

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

DIAGNÓSTICO E SIMULAÇÃO HIDRÁULICA DA REDE DE DRENAGEM PARA IDENTIFICAÇÃO DE PONTOS CRÍTICOS DE ALAGAMENTO EM UM BAIRRO DE UM MUNICÍPIO DO RIO GRANDE DO SUL

Taison Anderson Bortolin¹; Débora Comin dal Pozzo²; Morgana Vigolo³; Izaías Rodrigues de Souza Neto⁴; Ludmilson Abritta Mendes⁵; Vania Elisabete Schneider⁶

Abstract: The intensification of extreme hydrometeorological events in recent decades, driven by climate change and land-use alterations, has directly impacted urban areas. Urbanization has replaced permeable areas with impermeable surfaces, consequently reducing infiltration capacity and altering runoff patterns, which frequently leads to flooding. The objective of this study was to analyze the urban stormwater drainage network of a neighborhood within a municipality in the Serra Gaúcha region, identifying critical flooding points and structural deficiencies. The EPA SWMM 5.0 software was employed to simulate runoff within the existing network, thereby diagnosing the causes of recurrent inundations in the neighborhood. The current urban drainage infrastructure exhibits partial coverage and conservation deficiencies, further exacerbated by urban expansion and soil impermeabilization. The simulation revealed critical sections of the network that are undersized to handle flows generated by rainfall events with longer return periods. As a suggestion, the study proposes the resizing of culverts/storm drains, the implementation of detention basins, and the adoption of compensatory drainage techniques to mitigate and regulate flow in the critical sections. This research highlights the capability of the SWMM software for simulating urban drainage elements, enabling the analysis of various alternatives to resolve the diagnosed problems.

Resumo: A intensificação de eventos hidrometeorológicos extremos nas últimas décadas, impulsionados por mudanças climáticas e alterações no uso do solo, tem afetado diretamente as áreas urbanas. A urbanização tem substituído áreas permeáveis por superfícies impermeáveis, reduzindo a capacidade de infiltração e alterando os padrões de escoamento, resultando em frequentes alagamentos. O objetivo deste estudo foi analisar a rede de drenagem pluvial urbana de um bairro de um município no Rio Grande do Sul, identificando pontos críticos de alagamento e falhas estruturais. Utilizou-se o software EPA SWMM 5.0 para simular o escoamento na rede existente, diagnosticando as causas das inundações recorrentes no bairro. A infraestrutura de drenagem urbana apresenta cobertura parcial e deficiências na conservação, agravadas pela expansão urbana e impermeabilização do solo. A simulação revelou trechos críticos subdimensionados para suportar vazões geradas por chuvas com maiores períodos de retorno. Como sugestão, propõe-se o redimensionamento de galerias, implementação de bacias de detenção e adoção de técnicas compensatórias de drenagem para mitigar e regular a vazão no trecho crítico. O estudo destaca a capacidade do software SWMM para simular elementos da drenagem urbana, permitindo a análise de alternativas para resolver os problemas diagnosticados.

Palavras-Chave – Drenagem urbana, alagamento, simulação hidráulica

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS – tabortol@ucs.br

² Universidade de Caxias do Sul - UCS, dc当地pozzo@ucs.br

³ Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias (PGEPROTEC) – UCS, mvigolo1@ucs.br

⁴ Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos - Instituto de Pesquisas sobre Desastres – UFS, izaiasnetoengcivil@gmail.com

⁵ Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos - Instituto de Pesquisas sobre Desastres – UFS, lamendes@academico.ufs.br

⁶ Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos - Instituto de Pesquisas sobre Desastres – UFS, veschnei@ucs.br

INTRODUÇÃO

Eventos hidrometeorológicos extremos têm se intensificado nas últimas décadas, impulsionados por alterações no uso e ocupação do solo e pelos efeitos das mudanças climáticas, afetando gravemente a segurança hídrica em diversas regiões do mundo (Zhu *et al.*, 2025). No Brasil, esse tipo de evento somado à expansão desordenada das cidades e ao planejamento urbano frágil foram listados como alguns desafios para a implementação dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 (Nações Unidas, 2024). As áreas urbanas, marcadas por crescente densidade populacional e forte expansão territorial, tornaram-se zonas críticas de vulnerabilidade aos eventos extremos. Entre os impactos mais recorrentes estão os provocados por chuvas intensas, que sobrecarregam os sistemas de drenagem existentes, revelando sua limitação frente a volumes extremos de precipitação (Chen *et al.*, 2025).

