

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

AVALIAÇÃO DE INTERVENÇÕES PARA O CONTROLE DE CHEIAS NO SISTEMA LAGUNAR DE MARICÁ-RJ POR MEIO DE MODELAGEM HIDRODINÂMICA

Daniel Maia Ramos¹; Roberta Caldas Salcedo Reis² & Rodrigo Amado Garcia Silva³

Abstract: The Maricá-Guarapina Lagoon System, located in the municipality of Maricá (RJ), is a coastal ecosystem composed of four interconnected shallow lagoons with low-gradient margins, making it particularly vulnerable to flooding during extreme rainfall events. This study aims to analyze the system's hydrodynamic behavior under heavy rainfall by simulating scenarios with and without structural interventions. Using the SisBaHia model, permanent tidal channel openings were evaluated, based on the critical event of February 29, 2016, which recorded 258 mm of rainfall in a single day. Results indicate that, under current conditions, water levels remain elevated for extended periods, exceeding the emergency threshold defined by INEA. Conversely, the projected scenario, which increases connectivity between the lagoon and the ocean, proved more efficient in reducing peak water levels and improving drainage capacity. The findings suggest that the proposed interventions can effectively mitigate flooding and enhance the hydrological dynamics of the lagoon system.

Resumo: O Sistema Lagunar de Maricá-Guarapina, situado no município de Maricá (RJ), é um ecossistema costeiro composto por quatro lagoas interligadas e caracterizado por baixas profundidades e margens de pequeno declive, o que o torna vulnerável a inundações durante eventos de chuva intensa. Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento hidrodinâmico do sistema frente à ocorrência de precipitação extrema, por meio da simulação de cenários com e sem intervenções estruturais. Utilizando o modelo SisBaHia, foram avaliadas alternativas de abertura permanente de novos canais de maré, com base no evento crítico ocorrido em 29 de fevereiro de 2016, que registrou 258 mm de chuva em um único dia. Os resultados demonstram que, na configuração atual, os níveis de água permanecem elevados por longos períodos, superando o limite de emergência estabelecido pelo INEA. Por outro lado, os cenários projetados, com maior conectividade entre o sistema e o mar, apresentaram resposta mais eficiente, com redução significativa dos níveis máximos e maior capacidade de drenagem. Conclui-se que as intervenções propostas têm potencial para mitigar alagamentos e melhorar a dinâmica hídrica do sistema lagunar.

Palavras-Chave – Controle de Cheias; Modelagem Hidrodinâmica; Drenagem Urbana.

1) Graduando em Engenharia de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente pela Universidade Federal Fluminense e pesquisador do Grupo de Pesquisa em Hidrodinâmica, Hidráulica e Oceanografia (H2O/LABCOST). daniel_maia@id.uff.br

2) Doutoranda em Hidrografia pelo Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos da Terra (PPGDOT/UFF) e pesquisadora do Grupo de Pesquisa em Hidrodinâmica, Hidráulica e Oceanografia (H2O/LABCOST). robertareis@id.uff.br

3) Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Agrícola e Meio-Ambiente, Universidade Federal Fluminense, R. Passos da Pátria 156 sala 235, Bloco D, São Domingos, PPGDOT-UFF, H2O/LABCOST. rodrigo_amado@id.uff.br

