

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **AVALIAÇÃO DO SUP<sub>er</sub> COMO FERRAMENTA DE APOIO À ALOCAÇÃO DE ÁGUA EM RESERVATÓRIO DO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

*Letícia Barreto Domingues<sup>1</sup> ; Robertson V. de P. Fontes Júnior<sup>2</sup> & Fabiano Prestrelo de Oliveira<sup>2</sup>*

**Abstract:** The Brazilian semi-arid region is regularly subject to prolonged drought periods, which exacerbate water scarcity and compromise the water security of large surface reservoirs. In water-scarce areas, understanding the relationship between water supply and demand is a crucial tool for effective water resources management. This relationship is addressed through the water allocation process. To support allocation efforts, hydrological modeling is employed to assist and inform decision-making regarding water availability. The aim of this study was to evaluate the data provided by the SUP<sub>er</sub> system for the Chapéu reservoir, within the Brígida River Basin project, which has already been calibrated to support reservoir management in the context of negotiated water allocation processes carried out by the Pernambuco State Agency for Water and Climate (APAC). The study focused on the Chapéu reservoir, located in the Brígida River Basin, in the upper backlands of the State of Pernambuco. Although the runoff results during dry periods do not corroborate the measurements, the estimates of the other water balance variables are promising for supporting reservoir management in negotiated water allocation actions.

**Resumo:** A região semiárida brasileira regularmente está sujeita a períodos de seca prolongados aumentando a escassez hídrica e impactando a segurança hídrica dos reservatórios superficiais de grande porte. Em áreas de escassez hídrica o entendimento da relação entre oferta e demanda se apresenta como uma ferramenta importante para gestão dos recursos hídricos. Esta relação é compreendida no processo de alocação de água. Para apoiar a alocação, utiliza-se a modelagem hidrológica para auxiliar e assessorar as decisões sobre a disponibilidade hídrica. O objetivo deste trabalho foi avaliar os dados disponibilizados pelo SUP<sub>er</sub> para o reservatório Chapéu em projeto da Bacia Hidrográfica do Rio Brígida já calibrado para apoio a gestão do reservatório em processos de alocação negociada de água realizados pela Agência Pernambucana de Águas e Clima. O estudo foi realizado para o Reservatório Chapéu localizado na Bacia hidrográfica do Rio Brígida, localizada no Alto Sertão do Estado de Pernambuco. Apesar dos resultados de escoamento nos períodos de seca não corroborarem com as medições, as estimativas das demais variáveis do balanço hídrico são promissoras para o apoio à gestão do reservatório nas ações de alocação negociada de água.

**Palavras-Chave** – Alocação de água; Vazão afluente; SWAT

### **INTRODUÇÃO**

A região semiárida brasileira, regularmente, está sujeita a períodos de seca prolongados, aumentando a escassez hídrica que está ligada à redução das precipitações pluviométricas e elevadas

1) UFPE/DCG - Departamento de Ciências Geográficas, Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife - PE, 50670-901, [leticia.barreto@ufpe.br](mailto:leticia.barreto@ufpe.br)

2) APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima, Av. Cruz Cabugá, S/N, Recife-PE. 81 3183.1000, [robertson.fontes@apac.pe.gov.br](mailto:robertson.fontes@apac.pe.gov.br); [fabiano.prestrelo@apac.pe.gov.br](mailto:fabiano.prestrelo@apac.pe.gov.br)

taxas de evaporação. A região apresenta solos rasos e embasamento cristalino, limitando o armazenamento subterrâneo das águas que estão limitadas as fraturas e elevado teor de sais. Essas condições de clima e ambiente, combinadas, restringem o armazenamento de longo prazo nos reservatórios superficiais, que são alimentados por cursos d'água, em geral, intermitentes, devido à ausência de escoamento de base significativo. Historicamente, a segurança hídrica dos reservatórios superficiais de grande porte não é adequada às demandas da região, tendo seu volume comprometido em longos períodos de estiagem (MONTENEGRO, 2017).

