IMPACTO DA VARIABILIDADE DE AFLUÊNCIAS NA HIDRODINÂMICA DE UM RESERVATÓRIO NO SEMIÁRIDO CEARENSE

Antonia Letícia Paiva de Sousa [1], Daniel Antonio Camelo Cid [2] & Janine Brandão de Farias Mesquita [3]

Palavras-Chave – CE-QUAL-W2; Padrões hidrodinâmicos; Estratificação térmica.

INTRODUÇÃO

No semiárido cearense, a extensa rede de reservatórios estratégicos propicia a oferta hídrica aos usos múltiplos, contudo essas estruturas hídricas são fortemente influenciadas pela dinâmica das forçantes hidroclimáticas da região (Mesquita *et al*., 2020). Nessa perspectiva, a variabilidade do nível d'água e a redução das vazões de entrada promovem um aumento do tempo de residência hidráulica, em uma escala que pode atingir anos (Medeiros *et al*., 2025). Essa condição intensifica a duração da estratificação térmica, a qual é influenciada pelas componentes climáticas e pela morfometria do reservatório (Zhao *et al*., 2021). Diante disso, a aplicação da modelagem hidrodinâmica e de qualidade da água permite obter prognósticos de cenários ambientais, auxiliando o controle operacional de reservatórios e a tomada de decisões de forma preventiva pelos órgãos gestores (Benício; Basso; Formiga, 2024). Em consonância com essa premissa, o presente estudo tem como objetivo investigar a hidrodinâmica de um reservatório no semiárido cearense sob a influência de flutuações das variáveis hidroclimáticas da região.

MATERIAIS E MÉTODOS

O reservatório Jaburu I indicado na Figura 1, construído a partir do represamento do rio Jaburu I e integrante da Região Hidrográfica da Serra da Ibiapaba, encontra-se no município de Ubajara, no estado do Ceará, precisamente, entre 3°50'30.4"S e 41°05'58.0"W.

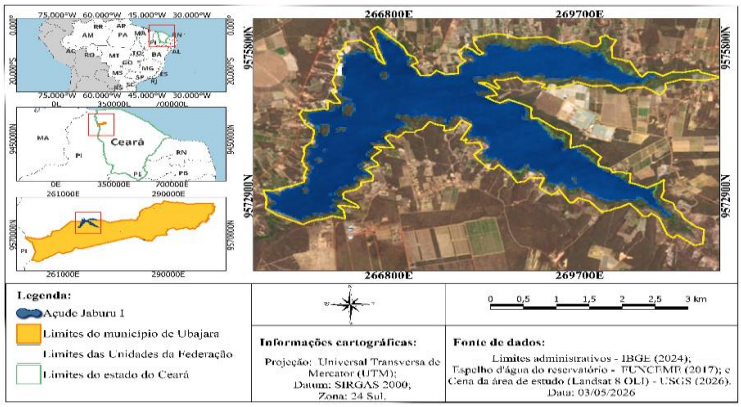


Figura 1: Mapa de localização do reservatório Jaburu I, CE. Fonte: autores (2026).

[1]) Discente no Programa de Pós-graduação ProfÁgua, Universidade Federal do Ceará, campus de Crateús. E-mail: antonialeticiapaiva@alu.ufc.br;
[2]) Pesquisador da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), Fortaleza, Ceará. E-mail: daniel.cid@funceme.br;
[3]) Professora Adjunta na Universidade Federal do Ceará. E-mail: janine@crateus.ufc.br.

