

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

MODELAGEM BIDIMENSIONAL DA QUALIDADE DA ÁGUA EM UM RESERVATÓRIO URBANO

Iran Eduardo Lima Neto¹

RESUMO – O presente artigo aplicou o modelo hidrodinâmico bidimensional CE-QUAL-W2 para simular a dinâmica da qualidade da água em um reservatório localizado em Fortaleza/CE. Para lidar com a escassez de dados, foram realizadas adaptações e simplificações no modelo de modo que apenas os parâmetros temperatura (T), oxigênio dissolvido (OD), clorofila-a (Cla) e fosfato (PO₄) fossem mantidos no processo de modelagem. Os resultados indicaram que o modelo pôde prever com boa precisão as variações sazonais de T, OD, Cla e PO₄. Além disso, os resultados revelaram que enquanto o PO₄ apresentou um comportamento de mistura completa com uma tendência clara de aumento do período chuvoso para o seco, os outros parâmetros apresentaram um padrão alternado de estratificação-desestratificação durante o dia e a noite, mas sem variações relevantes ao longo do ano.

ABSTRACT – This article applied the two-dimensional hydrodynamic model CE-QUAL-W2 to simulate the dynamics of water quality in a reservoir located in Fortaleza/CE. To deal with data scarcity, adaptations and simplifications were made to the model so that only the parameters temperature (T), dissolved oxygen (DO), chlorophyll a (Chla) and phosphate (PO₄) were kept in the modeling process. The results indicated that the model could predict seasonal variations of T, DO, Chla and PO₄ with good accuracy. Furthermore, the results revealed that while PO₄ showed a complete mixing behavior with a clear tendency to increase from the wet to the dry period, the other parameters showed an alternating stratification-destratification pattern during the day and night, but without relevant variations throughout the year.

Palavras-Chave – estratificação; eutrofização; modelagem computacional

INTRODUÇÃO

A eutrofização de reservatórios é um problema crítico, especialmente em regiões semiáridas. Nesse sentido, para aprimorar a gestão dos recursos hídricos, diversas abordagens de modelagem da qualidade da água podem ser aplicadas, incluindo modelos zero-dimensional (0D), unidimensional (1D), bidimensional (2D) e tridimensional (3D) (Chapra, 2008; Lima Neto et al., 2022; Lima Neto, 2023).

O CE-QUAL-W2 é um modelo hidrodinâmico 2D com média lateral que combina um custo computacional relativamente baixo, quando comparado a sistemas 3D, e uma ampla gama de parâmetros de qualidade da água. Este modelo está em desenvolvimento há décadas e seu código

¹) Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - DEHA, Universidade Federal do Ceará - UFC, Bloco 713, 60400-900, iran@deha.ufc.br

fonte está disponível gratuitamente. Detalhes do modelo podem ser encontrados em seu manual (ver Cole e Wells, 2017). Embora o CE-QUAL-W2 tenha sido utilizado mundialmente para estudos de modelagem da qualidade da água, em regiões semiáridas, tais aplicações geralmente têm sido limitadas a simulações da hidrodinâmica e do regime térmico de lagos e reservatórios (Mesquita et al. 2020; Mesquita e Lima Neto, 2022; Rocha et al., 2022). Contudo, aplicações diretas do modelo CE-QUAL-W2 para prever padrões de qualidade da água em reservatórios localizados em regiões semiáridas ainda são escassas na literatura.

Neste estudo, o modelo CE-QUAL-W2 foi empregado para simular a dinâmica da qualidade da água em um reservatório localizado em Fortaleza/CE. Os objetivos específicos foram: (1) realizar adaptações nos procedimentos de modelagem da qualidade da água do CE-QUAL-W2; (2) calibrar e validar o modelo com dados de campo; e (3) investigar as variações espaço-temporais dos parâmetros de qualidade da água no reservatório.

METODOLOGIA

A área de estudo é a bacia hidrográfica do Reservatório de Santo Anastácio (RSA), localizada em Fortaleza/CE, conforme ilustrado na Figura 1. O RSA possui profundidade média em torno de 2 m e largura e comprimento de aproximadamente 200 e 900 m, respectivamente. O açude é alimentado por um canal de drenagem com comprimento de aproximadamente 2,5 km que recebe as águas vertidas da Lagoa da Parangaba. O período chuvoso na região é concentrado no primeiro semestre, notadamente entre os meses de março a junho. Portanto, nos demais meses, o aporte líquido ao RSA se limita basicamente ao esgoto bruto lançado no canal de drenagem. Os pontos onde foram realizadas as medições de vazão e qualidade da água na entrada e saída do RSA também estão indicados na Figura 1.



