



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS, ENERGÉTICOS E AMBIENTAIS

**Projeto de Iniciação Científica**

**PIBIC/CNPq**

**RELATÓRIO**

# **Mudança no comportamento hidrodinâmico da região costeira com introdução de obras de proteção Santos – SP**

ALUNO: Patricia Strasser Scheltinga

RA: 226104

ORIENTAÇÃO: Prof. Dr. Patrícia Dalsoglio Garcia

UNIDADE: FEC – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

DEPARTAMENTO: Recursos Hídricos

CAMPINAS

SETEMBRO 2020

## 1. RESUMO

O projeto tem como objetivo analisar as mudanças no comportamento hidrodinâmico da região costeira de Santos com introdução de obras de proteção de costas. Estas obras podem ser tanto submersas quanto emersas, e serão analisadas através do modelo Mike 21 e outras pesquisas sobre o mesmo tema para avaliar o comportamento da costa com a instalação destas estruturas.

## 2. INTRODUÇÃO

Sendo Santos é uma região de grande importância econômica para o Brasil, principalmente pela presença de seu Porto, as orlas das praias sofrem com a perda da faixa de areia e aumento de ocorrência de ressacas acarretando grandes prejuízos na área urbana, sendo então necessário o estudo aprofundado desta região.

A região da Ponta da Praia perdeu ao todo da sua faixa de areia nos últimos anos 57,4 m entre 2009 e 2016 (VENANCIO, 2018). Em função disso, a região vem sendo monitorada há alguns anos por entidades de pesquisa, bem como a prefeitura, visando identificar, resolver ou minimizar as causas e consequências da erosão costeira.

Em boa parte da orla santista, principalmente entre os canais de drenagem 4 e 6, houve significativa erosão costeira a partir de 2010, observando-se um recuo de 6 m por ano em seções mais afetadas (VENANCIO, 2017).

A praia é um local importante tanto para a questão econômica através dos portos, como também para o lazer, esportes e turismo. Desta maneira a diminuição costeira impacta nos aspectos sociais, das pessoas que vivem na praia, e econômicos, em relação ao turismo (RANGEL-BUITRAGO; GIORGIO; WILLIANS, 2015).

Os resultados obtidos e as simulações hidrodinâmicas com a introdução da estrutura piloto projetada mostram que a recirculação que ocorre entre o canal do porto e a Ponta da Praia, desaparece quando da implantação do projeto piloto, sendo assim definida a posição da obra (Garcia & GIRELI, 2019).

Diante disso, este trabalho visa avaliar as diferenças entre obras de quebra-mares emersas e submersas realizadas próximas à costa com função de controlar o avanço da erosão e diminuir os efeitos causados pelas ressacas, através da utilização de modelos hidrodinâmicos. Será utilizada como estudo de caso um trecho da costa santista que se encontra em processo erosivo.

## 3. Metodologia

Inicialmente, foi realizada a revisão bibliográfica, fundamental para definição dos tipos de obras para proteção da costa de Santos a serem implantadas no modelo hidrodinâmico, bem como para as comparações de seus comportamentos.

Para proceder a modelagem no modelo Mike 21<sup>®</sup> – módulo hidrodinâmico FM-HD foi utilizado uma base de dados já consolidada por Correa et al. (2018). O software utilizado foi o Mike 21<sup>®</sup>, desenvolvido e fornecido pelo Danish Hydraulic Institute (DHI) com licença temporária para fins acadêmicos, concedida para estudante de doutorado Kelly Kawai Venancio, cujo trabalho é de propor obras definitivas para toda a orla erodida de Santos. Para realizar a modelagem hidrodinâmica são necessários os dados, tanto de batimetria, quanto de marés, ventos, ondas e correntes. Atualmente o Laboratório de Hidráulica Marítima e Fluvial da FEC/UNICAMP – LHMF – dispõe de um modelo hidrodinâmico já calibrado e validado por Correa et al. (2018). Serão utilizados os mesmos dados de entrada de maré e ondas já calibrados com as alterações na batimetria com a introdução das obras propostas. Estes cenários são desenvolvidos inicialmente no programa Civil 3D da Autodesk<sup>®</sup>. Para aprender o uso destas ferramentas foram realizados treinamentos com a equipe do Laboratório LHMF bem como a leitura dos manuais e textos técnicos.

