ESTABILIDADE TÉRMICA DA COLUNA D'ÁGUA EM CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS EXTREMAS NO RESERVATÓRIO EDSON QUEIROZ, CEARÁ

Gabriel Carvalho Mesquita[1] ; Janine Brandão de Farias Mesquita[2] ; Daniel Antônio Camelo Cid[3] & Iran Eduardo Lima Neto[4]

Palavras-Chave – CE-QUAL-W2, eventos extremos, estratificação térmica.

INTRODUÇÃO

As regiões áridas e semiáridas enfrentam problemas graves de escassez de água doce, em decorrência da má distribuição no tempo e no espaço. As precipitações no semiárido nordestino se concentram de janeiro a maio, ocasionando um contraste, uma vez que o período seco se concentra de julho a dezembro (Mesquita *et al.*, 2020). Esse padrão de sazonalidade afeta diretamente a estabilidade da coluna d'água que pode ocorrer tanto no período seco quanto no chuvoso, dependendo das condições hidrodinâmicas e meteorológicas locais, este é o processo chave para compreensão da dinâmica hidrodinâmica de lagos e reservatório (Rocha *et al.*, 2024).

Em reservatórios semiáridos, esses processos são particularmente relevantes, uma vez que alterações no volume armazenado podem modificar a profundidade, o tempo de residência, a exposição ao vento e a susceptibilidade à estratificação que pode ocasionar impactos na qualidade da água e em caso mais extremos a mortandade de peixes. (Rocha *et al.*, 2022; Rocha *et al.*, 2024; Lima Neto, 2025).

Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar a estabilidade térmica da coluna d'água no reservatório Edson Queiroz sob duas condições hidrológicas extremas: o ano de 2016, representativo de baixo armazenamento, pois Pontes Filho *et al.* (2020) indicaram que o volume armazenado no Ceará atingiu seu menor patamar ao final de 2016, com redução de 63% em relação a dezembro de 2011 e colapso em algumas regiões hidrográficas, no caso do reservatório Edson Queiroz o volume chegou a aproximadamente 10%, e o ano de 2024, representativo de reservatório cheio, com aproximadamente 100% do volume. Para isso, utilizou-se o coeficiente *Relative Water Column Stability* (RWCS), visando comparar os padrões de estratificação nos períodos chuvoso e seco.

METODOLOGIA

A análise foi realizada para o reservatório Edson Queiroz, localizado no município de Santa Quitéria, Ceará conforme ilustrado pela figura 1. A área de estudo está inserida no contexto hidroclimático do semiárido brasileiro (Sales *et al.*, 2024). As simulações foram feitas através do modelo hidrodinâmico e de transporte de qualidade da água bidimensional (2D) CE-QUAL-W2, para a série histórica de 2016 a 2024. Foram selecionados dois anos hidrologicamente contrastantes: 2016, caracterizado por baixo volume armazenado, e 2024, caracterizado por condição de reservatório cheio.

[1]Universidade Federal do Ceará (UFC), gabrielmesquita@alu.ufc.br
[2]Universidade Federal do Ceará (UFC), janine@crateus.ufc.br
[3]Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), daniel.cid@funceme.br
[4]Universidade Federal do Ceará (UFC), iran@deha.ufc.br

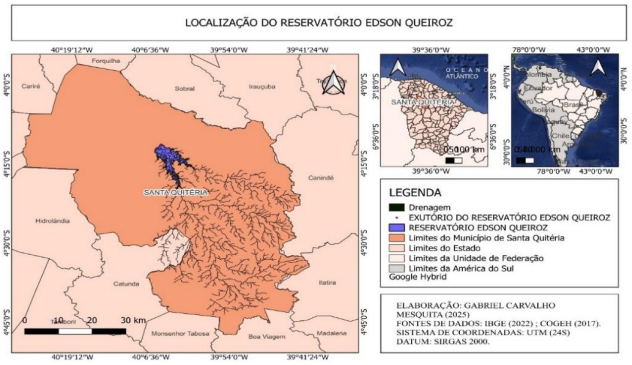


Figura 1. Mapa de localização do reservatório Edson Queiroz. Fonte: Autores, 2025.