Segundo Melo e Jonhson (2018) o termo “*segurança hídrica*” surgiu na década de 90, mesmo que a gestão de recursos hídricos seja algo que remonta as nossas civilizações antigas. De acordo com a ONU (Organização das Nações Unidas) a segurança hídrica existe quando existe a disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para o atendimento às necessidades sociais, econômicas e ambientais (ONU, 2015).

De acordo com o Plano Nacional de Segurança Hídrica do Brasil, grande parte estado de Pernambuco encontra-se no grau mínimo de segurança hídrica e que são necessários estudos de alternativas para aproveitamento de recursos hídrico para a ampliação da oferta de água como prevenção dos efeitos hidrológicos críticos (ANA, 2019) o qual, em Pernambuco é a escassez.

Em áreas de escassez hídrica, o entendimento da relação entre oferta e demanda se apresenta como uma ferramenta importante para gestão dos recursos hídricos, facilitando assim as ações e a tomada de decisão por parte do poder público de forma participativa com as instâncias do SIEGRH (Sistema Estadual de Gestão de Recursos Hídricos) de Pernambuco, como os Comitês de Bacia e os Conselhos de Usuários de Açudes.

Esta relação é compreendida no processo de alocação de água em reservatórios do sertão pernambucano que visa disciplinar os usos múltiplos em regiões de conflitos, assim como em sistemas que apresentam alguma situação emergencial ou que sofram com estiagens intensas (ANA, 2025). No processo de alocação, os estudos hidrológicos são fundamentais para a demarcação do conhecimento e assim instruir a tomada de decisão no processo, com o entendimento das vazões afluentes ao reservatório (ANA, 2015).

Para dirimir os conflitos, a gestão sustentável da água e o gerenciamento dos recursos hídricos em reservatórios tornam-se uma importante questão de política pública. Ferramentas como a modelagem hidrológica são utilizadas para auxiliar e assessorar as decisões sobre a disponibilidade hídrica. Os modelos hidrológicos consistem em diferentes ferramentas de simulação de processos hidrológicos, podendo ser aplicados para a compreensão e avaliação das vazões e suas mudanças (SILVA et al., 2023), possibilitando a construção de um diagnóstico para auxiliar o planejamento e a regulação hídrica (BRITO et al., 2020).

O governo de Pernambuco, através da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), dispõe da ferramenta Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPER) para planejamento e gestão dos recursos hídricos, para avaliar a disponibilidade hídrica dos mananciais. O SUPER possibilita a compreensão da modelagem hidrológica de forma mais simplificada, dispondo do aporte de grande número de dados e variáveis hidrológicas para todas as Bacias Hidrográficas, disponibilizando avaliações de quantidade e qualidade de água, manejo do solo, poluição e mudanças climáticas (GALVÍNCIO, 2021; TIBURCIO et al., 2023). O SUPER tem como base o modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool), que é um modelo eco hidrológico que permite avaliar quantidade e qualidade da água e os impactos advindos em uma bacia hidrográfica. A ferramenta permite a análise das variáveis que compõem o balanço hídrico frente a cenários acrescidos de alterações, desde uso a ocupação do solo a modificação na temperatura e precipitação.

O balanço hídrico disponibilizado pelo SUPER indica, por meio de variáveis, as condições climáticas e hídricas em que a biodiversidade se conserva e desenvolve, o que possibilita a gestão, o conhecimento e reconhecimento da disponibilidade e da alocação de água para a garantia de subsistência, manutenção e desenvolvimento das atividades socioeconômicas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os dados disponibilizados pelo SUPER para o Reservatório Chapéu em projeto da Bacia Hidrográfica do Rio Brígida já calibrado para apoio à gestão do reservatório em processos de alocação negociada de água realizados pela Agência Pernambucana de Águas e Clima.