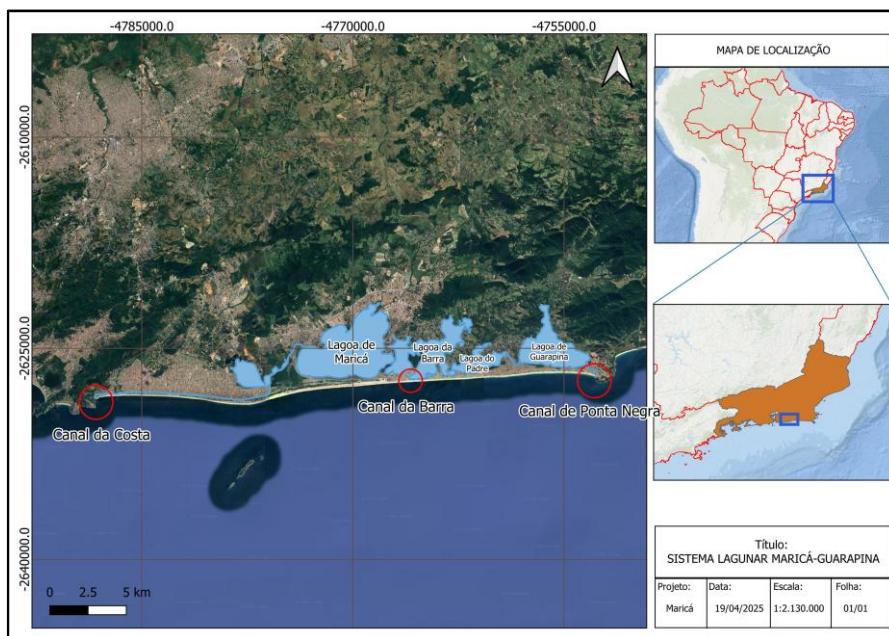
INTRODUÇÃO

O Sistema Lagunar de Maricá-Guarapina, localizado no município de Maricá, no litoral do estado do Rio de Janeiro (**Figura 1**), representa um importante conjunto de ecossistemas costeiros, composto por quatro lagoas interconectadas: Maricá, Barra, Padre e Guarapina. Apesar de sua extensa área, essas lagoas são caracterizadas por profundidades rasas e margens de baixo declive, o que as torna particularmente vulneráveis a processos de alagamento em períodos de chuvas intensas (Silvestre *et al.*, 2016).

A dinâmica hidrológica do sistema é fortemente influenciada por fatores meteorológicos e oceanográficos, como o regime de precipitação, os ventos predominantes e as oscilações de maré (Kjerfve *et al.*, 1990). A única ligação permanente e significativa entre o sistema lagunar e o oceano se dá por meio do Canal de Ponta Negra, localizado na extremidade oeste da Lagoa de Guarapina. Esse canal, estreito e relativamente raso, limita a troca de água com o mar, dificultando o escoamento de grandes volumes durante eventos de cheia. O outro canal existente, o canal da costa, localizado na outra extremidade do sistema, possui trocas muito limitadas, devido à sua embocadura; por ser estreito e obstruído não pode ser considerado permanente.

Nas últimas décadas, o sistema vem sofrendo transformações ambientais significativas, impulsionadas tanto por ações naturais quanto pelo avanço da urbanização desordenada ao seu redor. Tais alterações têm intensificado os desafios de gestão hídrica, exigindo medidas estruturais e de monitoramento capazes de mitigar os impactos das inundações e preservar a integridade ambiental desse frágil ecossistema costeiro (Toledo *et al.*, 2021).

Figura 1: Localização do Sistema Lagunar Maricá-Guarapina.



Nos últimos anos, a frequência dessas inundações tem aumentado significativamente, impulsionada principalmente pelos impactos da urbanização acelerada nas áreas do entorno da Lagoa de Maricá. Como resposta emergencial, a prefeitura municipal tem adotado ações pontuais para mitigar os danos causados à população, sendo a principal delas a abertura do Canal da Barra de Maricá — uma ligação intermitente entre a Lagoa da Barra e o mar, localizada ao sul do sistema. No entanto, essa abertura costuma ocorrer de forma não planejada e, após o escoamento das águas de cheia, o

