

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

EFEITOS DA ABERTURA DE NOVOS CANAIS NA RENOVAÇÃO DE ÁGUAS NO SISTEMA LAGUNAR MARICÁ-GUARAPINA

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

Abstract: The Maricá-Guarapina Lagoon System, located on the coast of Rio de Janeiro State, Brazil, is a coastal ecosystem composed of four interconnected lagoons, whose hydrological dynamics are strongly influenced by their connectivity with the sea. This study aims to assess the system's characteristic hydraulic times—namely, water age and renewal rate—as indicators of hydro-environmental quality. Using the SisBaHiA numerical model, four different scenarios of lagoon-ocean connectivity were simulated under typical summer and winter conditions. The results showed that, under current conditions, there is significant water stagnation in the inner parts of the system, particularly in the Barra and Padre lagoons. The permanent opening of the Canal da Barra, regularization of the Canal da Costa and a new channel in the central region of the Canal da Costa, especially when combined (SP3), significantly reduced water residence times, achieving renewal rates above 90% across much of the system. It is concluded that structural interventions aimed at increasing marine connectivity are effective in restoring the hydrodynamic and environmental quality of the lagoon system.

Resumo: O Sistema Lagunar de Maricá-Guarapina, situado no litoral do estado do Rio de Janeiro, é um ecossistema costeiro formado por quatro lagoas interligadas, cuja dinâmica hidrológica é fortemente dependente da conectividade com o mar. Este trabalho tem como objetivo avaliar os tempos hidráulicos característicos do sistema — idade da água e taxa de renovação — como indicadores da qualidade hidroambiental. Foram simulados, por meio do modelo numérico SisBaHiA, quatro cenários distintos de conectividade laguna-marinha, considerando condições típicas de verão e inverno. Os resultados indicaram que, na situação atual, há significativa estagnação hídrica em porções internas do sistema, especialmente nas lagoas da Barra e do Padre. A abertura permanente do Canal da Barra, regularização do Canal da Costa e um novo canal na região central do canal da costa, especialmente quando combinadas (SP3), promoveram redução expressiva dos tempos de residência da água, com taxas de renovação superiores a 90% em grande parte do sistema. Conclui-se que intervenções voltadas ao aumento da conectividade com o oceano são eficazes na recuperação da qualidade hidrodinâmica e ambiental da laguna.

Palavras-Chave – Sistema Lagunar; Modelagem Hidrodinâmica; Renovação de Água.

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

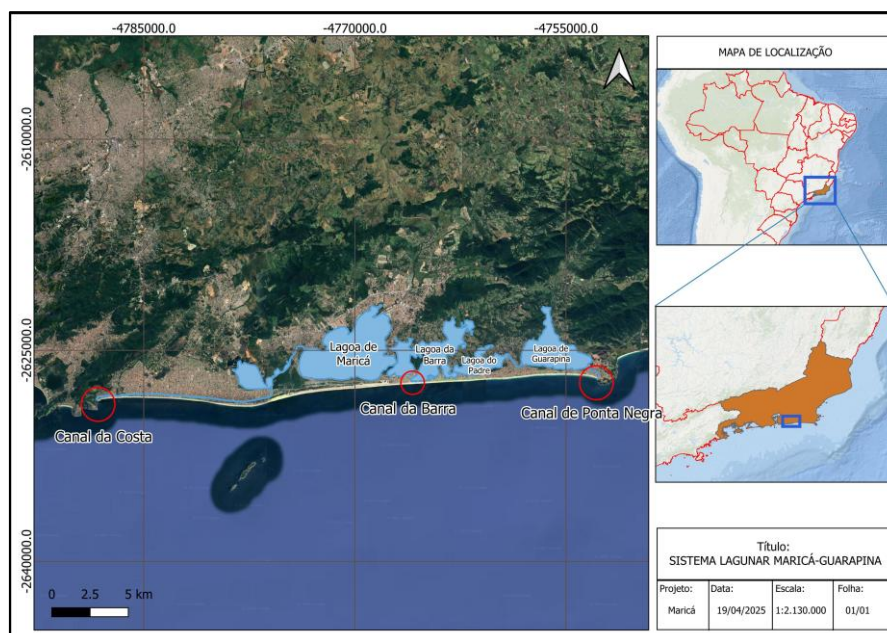
INTRODUÇÃO

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 a renovação de águas no interior das lagoas. 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. De modo geral, quanto maior é a troca de água com o mar, melhor tende a ser a qualidade das águas das lagoas.

