

# ALTERAÇÕES HIDRODINÂMICAS COSTEIRAS A PARTIR DA INTRODUÇÃO DE QUEBRA MARES EMERSOS E SUBMERSOS NA BAÍA DE SANTOS (SP)

**Palavras-Chave:** HIDRÁULICA MARÍTIMA, QUEBRA-MARES, EROÇÃO COSTEIRA

**Autores(as):**

**JOÃO VITOR BIANCONI, FECFAU – UNICAMP**

**Prof(a). Dr(a). PATRICIA DALSOGLIO GARCIA (orientadora), FECFAU – UNICAMP**

---

## INTRODUÇÃO:

Nos últimos anos, as pautas relacionadas às questões climáticas e os desafios proporcionados por elas são frequentemente noticiadas em todo o mundo. Cada vez mais são noticiados eventos climáticos extremos, como inundações, chuvas e secas excepcionais, ondas de calor e aumento nos níveis dos oceanos. Tais eventos têm levantado dúvidas acerca de um futuro em que, especificamente, serão necessárias adequações das estruturas de proteção costeira contra as possíveis mudanças nas dinâmicas marítimas.

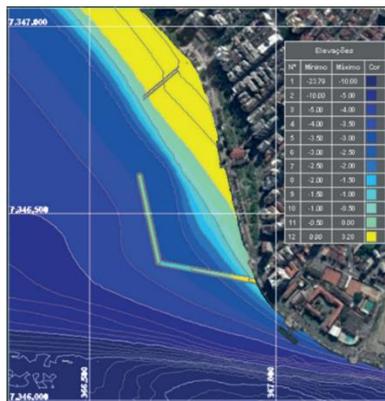
O município de Santos está localizado no litoral do Estado de São Paulo, possuindo atualmente uma população estimada em 433.991 habitantes (IBGE, 2021). De acordo com Italiani (2014), a ocupação que ocorreu no litoral brasileiro foi de forma desordenada ao longo do século XX, impactando diretamente em alterações hidrológicas na dinâmica costeira, que se acentuou nas últimas quatro décadas, sobretudo na região de Santos. Assim, a modelagem dos fenômenos costeiros acaba se tornando mais complexa, uma vez que os processos de dinamização da costa têm origem em diferentes fatores.

A hidrodinâmica costeira sofre intensas modificações por meio de agentes erosivos, tais como: vento, marés e arrebentação de ondas, todos naturais (MENDES; PINHO, 2008). Em relação a uma análise em maior prazo, espera-se que a costa tenha uma tendência em manter um padrão de oscilações em sua dinâmica (BRUUN, 1954). Entretanto, as atividades humanas no litoral como a construção de portos e demais obras de grande porte da engenharia costeira, propiciam uma maior degradação da costa, o que acentua o processo erosivo das praias.

Foi verificado que a faixa de areia da Baía de Santos está sofrendo uma redução acentuada nos últimos anos (GARCIA; GIRELI, 2019). Sobretudo, esse aumento da taxa de redução da linha de costa é produto da fase 1 do projeto de expansão do Porto de Santos, ocorrido em 2010, que consistia no alargamento do canal para 220 m e aumento da profundidade na cota -15,0 m DHN, que permitiu a passagem de navios de até 13,5 m de calado. Entretanto, a fase 2 do projeto de expansão do complexo portuário permitirá o atracamento de navios da classe Post-Panamax, assim o canal deverá ser rebaixado à cota de -17,0 DNH, o que ampliará o processo de erosão da linha costeira da Baía de Santos (GIRELI; VENDRAME, 2012).

Uma das regiões praias que mais sofrem com a erosão costeira é a Ponta da Praia, localizada posteriormente ao canal 6, calha de drenagem do município, e anteriormente ao canal de acesso ao Porto de Santos. De acordo com Venancio et al (2017), nas praias da Baía mais afetadas pela erosão, houve um recuo de 6 metros por ano da faixa de areia, já a Ponta da Praia atingiu um recuo total de 57,4 metros entre 2009 e 2017, resultando no desaparecimento da faixa de areia, antes emersa.