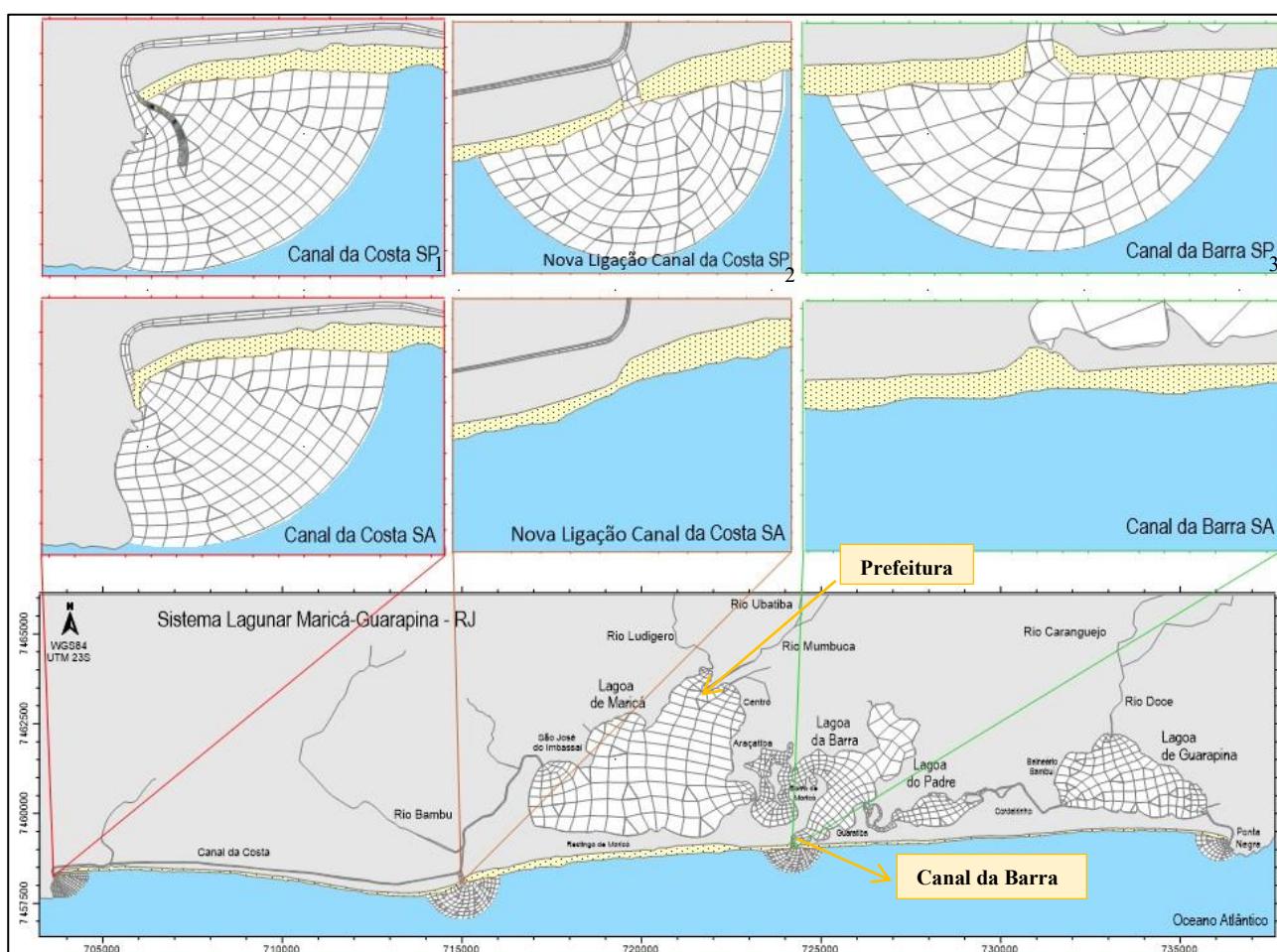
canal é rapidamente fechado devido ao assoreamento causado pela ação das ondas, que depositam sedimentos e obstruem novamente a conexão marítima em poucos dias.

Neste contexto, este trabalho apresenta uma análise de abertura de novos canais permanentes como medida de controle de cheias no município de Maricá, principalmente, durante eventos de chuvas extremas, utilizando como caso a cheia do dia 29 de fevereiro de 2016. Esta análise foi conduzida por meio de modelagem hidrodinâmica ambiental.

METODOLOGIA

A circulação hidrodinâmica no sistema lagunar foi simulada através do software SisBaHia (Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental). Maiores informações podem ser obtidas em <https://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/>. Uma das principais configurações do modelo é a malha de elementos finitos, que representa a região a ser simulada. A **Figura 2** representa esta malha para o sistema lagunar com as alternativas propostas e os pontos de interesse, que serão analisados neste trabalho.

Figura 2: Malha de elementos do Sistema Lagunar Maricá-Guarapina e pontos de controle.



Os modelos hidrodinâmicos executados levaram em consideração mais três conexões permanentes com o mar (conforme **Figura 2**), considerando dados representativos de precipitação e maré registrados entre fevereiro e março de 2016. Em particular, destaca-se o evento extremo ocorrido em 29 de fevereiro de 2016, quando o município de Maricá foi atingido por uma chuva intensa,

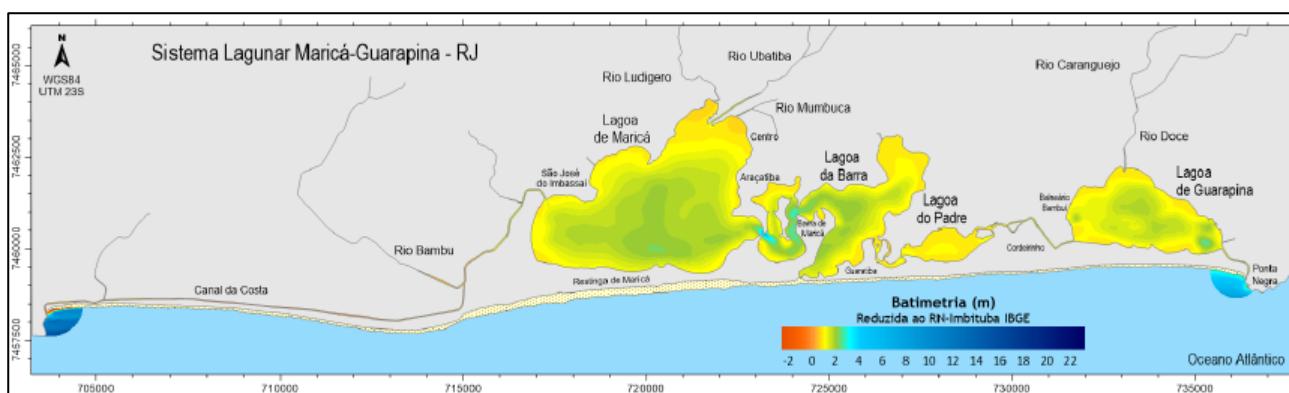
totalizando 258 mm precipitados em apenas um dia, segundo dados da estação automática mais próxima (Saquarema/Sampaio Correa), causando graves danos socioeconômicos à cidade.