No presente estudo, empregou-se a versão 3.7 do modelo bidimensional CE-QUAL-W2 (Wells, 2025) para avaliar a hidrodinâmica do reservatório Jaburu I. Os dados de entrada compreendem a batimetria do reservatório, as vazões de entrada e saída, e dados meteorológicos, todos fornecidos pela Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME), além de constituintes de qualidade da água concedidos pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH). A calibração automática do CE-QUAL-W2 com a maior série de dados (2023 a 2024) realizou-se com o algoritmo *Multiobjective Particle Swarm Optimization with Crowding Distance* (MOPSO-CD), incorporado em um *script* em R pela FUNCEME. A validação contemplou o restante da série, com o ano de 2025. As simulações para os parâmetros temperatura da água, tempo de residência hidráulica (TRH), velocidades horizontal e vertical, envolveram dois cenários: I) dia com afluência máxima; e II) dia com afluência nula. A sazonalidade foi avaliada em relação ao ano com menor desvio médio da precipitação total em relação a precipitação média de uma série histórica extensa (1946-2009).

RESULTADOS

A Figura 2 ilustra a sazonalidade hidroclimática da área de estudo referente ao ano de 2023. Com base nela, a precipitação acumulada no intervalo de janeiro a abril alcançou um pico de 576,7 mm no mês de março e menores valores a partir de julho. Enquanto a temperatura do ar média variou de 21,8°C a 24,4°C. Por último, observaram-se velocidades do vento com médias de 3,2 m/s a 5,1 m/s, com maiores velocidades sobretudo no período seco, comportamento identificado em outros estudos para a região semiárida (Mesquita *et al*., 2020; Sousa *et al*., 2024).

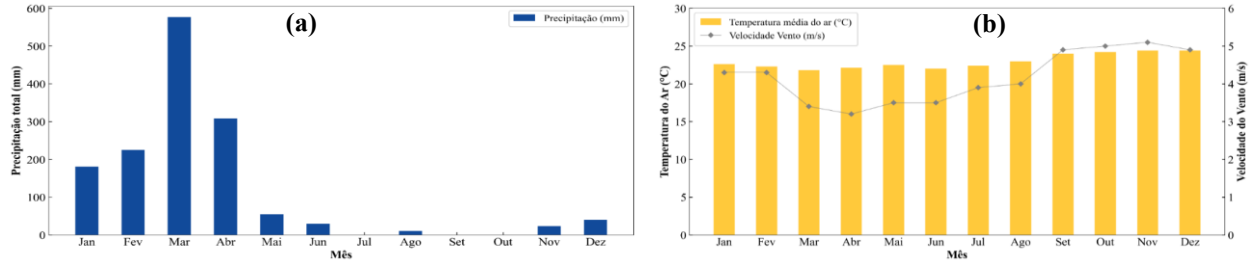


Figura 2: Características hidroclimáticas em relação ao ano de 2023: (a) Precipitação total (mm); (b) Temperatura do ar (°C) e velocidade do vento média (m/s). Fonte: autores (2026).

O modelo hidrodinâmico CE-QUAL-W2 foi validado com os seguintes coeficientes: A = 6,47; B = 4,14; C = 0,74; WSC = 0,79; Shade = 0,82; AX = 0,17; DX = 0,38; CBHE = 0,04; EXH2O = 0,2376 e Beta = 0,33. Os resultados da calibração e validação indicaram desempenho consistente para as três variáveis da hidrodinâmica. O modelo apresentou bom desempenho das métricas validadas para o nível d'água, temperatura da água e evaporação (NSE = 0,97e RMSE < 0,30 m; RMSE = 1,03 °C, RSR = 0,7 e viés PBIAS < 1%; e RMSE < 0,014 hm³ e PBIAS < 0,8 %,

respectivamente). A Figura 3 apresenta as simulações com o CE-QUAL-W2 considerando dois cenários para avaliar o comportamento hidrodinâmico no reservatório Jaburu I.