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 e preservar a integridade ambiental desse frágil ecossistema costeiro (Toledo *et al.*, 2021).

Figura 1: Localização do Sistema Lagunar Maricá-Guarapina.

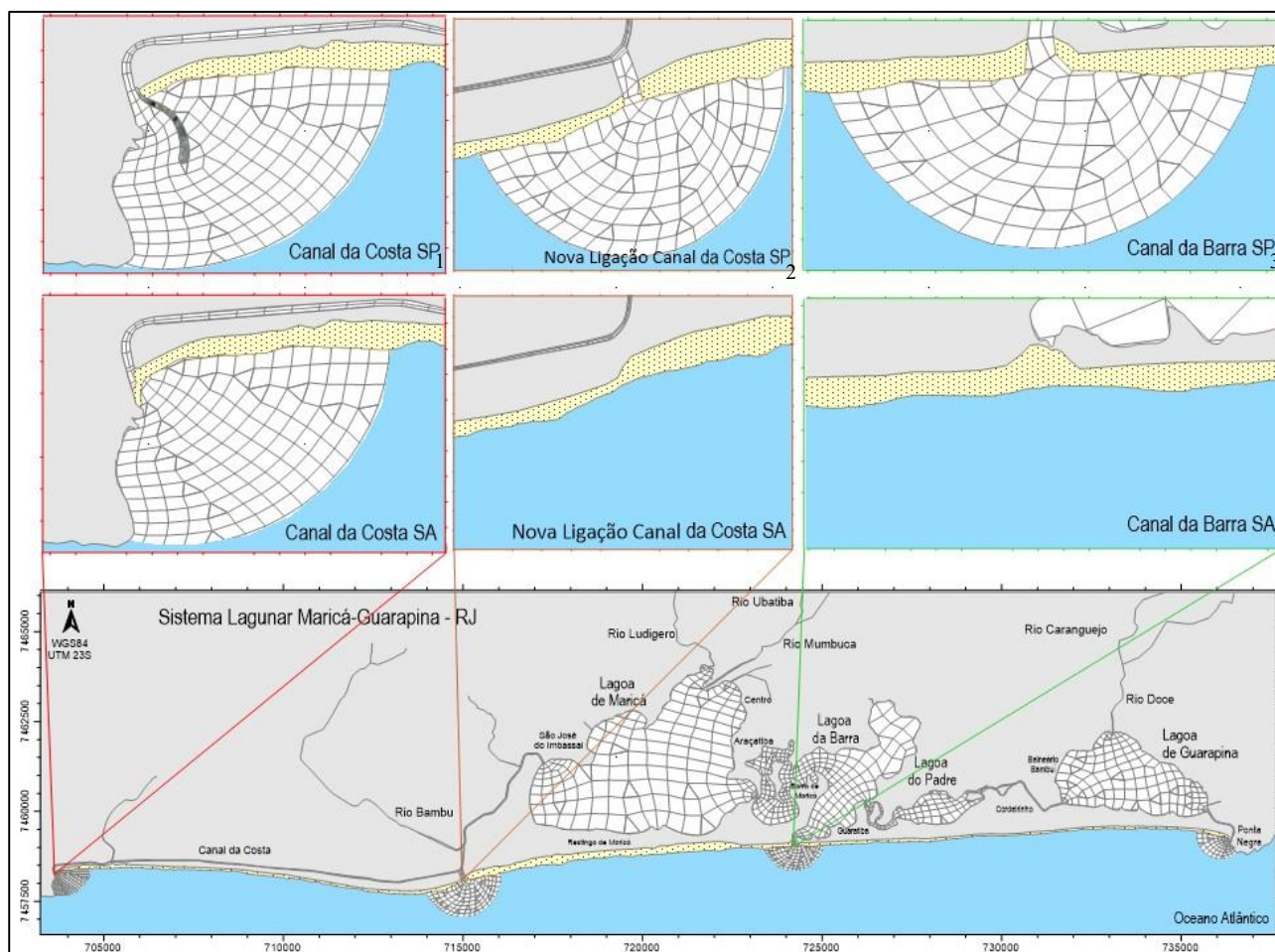


Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade hidro-ambiental do sistema em questão a partir da análise de seus tempos hidráulicos característicos. O estudo será conduzido via modelagem numérica e será analisada tanto a situação atual da lagoa, quanto as diferentes intervenções de novas aberturas permanentes com o mar que serão propostas para melhora da renovação de águas do sistema. Além disso, será considerado cenários típicos durante o verão (mês de janeiro) e o inverno (mês de julho).

