

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DA LAGOA MIRIM UTILIZANDO FERRAMENTA DE SENSORIAMENTO REMOTO

LAURA MARTINS BUENO¹; EDUARDO LUCEIRO SANTANA²; OTTONI MARQUES MOURA DE LEON⁴; FELIPE DE LUCIA LOBO⁴

¹Universidade Federal de Pelotas – laurambueno@outlook.com

²Universidade Federal de Pelotas – eduardoluceirosantana@hotmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – ottonibaixo@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – felipe.lobo@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A qualidade da água é determinada por suas características físicas, químicas e biológicas, sendo essencial monitorá-la para garantir sua segurança para diferentes usos. Estudos que analisam as causas de poluição e quantificam a contaminação são fundamentais para alertar sobre os riscos à saúde pública e aos recursos hídricos (Pu *et al.*, 2019).

A eutrofização, causada pelo excesso de nutrientes, é uma das principais ameaças aos ecossistemas aquáticos, resultando na proliferação de algas. A medição da clorofila-a (Chl-a) é uma ferramenta importante para monitorar essa proliferação, que afeta a ciclagem de nutrientes (Caballero; Navarro, 2021).

O sensoriamento remoto óptico tem se destacado como complemento ao monitoramento *in situ*, permitindo análise espaço-temporal de grandes áreas (Palmer *et al.*, 2015) Com base no índice normalizado de clorofila-a (NDCI) e imagens do Sentinel-2, a plataforma AlgaeMap estima a concentração de Chl-a e o Índice de Estado Trófico (LOBO *et al.*, 2021).

A Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo (BHMSG) é uma região binacional situada no extremo sul do Brasil, adjacente ao Uruguai. Com uma área total de aproximadamente 62.250 km², a bacia abrange 29.250 km² (47%) em território brasileiro e 33.000 km² (53%) no uruguaio. Seu principal corpo hídrico, a Lagoa Mirim, encontra-se na planície costeira, formando uma das bacias hidrográficas mais significativas do Rio Grande do Sul. Essa bacia abriga uma rica diversidade de flora e fauna e, junto com a Laguna dos Patos, constitui o maior complexo lagunar da América do Sul (ALM, 2024).

Este estudo tem como objetivo validar o aplicativo AlgaeMap com dados *in situ* do reservatório Chasqueiro, situado na BHMSG, e avaliar espacialmente o comportamento da clorofila-a e o estado trófico de 6 corpos hídricos destinados à irrigação da Bacia Hidrográfica Lagoa Mirim, integrando sensoriamento remoto com o monitoramento tradicional.

2. METODOLOGIA

A área de estudo abrange a bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, que se estende pelo Brasil e Uruguai. Para a apresentação dos resultados, foram selecionados seis corpos hídricos: do lado uruguaio, a Represa Índia Muerte, a Estação Rincón e o Canadá Grande; e, do lado brasileiro, a Barragem Chasqueiro, onde a validação dos dados foi realizada, além do Açude Guarita e da Barragem Antônia de Oliveira. O período de estudo abrangeu de janeiro de 2018 a maio de 2024.

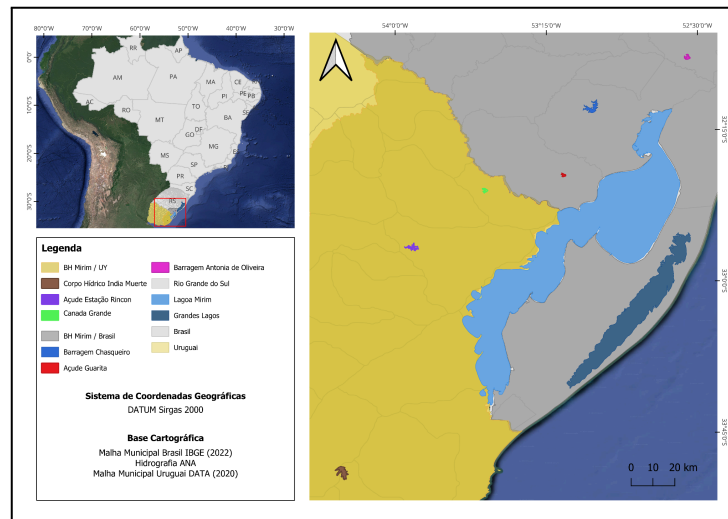


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo
Fonte: Autores.

