

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

IMPACTO DO LANÇAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS NO SISTEMA LAGUNAR DE MARICÁ-RJ: UMA ABORDAGEM BASEADA NA MODELAGEM COMPUTACIONAL

*Tatiana Finageiv Neder¹; Daniel Villela Runkel de Sousa²; Wendell Esteves Andrade³;
Lidiane dos Santos Lima⁴; Gabriele Silva⁵; Werner de Barros⁶; Luisa Gonçalves dos Santos
Quintanilha⁷; Paulo Cesar Colonna Rosman⁸*

Abstract: With the enactment of the new Sanitation Legal Framework (Law No. 14,026, of July 15, 2020), all Brazilian municipalities are required to collect and treat 90% of their sewage by 2033. In Maricá, a municipality located in the metropolitan region of the state of Rio de Janeiro, only 1.18% of the urban population currently has access to wastewater collection and treatment services (SNIS, 2022). The absence of an adequate sanitation system contributes to the poor water quality in the lagoons of the Maricá Lagoon System (MLS). Therefore, this study aims to apply computational modeling to assess the impacts of wastewater discharge on the water quality in the MLS. Pollutant loads were estimated based on population data from the 2022 Census and adjusted using monitoring data provided by INEA. Simulations were conducted using the SisBaHiA® software, focusing on the parameters of Dissolved Oxygen (DO) and Biochemical Oxygen Demand (BOD) over a 60-day modeling period, representing typical summer and winter conditions. The results were consistent with the patterns observed at the monitoring stations, indicating poorer water quality in the Maricá Lagoon, which receives pollutants from the most urbanized basins, resulting in an average DO of 3.6 in winter and 4.3 in summer. In contrast, Guarapina Lagoon showed better quality indicators, with an average DO of 5.5 in both seasons.

Keywords – Environmental Hydrodynamic Modeling; SisBaHiA®; Water Quality

Resumo: Com a assinatura do novo Marco do Saneamento, Lei nº 14.026 de 15/07/2020, todos os municípios brasileiros deverão ter 90% dos esgotos coletados e tratados até 2033. Em Maricá,

1 COPPE/UFRJ - PEC, Av. Athos da Silveira Ramos, 149 - Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ, tatiana.neder@coc.ufrj.com.br

2 COPPE/UFRJ - PENO, Av. Athos da Silveira Ramos, 149 - Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ, danielrunkel@oceanica.ufrj.br

3 Idem, wero@oceanica.ufrj.br

4 Idem, Islima@oceanica.ufrj.br

5 Idem, gabrielesilva@oceanica.ufrj.br

6 Idem, wbarros@oceanica.ufrj.br

7 Idem, luisaquintanilha@poli.ufrj.br

8 Idem, pccr@oceanica.ufrj.br

município localizado na região metropolitana do estado do Rio de Janeiro, apenas 1,18% da população urbana possui coleta e tratamento de esgotos (SNIS, 2022). A ausência de um sistema adequado de esgotamento sanitário contribui para a baixa qualidade da água nas lagoas do Sistema Lagunar de Maricá (SLM). Assim, este trabalho tem como objetivo aplicar a modelagem computacional para avaliar os impactos do lançamento de esgotos brutos na qualidade da água do SLM. As cargas poluentes foram estimadas com base em dados populacionais do Censo 2022 e ajustadas a partir de dados monitorados pelo INEA. A simulação foi realizada utilizando o programa SisBaHiA®, considerando os parâmetros de Oxigênio Dissolvido (OD) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) ao longo de 60 dias de modelagem, representando períodos típicos de verão e inverno. Os resultados se mostraram consistentes aos padrões observados nas estações de monitoramento, indicando uma pior qualidade da água na Lagoa de Maricá, que recebe poluentes das bacias mais urbanizadas, resultando em um OD médio de 3,6 no inverno e 4,3 no verão, enquanto a Lagoa de Guarapina apresentou melhores indicadores de qualidade, com OD médio de 5,5 em ambos os períodos.

Palavras-Chave – Modelagem Hidrodinâmica Ambiental; SisBaHiA®; Qualidade de Água.

INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas de poluição dos corpos hídricos urbanos brasileiros decorre do despejo de esgotos *in natura* nos cursos d'água. Com a aprovação do novo Marco do Saneamento, Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020, todos os municípios brasileiros deverão ter 90% dos seus esgotos coletados e tratados até 2033. Preliminarmente à implantação da infraestrutura de esgotamento sanitário, faz-se necessário avaliar a capacidade de autodepuração dos corpos receptores frente aos diferentes cenários de melhoria, que pode ser feita por meio de modelos matemáticos ou computacionais. A eficiência dos resultados de qualquer modelo de qualidade da água depende da existência de dados observados, para que seja feita a calibração do modelo em cenário de diagnóstico. No Brasil, os dados monitorados são escassos e quando existem, não possuem uma frequência temporal condizente com os processos de produção e consumo das principais substâncias avaliadas.

