

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE UM ARRECIFE ARTIFICIAL NA BALNEABILIDADE DA PRAIA DE MARICÁ - RJ

*Diana da Silva Pinho¹ ; Melissa Fontenelle Rodrigues² ; Ricardo Cardoso Guimarães³ ;
Luiz Guilherme Morales de Aguiar⁴ ; Fernanda Minikowski Achete⁵
& Paulo Cesar Colonna Rosman⁶*

Abstract: This study analyzes the effects of implementing a multifunctional artificial reef at Maricá Beach (RJ), with emphasis on bathing water quality and coastal dynamics. Numerical simulations were carried out using the SisBaHiA hydrodynamic model, coupled with wave and sediment transport modules. The simulations allowed the comparison between scenarios with and without the structure, assessing changes in longshore currents and the morphodynamic evolution of the seabed. The results indicate that the reef acts as a physical barrier capable of dissipating part of the energy of incoming waves, leading to a reduction in significant wave height and current velocities in the coastal zone. In addition, sediment accretion was observed downstream of the structure, contributing to increased shoreline stability and a reduction in erosive processes. These changes may improve the safety of bathers, especially in areas used for recreational purposes. However, the final impact of the structure depends on the composition of the materials used and on regular maintenance, as these factors can influence sediment dynamics and local hydrodynamic circulation. Therefore, the installation of artificial reefs emerges as a promising strategy to improve bathing conditions, mitigate coastal erosion, and promote environmental sustainability, provided it is supported by detailed environmental assessments.

Resumo: Este estudo analisa os efeitos da implantação de um arrecife artificial multifuncional na Praia de Maricá (RJ), com ênfase na balneabilidade e na dinâmica costeira. Foram realizadas simulações numéricas por meio do modelo hidrodinâmico SisBaHiA, com o acoplamento do modelo de ondas e modelo de transporte de sedimentos. As simulações permitiram comparar os cenários com e sem a presença da estrutura, avaliando as alterações das correntes litorâneas e na evolução morfodinâmica do fundo marinho. Os resultados indicam que o arrecife atua como uma barreira física capaz de dissipar parte da energia das ondas incidentes, resultando na redução da altura significativa das ondas e das velocidades das correntes na zona costeira. Além disso, observou-se acreção sedimentar a jusante da estrutura, o que contribui para maior estabilidade da linha de costa e redução de processos erosivos. Tais alterações podem favorecer a segurança dos banhistas, especialmente em áreas utilizadas para recreação. Entretanto, o impacto final da estrutura depende da composição dos materiais utilizados e da manutenção periódica, pois pode influenciar na sedimentação e na circulação hidrodinâmica local. Assim, a instalação de arrecifes artificiais surge como uma estratégia promissora para melhorar a balneabilidade, reduzir a erosão costeira e promover a sustentabilidade ambiental, desde que acompanhada de avaliações ambientais detalhadas.

Palavras-Chave – SisBaHiA; Balneabilidade costeira; Modelo morfodinâmico

1) Oceanógrafa pesquisadora na Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica da COPPE / UFRJ. Tel: +55 21 97285 6026. E-mail: pinho.sdiana@gmail.com

2) Oceanógrafa - Doutoranda em Oceanografia Física, PPGDOT/UFRJ. E-mail: melissa.rodrigues @oceanica.ufrj.br

3) Engenheiro Mecânico - FURG, Doutorando em Engenharia Costeira e Oceânica - Coppe/UFRJ. ricardoguimaraes@oceanica.ufrj.br.

4) Engenheiro Civil/Recursos Hídricos – UFRJ, D.Sc. em Engenharia Oceânica - Coppe/UFRJ. lmaguiar@hotmail.com

5) Professora Titular do Programa de Engenharia Oceânica – COPPE/UFRJ. E-mail: fachete@oceanica.ufrj.br

6) Professor Titular do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (Escola Politécnica) e da Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica (Programa de Engenharia Oceânica – COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro. E-mail: pccrosman@ufrj.br

INTRODUÇÃO

A instalação de um arrecife artificial na Praia de Maricá tem o potencial de impactar positivamente a balneabilidade da região. Os arrecifes podem atuar como barreiras físicas que reduzem a energia das ondas. Essas estruturas atuam dissipando a energia das ondas, reduzindo a erosão costeira e facilitando a retenção de sedimentos, contribuindo para maior estabilidade da linha de costa.

