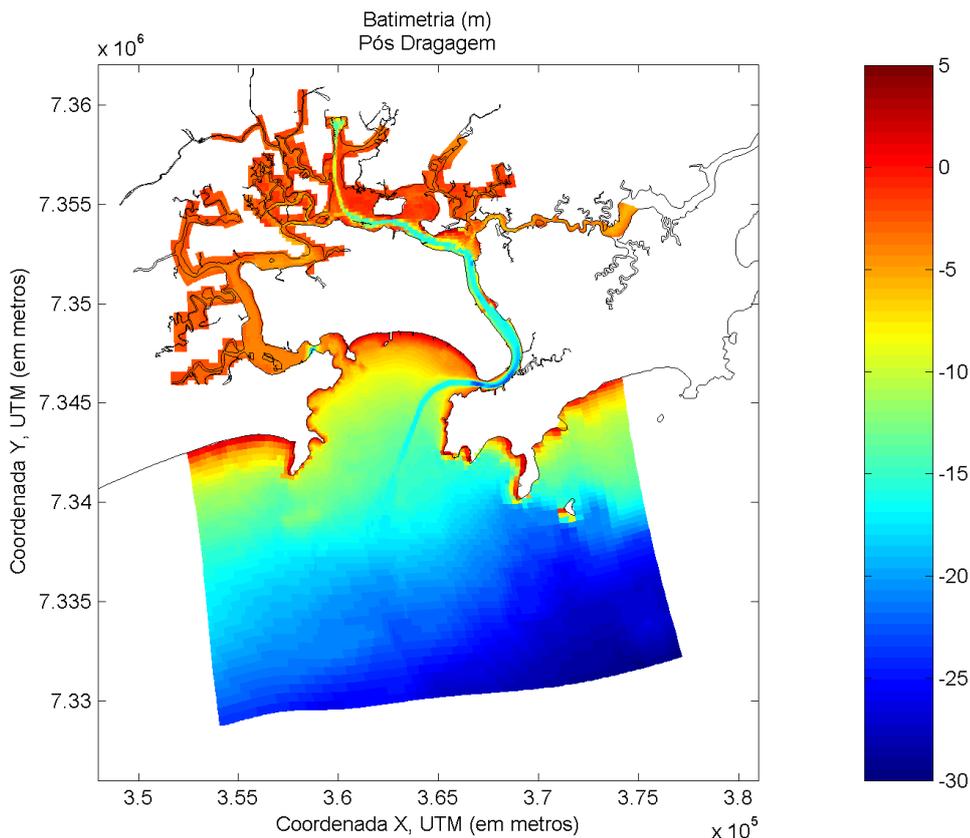


Figura 3.6.2-7 - Batimetria da região de Santos. A profundidade no canal neste caso é a batimetria que será atingida após a dragagem de aprofundamento do canal.

A etapa de modelagem hidrodinâmica, de ondas e de transporte de sedimentos, foi realizada utilizando-se o sistema de modelos Delft3D, através de seus principais módulos: hidrodinâmico (Delft3D-FLOW), de onda (Delft3D-WAVE) e geomorfológico (Delft3D-SED).

A modelagem de ondas no sistema Delft3D é realizada através do SWAN - *Simulating Waves Nearshore* (Holthuijsen *et al.*, 1993; Booij *et al.*, 1999; Ris *et al.*, 1999). O SWAN é baseado na equação de balanço da ação espectral discreta, e é totalmente espectral (em todas as direções e sentidos).

Para os cálculos de transporte de sedimentos e de mudanças morfológicas, a modelagem adotada considera as características do fundo, assim como a concentração de sedimentos em suspensão.

Para analisar o possível impacto causado pelo aprofundamento do canal do Porto de Santos, foram realizadas as seguintes etapas:

- Análise de 10 anos de modelagem do clima de ondas da região;
- Simulações, de curto período, com os climas de ondas mais frequentes;
- Simulações dos eventos extremos.