A partir da revisão da literatura, foram definidos 6 cenários diferentes com as propostas de obras para o trecho entre o canal 5 e 6, sendo elas:

- **Cenário 1:** obra composta de três quebra-mares com 230m de comprimento, 7,42 m de largura e espaçamento de 50m entre eles e altura -0,5 m (submersa);
- **Cenário 2:** obra composta de três quebra-mares com 230m de comprimento, 7,42 m de largura e espaçamento de 50m entre eles e altura 0 m (no nível médio do mar).
- **Cenário 3:** obra composta de três quebra-mares com 230m de comprimento, 44,6 m de largura e espaçamento de 50m entre eles e altura de 9,9 m;
- **Cenário 4:** considerou um único quebra-mar que se estende entre os canais 5 e 6, assim com comprimento de 790 m e largura de 7,42 m e altura -0,5 m (submersa);
- **Cenário 5:** considerou um único quebra-mar que se estende entre os canais 5 e 6, assim com comprimento de 790 m e largura de 7,42 m e altura 0 m (no nível médio do mar);
- **Cenário 6:** considerou um único quebra-mar que se estende entre os canais 5 e 6, assim com comprimento de 790 m e largura de 44,6 m e altura de 9,9 m.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Dimensionamento

O comprimento escolhido da obra foi de 230m. Tendo em vista os artigos citados anteriormente de obras realizadas para a proteção da costa, foi definido um primeiro protótipo de quebra-mar que se adequa às condições de Santos. A obra idealizada possui largura de 7,42m e comprimento de 230m. A altura da obra deve estar a 0,5 abaixo do nível reduzido do mar (aproximadamente na profundidade de 3,0 m DHN).

#### 4.2 Modelagem hidrodinâmica

Para o cenário 1, composto por três quebra-mares na cota -0,5m, são apresentados os campos de correntes obtidos do modelo hidrodinâmico, para as condições de maré de meia hora antes da preamar, meia maré vazante, meia hora antes da baixa mar e meia maré de enchente, representado na figura1.

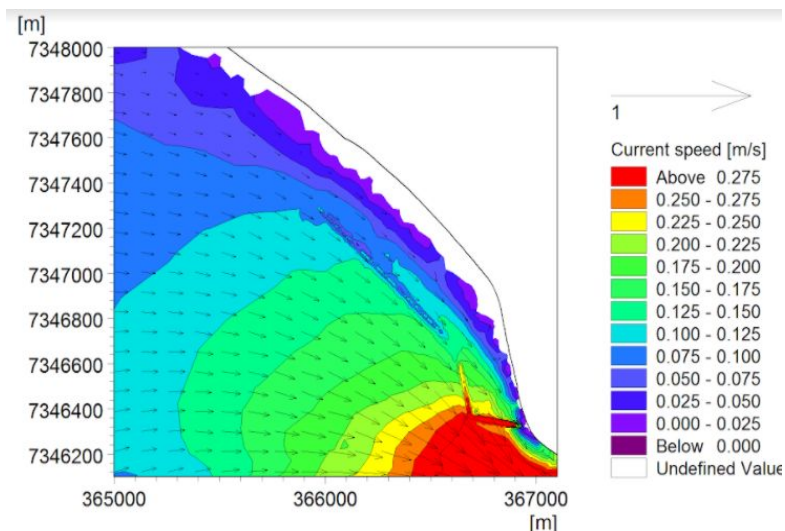


Figura 1: Cenário 1 para condição de maré de meia maré enchente, quebra-mar segmentado. Fonte: do autor

