

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS DO VALE DO ACARAÚ NO ESTADO DO CEARÁ

José Kerlly Soares de Araújo¹; Daniel Antônio Camelo Cid² & Francisco de Assis de Souza Filho³

Abstract: This study aims to simulate and evaluate the operation of the main reservoirs in the Acaraú Valley, located in the northwest of the state of Ceará, to ensure the perennialization of rivers and meet the water demands of the region. The applied methodology included modeling the hydrosystem and simulating the operation of the Araras, Edson Queiroz, Taquara, and Ayres de Souza reservoirs over a period of 107 years. The simulation considered a scenario where demands are met either by the hydraulic basin or through perennialization, with optimization based on priorities. The study analyzed water availability and the frequency of supply failures, with results highlighting the importance of efficient management of these reservoirs, particularly during drought periods. The most significant failures occurred in the demands associated with river perennialization for irrigation and aquaculture, while withdrawals directly from the hydraulic basins performed better. The simulation revealed that, for most of the time, the reservoirs operated at satisfactory levels, ensuring good water security for the region. Based on the analyses, it is concluded that the SIGA system proved effective as a simulation tool, allowing the optimization of reservoir operations and providing a clear visualization of volume behavior and demand satisfaction over time.

Resumo: Este trabalho tem como objetivo simular e avaliar a operação dos principais reservatórios do Vale do Acaraú, localizado no noroeste do estado do Ceará, a fim de garantir a perenização dos rios e o atendimento das demandas hídricas da região. A metodologia aplicada incluiu a modelagem do hidrossistema e a simulação da operação dos reservatórios Araras, Edson Queiroz, Taquara e Ayres de Souza ao longo de um período de 107 anos, considerando um cenário de demandas atendidas pela bacia hidráulica ou pela perenização, com otimização por prioridades. O estudo analisou a disponibilidade hídrica e a frequência de falhas no abastecimento das demandas, com resultados que destacam a importância da gestão eficiente desses reservatórios, especialmente durante os períodos de seca. As falhas mais significativas ocorreram nas demandas associadas à perenização dos rios para irrigação e aquicultura, enquanto as retiradas diretamente das bacias hidráulicas apresentaram melhor desempenho. A simulação revelou que, em grande parte do tempo, os reservatórios operaram com volumes satisfatórios, assegurando uma boa segurança hídrica para a região. Diante das análises, conclui-se que o sistema SIGA mostrou-se eficaz como ferramenta de simulação, permitindo a otimização da operação dos reservatórios e a visualização clara do comportamento dos volumes e da satisfação das demandas ao longo do tempo.

Palavras-Chave – Simulação de operação, Gestão de recursos hídricos, Vale do Acaraú.

1) Universidade Federal do Ceará – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici – Bloco 713. Cep: 60400-900. Fortaleza – Ceará, Brasil. E-mail: josekerlly@alu.ufc.br

2) Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, Av. Rui Barbosa, 1246 - Aldeota, Fortaleza - CE, 60115-221, (85) 3101-1088. E-mail: daniel.cid@funceme.br

3) Universidade Federal do Ceará – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici – Bloco 713. Cep: 60400- 900. Fortaleza – Ceará, Brasil. E-mail: assis@deha.ufc.br

INTRODUÇÃO

O semiárido do Nordeste Brasileiro é caracterizado por condições climáticas marcantes e complexas, com forte variabilidade temporal e espacial no regime de chuvas, presença de rios intermitentes e elevadas taxas de evaporação. Essas condições resultam em uma distribuição irregular dos recursos hídricos, tornando a gestão da água um desafio constante.

Nesse contexto, a predominância de rios intermitentes, causada principalmente pela natureza do solo e subsolo que impede um escoamento subterrâneo eficiente, dificulta o fluxo contínuo dos cursos d'água. Essa limitação levou à construção de reservatórios artificiais superficiais como a principal estratégia para o armazenamento de grandes volumes de água, permitindo sua conservação e distribuição ao longo do tempo (Campos, 1997).

A operação eficiente dos reservatórios é crucial para garantir que os volumes de água armazenados atendam às demandas de maneira sustentável ao longo do ano, especialmente durante os longos períodos de seca. Dessa forma, o uso de técnicas de simulação e otimização torna-se uma ferramenta essencial no processo de tomada de decisão (Cid *et al.*, 2014).

O presente estudo tem como objetivo analisar a simulação da operação dos principais reservatórios do Vale do Acaraú, que são responsáveis pela perenização do vale. Para tal, foram realizadas: i) a modelagem do hidrossistema; ii) a simulação da operação deste para um período de 107 anos, considerando as demandas atuais; iii) a avaliação da disponibilidade hídrica nos reservatórios ao longo do período de simulação e a frequência de falhas de abastecimento das demandas.