Diante desse contexto, o objetivo central deste estudo é avaliar as alternativas propostas a fim de entender o comportamento do sistema em termos de drenagem e variação do nível d'água experimentados no evento em questão.

Dados Ambientais

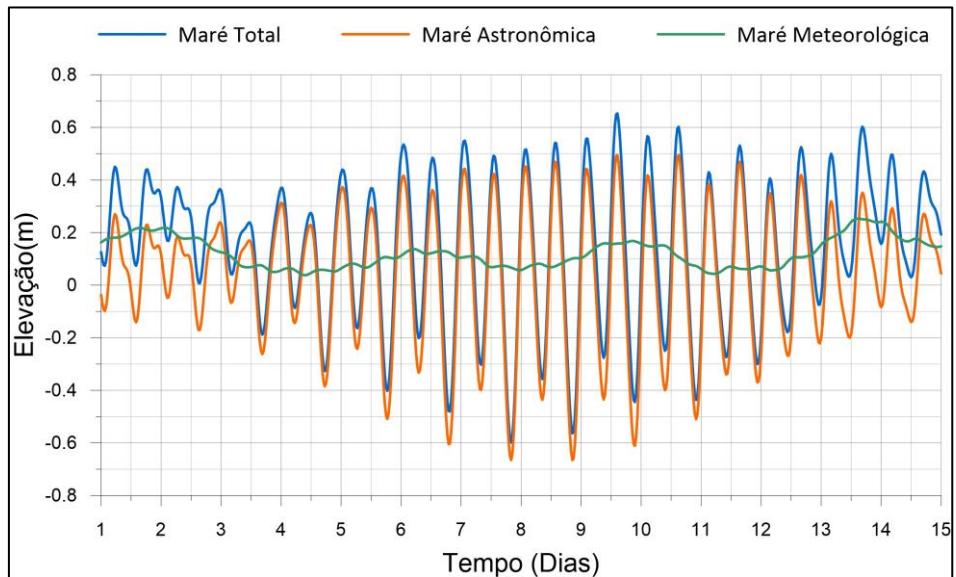
Para a construção do modelo hidrodinâmico, foram considerados dados ambientais de batimetria, maré, vento e vazão fluvial. As informações de batimetria (**Figura 3**) foram obtidas de um compilado de dados disponibilizadas pela ONG Lagoa Viva e pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil.

Figura 3: Batimetria do Sistema Lagunar Maricá-Guarapina.



Em relação aos dados de maré, foram utilizadas constantes harmônicas previamente calibradas para a região da Baía de Guanabara, com malha atingindo região próxima ao canal da costa (Ramos *et al.*, 2024). A partir destas constantes foram realizadas previsões de maré para o período de interesse (15 dias a partir de 29/02/2016). Adicionalmente, a maré meteorológica foi incorporada por meio de dados obtidos na série temporal do marégrafo da Ilha Fiscal (RJ) – o mesmo utilizado para a calibração das constantes harmônicas. A **Figura 4** ilustra as contribuições da maré astronômica, da meteorológica e o somatório das duas, que foi utilizado no modelo. Também foram inseridos dados de vento do período de interesse.