Para a estimativa da clorofila-a foi utilizada a plataforma AlgaeMap (Lobo et al., 2021). A plataforma, com interface em nuvem, foi desenvolvida no Google Earth Engine (GEE) e utiliza imagens Sentinel-2 corrigidas para efeitos atmosféricos e brilho solar. Essas imagens permitem gerar uma coleção do NDCI, possibilitando a estimativa da qualidade da água com base na concentração de clorofila-a (Chl-a) e no Índice de Estado Trófico (IET) ao longo da série temporal.

Para a validação da plataforma AlgaeMap, foram realizadas coletas de amostras de água e análises da concentração de clorofila-a no reservatório Chasqueiro. Em relação ao planejamento das coletas, seguiu-se a metodologia de Kuster (2012), que recomenda um intervalo de 3 dias para resultados precisos. Optou-se por coletar amostras um dia após a passagem do satélite, assegurando a verificação da qualidade das imagens e a definição dos pontos amostrais. Os pontos foram estrategicamente distribuídos ao longo do corpo hídrico, priorizando uma melhor caracterização espacial da clorofila-a.

Em cada ponto, foram coletados 1 litro de água superficial a 0,30 metros de profundidade, acondicionados em frascos de vidro âmbar, previamente ambientados e mantidos sob refrigeração. As coletas de dados em campo ocorreram no período de setembro de 2023 a agosto de 2024, totalizando 6 campanhas que ao final totalizaram 38 pontos. Estas foram realizadas a bordo, em colaboração com a Agência Lagoa Mirim (ALM) da Universidade Federal de Pelotas.

As amostras foram analisadas no Laboratório de Águas da ALM, seguindo a metodologia do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2012), com as análises de clorofila-a realizadas em duplicata pelo método espectrofotométrico.

A classificação do Índice de Estado Trófico (IET) foi realizada com base em um modelo de decisão em árvore, dividindo os níveis tróficos em cinco classes a partir dos limiares de concentração de clorofila-a estabelecidos pela CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Os limiares são: Ultra Oligo (0 a 1,17), Oligo (1,17 a 3,24), Meso (3,24 a 11,03), Eutrófico (11,03 a 30,55), Super (30,55 a 69,05) e Hyper (acima de 69,05). Essa abordagem é fundamental para a avaliação da qualidade da água em ambientes aquáticos.

O desempenho estatístico das concentrações de clorofila-a observadas e estimadas pelo AlgaeMap foi avaliado utilizando o Erro Quadrático Médio (MSE),

a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) e o Coeficiente de Determinação (R^2). A classificação do Índice de Estado Trófico foi avaliada por meio dos testes Kappa-Cohen, Acurácia Global (AG) e Qui-Quadrado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado do modelo mostra que o coeficiente de determinação (R^2) indica que aproximadamente 74,8% das variações na concentração de clorofila-a são explicadas pelas variáveis do modelo, o que representa um ajuste razoável. A Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) foi de 10,80, apontando uma variação média entre os valores estimados e observados. O Erro Médio (ME) de -0,785 sugere uma leve subestimação nas previsões, enquanto o Erro Quadrático Médio (MSE) de 116,65 reflete o total acumulado dos desvios quadráticos.

Os resultados do Teste Qui-Quadrado ($X^2 = 33,943$, $df = 12$, $p = 0,0006887$) indicam uma associação estatisticamente significativa entre as classificações, sugerindo que as diferenças observadas não são aleatórias. A Acurácia Global de 63,9% revela que as classificações coincidem em aproximadamente dois terços dos casos, o que reflete uma correspondência moderada entre os dados. O Índice de Kappa, de 0,46, também aponta para uma concordância moderada.

As séries temporais dos reservatórios (Figura 2) mostram que, conforme esperado, todos os corpos hídricos selecionados, cuja principal destinação é a irrigação, apresentaram uma padronização no Índice de Estado Trófico (IET). Compreender a dinâmica da clorofila-a em corpos hídricos é essencial para a avaliação da qualidade da água e dos fenômenos que a influenciam. O aumento da concentração de clorofila-a está diretamente relacionado à proliferação de algas, o que pode resultar em um aumento do IET. Esse processo afeta negativamente o ecossistema aquático, reduzindo a transparência da água e alterando o equilíbrio ecológico.

