

OS EFEITOS DA RESOLUÇÃO ESPACIAL NAS ESTIMATIVAS DE VAZÃO COM O MODELO HIDROLÓGICO WFLOW NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE

Lucas Mageste Butters¹, Eliane Maria Vieira², Fernando Neves Lima³

RESUMO

A ocorrência de desastres naturais hidrológicos, como inundações vem se intensificando ao redor do mundo e também no Brasil. Tais eventos extremos causam impactos significativos para a sociedade em geral, como a perda de vidas humanas e prejuízos econômicos. Uma forma de se mitigar as consequências provocadas por esses desastres é a compreensão do comportamento hidrológico das bacias hidrográficas e adotar ferramentas que possibilitem a previsão desses eventos, em linha com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11, que aborda a resiliência a desastres. Este estudo trata a modelagem hidrológica como ferramenta para a previsão de vazões em bacias hidrográficas. Adotou-se o modelo hidrológico distribuído wflow, desenvolvido pela Deltares e implementado em linguagem Julia. O objetivo desta pesquisa, inserida na Linha de Pesquisa de Segurança Hídrica e Usos Múltiplos da Água, é avaliar o comportamento do wflow, frente a diferentes resoluções espaciais, para toda a bacia hidrográfica do Rio Doce. A análise de desempenho para cada resolução espacial será feita pelos índices NSE (*Nash-Sutcliffe Efficiency*) e KGE (*Kling-Gupta Efficiency*), avaliando a diferença estatística entre a vazão simulada e a observada. Ao final da pesquisa será possível avaliar o comportamento do wflow em grandes bacias brasileiras.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem hidrológica. Simulação de vazão. Resolução espacial

ABSTRACT

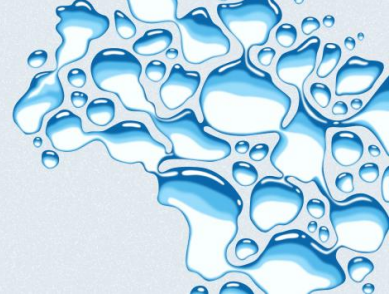
The occurrence of hydrological natural disasters, such as floods, has been increasing worldwide, including in Brazil. These extreme events cause significant impacts on society as a whole, including the loss of human life and economic losses. One way to mitigate the consequences of these disasters is to understand the hydrological behavior of river basins and adopt tools that enable the prediction of these events, in line with Sustainable Development Goal (SDG) 11, which addresses disaster resilience. This study uses hydrological modeling as a tool for forecasting river flow in river basins. The distributed hydrological model wflow, developed by Deltares and implemented in Julia, was adopted. The objective of this research, part of the Water Security and Multiple Water Uses Research Line, is to evaluate the behavior of wflow, across different spatial resolutions, for the entire Doce River basin. Performance analysis for each spatial resolution will be performed using the NSE (*Nash-Sutcliffe Efficiency*) and KGE (*Kling-Gupta Efficiency*) indices, evaluating the statistical difference between simulated and observed flow. At the end of the study, it will be possible to evaluate the behavior of wflow in large Brazilian basins.

¹ Aluno(a) do(a) Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira. Segurança Hídrica e Usos Múltiplos da Água. Itabira, Minas Gerais, Brasil. E-mail: lucasmb.engamb@gmail.com.

² Docente no Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira. Itabira, Minas Gerais, Brasil. E-mail: elianeveira@unifei.edu.br.

³ Docente no Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira. Itabira, Minas Gerais, Brasil. E-mail: lima.fernando@unifei.edu.br.





KEYWORDS: Hydrological modeling. Streamflow simulation. Spatial resolution.

INTRODUÇÃO

As inundações e enchentes ocorrem quando a vazão de um rio excede sua capacidade de drenagem, causando transbordamento para áreas marginais (Tucci, 2012; Silva, 2015). Tucci (2012) também destaca que a ocupação das áreas de várzea e a frequência dos episódios de inundações estão diretamente ligados aos prejuízos causados por esses eventos. Isso reforça a necessidade de se aprimorar o entendimento desses fenômenos, bem como avançar em modelos hidrológicos que permitam a previsão, cada vez mais antecipada e precisa, da ocorrência desses eventos.

