



IV-332 – DESAFIOS NA GESTÃO HÍDRICA DIANTE DO ÉL NIÑO: SIMULAÇÃO DE VAZÕES REGULARIZADAS NA BARRAGEM DE TAPACURÁ-PE ATRAVÉS DO SOFTWARE LABSID-ACQUANET

Lara França da Silva ⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental.

Júlio Tenório de Oliveira

Companhia Pernambucana de Saneamento.

Hudson Tiago dos Santos Pedrosa

Companhia Pernambucana de Saneamento.

Endereço ⁽¹⁾: Travessa Bela Vista, 92 – Abreu e Lima – Recife - PE - CEP: 53510-490 - Brasil - Tel: (81) 98500-8886

- e-mail: lara.franca.ufrpe@gmail.com

RESUMO

As barragens desempenham um papel fundamental na gestão dos recursos hídricos, particularmente na mitigação das variações sazonais e climáticas. Alterações nos padrões climáticos, como o El Niño-Oscilação Sul (ENOS), podem impactar significativamente a disponibilidade de água, destacando a necessidade de simular a disponibilidade hídrica para o planejamento e gestão de reservatórios. Para isso, são apresentados modelos hidrológicos, como o SMAP e o LabSid-AquaNet, utilizados para previsão de vazões e simulação de regularização de vazões na Barragem de Tapacurá-PE. Os resultados da simulação revelam que, durante os períodos de El Niño, o volume de água alocado na barragem pode não ser suficiente para atender às demandas da região, sugerindo a necessidade de revisão do planejamento operacional e implementação de novas regras operativas para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos na região. Conclui-se que este estudo destaca a importância da gestão eficiente dos recursos hídricos, especialmente em face das mudanças climáticas, e ressalta a necessidade de ampliação da rede de monitoramento para melhor compreensão das características regionais.

PALAVRAS-CHAVE: Barragens, El niño, Regularização de vazão, Abastecimento público, Simulação hidrológica.

INTRODUÇÃO

As barragens de retenção de água são projetadas para armazenar volumes significativos, proporcionando diversas utilidades, incluindo a criação de uma reserva estratégica capaz de mitigar as variações sazonais e climáticas associadas à disponibilidade hídrica. Segundo Fonseca (2015), essas estruturas se apresentam como uma ferramenta essencial para suprir as demandas durante os períodos de seca, armazenando a água excedente durante o período chuvoso. Um exemplo notável desse tipo de estrutura é a Barragem de Tapacurá-PE, que desempenha um papel crucial no abastecimento da Região Metropolitana do Recife.

No entanto, conforme ocorrem alterações nos padrões climáticos, diversas influências podem modificar a intensidade, frequência, duração e quantidade de precipitação (TRENBERTH, et al., 2003), podendo causar mudanças no volume de água alocado pelas barragens.

O El Niño-Oscilação Sul, também conhecido como ENOS, é um fenômeno de interação oceano-atmosfera que denota o aumento anormal da temperatura da superfície do mar (TSM) na região do Pacífico Tropical central e



oriental (Philander, 1985). O evento causa impactos de escala global, influenciando de modo distinto, a precipitação e a temperatura em diferentes regiões. Por exemplo, está relacionado às condições de seca no Nordeste do Brasil (IPCC, 2007).

A intensificação da seca no Nordeste durante os períodos de atuação do ENOS pode levar a uma redução na disponibilidade de água, contribuindo para o colapso de reservatórios destinados ao suprimento de demandas consuntivas. O contexto denota uma necessidade da simulação da disponibilidade hídrica em períodos de extrema seca para fins de planejamento e gestão de reservatórios.

A hidrologia compreende o estudo dos fenômenos naturais que integram o ciclo hidrológico, tendo a premissa de que a análise hidrológica depende de diversos fatores como precipitação e infiltração, foram desenvolvidos modelos hidrológicos que simulam a ocorrência simultânea dos fenômenos (Silva, 2007). O avanço no desenvolvimento de estudos e técnicas de simulação hidrológica resultou na criação de diversos modelos, adaptados à escala e aos objetivos específicos, incluindo previsões de vazões em bacias diante de mudanças climáticas. Esses modelos, tornam-se ferramentas valiosas para abordar questões ambientais e auxiliar na busca de alternativas para mitigação dos impactos (Marinho Filho et al., 2012).

O SMAP (Soil Moisture Accounting Procedure) é um modelo determinístico de simulação hidrológica do tipo transformação chuva-vazão, desenvolvido por Lopes, Braga e Conejo (1982). Inicialmente o modelo foi concebido para análises em intervalos diários, ao longo do tempo foram introduzidas versões horárias e mensais, com ajustes em sua estrutura (Lopes, 1999).

