

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE DOS DADOS ALTIMÉTRICOS SRTM (NASA) PARA MODELAGEM HIDRODINÂMICA: DIAGNÓSTICO E TOMADA DE DECISÃO NO CASO DO RIO GRANDE DO SUL

Victoria Reis Oliveira da Silva¹; Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira¹; Matheus Martins de Sousa²; Nicolas Selasco Moreira³; João Paulo Rebechi Fraga⁴;

Abstract: Between late April and early May 2024, intense rainfall affected the state of Rio Grande do Sul, triggering river overflows in several cities and leading to significant human and material losses. The Taquari-Antas River Basin was among the most severely impacted regions. One of the main challenges faced by local authorities was the lack of baseline data to promptly perform hydrodynamic simulations to support decision-making processes. In this context, the present study aims to assess the feasibility of using the NASA SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) Digital Elevation Model (DEM) as the primary source of topographic data for hydrodynamic simulations intended to diagnose flood-prone areas and support urban planning. The Taquari River Basin, with emphasis on the municipality of Muçum, was adopted as a case study. The methodology involves rainfall-runoff transformation and the use of the HEC-RAS 2D software for hydrodynamic modeling. The results indicate that the model based on the SRTM-DEM is capable of adequately representing the flood peak hydrographs. However, there is a tendency to overestimate overflow volumes, attributed to the inadequate representation of the main river channel.

Resumo: Entre o final de abril e o início de maio de 2024, chuvas intensas atingiram o estado do Rio Grande do Sul, provocando extravasamentos fluviais em diversas cidades e resultando em significativas perdas humanas e materiais. A bacia do Rio Taquari-Antas foi uma das mais severamente impactadas. Um dos principais desafios enfrentados pelas autoridades locais foi a escassez de dados de base que permitissem, de forma imediata, realizar simulações hidrodinâmicas para subsidiar a tomada de decisões. Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade do uso do Modelo Digital de Terreno (MDT) da missão SRTM da NASA como principal fonte de dados topográficos para a realização de simulações hidrodinâmicas voltadas ao diagnóstico de áreas de inundação e ao planejamento urbano. A bacia hidrográfica do Rio Taquari, com foco no município de Muçum, foi adotada como estudo de caso. A metodologia adotada inclui a transformação de chuva em vazão e a utilização do software HEC-RAS 2D para a modelagem hidrodinâmica. Os resultados indicam que o modelo baseado no MDT-SRTM é capaz de representar de forma coerente os picos dos hidrogramas das cheias fluviais. Contudo, observou-se uma tendência de superestimação dos volumes extravasados, atribuída à representação inadequada da calha principal do rio.

Palavras-Chave – Bacia Hidrográfica do Rio Taquari; Simulação Hidrológica; HEC-RAS

1) Afiliação: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. victoriareis00@hotmail.com

2) Afiliação: Universidade Federal do Rio de Janeiro

3) Afiliação: Universidade Estadual do Rio de Janeiro

4) Afiliação: Fundação Rio-Águas

INTRODUÇÃO

O uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas é um parâmetro fundamental para a compreensão da parcela dos eventos pluviométricos que geram escoamento superficial e consequentemente se acumulam nos talvegues, canais e rios podendo gerar extravasamentos de calha. Quando este extravasamento atinge algum bem, ocorrem as inundações. A alteração do uso e ocupação do solo seja pelo desenvolvimento de áreas rurais ou pelo processo convencional de urbanização tende a suprimir a vegetação, compactar o solo e até mesmo impermeabilizá-lo mediante processos de pavimentações. Estas alterações tendem a intensificar o escoamento superficial e dessa forma as inundações.

Porém, a alteração do uso e ocupação do solo não é o único problema que o processo de desmatamento e urbanização não planejados em função das dinâmicas hidrológicas e hidráulicas naturais pode gerar. O aterramento para ocupação de áreas inundáveis tende a transferir acúmulos de água do território para outras regiões. A implementação de obras de arte correntes (galerias de drenagem) ou especiais (pontes) podem gerar estrangulamentos hidráulicos nos cursos de drenagem e potencializar os extravasamentos.