Na esperança de reduzir esse processo erosivo, Garcia e Gireli (2019) realizaram estudos e implementaram um projeto piloto, com objetivo de conter o transporte de sedimentos das praias, sobretudo na região da ponta da praia. O projeto, apresentado na Figura 1, consiste em uma estrutura submersa feita de geotubos preenchidos com areia da própria praia, formando um eixo constituído por duas linhas: uma transversal e uma longitudinal.



**Figura 1:** Posicionamento do eixo do projeto piloto na região da ponta da praia. Fonte: GARCIA et al. (2018).

Para o segmento longitudinal foi adotada a hipótese de que o mesmo deve reduzir a energia da onda, e o segmento transversal se faz presente para evitar o transporte sedimentar pelas correntes resultantes da variação das marés, também foi mostrado que a corrente e o transporte de sedimentos são atenuados propiciando a sedimentação da areia no litoral, quanto seriam ao serem comparados em relação a uma obra emersa (GARCIA et al., 2018). O estudo de Garcia e Gireli (2019) evidencia resultados promissores quanto à implementação do projeto piloto, avaliando maior acúmulo de sedimentos na área compreendida pela obra.

Entretanto, pela obra ter sido pioneira no Brasil, não havia experiência técnica na execução e falhas foram observadas ao longo do tempo, incluindo a abertura de brechas entre os geotubos e até a perda de um dos elementos, além do recalque de quase um metro da obra. Assim, é necessária a comparação da solução adotada com outras condições de cota de coroamento, fundamentais para avaliar não a eficiência da obra e a influência nas adjacências. Assim, é possível avaliar o reparo da obra existente e indicar quais seriam as diretrizes para a expansão do projeto em toda a área atualmente em processo erosivo.

## **METODOLOGIA:**

No início, foi realizado um levantamento bibliográfico, fundamental para a análise e definição dos tipos de obras a serem propostas neste estudo. A partir disso foram avaliadas as dimensões das obras e as circunstâncias marítimas para a análise hidrodinâmica dos quebra-mares, logo serão consideradas algumas condições de maré: optou-se por verificar as situações nas condições de meia maré de enchente e vazante, e 1 hora antes da baixamar, conforme o método empregado por Garcia et al. (2018). Além disso, as entradas de dados no software Mike 21 serão as mesmas para os cenários posteriormente abordados, espera-se obter os mapas de correntes para

cada situação, por meio de simulações das influências hidrodinâmicas das obras e em suas adjacências, incluindo toda a Baía de Santos.

A partir do levantamento e revisão bibliográficos, foram definidos 6 cenários diferentes, os quais são compostos do mesmo eixo e perfil semelhante ao quebra-mar avaliado no projeto piloto de Garcia e Gireli (2019). Para o mesmo eixo da obra foi mudada a seção transversal da mesma, incluindo a cota da crista e a largura devido ao talude, logo há cenários com o quebra-mar submerso ou emerso na região compreendida próxima ao canal 6 e a Ponta da Praia. Portanto, os seis cenários são:

Cenário 1: quebra-mar submerso, cota DHN -1,0 m;

Cenário 2: quebra-mar submerso, cota DHN -0,5 m;

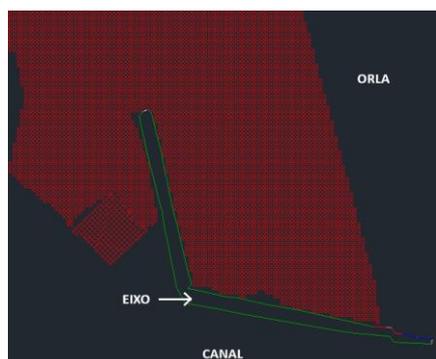
Cenário 3: quebra-mar emerso, cota DHN +0,0 m;

Cenário 4: quebra-mar emerso, cota DHN +1,0 m;

Cenário 5: quebra-mar emerso, cota DHN +2,0 m;

Cenário 6: quebra-mar emerso, cota DHN +9,0 m.