METODOLOGIA

Para a realização deste estudo, foi implementada uma metodologia estruturada em três etapas principais: definição da área de estudo, seleção e organização da base de dados, e, por fim, a simulação da operação da rede de fluxo dos reservatórios.

Área de Estudo

O presente estudo foca no vale perenizado do Acaraú, uma região de maior complexidade hídrica, caracterizada por um sistema composto por açudes estratégicos e extensos trechos de aquedutos ou rios perenizados. Este vale está inserido na região hidrográfica do Acaraú, localizada no noroeste do estado do Ceará. Ao sul, a região hidrográfica é limitada pelas regiões hidrográficas do Banabuiú e Sertões de Crateús; ao norte, faz fronteira com o Oceano Atlântico; a oeste, com as regiões hidrográficas do Coreaú e da Serra da Ibiapaba; e a leste, com as regiões hidrográficas do Litoral e do Curu, conforme ilustrado na Figura 1.

O vale do Acaraú é marcado pelo rio Acaraú como seu principal curso d'água, que flui predominantemente no sentido sul-norte. Entre os principais afluentes, destacam-se o rio Groaíras pela margem direita e o rio Jaibaras pela margem esquerda. Quatro reservatórios estratégicos estão localizados nessa região: Araras, Edson Queiroz, Taquara e Ayres de Sousa. Esses açudes, em conjunto, atendem às demandas das áreas em seu entorno, além de garantir a perenização dos rios a jusante, contribuindo para o atendimento de diversas sedes municipais além de perímetros irrigados da região.

No Vale perenizado, destaca-se como reservatório principal, o açude Araras, responsável por mais de 51% do volume de acumulação da região hidrográfica. A Tabela 1 apresenta os cinco

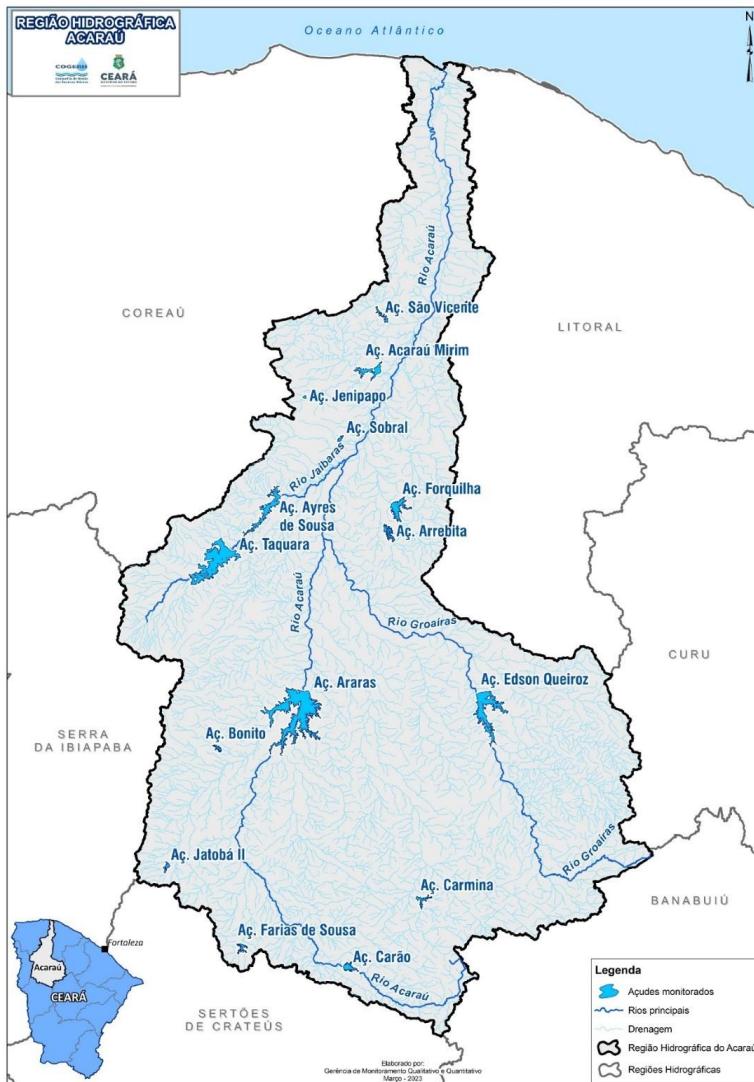
principais reservatórios monitorados pela COGERH responsáveis pela perenização do vale do Acaraú.

Tabela 1 – Principais reservatórios do Vale do Acaraú.