Além disso, as mudanças climáticas vêm causando graves impactos, como o aumento acelerado da temperatura global e a intensificação de tempestades severas (ONU, 2025). E sendo o Brasil um país afetado pelo El Niño e La Niña, suas irregularidades climáticas podem ser amplificadas e imprevisíveis (MARENGO, 2008). Deixando assim, as bacias hidrográficas mais suscetíveis a sofrer com eventos extremos.

De acordo com o IPCC, mais de 40% da população vive em locais vulneráveis à essas mudanças, sendo essencial compreender a relação entre a vulnerabilidade social as mudanças climáticas, uma vez que a parcela mais afetada, na maioria das vezes são as mesmas com menos recurso para evitar e se reestruturar após esse impacto.

Com isso, se faz fundamental a utilização de ferramentas computacionais para prever e elaborar modelos hidrodinâmicos que identifiquem os locais mais críticos de inundações e possam servir para a proposição de alternativas de mitigação das falhas do sistema de drenagem. Dessa forma, espera-se que as cidades se tornem mais resilientes às cheias fluviais intensificadas pelos processos de urbanização e se adaptem às novas realidades climáticas. Este tipo de abordagem pode também servir para direcionar novos padrões de ocupação urbana e rural de maneira a mitigar as inundações seja pela redução da parcela do escoamento superficial, ou seja, pelo afastamento dos bens às áreas onde ocorrem os extravasamentos.

ESTUDO DE CASO

A bacia Taquari-Antas é uma das sub-bacias do Guaíba que compõem a hidrografia do Guaíba. Antes do evento de 2024, um dos eventos mais marcantes relacionado a grandes cheias foi em 1941, em que a água atingiu um nível de 4,75 metros, alguns anos depois, em 1967, teve uma nova cheia que atingiu um nível de 3,13 metros. Esses acontecimentos foram decisivos para a implementação dos diques de proteção contra inundação. Sendo válido destacar que o estado possui um histórico de chuvas associados ao El Niño (SILVEIRA, 2020; TORRES, 2012).

Pensando nos dias atuais, o Rio Grande do Sul — marcado por uma intensa alteração no uso e ocupação do solo e efeito das mudanças climáticas — sofreu em setembro de 2023 inundações que atingiram significativamente a bacia do Taquari-Antas devido às fortes chuvas. Em novembro do mesmo ano, dois meses depois, aconteceu outra cheia que afetou cerca de 700 mil pessoas. Onde o Guaíba, pela primeira vez desde 1941, ultrapassou o nível de inundação 80 anos depois (LIMA et al., 2024).

Menos de um ano depois, no final de abril e maio de 2024 novos eventos críticos ocorreram, sendo considerado o maior desastre climático do RS, com cerca de 2,3 milhões de pessoas afetadas. (LIMA et al., 2024). Nas figuras 1 e 2 mostram como ficou o resultado da catástrofe ocorrida em RS. Pode-se observar também no estudo de Collischon et al. (2024), que as chuvas de 2024 foram mais concentradas ao longo do tempo e com maiores intensidades quando comparadas com a do evento de 1941. Isso então, expôs não só como as cidades estão vulneráveis e com uma falta de infraestrutura adequada para mitigação das cheias que estão por vir — com a tendência de serem cada vez mais severas —, mas também como a mudança no uso do solo pode alterar o comportamento da precipitação e da bacia hidrográfica, como será abordado nos tópicos seguintes.

Figura 1 - Alagamento em Muçum em 2024.



