

## **AVALIAÇÃO DO IMPACTO MORFOLÓGICO DO PROJETO DE GUIAS-CORRENTES NA BARRA DO RIO ITANHAÉM (SP)**

Paolo Alfredini<sup>1</sup>; Odair José de Souza<sup>2</sup>; Josué Souza de Góis<sup>3</sup>; Guilherme da Costa Silva<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>*Professor Livre-Docente da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Laboratório de Hidráulica,  
Av. Professor Lúcio Martins Rodrigues 120, CEP 05508-900 – Cidade Universitária, São Paulo (SP)*

*Fone: +55 11 3091-5735 e-mail: [alfredin@usp.br](mailto:alfredin@usp.br), [paolo.alfredini@poli.usp.br](mailto:paolo.alfredini@poli.usp.br)*

<sup>2</sup>*Professor da Universidade Presbiteriana Mackenzie*

<sup>3</sup>*MACROENGE Engenharia. e-mail: [josue.gois@poli.usp.br](mailto:josue.gois@poli.usp.br)*

<sup>4</sup>*Doutor em Engenharia Civil na área de Hidráulica Marítima pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
e-mail: [guilherme.silva@poli.usp.br](mailto:guilherme.silva@poli.usp.br)*

### **RESUMO**

As obras de melhoramento da Barra do Rio Itanhaém para fins de navegação constituem antigo anseio da comunidade náutica de Itanhaém. De 1991 a 2003 o Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – LHEPUSP – estudou a questão através de: coleta de dados pretéritos; levantamentos hidrográficos no Rio Itanhaém e praias; projeto conceitual dos molhes guias-correntes; modelação física em bacia de ondas, dotada de simulação da variação da maré e da vazão do rio; modelação matemática da hidrodinâmica de agitação nas costas de Itanhaém, permitindo a estimativa do transporte de sedimentos litorâneo.

### **ABSTRACT**

The Itanhaém River Bar amelioration for navigation purposes is an old wish of nautical community of Itanhaém. From 1991 to 2003 the Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – LHEPUSP – studied the theme by means of: previous data available; fluvial and beach hydrographical surveys; conceptual project for the jetties; physical modelling in wave basin, with tidal and river discharge reproduced; hydrodynamical mathematical modelling of waves applied on the calculation of littoral sediment transport.

Palavras-Chave: hidráulica marítima, engenharia costeira, modelação física.

### **1. INTRODUÇÃO**

As obras de melhoramento da Barra do Rio Itanhaém (ver Figuras 1 e 2) para fins de navegação constituem antigo anseio da comunidade náutica de Itanhaém, bem como os problemas de erosão nas praias (ver Figuras 3 e 4) também são preocupantes.

O chamado Rio Itanhaém é a terceira área estuarina na costa paulista. O Rio Itanhaém é navegável por uma extensão de aproximadamente 50 Km com profundidades superiores a 2,1 m em 90% do tempo. De fato, o maior embaraço oferecido à navegação está localizado em sua barra de desembocadura, com cotas variando de 0,5 a 1,5 m referidas à baixa-mar média de sizígias (NR da Marinha). Estas profundidades são limitantes para os calados dos barcos que podem usar as facilidades náuticas e de atracação existentes no interior da área estuarina, bem como aumentam os períodos de espera para as maiores embarcações atravessarem a entrada do canal de acesso, uma vez que têm que aguardar a janela de maré mais apropriada e/ou períodos de mar mais calmo. O canal da barra nunca foi dragado nem provido de auxílios à navegação de sinalização náutica. Atualmente, as embarcações de maior calado praticando a barra estão em torno a 1,5 m.

A alternativa de dragagem periódica de manutenção de cotas em torno a 3,0 m (NR Marinha) não é viável pelo baixo índice da relação entre o prisma de maré da embocadura e o transporte litorâneo na barra. Efetivamente, nos anos de 1998 e 1999 foi tentada este tipo de obra, mas sem sucesso.

A solução clássica de melhoramento da barra por obras fixas é composta por dois molhes guias-correntes. O principal problema deste tipo de solução é a análise do impacto morfológico na linha de costa adjacente, com as respostas morfodinâmicas de engordamento e erosão do processo de transporte de sedimentos, além do possível impacto sobre o escoamento das águas.

Tendo em vista o objetivo da obra de melhoramento das condições de navegação pela Barra do Rio Itanhaém, é de fundamental importância o conhecimento da intensidade e do modo como se processa o transporte de sedimentos nesta região. As condicionantes hidráulicas desta dinâmica são as marés, ondas e vazões fluviais, que produzem o sistema de circulação de correntes (de maré, litorâneas e flúvio-estuarinas) cuja competência de transporte mobiliza os sedimentos com variadas intensidades e rumos de deslocamento, dependendo dos cenários de atuação.

O impacto e o desempenho de obras de fixação do canal de acesso através da barra para o estuário sobre a morfodinâmica costeira pode ser previsto com confiabilidade por meio de modelo físico apropriadamente calibrado com representatividade de dados de levantamentos de campo.