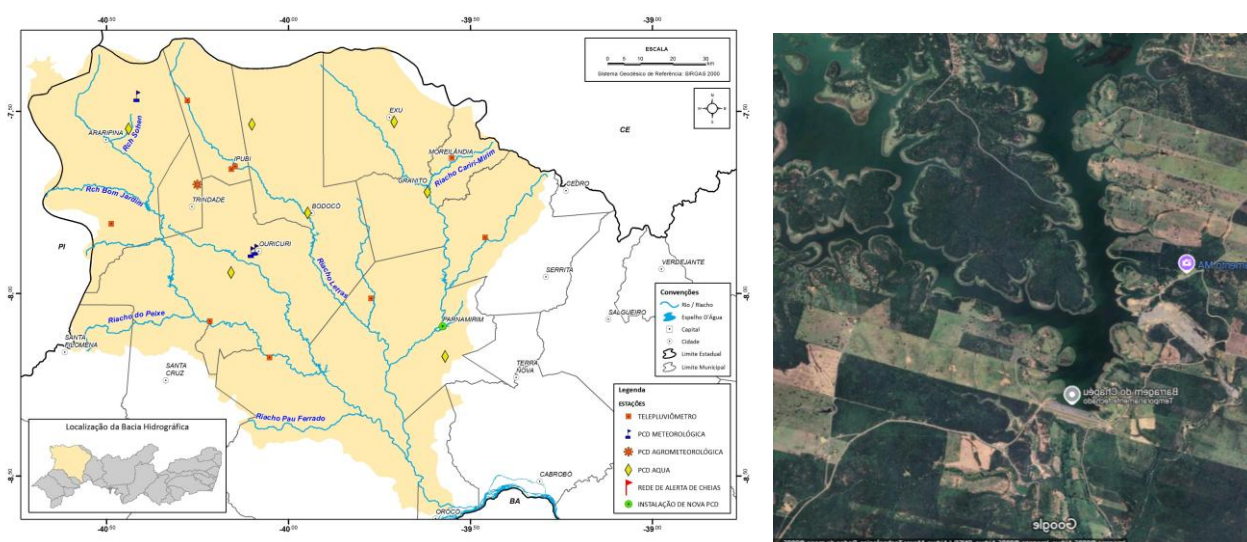
## MATERIAIS E MÉTODOS

## Área de estudo

O domínio do estudo compreende a Bacia hidrográfica do Rio Brígida, localizada no Alto Sertão (limite oeste) do Estado de Pernambuco, entre as coordenadas geográficas 7° 30' a 9° 00' S e 39° 30' a 41° 00' W e aproximadamente 700 m de altitude, com nascente na Chapada do Araripe e Foz no Rio São Francisco. A Bacia possui uma área de 14.366 km<sup>2</sup> e uma extensão de 160 km.

O reservatório Chapéu apresenta (Figura 1) atualmente 144 hm<sup>3</sup> de armazenamento em uma área de espelho d'água de aproximadamente de 30.000.000,00 m<sup>2</sup>. Possui um conselho de usuário de água criado por Resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco – Resolução n.º 5 de 01 de julho de 2015 (APAC, 2025), formado por segmentos do poder público, usuários de recursos hídricos e entidades civis.

Figura 1 – Bacia do rio Brígida – Reservatório Chapéu

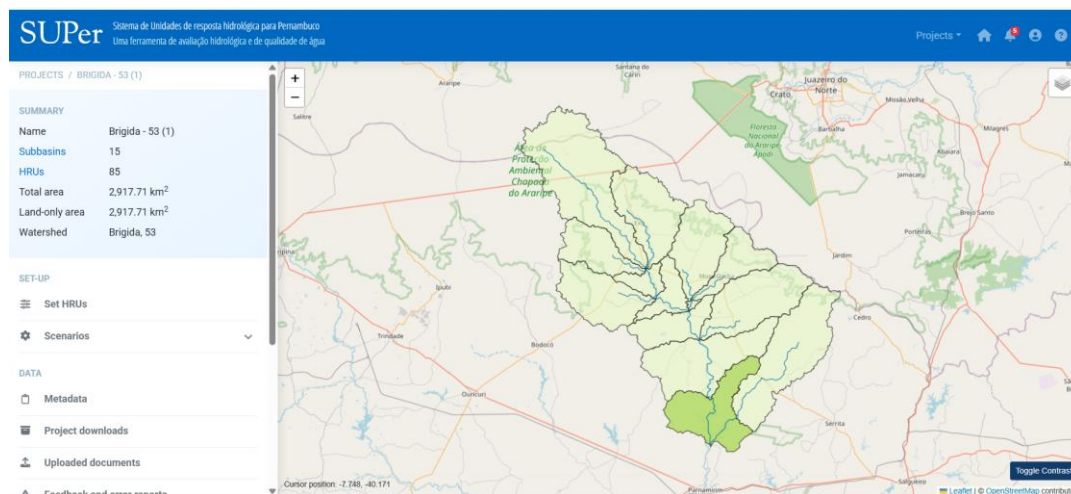


SUPer – Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica de Pernambuco.