#### 5.3.2 Comparação entre os cenários 1 e 3

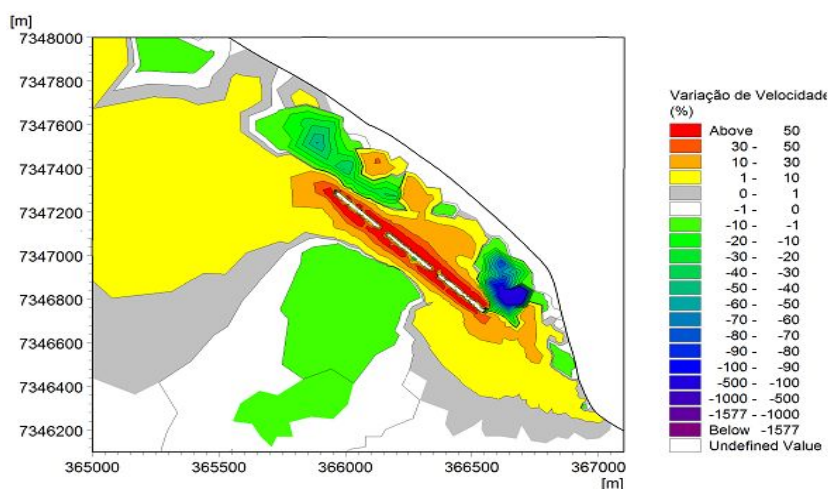


Figura 2: Diferença entre os cenários 1 e 3 meia maré vazante (552). Fonte: do autor.

### 5. DISCUSSÃO

Quanto ao dimensionamento das obras para composição dos cenários observa-se que se optou por colocá-las próximas a profundidade de fechamento, ou seja, mantendo praticamente toda a zona de dinâmica costeira preservada. Nestas condições, eventuais obras complementares como alimentação artificial de praias, teria mais êxito do que em casos que o quebra-mar estivesse mais distante da costa.

Sendo assim, optou-se por concentrar as análises entre os cenários 1, 2 e 3, visto que as conclusões obtidas nestas comparações seriam similares as encontradas nos cenários 4, 5 e 6, a menos da questão dos prejuízos para balneabilidade das praias que certamente ocorreria com uma obra proposta para o cenário 6, mas que não foi avaliada neste trabalho.

Quando se observa a diferença percentual de velocidades obtida pela subtração das velocidades do cenário base (sem obras no trecho entre o canal 5 e 6) e o cenário 1, observa-se, tal como previsto, uma diminuição de

velocidades junto a obra no seu tardoz. Há um acréscimo de velocidades entre as extremidades do quebra-mares e os canais de drenagem 5 e 6, e uma diminuição no meio entre eles, o que era esperado. Como a obra é submersa, nota-se que nas condições de maré em que o nível é mais baixo, ou seja, 0,5m hora antes da baixa mar, o efeito das obras nestas velocidades é mais evidente. Contudo, a área de influência destas estruturas submersas no que tange as correntes, fica limitada às proximidades da obra, não se observando alterações de correntes muito além dos canais 5 e 6. Pequenas alterações de velocidade, dependendo da condição de maré são observadas entre o canal 6 e projeto piloto (redução de velocidade), fato também esperado e que auxiliaria na manutenção dos sedimentos nesta área, que está parcialmente protegida pela obra existente.

Por outro lado, quando se analisa a diferença percentual de velocidades entre os cenários de base e cenário 3, as mudanças de velocidades citadas acima ficam mais acentuadas, com uma área de influência que extrapola os limites da zona costeira de proteção e que, podem impactar áreas adjacentes. O acréscimo de velocidades no tardoz da obra, junto a extremidade próxima ao canal 5, é bem claro e ressalta a necessidade de estudos complementares, já que, poderia causar erosões maiores que as atuais neste local.

Além que é possível analisar que na figura 26 que o sentido predominante de transporte costeiro é em direção ao porto assim se aumentar a velocidade de corrente nesta área, como ocorre quando se tem uma obra emersa, o canal do porto associaria mais rápido.

Os resultados obtidos mais significativos são o de meia maré de enchente e o de vazante já que estes que geram maiores velocidades de correntes e provavelmente os que causaram maior reações com a introdução da obra. Assim as comparações entre os cenários em condições de maré de enchente ou vazante são os melhores para conclusões sobre a obra.