Nome do Reservatório	Município	Capacidade (m ³)
Araras	Varjota	891.000.000
Edson Queiroz	Santa Quitéria	254.000.000
Ayres de Souza	Sobral	104.430.000
Taquara	Cariré	320.000.000

Fonte: COGERH (2024).

Figura 1 – Região Hidrográfica Acaraú



Fonte: COGERH - Base Cartográfica (2024).

Dados Utilizados

Para a modelagem do hidrossistema, requerem-se os dados relacionados a: i) aos reservatórios, dados como curva cota-área-volume, os volumes máximo, mínimo e o volume inicial do reservatório, volume meta, além da série de evaporação mensal e a série de vazão natural afluente; ii) aos trechos (canais, rios ou adutoras), responsáveis pelo deslocamento do recurso, os dados de capacidade máxima, mínima e de seu coeficiente de perda; iii) nós que representam os pontos de retirada no local de demanda, acompanhados pela série de vazão demandada.

Os dados referentes às fichas técnicas dos reservatórios, como a capacidade máxima de armazenamento, as curvas cota-área-volume e demais dados foram obtidas através de dados disponibilizados pela Companhia de Gestão do Recursos Hídricos (COGERH). As séries de vazões afluentes utilizadas foram obtidas a partir do Projeto Alocar (2021), que fornece informações sobre as vazões afluentes oficiais de referência para cada reservatório.

Em relação à evaporação, utilizou-se a série mensal proveniente da estação localizada no município de Sobral. Quanto às demandas, os dados foram extraídos da apresentação da reunião de alocação negociada para o Vale do Acaraú, realizada em 2024, conforme mostrado na Tabela 2. Essas demandas representam estimativas das vazões de referência alocáveis aos reservatórios, por tipologia de uso, definidas para o primeiro período chuvoso (fevereiro a junho) e para o segundo período de estiagem (julho a janeiro).

Tabela 2 – Demandas do Vale do Acaraú

Demanda	Período	Araras		Ayres de Souza		Taquara		Edson Queiroz	
		BH	PE	BH	PE	BH	PE	BH	PE
Abastecimento Humano	1º	150	310	78	451	20	2	46	52
	2º	155	339	155	571	40	2	48	57
Industria	1º	-	5	1	18	-	-	-	2
	2º	-	5	1	19	-	-	-	2
Irrigação	1º	210	3370	-	30	-	-	2	130
	2º	10	4554	-	30	-	-	2	130
Aquicultura	1º	1	2	-	-	-	-	-	-
	2º	1	1	-	-	-	-	-	-
Outros usos	1º	-	1	-	-	-	-	-	-
	2º	-	1	-	-	-	-	-	-
Perdas em Trânsito	1º	-	-	-	150	-	100	-	250
	2º	-	-	-	150	-	100	-	250
Total	1º	361	3688	79	649	20	102	48	434
	2º	166	4900	156	770	40	102	50	439

Fonte: COGERH – Apresentação Reunião de Alocação negociada Vale do Acaraú (2024).

Nota: BH – Bacia Hidráulica; PE – Perenização.

Modelo de Simulação da Operação dos Reservatórios

A operação de reservatórios consiste na determinação, de forma sistemática, do armazenamento e liberação dos recursos hídricos, visando atender de forma eficiente os diversos usos a ele associados

(Cid, 2019). Neste estudo, foi utilizado o sistema SIGA para realizar a simulação da operação desse hidrossistema.

O SIGA (Sistema de Informação para Gestão e Alocação de Água), disponibilizado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCME), é uma plataforma avançada de apoio ao planejamento e operação de sistemas de recursos hídricos. Baseado em uma rede de recursos hídricos estruturada em nós e links, o SIGA incorpora modelos de simulação, otimização, hidrologia e qualidade da água, que são utilizados para avaliar os impactos das regras de gestão e alocação em sistemas hídricos (Barros *et al.*, 2013).