### **2. ESTUDOS REALIZADOS PELO LHEPUSP**

De 1991 a 2003 o Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – LHEPUSP – estudou a questão do melhoramento da Barra do Rio Itanhaém para fins de navegação. Uma breve descrição dos estudos realizados é apresentada a seguir:

- Coleta de dados pretéritos.

- Levantamentos hidrográficos no Rio Itanhaém e praias (1991, 1992, 1998, 2000, 2001, 2002 e 2003), abrangendo sondagens batimétricas, correntometrias, trajetórias de derivadores, medição de vazões, amostragem de sedimentos do fundo, medição do transporte de sedimentos em suspensão e perfis de praia.
- Modelação numérica da hidrodinâmica de ondas na costa de Itanhaém com estimativa do transporte de sedimentos litorâneo (Tabela 1 e Figura 5), segundo ARAÚJO (2000) e SILVA (2003).
- Projeto conceitual dos guias-correntes (ver Figura 6) para cotas em torno a 3,0 m (NR Marinha).
- Modelação física em bacia de ondas, dotada de simulação da variação da maré e da vazão do rio (ver Figura 7). De 2000 a 2003 foram feitos quase uma centena de ensaios hidrodinâmicos e com areia das praias de Itanhaém para avaliar o impacto nas condições atuais de equilíbrio morfológico da implantação da obra de guias-correntes.

### 3. CARACTERÍSTICAS DO MODELO FÍSICO

O modelo físico da Barra do Rio Itanhaém abrange uma área costeira e estuarina suficientemente ampla para avaliar de forma confiável o impacto hidrodinâmico e morfológico da obra projetada dos guias-correntes. Ao longo da linha de costa são reproduzidos 6500 m, do início da Praia de Cibratel até a Praia do Centro. O Rio Itanhaém está reproduzido em seu trecho estuarino de influência da maré. Ao largo atinge-se a isóbata de - 11 m (NR Marinha).

O modelo foi projetado obedecendo a semelhança de Froude, tendo distorção geométrica de seis (exagero vertical), devido ao atendimento das condições de semelhança mecânica quanto ao transporte de sedimentos litorâneo. Quanto a estas últimas considerou-se a modelação “inshore” com areia consagrada na proposta de Khampuis (ALFREDINI, 1988). Conseguiu-se deste modo o chamado traçador ideal para o transporte de sedimentos litorâneo. Nestas condições as principais escalas do modelo (modelo:protótipo) são:

- Vertical - 1:50
- Horizontal - 1:300
- Tempo da maré - 1:42,43
- Vazão - 1:106066
- Altura e comprimento da onda - 1:50
- Período da onda - 1:7,07
- Dimensão da areia - 1:4

O piso do modelo é de fundo fixo, sendo que no trecho marítimo tem acabamento de cimentado queimado, visando reduzir o amortecimento da onda.

A maré é reproduzida pela abertura e fechamento controlados de uma comporta, com o que se reproduz a onda de maré em amplitude e período.

O batedor de ondas é de princípio mecânico de biela manivela, gerando ondas monocromáticas

A vazão fluvial é introduzida no modelo por um pequeno vertedor triangular de soleira delgada.

Os ensaios sedimentológicos são conduzidos basicamente com a técnica de traçadores em modelos de fundo fixo (ALFREDINI, 1988).

### 4. PRINCIPAIS RESULTADOS DOS ENSAIOS SEDIMENTOLÓGICOS

A calibração do modelo deu-se em duas etapas:

- Hidrodinâmica: ajuste do gerador de ondas para a reprodução de 4 ciclos de maré de 1,0 m de amplitude com ondas de SSE e 16 ciclos com ondas de ESE com períodos em torno a 7,5 s (vagas) e a 10 s (marulhos) e alturas em torno a 1,1 m, de acordo com a estatística real. Ajuste da vazão fluvial morfológicamente dominante (128 m<sup>3</sup>/s), com base nas informações hidrológicas, e implantação da rugosidade do canal fluvial por comparação com as velocidades medidas no real.
- Sedimentológica: ajuste dos pontos de dosagem de sedimentos na zona de arrebentação de modo a repor as quantidades arrastadas pelas ondas. Várias evidências da adequação dos resultados obtidos puderam ser verificadas, conforme observa-se nos resultados finais dos ensaios nas Figuras 8, 10, 12 e 14: formação do delta de maré enchente, formação do tómbolo no tardoz da Ilha Givura e acúmulo dominante ao sul da Praia do Sonho.

As verificações efetuadas com os molhes projetados estão apresentadas pelos resultados finais dos ensaios nas Figuras 9, 11, 13 e 15.