O município de Maricá, localizado no estado do Rio de Janeiro na região costeira, apresenta baixos índices de esgotamento sanitário, que refletem na baixa Qualidade da água (QA) do Sistema Lagunar de Maricá (SLM). De acordo com o SNIS (2022), Maricá possui apenas 1,18% da sua população atendida por coleta e tratamento dos esgotos. A degradação atual da QA no SLM é um impacto direto da falta de um sistema de esgotamento sanitário adequado e a baixa capacidade de escoamento das lagoas.

O problema de qualidade da água no SLM é agravado pela circulação hidrodinâmica restrita entre as lagoas e trocas com o mar ineficientes, que têm como principal causa o assoreamento dos canais de ligação entre as lagoas e o mar. Essa realidade, atrelada à topografia do município, em forma de anfiteatro, colabora para o acúmulo de água nos pontos mais baixos e planos, contribuindo para a ocorrência de eventos de inundação, elevando o risco à saúde pública e danos potenciais às estruturas urbanas.

Em Maricá, o INEA faz o monitoramento de 06 estações de qualidade da água desde 2012, coletando amostras na foz dos principais rios que alimentam o SLM. No período de 2012 a 2023, foi realizada uma média de 37 campanhas de coleta de dados por estação, resultando em um valor médio de, aproximadamente, três campanhas por estação/ano. Entre 2014 e 2017, os índices de QA dos

principais rios que desembocam no SLM apresentaram variações de “Razoável” a “Péssima”, sendo 34,1% das amostras classificadas como Razoável, 45,45%, ruim e 20,45%, péssimo (TOLEDO et al., 2021). O trabalho de Nascimento e Freitas (2023) destaca os piores índices de qualidade de água nos rios que desembocam na Lagoa de Maricá, enquanto o rio Caranguejo, por ter sua bacia mais preservada, apresenta os melhores índices.

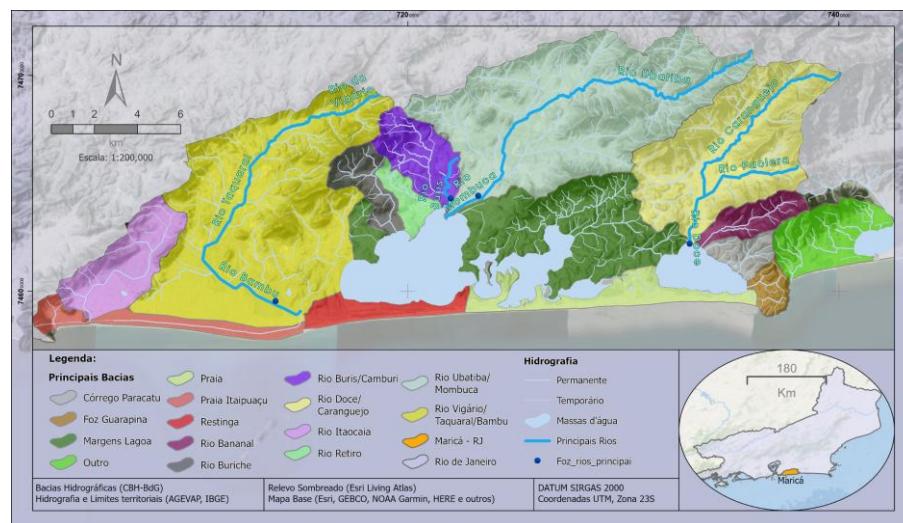
Dessa forma, este trabalho tem como objetivo aplicar a modelagem computacional por meio do programa SisBaHiA®, considerando os parâmetros de Oxigênio Dissolvido (OD) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), para avaliar os impactos do lançamento de esgotos brutos na qualidade da água do Sistema Lagunar de Maricá (SLM).

METODOLOGIA

Caracterização da área de estudo

O município de Maricá está localizado na região metropolitana do estado do Rio de Janeiro e abrange o SLM, que é formado por quatro lagoas de água salobra: Lagoa de Maricá, da Barra, do Padre e de Guarapina. Existe ainda uma quinta lagoa chamada de Brava, que se encontra assoreada. O SLM é abastecido por água doce por meio de quatro bacias hidrográficas principais, que nascem e desaguam no município: rio Vigário/Taquaral/Bambu (81,1 km²), rio Ubatiba/Mombuca (73,7 km²), rio Buris/Camburi (11,1 km²) e rio Doce/Caranguejo (43,9 km²), como pode ser visto na Figura 1. As três primeiras bacias desaguam na Lagoa de Maricá e são caracterizadas por um elevado adensamento populacional, contribuindo com o maior aporte de esgotos domésticos para o sistema. O SLM possui duas conexões com o mar, uma na porção leste pelo canal de Ponta Negra, e outra na porção oeste pelo Canal da Costa, que se encontra altamente assoreado, tendo uma participação muito restrita na renovação da água das lagoas.