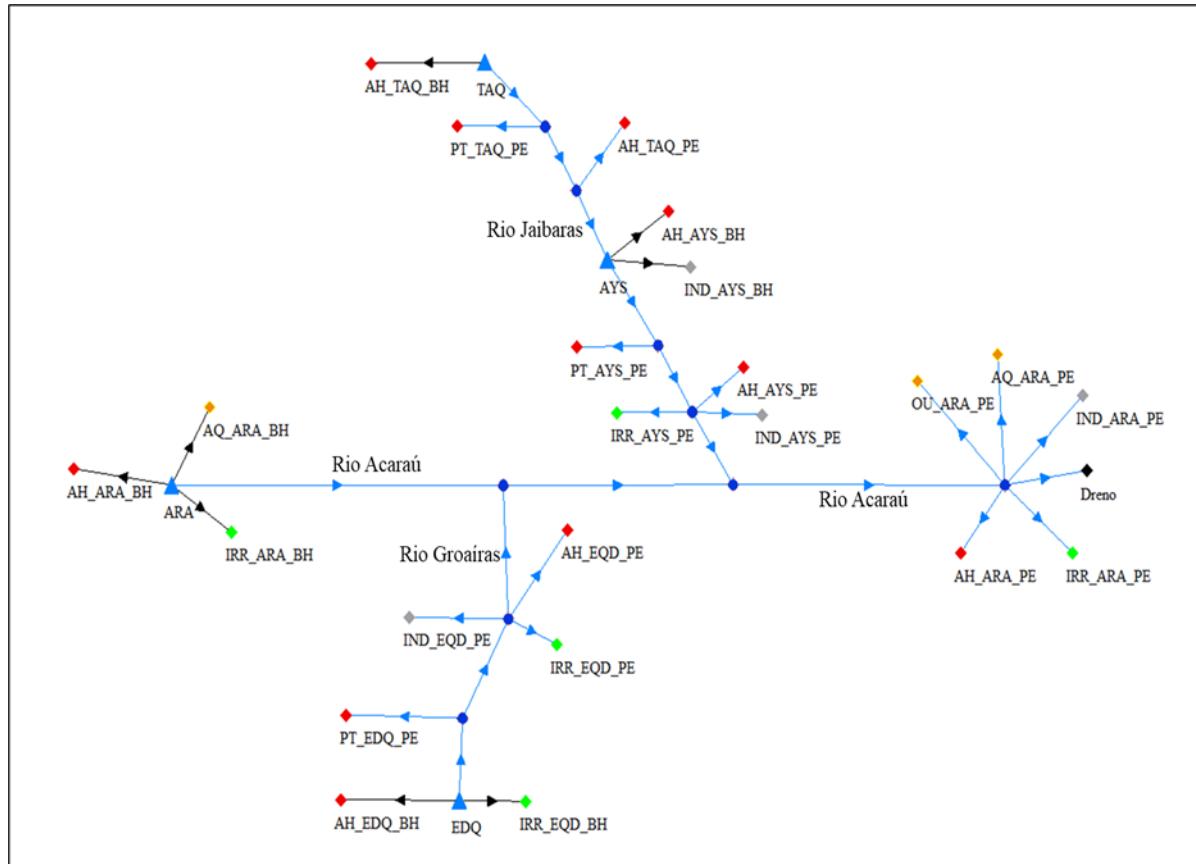
Na modelagem, as demandas foram classificadas por três componentes que facilitam a identificação de sua origem e tipo. O primeiro componente refere-se ao tipo de demanda, indicando a natureza da utilização da água, como Abastecimento Humano/Urbano (AH), Aquicultura (AQ), Irrigação (IRR), Indústria (IND), Outros usos (OU) ou Perdas em trânsito (PT). O segundo componente corresponde à abreviação do reservatório de onde a água é retirada, com nomes como Araras (ARA), Edson Queiroz (EDQ), Taquara (TAQ) e Ayres de Souza (AYS). Por fim, o terceiro componente informa se a água é retirada diretamente da bacia hidráulica do reservatório (BH) ou de trechos perenizados (PE), especificando o local de retirada. Essa classificação é aplicada na representação do hidrossistema do Vale do Acaraú, conforme ilustrado na Figura 2, que apresenta a rede de fluxo modelada no SIGA, incluindo as demandas organizadas segundo essa convenção.

As regras operacionais utilizadas no modelo abrangem o período de simulação contínua de 1911 a 2017. A simulação foi realizada sob um cenário de otimização por prioridades, em que as demandas foram hierarquizadas com base na distância dos reservatórios e na capacidade de cada um de perenizar o trecho associado. O fluxo segue a ordem das prioridades, partindo do valor numericamente maior para o menor (ou seja, quanto menor o valor, maior a prioridade), conforme descrito na Tabela 3. Essa abordagem visa garantir que os reservatórios com maior capacidade de regularização da vazão ao longo do tempo sejam priorizados no atendimento às demandas, otimizando o uso dos recursos hídricos e assegurando a distribuição eficiente ao longo da rede.

Tabela 3 – Prioridade dos Reservatórios e das demandas

Reservatório	Prioridade do reservatório	Local da demanda	Demandas	Prioridade
Araras	30	Bacia Hidráulica	AH	5
			AQ, IRR	6
	10	Perenização	AH	25
			AQ, IRR, IND e OU	26
Edson Queiroz	10	Bacia Hidráulica	AH	5
			IRR	6
	20	Perenização	AH	5
			IRR e IND	6
Taquara	10	Bacia Hidráulica	AH	5
		Perenização	AH	5
Ayres de Souza	20	Bacia Hidráulica	AH	5
			IND	6
	20	Perenização	AH	5
			IND, IRR	6

Figura 2 – Rede de fluxo do hidrossistema do vale do Acaraú modelada no SIGA



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados das simulações dos reservatórios principais que compõem o vale do Acaraú.