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.

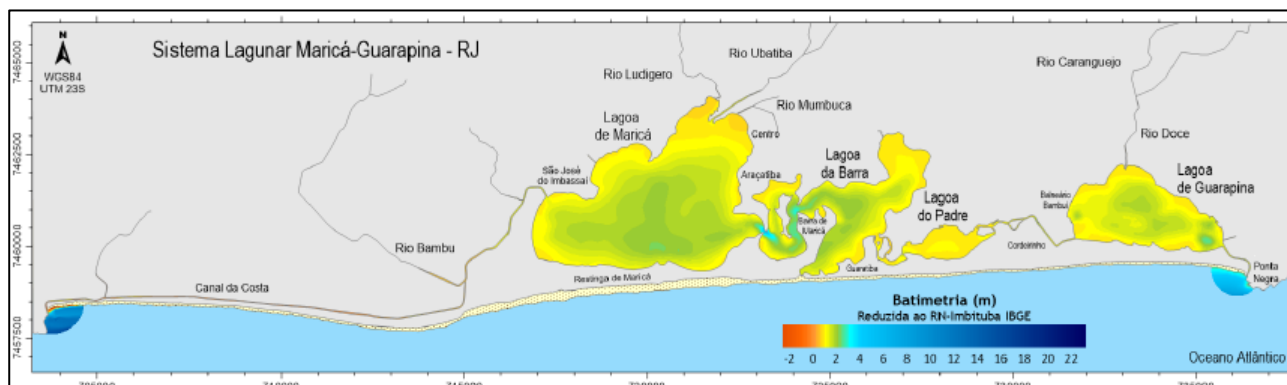


Os modelos hidrodinâmicos executados levaram em consideração mais três conexões permanentes com o mar (conforme **Figura 2**), considerando dados representativos de maré, vento e vazão característicos do verão e do inverno.

Dados Ambientais

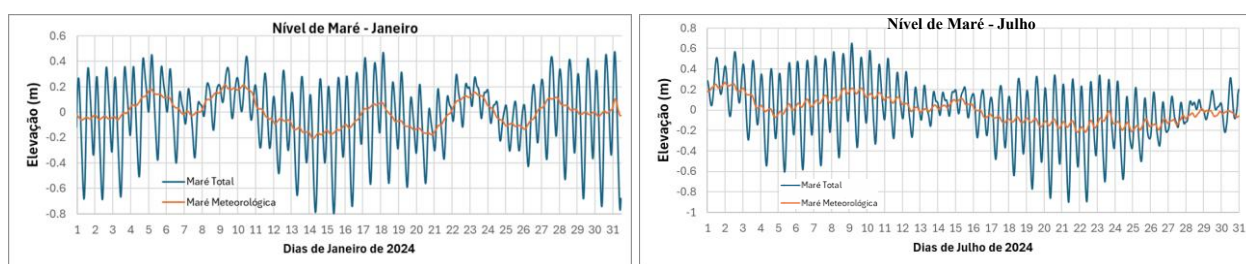
Para a construção do modelo hidrodinâmico, foram considerados dados ambientais de batimetria, maré, vento e vazão fluvial. As informações de batimetria (**Figura 3**) foram obtidas de um compilado de dados disponibilizadas pela ONG Lagoa Viva e pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha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

Figura 3: Batimetria do Sistema Lagunar Maricá-Guarapina.



