

EFEITOS DA DINÂMICA DO VOLUME HÍDRICO E DOS PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO SOBRE O ESTADO TRÓFICO DE RESERVATÓRIO EUTROFIZADO DO SEMIÁRIDO

Maria Eduarda de Melo Santos Oliveira⁴⁰

Aluska Ramos de Souza⁴¹

Camila Ferreira Mendes⁴²

Daniely de Lucena Silva⁴³

José Etham de Lucena Barbosa⁴⁴

⁴⁰ Aluna da Universidade Estadual da Paraíba.

⁴¹ Aluna da Universidade Estadual da Paraíba.

⁴² Aluna da Universidade Estadual da Paraíba.

⁴³ Aluna da Universidade Estadual da Paraíba.

⁴⁴ Professor da Universidade Estadual da Paraíba. Bolsista Produtividade. Diretor do Instituto Nacional do Semiárido.

Introdução

Os corpos de água doce são um recurso fundamental para o desenvolvimento humano, uma vez que a água é essencial para a manutenção da vida (UNESCO, 2003). Desde a década de 1950, o crescimento populacional global tem apresentado uma taxa média de 1,2% ao ano (United Nations, 2004). Esse aumento populacional, aliado à urbanização e ao desenvolvimento tecnológico, tem gerado uma quantidade crescente de resíduos líquidos e sólidos, frequentemente descartados de maneira inadequada, resultando em impactos ambientais significativos nos ecossistemas aquáticos (Rosler, M., et al., 2023). Um dos principais desafios ambientais enfrentados por esses ecossistemas é a eutrofização, caracterizada pelo enriquecimento excessivo de nutrientes, como fósforo (P) e nitrogênio (N), no ambiente aquático (Assis et al., 2013). Esse fenômeno promove o crescimento excessivo de algas, incluindo cianobactérias, sendo que algumas espécies possuem potencial toxígeno, comprometendo a qualidade da água, a saúde humana e a biodiversidade aquática (Springer, 2017; Le Moal et al., 2019; Andrade et al., 2020; Kohatsu, 2020).

A região semiárida, em particular, apresenta desafios adicionais para a preservação da qualidade dos corpos de água, pois além de enfrentar limitações hídricas naturais, apresenta um balanço hídrico negativo, caracterizado por baixa disponibilidade de água renovável (Moura et al., 2007; Cirilo, 2008). Esse déficit hídrico decorre, em grande parte, de um regime de precipitação irregular, com médias anuais que variam entre 300 mm e 800 mm, concentrando-se em poucos meses e resultando em longos períodos de estiagem (Moura et al., 2007; Cirilo, 2008). Essas características climáticas e hidrológicas tornam os reservatórios do semiárido mais suscetíveis à eutrofização, já que a baixa renovação de água nesses corpos hídricos favorece o aumento da concentração de nutrientes e, conseqüentemente, a proliferação de algas, incluindo as cianobactérias potencialmente tóxicas (Aragão-Tavares et al. 2013).

Além disso, a distribuição desigual das chuvas e o intenso processo de evaporação são aspectos cruciais para entender o contexto hídrico do semiárido (Medeiros et al., 2015; Araújo et al., 2016). Durante o período de estiagem, que pode se estender por até 9 meses, a taxa de evaporação pode ultrapassar os índices de precipitação, especialmente em regiões mais áridas, como o sertão nordestino (Medeiros et al., 2015; Araújo et al., 2016). Esse fenômeno provoca uma redução significativa no volume dos reservatórios, intensificando a concentração de poluentes e nutrientes (Medeiros et al., 2015; Araújo et al., 2016). Com a chegada das chuvas, há apenas uma reposição parcial do volume hídrico, visto que grande parte da precipitação ocorre como enxurradas, resultando em escoamento superficial imediato e recarga limitada dos corpos de água (Cavalcanti, 2016).