Adicionalmente, Albano (2004) destaca os modelos de rede de fluxo, a exemplo o *LabSid-AquaNet*, como um método aliado na gestão dos recursos hídricos. Esses modelos utilizam simulações computadorizadas para representar sistemas por meio de nós e arcos, que, por sua vez, podem indicar elementos como reservatórios e demandas urbanas.

Dentro do escopo desta pesquisa, será realizada a simulação das vazões regularizadas no reservatório de Tapacurá, situado em Pernambuco, durante um período de influência do fenômeno El Niño - Oscilação Sul. O objetivo primordial consiste em avaliar se o reservatório, destinado ao abastecimento, atingirá capacidade de enfrentar o período sem a necessidade de reduzir a vazão de retirada atual.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia hidrográfica da barragem Tapacurá está inserida na bacia do rio Capibaribe e está localizada entre as mesorregiões da Zona da Mata e do Agreste pernambucano. Sua área abrange os municípios de São Lourenço da Mata, Vitória de Santo Antão, Pombos, Gravatá, Moreno e Chã Grande (Figura 1). Seu talvegue principal, o rio Tapacurá, nasce no município de Chã Grande e tem sua foz em São Lourenço da Mata, percorrendo cerca de 54,2 km.

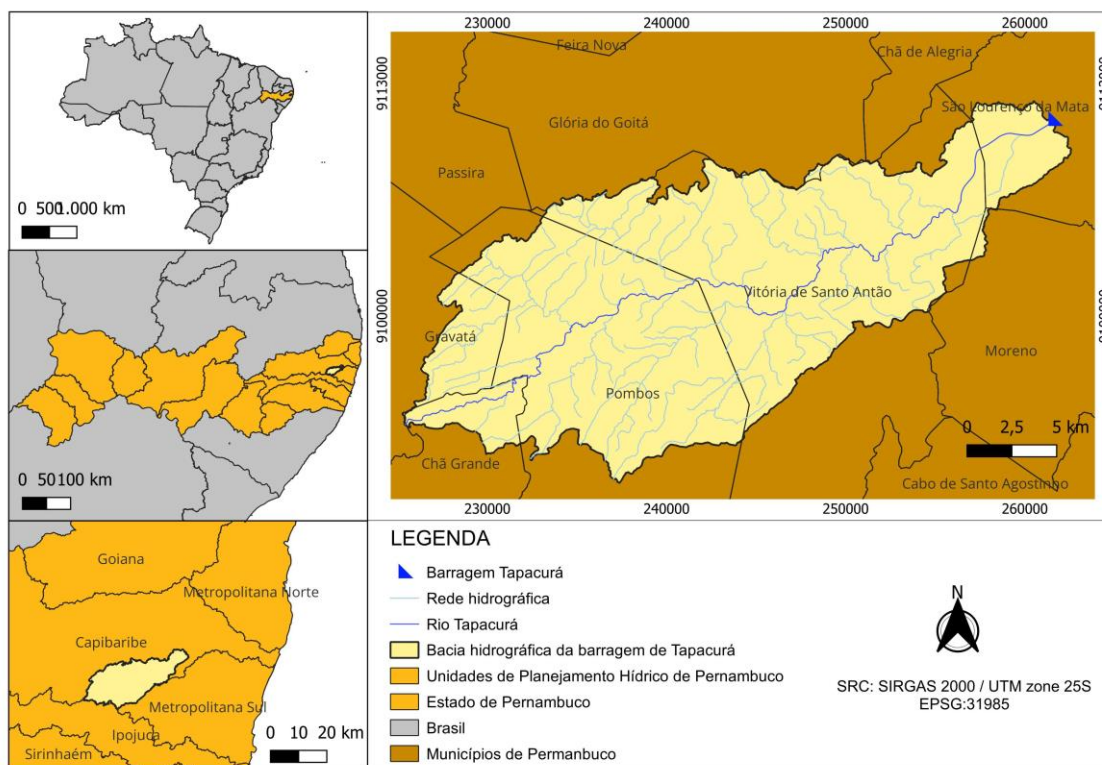


Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica da barragem de Tapacurá.

Para a confecção do mapa de localização foram utilizados o software QGIS VERSÃO 3.28.8 e os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As principais bases de obtenção das informações para fundamentar o estudo foram o sistema Hidro-Telemetria do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a agência federal Climate Prediction Center (CPC) dos Estados Unidos e a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC).