Figura 1 - Mapa de Principais Bacias Hidrográficas Contribuintes ao SLM (Fonte: Elaboração própria).



Sistema de modelagem adotado

Para desenvolver a modelagem de qualidade da água, foi utilizado o programa SisBaHiA®, Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental, que se trata de um sistema profissional de modelos computacionais registrado pela Fundação COPPETEC, órgão gestor de convênios e contratos de pesquisa da COPPE/UFRJ - Instituto Aberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Trata-se de um conjunto de

modelos computacionais que buscam avaliar a circulação hidrodinâmica, a qualidade da água e processos sedimentológicos de corpos de água complexos.

Cenários

O modelo de qualidade da água foi desenvolvido para dois cenários típicos de verão, que compreendeu o período de 01/01/2023 a 28/02/2023 e de inverno, de 01/07/2022 a 31/08/2022, cuja relação de malhas e modelos desenvolvidos está apresentada na Tabela 1. A definição dos cenários de modelagem buscou representar a situação atual do SLM, evidenciando o comportamento do sistema frente às mudanças sazonais.

Tabela 1 - Resumo dos cenários e modelagens pertinentes a cada cenário. Onde MH é Modelo Hidrodinâmico e MQA é Modelo de Qualidade da Água.

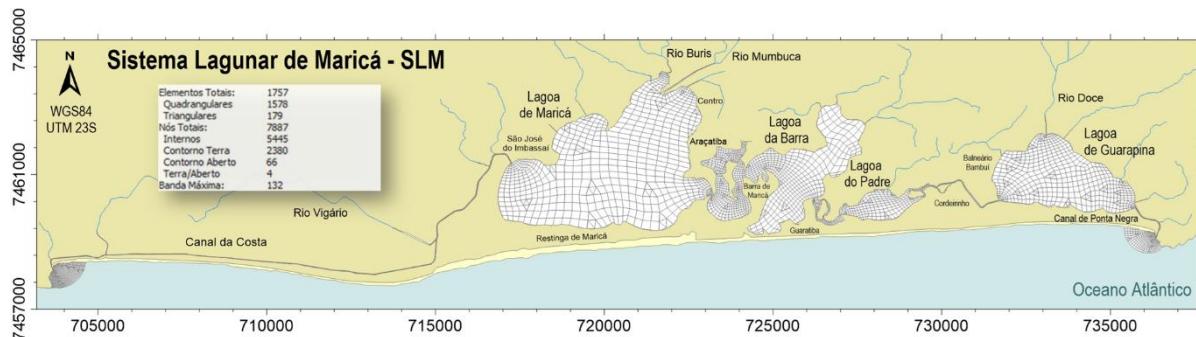
CENÁRIOS	MALHAS	MH	MQA
SA – VERÃO	Malha SLM 2024 >> Situação Atual – Diagnóstico	SLM2024_MH-SA_Verão >>Situação Atual - Diagnóstico Maré Meteorológica típica de verão	SLM2024_MQA-SA_Verão >> Situação Atual - Diagnóstico Maré Meteorológica típica de verão
SA – INVERNO	Malha SLM 2024 >> Situação Atual – Diagnóstico	SLM2024_MH-SA_Inverno >> Situação Atual - Diagnóstico Maré Meteorológica típica de Inverno	SLM2024_MQA-SA_Inverno>> Situação Atual - Diagnóstico Maré Meteorológica típica de Inverno
TOTAL	1	2	2

Modelagem digital do terreno

Malha de discretização

O domínio de modelagem foi discretizado em uma malha de elementos finitos formada por 1757 elementos subparamétricos, sendo 1578 elementos quadrangulares e 179 elementos triangulares. A Figura 2 apresenta os elementos da malha e o domínio de modelagem em branco.

Figura 2 - Discretização do domínio de modelagem em elementos finitos subparamétricos triangulares e quadrangulares. Os elementos triangulares são quadráticos e os quadrangulares são biquadráticos.