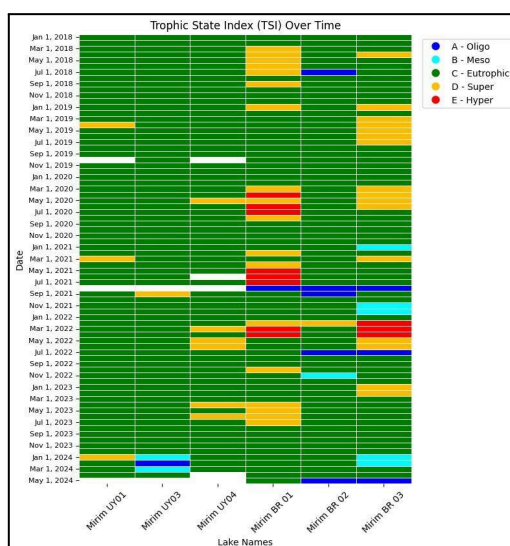


Figura 2. Análise temporal dos corpos hídricos presentes no estudo, representados por MIRIM UY 01, 02 e 03 (Represa Índia Muerte, Canada Grande e Estação Rincon), e MIRIM BR 01, 02 e 03 (Reservatório Chasqueiro, Barragem Antonia de Oliveira e Açude Guarita).

Fonte: Autores

Além disso, é possível analisar a concentração espacial de clorofila-a no Reservatório Chasqueiro, identificando as origens da proliferação, sua distribuição no corpo hídrico e os pontos críticos que requerem atenção (Figura 3).

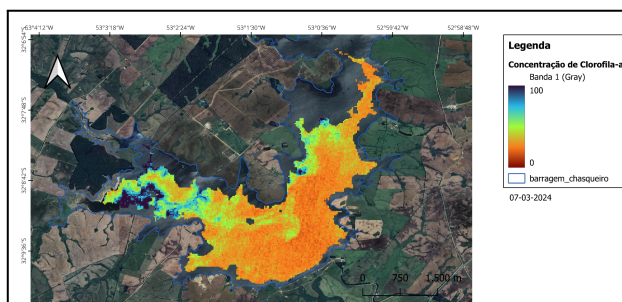


Figura 3. Concentração de clorofila-a no Reservatório Chasqueiro, na data 07 de março de 2024.
Fonte: Autores

A ferramenta AlgaeMap permite uma análise detalhada da distribuição de clorofila-a, identificando focos de proliferação e áreas degradadas que necessitam de intervenções. Essa abordagem possibilita direcionar esforços para ações eficazes de contenção e gestão ambiental.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que este estudo sobre a bacia hidrográfica da Lagoa Mirim forneceu uma análise abrangente da qualidade da água, com foco na clorofila-a em seis corpos hídricos. A avaliação temporal revelou padrões e tendências que não seriam perceptíveis em medições únicas, além de identificar períodos críticos de eutrofização e suas consequências para o ecossistema aquático. Assim, a integração das dimensões espacial e temporal proporciona uma compreensão mais completa da qualidade da água e dos processos ecológicos que afetam o reservatório.

6. AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código Financeiro 001.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALM – Agência para o Desenvolvimento da Lagoa Mirim. Disponível em: <https://agencialagoamirim.com.br/bacia-hidrografica/>. Acesso em: 01 out. 2024.

CABALLERO, Isabel; NAVARRO, Gabriel. Monitoring cyanoHABs and water quality in Laguna Lake (Philippines) with Sentinel-2 satellites during the 2020 Pacific typhoon season. **Science of the Total Environment**, v. 788, p. 147700, 2021.

LOBO, Felipe de Lucia et al. AlgaeMAP: Algae bloom monitoring application for inland waters in Latin America. **Remote Sensing**, v. 13, n. 15, p. 2874, 2021.

PALMER, Stephanie CJ et al. Satellite remote sensing of phytoplankton phenology in Lake Balaton using 10 years of MERIS observations. **Remote Sensing of Environment**, v. 158, p. 441-452, 2015.

PU, F.; DING, C.; CHAO, Z.; YU, Y.; XU, X. Water-quality classification of inland lakes using Landsat8 images by Convolutional Neural Networks. **Remote Sensing**, Switzerland, v.11, n.14, p.1674, 2019.