Nemes et al. (2015) demonstraram, a partir de um modelo físico considerando as condições medidas *in situ* na Praia da Reserva-RJ, e as condições de mar baseadas no clima de ondas da região, que a implementação de arrecifes multifuncionais pode transformar praias reflexivas em praias dissipativas, ampliando a zona de surf, promovendo melhor recuperação do perfil morfológico.

O impacto exato desses arrecifes na balneabilidade depende de diversos fatores, como a composição dos materiais utilizados ou uma manutenção adequada. Destaca-se a importância de avaliar os impactos hidrodinâmicos e sedimentológicos para garantir que a implantação do arrecife não cause efeitos indesejados, como o acúmulo excessivo de sedimentos ou a alteração na circulação hidrodinâmica local, que poderia prejudicar a segurança para os banhistas. Dessa forma, faz-se necessária uma avaliação detalhada do impacto ambiental para confirmar esses benefícios e garantir a sustentabilidade do projeto.

Uma solução muito empregada ao redor do mundo é a construção de estruturas costeiras para a prevenção da erosão da linha de costa, minimizando os impactos nas benfeitorias existentes. Essas estruturas também podem funcionar como abrigo em regiões portuárias contra a ação de ondas, estabilização de canais de navegação, entre outras finalidades. Como exemplo de estruturas em obras de engenharia costeira temos os espigões, quebra-mares e guia-correntes (USACE, 2002).

Este trabalho objetiva analisar as condições de balneabilidade de um trecho específico da Praia da Barra de Maricá – RJ, com as mudanças morfológicas do fundo marinho após a instalação de um Arrecife Artificial Multifuncional. Foram modelados dois cenários: Situação Atual, ou seja, a praia como se encontra hoje, e Situação Projetada, com a implementação do arrecife artificial. Foi modelado entre 1 de janeiro de 2021 a 31 de dezembro de 2021.

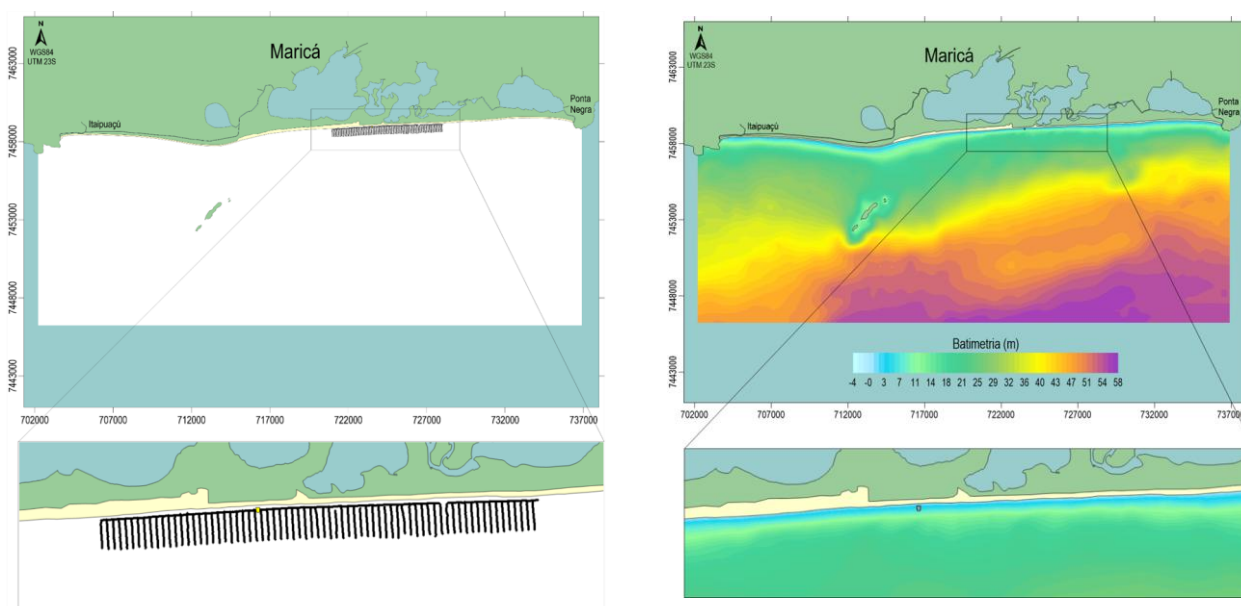
Assim, o presente trabalho empregou a modelagem morfodinâmica utilizando o SisBaHiA, com ação de ondas e correntes. Os resultados indicam que a estrutura reduz significativamente a energia das ondas e a velocidade das correntes, promovendo maior estabilidade da costa e condições mais seguras para o uso recreativo da praia. Esses resultados reforçam o potencial da estrutura para melhorar a balneabilidade, embora a efetividade real dependa da manutenção e do adequado gerenciamento da estrutura.