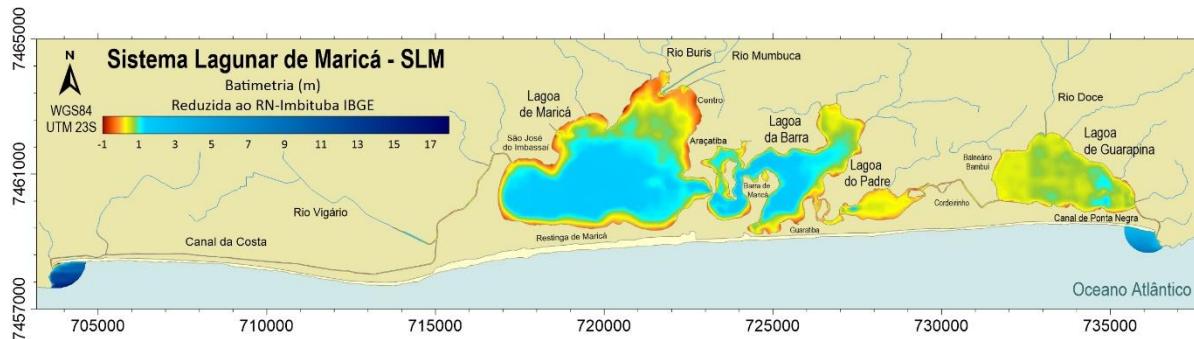


Batimetria e Rugosidade

A caracterização do domínio de modelagem é feita a partir da inclusão de dados de batimetria e rugosidade para cada nó do modelo. Foram utilizados dados primários de batimetria, obtidos a partir do levantamento topobatimétrico realizado em 2022, como parte do escopo do convênio firmado entre

a COPPETEC e a CODEMAR (Companhia de Desenvolvimento de Maricá). A batimetria da zona marítima foi obtida a partir da digitalização da Carta Náutica 1506 da Marinha do Brasil. Para locais sem dados, foram inferidos os valores de cota de elevação. Como referência de Nível Médio (NM) do mar nos modelos hidrodinâmicos, foi utilizado o valor de NM fora da Baía de Guanabara, que apresenta cota $\approx + 0,35$ m referente ao *datum* Imbituba do IBGE, de acordo com a Descrição das referências de nível contidas na F41 - Padrão - ILHA FISCAL - 50140 - Versão 1/2021. A Figura 3 apresenta a batimetria utilizada no modelo.

Figura 3 - Mapa com a batimetria compilada para o Cenário Atual utilizada nas modelagens deste estudo.



O material de fundo das lagoas é composto predominantemente por areias e silte (LAUT et al., 2019; SILVESTRE et al., 2017), de forma que foi adotado um valor médio da amplitude da rugosidade equivalente do fundo igual a 0,03 nas lagoas.

Dados Ambientais para a modelagem hidrodinâmica

Para a modelagem hidrodinâmica, foram utilizados dados secundários para as principais condicionantes ambientais do sistema, cujas fontes de dado estão descritas na Tabela 2. A

Figura 4 apresenta os hidrogramas de vazões fluviais considerados para os principais rios afluentes ao sistema lagunar.

Modelagem de Qualidade da Água

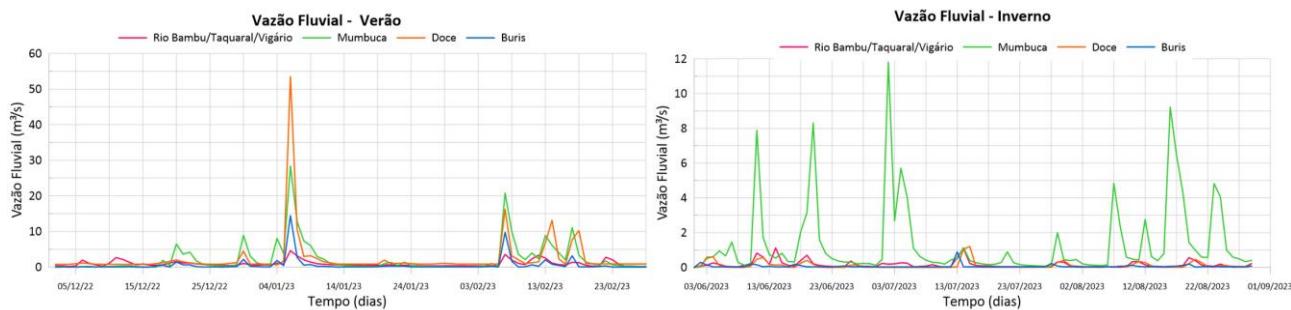
As concentrações ao longo do tempo e do espaço de cada componente avaliado são calculadas a partir da equação de transporte advectivo-difusivo, que engloba o transporte advectivo, transporte difusivo e as reações cinéticas de produção e consumo da substância. É atribuída uma condição inicial para todo o domínio de modelagem e concentrações afluentes para cada nó de fronteira aberta e de fronteira terrestre com afluxo. O modelo de Qualidade da Água foi desenvolvido com enfoque nos parâmetros de Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio. No entanto, no modelo do SisBaHiA®, também são consideradas as interações com outras substâncias.