Nesse contexto, o Índice do Estado Trófico (IET) se apresenta como uma ferramenta essencial para monitorar e gerenciar a qualidade da água nos ecossistemas aquáticos da região semiárida, pois permite avaliar o nível de enriquecimento

trófico dos reservatórios e entender as variações sazonais associadas ao volume hídrico e ao regime de chuvas. O IET, desenvolvido com base no estudo de Lamparelli (2004) e adaptado pela CETESB (2007), utiliza parâmetros como fósforo total e clorofila-a para classificar os corpos d'água quanto ao seu grau de eutrofização. O uso do IET se torna particularmente relevante no semiárido, onde a escassez hídrica e a alta evapotranspiração contribuem para a concentração de nutrientes, intensificando os impactos da eutrofização e o risco de florações de cianobactérias tóxicas (Ngatia et al., 2019).

A aplicação do IET associada a medidas preventivas, como o controle do lançamento de efluentes domésticos e industriais nos ecossistemas aquáticos, e a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, é fundamental para a gestão eficiente da qualidade da água na região semiárida (Barbosa et al., 2012; Barreto et al., 2013). O monitoramento contínuo e integrado dos índices tróficos, especialmente em períodos de estiagem, permite a criação de políticas públicas voltadas para a conservação dos corpos hídricos e a segurança hídrica para múltiplos usos, como abastecimento humano, irrigação e recreação (Barbosa et al., 2012; Barreto et al., 2013).

Diante dos desafios do semiárido, a implementação de estratégias que considerem o volume hídrico variável e o regime de precipitação sazonal é imprescindível para a conservação dos recursos hídricos. Estudos apontam que a utilização de tecnologias de reuso e retenção de água, como a construção de cisternas e barragens subterrâneas, podem mitigar parcialmente o impacto da seca prolongada, além de reduzir o escoamento superficial, promovendo maior infiltração e armazenamento de água no solo (Araújo et al., 2016).

Objetivos

Com base nisso, nosso estudo tem como objetivo avaliar como a dinâmica do volume hídrico e os padrões de precipitação influenciam o estado de trofia de um reservatório eutrofizado do semiárido.

Metodologia

Área de estudo

O estudo foi realizado no Reservatório Epitácio Pessoa (7°29'20.08"S, 36°8'26.59"W), popularmente conhecido como Boqueirão, localizado na bacia hidrográfica do Rio Paraíba (AES, 2022). De acordo com a classificação de Köppen de Geiger (1928), a área de estudo possui clima Semiárido Quente (BSh). Esse reservatório é de grande importância, uma vez que dentre seus usos múltiplos, estão o abastecimento público, irrigação, atividades agrícolas, pecuária e recreação.

Amostragens e análises laboratoriais

A amostragem foi realizada trimestralmente durante o ano de 2021, totalizando quatro coletas, nos meses de maio e agosto (período seco), e, fevereiro e novembro (período chuvoso).

Para a análise das concentrações do fósforo total e clorofila-a, amostras de 500 mL de água foram coletadas e armazenadas em frascos plásticos, acondicionadas em caixas térmicas e conduzidas ao laboratório para mensurar as concentrações de fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$), de acordo com a técnica descrita em APHA, 2012, e clorofila-a foi mensurada utilizando um analisador de fitoplâncton PHYTO-PAM (Heinz Walz GmbH, Effeltrich, Alemanha).

Os dados de precipitação mensal e variação no volume armazenado entre fevereiro e novembro de 2021 para o Reservatório Epitácio Pessoa foram disponibilizados no site da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs; Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/>).

Índice de Estado Trófico (IET)

O Índice de Estado Trófico (IET) mencionado foi originalmente proposto por Lamparelli (2004), e posteriormente simplificado pela CETESB (2007) para tornar o índice mais aplicável aos corpos d'água da região e mais eficiente para as condições ambientais locais. Essa versão simplificada busca fazer avaliações rápidas e eficientes, especialmente quando não é possível medir a transparência com disco de Secchi ou outras variáveis secundárias. O IET foi calculado de acordo com as seguintes equações:

$$IET (PT) = 10 \times \left(6 - \frac{(1,77 - 0,42 * \ln(PT))}{\ln(2)} \right)$$

$$IET (Cloro - a) = 10 \times \left(6 - \frac{(0,92 - 0,34 * \ln(Cloro - a))}{\ln(2)} \right)$$

O IET final é calculado a partir da média aritmética dos índices de fósforo total (PT) e clorofila-a (Cloro-a):

$$IET = \frac{IET(PT) + IET(Cloro - a)}{2}$$

O valor final do IET é utilizado para classificar o corpo d'água em uma das seguintes categorias: Oligotrófico: $IET < 40$; Mesotrófico: $40 \leq IET < 50$; Eutrófico: $50 \leq IET < 70$; e Hipereutrófico: $IET \geq 70$.