METODOLOGIA

A evolução morfológica da Praia de Maricá foi realizada por simulações com modelos do SisBaHiA - Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental. O modelo hidrossedimentológico morfodinâmico foi desenvolvido considerando a ação de ondas e correntes, realizado a partir do acoplamento do modelo hidrodinâmico - MH, do modelo de transporte de sedimentos - MS, e do modelo de propagação de ondas - MPO. É possível analisar a evolução morfodinâmica do fundo a partir dos modelos acoplados. O MPO é selecionado na interface do SisBaHiA utilizando discretização automática via grade de diferenças finitas.

Os dados batimétricos utilizados na modelagem foram disponibilizados pela COORDENA. O levantamento batimétrico foi realizado com ecobatímetro monofeixe entre a profundidade de 4 e 22 metros na área em frente à Praia de Maricá, Maricá/RJ. A Figura 1 apresenta, à esquerda, os pontos de coleta dos dados batimétricos. No detalhe em *zoom*, o arrecife artificial proposto está representado em amarelo. E à direita, o mapa batimétrico utilizado no modelo. Os dados obtidos através do levantamento batimétrico foram utilizados para a região de interesse, e para o restante da área de modelagem foram utilizados os dados das folhas de bordo e da Carta Náutica da Marinha do Brasil

Figura 1: Pontos de coleta dos dados batimétricos realizado pela COORDENA. O arrecife artificial está representado em amarelo na imagem em detalhe (à esquerda). Batimetria utilizada no modelo hidrodinâmico (à direita).



Os dados relativos à praia emersa foram obtidos a partir de levantamentos topográficos e granulométricos realizados por Silva *et al.* (2014) e Pinheiro *et al.* (2015). Esses estudos cobriram parte do arco praial por meio de 12 pontos de amostragem, sendo quatro localizados na APA de Maricá, quatro distribuídos entre Barra de Maricá, Guaratiba e Cordeirinho, e outros quatro em Ponta Negra. Em cada ponto de amostragem, foram coletadas duas amostras: uma na face de praia e outra no pós-praia. As coletas foram feitas sazonalmente, com uma amostragem em cada estação do ano. Contudo, esses perfis medidos foram feitos até a base da face da praia, ou zona de espraiamento.