Os períodos de ENOS foram identificados pelo Índice Niño Oceânico (ONI - Oceanic Niño Index), que se estabeleceu como o padrão que a NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) utiliza para classificar eventos de El Niño (fase quente) e La Niña (fase fria). Considerando a disponibilidade de dados de precipitação consistentes na região de interesse, os períodos de atuação do fenômeno El Niño selecionados para análise foram 1997-1998, 2002-2003, 2004-2005, 2006-2007, 2014-2015 e 2018-2019.

A metodologia utilizada para a previsão de vazões na bacia e para a regularização das vazões no reservatório foi, respectivamente, o modelo de transformação chuva-vazão SMAP (Soil Moisture Accounting Procedure) e o *Labsid-Acquanet 2013*.

No contexto deste estudo, optou-se por empregar a versão mensal do SMAP original para previsão de vazões na bacia da barragem Tapacurá. A versão mensal do modelo baseia-se na soma dos eventos de precipitação sendo constituída de dois reservatórios lineares hipotéticos representando: o reservatório do solo (*R_{solo}*); e o reservatório subterrâneo (*R_{sub}*), cuja suas variáveis de estado são atualizadas de forma mensal através de equações e com auxílio das funções de transferência. Para a calibração do modelo são utilizados 4 parâmetros



de ajuste, sendo eles a capacidade de saturação do solo (Str), em mm; o parâmetro de escoamento superficial (Pes), adimensional; o coeficiente de recarga do reservatório subterrâneo ($Crec$), adimensional; e a taxa de deplecionamento (K) do nível d'água do reservatório subterrâneo. Além destes parâmetros, é necessário admitir valores iniciais da taxa umidade e de escoamento básico.

Calibração

Para calibrar o modelo, foram empregados os dados de precipitação, vazão e evapotranspiração potencial ao longo de jul/16 a jun/18. A escolha desse intervalo de tempo decorre da escassez de dados contínuos, sendo este o período mínimo recomendado para a calibração, conforme sugerido por Lopes (1999). O posto utilizado para a coleta dos dados pluviométricos e fluviométricos está inserido na bacia da barragem Tapacurá (código - 39170000) e a evapotranspiração potencial empregada foi a Normal Climatológica para o posto de Surubim-PE (código - 82797), a escolha desta última se deveu ao fato de que é a mais próxima a área de estudo com dados disponíveis. É importante mencionar que pelo fato da estação 39170000 não se encontrar imediatamente a jusante da barragem, foi considerada a área de drenagem de 264 km².

Para que seja avaliado o desempenho do ajuste, será observado o Coeficiente de Nash-Sutcliffe, também conhecido como coeficiente de eficiência (E).

Simulação

Para o cálculo de vazões nos períodos de análise, foram utilizados os dados referentes: i) à precipitação média mensal da bacia, através do método dos polígonos de Thiessen desenvolvido no software *ArcMap versão 10.8*, e ii) evapotranspiração potencial, através do método de Thornthwaite.

O estudo de regularização das vazões da barragem de Tapacurá-PE foi efetuado através do Software *LabSid-AquaNet 2013*, mais especificamente o módulo de alocação de água em simulação contínua.

Para a simulação foram empregados os dados referentes: i) aos reservatórios, os quais consistem na curva cota-área-volume, os volumes máximo, mínimo e o volume inicial, além dos valores de evapotranspiração mensal e a série da vazão natural afluyente calculadas através do SMAP; ii) nós que representam as retiradas no local de demanda, a série de demandas ao longo do tempo.

No que diz respeito a vazão ecológica tomou-se como base 172 l/s, correspondente ao trecho à jusante do reservatório Tapacurá, ela foi obtida no Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.

O *AquaNet* necessita que o usuário admita a prioridade das demandas para o cálculo, o valor atribuído a prioridade varia de 1 a 99, sendo o menor valor a demanda que possui maior prioridade.

RESULTADOS

O modelo SMAP foi calibrado com os valores iniciais da taxa de umidade e do escoamento básico iguais a, respectivamente, 53% e 0,48. A tabela 2 mostra os parâmetros ajustados para área de drenagem do posto.

Tabela 1: Parâmetros SMAP calibrados.

Parâmetro	Valor
Str	400
Pes	2
$Crec$	0
K	6

De acordo com Gotschalk e Motovilov (2000) o coeficiente de Nash, quando igual a 1, corresponde a um ajuste perfeito entre as vazões calculadas e observadas. O desempenho de um modelo é adequado e bom se o coeficiente de Nash superar 0,75, e é considerado aceitável se o valor estiver entre 0,36 e 0,75. Para a calibração em questão o coeficiente foi igual a 0,649, revelando um ajuste aceitável.