Resultados

Nossos resultados mostraram relação direta entre a redução do volume hídrico e o aumento no nível de eutrofização ao longo dos meses amostrados (Figura 1A e B). É possível notar que o volume de água (%) teve uma redução gradativa durante o período de estudo, acompanhada por uma tendência de redução da precipitação (mm) (Figura 1A). A redução nos níveis de precipitação contribuiu para a diminuição do volume hídrico, o que, por sua vez, influencia o estado trófico do corpo d'água (Figura 1A e B).

O Índice de Estado Trófico (IET) é representado em quatro pontos de coleta ao longo dos meses de fevereiro, maio, agosto e novembro de 2021 (Figura 1B). Nos três primeiros períodos amostrados (fevereiro, maio e agosto), o IET manteve-se relativamente estável, sem grandes variações, situando-se próximo aos níveis mesotrófico e eutrófico (Figura B). Esse padrão sugere que, apesar da redução no volume de água, o índice de estado trófico não sofreu alterações significativas nesses meses iniciais, mantendo-se em no mesmo nível de eutrofização.

Em outras palavras, nos primeiros três meses amostrados – fevereiro, maio e agosto de 2021 – o IET manteve-se em torno de 57 a 59, dentro da condição eutrófica, que indica uma alta disponibilidade de nutrientes. Essa estabilidade sugere que, apesar da queda gradual no volume de água, o corpo hídrico conseguiu manter um certo equilíbrio, sem um aumento expressivo na eutrofização. Esse cenário reflete que a concentração dos nutrientes mantiveram-se relativamente controladas, não sendo suficiente para elevar o estado trófico para condições hipereutróficas.

Contudo, no último mês amostrado, houve uma mudança significativa (Figura 1B). O IET saltou para 65,6, aproximando-se da condição hipereutrófica. Esse aumento expressivo indica um ambiente com alto aporte de nutrientes, o que favorece uma intensa atividade biológica e aumenta o risco de problemas ecológicos, como proliferação de algas. Essa elevação no índice de eutrofização coincide com o volume de água reduzido e uma precipitação praticamente inexistente, o que intensifica a concentração de nutrientes pela falta de diluição natural.

Dessa forma, nossos resultados mostraram uma relação clara entre a redução do volume hídrico, a baixa precipitação e o aumento do nível de eutrofização. Nos meses iniciais, mesmo com a redução de água, o corpo hídrico manteve-se estável dentro da faixa eutrófica (Figura 1B). Porém, em novembro de 2021, com uma redução de quase 20% do volume do reservatório Epitácio Pessoa, o nível de trofia aumentou de forma significativa, atingindo um ponto próximo ao hipereutrófico. Essa análise evidencia como a continuidade da baixa precipitação

e a redução no volume de água ao longo do tempo impactam diretamente a qualidade da água, promovendo condições propícias para um ambiente eutrofizado e proliferação de algas nocivas.

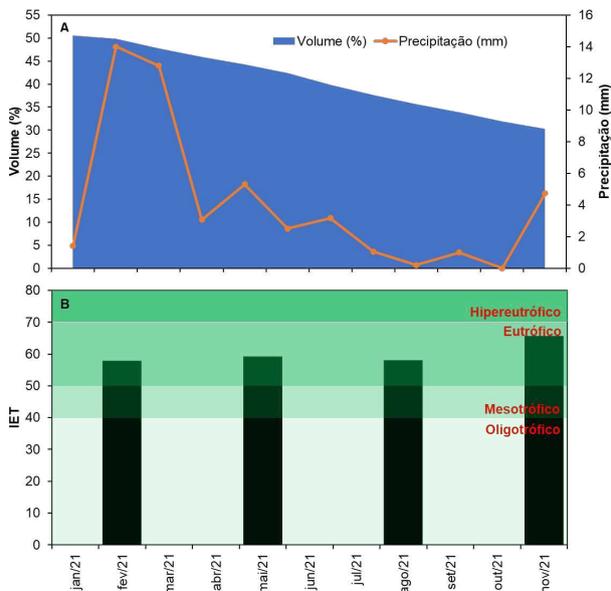


Figura 1. Volume acumulado (%) e precipitação média (mm) (A), e Índice de Estado Trófico (IET) (B) do Reservatório Epitácio Pessoa. O gradiente de cor (verde claro para escuro) indicam as faixas de condições oligotróficas, mesotróficas, eutróficas e hipereutróficas, respectivamente.