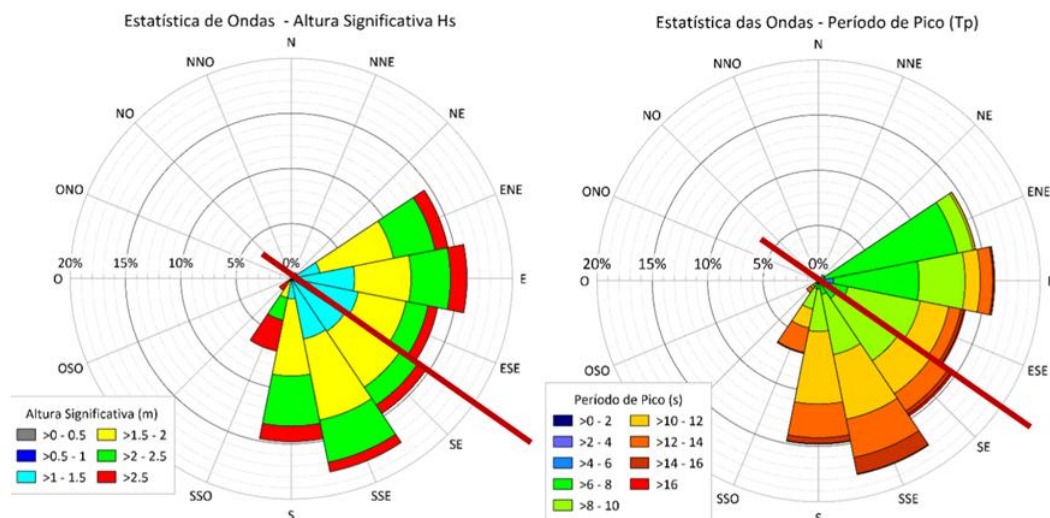
A série de maré astronômica foi obtida a partir das constantes harmônicas extraídas do FES 2014 (*Finite Element Solution*) cf., <https://datastore.csls.fr/catalogues/fes2014-tide-model/>. A maré meteorológica foi obtida através de dados médios diários de elevação do mar computado pelo modelo oceânico Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM) para a região de interesse.

Os dados de ventos foram obtidos através do modelo de reanálise do ERA5 do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) para todo o ano de 2021, em 6 pontos distribuídos pela área de modelagem.

Os dados de entrada no modelo de propagação de ondas foram obtidos a partir da reanálise ERA5 do ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). Ressalta-se que os dados obtidos são de um ponto de amostragem em águas profundas, a aproximadamente 200 metros de profundidade ao sul da região de interesse.

A Figura 2 mostra a rosa de ondas com a distribuição de altura significativa e período de pico por direção de onda para todo o ano de 2021, com informações a cada 3 horas. As ondulações predominantes são aquelas vindas de leste, sudeste e sul. Observa-se que as ondas vindas de quadrante sul possuem maior energia.

Figura 2: Rosa dos altura significativa de ondas (H_s) à esquerda e período de pico de ondas (T_p) à direita. Dados de ondas extraídos da reanálise do ERA5 para o ano de 2021.



Os gráficos a seguir (Figura 3, Figura 4 e Figura 5), apresentam séries temporais de parâmetros relativos ao modelo de ondas, como Altura Significativa (H_s em m), Período de Pico (T_p em s) e Direção Principal de Propagação (D_p em $^\circ$ de azimute de origem).

Figura 3: Série temporal com informações de Altura Significativa (Hs) de onda para o ano de 2021.

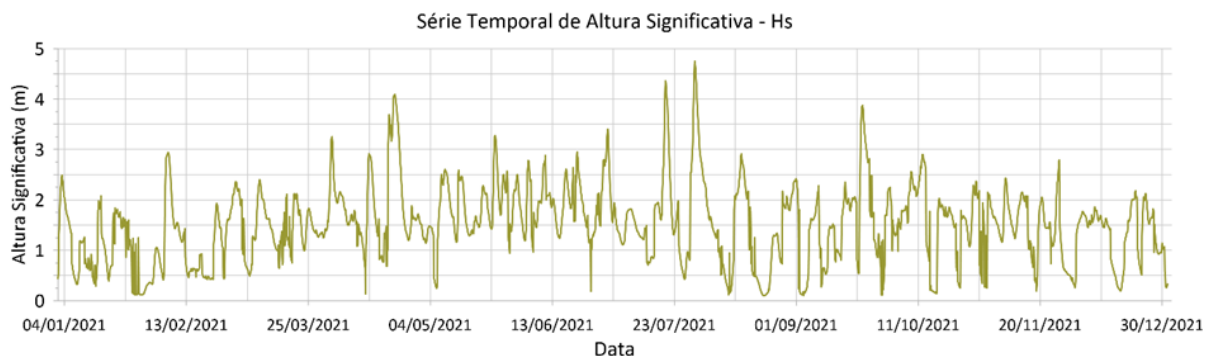


Figura 4: Série temporal com informações de Período de pico (Tp) de ondas para o ano de 2021.