Figura 2 – Casas praticamente cobertas pela água em 2024

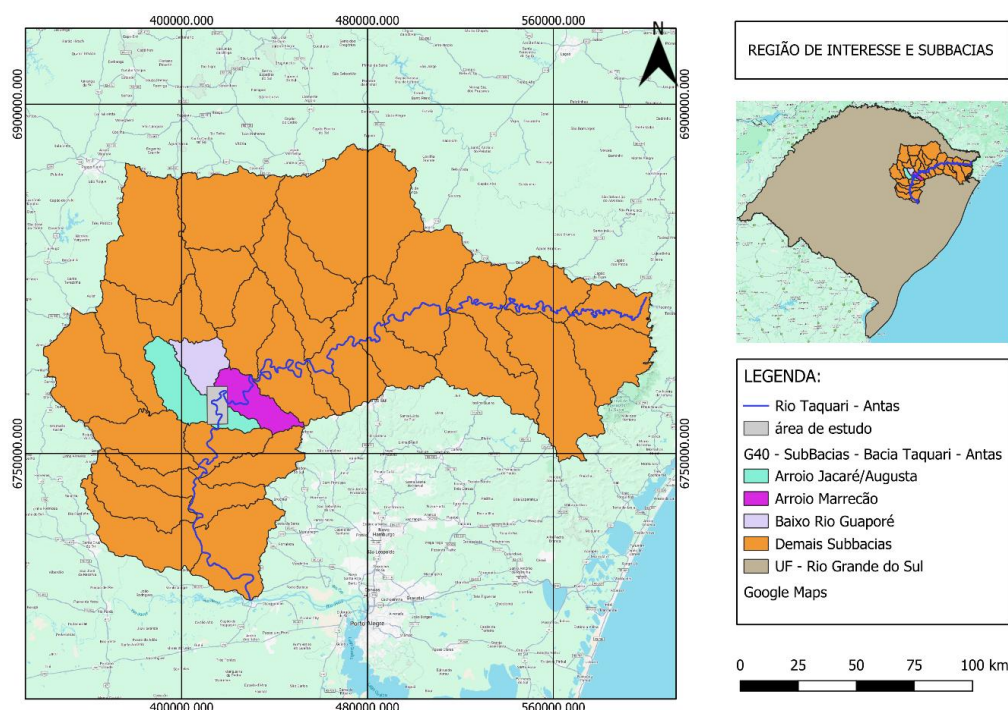


Sendo assim, o objetivo geral do projeto é avaliar a viabilidade do uso do Modelo Digital de Terreno (MDT) da missão SRTM da NASA como principal fonte de dados topográficos para a realização de simulações hidrodinâmicas voltadas ao diagnóstico de áreas de inundação e ao planejamento urbano, calculando as vazões de projeto e propor um zoneamento urbano baseado nas faixas de TR.

METODOLOGIA

Para construção e análise do projeto, foram utilizados os softwares QGIS e o HECRAS. Durante a coleta de informações, utilizando o QGIS, foram escolhidos os postos pluviométricos e fluviométricos, obtidos na Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) utilizando a plataforma Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas, e na Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA-RS), por meio da página “Dados – Sala de Situação”. A partir disso, os dados desses postos foram tratados e analisados, de modo que fossem selecionadas as informações referentes ao evento de 2024, com o período de análise compreendido entre 27 de abril e 20 de maio de 2024. Com isso, foi escolhido o município de Muçum, onde a Figura 3 indica a área de estudo.

Figura 3 – Representação da região de interesse e sua localização.



A partir dos shapes da bacia Taquari–Antas e o traçado do rio disponibilizados pelo Departamento de Gestão de recursos hídricos e saneamento, foram retirados os recortes da área de interesse, suas características e realizar a caracterização da bacia hidrográfica utilizando o software QGIS. Com isso, foi possível definir o software adequado para modelagem e realizar as análises necessárias, sendo escolhido o HEC-RAS devido a sua modelagem 2D eficaz para análises de inundações. Para isso, foi utilizado um Modelo digital de terreno (MDT) disponibilizado pela NASA, sendo sua precisão de 1 arco segundo com precisão de 30 metros nos pontos de elevação.

Para iniciar a modelagem, foi definido o perímetro com escoamento de água, com um grid de 50x50 e o coeficiente de manning para cada uso e ocupação, como é possível observar nas Figuras 4 e 5. Como condições de contorno foi definido o ponto inicial e o exutório, bem como perímetro a ser discretizado, no qual esperava-se haver escoamento (calha e margens inundadas). Por fim, foi inserida a vazão medida de 15 em 15 minutos no posto 86510000 de Muçum (Apresentada no Gráfico 1), fornecido pela SEMA-RS como observado no gráfico 1 e uma declividade da linha de energia no exutório de 0,05 (condição de contorno de jusante definida com base na declividade de fundo local).