Segundo Pati, Sahoo e Kale (2025), esses eventos tendem a gerar o transbordamento das redes urbanas, uma vez que apresentam menor tempo de concentração e maior vazão de pico em comparação às inundações em áreas rurais. Isso ocorre porque a urbanização tem substituído áreas permeáveis por superfícies impermeáveis, reduzindo significativamente a capacidade de infiltração e alterando os padrões naturais de escoamento. Inundações decorrentes desse tipo de episódio geram danos severos. Só em 2011, por exemplo, causaram prejuízo estimado de 70 bilhões de dólares, com mais de 6.000 mortes em todo o planeta (Westra *et al.*, 2014).

Sistemas de drenagem são um dos meios usados para diminuir os danos causados pela água da chuva, usualmente escoada por meio de bocas de lobo ou calhas superficiais e conduzida por galerias subterrâneas que, em regiões altamente impermeabilizadas, com infraestrutura insuficiente e sem planejamento, tornam-se vulneráveis a alagamentos frequentes (Xing *et al.*, 2025). O Brasil sofre com deficiência desse tipo de infraestrutura. Cerca de 24,5% dos moradores em domicílios particulares responderam não haver boca de lobo/bueiro no seu entorno no último censo no estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2022).

Entre o final de abril e o início de maio de 2024, fortes chuvas causaram cheias extraordinárias no Sul do Brasil, a precipitação registrada é, provavelmente, a mais intensa já observada no País, considerando áreas afetadas de 2.000 a 100.000 km² e períodos de 3 a 14 dias (Collischonn *et al.*, 2024). As consequências de eventos dessa magnitude são de amplo alcance: interrompem a rotina urbana, danificam edificações, comprometem a mobilidade, afetam a saúde, impactam no meio ambiente e desestabilizam estruturas sociais e econômicas. Diante desse cenário, intensificam-se os esforços de prevenção e mitigação por parte de governos, pesquisadores e planejadores urbanos para aprimorar os sistemas de drenagem urbana e controle de alagamentos. Para tanto, ferramentas robustas de avaliação de risco de inundações tornam-se essenciais para subsidiar o planejamento urbano, promover a resiliência frente às mudanças climáticas e orientar investimentos estratégicos em infraestrutura e políticas públicas (Ahmad *et al.*, 2025).

Entre essas ferramentas, destaca-se a simulação numérica, que se mostra eficiente para compreender a formação, evolução e dissipação de inundações urbanas após eventos extremos de precipitação, permitindo prever o comportamento do escoamento superficial, a extensão das áreas afetadas e o desempenho das infraestruturas existentes (Pati, Sahoo & Kale, 2025). Diversos modelos têm sido desenvolvidos com essa finalidade, entre os quais se destaca o *Storm Water Management Model* (SWMM), criado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA), amplamente utilizado no planejamento, análise e projeto de sistemas de drenagem urbana. O SWMM vem sendo empregado em diferentes contextos, inclusive em combinação com outros modelos (Liu *et al.*, 2024; Wang *et al.*, 2024; Montalvo *et al.*, 2024; Zhan *et al.*, 2024). Lançado em 1971 como software público, o SWMM possibilita simular a quantidade e a qualidade das águas pluviais escoadas, calculando variáveis como vazão, profundidade de fluxo e carga poluente em cada trecho da rede. Trata-se de um modelo hidrológico-hidráulico que utiliza como entradas os dados de

precipitação e as características físicas da bacia urbana e da rede de drenagem. É capaz de representar sistemas com geometrias variadas, incluindo canais, condutos de diferentes formatos, reservatórios, bombas, dispositivos de controle de vazão e unidades de tratamento (Wang *et al.*, 2024; Montalvo *et al.*, 2024).

