



I CONGRESSO PERNAMBUCANO DE RECURSOS HÍDRICOS

Água para o Desenvolvimento
Recife, 24, 25 e 26 de Março de 2026

ZONEAMENTO OPERACIONAL DE RESERVATÓRIOS DA REGIÃO MEROPOLITANA DO RECIFE

*Anna Elloísa Santos Silva*¹ ; *Andreia Azevedo Abrantes de Oliveira*² & *Saulo de Tarso Marques Bezerra*³

Palavras-chave: Modelagem hidrológica, CAROS, PE3D.

INTRODUÇÃO

As altas irregularidades das distribuições espaciais e temporal dos recursos hídricos são um dos principais fatores para a crise hídrica. É o que ocorre no Brasil, onde, mesmo com grande disponibilidade de água, sua diversidade climática e a concentração populacional fazem com que algumas regiões sofram com a escassez. O problema da distribuição desigual dos recursos hídricos no espaço e no tempo pode ser solucionado por meio da suplementação com novos reservatórios (LIU *et al.*, 2019).

Para uma gestão eficiente dos recursos hídricos é importante uma operação estratégica dos reservatórios. O crescimento no número dessas estruturas evidencia a necessidade de adotar modelos baseados em técnicas de simulação e otimização, capazes de apoiar decisões operacionais complexas. Esses modelos têm se mostrado eficazes para definir regras operacionais que considerem a relação entre oferta e demanda de água, permitindo minimizar perdas por evaporação, reduzir vertimentos, maximizar o volume armazenado e ampliar a oferta hídrica. Tais ferramentas vêm sendo utilizadas para estimar a disponibilidade hídrica de reservatórios e auxiliar na definição de estratégias operacionais que otimizem o aproveitamento dos recursos armazenados (FORTUNATO, 2020). Alguns estudos fundamentaram o desenvolvimento do modelo atualmente denominado CAROS (*Campus Agreste Reservoir Operation Model*), empregado por Gomes (2019) na análise do controle de cheias e por Souza *et al.* (2023) na proposição de uma gestão integrada de sistemas múltiplos de abastecimento.

O objetivo deste trabalho é aprimorar a gestão sustentável dos recursos hídricos por meio da operação de reservatórios, com o propósito de otimizar a utilização responsável e eficiente das fontes de água, através das estimativas das vazões regularizadas Q90%, Q95% e Q100% dos reservatórios de Tapacurá e Pirapama.

¹) Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Campus Agreste, Rodovia BR 104 km 59, (81)98926-3295. E-mail: anna.elloisa@ufpe.br.

²)Doutoranda em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Avenida da Arquitetura, Cidade Universitária, (81) 99538-1899. Email: andreia.abrantes@ufpe.br.

³) Professor Associado do Núcleo de Tecnologia da Universidade Federal de Pernambuco, Campus Agreste, Rodovia BR 104 km 59, (81) 99608-3235. Email: s.bezerra@yahoo.com.br

METODOLOGIA

As áreas de estudo selecionadas foram as Barragens Tapacurá e Pirapama. A barragem Tapacurá está localizada no município de São Lourenço da Mata, na Região Metropolitana do Recife (RMR). Esta barragem, construída em 1978, integra o Sistema Tapacurá, o sistema público de abastecimento de água mais antigo de Pernambuco, responsável por atender 929 mil pessoas (ANA, 2021). Informações cruciais como a curva cota-área-volume (CAV) e a capacidade de reserva foram extraídas da Ficha Técnica do Reservatório, elaborada pela Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC).

Já Barragem Pirapama, situada no município do Cabo de Santo Agostinho, desempenha um papel central na infraestrutura hídrica local. Integrante do Sistema Pirapama, a unidade configura-se como o principal sistema da região devido à sua elevada capacidade de produção. Atualmente, a barragem é responsável por suprir 35% da demanda de abastecimento da Região Metropolitana do Recife (RMR), beneficiando uma população superior a 1 milhão de habitantes.

Para a obtenção dos dados geoespaciais, utilizou-se o levantamento do Plano Estadual 3D (PE3d), a partir do qual foram gerados os Modelos Digitais de Terreno (MDT) para a extração das curvas de nível das áreas analisadas. O software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS foi empregado para o processamento, a análise e a obtenção de informações detalhadas sobre as bacias.

Os dados hidrometeorológicos de precipitação e vazão foram obtidos por meio do plugin ANA HidroWeb no QGIS. As informações de precipitação nas bacias de contribuição para os reservatórios foram determinadas por meio de uma média ponderada pela distância dos postos pluviométricos. As estações de monitoramento fluviométrico escolhidas para coleta da vazão foram as mais próximas localizadas à jusante das barragens.