Por meio da modelagem, foi possível observar uma menor aderência do gráfico aos picos de vazão (Figura 2), apesar disso a apresentação visual e o coeficiente de eficiência foram considerados satisfatórios para prosseguir com as simulações.

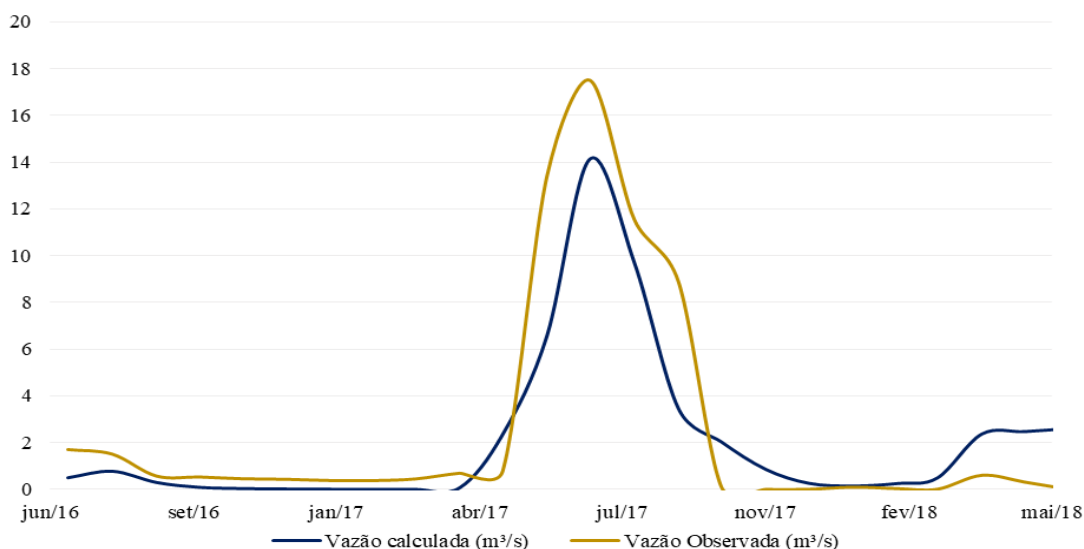


Figura 2: Vazões calculadas e observadas.

Ao avaliar o cálculo das vazões nos períodos de El Niño, observou-se que o período 1997/1998, destacou-se como o mais crítico em termos das vazões calculadas, o que era esperado devido à influência de um evento El Niño de categoria muito forte. Diante dessa constatação, optou-se por empregar esse período específico no estudo de regularização das vazões da barragem, pois o mesmo abrange a situação mais crítica da série, visto que o objetivo do estudo é simular a disponibilidade hídrica nos piores cenários de seca.

A disponibilidade hídrica de reservatórios pode ser expressa através de sua capacidade de regularização de vazão atrelada a uma garantia de abastecimento. A garantia de abastecimento, por sua vez, representa o percentual de tempo de simulação no qual certa vazão regularizada é atendida sem falhas. Com a utilização do *LabSid-AquaNet* foram determinadas as vazões e seus respectivos percentuais de garantia (Figura 3). É possível observar que vazão correspondente a 100% de garantia, ou seja, aquela que se retirada possui uma segurança de 100% que o reservatório não irá chegar ao seu volume morto, corresponde a 1,2 m³/s e, a vazão que é retirada atualmente, para suprir as demandas da região, é da ordem de 1,8 m³/s, representando uma segurança de apenas 70% na simulação.

A retirada de vazões que possuem um baixo percentual de garantia pode acarretar o constante deplecionamento do reservatório, podendo atingir níveis em que o volume de água reservado é considerado “morto”, em termos gerais, aquele que é utilizado para fins de funcionamento do reservatório em condições normais de funcionamento.

A redução dos níveis de água do barramento até o seu volume “morto” pode ocasionar em problemas relativos ao abastecimento, pois a captação em níveis mais profundos acaba não assegurando a qualidade da água, pelo fato de que ela estará composta por sedimentos e possíveis contaminantes. Outrossim, a operação do reservatório e o atendimento à demanda poderão ser fortemente afetados.