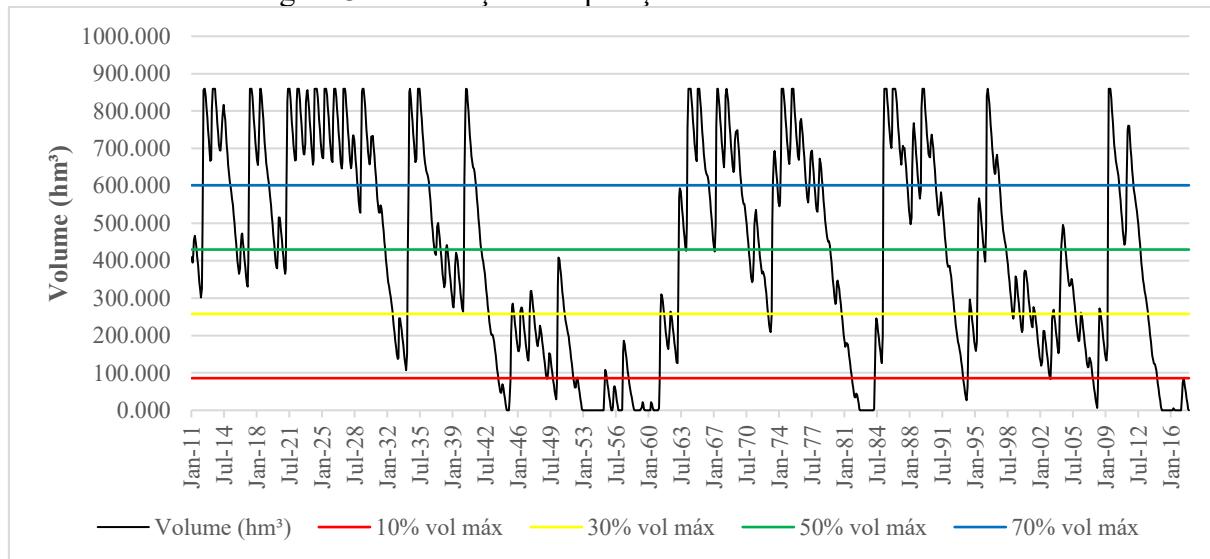
Simulação - Reservatório Araras

O comportamento do reservatório Araras (Figura 3) ao longo da simulação da operação revela importantes padrões de armazenamento de água. Em 206 meses (16,04% do tempo), o volume armazenado esteve abaixo de 10% de sua capacidade máxima, sinalizando períodos críticos de escassez. Durante 245 meses (19,08%), o reservatório operou com volumes entre 10% e 30%, enquanto em 218 meses (16,98%) o volume variou entre 30% e 50% de sua capacidade. Em 191 meses (14,88%), o estoque de água ficou entre 50% e 70%. Em contrapartida, durante 424 meses (33,02% do tempo), o volume do reservatório superou 70% de sua capacidade máxima, garantindo maior segurança hídrica.

A análise do atendimento às demandas indica que aquelas associadas à perenização (PE) apresentaram as maiores taxas de falha, especialmente nas categorias de aquicultura (AQ), irrigação (IRR) e outros usos (OU), todas com 7,9%, seguidas por abastecimento humano (AH) e indústria (IND), com 5,9% cada. Esses resultados indicam limitações na disponibilidade de água para perenização e possível menor prioridade dessas demandas. Em contraste, as demandas atendidas diretamente pela bacia hidráulica (BH) apresentaram falhas mais baixas, com 5,1% para AQ e IRR,

e apenas 4,7% para AH, sugerindo maior eficiência no atendimento em função da proximidade das captações à fonte hídrica e da menor interferência no fluxo do sistema.