### 5. CONCLUSÕES

Os ensaios sedimentológicos permitiram inferir a esquematização hidrossedimentológica da Figura 16 para a dinâmica da Barra do Rio Itanhaém, isto é:

- Transporte litorâneo sedimentar resultante para a direita de quem olha para o mar.
- Efetividade do molhe hidráulico de correntes de maré da embocadura, mesmo com vazão fluvial nula, barrando o transporte longitudinal de areias entre a Praia do Centro e a Praia dos Pescadores. Há evidências de que o costão à direita da foz constitui-se em divisor dos rumos da agitação.
- A grande pluma sedimentar em suspensão que se observa nas fotos aéreas pode ser evidenciada com o uso de corante no modelo. Esta pluma desloca-se para o largo da arrebentação de onde por ação frontal mantém o equilíbrio dinâmico da Praia dos Pescadores, que é uma praia de bolso.
- O tómbolo no tardoz da Ilha Givura isola significativamente a Praia dos Pescadores da Praia do Sonho, a qual tem características hidrossedimentológicas semelhantes à dos Pescadores, embora seja mais exposta pela sua extensão.
- Os molhes não avançam para além da projeção da Ilha Givura (ver Figura 17), podendo-se prever o engordamento da Praia do Centro, redistribuindo os sedimentos da barra, e uma possível erosão da Praia dos Pescadores pelo maior afastamento dos sedimentos que a alimentam frontalmente.

Nos cinquenta anos da Área de Hidráulica Marítima do LHEPUSP, em 2003, foi editado um Cdrom que sintetiza os treze anos destes estudos.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFREDINI, P. – “A técnica de traçadores em modelos de fundo fixo aplicada a estudos sedimentológicos”. Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo, 1988.

ARAÚJO, R. N. A. – “O cálculo do transporte de sedimentos litorâneo: Estudo de caso das praias de Suarão e Cibratel, Município de Itanhaém, São Paulo”. Dissertação de Mestrado EPUSP, São Paulo 2000.

SILVA, G. da C. – “Análise comparativa de metodologias de modelagem numérica da propagação de ondas aplicada à Engenharia Costeira e Portuária”. Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo 2003.



Figura 1: Vista aérea da barra



Figura 2: Vista da barra no modelo físico



Figura 3: Erosão na Praia do Centro (1976)

Tabela 1: Clima de ondas em água profundas

Intervalo de Fuso (°)	$T_s$ (s)	$H_{0s}$ (m)	Frequência (%)
95 - 100	6,8	1,43	0,35
100 - 105	8	1,25	0,52
105 - 110	7,7	1,47	1,05
110 - 115	7,5	1,02	1,48
115 - 120	7,7	1,35	1,31
120 - 125	7	1,40	2,18
125 - 127,5	6,9	1,44	1,83
127,5 - 130	6,2	0,97	3,75
130 - 132,5	6,8	0,95	12,82
132,5 - 135	7,2	1,15	23,63
135 - 137,5	7,7	1,41	21,97
137,5 - 140	7,6	1,34	12,38
140 - 142,5	6,8	1,35	3,23
142,5 - 145	7,1	1,34	2,88
145 - 147,5	7,4	1,48	2,96
147,5 - 150	7,4	1,22	2,18
150 - 152,5	9,2	1,21	1,92
152,5 - 155	7,5	1,36	0,96
155 - 160	8,5	1,40	0,87
160 - 165	9,3	1,92	0,35
165 - 170	8,8	1,43	0,52
170 - 175	7,7	1,30	0,52
175 - 180	8,5	1,88	0,35



Figura 4: Erosão na Praia do Centro (1999)



Figura 5: Frentes de ondas superpostas à foto aérea



Figura 6: Planta dos guias-correntes projetados



Figura 7: Praia do Centro no modelo



Figura 8: Ação de vaga sem molhes. Praia do Centro e dos Pescadores

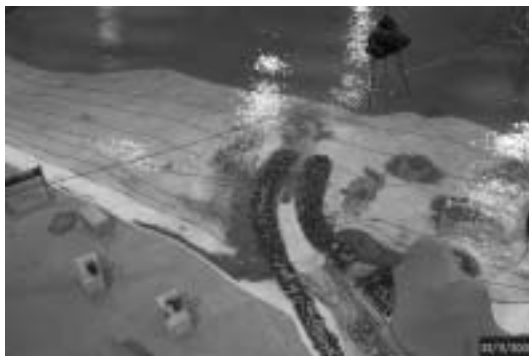


Figura 9: Ação de vaga com molhes. Praia do Centro e dos Pescadores



Figura 10: Ação de marulho sem molhes. Praia do Centro e dos Pescadores



Figura 11: Ação de marulho com molhes. Praia do Centro e dos Pescadores



Figura 12: Ação de vaga sem molhes. Praias dos Pescadores e do Sonho



Figura 13: Ação de vaga com molhes. Praias dos Pescadores e do Sonho



Figura 14: Ação de marulho sem molhes. Praias dos Pescadores e do Sonho



Figura 15: Ação de marulho com molhes. Praias dos Pescadores e do Sonho



Figura 16: Esquematização da dinâmica hidrossedimentológica na barra e praias



Figura 17: Impacto hidrossedimentológico com a implantação dos molhes