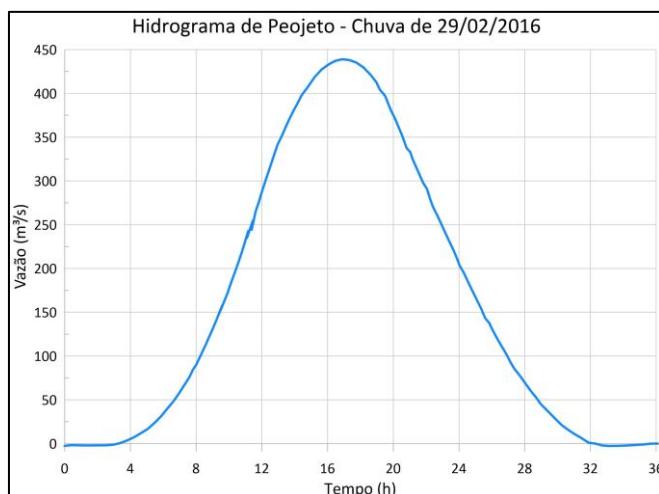
Figura 4 - Dado de maré do período simulado.



Por fim, a vazão hidrológica do sistema – uma das informações mais relevantes para este trabalho – foi definida com base em dados de campo coletados por Barrocas *et al.* (2017) e estações meteorológicas. A partir deles e dos dados de precipitação, foi possível construir o hidrograma de projeto (**Figura 5**). De acordo com os dados observados, durante o evento de 29 de fevereiro de 2016, o nível da lagoa elevou-se em aproximadamente 1,00 metro acima do nível médio na região da Prefeitura Municipal de Maricá e 0,93 metro na área do Canal da Barra. Esses valores foram alcançados 24 horas após o início da chuva.

Considerando que o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) define como nível de emergência 0,60m acima do nível médio, o valor alcançado foi suficiente para inundar a cidade. Assim, o modelo foi iniciado no instante que começou a chuva e calibrado objetivando atingir os níveis dos dados de campo observados.

Figura 5 - Hidrograma de Projeto para chuva de 29/02/2016.
Dados: Barrocas *et al.* (2017)



Cenários

Para as análises propostas, foram considerados seis cenários distintos:

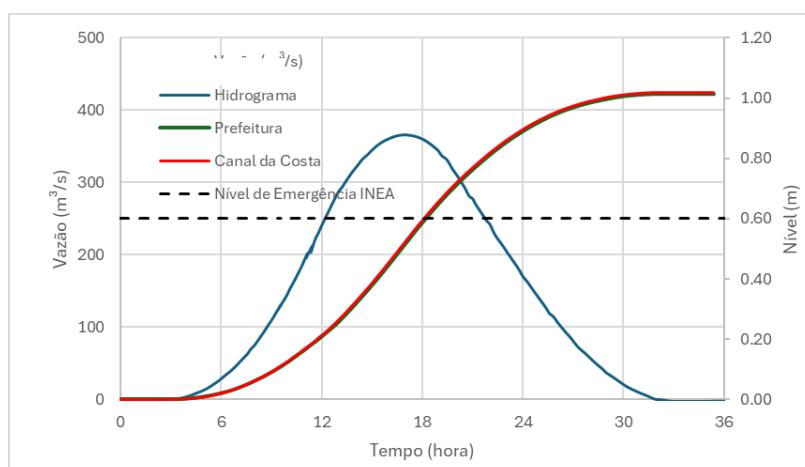
- **Situação Atual Chuvosa (SAC):** Representa o estado atual do sistema sob influência de evento extremo de precipitação, sem qualquer intervenção estrutural.
- **Situação Atual Seca (SAS):** Corresponde ao comportamento hidrodinâmico do sistema em condições normais, ou seja, sem a ocorrência da chuva extrema.
- **Situação Projetada 1 (SP1):** Representa a estabilização do canal da costa através da implantação de guia em sua embocadura.
- **Situação Projetada 2 (SP2):** Propõe a abertura de novo canal de maré em região central do canal da costa, com objetivo de ajudá-lo no escoamento de água.
- **Situação Projetada 3 (SP3):** Abertura permanente do canal da barra.
- **Situação Projetada 4 (SP4):** Simula as intervenções das Situações Projetadas 1, 2 e 3 juntas. Ou seja, o sistema lagunar com 4 canais de maré permanentes.

RESULTADOS

A simulação da Situação Atual Chuvosa, apenas com canal de Ponta Negra, utilizado para calibração, apresentou uma resposta hidrodinâmica coerente com os dados observacionais por Barrocas *et al.* (2017). A Figura ilustra o hidrograma aplicado e a evolução do nível d'água na lagoa ao longo de 36 horas após o início da precipitação, com destaque para os pontos de monitoramento, situados nas regiões da Prefeitura e do Canal da Barra (**Figura 2**). Observa-se que a elevação do nível lagunar ocorreu de forma praticamente simultânea nessas duas áreas, refletindo uma resposta homogênea do sistema.