A série temporal foi organizada em escala diária e dividida em dois períodos climáticos: período chuvoso, de janeiro a junho, e período seco, de julho a dezembro. A estabilidade térmica da coluna d'água foi avaliada por meio do coeficiente *Relative Water Column Stability* (RWCS), índice empregado em estudos de estratificação térmica e dinâmica de mistura em lagos e reservatórios. O RWCS foi calculado conforme a abordagem utilizada por Carneiro *et al.* (2023), a partir da diferença de densidade entre o fundo e a superfície, normalizada pela diferença de densidade da água entre 4 °C e 5 °C:

$$RWCS = \frac{\rho_B - \rho_S}{\rho_4 - \rho_5} \tag{1}$$

em que ρ_B representa a densidade da água no fundo da coluna d'água, ρ_S representa a densidade na superfície, e ρ_4 e ρ_5 representam, respectivamente, as densidades da água a 4 °C e 5 °C.

RESULTADOS

A Figura 2 apresenta a variação diária do RWCS nos dois anos analisados. Observa-se que, em 2016, os valores oscilaram entre 20 e 45, com picos pontuais acima de 50, principalmente no primeiro semestre. Em 2024, a série permaneceu integralmente acima do limiar de 50, com maiores valores no primeiro semestre e redução gradual ao longo do segundo semestre, sem perda da condição de estabilidade térmica.

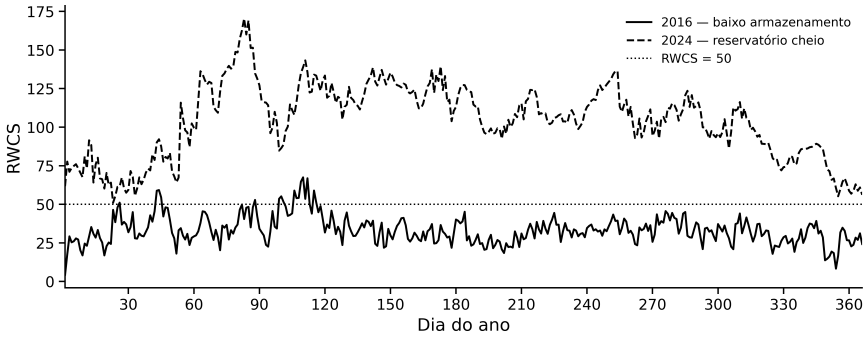


Figura 2. Variação diária do RWCS nos anos de 2016, sob baixo armazenamento, e 2024, sob reservatório cheio. Fonte: Autores, 2026.

A distribuição estatística dos valores por período climático reforça o efeito do armazenamento sobre a estabilidade térmica. No período chuvoso, o intervalo interquartil do RWCS aumentou de 12,62 em

2016 para 47,25 em 2024, indicando maior dispersão e maior intensidade da estratificação no ano de reservatório cheio. No período seco, o aumento também foi expressivo, com a mediana passando de 31,27 em 2016 para 102,81 em 2024.

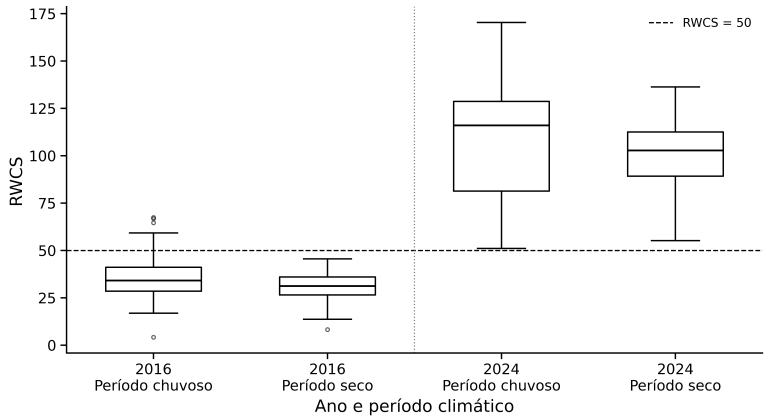


Figura 3. Distribuição dos valores de RWCS nos períodos chuvoso e seco para os anos de 2016 e 2024. Fonte: Autores, 2026.

Esses resultados indicam que a estabilidade térmica no reservatório Edson Queiroz não foi controlada apenas pela sazonalidade climática, mas também pela condição extrema de armazenamento. Essa relação também foi observada por Lewis *et al.* (2024), ao mostrar que o rebaixamento de 36% alterou a estratificação do reservatório bem como na qualidade da água. Carneiro *et al.* (2023) observaram que períodos de maior estabilidade térmica em reservatórios semiáridos tendem a se relacionar à ocorrência de anoxia e à maior duração de condições desfavoráveis à qualidade da água. De forma semelhante, Rocha *et al.* (2024) destacaram que valores de RWCS acima de 50 indicam estratificação térmica e que a entrada de água, o volume armazenado, a temperatura da água e o vento podem modular a estabilidade da coluna d'água.