Referências

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 ed. Washington, DC: APHA, 2012. 1200 p.

ANDRADE, V. R.; et al. Eutrofização e seus impactos na qualidade da água e saúde pública. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 25, n. 1, p. 1-15, 2020.

ARAGÃO, Nísia Karine Cavalcanti Vasconcelos; GOMES, Cícero T. S.; LIRA, Giulliari A. S. T.; ANDRADE, Carolina Mendes de. Estudo da comunidade fitoplancônica no reservatório do Carpina-PE, com ênfase em Cyanobacteria. Rial, v. 6, n. 6, p. 32801, 2007. DOI: 10.53393/rial.2007.66.32801.

Araújo, J. C., et al. (2016). Caracterização Hidrológica e Vulnerabilidades de Recursos Hídricos no Semiárido. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. ASSIS, Mírian Quintão; ARAÚJO, Augusto César de Paula; VON

RÜCKERT, Gabriela. “O processo de eutrofização e a participação do fósforo.” Centro Universitário do Leste de Minas Gerais - Unileste, Semana de Iniciação Científica, 2013.

BARBOSA, J. E. L.; MEDEIROS, E. S. F.; BRASIL, J.; et al. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 24, n. 1, p. 103-118, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2012005000021>.

BARRETO, G.; et al. Qualidade da água como ferramenta para gestão de recursos hídricos. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 85, n. 1, p. 297-310, 2013.

CAVALCANTI, N. de B. Captação de água de chuva em cisternas de enxurrada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 10., 2016, Belém, PA. Desbloquear o potencial de aproveitamento da água de chuva para o Brasil. Belém, PA: UFPA: ABCMAC, 2016.

Cirilo, J. A. (2008). Recursos hídricos no semiárido brasileiro. Instituto Nacional do Semiárido.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo: relatório 2007. São Paulo: CETESB, 2007.

CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. C.; LAMPARELLI, M. C. A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSI_{tr}). *Ecological Engineering*, v. 60, p. 126-134, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.058>.

KOHATSU, T. O impacto das cianobactérias em sistemas aquáticos eutrofizados. *Revista Ambiental*, v. 8, n. 2, p. 56-65, 2020.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LAMPARELLI, M. C. Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LAMPARELLI, M. C. Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LE MOAL, M.; GASCUEL-ODOUX, C.; MÉNESGUEN, A.; et al. Eutrophication: A new wine in an old bottle? *Science of the Total Environment*, v. 651, p. 1-11, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.139>.

Medeiros, P. H. A., et al. (2015). Impacto da variabilidade climática no armazenamento hídrico de reservatórios no semiárido brasileiro. *Water Resources Management*.

Moura, M. S. B., et al. (2007). Recursos hídricos e precipitação no semiárido nordestino: Uma análise temporal. *Agrometeoros*.

NGATIA, L.; GRACE, J. M.; MORIASI, D.; TAYLOR, R. Nitrogen and Phosphorus Eutrophication in Marine Ecosystems. *IntechOpen*, 2019. DOI: [10.5772/intechopen.81869](https://doi.org/10.5772/intechopen.81869).

ROSLER, Max; et al. Population Growth. *Our World in Data*, 2023. Dis-

ponível em: <https://ourworldindata.org/population-growth>. Acesso em: 29 out. 2024.

SPRINGER, M. Ecologia aplicada: teoria e prática na conservação de ecossistemas aquáticos. São Paulo: Interciência, 2017.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION – UNESCO. World Water Development Report: Water for People, Water for Life. United Nations, 2003.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP. Planning and Management of Lakes and Reservoirs: An Integrated Approach to Eutrophication. Osaka: UNEP, 2001.