Para Lima Neto et al. (2020) a mitigação dos impactos de inundações nas atividades humanas pode ser alcançada através do gerenciamento e planejamento urbano, tomando como base estudos hidrológicos e hidrodinâmicos que possibilitem a previsão e antecipação da ocorrência desses eventos. Os autores ainda citam que modelos hidrodinâmicos são amplamente utilizados no planejamento urbano de riscos de inundações. Por outro lado, os autores também afirmam que as simulações hidrodinâmicas para eventos extremos são muito complexas, em razão da grande quantidade de parâmetros utilizados, de modo que a calibração e validação desses modelos é uma etapa necessária para reduzir incertezas. Dias (2015) também salienta a importância da utilização de modelos hidrológicos como ferramenta de apoio à gestão pública na mitigação e prevenção de impactos causados por enchentes e inundações.

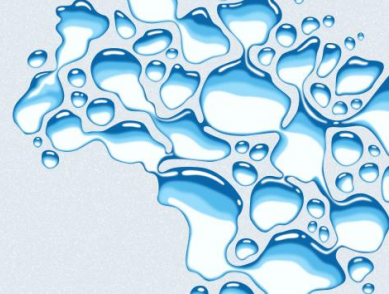
Segundo Silva (2015), o desenvolvimento computacional alcançado no século passado impulsionou a utilização de sistemas computacionais que simulam a etapa terrestre do ciclo hidrológico, tomando a bacia hidrográfica como unidade espacial. A autora ainda pontua que a utilização de simulações hidrológicas pode ser utilizada para diversas aplicações, como: previsão de vazões, melhor compreensão dos aspectos que compõem o ciclo hidrológico, avaliação dos efeitos das mudanças no uso do solo, avaliação dos efeitos das mudanças climáticas, entre outros. Afirma, ainda, que os modelos hidrológicos são ferramentas cruciais para o dimensionamento de estruturas hidráulicas.

Para a realização desta pesquisa foi adotado o modelo hidrológico wflow, que é uma estrutura de modelagem de código aberto desenvolvido pela Deltares, na Holanda (van Verseveld et al., 2024). Para Imhoff et al. (2024), o wflow apresenta bom equilíbrio entre modelos de baixa complexidade e baixa resolução e modelos de alta complexidade e alta resolução, possuindo tempos de execução relativamente rápidos.

Tendo em vista o impacto causado pelos desastres naturais de ordem hidrológica, é necessário buscar formas de mitigação dos danos causados por esses eventos. Uma importante forma de mitigar os impactos causados pelas inundações é uma gestão territorial eficiente e baseada em um mapeamento de áreas de risco de ocorrência de inundações, contribuindo para a implementação do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis, promovendo uma maior resiliência a desastres e a adaptação às mudanças climáticas.

MATERIAIS E MÉTODOS

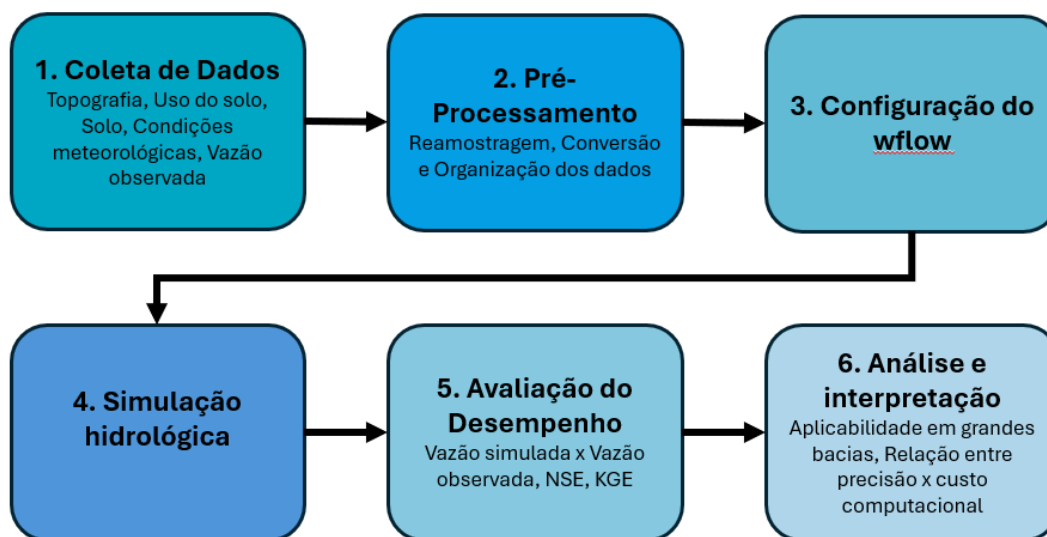
A metodologia consiste na utilização do modelo wflow para avaliação do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do Rio Doce utilizando diferentes resoluções espaciais e avaliando os impactos da escala dos dados de entrada nas estimativas de vazões, seguindo a metodologia aplicada por Aerts et al., (2022).