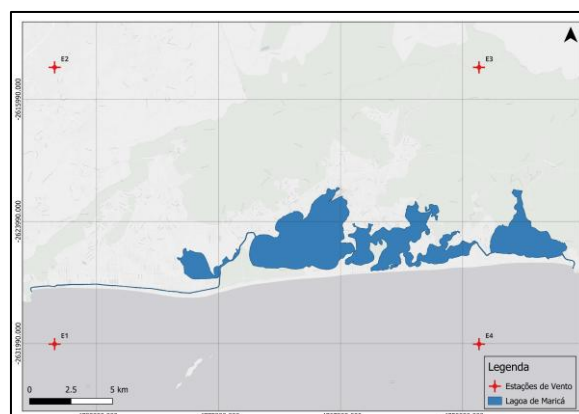
Em relação aos dados de maré, foram utilizadas constantes harmônicas previamente calibradas para a região da Baía de Guanabara, com malha atingindo região próxima ao canal da costa (Ramos *et al.*, 2024). A partir destas constantes foram realizadas previsões de maré para o período de interesse – 31 dias de janeiro de 2024, caracterizando o verão; e 31 dias de julho de 2024, caracterizando o inverno. 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.

Figura 4 - Dado de maré do período simulado.



Séries temporais de vento na região do Sistema Lagunar de Maricá-Guarapina provém de modelos globais de reanálise do ECMWF – European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, para os diferentes cenários. As estações foram cuidadosamente selecionadas de forma a representar bem o regime de ventos local através da boa distribuição espacial (**Figura 5**).

Figura 5: Estações de vento selecionadas



Em relação aos dados de vazão, estes foram estimadas vazões fluviais através das metodologias de chuva \times vazão, com base nas áreas das bacias dos principais rios afluentes, e supondo uma precipitação anual de 1300mm/ano que levam a valores de vazão total afluente por volta de 2 m³/s (Rosman, 2007).

Cenários

Para as análises propostas, foram considerados seis cenários distintos:

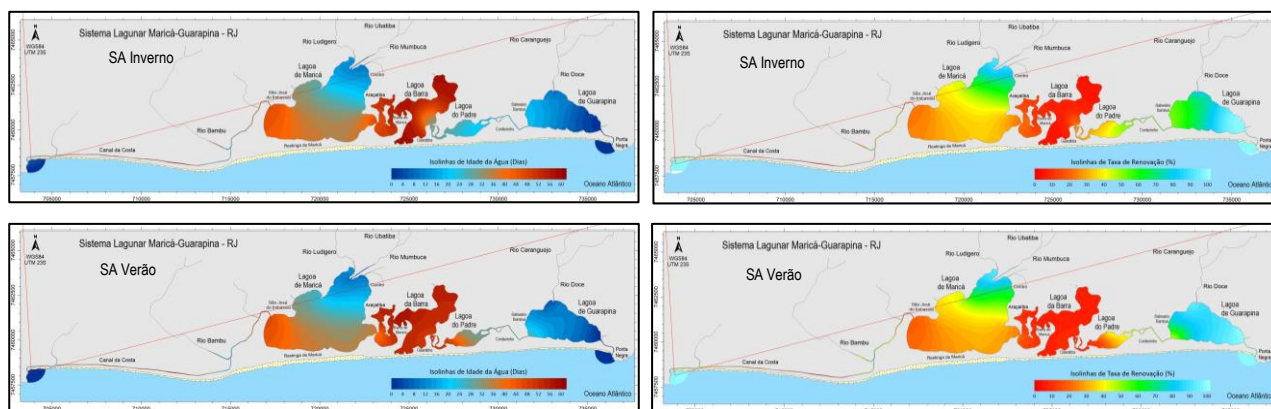
1. **Cenário da Situação Atual (SA):** Envolve a simulação de diagnóstico da situação atual, sem intervenção, do Sistema Lagunar de Maricá-Guarapina em condições ambientais típicas de verão e de inverno.
2. **Cenário de Situação Projetada 1 (SP1):** Envolve a simulação de prognóstico de situação projetada contemplando a implementação de guia-correntes na embocadura do Canal da Costa, concomitante com a regularização da sua calha à montante até a chegada na Lagoa de Maricá. As simulações consideraram condicionantes ambientais típicos de verão e de inverno.
3. **Cenário de Situação Projetada 2 (SP2):** Envolve a simulação de prognóstico da situação projetada contemplando a abertura permanente do Canal da Barra. As simulações consideraram condicionantes ambientais típicos de verão e de inverno.
4. **Cenário de Situação Projetada 3 (SP3):** Envolve a simulação de prognóstico da situação projetada contemplando o somatório das duas situações acima, com a adição de uma nova abertura localizada no meio do canal da costa. As simulações consideraram condicionantes ambientais típicos de verão e de inverno.