Nesse contexto, este estudo teve como objetivo analisar a situação atual da rede de drenagem pluvial urbana de um município localizado na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul (RS), com foco na identificação de pontos críticos de alagamento e das principais falhas estruturais do sistema.

METODOLOGIA

O estudo buscou realizar a simulação do escoamento na rede existente na área alvo, de modo a diagnosticar as causas das inundações recorrentes por ser este um dos bairros mais afetados da cidade onde foi desenvolvido. A área de estudo está apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Delimitação da área de estudo, com a bacia de contribuição e recursos hídricos existentes.



Optou-se por não citar o nome do município devido à sensibilidade do contexto atual. A decisão visa preservar a neutralidade e a imparcialidade da pesquisa, evitando que o foco do estudo seja desviado para questões políticas ou sociais que estão em discussão na comunidade local. A omissão do nome permite que a análise se concentre exclusivamente nos aspectos técnicos e objetivos da área de estudo, sem interferências externas que poderiam comprometer a receptividade ou a interpretação dos resultados por parte dos leitores. Dessa forma, garante-se que o trabalho seja percebido como uma contribuição científica e não como um posicionamento sobre situações controversas que o município enfrenta.

O bairro enfrenta problemas com alagamentos frequentes, sendo que a infraestrutura de drenagem urbana (sarjetas, grelhas, bocas de lobo, bueiros, caixas, valos) apresenta cobertura parcial, com soluções pontuais nem sempre compatíveis com as respectivas bacias de contribuição. Contudo, observam-se deficiências na conservação e manutenção do sistema, agravadas pela expansão urbana, impermeabilização do solo, supressão da cobertura vegetal e ocupação desordenada, sem padronização da microdrenagem.

A pavimentação asfáltica executada sobre ruas de paralelepípedo comprometeu a funcionalidade das sarjetas, resultando em escoamento superficial em direção às calçadas e alagamento dos passeios públicos. Além disso, a quantidade de bocas de lobo é insuficiente para a vazão gerada, sobretudo em áreas mais baixas. A rede de drenagem é composta por aproximadamente

40.000 metros de tubulações com diâmetros variados e poços de visita espaçados entre 120 e 180 metros, conforme o diâmetro da tubulação. A condução das águas pluviais ocorre por meio de galerias até dois arroios que integram a estrutura de macrodrenagem do município. As recorrentes inundações decorrem, em grande parte, da ausência de planejamento para a expansão territorial e do subdimensionamento das estruturas existentes.

O diagnóstico da rede de drenagem baseou-se em dados obtidos em campo e junto à Defesa Civil municipal, incluindo a planta baixa da rede de drenagem e as curvas de nível do município. A simulação foi realizada no software EPA SWMM 5.0, com foco em um trecho crítico no bairro alvo. Para simulação do modelo, foram determinadas as sub-bacias da rede considerando as quadras do bairro e áreas de contribuição ao talvegue. Utilizou-se o modelo de Infiltração de Green-Ampt (1911), conforme a equação 1, e posteriormente sua substituição na equação 2, com parâmetros definidos para um solo de características argilosas (Fensterseifer, 2014) (sucção capilar de 320,04 mm, condutividade de 0,254 mm/h e déficit inicial de 0,378).

$$F_{(t)} - \psi \times \Delta\theta \times \ln \left(1 + \frac{F_{(t)}}{\psi \times \Delta\theta} \right) = K \times t \quad (1)$$

$$f_{(t)} = K \times \left(\frac{\psi \times \Delta\theta + F}{F} \right) \quad (2)$$

sendo:

ψ = pressão de sucção (mm);

t = tempo (horas);

K = condutividade hidráulica (mm/h);

$F(t)$ = é a lâmina total infiltrada desde o início do processo (mm);

$\Delta\theta$ = déficit inicial de umidade do solo em relação a saturação (adimensional).