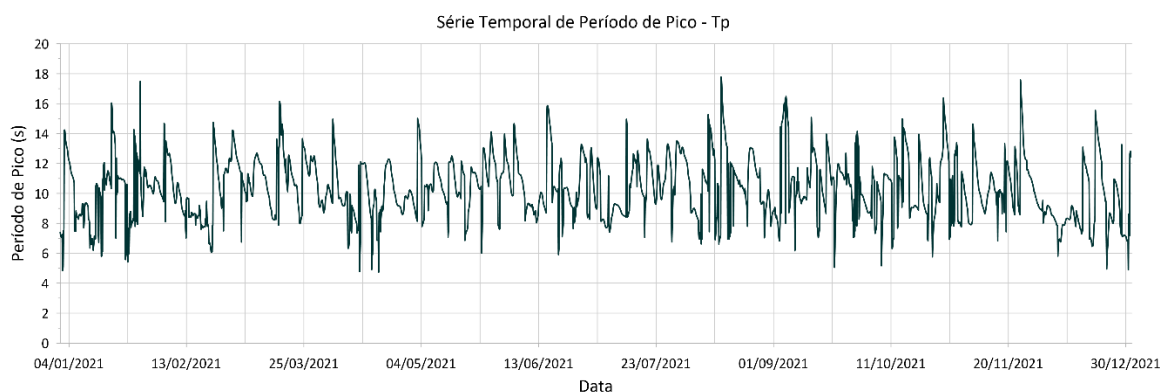


Figura 5: Série temporal com informações de Direção Principal (Dp) de ondas para o ano de 2021. As direções indicam os azimutes de origem das ondas.



Outro importante objetivo da implementação do arrecife artificial é a surfabilidade. De acordo Aguiar (2016) o arrecife proposto irá proporcionar duas raia de surfe (esquerda e direita) com aproximadamente 50 metros de extensão e arrebentação de modo mergulhante (tubular). Os arrecifes artificiais se destacam das intervenções tradicionais de engenharia costeira pela sua multifuncionalidade. Sendo uma delas a capacidade de melhorar as condições para o surfe, pois alteram as características naturais das ondas em águas rasas, o que tem sido o fator principal motivo para sua implementação (Ocke e Ikeda, 2013).

O dimensionamento do arrecife artificial (Aguiar, 2016) utilizado nesta simulação, partiu da concepção de uma estrutura que proporcionasse a formação de duas raia de surfe simétricas para surfistas de nível intermediário a avançado, na incidência frontal de uma onda com altura significativa (H_s) em torno de 1,5 m e período em torno de 9 s (onda de projeto operacional). Após intensivos estudos com um modelo parabólico de declive suave fracamente não linear, similar ao RefDif (Kirby et al., 2002), que faz parte do Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental – SisBaHiA (Rosman, 2025), e a construção de modelos reduzidos em uma bacia de ondas regulares em escalas variando de 1:15 a 1:25, a estrutura foi dimensionada com 86 m de comprimento na direção transversal por 64 metros de largura na direção longitudinal à costa, sendo assentada entre 2,7 e 7,5 metros profundidade em relação ao nível de redução da carta náutica. Uma vez assentada sobre o leito marinho, a profundidade da crista (ou platô) da estrutura deve ser 0,5 metros em relação à baixa-mar média de sizígia (MLLW).

Neste estudo será abordado somente os resultados referentes às análises de balneabilidade com a implementação do arrecife artificial para o período de um ano de modelagem.