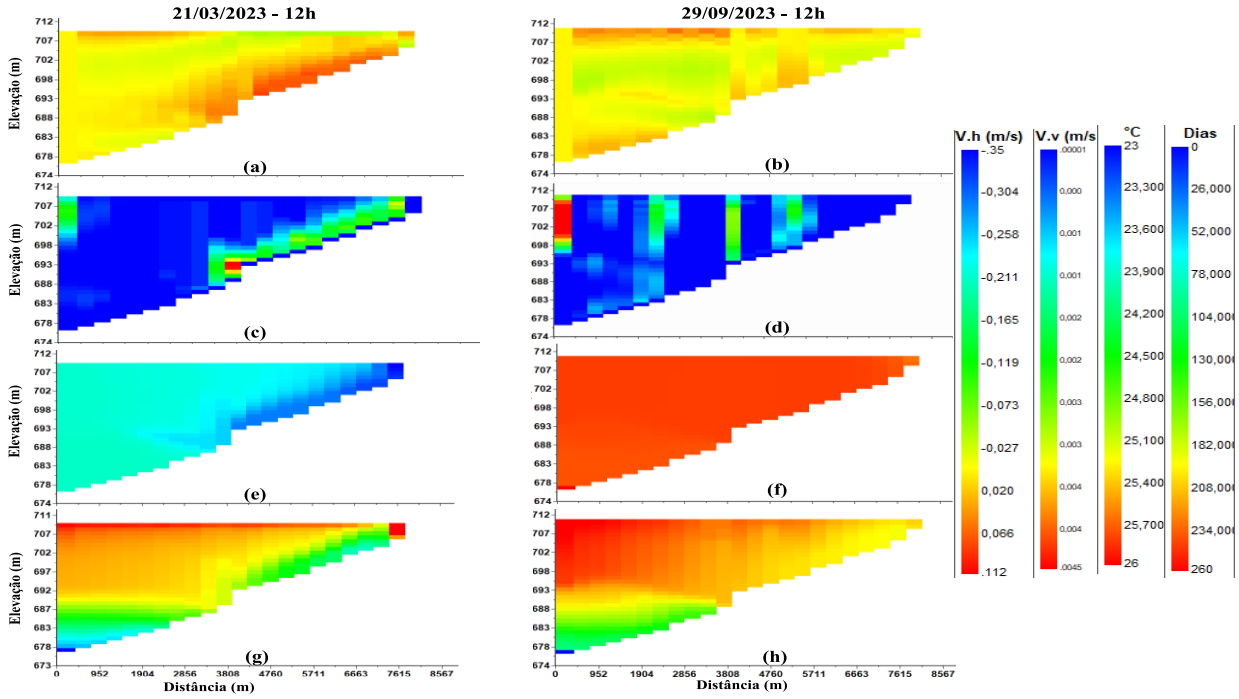


Figura 3: Simulação da hidrodinâmica no afluente principal do reservatório Jaburu I, em relação ao ano de 2023: (a) e (b) Velocidade horizontal (V.h), em m/s; (c) e (d) Velocidade vertical (V.v), em m/s; (e) e (f) Tempo de residência hidráulica (dias); (g) e (h) Temperatura da água (°C). Considerando dois cenários: com máxima vazão afluente (21/03/2023) e vazão afluente nula (29/09/2023). Fonte: autores (2026).

Ao avaliar a temperatura da água para o cenário de maior vazão afluente, tem-se uma leve estratificação térmica, com média de 25,17 °C, mínima de 23,8 °C e máxima de 25,8 °C, possivelmente associada à entrada de água mais quente. Nesse período, a velocidade horizontal atingiu valor máximo de 0,054 m/s e mínimo de 0,004, ou seja, ocorreu um aumento impulsionado pela turbulência gerada pela afluência da água de 23,43 m³/s, conforme evidenciado no estudo de (Rocha; Mesquita; Lima Neto, 2020). Com a entrada de água, o tempo de residência hidráulica variou de 0 a 79,4 dias e a velocidade vertical atingiu valores mínimos de $1{,}42\ x\ 10^{-5}$m/s a $2{,}13\ x\ 10^{-4}$ m/s.