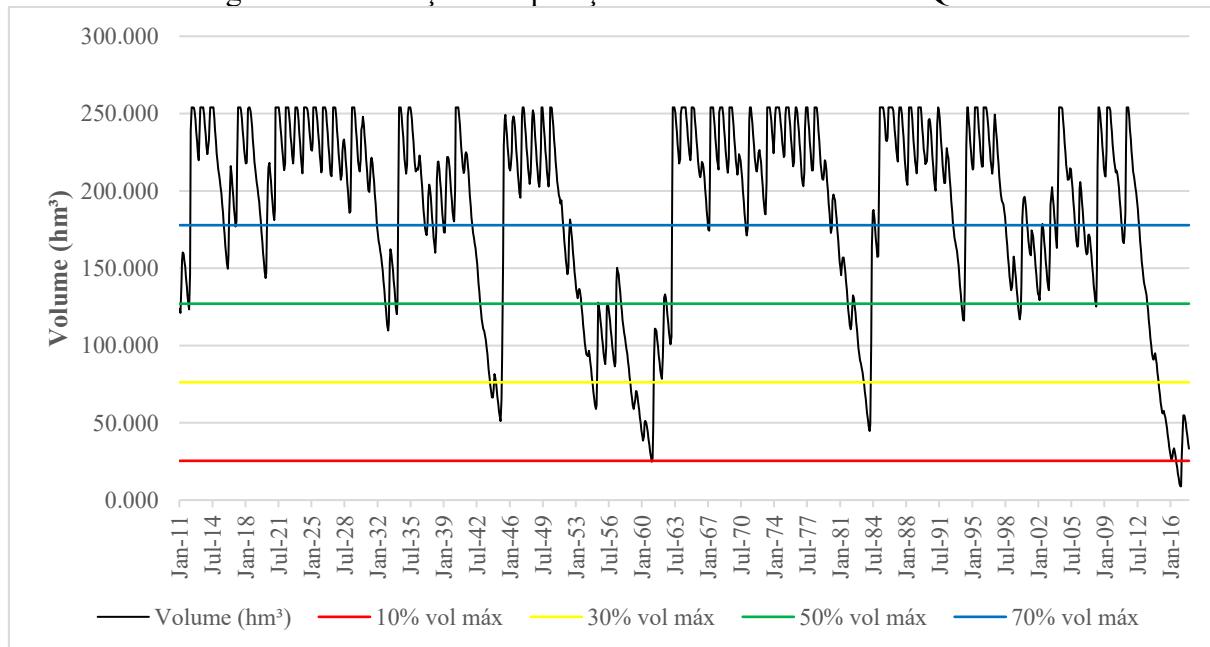
Figura 3 - Simulação da operação do reservatório Araras



Simulação - Reservatório Edson Queiroz

A simulação da operação do reservatório Edson Queiroz apresentado na Figura 4, mostra que em apenas 8 meses (0,62% do tempo), o volume armazenado esteve abaixo de 10% da capacidade máxima, demonstrando uma baixa frequência de condições críticas. Durante 89 meses (6,93%), o reservatório operou com volumes entre 10% e 30%, e em 135 meses (10,51%) o estoque variou entre 30% e 50% de sua capacidade. No entanto, em 223 meses (17,37%), o volume esteve entre 50% e 70%, indicando um cenário de gestão mais estável. Por outro lado, em 829 meses (64,56% do tempo), o volume do reservatório superou 70% da capacidade máxima, oferecendo uma boa capacidade de acumulação ao longo de todo o período simulado.

Figura 4 - Simulação da operação do reservatório Edson Queiroz



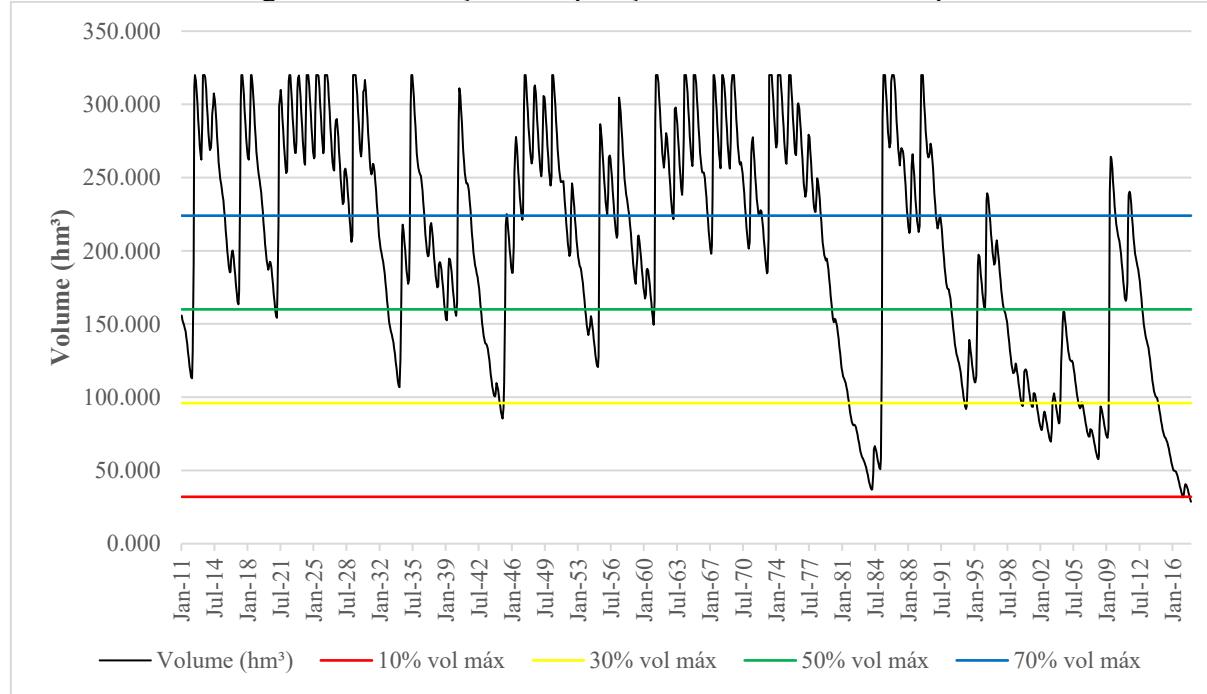
O Atendimento das demandas relacionadas ao reservatório Edson Queiroz, como abastecimento humano (AH), indústria (IND) e irrigação (IRR), apresentam um baixo percentual de falhas (0,16%), tanto quando atendidas pela bacia hidráulica quanto pela perenização. Isso sugere que as demandas são majoritariamente supridas, com ocorrências mínimas de falhas. Dessa forma, evidencia-se que, de modo geral, o sistema é bastante eficaz em atender as demandas associadas a este reservatório.