O SUPER (Figura 2) é um modelo de simulação interativa de quantidade e qualidade de água baseado na web que emprega como seu principal mecanismo a ferramenta de avaliação de água e solo, o SWAT (TAMU, 2012), modelo de domínio público reconhecido internacionalmente. O SUPER é uma versão do HAWQS (*Hydrologic and Water Quality Sytem*) o qual melhora a utilização do SWAT para simular os efeitos de práticas de gestão com base em ampla gama de culturas, solos, tipos

de vegetação natural, usos da terra e outros cenários para hidrologia e parâmetros de qualidade de água (FANT et al., 2017; HAWQS, 2020), que contém projetos já calibrados para todas as bacias hidrográficas do estado de Pernambuco permitindo estimativas para eventos futuros do clima (GALVÍNCIO et. al, 2024; FARIAS, et. al, 2023; TIBURCIO et. al, 2023).

Figura 2 – Projeto SUPER bacia hidrográfica do reservatório Chapéu



O projeto da Bacia do Brígida utilizado para este estudo foi calibrado com dados de Miranda (2017), a partir de índice de área foliar (IAF) para a Bacia do Pontal vizinha à Bacia do Brígida e que apresenta o mesmo tipo de vegetação. Com período de dados disponibilizados dos anos de 1961 a 2020, contendo 15 sub-bacias com 85 unidades de resposta hidrológica. Foi realizada a simulação do modelo para os anos de 1991 a 2020 de acordo com a Normal Climatológica de Pernambuco. A bacia hidrográfica do reservatório apresentou 2.917, 71 km<sup>2</sup>. A versão do SWAT foi a 2012 rev. 692.

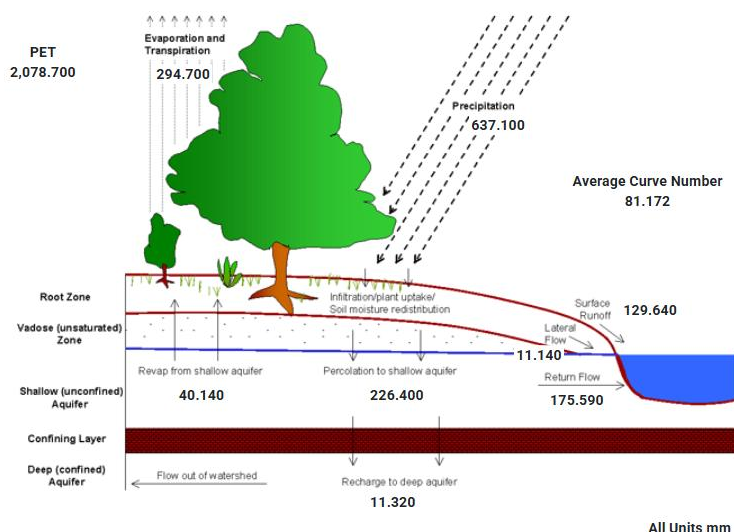
## REULSTADO E DISCUSSÕES

O balanço hídrico da Bacia hidrográfica afluente ao reservatório Chapéu (Figura 3) apresenta uma precipitação média anual de 534,2 mm, evapotranspiração potencial (ET<sub>o</sub>) de 2.064,00 mm e evapotranspiração real média de 282,8 mm. O modelo apresentou um valor de precipitação próximos dados das normais climatológicas (1991-2020) para Pernambuco (APAC, 2023) identificadas para as precipitações média anuais das estações pluviométricas dos municípios de Granito (485,5 mm), Moreilândia (569,30) mm, Exu (589,00 mm), Bodocó (584,20 mm), Cedro (553,00 mm) e Serrita (541,70 mm). A ET<sub>o</sub> simulada superestimou as calculadas pelas estações de Ouricuri (1596,70 mm) e Araripina (1.519,50 mm).