Gráfico 1 – Vazão obtida pelo posto fluviométrico

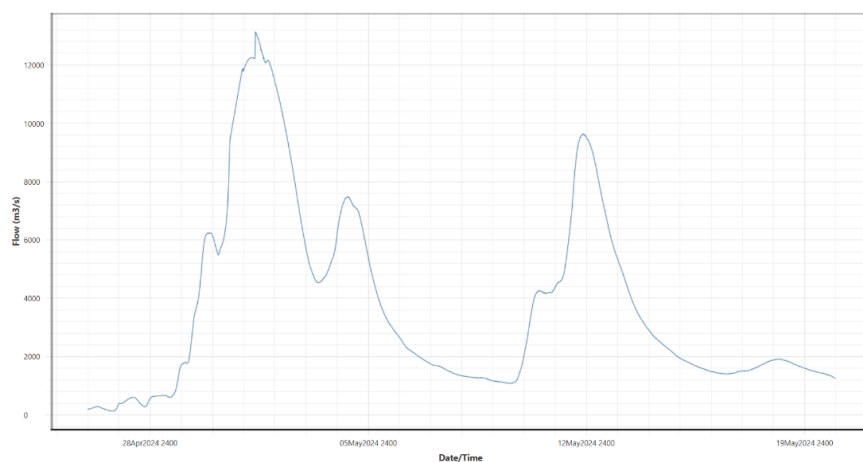


Figura 4 – Definição do perímetro

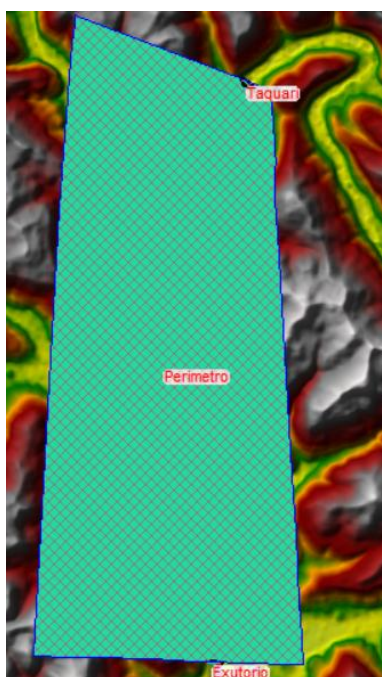
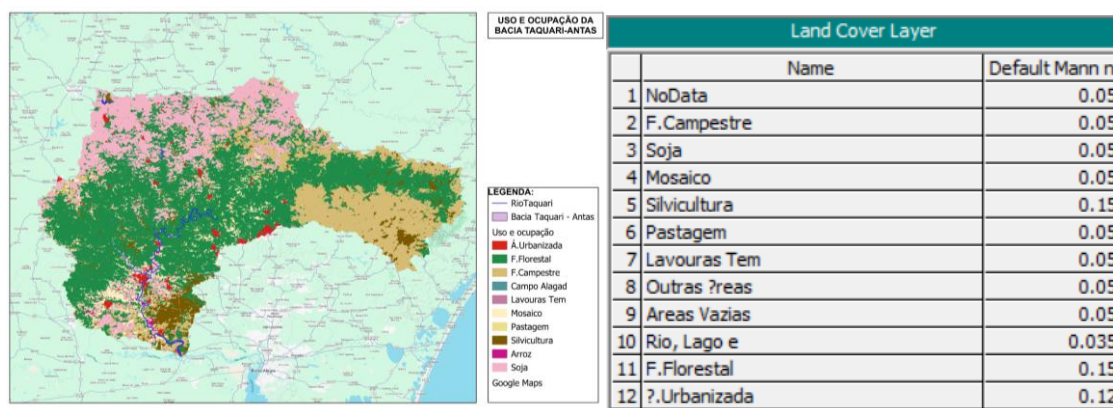


Figura 5 – Coeficiente de Manning a partir do uso e ocupação do solo



Com isso, foi calculado um modelo de escoamento não uniforme, uma vez que a vazão varia com o tempo, no período de 27 de abril de 2024 até 20 de maio de 2024, a fim de observar o comportamento do rio ao longo do evento.

Outra etapa importante realizada diz respeito à calibração do modelo. Oliveira et al. (2019) destacam que, mesmo em contextos de escassez de dados hidrometeorológicos e topográficos, é possível desenvolver estratégias alternativas de calibração que melhorem a representatividade dos modelos. Diante disto, o modelo foi calibrado utilizando fotografias publicadas e o nível medido nos postos, em que os pontos de calibração são representados na Figura 6.