Simulação - Reservatório Taquara

A simulação do reservatório Taquara, ilustrada na Figura 5, também traz à tona importantes aspectos operacionais. Em apenas 3 meses (0,23% do tempo), o volume armazenado ficou abaixo de 10% da capacidade máxima, o que indica uma ocorrência muito rara de condições extremas. Em 156 meses (12,15%), o reservatório operou com volumes entre 10% e 30%, enquanto em 225 meses (17,52%) o volume variou entre 30% e 50%. Durante 305 meses (23,75%), o reservatório manteve volumes entre 50% e 70%, evidenciando uma operação relativamente estável. Em 595 meses (46,34% do tempo), o volume superou 70% da capacidade máxima, destacando-se como um reservatório que, em quase metade do tempo, opera em níveis de maior segurança hídrica.

Destaca-se que este reservatório atendeu às demandas associadas a ele (Abastecimento Humano) em todos os meses do período de simulação, reforçando sua importância estratégica no sistema, especialmente por também ser responsável pela transferência de água para o Reservatório Ayres de Souza, conforme as prioridades de demanda estabelecidas.

Figura 5 - Simulação da Operação do Reservatório Taquara

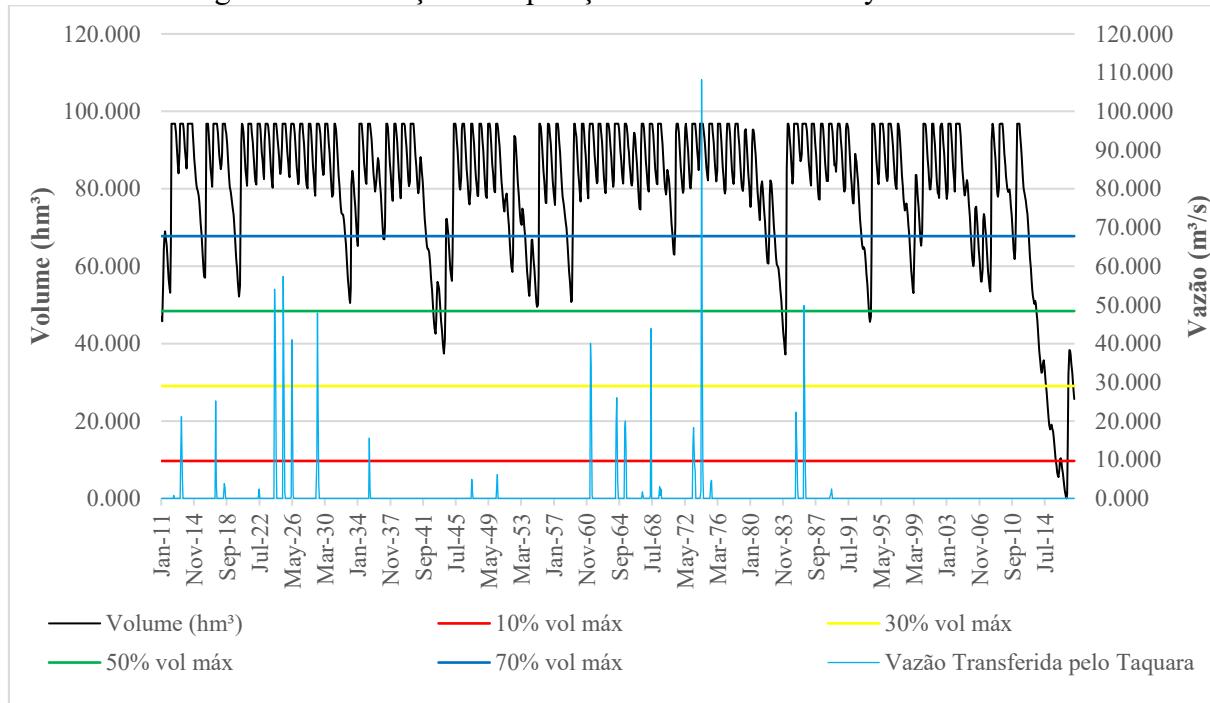


Simulação - Reservatório Ayres de Souza

O reservatório Ayres de Souza, que recebe transferência do reservatório Taquara, apresenta um comportamento de operação altamente estável em termos de armazenamento de água. De acordo com a Figura 6, em 14 meses (1,09% do tempo), o volume armazenado ficou abaixo de 10% da capacidade máxima, e em 19 meses (1,48%), o volume variou entre 10% e 30%. Durante 42 meses (3,27%), o reservatório operou com volumes entre 30% e 50%. Em 167 meses (13,01%), o estoque de água esteve entre 50% e 70%, demonstrando uma operação confiável. A maior parte do tempo, em 1042

meses (81,15%), o volume do reservatório superou 70% da capacidade máxima, garantindo uma excelente segurança hídrica. A transferência de água do reservatório Taquara para o Ayres de Souza é crucial para a manutenção dos elevados níveis de armazenamento, assegurando que as demandas associadas ao Reservatório Ayres de Souza sejam plenamente atendidas ao longo de todo o período de simulação.

Figura 6 - Simulação da Operação do Reservatório Ayres de Souza



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A simulação da operação dos reservatórios do Vale do Acaraú permitiu uma avaliação abrangente do comportamento hídrico da região ao longo de 107 anos. Os resultados ressaltaram a importância dos reservatórios Araras, Edson Queiroz, Taquara e Ayres de Souza na garantia do abastecimento durante os períodos de seca e na perenização dos rios a jusante. No entanto, o reservatório Araras apresentou limitações significativas no atendimento às demandas de aquicultura e irrigação, destacando a necessidade de uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos.