A razão do balanço hídrico apresentada pelo modelo aponta para uma transformação de 43% da precipitação em escoamento, 52% em evapotranspiração, 2% em armazenamento na superfície do solo e 3% percola para ser armazenada no solo. Tibúrcio et al. (2023) e Luz & Galvínio (2022) encontraram a mesma razão no balanço hídrico na bacia do rio Terra Nova na mesma região semiárida estudada. Os resultados da relação da precipitação e evapotranspiração encontrados no Atlas Climatológico da APAC (2023), apresentam uma razão muito próxima das estações de Araripina e Ouricuri em que se tem 50% da precipitação evapotranspirada.

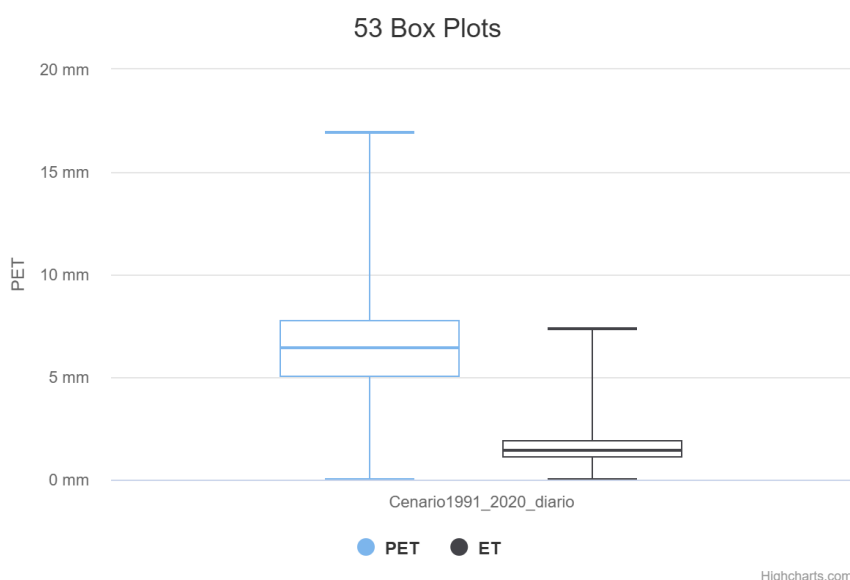


Figura 3 – Balanço Hídrico da Bacia hidrográfica afluente ao reservatório Chapéu



Na Figura 4 observa-se os *Box plots* da ETo e a ET real simulada pelo SUPER, em que para a Sub-bacia que contempla a bacia hidráulica do reservatório a evapotranspiração máxima esta próxima ao 3.º quartil da ETo, o que pode ser considerado que ao longo dos anos de simulação o reservatório. Estes resultados podem apoiar a curva de depleção do reservatório nas estimativas das demandas dos usuários.

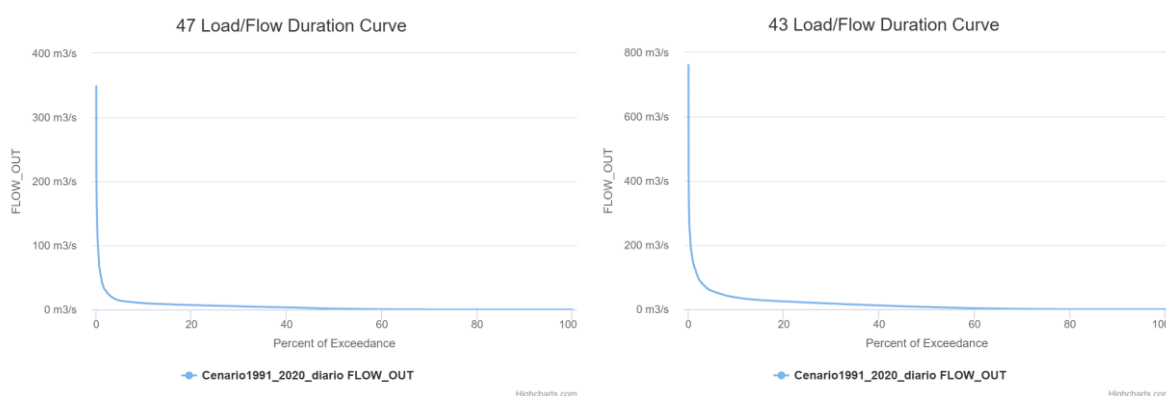
Figura 4 – Box plots da Evapotranspiração potencial e real da sub-bacia que estão no Reservatório Chapéu