Figura 6 – Localização dos pontos de calibração

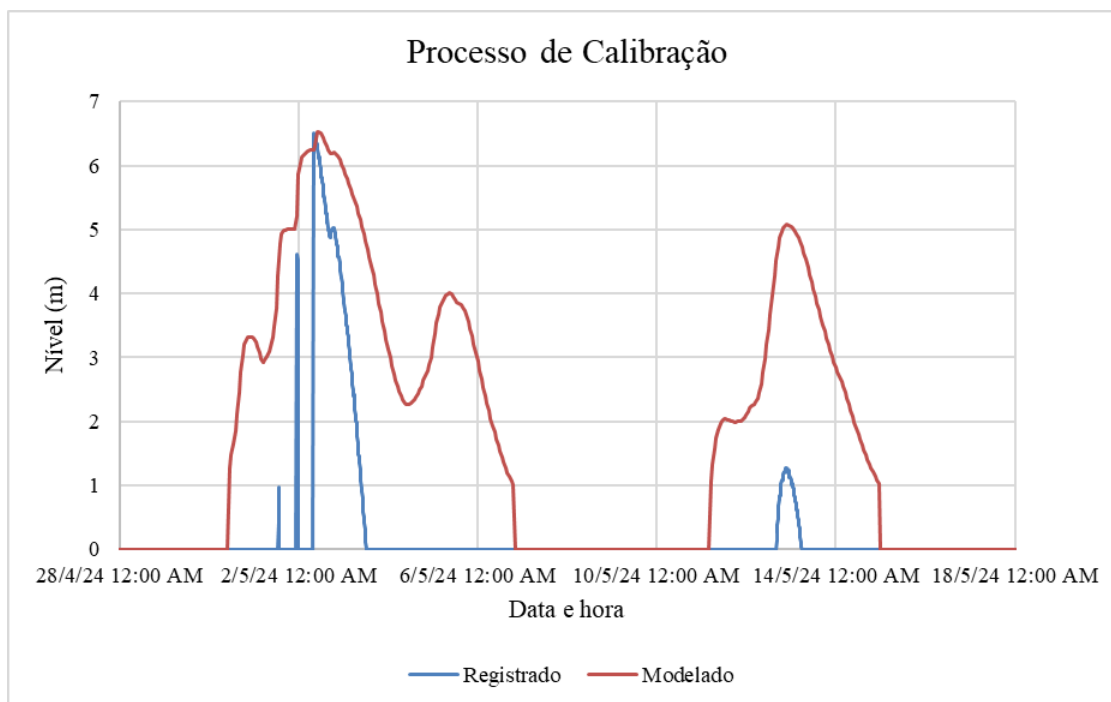


RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira etapa dos resultados diz respeito à calibração do modelo hidrodinâmico para o qual foram ajustados os coeficientes de maneira a representar da melhor forma a realidade local apesar da ausência de dados batimétricos. Durante a calibração dos eventos, percebeu-se que por utilizar um MDT no modelo, não seria possível obter os níveis iguais dos medidos pelo posto de Muçum, uma vez que a partir do perfil de elevação gerado no modelo, entendeu-se que a calha representada no MDT não condiz com a realidade para que o escoamento no modelo fosse representado de forma fiel à realidade. Para que a comparação seja válida, foi necessário utilizar dados da calha do rio para saber a real diferença de nível, uma vez que o modelo MDT não contém os dados de fundo da calha do rio. Logo, foi realizado uma estimativa aproximada do comprimento do rio no trecho onde está o posto de medição de Muçum e o perfil de elevação desse mesmo trecho a fim comparar com o resultado do levantamento disponível no estudo de Marcuzzo; Pinto (2023). Considerando que a calha do rio tem aproximadamente 19 metros para começar a extravasar para as planícies de inundação, todos os níveis medidos deveriam ser reduzidos de 19 m no registro de níveis a fim de comparar com os dados obtidos na modelagem, utilizando a margem como base de comparação. Dessa forma, o Gráfico 2 apresenta a principal comparação realizada para calibração do modelo.