RESULTADOS

A avaliação dos tempos hidráulicos característicos do Sistema Lagunar de Maricá-Guarapina foi conduzida a partir da análise da Idade da Água e da Taxa de Renovação, parâmetros que indicam a eficiência das trocas de massa entre a lagoa e o oceano. Os resultados dos modelos oferecem uma importante noção da capacidade de renovação hídrica em diferentes regiões do sistema sob distintos cenários de conectividade com o mar. É importante ressaltar que o objetivo não é avaliar a qualidade da água dos sistemas, o que significa que o fato de haver renovação não está ligado, necessariamente, com a melhora da qualidade da água, uma vez que as águas provenientes dos aportes fluviais podem não possuir boa qualidade.

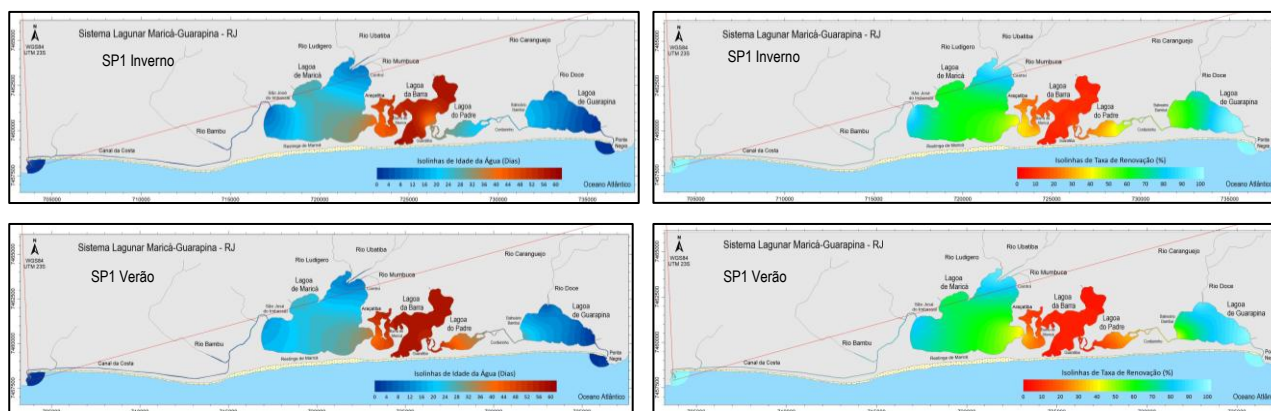
As simulações para a Situação Atual revelaram elevadas taxas de estagnação, sobretudo na Lagoa da Barra e no Canal da Costa, onde se observaram idades da água superiores a 50 dias e taxas de renovação inferiores a 10%. A Lagoa de Maricá apresentou desempenho intermediário, com maior renovação nas proximidades da foz do Rio Mumbuca, enquanto a única porção do sistema com renovação eficiente foi a Lagoa de Guarapina, beneficiada por sua ligação permanente com o mar por meio do Canal de Ponta Negra. Esse padrão foi consistente tanto nas simulações de verão quanto de inverno (**Figura 6**).

Figura 6: Isolinhas de Idade da Água e Taxa de Renovação na Situação Atual, durante o verão e inverno.