Conforme esperado, o pico do nível da água coincide com o tempo de duração do hidrograma, indicando que a resposta do sistema acompanha o avanço da cheia. Após cerca de 18 horas do início da chuva, o nível de emergência (0,6m) foi atingido em ambas as localidades. O nível máximo modelado foi registrado por volta da 30^a hora, com valores de 1,01 nas proximidades do Canal da Barra e 1,02 m na Prefeitura. Esses valores se mostraram consistentes com as informações levantadas em campo por Barrocas *et al.* (2017), com base em relatos de moradores, registros jornalísticos e marcas de alagamento. Tal compatibilidade válida a confiabilidade do modelo adotado.

Figura 6 - Variação do nível do sistema lagunar para o ponto de análise da prefeitura e do canal da costa, junto com o hidrograma de projeto.



Em relação à análise dos cenários, a **Figura 7** e a **Figura 8** apresentam os resultados da simulação hidrodinâmica referentes à variação do nível lagunar nas estações do Canal da Barra e da Prefeitura de Maricá, ao longo de 15 dias, considerando os seis cenários distintos. Esses cenários abrangem a configuração atual do sistema com e sem chuva extrema, bem como diferentes combinações de intervenções estruturais voltadas à ampliação da conectividade entre o sistema lagunar e o oceano.

No cenário da Situação Atual com chuva extrema, verifica-se que ambas as estações apresentam uma elevação rápida e expressiva do nível da lagoa logo nas primeiras 24 horas, alcançando cerca de 1 metro na Prefeitura e no Canal da Barra. Em ambos os casos, os níveis permanecem acima da linha de emergência a partir da primeira hora de chuva e, após 15 dias escoam apenas cerca de 15cm, evidenciando a ineficiência do sistema atual em promover o escoamento adequado das águas pluviais, mesmo após o pico da cheia.

Os cenários de intervenção estrutural apresentam variações importantes na resposta do sistema. Na Situação Projetada 1 (SP1) (Canal da Costa), e Situação Projetada 2 (SP2) (Meio do Canal da Costa), os resultados são semelhantes. Em ambas as estações, os níveis lagunares atingem valores próximos a 0,90 m no início da simulação e iniciam um processo de rebaixamento progressivo, cruzando o nível de emergência em torno do terceiro dia. Apesar da melhora em relação à configuração atual, os níveis permanecem relativamente altos nos dias subsequentes, o que indica que tais medidas, quando adotadas de forma isolada, possuem eficiência limitada na drenagem do sistema.

Ainda em relação a SP1 e SP2, apesar de não desempenharem de forma eficaz isoladamente nesta análise, possuem grande relevância em relação à análise de tempos hidráulicos característicos. O canal da barra é uma região que não possui fluxo de água, o que dificulta também a renovação e movimentação das águas da lagoas de Maricá, conforme é possível visualizar na Situação Atual Seca. Assim, ao estabelecer estas novas conexões, esta região passaria a possuir uma maior taxa de renovação de águas.

A Situação Projetada 3 (SP3) (Canal da Barra), demonstra um desempenho mais satisfatório. Os níveis máximos no Canal da Barra não ultrapassam 0,35m e apresentam oscilações regulares associadas ao ciclo de maré, o que revela uma efetiva comunicação com o oceano. Na região Prefeitura, embora os valores iniciais sejam ligeiramente superiores, observa-se uma redução acentuada e manutenção dos níveis dentro de uma faixa segura, entre 0,30 e 0,45 m. Este cenário evidencia que a abertura do Canal da Barra, ainda que isolada, promove um ganho significativo na capacidade de escoamento do sistema lagunar, de forma que não se aproxima do nível de emergência do INEA.

O melhor desempenho entre os cenários analisados foi observado na Situação Projetada 4 (SP4), que reúne todas as intervenções anteriores, ainda que muito próximo do cenário de abertura do Canal da Barra. Esse cenário apresentou níveis lagunares com valores máximos inferiores a 0,30 m tanto no Canal da Barra quanto na Prefeitura. Além disso, o comportamento oscilatório típico de ambientes com alta conectividade marinha foi plenamente restabelecido. Pelo fato de esse cenário ser similar à SP4, há a necessidade de comparação de análise de viabilidade para implantação dos dois.

A Situação Atual Seca é apresentada como referência e evidencia o comportamento natural do sistema. Nota-se que, tanto na região do Canal da Barra quanto na da Prefeitura, os níveis lagunares mantêm-se praticamente constantes ao longo do tempo, sem variações expressivas associadas ao ciclo de maré. Este comportamento confirma a condição de estagnação hidrodinâmica dessas regiões.

Figura 7: Variação do nível lagunar nos diferentes cenários de simulação no ponto de análise do Canal da Barra.