A cota de radier de nós foi definida subtraindo-se o diâmetro da tubulação de 1 metro de recobrimento da cota do terreno, sendo essa uma limitação, uma vez que não há levantamento da geratriz inferior dos tubos. A rugosidade dos condutos foi determinada pelo coeficiente de Manning para tubos de concreto ($n=0,013$), com forma circular e dimensões obtidas da planta baixa.

Os dados pluviométricos foram definidos a partir da equação Intensidade Duração e Frequência (IDF) proposta por Corso (2018), conforme Equação 3.

$$I = \frac{901,203 \times TR^{0,172}}{(t+9,791)^{0,724}} \quad (3)$$

sendo:

TR = tempo de retorno (anos);

t = duração da chuva (min);

I = intensidade da chuva (mm/h)

A rede foi testada para diferentes tempos de retorno da precipitação (5, 10, 15, 25 e 50 anos), evidenciando sobrecarga no cenário de 50 anos. O tempo de duração da chuva foi calculado através do tempo de concentração, utilizando o método de Ventura (Equação 4), adequado para grandes e pequenas bacias (Sampaio et al., 2016).

$$t_c = 240 \times \sqrt{\frac{A \times L}{H}} \quad (4)$$

sendo:

tc = tempo de concentração (min);

A = área (km^2);

L = comprimento do talvegue (km);

H = diferença de cotas do talvegue (m).

O hietograma de projeto foi elaborado pelo método dos blocos alternados, sendo majorado em 60% para obtenção do tempo de pico da bacia, com blocos em intervalos de 10 minutos (Collischonn; Tassi, 2011). A distribuição das bacias, os nós e trechos da drenagem no SWMM são apresentados na Figura 2.

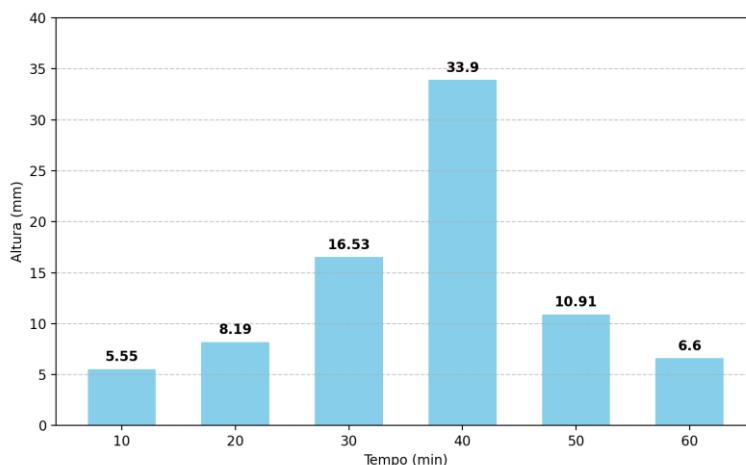
Figura 2 – Distribuição das sub-bacias, nós e trechos da área de estudo no SWMM



RESULTADOS

O hietograma da chuva de projeto para TR 50 anos é apresentado na Figura 3, cujo pico de precipitação ocorre aos 40 minutos com 33,9 mm e chuva total de 81,68 mm em 60 minutos.

Figura 3- Hietograma de Projeto



Após a simulação foram obtidos os dados apresentados na Tabela 1, além da síntese de fluxo de entrada nos nós, inundação e sobrecarga dos nós, síntese de fluxo nos nós e sobrecarga nos condutos. Também foram obtidos os hidrogramas dos trechos críticos e o perfil longitudinal.

Tabela 1 – Resultados do balanço hídrico

Balanço Hídrico	Volume hectare*m	Altura mm
Precipitação total	2,032	13,613
Perdas por infiltração	1,603	10,745
Escoamento superficial final	0,404	2,705
Armazenamento superficial final	0,028	0,190