Os resultados obtidos pelo Mike 21 comparando o cenário base (não possui a obra) menos o cenário 3, a figura 43 mostra que há um aumento significativo na velocidade percentual de corrente nas extremidades da obra e uma diminuição na velocidade no centro da obra. Estes resultados também são obtidos no cenário 1, porém de forma mais amena.

As obras emersas têm uma área maior afetada como mostra a figura 43 em que as velocidades percentuais variam mais, mesmo longe da obra há uma alteração e velocidade, diferente do cenário 1 que as mudanças nas velocidades são mais pertos do quebra-mar, como mostra a figura 39. Concluindo que as mudanças com a introdução de um quebra-mar emerso podem afetar significativamente as áreas mais longes como o porto.

Ao analisar o instante de meia maré vazante ao se comparar o Cenário 1 com o Cenário 3 na Figura 49, percebe-se um aumento de velocidades percentual nas extremidades dos quebra-mares laterais e uma diminuição na região central da obra. Isso mostra de o quebra-mar emerso intensifica os resultados, reduzindo mais a velocidade de corrente no meio da obra, e aumenta mais a velocidade de corrente nas laterais.

É importante considerar que as comparações entre os cenários estão em porcentagem e mesmo tendo uma variação de grande percentual de velocidade entre os cenários isso pode não ser tão significativo já que as velocidades reais são baixas. Então a velocidade pode estar 200% maior, mas em valores reais variou de 0.1m/s para 0.2m/s. Assim se há variação entre valores baixos pode significar que não tenha impactos fortes na região, sendo necessários mais estudos na área. Assim os estudos com modelos de ondas, transporte de sedimentos e dispersão de efluentes são de extrema importância para complementar os estudos hidrodinâmicos e conduzir a solução ideal

## **6. CONCLUSÃO**

Santos tem grande importância econômica, principalmente pela presença do Porto. As orlas das praias sofrem com a perda da faixa de areia e aumento de ocorrência de ressacas acarretando grandes prejuízos na área urbana. Assim é necessário um estudo aprofundado da região considerando vários fatores.

As obras emersas tendem a ser impermeáveis e diminuir bruscamente a altura de onda após o quebra-mar e a velocidade de corrente na sombra do quebra-mar tende a zero isso é muito ruim para a recirculação da água e consequentemente a balneabilidade da praia.

Assim se conclui que o cenário 1 que é quebra-mar segmentado na cota -0,5m é a melhor solução entre os cenários pois diminui a velocidade gradativamente após a corrente passar pelo quebra-mar e ainda permite uma recirculação da praia garantindo a balneabilidade. Com as saídas do Mike 21 percebeu que o distanciamento entre os quebra-mares poderia ser maior que 50m mesmo que este valor foi calculado seguindo as referências bibliográficas e o pré-dimensionamento de obras costeiras.

Em estudos futuros é importante analisar os comportamentos em ondas pelo SW pois considera o empolamento das ondas, é interessante simular a obra construída em trechos, simulando primeiro a construção do quebra-mar 1 depois o quebra-mar 2 e por último o quebra-mar 3 e ver suas influências no comportamento

hidrodinâmico. Isso é interessante já que a obra dos três quebra-mares pode ocorrer em fases distintas por questões de logística e financeiras.

Em estudos futuras também é interessante considerar a construção de um quebra-mar inteiro no tamanho de 230 m localizado no meio da obra já que pelas análises das saídas do Mike 21 esta foi a região que teve a redução de velocidade depois da introdução da obra.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFREDINI P., ARASAKI E. Engenharia Portuária. Edgard Blucher, São Paulo. 2014

ALVERINHO DIAS, J. M. (1993) Estudo de Avaliação da Situação Ambiental e Proposta de Medidas de Salvaguarda para a Faixa Costeira Portuguesa (Geologia Costeira), Universidade do Algarve.