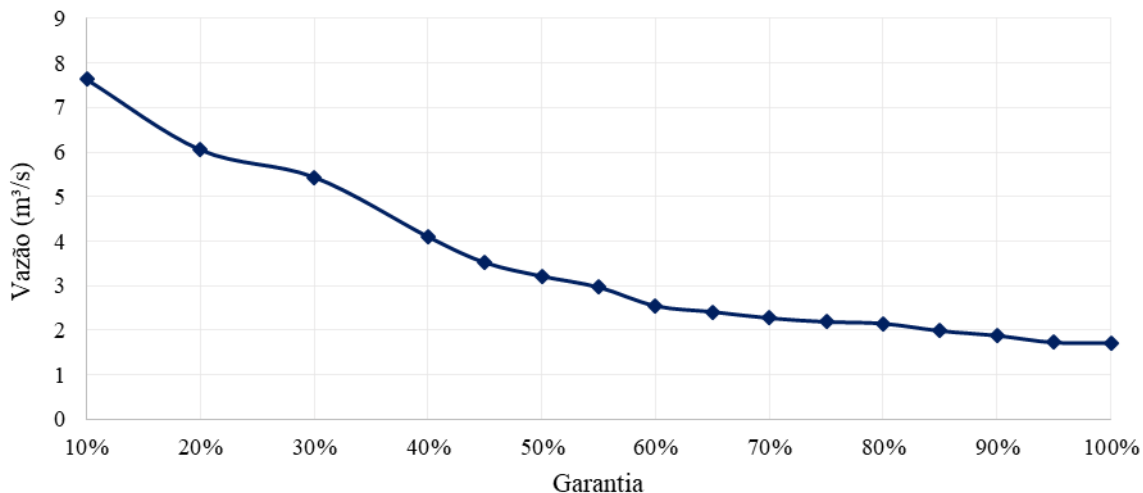


Figura 3: Vazões regularizadas e respectivas garantias de abastecimento.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados, determinou-se uma vazão com 100% de garantia, estimada em 1,2 m³/s, contrastando com a vazão atualmente retirada para atender às demandas da região, que é de aproximadamente 1,8 m³/s. Essa disparidade revela possíveis desafios no planejamento operacional da barragem, evidenciando a necessidade de uma gestão mais eficiente para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos na região.

Conseqüentemente, diante do cenário simulado neste estudo, é provável que surja a necessidade de revisar o planejamento e implementar novas regras operativas de compensação em todo o sistema Tapacurá-PE. Isso se torna crucial, pois a demanda exigida da barragem pode não ser atendida em períodos com semelhantes a este, requerendo uma abordagem mais adaptativa e proativa na gestão do recurso hídrico.

É importante destacar o desafio associado à análise de dados devido à escassez da disponibilidade deles. Recomenda-se a ampliação da rede de estações e manutenção das existentes para aprimorar a compreensão das características regionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBANO, Gustavo Doratioto. Integração de um modelo matemático de quantidade de água em rede de fluxo (ACQUANET) com um modelo matemático de qualidade de água em represas (CE-QUAL-R1) - Estudo de Caso: Represa Jaguari-Jacareí - Sistema Cantareira. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
2. CHANGE, ON CLIMATE et al. Intergovernmental panel on climate change. World Meteorological Organization, v. 52, 2007.
3. FONSECA, Adriana de Sousa et al. A importância da barragem de capivara no município de Uiraúna e cidades circunvizinhas. 2015.
4. Gottschalk, L.; Motovilov, Y. 2000 Macro-scale hydrological modelling – a scandinavian experience. International Symposium on: 'Can science and society save the water crisis in the 21st century – Reports from the World' Japan Society of Hydrology and Water Resources. Tokyo, pp. 38-45.
5. LOPES, J. E. G.; BRAGA, B. P. F.; CONEJO J. G. L. SMAP – A simplified hydrological model, applied modelling in catchment hydrology. Ed. V.P. Singh, Water Resources Publications, 1982.



6. MARINHO FILHO, Gilberto Milhomem et al. Modelos hidrológicos: conceitos e aplicabilidades. Revista de Ciências Ambientais, v. 6, n. 2, p. 35-47, 2012.
7. PHILANDER, S. G. H. El Niño and La Niña. Journal of the Atmospheric Sciences, v. 42, n. 23, p. 2652–2662, dez. 1985.
8. LOPES, J. E. G. Manual SMAP. PHA - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da USP, 1999. Disponível em: <http://pha.poli.usp.br/default.aspx?id=76&link_uc=disciplina>. Acesso em: 10 jan. 2024.
9. SILVA, L. P. E. 2007. Modelagem e Geoprocessamento na identificação de áreas com risco de inundação e erosão na bacia do Rio Cuiá - João Pessoa. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), UFPB/CT.
10. TRENBERTH, Kevin E. et al. The changing character of precipitation. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 84, n. 9, p. 1205-1218, 2003.