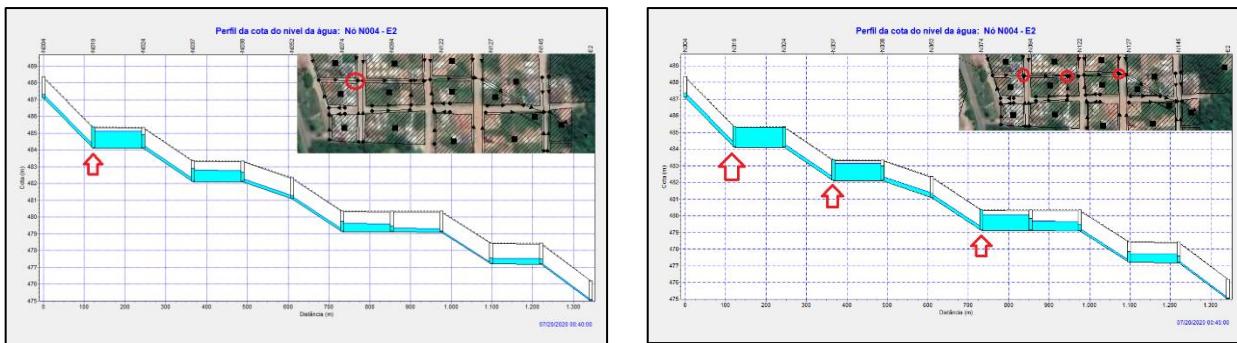
O trecho crítico, localizado no talvegue, é composto por uma rede de diâmetro de 1200mm. Essa rede foi testada, demonstrando que não atende aos critérios da relação de enchimento e velocidade, fazendo com que os condutos fiquem sob pressão, o que pode ser visualizado na Tabela 2.

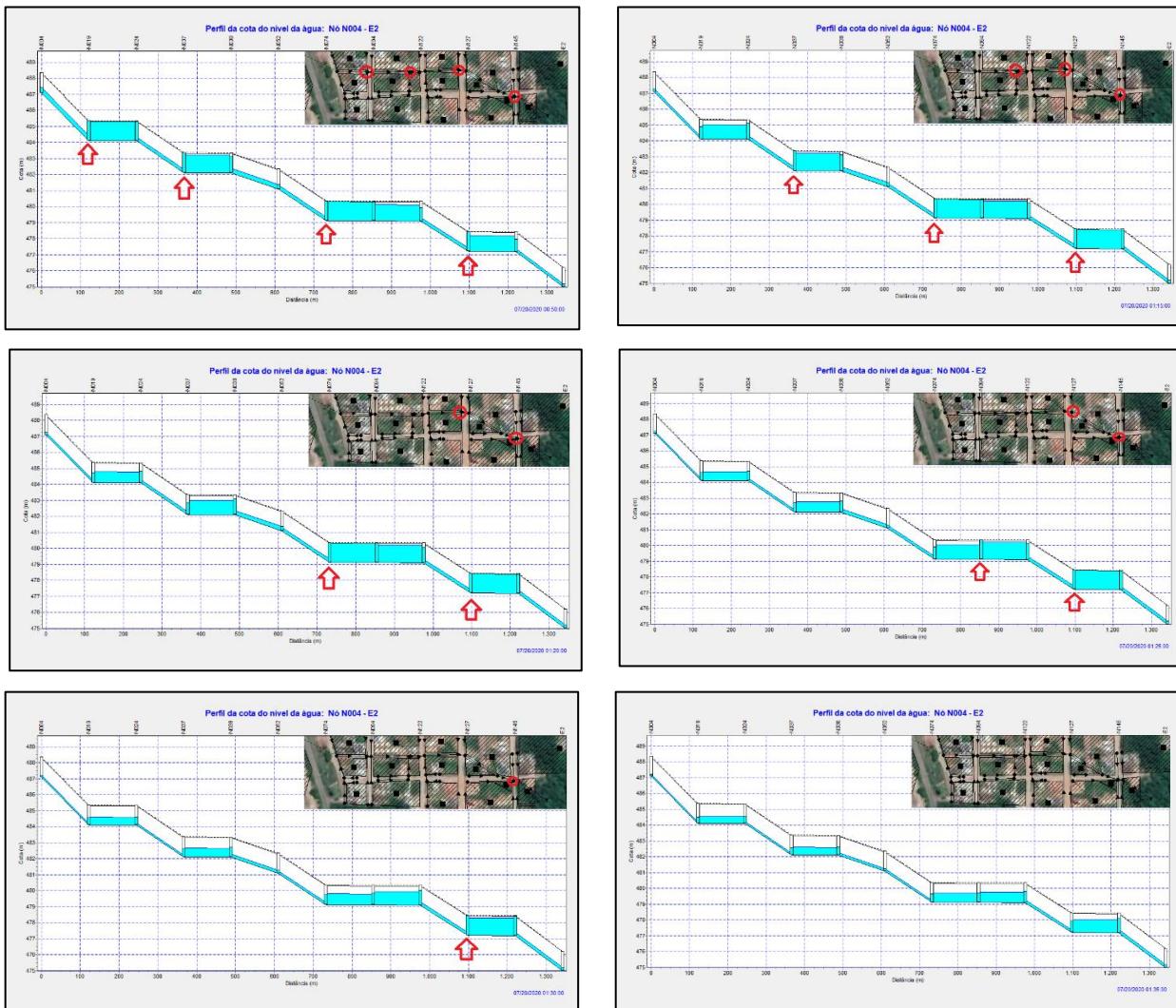
Tabela 2 – Dimensionamento hidráulico da situação atual