Na Figura 5 observamos a intermitência dos riachos a montante do reservatório, onde temos vazões que podem chegar 800 m³/s no conjunto de bacias em eventos que ocorrem abaixo de 5% do tempo e na sub-bacia 47 a nordeste do reservatório a contribuição pode chegar à metade do outro riacho, confirmando a razão do escoamento encontrada no modelo na contribuição ao reservatório. E

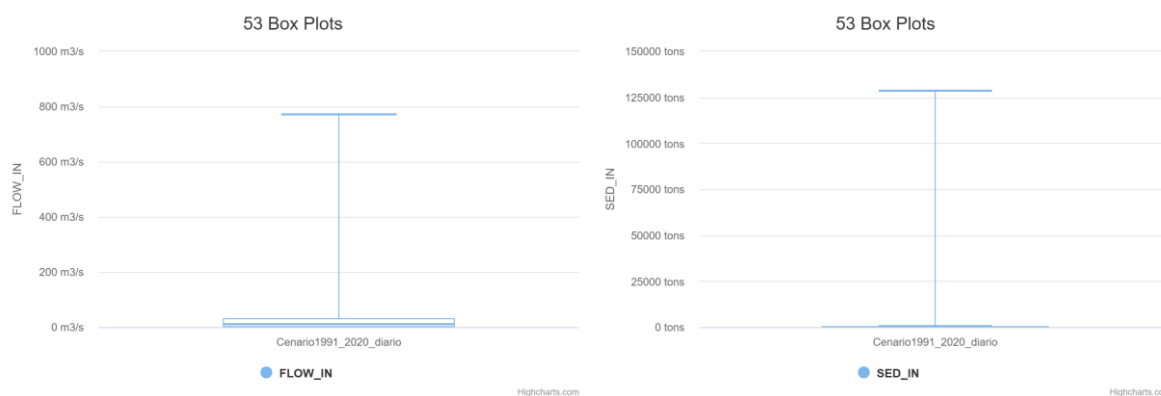
que a variabilidade e intensidade da precipitação influencia no fluxo do riacho em regiões semiáridas (M'Barek *et al.* 2024; Pan *et al.*, 2024)

Figura 5 – Curva de duração do escoamento afluente ao Reservatório Chapéu do curso d'água a Nordeste (47) e a Noroeste (43)



Na Figura 6 a afluência do escoamento com sedimento para a bacia hidráulica é evidenciada pelos eventos extremos de vazão que carregam grande quantidade de sedimento para o reservatório. Este grande aporte de sedimento encontrado pelo modelo pode ser compreendido pelo período em que a vegetação está seca sem folhas, deixando o solo desprotegido. Borges *et al.* (2014) e Silva (2016) em estudos conservacionistas para o semiárido expõem que a ausência e presença de cobertura do solo em regiões de encosta influenciam diretamente o aporte de sedimentos no leito dos riachos.