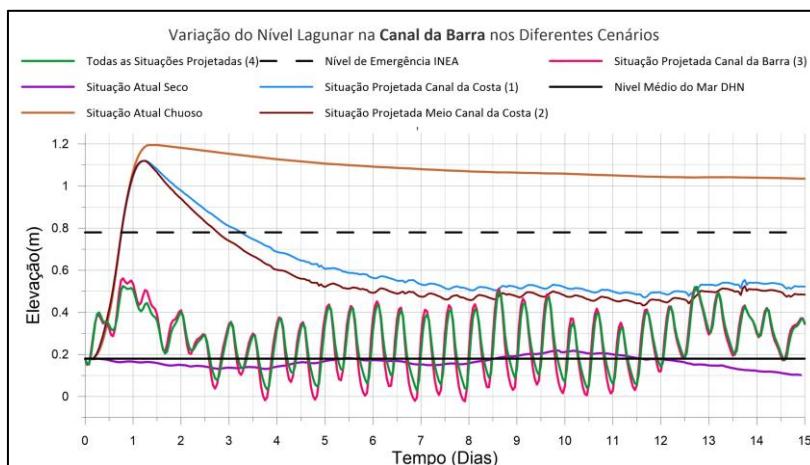
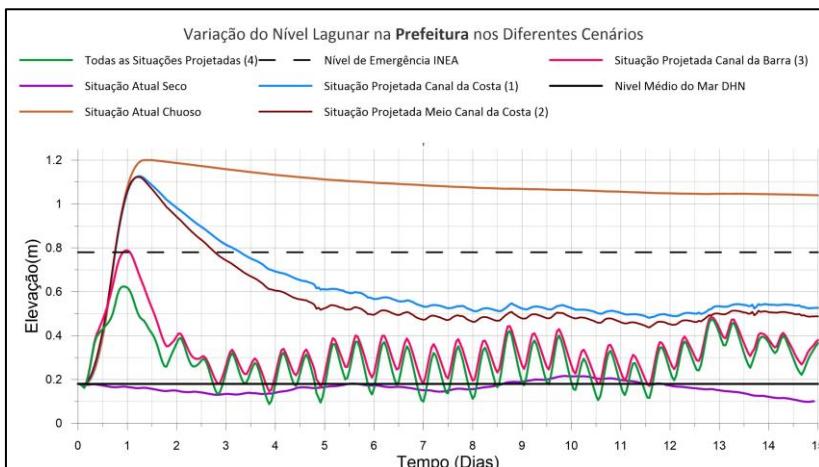


Figura 8: Variação do nível lagunar nos diferentes cenários de simulação no ponto de análise da Prefeitura.



Dessa forma, os resultados apontam que intervenções localizadas, como as representadas em SP1 e SP2, apresentam efeito relevante, pois reduzem a cota de inundação e escoam mais rapidamente a cheia, entretanto não são suficientes para impedir inundação da cidade. Tais intervenções se justificariam para melhorar a qualidade ambiental do Canal da Costa e a eficiência dos sistemas de drenagem urbana da região de Itaipuaçu.

Por outro lado, a abertura permanente do Canal da Barra (SP3) e a junção das alternativas (SP4) apresentam desempenho semelhante em termos de nível para ambas as estações, sendo necessária uma avaliação criteriosa da relação custo x benefício das duas.

Assim, de forma a concluir, os resultados demonstraram que: i) Situação Atual Chuvosa (SAC) possui níveis máximos de cerca de 1m, com tempo de escoamento lento; ii) Situação Projetada 1 (SP1) – a estabilização do Canal da Costa tem redução inicial dos níveis para ~0,90 m, cruzando a cota de emergência em 3 dias; iii) Situação Projetada 2 (SP2) – o novo Canal no Meio do Canal da Costa possui comportamento semelhante ao da SP1; iv) Situação Projetada 3 (SP3) – a abertura Permanente do Canal da Barra levou a níveis máximos 0,45m, com oscilações típicas de maré; v) Situação Projetada 4 (SP4) – o conjunto de Todas as Intervenções chegou a níveis máximos < 0,30m, com resultado semelhante à SP3.

CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou, por meio de modelagem hidrodinâmica, que o Sistema Lagunar de Maricá-Guarapina apresenta vulnerabilidades significativas em sua configuração atual quando submetido a eventos extremos de precipitação. A ocorrência de alagamentos frequentes, agravada pela baixa declividade, pelas profundidades rasas e pela limitada conectividade com o mar, evidencia a necessidade de intervenções estruturais planejadas e permanentes.