Tabela 2 – Condicionantes hidrológicas e meteocenográficas consideradas no modelo hidrodinâmico.

Parâmetro	Fonte do dado	Observações
Vento, Precipitação e Evaporação	Modelos de reanálise do ERA5, disponibilizados pelo ECMWF –	Os dados foram obtidos para seis estações

Parâmetro	Fonte do dado	Observações
	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i> ⁹ .	
Maré Meteorológica	HYCOM – Hybrid Coordinate Ocean Model ¹⁰	Foram escolhidas duas estações de NMV-Nível Médio Variável, a partir das quais gerou-se dados de marés meteorológicas para todos os 66 nós de fronteira aberta.
Maré Astronômica	Constantes Harmônicas do FES2014 – <i>Finite Element Solution</i> ¹¹	Foram escolhidos dois pontos ao longo da fronteira aberta, que foram associados a 33 constantes harmônicas.
Vazões fluviais	Modelo Hidrológico desenvolvido pelo Laboratório de Águas e Cidades da POLI/UFRJ.	Foram geradas séries de vazões fluviais para os quatro principais rios que drenam para o SLM: Vigário, Mombuca, Buris e Doce.

Figura 4 - Hidrogramas de vazões fluviais, fornecido pelo LAC - Laboratório Água e Cidades/Poli, dos rios Buris, Doce, Mombuca e Vigário para os cenários de Verão e Inverno no modelo hidrodinâmico.



Para caracterizar as cargas poluentes afluentes às lagoas, foram consideradas duas fontes distintas: fluvial e sanitária. Neste trabalho, não foram consideradas cargas advindas da drenagem pluvial da bacia. Dessa forma, as concentrações de cada substância, avaliadas nos nós de fronteira terrestre com afluxo, foram determinadas com base na proporção entre a vazão fluvial e a vazão de esgoto gerada em cada bacia de contribuição, utilizando a Equação de Mistura.

As cargas poluentes de origem sanitária, foram determinadas a partir da população residente de cada sub-bacia, não atendida por esgotamento sanitário, com base nos dados do censo de 2022 e valores típicos de carga poluente *per-capita*.

As vazões fluviais foram obtidas a partir dos hidrogramas fluviais fornecidos pelo LAC, cujas cargas de origem fluvial foram associadas aos valores máximos permitidos para um rio tipicamente classe 2, com base na Resolução CONAMA nº 357/2005.

⁹ ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present (copernicus.eu)

¹⁰ <https://www.hycom.org/>

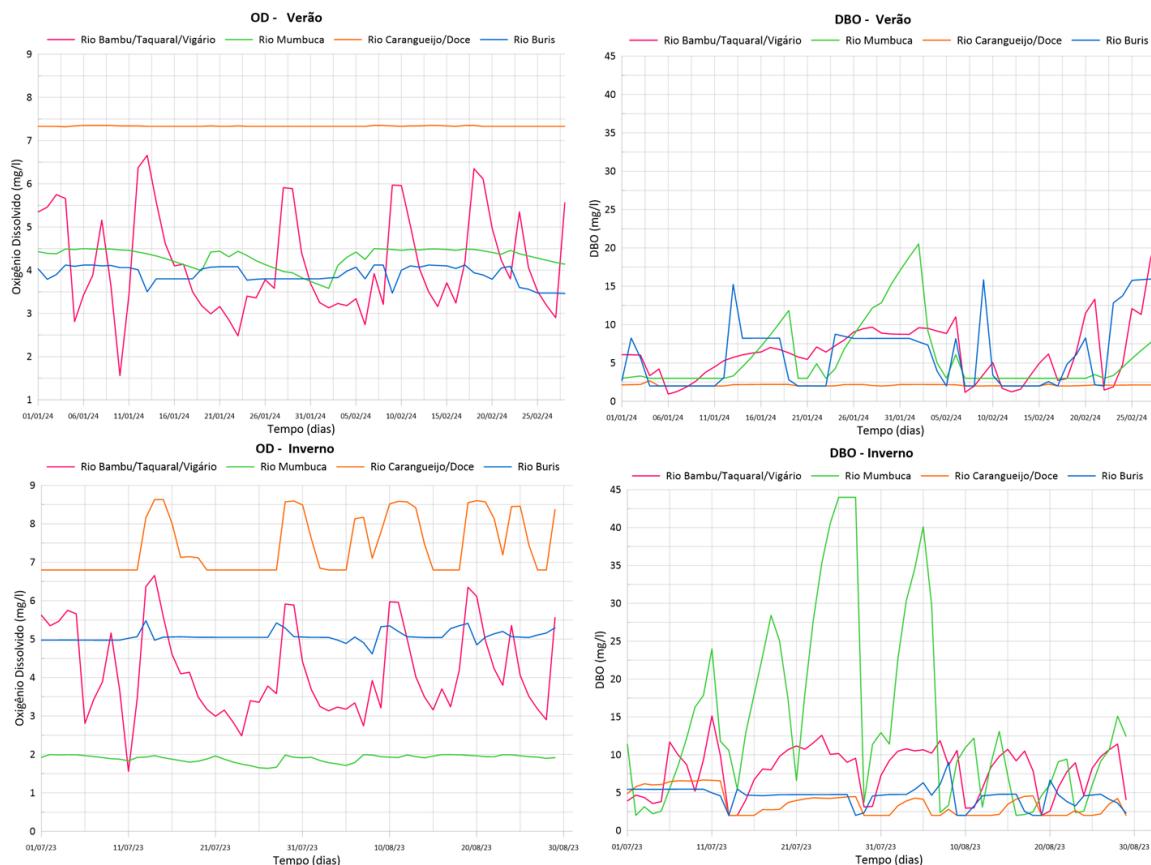
¹¹ <https://datas-tore.cls.fr/catalogues/fes2014-tide-model/>