Através da análise dos 10 anos de clima de ondas da região foi possível identificar se o ano de 2010, ano de início da dragagem, foi um ano atípico, além de obter os climas de ondas mais frequentes (entende-se por clima de onda a altura, período e direção da onda).

Como os eventos extremos apresentaram frequência de ocorrência muito baixa, esses foram analisados separadamente, identificando-se as possíveis influências no clima de onda e alterações no transporte de sedimento.

3.6.3. Considerações

Os resultados obtidos nesse estudo (Anexo 7-6) permitiram um maior conhecimento da região da Ponta da Praia e Praia do Góes com relação às características texturais espaciais e geotécnicas dos sedimentos existentes nessas áreas, para identificação da estabilidade do talude do canal e caracterização da região, servindo como dados de entrada para a modelagem morfodinâmica.

A união da caracterização sedimentar e geotécnica com os resultados das sondagens e dos ensaios geotécnicos executados para os sedimentos obtidos ao longo dos perfis de sondagem indicaram a presença de areias e lamas fluviolagunares, holocênicas.

A interpretação e correlação dos levantamentos geofísicos e geotécnicos realizados entre a balsa e o Canal 6 confirmam a estabilidade dos taludes pós-aprofundamento, mesmo frente aos processos de dragagem. Porém, qualquer obra de engenharia costeira que possa implicar em sobrecarga sobre as sequências sedimentares identificadas, deve considerar a possibilidade de adensamento diferencial das camadas argilo-siltosas que poderá gerar em instabilização dos atuais taludes.

Os dados obtidos com o ADCP (coleta de dados de ondas) indicaram a predominância das ondas variando entre o quadrante sudeste e sudoeste devido, principalmente, à configuração geográfica da Baía de Santos. As alturas de ondas, na maior parte do tempo, apresentaram altura significativa inferior a 1 metro. Durante os 6 meses amostrados, de janeiro a julho de 2011, foi observado que no mês de maio ocorreram as maiores alturas significativas de ondas, durante um evento de frente fria, atingindo alturas em torno de 4,0 m na última semana do mês.

Os resultados da modelagem de ondas indicaram uma intensificação no padrão de propagação das ondas após o aprofundamento do canal. O padrão de incidência das ondas não apresentou alteração na Praia de Santos, no meio da praia as ondas apresentam menor altura se comparadas com a Ponta da Praia, independente do processo de dragagem; este processo apenas foi intensificado conforme demonstram os resultados. Na Praia do Góes o padrão de incidência das ondas também não apresentou alteração, houve aumento na altura de onda ao longo de toda a praia.

Analisando os resultados de transporte de sedimento, para a região da Ponta da Praia observa-se que, para as ondas de menores alturas, a diferença no transporte de sedimento é muito pequena podendo ser desconsiderada. Contudo, o transporte tende a ser maior e significativo nos eventos extremos, sendo possível observar as diferenças na magnitude do transporte de sedimento.

Para Praia do Góes observa-se uma maior influência no transporte de sedimento devido ao aprofundamento do canal quando comparado com a Ponta da Praia. Com o aumento da altura das ondas incidentes na praia, a capacidade de transporte da corrente de deriva também aumentou, favorecendo um maior transporte de sedimento do canto esquerdo da praia para o direito (região do píer).

Conclui-se assim que, tanto para Ponta da Praia quanto para praia do Góes, o aprofundamento do canal não foi o fator determinante dos processos erosivos e deposicionais observados. A dragagem intensificou o transporte de sedimentos na Ponta da Praia, sendo marcante esta alteração durante eventos extremos; e para a Praia do Góes o aprofundamento do canal intensificou o processo natural de

transporte de sedimentos (promovendo a mobilização do sedimento do canto esquerdo para o canto direito), sendo um dos fatores importantes no assoreamento da região do píer.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

À luz dos estudos realizados, são apresentadas a seguir perguntas e respostas objetivas sobre o tema, de maneira a facilitar o entendimento dos resultados obtidos:

- 1) Os estudos realizados indicaram que a dragagem de aprofundamento do canal alterou o padrão de ondas na região da entrada do canal de Santos?
Sim.
- 2) Os estudos mostraram que as praias de Santos vêm sofrendo processos erosivos e de assoreamento nas últimas décadas?
Sim.
- 3) O padrão de ondas identificado alterou significativamente o transporte de sedimento na região da Ponta da Praia?
Não.
- 4) A dragagem de aprofundamento do canal de navegação do Porto de Santos contribuiu significativamente com o processo de erosão da Ponta da Praia?
Não.
- 5) Existem diferentes fatores influenciando a erosão na Ponta da Praia?
Sim.
- 6) O processo de erosão na Ponta da Praia é diretamente influenciado pelas ressacas?
Sim.
- 7) O processo de erosão na Ponta da Praia pode ter sido iniciado com a urbanização da orla?
Sim.

8) Caso a obra de aprofundamento não tivesse ocorrido, os processos de erosão atuais na Ponta da Praia estariam acontecendo?

Sim.

9) As ressacas contribuem com os danos no balaustre da mureta?

Sim.

10) A dragagem de aprofundamento do canal de navegação causou recalque na mureta?

Não.

11) Os estudos realizados indicaram que a dragagem de aprofundamento do canal alterou o padrão de ondas na Praia do Góes?

Sim.

12) Os estudos mostraram que a Praia do Góes vem sofrendo alterações nos processos erosivos e de assoreamento nas últimas décadas?

Sim.

13) O padrão de ondas identificado alterou o transporte de sedimento na Praia do Góes?

Sim.

14) O assoreamento (processo deposicional) observado no canto leste da Praia do Góes foi causado pela dragagem de aprofundamento do canal de navegação do Porto de Santos?

Não.

15) A dragagem de aprofundamento do canal de navegação do Porto de Santos foi o principal fator do forte processo deposicional observado no canto leste da na Praia do Góes?

Não.

16) Existem outros fatores que contribuem com o processo de erosão e assoreamento na Praia do Góes?

Sim.

17) A Praia do Góes já apresentou, no passado outros processos de assoreamento no canto leste, semelhante ao observado atualmente?

Sim.

18) Existem registros que comprovam que a Praia do Góes já apresentou, nas últimas décadas, processo de assoreamento no canto leste, semelhante ao observado atualmente?

Sim.

19) O atual processo de assoreamento no canto leste da Praia do Góes manifestou-se antes do aprofundamento do canal de navegação?

Sim.

20) São necessários novos estudos para quantificar se o processo de assoreamento na Praia do Góes foi intensificado com o aprofundamento do canal de navegação do porto de Santos?

Sim.

21) As ressacas contribuem para o processo de erosão e assoreamento observados na Praia do Góes?

Sim.

22) Os dois últimos anos apresentaram número e intensidade de ressacas acima da média?

Sim.

23) Existem estruturas urbanas na Praia do Góes que interferem no processo de transporte de sedimento?

Sim.

24) Há evidências de danos em construções localizadas na Praia do Góes, provocadas por ondas, antes da dragagem de aprofundamento?

Sim.

25) O estudo realizado dá indicações de obras de mitigação a serem realizadas?

Não.

26) São necessários estudos complementares para definição do tipo de obras a serem executadas para atenuação dos processos de erosão e assoreamento?

Sim.

27) Há necessidade de continuidade do monitoramento para definição das tendências de erosão e assoreamento na Praia do Góes?

Sim.

28) Existem diferentes fatores influenciando a erosão na Praia do Góes?

Sim.

29) O processo de erosão na Praia do Góes é diretamente influenciado pelas ressacas?

Sim.

30) O processo de assoreamento na Praia do Góes pode ter sido iniciado com a urbanização de sua orla?

Sim.

31) São necessários estudos complementares para verificar a possibilidade de impactos futuros das obras de dragagem de aprofundamento na Praia do Góes, na Ponta da Praia e nas estruturas urbanas na entrada do canal de Santos?

Sim.