Figura 1. Localização do Reservatório Santo Anastácio (RSA) e da sua bacia hidrográfica em Fortaleza/CE.

A Figura 2 mostra a discretização do RSA no modelo CE-QUAL-W2 em 31 segmentos com profundidades variando entre aproximadamente 1 e 5 m. A modelagem hidrodinâmica 2D do RSA foi feita com base no método das diferenças e no modelo de turbulência $k-\varepsilon$, enquanto a modelagem da qualidade da água, devido à escassez de dados, considerou apenas os parâmetros temperatura (T), oxigênio dissolvido (OD), clorofila-a (Cla) e fosfato (PO_4), conforme descrito por Lima Neto (2023). A calibração e validação dos coeficientes do modelo foram realizadas usando dados medidos em 2013 e 2019, respectivamente.

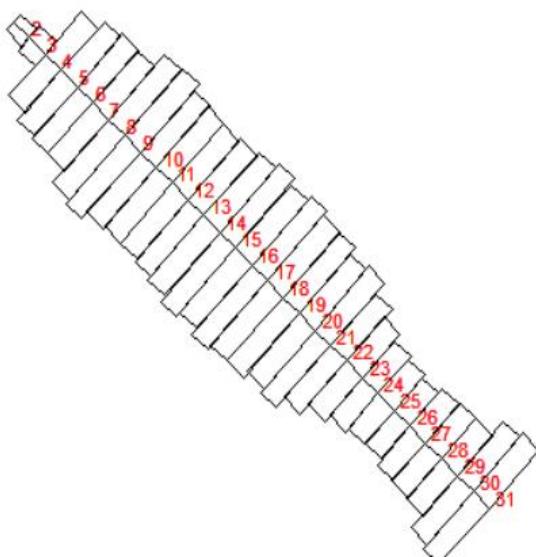


Figura 2. Discretização do RSA no modelo CE-QUAL-W2. O comprimento de cada segmento é de 29 m.

Por fim, o modelo calibrado/validado foi usado para investigar as variações espaço-temporais dos parâmetros T, OD, Cla e PO₄ no RSA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra uma simulação típica do padrão de estratificação térmica no RSA usando o CE-QUAL-W2. Os resultados confirmam uma estratificação relativamente fraca da coluna d'água, com variações de temperatura entre as camadas superiores e inferiores de até cerca de 3°C ao longo do ano, como já apontado por Mesquita et al. (2020), Mesquita e Lima Neto (2022) e Rocha et al. (2022).