A análise do evento crítico de 29 de fevereiro de 2016, com precipitação acumulada de 258 mm em um único dia, revelou que, na Situação Atual, os níveis da lagoa ultrapassam o limite de emergência estabelecido pelo INEA (0,60 m) já nas primeiras horas da chuva, mantendo-se em patamares elevados mesmo após 15 dias do evento. Isso comprova a ineficiência do sistema atual em promover o escoamento e a renovação hídrica, o que compromete tanto a segurança da população quanto a qualidade ambiental do ecossistema.

As intervenções localizadas no Canal da Costa (SP1 e SP2), apresentaram uma melhora no escoamento da cheia, amenizando o problema e, portanto, não devem ser descartadas, pois possuem também outros benefícios, como melhora da circulação de água nas lagoas. Por sua vez, as Situações Projetadas 3 e 4 (SP3 e SP4) — que correspondem, respectivamente, à abertura permanente do Canal da Barra e à combinação das três intervenções propostas — demonstraram desempenhos hidrodinâmicos bastante semelhantes, com significativa redução dos níveis de cheia e restabelecimento da conectividade com o mar.

Entretanto, a alternativa SP3 se destaca como a opção mais viável sob os aspectos técnico-operacional, ambiental e econômico, uma vez que envolve menor complexidade de implantação, demanda obras de menor porte e tende a enfrentar menos entraves nos processos de licenciamento ambiental e viabilização orçamentária, sendo esta a recomendada.

Assim, conclui-se que a adoção de soluções estruturais permanentes e bem planejadas representa uma estratégia eficaz para mitigar os impactos de eventos extremos e garantir maior resiliência ao Sistema Lagunar de Maricá-Guarapina. Tais medidas devem ser integradas a políticas públicas de ordenamento territorial, drenagem urbana e conservação ambiental, aliadas ao monitoramento contínuo e à participação da sociedade local no processo de tomada de decisão.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra da Universidade Federal Fluminense e financiado pela FAPERJ – Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, Processo SEI E-26/200.239/2023. Além disso, foi também financiado pelo Programa Institucional de Bolsa de Iniciação Científica (PIBIC) do CNPq.

REFERÊNCIAS

BARROCAS, F. M.; PRADEL, A. B. F.; SILVA, Rodrigo A. G.; GALLO, M. N.. **Abertura do Canal da Barra como medida de mitigação de cheias em Maricá-RJ.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS – SBRH, XXIII, 2019, Foz do Iguaçu. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/107/XXIII-SBRH1287-1-20190505-225305.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2025.

COPPE/UFRJ. (20125). **SisBaHiA® – Referência Técnica versão 12b: Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ. Disponível em: https://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/assets/downloads/SisBaHiA_RefTec_v12b.pdf. Acesso em: 13 jun. 2025.

KJERFVE, B., KNOPPERS, B., MOREIRA, P., & TURCQ, B. (1990). **Hydrological regimes in Lagoa de Guarapina, a shallow Brazilian coastal lagoon.** Acta Limnologica Brasiliensis, 3.

OLEDO, L. M.; WALL, F. C. M.; OBRACZKA, M.; SALOMÃO, A. L. de S. (2021). **Panorama do Sistema Lagunar de Maricá – RJ: Indicadores de Saneamento Vs. Qualidade de Água.** Revista Internacional de Ciências, v. 11, n. 1, p. 6–24. DOI: 10.12957/ric.2021.51768. Acesso em: 13 jun. 2025.

RAMOS, D.M.; REIS, R. C. S.; SILVA, R. A. G. **Um método de calibração de modelos hidrodinâmicos de baías: aplicação na Baía de Guanabara – RJ.** In: XVI ENES & II FluHidros, 2024, Curitiba. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=16449>. Acesso em: 07 jun. 2025.

SILVESTRE, T. M.; COSTA, C. M. S.; MENDONÇA, B. A. F. (2023). **Diagnóstico geoambiental da Lagoa de Maricá como subsídio às formas de uso e ocupação do litoral do município de Maricá/RJ.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 24, n. 2, p. 401–419. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1111/595>. Acesso em: 13 jun. 2025.

TOLEDO, L.M.; WALL, F.CM.; OBRACZKA, M.; SALOMÃO, A.L.S. Panorama do Sistema Lagunar de Maricá – RJ: Indicadores de Saneamento Vs. Qualidade De Água. **Revista Internacional de Ciências, [S. I.]**, v. 11, n. 1, p. 6–24, 2021. DOI: 10.12957/ric.2021.51768. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/ric/article/view/51768>. Acesso em: 24 jun. 2025.