ÂNGULO, R. J. Aspectos físicos das dinâmicas de ambientes costeiros, seus usos e conflitos. Desenvolvimento e Meio Ambiente, Editora UFPR, n. 10, p. 175-185, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13.133/1994: Execução de levantamento topográfico. 35 p., 1994.

BRUUN, P. (1954) Coast erosion and the development of beach profiles. Washington: US Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board.

CARMO; J. S. A.; NEVES, M.G.;VOORDE,M. Designing a multifunctional artificial reef: studies on the influence of parameters with most influence in the vertical plane,2010.

CODESP, 2019 Disponível em: <https://www.portodesantos.com.br/institucional/o-porto-de-santos/>

CORRÊA, T. B.; COSTA, J. H. O.; GIRELI, T. Z; GARCIA, P. D (2018). Evaluation of Proposed Jetties for Port of Santos Navigation Channel Depth Maintenance. In: Proceedings of 34th PIANC World Congress. Panama City, Panama: PIANC, 2018

FUNDAÇÃO DE ESTUDOS E PESQUISAS AQUÁTICAS – FUNDESPA (2013) - “Anexo 3 RDC – 120612: Análise Histórica dos Registros de Ressacas ocorridos na região da Baía e Estuário de Santos (jul. 2013)”. Santos: CODESP/FUNDESPA.

GARCIA, P. D.; GIRELI, T. Z. Um projeto piloto de recuperação de uma praia utilizando um quebra-mar submerso - Ponta da Praia, Santos, Brasil. Journal of Integrated Coastal Zone Management, [S.l.], v. 19, n. 1, p. 43-57, julho de 2019. ISSN 1646-8872. Disponível em: <<https://www.aprh.pt/ojs/index.php/rgci/article/view/240>>. Acesso em 14 sep. 2019.FUNDAÇÃO DE ESTUDOS E PESQUISAS AQUÁTICAS (FUNDESPA). RDC - 120612 - Estudo sobre a Hidrodinâmica e o Transporte de Sedimentos na Ponta da Praia de Santos e Praia do Góes. Santos: Codesp/Fundespa, 2013a.

KOMAR, Paul D. Beach Processes and Sedimentation. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998.

MELO, E.; GONZALES, J. A. Coastal erosion at Camburi beach (Vitoria, Brasil) and its possible relation to port works. Proc. 4th International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries (COPEDEC IV), Rio de Janeiro, Brasil, pp. 397-411. 1995

MENDES J. N. V; PINHO J. L. S. (2008) Erosão Costeira – Metodologias para a sua Quantificação Disponível em <http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n33/Artigo11-Pag139-150.pdf>

MUEHE D. (2004). Definição de limites e tipologia da orla sob aspectos morfodinâmico e evolutivo. In Projeto Orla: Subsídios para um Projeto de Gestão. Ministério do Meio Ambiente e Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Brasília – DF, pp. 12-32.

MUEHE, D.; KLUMB-OLIVEIRA, L. Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praial. Quaternary and Environmental Geosciences, [S.l.], v. 5, n. 2, p. 121-124, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v5i2.35884> >. Acesso em: 21 mar. 2018.

RANGEL-BUITRAGO, N. G.; ANFUSO, G; WILLIAMS, A. T. Coastal erosion along the Caribbean coast of Colombia: magnitudes, causes and management. Ocean & Coastal Management, v. 114, p. 129-144, set. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.06.024>>

ROVERSI, F.; ROSMAN, P. C. C.; HARARI, J. Análise da renovação das águas do Sistema Estuarino de Santos usando modelagem computacional. Revista Ambiente & Água, v. 11, n. 2, p. 566-585, 2016a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1770>>.

VENANCIO, K. K.; GIRELI, T. Z.; GARCIA, P. D. Evolução da linha de costa na região da Ponta da Praia em Santos - SP. In: XXII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2017, Florianópolis. Florianópolis: ABRH, nov. 2017.

VENANCIO, K. K. Evolução hidromorfodinâmica da região da Ponta da Praia em Santos (SP) no período entre 2009 e 2017. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.