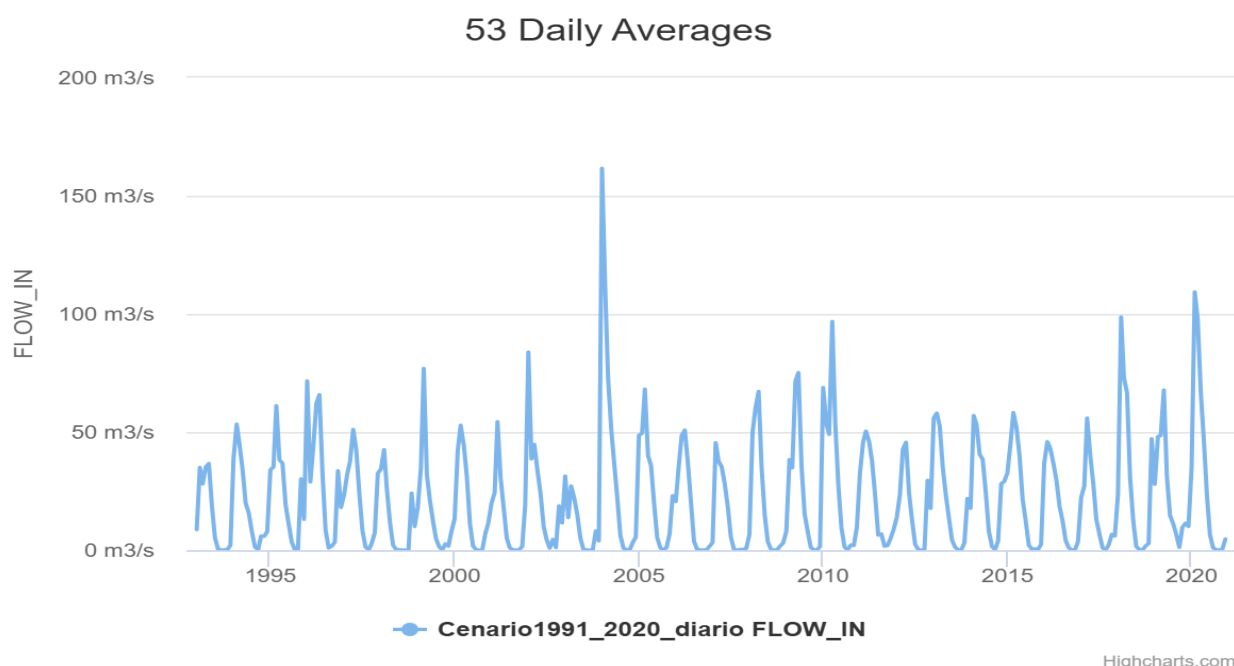
Figura 6 – Box plots da afluência de água e sedimento para Reservatório Chapéu



Os escoamentos médios estimados que entraram na sub-bacia do Reservatório Chapéu (Figura 7) apresentam os principais picos de vazão para o período estudado, porém apresentam, picos menores entre 2011 e 2017 próximos a 50 m³/s. Estes picos menores não correspondem a realidade do período, em que o reservatório entrou em colapso e ficou seco até o ano de 2018. É compreensível que esses resultados tenham ocorrido, uma vez que a calibração do modelo foi realizada por Miranda

(2017) com dados de índice de área foliar já que não se tem medições históricas de vazão para a bacia do rio Brígida.

Figura 7 – Estimativas afluentes a sub-bacia do Reservatório Chapéu



## CONCLUSÕES

O uso do SUPeR apresentou informações relevantes para apoio à gestão de reservatórios do semiárido quanto ao balanço hídrico. Os dados de escoamento e sedimento correspondem ao esperado para a bacia estudada, porém podem estar superestimando os valores. Enquanto ao escoamento afluente ao reservatório, existem vazões que não ocorreram no período de 2011 a 2017.

Será necessária uma nova calibração do modelo com dados de escoamento, requerendo da APAC campanhas de medição de vazões afluentes ao reservatório, melhorando os resultados de escoamento para previsões futuras.

Apesar dos resultados de escoamento nos períodos de seca não corroborarem com as medições, as estimativas das demais variáveis do balanço hídrico são promissoras para o apoio a gestão do reservatório nas ações de alocação negociada de água.