5. CONCLUSÕES

Os estudos mostraram que desde meados da década de 1930 e início da década de 1940, já se observava um processo erosivo na Ponta da Praia, provavelmente iniciado com a construção da avenida à beira-mar sobre a praia, que então circundava toda a borda da desembocadura do estuário, no lado de Santos.

A partir dessa década o desenvolvimento urbano levou a diversas intervenções antrópicas na região, como: construções de estruturas rígidas a beira-mar (sobre a pós-praia) e ao longo do canal estuarino, aterros sobre o canal, supressão de manguezais, modificações na rede de drenagem, impermeabilização de terrenos próximos à linha de costa, retirada de areia das praias e dragagens no canal de navegação. Os impactos destas intervenções, somadas a processos naturais, como o aumento da frequência e da intensidade de eventos extremos, como as ressacas, na última década, causaram o desequilíbrio no balanço e no transporte sedimentar na Ponta da Praia, resultando na intensificação dos processos erosivos já existentes.

Na praia do Góes, intervenções antrópicas ocorridas na década de 2000, em especial a supressão de parte da pós-praia, com a construção de muros de contenção e moradias, alteraram o transporte residual de fundo, favorecendo o assoreamento acentuado de sedimentos observado nessa praia, bem como o intenso assoreamento sobre o píer, tendo em vista que a praia não possuía mais o espaço natural para acomodação de todo o volume de sedimentos que ali chegou em 2010 e 2011.

Além das intervenções antrópicas, o transporte sedimentar na Praia do Góes também foi afetado por eventos meteo-oceanográficos extremos. Entre os anos de 2001 e 2011, a grande ocorrência de ressacas foi um fator importante para a intensificação da erosão costeira.

Para região da Ponta da Praia, analisando os resultados de transporte residual de sedimento, observou-se que, para as ondas de menores alturas (condições normais), a diferença no transporte de sedimento entre os cenários pré e pós-dragagem é pequena, podendo assim ser desconsiderada. Para ondas

de maiores alturas (eventos extremos), observou-se que o aprofundamento do canal, intensificou o transporte de sedimentos na Ponta da Praia. Entretanto, o aprofundamento do canal não é o fator determinante dos processos erosivos e deposicionais observados.

Para a Praia do Góes foi observado uma maior influência no transporte de sedimento devido ao aprofundamento do canal, quando comparado com a Ponta da Praia. Com o aumento da altura das ondas incidentes na praia, após a dragagem, a capacidade de transporte da corrente de deriva também aumentou, favorecendo assim o processo natural de transporte de sedimentos já existente, e que promovia o assoreamento da região do píer (localizado no setor leste da praia). Portanto, pode-se afirmar que o aprofundamento do canal não é o agente causador desses processos erosivos e deposicionais observados na Praia do Góes.

Diante do exposto, conclui-se que são necessários estudos complementares para o melhor entendimento dos efeitos da nova configuração do canal de navegação do porto de Santos sobre a morfologia, o transporte sedimentar e a hidrodinâmica da baía de Santos.

Atenciosamente,

Prof. Dr. Luiz Roberto Tommasi
Diretor Presidente - FUNDESPA

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asselman, N.E.M. (1999). Grain-size trends used to assess the effective discharge for floodplain sedimentation, river Waal, the Netherlands. *Journal of Sedimentary Research*, 69 (1), 51–61.
- Booij, N., R. Ris & Holthuijsen, L. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *Journal of Geophysical Research* 104 (C4): 7649-7666.
- Chang, Y.H.; Scrimshaw, M.D. & Lester, J.N. (2001). A revised grain-size trend analysis program to define net sediment transport pathways. *Computers & Geosciences*, 27: 109-114.
- Folk, R.L. & Ward, W.C. (1957). Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27: 3-26.
- Gao, S. & Collins, M. (1991). A critique of the “McLaren method” for defining sediment transport path – Discussion. *Journal of Sedimentary Petrology*, 61 (1): 143-146.
- Gao, S. & Collins, M. (1992). Sand sediment transport pattern inferred from grain-size trends, based upon definition of “transport vectors”. *Sedimentary Geology*, 80: 47-60.
- Gao, S. (1996). A Fortran program for grain-size trend analysis to define net sediment transport pathways. *Computers & Geosciences*, 22 (4): 449-452.
- Gutjahr, M. R. (coord). (2011). Banco de Dados: Estudos históricos relacionados a eventos climáticos na Baixada Santista – SP. Instituto Geológico – SMA. (disponível em: 200.144.28.231/dnos/index.php ou <http://www.igeologico.sp.gov.br>).
- Holthuijsen, L., Booij, N. & Ris, R. (1993). A spectral wave model for the coastal zone. In *Proceedings of 2nd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis*, New Orleans, p. 630-641.
- Le Roux, J.P. (1994a). Net sand sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of “transport vectors” – comment. *Sedimentary Geology*, 90: 153-156.