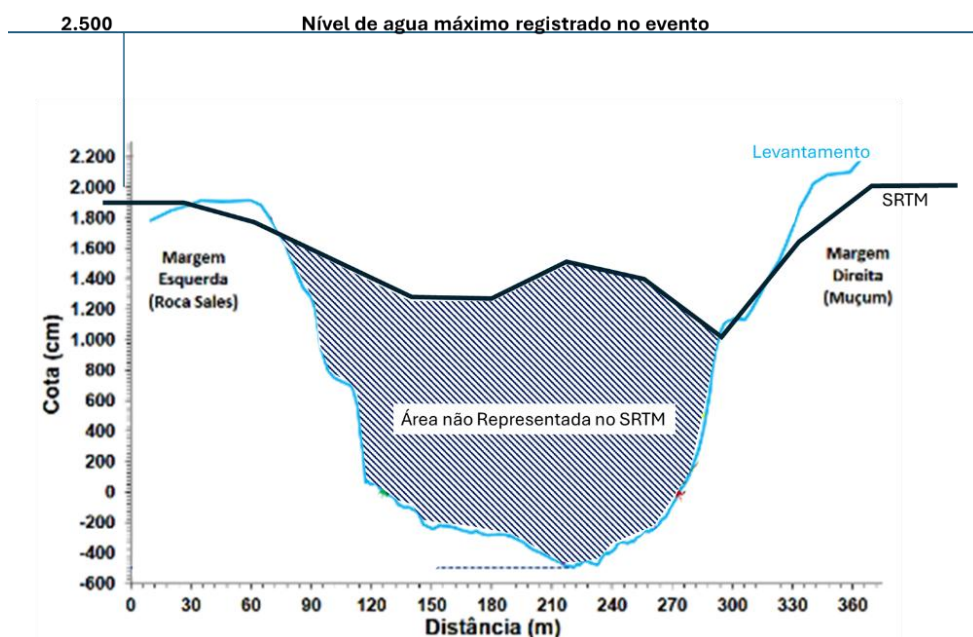
Apesar das limitações, a simulação realizada no trabalho foi considerada satisfatória para os seus propósitos. A calibração do modelo demonstrou que os níveis simulados estavam alguns metros acima dos dados medidos, pelos motivos já exemplificados. No entanto, independente da imprecisão encontrada, a simulação representou, no geral, o comportamento das inundações, seguindo os padrões observados nas fotos e registros reais do evento de 2024, reforçando que, ainda assim, é de suma importância o uso de dados mais precisos em aplicações como a realizada no trabalho.

Gráfico 2 - Gráfico de comparação de níveis registrados e modelados



De forma geral o modelo representa de forma adequada os picos, mas falha na representação dos volumes extravasados. A Figura 10 apresenta a área não representada pelo levantamento da NASA. Para níveis mais altos, o percentual de representatividade desta área reduz, fazendo com que as respostas sejam mais representativas próximas ou pico da cheia fluvial.

Figura 10 – Representação da calha do rio no local do posto fluviométrico. - Marcuzzo; Pinto (2023)



Apesar das limitações, a simulação realizada no trabalho foi considerada satisfatória para os seus propósitos. A calibração do modelo demonstrou que os níveis simulados estavam alguns metros acima dos dados medidos, pelos motivos já exemplificados. No entanto, independente da imprecisão

encontrada, a simulação representou, no geral, o comportamento das inundações, seguindo os padrões observados nas fotos e registros reais do evento de 2024, reforçando que, ainda assim, é de suma importância o uso de dados mais precisos em aplicações como a realizada no trabalho.

Depois de modelado o evento de 2024, foi separado a precipitações máximas medidas pelo posto de Muçum no período de 1940 a 2024. Então, a partir do método Kimbal foi calculado os tempos de recorrência e com base no método de Gumbal foram definidas as vazões de projeto para os TRs de referência para os tempos de 25, 50, 100 e 500 anos. Para fundamentar o zoneamento, foi utilizado um estudo da ANA (2015), em que define quais são os critérios de proteção para cada tipo de ocupação das diferentes. Com isso, foram utilizadas as faixas de inundação simuladas, considerando as limitações de ocupação do espaço urbano. O Gráfico 2 apresenta as vazões utilizadas para o zoneamento e a Figura 9 as manchas de inundação obtidas com a modelagem do evento de 2024 e com as vazões estimadas para cada tempo de recorrência.