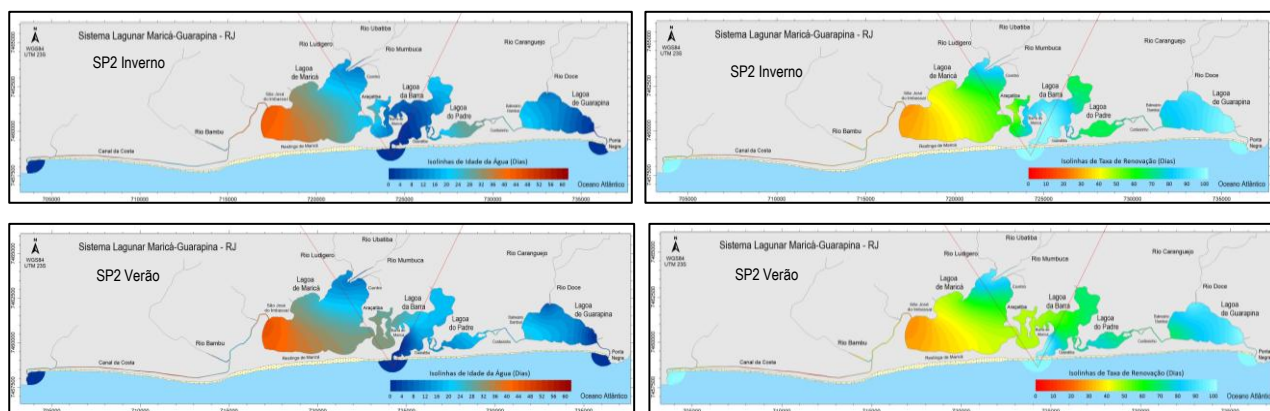
Na Situação Projetada 1 (SP1), com estabilização da embocadura do Canal da Costa, observou-se uma melhoria significativa na dinâmica de renovação da Lagoa de Maricá. Grande parte da lagoa apresentou idades da água próximas a 20 dias e taxas de renovação em torno de 50%, além da recuperação parcial da renovação no Canal da Barra, que atingiu 100% em algumas regiões. No entanto, essa alternativa se mostrou eficaz apenas na Lagoa de Maricá, sem reflexos significativos nas lagoas mais interiores, como a da Barra e a do Padre. As diferenças sazonais foram pouco expressivas, e os resultados se mantiveram similares nos dois períodos analisados (**Figura 7**).

Figura 7: Isolinhas de Idade da Água e Taxa de Renovação na Situação Projetada 1, durante o verão e inverno.



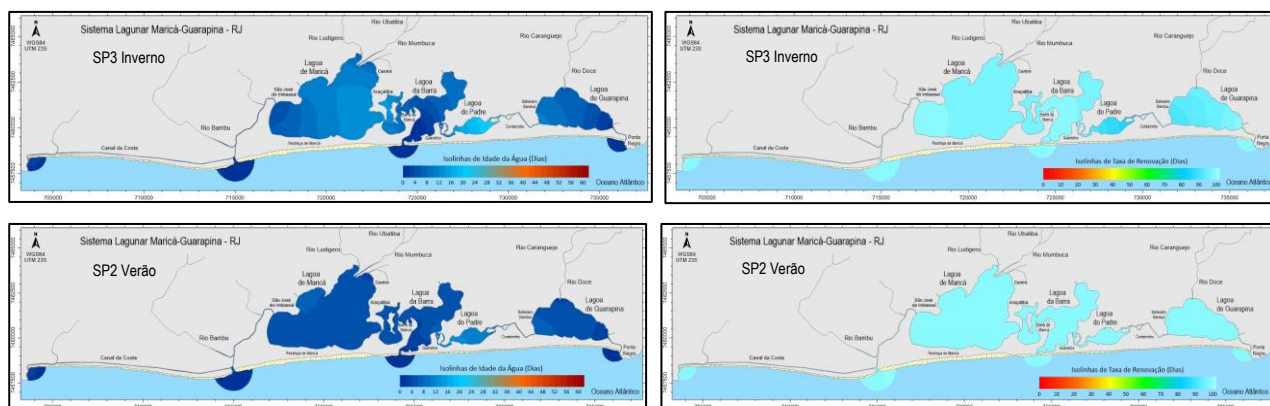
A Situação Projetada 2 (SP2), com abertura permanente do Canal da Barra, apresentou desempenho superior, especialmente para as Lagoas da Barra e do Padre, regiões que, na situação atual, apresentavam maior dificuldade de renovação. Ambas as lagoas passaram a apresentar, em média, idades da água de cerca de 10 dias e taxas de renovação superiores a 70% durante o verão, representando um aumento de mais de 80% em relação ao cenário de base. No inverno, possivelmente em razão da influência de frentes frias e dos consequentes diferenciais de nível entre a lagoa e o mar, os resultados foram ainda mais expressivos: na Lagoa da Barra, a maior parte da área atingiu idades da água próximas a 5 dias e taxas de renovação superiores a 90%. Além disso, observou-se melhora na conectividade entre a Lagoa de Maricá e a Lagoa da Barra, evidenciando o efeito sistêmico da intervenção. A **Figura 8** ilustra esses resultados.