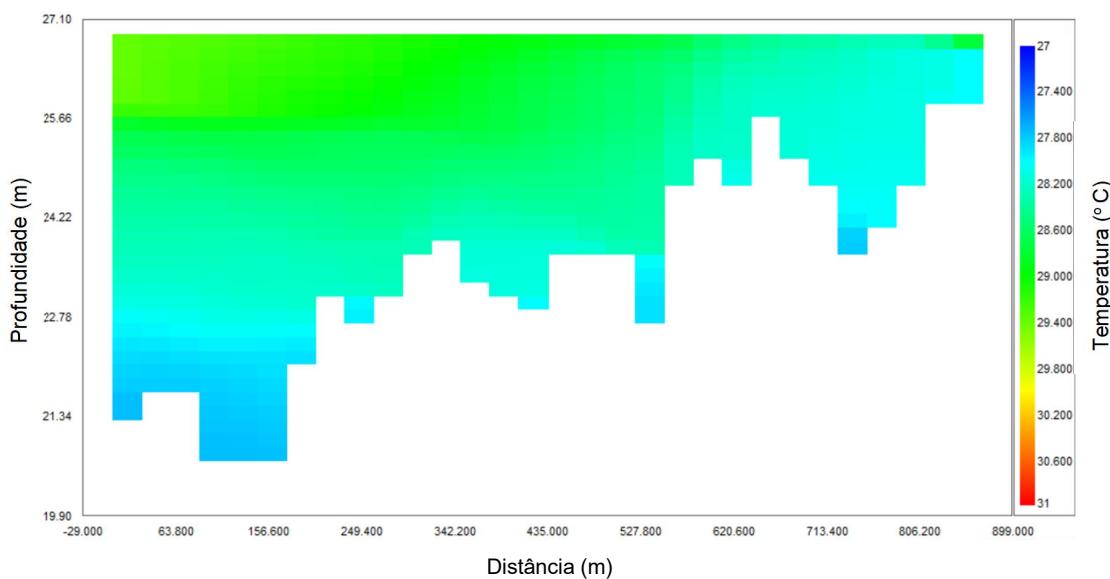


Figure 3. Simulação típica do padrão de estratificação térmica no RSA usando o CE-QUAL-W2.

A Figura 4 mostra que o modelo CE-QUAL-W2 obteve um bom ajuste aos dados medidos de T, OD, Cla e PO₄, com desvios médios de até $\pm 30\%$, de modo semelhante ao estudo de Deus et al. (2013).

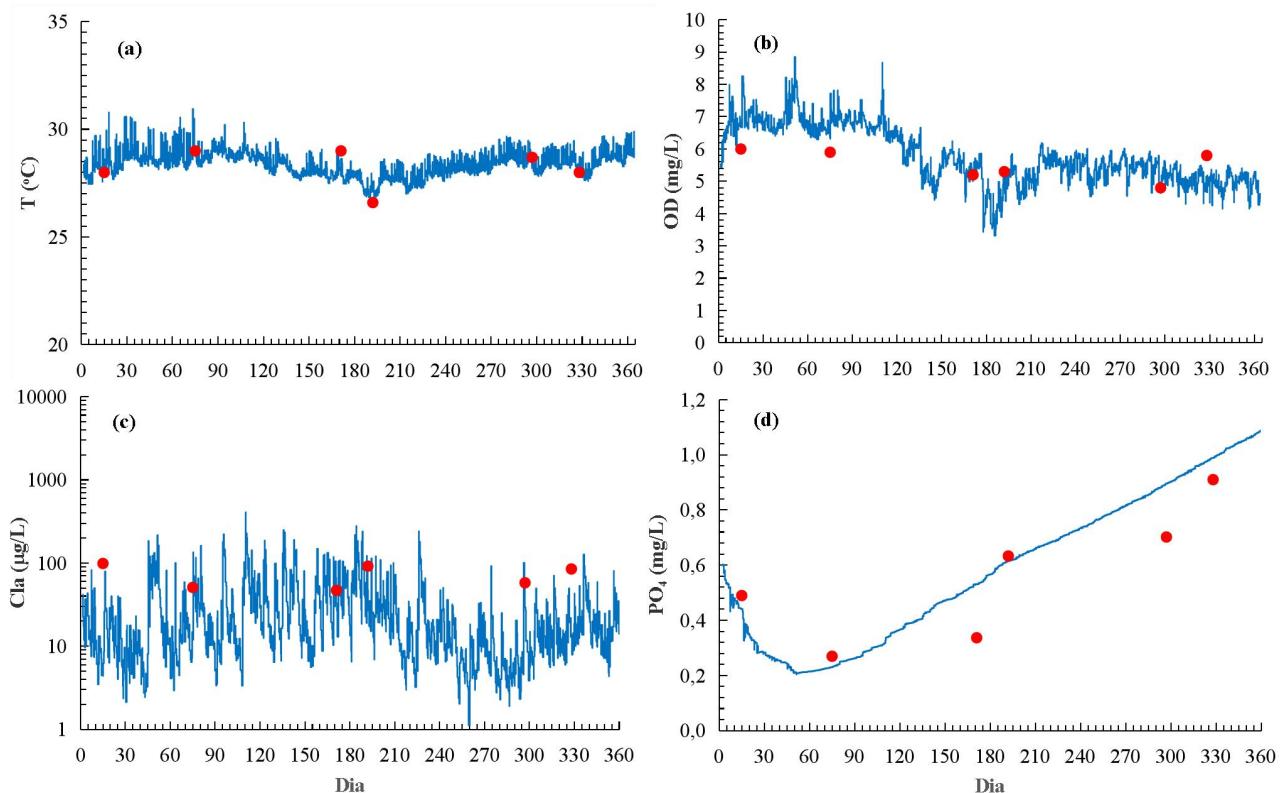


Figure 4. Calibração do modelo CE-QUAL-W2 usando os dados medidos de (a) temperatura, (b) oxigênio dissolvido, (c) clorofila-a e (d) fosfato no RSA.