No presente estudo, a condição de baixo armazenamento em 2016 esteve associada à menor estabilidade térmica e maior tendência à mistura, também foi observado por Rocha *et al.* (2022) no reservatório Pentecoste, onde o nível mais baixo pode favorecer a mistura, o que indica uma melhor qualidade da água mas isso também implica na diminuição da capacidade de auto depuração do reservatório. Já em 2024, a condição de reservatório cheio favoreceu maior profundidade e maior resistência à mistura vertical, mantendo o RWCS acima de 50 mesmo no período seco. Esse padrão é relevante para a gestão hídrica, pois eventos extremos de cheia, embora aumentem a disponibilidade de água, podem intensificar a estratificação e alterar processos físicos e biogeoquímicos associados à qualidade da água.

CONCLUSÕES

A comparação entre 2016 e 2024 demonstrou que a condição hidrológica extrema exerce forte influência sobre a estabilidade térmica da coluna d'água no reservatório Edson Queiroz. Em 2016, sob baixo armazenamento, o RWCS permaneceu predominantemente abaixo de 50, indicando maior susceptibilidade à mistura vertical. Em 2024, sob condição de reservatório cheio, o RWCS permaneceu acima de 50 tanto no período chuvoso quanto no seco indicando maior estabilidade térmica da coluna.

Os resultados indicam que o aumento do volume armazenado intensificou a estabilidade térmica da coluna d'água, superando inclusive o efeito sazonal esperado entre período chuvoso e seco. Portanto, em eventos extremos hidrológicos, a variação do armazenamento deve ser considerada como fator

determinante da estratificação térmica e da dinâmica de mistura em reservatórios semiáridos.

Conclui-se que o RWCS é uma ferramenta adequada para avaliar a resposta hidrodinâmica de reservatórios a condições extremas de armazenamento. A manutenção de valores elevados de RWCS em anos de reservatório cheio pode indicar maior resistência à mistura vertical e potenciais implicações para a qualidade da água, especialmente quanto ao risco de déficit de oxigênio em camadas profundas e à liberação interna de nutrientes que pode ocasionar impactos na qualidade da água e em caso mais extremos a mortandade de peixes.

REFERÊNCIAS

CARNEIRO, Brenda Lara D. S. *et al.* Predicting anoxia in the wet and dry periods of tropical semiarid reservoirs. **Journal of Environmental Management**, v. 326, p. 116720, 2023. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116720.

LEWIS, Abigail S. L. *et al.* Reservoir Drawdown Highlights the Emergent Effects of Water Level Change on Reservoir Physics, Chemistry, and Biology. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 129, e2023jg007780, 2024. DOI: 10.1029/2023JG007780.

LIMA NETO, Iran Eduardo. Two-dimensional modeling of the impact of surface coverage on the evaporation and hydrodynamics of a shallow tropical reservoir. **Journal of Hydrology**, v. 663, p. 134217, 2025. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2025.134217.

MESQUITA, Janine Brandão de Farias *et al.* The influence of hydroclimatic conditions and water quality on evaporation rates of a tropical lake. **Journal of Hydrology**, v. 590, p. 125456, 2020. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125456.

PONTES FILHO, João Dehon *et al.* Copula-Based Multivariate Frequency Analysis of the 2012–2018 Drought in Northeast Brazil. **Water**, v. 12, n. 3, p. 834, 2020. DOI: 10.3390/w12030834.

ROCHA, Maria Aparecida Melo *et al.* Diel and seasonal mixing patterns and water quality dynamics in a multipurpose tropical semiarid reservoir. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 31, p. 43309–43322, 2024. DOI: 10.1007/s11356-024-34044-9.

ROCHA, Sofia Midauar Gondim *et al.* Two-Dimensional Modelling of the Mixing Patterns in a Tropical Semiarid Reservoir. **Sustainability**, v. 14, n. 23, p. 16051, 2022. DOI: 10.3390/su142316051.

SALES, ES Gomes *et al.* Climate classification for Northeast Brazil using reanalysis data and the Absolute Aridity Index. **Rev. Bras. De Geogr. Física**, v. 17, p. 1478–1500, 2024.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq – Brasil, Edital Chamada CNPq/MCTI/FNDCT Nº 44/2024 - UNIVERSAL, processo nº404286/2025-9. Agradecemos à FUNCEME pela concessão de dados de entrada do modelo CE-QUAL-W2 e à COGERH pela disponibilidade de dados de qualidade da água. Agradeço à Funcap pela concessão da bolsa de mestrado, fundamental para a dedicação e conclusão desta pesquisa. Em especial agradeço à UFC e ao POSDEHA.