Foi acrescentado um fator de correção na equação de mistura, para que os valores de concentração dos principais rios estivessem dentro da faixa de valores observados no período em estudo. Para isso, foram analisados os relatórios técnicos de campanha de monitoramento do INEA entre 2012 e 2023 das estações CR040 (Caranguejo – Doce), MN010 (Mombuca), LU010 (Buris-Ludgero) e CI005 (Vigário – Taquaral - Bambu), cuja localização segue apresentada na Figura 5. As estações apresentaram uma média de trinta e duas campanhas de coleta de dados observados para o período entre 2012 e 2023. A Figura 6 apresenta as concentrações de OD e DBO resultantes nos principais rios contribuintes ao SLM para cada cenário de modelagem.

Figura 5 - Localização dos pontos de coleta do INEA que caracterizaram as concentrações afluentes impostas aos Modelos de Qualidade de Água (em rosa).



Figura 6 - Curvas de concentração diária impostas no modelo para Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio, em mg/L, nos quatro principais rios drenantes ao SLM, para os cenários de dois meses de verão e dois meses de inverno.



RESULTADOS E DISCUSSÕES

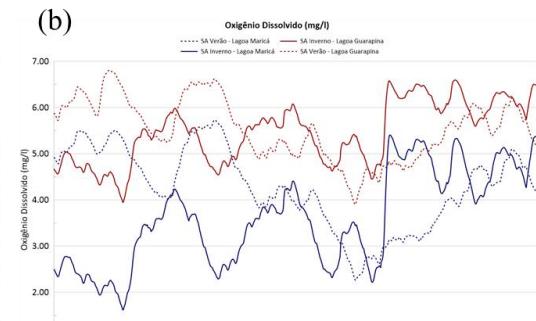
A Figura 7 e a Figura 8 apresentam as isolinhas de concentração média de Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio, respectivamente, para um período de simulação de 60 dias típicos de Verão e Inverno.

Figura 7 - (a) Isolinhas de concentração média de Oxigênio Dissolvido, OD, no período de simulação de cada cenário; (b) variação temporal de OD nas estações Lagoa de Maricá (azul) e Lagoa de Guarapina (vermelho); (c) estatística descritiva das concentrações de OD ao longo do período simulado nas estações analisadas.

(a)



(b)



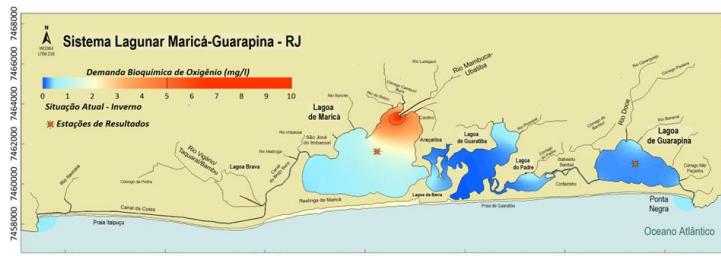
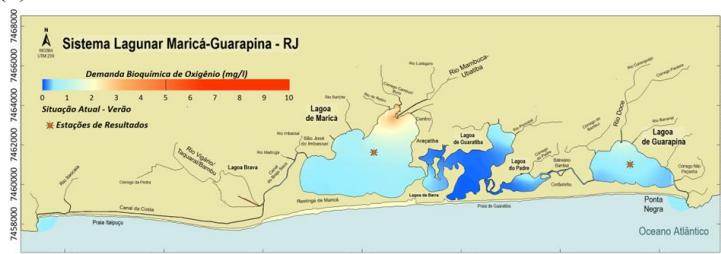
(c)