Figura 8: Isolinhas de Idade da Água e Taxa de Renovação na Situação Projetada 2, durante o verão e inverno.



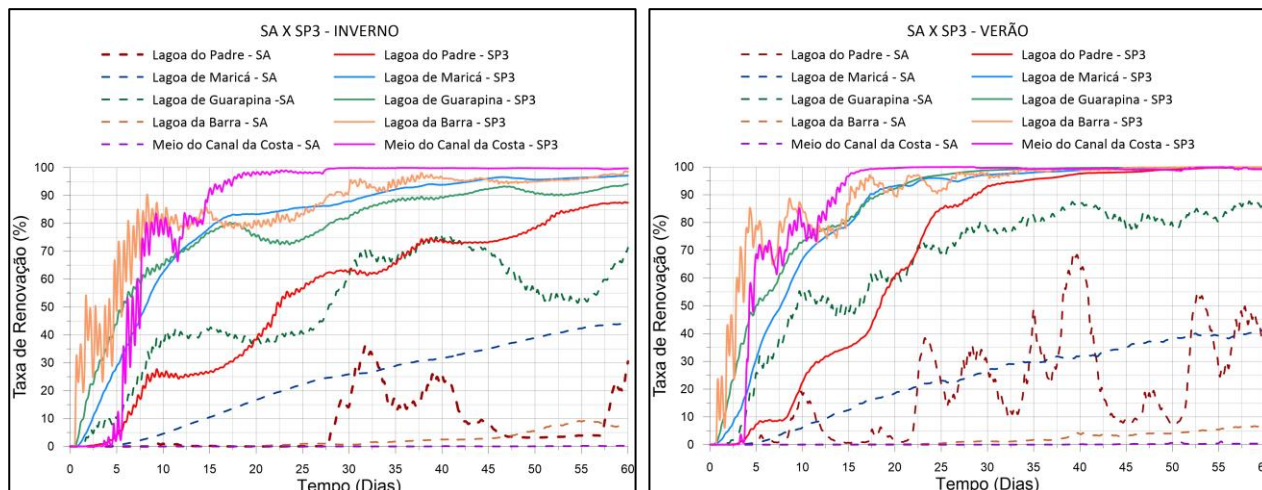
Por fim, ao se considerar a SP3, os resultados das simulações para os meses de verão e inverno mostraram-se notavelmente consistentes. Foi observada uma taxa de renovação próxima de 100% em praticamente todas as regiões do sistema lagunar, com idades da água tendendo a zero, o que evidencia uma troca contínua e eficiente entre a lagoa e o oceano. Tal desempenho reflete uma condição hidrodinâmica ideal, em que os processos de afluxo e efluxo ocorrem com elevada magnitude e frequência, reduzindo significativamente o tempo de residência da água e favorecendo a recuperação ambiental do sistema.

Figura 9: Isolinhas de Idade da Água e Taxa de Renovação na Situação Projetada 3, durante o verão e inverno.



Por fim, com o intuito de comparar a Situação Atual com a Situação Projetada 3, considerada a alternativa mais eficaz, a **-Figura 10** apresenta a evolução temporal da taxa de renovação hídrica ao longo dos 60 dias simulados no canal da costa e nas diferentes lagoas do sistema. Os resultados evidenciam de forma clara o impacto positivo da intervenção, revelando uma progressiva melhora nas trocas de massa com o oceano. Ao final do período analisado, observa-se que praticamente toda a extensão do sistema atinge taxas de renovação próximas de 100%, indicando uma redução significativa no tempo de residência da água. Essa resposta hidrodinâmica reforça o potencial da SP3 como solução ambientalmente eficiente para a recuperação da qualidade da água e o aumento da conectividade marinha.