Toda a modelagem foi feita em software de desenho computacional, a partir dos dados batimétricos da região avaliada. Sendo assim, o software usado para o traçado do eixo do quebra-mar e suas respectivas cotas em relação ao nível médio do mar foi o Civil 3D, com licença estudantil da Autodesk, conforme a Figura 2. Os dados de batimetria foram exportados em formato de pontos para o Mike, onde foram feitas as análises hidrodinâmicas a partir das cotas criadas para as cristas de cada cenário.



**Figura 2:** Eixo da batimetria do projeto piloto na região da ponta da praia.

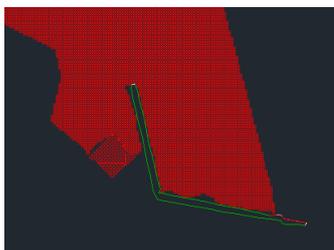
## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Após a realização das simulações no software Mike e as configurações corretas do programa, em relação às características das ondas marítimas e correntes nas regiões da Ponta da Praia e da Baía de Santos, são esperados mapas de que ilustrem as correntes marítimas nas adjacências das obras, para cada cenário. Desse modo, serão avaliadas as possíveis atenuações ou aumento desse transporte de sedimentos por meio do incremento nas velocidades das correntes marítimas.

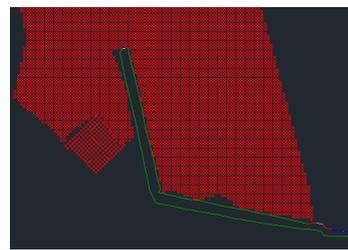
Inicialmente, verificações mais recentes nas cotas atuais do projeto piloto mostraram um recalque em sua cota, sendo assim se fez necessário avaliar o posicionamento da crista do quebra-mar na cota -1,0 m, pois a obra foi projetada na cota -0,5 m. Também foi necessário a avaliação das demais cotas, conforme supracitado, para comparar as diferenças na hidrodinâmica costeira da região.

No software Civil 3D, a partir da batimetria, foi feita a construção dos eixos dos projetos piloto, onde foi necessário criar uma superfície a partir dos pontos, e partir disso um corredor para formar o eixo de cada obra. A partir desses corredores, por meio de ferramentas de imagem, as novas cotas

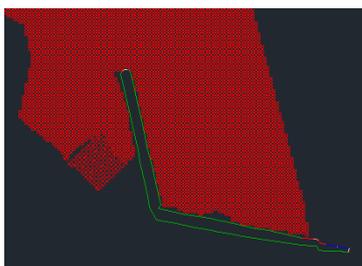
foram inseridas nas batimetrias para substituir os dados originais e formar uma nova superfície para cada caso. Foram feitos os seguintes desenhos dos quebra-mares, a partir da variação das cotas das cristas dos mesmos, conforme mostrado nas Figuras 3 a 8 abaixo.



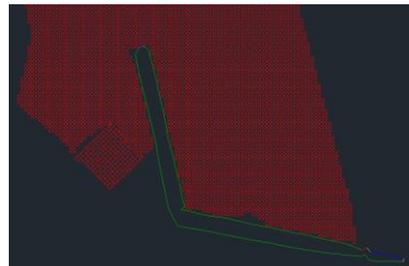
**Figura 3:** quebra-mar na cota DHN -1,0 m;



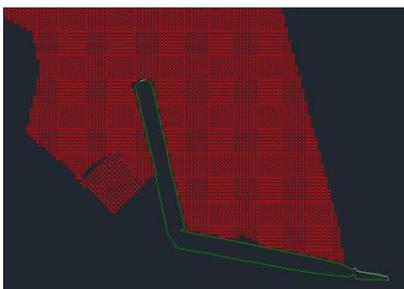
**Figura 4:** quebra-mar na cota DHN -0,5 m;



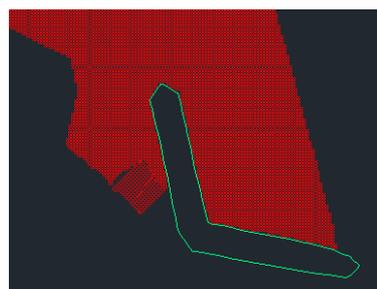
**Figura 5:** quebra-mar na cota DHN +0,0 m;