Gráfico 2 – Vazões de projeto calculadas

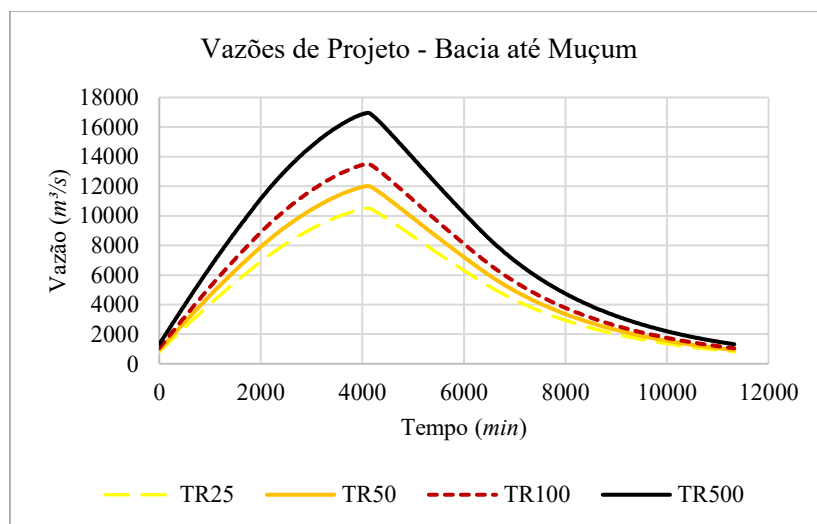
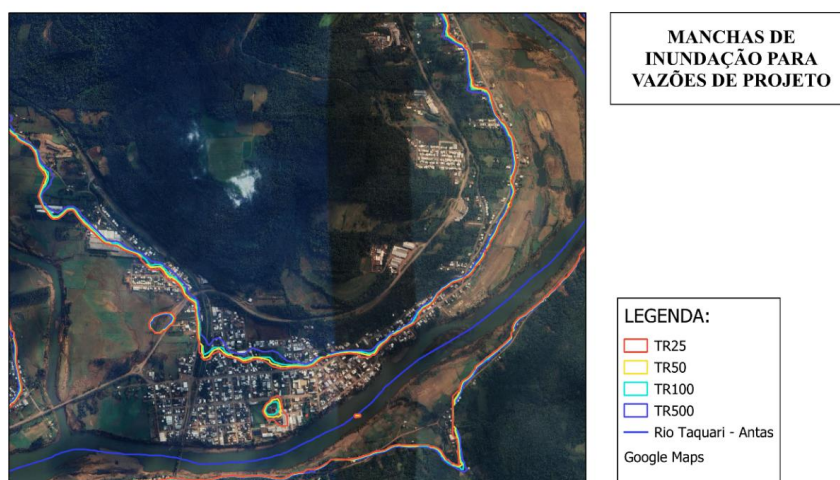


Figura 9 - Mapa representando as manchas de inundação em Muçum para cada TR



Já o zoneamento de áreas ocupadas, representado no Quadro 1, embora existam limitações quanto à remoção ou adaptação de edificações existentes, pode ser uma importante ferramenta para a gestão de riscos. Uma vez que a proposição inclui a restrição de novas construções em áreas de risco, exigência de medidas de proteção e a implementação de protocolos de evacuação, de forma a reduzir os impactos de eventos extremos futuros.

Quadro 1 – Zoneamento de Muçum proposto

Faixa TR	Ocupação Permitida	Condições / Observações	Propostas
< 25	Nenhuma edificação domiciliar	Exclusão residencial	Parques urbanos ou áreas verdes
$25 \leq TR < 50$	Manutenção das edificações domiciliares existentes	Proibida a expansão; requer protocolo de resposta e ação	Sistemas de alerta, rotas de evacuação e campanhas de conscientização
$50 \leq TR < 100$	Edificações residenciais	Devem integrar protocolo de ação e resposta	Construções elevadas e planos de contingência
$100 \leq TR < 500$	Estruturas críticas / sensíveis	Necessária robusta proteção contra inundações	Hospitais, escolas, bombeiros, abastecimento elétrico
> 500	Infraestrutura viária	Deve suportar eventos extremos	-

CONCLUSÕES

Este trabalho cumpriu seu objetivo de analisar o uso de um modelo digital de terreno, obtido via SRTM da NASA, e avaliar sua eficácia para prever eventos e propor soluções não estruturais, como o zoneamento.