- Le Roux, J.P. (1994b). An alternative approach to the identification of net sediment transport paths base on grain-size trends. *Sedimentary Geology*, 94: 97-107.
- Poizot, E., Méar, Y., Thomas, M. & Garnaud, S. (2006). The application of geostatistics in defining the characteristic distance for grain size trend analysis. *Comput. Geosci.* 32 (3), 360–370.
- Ris, R., N. Booij & Holthuijsen, L. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part II: Verification. *Journal of Geophysical Research* 104 (C4): 7649-7666
- Souza, C.R. de G. (2011). Rotação praial na Praia do Góes (Guarujá, SP, Brasil). In: XIV Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar - COLACMAR, Balneário Camboriú (SC), 30/10 - 04/11/2011. Boletim de Resumos Expandidos (CD-ROM).
- Souza, C.R. de G., Souza, A.P. & Ferreira, R.S. (2012) - Monitoramento praial antes e durante as obras de dragagem do Porto de Santos, São Paulo (Brasil). In: I Congreso Iberoamericano de Gestión Integrada de Áreas Litorales (GIAL), Cadiz, Espanha, 25-27/01/2012. Anais (pen-drive).
- Suguio, K. (1973). Introdução à Sedimentologia. Ed. Edgard Blucher/EDUSP. 317p.

7. ANEXOS

- Anexo 7-1. Variação Espaço-Temporal dos Polígonos Praiais no período de 1962 a 2011.
- Anexo 7-2. Marcos Temporais de Alterações Ambientais e Antrópicas na Linha de Costa Estuarina de Santos.
- Anexo 7-3. Análise Histórica dos Registros de Ressacas ocorridas na região da Baía e Estuário de Santos.
- Anexo 7-4. Avaliação dos Processos Erosivos nas Estruturas Urbanas Localizadas entre o Canal 6 e o *Ferry-boat*.
- Anexo 7-5. Caracterização do Transporte Sedimentar no Setor Nordeste da Baía de Santos.
- Anexo 7-6. Avaliação da Estabilidade do Talude do Canal de Navegação e Modelagem Morfodinâmica na Baía de Santos.

ANEXO 7-1. VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DOS POLÍGONOS PRAIAIS NO PERÍODO DE 1962 A 2011.

ANEXO 7-2. MARCOS TEMPORAIS DE ALTERAÇÕES AMBIENTAIS E ANTRÓPICAS NA LINHA DE COSTA ESTUARINA DE SANTOS.

ANEXO 7-3. ANÁLISE HISTÓRICA DOS REGISTROS DE RESSACAS
OCORRIDAS NA REGIÃO DA BAÍA E ESTUÁRIO DE SANTOS.

ANEXO 7-4. AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS NAS ESTRUTURAS URBANAS LOCALIZADAS ENTRE O CANAL 6 E O *FERRY-BOAT*.

ANEXO 7-5. CARACTERIZAÇÃO DO TRANSPORTE SEDIMENTAR NO SETOR NORDESTE DA BAÍA DE SANTOS.

ANEXO 7-6. AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DO TALUDE DO CANAL DE NAVEGAÇÃO E MODELAGEM MORFODINÂMICA NA BAÍA DE SANTOS.