OD (mg/L)	Lagoa Maricá		Lagoa Guarapina	
	SA-Verão	SA-Inverno	SA-Verão	SA-Inverno
Minímo	2.26	1.61	3.9	3.94
Máximo	5.73	5.4	6.81	6.6
Média	4.27	3.59	5.53	5.46
Mediana	4.28	3.59	5.54	5.53
Desvio Padrão	0.87	1.02	0.66	0.65

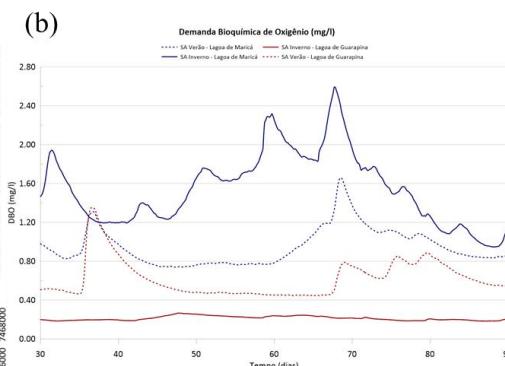
Figura 8 – (a) Isolinhas de concentração média de Demanda Bioquímica de Oxigênio, DBO, no período de simulação de cada cenário; (b) variação temporal de DBO nas estações Lagoa de Maricá (azul) e Lagoa de Guarapina (vermelho);

(c) estatística descritiva das concentrações de DBO ao longo do período simulado nas estações analisadas.

(a)



(b)



(c)

DBO (mg/L)	Lagoa Maricá		Lagoa Guarapina	
	SA-Verão	SA-Inverno	SA-Verão	SA-Inverno
Minímo	0.74	0.95	0.45	0.18
Máximo	1.66	2.59	1.35	0.27
Média	0.95	1.55	0.62	0.21
Mediana	0.88	1.54	0.56	0.21
Desvio Padrão	0.19	0.37	0.19	0.02

Os resultados obtidos se mostraram coerentes com a realidade do SLM, que apresenta melhores índices de qualidade da água na Lagoa de Guarapina e piores índices na Lagoa de Maricá. A Lagoa

de Guarapina apresentou um OD médio acima de 5 mg/l no verão e no inverno, enquanto a Lagoa de Maricá apresentou um OD médio de cerca de 4 mg/l para os períodos de simulação. Em termos de DBO, o SLM apresenta valores abaixo de 5 mg/l na maior parcela do seu espelho d'água ao longo do ano, com exceção da foz dos rios Vigário e Mombuca, onde a DBO atinge valores médios da ordem de 7 mg/l e 14 mg/l no inverno, respectivamente. No verão, as concentrações de DBO reduzem para a ordem de 6 mg/l na foz desses dois rios.

O trabalho de Toledo et al. (2021), que calculou o índice de qualidade da água (IQA) para seis pontos de monitoramento controlados pelo INEA no SLM, também indicou os piores IQAs no canal do aeroporto de Maricá. Já o trabalho de Nascimento e Freitas (2023) evidenciou a importância da preservação das áreas com vegetação remanescente na qualidade da água da Lagoa de Guarapina, que apresentou os melhores IQAs na foz do rio Caranguejo.

Os padrões observados resultam da interação entre as cargas de poluição afluentes, condicionantes ambientais, tais como temperatura, precipitação, vento, vazões fluviais e marés, e a eficiência da circulação hidrodinâmica de cada lagoa. O trabalho de Barros (2025), que avaliou o desempenho hidrodinâmico do SLM por meio dos tempos hidráulicos característicos, indicou zonas de estagnação de água nas lagoas da Barra e do Padre, que necessitam de mais de 90 dias para renovar metade do seu volume de água. Esse mesmo estudo estimou que a porção central das Lagoas de Maricá e Guarapina levam cerca de 35 e 15 dias, respectivamente, para renovar 50% das suas águas no verão. As trocas restritas de água com o mar e baixas taxas de renovação nas Lagoas de Maricá, da Barra e do Padre contribuem para o aumento do risco de eutrofização nesses ecossistemas, que já recebem alto aporte de esgoto não tratado. A relação entre a baixa taxa de renovação da água e a deterioração da qualidade da água de lagoas costeiras foi discutida por Komita et al. (2024), que estudaram cinco lagoas costeiras ao redor do mundo submetidas a intervenções de engenharia visando aumentar a troca hídrica com o mar. Como resultado, verificou-se uma melhoria na qualidade da água em todos os ecossistemas avaliados, atribuída ao aumento da taxa de renovação, intensificação da circulação hidrodinâmica via gradiente barotrópico e baroclínico, aumento da concentração de oxigênio dissolvido e estabilização da temperatura da água.