Os resultados das simulações com o CE-QUAL-W2 confirmam que enquanto o PO_4 apresentou um comportamento de mistura completa com uma tendência clara de aumento do período chuvoso para o período seco, os outros três parâmetros (T, OD e Cla), que diferentemente do PO_4 dependem tanto da radiação solar como da velocidade do vento na superfície, apresentaram um padrão alternado de estratificação-desestratificação entre os períodos diurno e noturno, mas sem variações importantes ao longo dos meses. O mesmo pode ser observado na Figura 5, que mostra mapas 2D de variação da qualidade da água para diferentes parâmetros e intervalos de tempo. Isso sugere que modelos simplificados de mistura completa para o fosfato (ou fósforo total) são suficientes para descrever a sua variabilidade temporal em açudes, como observado por Lima Neto et al. (2022). No entanto, a análise dos demais parâmetros necessita de modelos mais sofisticados como o CE-QUAL-W2.

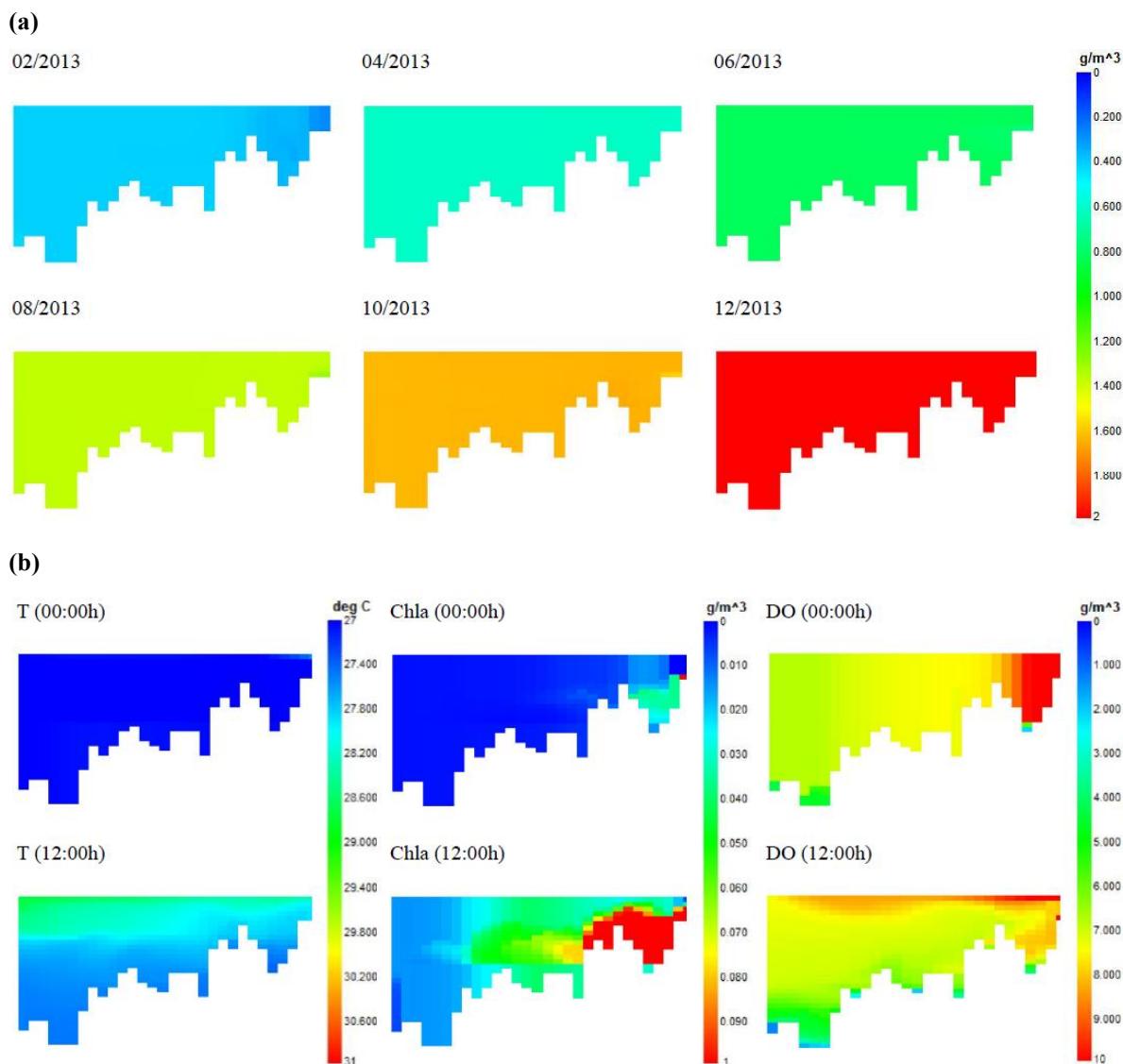


Figure 5. Simulação das variações sazonais de fosfato (a) e horárias de temperatura, clorofila-a e oxigênio dissolvido (b) usando o CE-QUAL-W2.

CONCLUSÕES

Este trabalho mostrou uma aplicação de um modelo hidrodinâmico 2D para simulação da variação espaço-temporal da qualidade da água em um pequeno reservatório. Foram realizadas adaptações e simplificações no modelo de modo que apenas os parâmetros temperatura, oxigênio dissolvido, clorofila-a e fosfato fossem mantidos no processo de modelagem. Os resultados indicaram que o modelo pôde prever com boa precisão as variações sazonais dos parâmetros supracitados. Os resultados indicaram ainda que o fosfato apresentou um comportamento de mistura completa com aumento na concentração do período chuvoso para o período seco, enquanto os outros três parâmetros apresentaram um padrão alternado de estratificação-desestratificação durante os períodos noturno e diurno, mas sem variações sazonais significativas.