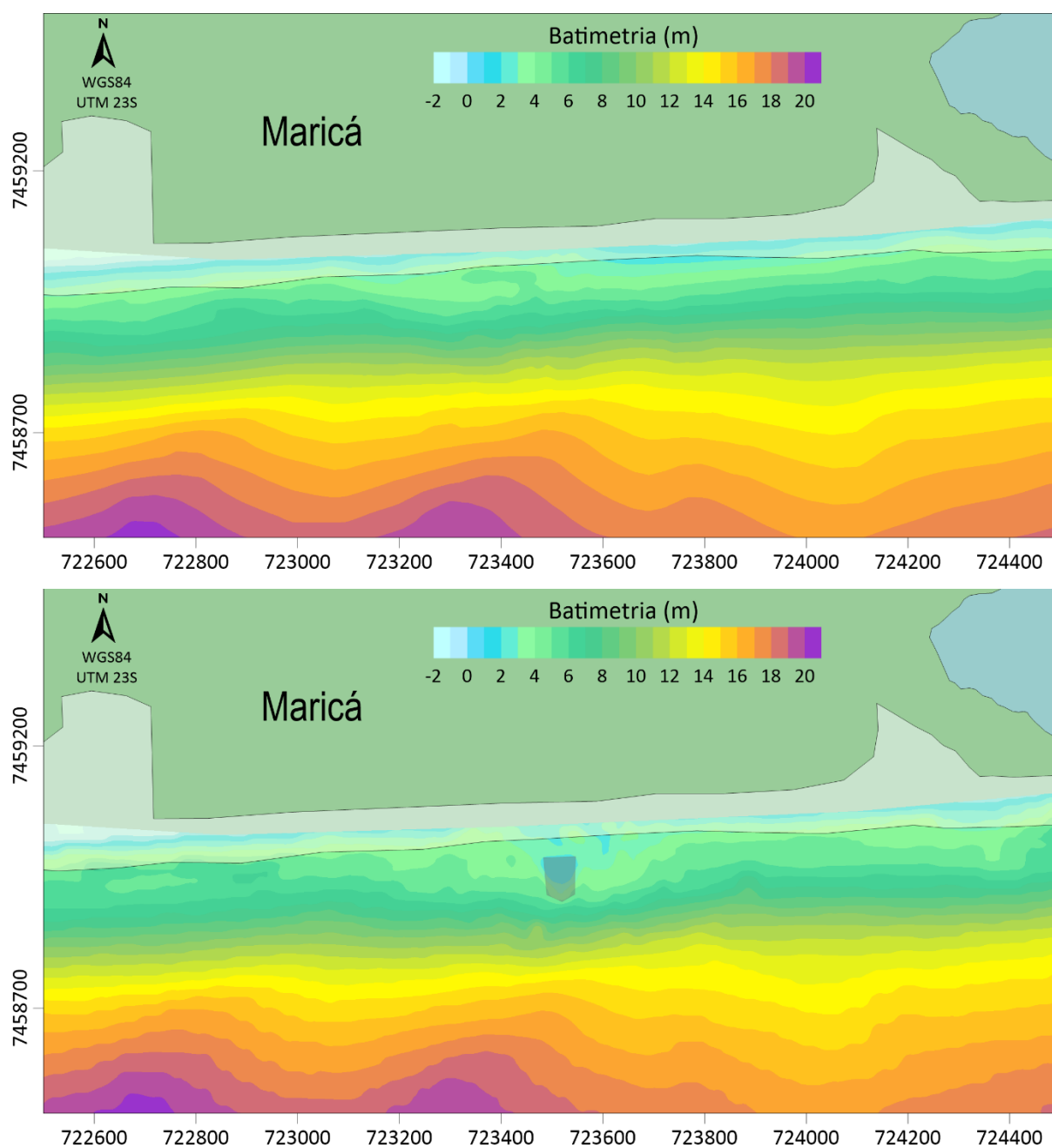
RESULTADOS

A análise comparativa entre os cenários sem (SA) e com arrecife (SP) têm como foco o amortecimento das ondas e a redução das correntes litorâneas. As correntes analisadas são geradas pela incidência oblíqua das ondas em relação à linha de costa.

A avaliação dos campos de corrente e da altura significativa de onda (H_s) na área do arrecife tem por objetivo identificar as alterações provocadas pela estrutura nas direções e intensidades das correntes, bem como na dissipação da energia das ondas. Tais alterações estão diretamente relacionadas à melhoria da balneabilidade do trecho analisado.

De modo geral, o arrecife contribui para a formação de zonas com menor energia, favorecendo a segurança dos banhistas tanto pela redução da altura das ondas quanto pela diminuição das velocidades das correntes. Essa atenuação energética é evidenciada na batimetria final do cenário projetado, com o surgimento de uma saliência localizada na retaguarda da estrutura (Figura 6), caracterizada por uma elevação do fundo em relação à batimetria adjacente. Mesmo nas condições atuais, observa-se uma dinâmica sedimentar acentuada próxima à costa, com a formação de valas e bancos arenosos.