## REFERÊNCIAS

- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. “*Plano Nacional de Segurança Hídrica*”. Brasília, 2019, 112p. ISBN: 978-85-8210-059-2. Sítio: <https://arquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf>. Acesso em: 07 de junho de 2025.
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. “*Alocação de Água*”. Brasília, 2025. Sítio: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/alocacao-de-agua-e-marcos-regulatorios/alocacao-de-agua>. Acesso em: 07 de junho de 2025.
- APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima. (2023). “*Atlas climatológico do Estado de Pernambuco: normais climatológicas 1991-2020. / Agência Pernambucana de Águas e Clima. Gerência de Meteorologia e Mudanças Climáticas*”. Recife: APAC, GMMC, 2023. 148 p. Fonte: <https://www.apac.pe.gov.br/images/meteorologia/atlas/AtlasClimatologicodePernambuco.pdf>.
- APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima. (2025). *Gestão Participativa – Conselho Gestores de Açudes*. Agência Pernambucana de Águas e Clima. Gerência de Apoio aos Organismos de Bacia - GAOB. Recife: APAC. Sítio: <https://www.apac.pe.gov.br/gestao-participativa>. Acesso em: 01 de junho de 2025.
- BORGES, T.K.S. et al. “*Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (Zea mays L.) no semiárido nordestino*”. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.38, p.162-1873, 2014.
- BRITO, T. R. C., Lima, J. R. S., OLIVEIRA, C. L., SOUZA, R. M. S., ANTONINO, A. C. D., MEDEIROS, E. V., Souza, E. S., Alves, E. M. (2020). “*Mudanças no Uso da Terra e Efeito nos Componentes do Balanço Hídrico no Agreste Pernambucano*”. Revista Brasileira de Geografia Física, 13, 870-886.
- FARIAS, C.; VIANA, J.; MIRANDA, R.; SILVA, S.; VASCO, G.; MONTENEGRO, S.; GALVÍNCIO, J. (2023). “*Técnica de calibração para modelagem da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, Brasil, utilizando o SWAT*”. Revista Brasileira de Geografia Física, 16, 1621–1628.
- GALVÍNCIO, J. D. (2021). “*Impacto do aumento de CO<sub>2</sub> nas Precipitações do estado de Pernambuco*”. Revista Brasileira de Geografia Física, 14, 1828-1839. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1828-1839>.
- M'BAREK, S. A.; BOUSLIHIM, Y.; ROCHDI, A.; MIFTAH, A.; BEROHO, M. (2024). “*The combined impact of climate change scenarios and land use changes on water resources in a semi-arid watershed*”. Scientific African, [S.L.], v. 25, p. 1-17.
- MELO, Marília Carvalho De; JOHNSON, Rosa Maria Formiga. “*O conceito emergente de Segurança Hídrica*”. Sustentare, v. 1, n. 1, p. 72–92, 11 jan. 2018.
- MIRANDA, R. Q. (2017). “*Avaliação integrada da variação espacial e temporal do balanço hídrico na caatinga*”. 2017. 123 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas-CFHC, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Cap. 4.
- MONTENEGRO, A. A. A. (2017) “*Escassez hídrica, mudanças climáticas e hidrologia social em comunidades rurais do semiárido: Experiências nos Vales do Ipanema e do Ipojuca, Pernambuco. In: Mudança Climática, sociedade, cidade e meio ambiente.*” Galvínio, J.D.; Oliveira, V. S.; SOUZA, W.M. – Recife: Editora UFPE, 2017. 171-189p.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. “*Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*”, ONU, 2015.



PAN, H.; TANG, J-p.; CHENG, L.; LI, M-C. (2024). “*Ensemble projections of climate and streamflow in a typical basin of semi-arid steppes in Mongolian Plateau of 2021–2100*”. Advances In Climate Change Research, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 230-243.

SILVA, J.R.L. “*Investigação da dinâmica dos processos hidrológicos e sedimentológicos em região semiárida, Pesqueira – PE*”. 2016. 132p. Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016.

TIBURCIO, I.M.; SILVEIRA, N.T.; SANTOS, T.O.; MIRANDA, R.Q.; GALVÍNCIO, J.D. (2023). “*Balanço Hídrico e Mudanças Climáticas no Semiárido Pernambucano: aplicabilidade do Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPer)*”. Revista Brasileira de Geografia Física, v.16, n.03, 1657-1670.