AGRADECIMENTOS - O autor agradece o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (#307680/2023-1) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES (#88881.973967/2024-01).

REFERÊNCIAS

- Chapra, S C. (2008). Surface Water-Quality Modeling. Waveland Press, Long Grove, IL. 844p.
- Cole, T.M., Wells, S. A. (2017). CE-QUAL-W2: A two-dimensional, laterally averaged, hydrodynamic and water quality model, version 4.1, Department of Civil and Environmental Engineering, Portland State University, Portland, OR.
- Deus, R., Brito, D., Mateus, M., Kenov, I., Fornaro, A., Neves, R., Alves, C. N. (2013). Impact evaluation of a pisciculture in the Tucuruí reservoir (Pará, Brazil) using a two-dimensional water quality model. *J Hydrol.* 487 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.01.022>.
- Lima Neto, I.E. (2023). Modeling water quality in a tropical reservoir using CE-QUAL-W2: handling data scarcity, urban pollution and hydroclimatic seasonality. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 28, e8, <https://doi.org/10.1590/2318-0331.282320230003>.
- Lima Neto, I.E., Medeiros, P.H.A., Costa, A.C., Wiegand, M.C., Barros, A.R.M., Barros, M.U.G. (2022). Assessment of phosphorus loading dynamics in a tropical reservoir with high seasonal water level changes. *Science of the Total Environment* 815, 152875. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152875>.
- Mesquita, J.B.F., Lima Neto, I.E. (2022). Coupling Hydrological and Hydrodynamic Models for Assessing the Impact of Water Pollution on Lake Evaporation. *Sustainability*, 14, 13465. <https://doi.org/10.3390/su142013465>.
- Mesquita, J.B. F., Lima Neto, I.E., Raabe, A., Araújo, J.C. (2020). The influence of hydroclimatic conditions and water quality on evaporation rates of a tropical lake. *J Hydrol (Amst)* 590, 125456. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125456>.
- Rocha, S. M. G., Silva, J. V. B., Lemos, W. E. D., Souza Filho, F. A., Lima Neto, I. E. (2022c). Two-Dimensional Modelling of the Mixing Patterns in a Tropical Semiarid Reservoir. *Sustainability* 2022, 14, 16051. <https://doi.org/10.3390/su142316051>.