Figura 6: Mapa de batimetria após um ano de simulação para a Situação Atual (superior) e a Situação Projetada (inferior).



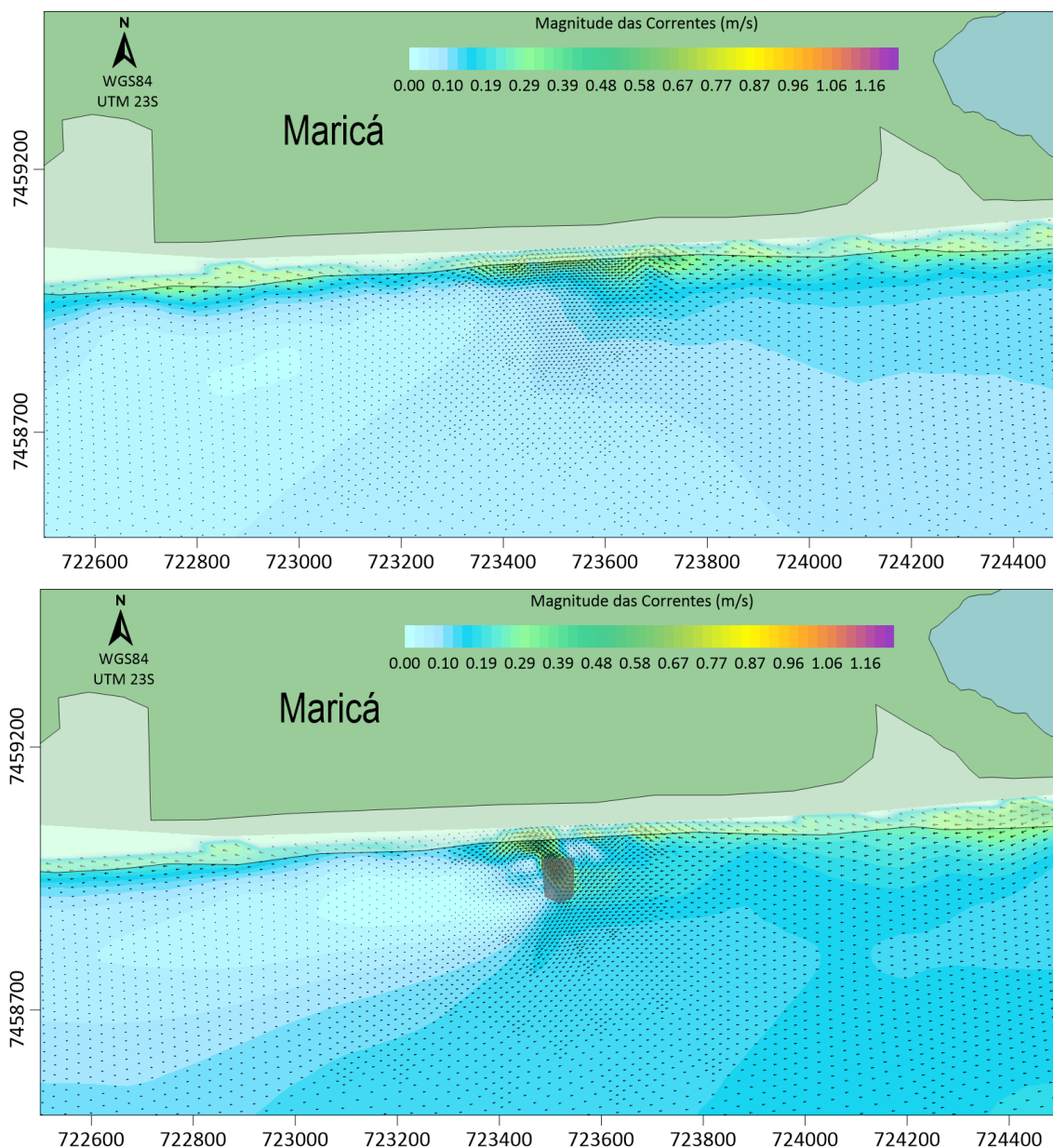
A Figura 7 ilustra as velocidades de correntes residuais para a situação atual e a projetada para a região próxima ao arrecife. As maiores velocidades são observadas entre a região de quebra de ondas e do espriamento com velocidades de 0,6 e 0,7 m/s, e direção de leste para oeste.