A análise também revelou um percentual elevado de falhas no atendimento das demandas relacionadas à perenização, com falhas simultâneas em diferentes tipos de demandas, o que reforça a necessidade de aprimorar as regras de operação. É crucial que essas regras priorizem as demandas mais críticas de acordo com o volume disponível nos reservatórios, mitigando, assim, a ocorrência de falhas globais.

A utilização do sistema SIGA mostrou-se eficaz como ferramenta de simulação, permitindo a otimização da operação dos reservatórios e a visualização clara do comportamento dos volumes e da satisfação das demandas ao longo do tempo. Diante dos dados observados, recomenda-se que estudos futuros incorporem o impacto das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica da região e explorem novas técnicas de otimização.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- BARROS, F. V. F. et al (2013). *The development and application of Information System for Water Management and Allocation (SIGA) to a negotiable water allocation process in Brazil*. In: World Environmental and Water Resources Congress 2013: Showcasing the Future. 2013. p. 1308-1316.
- CAMPOS, J. N. B (1997). *Vulnerabilidades hidrológicas do semi-árido às secas*. Planejamento e Políticas Públicas, [S. l.], n. 16.
- CID, D. A. C.; SOUZA FILHO, F. D. A., & de Araújo, L. M. (2014). USO DE SIMULAÇÃO PARA DEFINIÇÃO DE NÍVEIS METAS DE OPERAÇÃO PARA O RESERVATÓRIO JUCAZIHO/PE. Anais do XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste.
- CID, D.A.C.; SOUZA FILHO, F.A.; SILVEIRA, C.S.; SILVA, S.M.O. (2019). *Análise da segurança da água em cenários de mudanças climáticas: o caso de Fortaleza*. In: SOUZA-FILHO et al. (Coord.). ADAPTA - Gestão adaptativa do risco climático de seca. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, p. 715-724.
- COGERH – COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. (2024). *Apresentação Reunião de Alocação Negociada do Vale do Acaraú*. Fortaleza - CE, COGERH.
- COGERH – COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. (2024). *Base Cartográfica*. Fortaleza - CE, COGERH.
- COGERH – COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. (2021). *Relatório de cálculo das afluências aos reservatórios estratégicos do Ceará: definição das vazões oficiais*. Projeto ALOCAR.