	Área (m ²)	Q Trecho	Diâmetro	n	FH	Y/D	Velocidade
	Total	m ³ /s	m	-	-	%	m/s
N004-N019	1276200	4,650	1,20	0,013	0,206	0,59	6,63
N019 - N38	1310400	5,023	1,20	0,013	4,325	1,0	0,32
N038 - N074	1352300	5,193	1,20	0,013	0,067	0,31	16,86
N074 - N122	1373100	5,703	1,20	0,013	2,773	1,0	0,57
N122- EXUTÓRIO	1389000	5,703	1,20	0,013	0,081	0,34	16,07

A Figura 4 apresenta o perfil longitudinal do trecho crítico e a localização de cada nó de interesse. Conforme os resultados obtidos, o primeiro alagamento ocorre aos 00:40 minutos após o início da chuva no nó N019, e a mesma persiste até 01:15 após o início da chuva.

Figura 4- Resultado da simulação: perfil do trecho do talvegue (N04 – Exutório) em diferentes intervalos de tempo





Após 5 minutos, os nós N037 e N074 também não suportam a vazão escoada, ocorrendo extravasamento. Aos 50 minutos, o fluxo que chega ao nó N127 também não é suportado, terminando em 01h30min após o início da chuva.

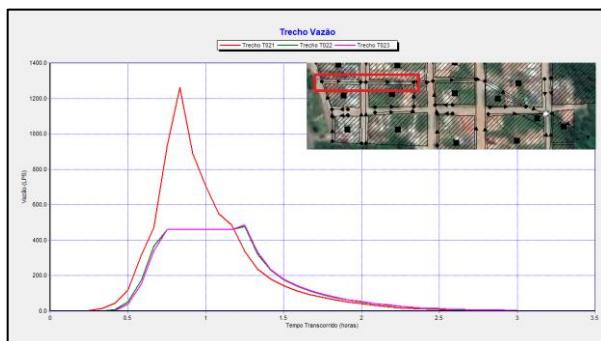
A partir dos dados obtidos, observa-se que o escoamento superficial final é superior à capacidade de armazenamento do sistema, evidenciando que a malha necessita de técnicas compensatórias para que o armazenamento aumente e o escoamento diminua, ou também, a troca das galerias do trecho crítico que não suportam a vazão de escoamento para uma chuva de 50 anos de recorrência. A Tabela 3 demonstra os nós que sofrem com alagamento em eventos críticos com elevado período de retorno, em que a tubulação projetada não responde efetivamente, demonstrando o subdimensionamento que leva ao problema em questão.