-Figura 10: Análise comparativa de série temporal da Situação Atual (linhas tracejadas) x Situação Projetada 3 (linhas contínuas), contemplando estabilização do canal da costa, nova abertura no meio do canal da costa e abertura permanente do canal da barra.



Dessa forma, os resultados indicam que: i) Situação Atual (SA) - Elevada estagnação nas lagoas da Barra e do Padre, com idade da água > 50 dias e taxa de renovação < 10%. Apenas a Lagoa de Guarapina apresenta boa renovação; ii) Situação Projetada 1 (SP1) - com o Canal da Costa estabilizado, há melhoria significativa na Lagoa de Maricá, com idades da água reduzidas para ~20 dias e taxa de renovação ~50%. Renovação pontual no Canal da Barra (até 100% em trechos). Não apresenta efeitos relevantes nas lagoas da Barra e do Padre; iii) Situação Projetada 2 (SP2) – Abertura permanente do Canal da Barra gera um desempenho superior nas lagoas da Barra e do Padre, com idade da água entre 5 e 10 dias e renovação > 70%; iv) Situação Projetada 3 (SP3) – Todas as intervenções combinadas melhora o desempenho geral do sistema, com idades da água próximas de zero dias e taxas de renovação próximas de 100% em toda a laguna.

CONCLUSÃO

A análise dos tempos hidráulicos característicos do Sistema Lagunar de Maricá-Guarapina evidenciou a forte influência da conectividade com o mar na dinâmica de renovação hídrica do sistema. Os cenários simulados demonstraram que, na situação atual, extensas áreas da lagoa permanecem em condições de estagnação, com tempos de residência elevados e renovação limitada, especialmente nas lagoas da Barra e do Padre, que são mais interiorizadas e distantes da única conexão permanente com o oceano.

As intervenções propostas apresentaram diferentes graus de eficácia. A regularização do Canal da Costa (SP1) mostrou-se eficiente para melhorar a renovação na Lagoa de Maricá, mas seus efeitos não se propagaram de maneira expressiva para o restante do sistema. A abertura permanente do Canal da Barra (SP2) representou um avanço significativo, sobretudo para as lagoas mais críticas, resultando em melhorias generalizadas nos indicadores hidrodinâmicos e evidenciando o papel estratégico dessa conexão na circulação das massas de água.

O melhor desempenho foi observado na Situação Projetada 3 (SP3), que combinou todas as intervenções analisadas, adicionando ainda uma nova conexão no meio do canal da costa. Este cenário proporcionou uma renovação quase completa do sistema, com idades da água próximas de zero e taxas de renovação próximas de 100% em praticamente toda a extensão lagunar. Essa condição otimizada aponta para uma situação hidrodinâmica ideal, na qual os processos de troca com o oceano

ocorrem de forma contínua e eficiente, promovendo benefícios significativos tanto para o controle de processos eutróficos quanto para a saúde ecológica da lagoa.

Portanto, os resultados obtidos reforçam a importância de se considerar, no planejamento e na gestão ambiental do Sistema Lagunar de Maricá-Guarapina, intervenções que ampliem e estabilizem a conectividade com o mar. Tais medidas representam uma estratégia eficaz para a mitigação da degradação ambiental, com potencial para reverter o atual quadro de estagnação e promover a recuperação funcional de um dos mais relevantes ecossistemas lagunares da região costeira fluminense.

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

- 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 Brasiliensia, 3, 931-949.
- 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.
- ROSMAN, P. C. (2007). **Estudos de Hidrodinâmica Ambiental para Desenvolvimento na APA do Sistema Lagunar de Maricá**. Engenharia Costeira & Oceanográfica COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- SETCHELL, H. **ECMWF Reanalysis v5**. Disponível em: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>.
- 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.C.M.; 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. l.], 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.