A capacidade de fluxo e o balanço hídrico dos reservatórios foram analisados utilizando o modelo hidrológico CAROS (Cirilo *et al.*, 2021). Este modelo estima o balanço hídrico na bacia a partir das vazões afluente e efluente, e dos dados de chuva e evaporação na área, desenvolvido através de uma adaptação do método clássico de Puls, que calcula todas as variáveis envolvidas no balanço hídrico com base em intervalos de tempo diários, conforme apresentado na Equação 1 (Cirilo *et al.*, 2021). No modelo em questão, o cálculo do balanço hídrico é feito para cada dia, dividido em seis intervalos de 4 horas, visto o baixo tempo de concentração das bacias estudadas.

$$V_{t+\Delta t} = V_t + I_t - V_{dem} - E_t \cdot A_t + P_t \cdot A_t - V_{St} \quad (1)$$

Em que, $V_{t+\Delta t}$ = Volume no tempo $t+1$; V_t = Volume no início do intervalo de tempo t ; I_t = Volume afluente ao reservatório no intervalo de tempo t ; V_{dem} = Volume retirado de água; E_t = Lâmina de evaporação no intervalo de tempo t ; P_t = Precipitação na superfície do reservatório; A_t = Área da superfície da água do reservatório no início do intervalo de tempo t ; e; V_{St} = volume vertido no tempo.

Na modelagem hidrológica, adotou-se o método de retirada constante e foram consideradas garantias de 90%, 95% e 100% no atendimento da demanda. Para a otimização, foi empregado o método de transporte GRG Nonlinear, com uma vazão máxima de transporte de 5 m³/s para Pirapama e 3,5 m³/s para Tapacurá e uma Fração V de colapso de 0,3% para ambas.

RESULTADOS

A análise de simulação do balanço hídrico, conduzida por meio do modelo hidrológico CAROS, determinou as vazões máximas sustentáveis dos reservatórios para os níveis de garantia adotados (Tabela 1). O resultado obtido para o nível de garantia de 100% foi uma vazão de 1,57 e 2,03 m³/s para Tapacurá e Pirapama, respectivamente. Destacando que esses valores, para ambos os reservatórios permitiria o atendimento integral da demanda ao longo de todo o período de simulação. Em contraste, para o nível de garantia de 95%, a vazão alcançada foi de 1,96 e 3,52 m³/s. Já para o nível de garantia de 90%, foram obtidas vazões de 2,24 e 4,68 m³/s. No entanto, este segundo e terceiro nível de garantia, se destaca os períodos de falha no atendimento da demanda, justificados pela queda do volume do reservatório abaixo da Fração V de colapso de 0,3% da capacidade de reserva estabelecida na modelagem.

Tabela 1 – Vazão regularizada das garantias 90%, 95% e 100% do reservatório de Tapacurá e Pirapama.

Reservatórios	Vazões regularizadas (m ³ /s)		
	Q90%	Q95%	Q100%
Tapacurá	2.24	1.96	1.57
Pirapama	4.68	3.52	2.03

As Figuras 1, 2 e 3 apresentam os resultados obtidos para a vazão regularizada em diferentes níveis de garantia (90%, 95% e 100%) para a barragem de Tapacurá.

Figura 1 – Volume acumulado e vazão regularizada (garantia de 90%) do reservatório de Tapacurá.

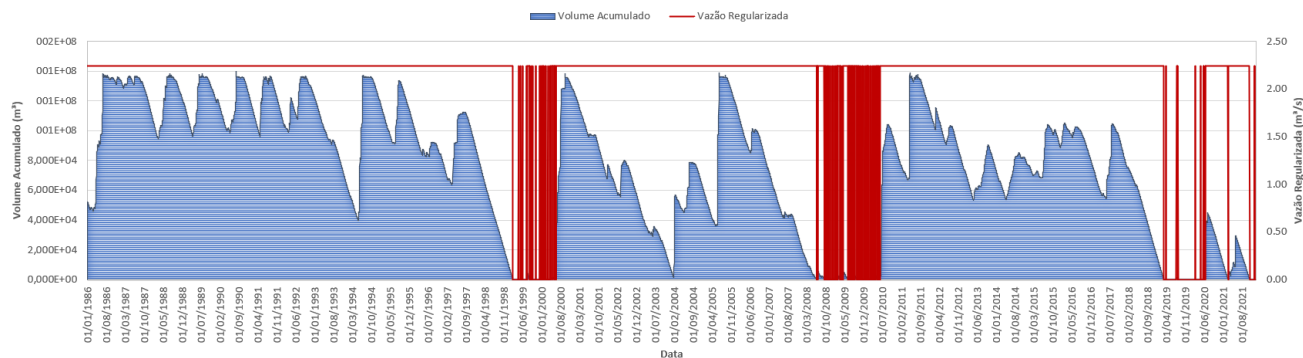


Figura 2 – Volume acumulado e vazão regularizada (garantia de 95%) do reservatório de Tapacurá.