**Figura 6:** quebra-mar emerso na DHN +1,0 m;



**Figura 7:** quebra-mar na cota DHN +2,0 m;



**Figura 8:** quebra-mar na cota DHN +9,0 m.

A partir dos desenhos das boras, é possível verificar como a altura da crista influencia nas adjacências, por conta do talude de inclinação 2:1. Desse modo, a partir das simulações no Mike, é esperado que os quebra-mares com maior cota na crista sejam mais efetivos, mas impactem negativamente na balneabilidade das águas da Baía de Santos.

## CONCLUSÕES:

A partir das análises de bibliografia e desenvolvimento do projeto de pesquisa, apesar das adversidades encontradas em simular as obras, pode-se realizar algumas conclusões sobre a eficiência e questão da balneabilidade na região da orla santista, em função da introdução dos projetos.

Conforme é aumentada a cota da crista do quebra-mar, é aumentada em mesma proporção as suas larguras, assim como é verificado nas Figuras 3 a 8 acima. Sendo assim, as correntes litorâneas que carregam os sedimentos teriam maior dificuldade em superar obras com as cotas mais elevadas: +1 m, +2 m e, especialmente, +9 m. Portanto, é esperado que sejam afetadas as questões de balneabilidade e qualidade das águas nessas adjacências, devido à menor circulação de águas na costa.

Por outro lado, deve-se considerar que as cristas maiores supracitadas têm maior eficiência para conter o transporte de sedimentos, evitando a erosão costeira e proporcionando uma maior deposição de material sedimentar, o que ajudaria na recuperação as linhas de costa. Desse modo, será possível traçar um modelo mais efetivo para mitigar a erosão costeira na Ponta da Praia, e que poderia ser implementado de modo complementar à obra existente.

---

## BIBLIOGRAFIA

- BRUUN, P. **Coast erosion and the development of beach profiles**. Washington: US Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, 1954 (Technical Memorandum n. 44).
- CORREA, T. B. ; COSTA, J. H. O. ; GIRELI, T. Z. ; GARCIA, P. D. . “**Evaluation of Proposed Jetties for Port of Santos Navigation Channel Depth Maintenance**”. In: 34th PIANC-World Congress, 2018, Panamá. Proceedings 34th PIANC-World Congress. Panamá, 2018.
- GARCIA, P. D.; GIRELI, T. Z.. **Um projeto piloto de recuperação de uma praia utilizando um quebramar submerso** - Ponta da Praia, Santos, Brasil. Revista de Gestão Costeira Integrada p. 43-57, 2019.
- GARCIA, P.D.; GIRELI, T.Z.; VENANCIO, K.K. (2018) - **Projeto Piloto para Monitoramento e Contenção da Erosão da Ponta da Praia – Santos (SP)**. Proceedings XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica (Buenos Aires, Argentina) , v.4, pp. 2487- 2497, ISSN 978-978- 45194-7-4.
- GOOGLE. **Google Earth**. (2024). Disponível em: <<https://earth.google.com/web/@-23.9874332,-46.30874006,-0.26451701a,3641.68517854d,35y,0h,0t,0r/data=OgMKATA>>. Acesso em 01 mar. 2024.
- GIRELI, T. Z.; VENDRAME, R. F. **Aprofundamento do Porto de Santos: uma análise crítica**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, n. 3, p. 49-59, 2012.
- ITALIANI, D. M. (2014). “**Resposta Morfodinâmica à Alimentação Artificial da Ponta da Praia, Santos, SP.**” Dissertação (Mestrado) – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021)**. Cidades. Rio de Janeiro. Disponível em: IBGE | Cidades@ | São Paulo | Santos | Panorama. Acesso em: 11 mai. 2023.
- 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>.
- PORTO DE SANTOS. **Site do Porto de Santos**. Disponível em: Porto de Santos. Acesso em: 11 mai. 2023.
- 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.
- 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.