Tabela 3 – Síntese da inundação nos nós do sistema de drenagem analisado

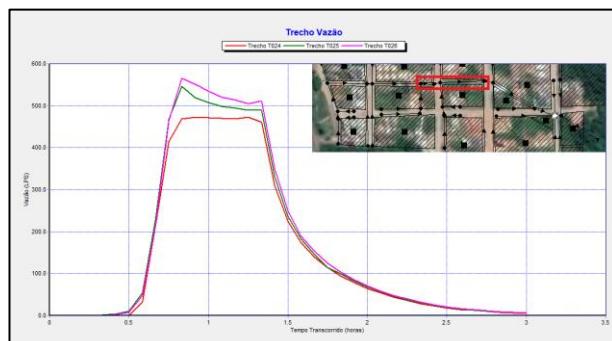
Nó	Vazão máxima (l/s)	Volume total inundado 10 ⁶ (l)	Nó	Vazão máxima (l/s)	Volume total inundado 10 ⁶ (l)
N019	872,92	0,692	N050	45,51	0,042
N035	22,62	0,016	N074	199,61	0,231
N037	40,95	0,046	N094	33,77	0,006
N041	62,87	0,063	N127	128,4	0,12

A Figura 5 (a,b,c,d) mostra os hidrogramas do trecho crítico, que demonstram as vazões suportadas pela tubulação. No hidrograma do trecho inicial (Figura 4a), correspondente ao N04 a N37, destacam-se picos de vazão significativamente mais elevados, atingindo cerca de 1300 l/s. Nos trechos seguintes observa-se uma limitação de escoamento, entre 500 e 600 l/s. O excedente ocorre com extravasamento do ponto, mostrando que o atual trecho não está dimensionado adequadamente para vazões de projeto com período de retorno de 50 anos, sendo necessário realizar intervenções estruturais e não estruturais para minimizar os alagamentos no trecho.

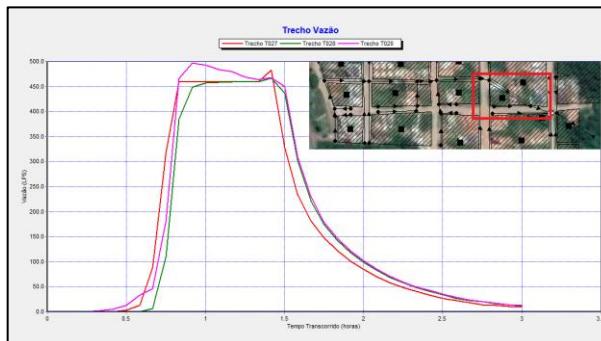
Figura 5- Hidrogramas da simulação de alagamento do trecho do talvegue (N04 – Exutório)



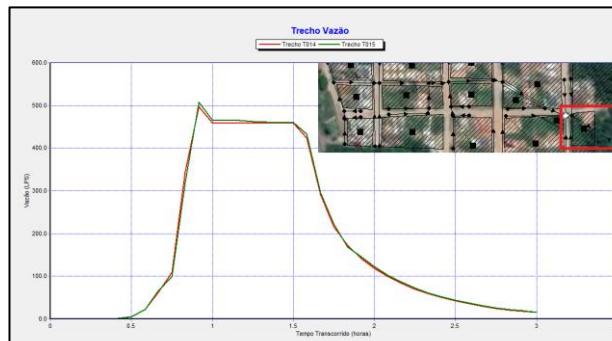
a) Hidrograma dos trechos 021, 022 e 023



b) Hidrograma dos trechos 024, 025 e 026



c) Hidrograma dos trechos 027, 028 e 020



d) Hidrograma dos trechos 014 e 015

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo analisou o comportamento hidráulico da rede na área alvo, historicamente impactada por eventos pluviométricos de maior intensidade, e identificou os principais pontos de estrangulamento existentes. A análise das atuais condições da rede com a utilização do software SWMM revelou a existência de trechos críticos subdimensionados para suportar vazões geradas por chuvas com maiores períodos de retorno. Tal condição culmina em frequentes alagamentos e significativos transtornos para a população residente.

Os resultados obtidos evidenciam a necessidade de intervenções nas estruturas existentes. Propõe-se, assim, o redimensionamento de galerias, a implementação de bacias de detenção localizadas à montante do trecho crítico, ou a adoção de técnicas compensatórias de drenagem em cada bacia de contribuição. O propósito dessas medidas é mitigar e regular a vazão no trecho crítico, prevenindo futuros transbordamentos e alagamentos.