Fora desta região as velocidades residuais são aproximadamente 0,15 m/s. Também é possível observar que existe uma diferença na magnitude do campo de correntes entre as porções oeste e leste do mapa. Na região oeste observa-se correntes de menor magnitude quando comparada a região leste. Essa mesma característica também pode ser observada para o cenário projetado ainda mais acentuada Figura 7.

O painel inferior da Figura 7 mostra a atenuação das correntes entre o arrecife e a praia. No entanto, a noroeste e nordeste do arrecife observa-se a formação de duas células de recirculação, que dependendo da ondulação podem ser associadas à corrente de retorno. Correntes de retorno são comumente conhecidas como “valas”, são correntes transversais à linha de costa com sentido da costa para o mar.

De um modo geral, por mais que a situação com arrecife mostre a formação de células de recirculação inerentes da estrutura, há uma atenuação da magnitude das correntes ao longo de toda área observada, o que na média anual, mostra que a presença do arrecife possibilita condições mais agradáveis aos banhistas. É importante observar condições de mar específicas para entender como o arrecife modificará a dinâmica de correntes costeiras.

Figura 7: Velocidade residual anual das correntes para a Situação Atual (superior) e Situação Projetada (inferior).



CONCLUSÃO

A análise do impacto de um arrecife artificial na Praia de Maricá mostra que essa estrutura pode contribuir para a atenuação das correntes e das ondas na área, promovendo uma maior estabilidade costeira. A modelagem hidrodinâmica e morfodinâmica indica que o arrecife pode gerar uma zona de menor energia, favorecendo a segurança dos banhistas e a preservação do ambiente costeiro. Além disso, observa-se que a presença do arrecife influencia na dinâmica sedimentar da região, com sinais de formação de saliências e variações batimétricas.

Para garantir a efetividade e sustentabilidade do projeto, é recomendável a realização de avaliações detalhadas do impacto ambiental, de modo a assegurar que não ocorram efeitos adversos, como a acumulação excessiva de sedimentos ou alterações indesejadas na circulação hidrodinâmica local.

AGRADECIMENTOS – À FUNDAÇÃO COPPETEC pelo suporte financeiro possibilitando a realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. G. M. (2016). “Arena-Maricá: Recife Artificial Multifuncional com uma Estrutura Removível (Arrecife Artificial Móvel) para a Praia de Barra de Maricá (RJ) - Memorial Descritivo”. Rio de Janeiro, RJ.

NEMES, D.; GALLO, M.; PEDOCCHI, F. (2015). Estudo do impacto de um recife artificial na evolução do perfil de praia utilizando um modelo de fundo móvel. XVI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Teresina, Piauí, 28 de junho a 04 de julho de 2015. Geografia da UFPI e UESPI. ISSN: 2236-5311.

OCKE, M. A.M.; IKEDA, A.A. (2013) Recifes artificiais multifuncionais como proposta de atração turística no litoral brasileiro. Economia, ambiente e sustentabilidade no turismo.

PINHEIRO, A.B.; SILVA, A.L.C.; GRALATO, J.C.A.; SILVA, T.S. (2015). *Dinâmica e estabilidade da praia na APA de Maricá (RJ) entre 2008 e 2014*. XVI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. “Territórios Brasileiros: Dinâmicas, potencialidades e vulnerabilidades”. Teresina, Piauí 28 de junho a 04 de julho de 2015. Geografia da UFPI e UESPI. ISSN: 2236-5311.

ROSMAN, P.C.C. (2025). Referência Técnica do SisBaHIA, Fundação COPPETEC, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SILVA, A.L.C.; SILVA, M.A.M.; GRALATO, J.C.A. & SILVESTRE, C.A. (2014). *Caracterização Geomorfológica e Sedimentar da Planície Costeira de Maricá (Rio de Janeiro)*. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v.15, n.2, (Abr-Jun) p.231-249.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2002. *Coastal Engineering Manual*. Engineer Manual, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. (in 6 volumes), USA.