O papel das trocas hídricas entre as lagoas e o mar na qualidade da água do SLM fica evidente no dia 71 do cenário de inverno de modelagem, quando se observa um aumento na concentração de OD em todo o sistema, resultante da entrada de uma maré meteorológica capaz de aumentar a taxa de renovação da água de todo o sistema lagunar. Esse fenômeno também é observado na Lagoa de Guarapina ao longo do ano, que apresenta os melhores índices de qualidade da água devido à menor urbanização da bacia do rio Doce e maiores trocas de água com o mar via canal da Ponte Negra.

Apesar do inverno possuir marés meteorológicas mais significativas, observa-se uma piora na qualidade da água da Lagoa de Maricá neste período, influenciada pelo aumento das concentrações afluentes e à redução das taxas de renovação de água no período do inverno, em parte devido à estiagem e redução das vazões fluviais, como apresenta Barros (2025).

CONCLUSÕES

A deterioração da qualidade da água do SLM está associada ao lançamento indevido de esgotos domésticos não tratados, à circulação hidrodinâmica restrita entre as lagoas, trocas hídricas ineficientes com o mar, além de outros fatores. Os resultados obtidos foram consistentes com os padrões observados nas estações de monitoramento, indicando que a Lagoa de Maricá apresenta os piores índices de qualidade da água e a Lagoa de Guarapina apresenta os melhores.

Observa-se uma variação da qualidade da água do SLM entre verão e inverno, influenciada pela variação das concentrações de poluentes em cada estação do ano, mas também, à fatores ambientais, tais como temperatura, precipitação, vento, vazões fluviais e marés, que influenciam na capacidade de troca hídrica do sistema.

Por fim, a modelagem desenvolvida, a partir dos dados disponíveis, possibilita a replicação do estudo realizado em Maricá em outras localidades, visando diagnosticar a qualidade da água de corpos receptores. Além disso, essa abordagem permite identificar locais estratégicos para o monitoramento ambiental e oferece subsídios qualificados para a gestão ambiental costeira.

REFERÊNCIAS

BARROS, W. W. (2025). *“Análise de tempos hidráulicos característicos do sistema lagunar de maricá (RJ) com desobstruções essenciais”*. Dissertação de Mestrado. UFRJ/COPPE, 2025.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. *“Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências”*. Brasil, 2005.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. *“Novo Marco Legal do Saneamento Básico”*. Brasil, 2020.

DO NASCIMENTO, G. A.; FREITAS, W. W. DA S. *“Aspectos do IQA no município de Maricá no estado do Rio de Janeiro (RJ), Brasil”*. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 6, p. 20164–20187, 16 jun. 2023.

KOMITA, L. et al. (2024). *“Natural and Engineered Ocean Inflow Projects to Improve Water Quality Through Increased Exchange”*. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 12, nov 2024.

LAUT, L. et al. (2019). *“Organic Compounds as Proxies of the Sedimentary Environmental Quality of the Maricá-Guarapina Lagoon System (SE, Brazil)”*. **Journal of Sedimentary Environments**, v. 4, n. 2, p. 159–173, 15 jun. 2019.

SILVESTRE, C. P. et al. (2017). *“Geomorfologia, sedimentação e processos atuantes na Lagoa de Maricá, Rio de Janeiro”*. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 2, p. 237–256, 1 abr. 2017.

SNIS (2022). *“Painel de Indicadores”*. Disponível em: <https://appsnis.mdr.gov.br/indicadores-hmg/web/agua_esgoto/mapa-esgoto> Acesso em: março 2025.

TOLEDO, L. M. et al. *“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, 29 abr. 2021.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CODEMAR – Companhia de Desenvolvimento de Maricá, à Fundação COPETEC, ao Laboratório de Águas e Cidades da Poli/UFRJ, ao Laboratório SisBaHiA® e ao Laboratório Fuzzy pelo apoio técnico, institucional e científico ao desenvolvimento desta pesquisa. As contribuições dessas instituições foram fundamentais para a modelagem, análise e interpretação dos resultados apresentados.