Para a aplicação do modelo wflow são necessários alguns dados de entrada, sendo divididos em dados estáticos e dados de força, além do arquivo de configuração que conterá as informações sobre o período de simulação, parâmetros e outras configurações relevantes para a execução do wflow (van Verseveld et al., 2024). Os dados estáticos dizem respeito aos aspectos físicos da bacia hidrográfica que será modelada, já os dados de força são referentes às informações sobre as condições meteorológicas da bacia, como precipitação e evapotranspiração. A calibração e validação do modelo será feita com base nos dados das séries históricas de monitoramento disponibilizadas pelo Instituto Mineiro de Gestão da Águas (IGAM) e pelo Hidroweb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

A avaliação do desempenho das diferentes resoluções espaciais dos dados de entrada será feita com a análise estatística da vazão simulada e observada, utilizando os índices NSE (*Nash-Sutcliffe Efficiency*) e KGE (*Kling-Gupta Efficiency*). A Figura 1 apresenta o fluxograma com as etapas da pesquisa.

Figura 1 – Fluxograma de pesquisa



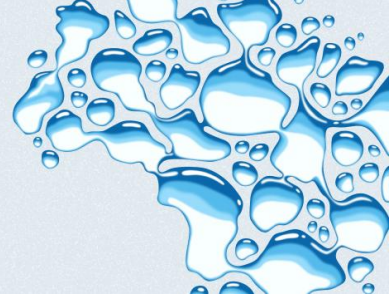
Fonte: Autoria própria (2025)

RESULTADOS ESPERADOS

Com o desenvolvimento desta pesquisa, espera-se calibrar e validar o modelo wflow, e entender o real impacto da escala dos dados de entrada sobre as vazões simuladas. A expectativa é que resoluções espaciais mais detalhadas gerem resultados mais precisos, considerando toda a heterogeneidade da bacia e suas pequenas variações. Por outro lado, resoluções espaciais menores podem não ser capazes de assimilar todas as características de cada bacia de forma eficiente, mas apresentarão um custo computacional muito menor. A aplicação desta metodologia vai possibilitar avaliar a relação entre a escolha da resolução espacial dos dados de entrada, o custo computacional envolvido na modelagem e efeito nos resultados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo permitirá avaliar o desempenho do modelo wflow em bacias hidrográficas brasileiras a partir de uma metodologia já empregada em um grande conjunto de bacias



hidrográficas. O estudo do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do Rio Doce pode ser utilizado como base para políticas públicas de zoneamento territorial urbano voltado para a mitigação dos impactos causados pelas inundações, fornecendo informações valiosas para a gestão de bacias hidrográficas e preparação para desastres. Os códigos utilizados nessa modelagem serão disponibilizados em um repositório eletrônico com o intuito de facilitar a replicação dessa metodologia em outras partes do território nacional, ou, até mesmo, um aprimoramento desse estudo na mesma região de interesse.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

REFERÊNCIAS

AERTS, Jerom P. M. et al. Large-sample assessment of varying spatial resolution on the streamflow estimates of the wflow_sbm hydrological model. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 26, n. 16, p. 4407-4430, 29 ago. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-26-4407-2022>. Acesso em: 26 jun. 2025.

DIAS, Victor Scates. Uso de modelo hidrológico em bacia hidrográfica urbana para previsão de enchentes. Estudo de caso: microbacia do Córrego Jataí – Uberlândia/MG. 2015. 154 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/14214>. Acesso em: 28 jun. 2025.

IMHOFF, Ruben O. et al. A fast high resolution distributed hydrological model for forecasting, climate scenarios and digital twin applications using wflow_sbm. *Environmental Modelling & Software*, p. 106099, jun. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.106099>. Acesso em: 10 jul. 2025.

LIMA NETO, Otacílio Correia et al. Sub-daily hydrological-hydrodynamic simulation in flash flood basins: Una river (Pernambuco/Brazil). *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 15, n. 5, p. 1, 3 set. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2556>. Acesso em: 30 jun. 2025.

SILVA, Luciene Pimentel da. *Hidrologia: engenharia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

TUCCI, Carlos E. M. (Org.). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: ABRH, 2012

VAN VERSEVELD, Willem J. et al. Wflow_sbm v0.7.3, a spatially distributed hydrological model: from global data to local applications. *Geoscientific Model Development*, v. 17, n. 8, p. 3199-3234, 25 abr. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/gmd-17-3199-2024>. Acesso em: 05 jul. 2025.