A simulação realizada demonstrou que, embora o modelo SRTM apresente limitações na representação detalhada do comportamento hidráulico da calha principal do rio, ele ainda se mostra útil como ferramenta preliminar para a compreensão da dinâmica local e o planejamento inicial de intervenções, especialmente no que se refere à estimativa de vazões máximas. Por outro lado, a metodologia proposta revelou baixa precisão na quantificação dos volumes de extravasamento, indicando a necessidade de dados topobatimétricos para análises mais detalhadas.

Apesar dos desafios técnicos encontrados, os resultados obtidos demonstraram boa correspondência com os dados observados e fotografias reais dos eventos, reforçando a utilidade prática do modelo. O trabalho também propôs um zoneamento urbano baseado em faixas de tempo de recorrência, sugerindo diretrizes importantes para ocupação do solo em áreas suscetíveis a inundações. Esta abordagem não estrutural pode-se mostrar eficiente como uma ferramenta de planejamento urbano, com potencial para reduzir danos em futuros eventos climáticos extremos.

Tem-se como sugestão para trabalhos futuros, o uso de modelos com maior resolução e dados batimétricos do rio, ou a ampliação do estudo para outras regiões críticas no estado. Por fim, a implementação de políticas públicas baseadas nesses modelos pode tornar as cidades mais resilientes e preparadas para os desafios das mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Nota Técnica nº 11/2015 – Diretrizes para Drenagem Urbana no Contexto de Gestão de Recursos Hídricos. Brasília: ANA, 2015. Disponível em: <https://participacao-social.ana.gov.br/api/files/NT112015-1600183836139.pdf>.

COLLISCHONN, W., RUHOFF, A., FILHO CABELEIRA, R., PAIVA, R., FAN, F., & POSSA, T. (2024). Chuva da cheia de 2024 foi mais volumosa e intensa que a da cheia de 1941 na bacia hidrográfica do Guaíba. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/iph/nota-tecnica-chuva-da-cheia-de-2024-foi-mais-volumosa-e-intensa-que-a-da-cheia-de-1941-na-bacia-hidrografica-do-guaiba/>.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Mudanças climáticas 2021: A base científica. Relatório de avaliação do IPCC, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.

LIMA, S.G.; KUCHINSKI, V.; PAIVA, R.C.D. Vazões excepcionais das grandes cheias de 1941, 2023 e 2024 no Rio Grande do Sul. Encontro Nacional de Desastres (4.: 2024: Curitiba). Anais [eletrônicos]. Porto Alegre: ABRHidro, 2024, 2024.

MARENGO, J.A. Água e mudanças climáticas. Estudos Avançados, São Paulo, Brasil, v. 22, n. 63, p. 83–96, 2008. Disponível em: <https://www.periodicos.usp.br/eav/article/view/10294>.

NAÇÕES UNIDAS. Causas e efeitos das mudanças climáticas. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://www.un.org/pt/climatechange/science/causes-effects-climate-change>.

OLIVEIRA, A. K. B. et al. An alternative flood model calibration strategy for urban watersheds: the case study of Riohacha, Colombia. Water Science and Technology, v. 79, n. 11, p. 2095-2105, 2019.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System. Versão 3. QGIS Association, 2025. Disponível em: <https://www.qgis.org>.

SILVEIRA, A.L.L. Chuvas e vazões da grande enchente de 1941 em Porto Alegre/RS. Boletim Gaúcho de Geografia, Porto Alegre: Secretaria de Planejamento do Estado do Rio Grande do Sul, [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://revistas.planejamento.rs.gov.br/index.php/boletim-geografico-rs/article/download/4315/4096>

TORRES, L.H. Águas de maio: a enchente de 1941 em Rio Grande. Historiæ, [S.l.], v. 3, n. 3, p. 239–254, 2013. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/hist/article/view/3270>.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. EarthExplorer. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. 2D Unsteady Flow. Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/hgt/latest/tutorials/2d-unsteady-flow>.