No cenário com vazão afluente nula, a temperatura da água apresentou mínima e máxima de 24,3 °C e 26,0 °C, respectivamente. Nesse cenário, a velocidade média do vento atingiu 5,09 m/s, o que permitiu maior circulação vertical com velocidades mínimas de $4{,}40\ x\ 10^{-5}$ m/s a $1{,}87\ x\ 10^{-4}$ m/s e picos de velocidade horizontal de até 0,023 m/s. Essa turbulência resultou em temperaturas mais homogêneas de cerca de 25°C a 26°C em profundidades até 27 metros. Além disso, a taxa de renovação da água reduziu, com TRH distribuído homogeneamente, com média de 228,1 a 244,6 dias e maior estabilidade térmica no hipolímnio, com menores temperaturas. Santos e*t al.* (2025) também evidenciaram maior estabilidade em camadas mais profundas. Essa condição pode relacionar-se com a resistência à turbulência pela ação do vento em lagos mais profundos.

CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou a hidrodinâmica do reservatório Jaburu I a partir da aplicação do modelo CE-QUAL-W2. No cenário de afluência máxima, verificaram-se maiores velocidades horizontais, maior taxa de renovação da água e a presença de estratificação leve. Enquanto no segundo cenário, o reservatório apresentou maior estabilidade no hipolímnio. Portanto, ressalta a importância de ferramentas robustas como o CE-QUAL-W2 para reproduzir mudanças espaço-temporais nos padrões hidrodinâmicos e auxiliar o controle operacional estratégico de reservatórios semiáridos.

REFERÊNCIAS

BENICIO, S.H.M.; BASSO, R.E.; FORMIGA, K.T.M. (2024). *"Global applications of the CE-QUAL-W2 model in reservoir eutrophication: A systematic review and perspectives for Brazil."* **Water**, v. 16, n. 24, p. 3556.

MESQUITA, J.B.F., *et al.* (2020). *"The influence of hydroclimatic conditions and water quality on evaporation rates of a tropical lake."* **Journal of Hydrology**, v. 590, p. 125456.

MEDEIROS, C.R. *et al*., (2025). *"How does the storage volume of semi-arid reservoirs change water quality and modulate the diversity of benthic macroinvertebrates?."* **Science of The Total Environment**, v. 958, p. 177881.

ROCHA, S.M.G..; MESQUITA, J.B.F.,; LIMA NETO, I.E.. (2020). *"Modelagem hidrodinâmica e avaliação do decaimento do fósforo em um lago urbano hipereutrófico."* **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 530-545.

SOUSA, A.L.P. et al. (2024). *"Avaliação de diferentes modelos de evaporação em um reservatório da costa semiárida, em Fortaleza, Ceará."* **Labor e Engenho**, Campinas, SP, v. 18, n. 00, p. e024018.

SANTOS, S.B.F. et al. (2025). *"Dinâmica térmica e do oxigênio dissolvido do açude Edson Queiroz, Santa Quitéria-CE."* **In: XXVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Vitória (ES). Associação Brasileira de Recursos Hídricos: Anais, p.10.

WELLS, S.A. (2025). *"CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional, Later-ally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 4.5 User Manual Part 2: Hydrodynamic and Water Quality Model Theory."* **Department of Civil and Environmental Engineering**, Portland State University p.275.

ZHAO, L. *et al.* (2021). *"Thermal mixing of Lake Erhai (Southwest China) induced by bottom heat transfer: Evidence based on observations and CE-QUAL-W2 model simulations."* **Journal of Hydrology**, v. 603, p. 126973.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), através do Convênio CAPES/UNESP No. 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua pelo apoio técnico científico aportado até o momento. O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Brasil, Edital Chamada CNPq/MCTI/FNDCT Nº 44/2024 - UNIVERSAL, processo nº404286/2025-9, agradeço também pela bolsa concedida (processo nº [375158/2025-1]) à primeira autora. À Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) pela concessão de dados de entrada do modelo CE-QUAL-W2 e à Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH) pela disponibilidade de dados de qualidade da água.