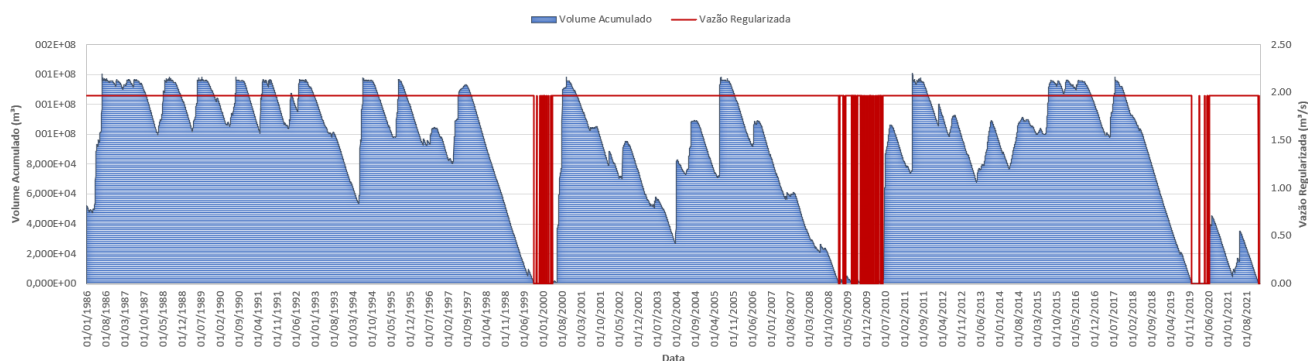
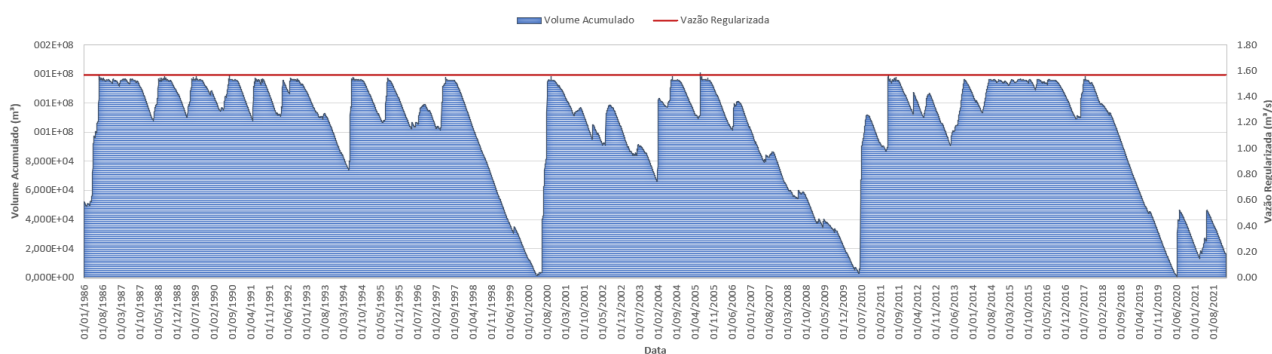


Figura 3 – Volume acumulado e vazão regularizada (garantia de 100%) do reservatório de Tapacurá.



CONCLUSÕES

A aplicação do modelo CAROS estimou as vazões regularizadas associadas a diferentes níveis de garantia para os reservatórios de Tapacurá e Pirapama, evidenciando a capacidade de ambos os sistemas em sustentar liberações contínuas compatíveis com o atendimento de demandas hídricas. As vazões regularizadas obtidas para os níveis de garantia de 100%, 95% e 90% evidenciam um comportamento semelhante entre os dois sistemas, com incremento progressivo da vazão à medida que se admite maior risco de falha, contudo, valores conservadores foram mantidos para a garantia total da função prioritária que é o abastecimento humano.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de iniciação científica concedida.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano. Brasília, DF: ANA, 2021. 332 p.151.

CIRILO, J. A.; RIBEIRO NETO, A.; RAMOS, N. M. R.; FORTUNATO, C. F.; SOUZA, J. D. S. de; BEZERRA, S. de T. M. (2021). “Management of water supply systems from interbasin transfers: case study in the brazilian semiarid region”. Urban Water Journal, 18 (1-8), pp. 660-671.

FORTUNATO, C. F. Estratégias de operação de reservatórios em regiões semiáridas. 2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Recife, 2020.

GOMES, M. M. A. Abordagem integrada de modelagem hidrológica e operação de barragens para avaliação da eficiência do controle de cheias na bacia do Rio Capibaribe. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

LIU, J.; QIN, K.; ZHEN, L.; XIAO, Y.; XIE, G. How to allocate interbasin water resources? A method based on water flow in water-deficient areas. Environmental Development, v. 34, 2019.

SOUZA, J. D. S.; CIRILO, J. A.; BEZERRA, S. T. M.; OLIVEIRA, G. A.; FREIRE, G. D.; COUTINHO, A. P.; CABRAL, J. J. S. P. Decision Support System for the Integrated Management of Multiple Supply Systems in the Brazilian Semiarid Region. Water, v. 15, n. 223, 2023.