Adicionalmente, ressalta-se a robusta capacidade do software SWMM para simular elementos da drenagem urbana. Esta ferramenta permite a análise de diversas alternativas para a resolução dos

problemas diagnosticados, possibilitando a proposição de soluções sustentáveis e de longo prazo. Tais soluções serão embasadas em evidências e em estudos mais aprofundados sobre a drenagem da região, considerando a intrínseca relação entre o uso e ocupação do solo e as condições das estruturas de infraestrutura hídrica atualmente existentes.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, S.; PENG, X.; ASHRAF, A.; YIN, D.; CHEN, Z.; AHMED, R.; ISRAR, M.; JIA, H. (2025). “Building resilient urban drainage systems by integrated flood risk index for evidence-based planning”. *Journal of Environmental Management*, v. 374. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124130>.
- CHEN, G.; HOU, J.; LIU, Y.; LI, X.; QIAO, X.; LI, D. (2024). “Study on the sensitivity of urban inundation and watershed flood simulation to rainfall data spatial resolution”. *Urban Climate*, v. 57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102125>.
- COLLISCHONN, Walter et al. Chuvas sem precedentes de abril a maio de 2024 no Sul do Brasil definem novo recorde. 2024.
- CORSO, C. **Determinação de curvas intensidade-duração-frequência (idf) para a região da encosta superior do nordeste**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil, Universidade de Caxias do Sul, 2018.
- COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. Introduzindo hidrologia. Porto Alegre: Iph Ufrgs, 2011. 282 p. <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.9773>
- FENSTERSEIFER, Sandro Luciano Barreto. **Influência da resolução espacial do pixel a aplicação do modelo de simulação swat na bacia hidrográfica do rio Guaporé, RS**. 2014. 172 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.
- IBGE. Moradores em domicílios particulares permanentes ocupados, em setores censitários selecionados para a Pesquisa Urbanística do Entorno dos Domicílios, por sexo, grupos de idade e características do entorno por bueiro, iluminação pública, calçada e rampa para cadeirante. 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/9587>. Acesso em: 22 jun. 2025.
- LIU, G.; FANG, H.; DI, D.; DU, X.; ZHANG, S.; XIAO, L.; ZHANG, J.; ZHANG, Z. (2024). “Clarifying urban flood response characteristics and improving interpretable flood prediction with sparse data considering the coupling effect of rainfall and drainage pipeline siltation”. *Science of The Total Environment*, v. 953. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176125>.
- MONTALVO, C.; REYES-SILVA, J.; SAÑUDO, E.; CEA, L.; PUERTAS, J. (2024). “Urban pluvial flood modelling in the absence of sewer drainage network data: A physics-based approach”. *Journal of Hydrology*, v. 634. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131043>.
- NAÇÕES UNIDAS. Relatório Anual das Nações Unidas no Brasil 2023. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/271918-relat%C3%BDrio-anual-das-na%C3%A7%C3%A5es-unidas-no-brasil-2023>. Acesso em: 13 jul. 2024.
- PATI, A. SAHOO, B.; KALE, R. (2025). “A coupled modeling approach for urban flood inundation mapping under data-limited conditions”. *Journal of Hydrology*, v. 661. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.133573>.

SAMPAIO, Amanda Sousa et al. Análise do tempo de concentração em função das características fisiográficas em bacias rurais. XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Aracaju, v. 1, n. 1, p. 1-10, nov. 2016.

XING, Y. SHAO, D.; YANG, Y.; LIN, Q.; XU, Z. (2025). “Evaluation of drainage efficiency via street inlets under the influence of terrain slope in the course of pluvial urban flood event”. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102243>.

ZHU, W.; CAO, Z.; LUO, P.; WANG, S.; XV, C.; JI, Y. (2025) “An urban flood inundation model accelerated by the parallel acceleration technology”. *Environmental Modelling & Software*, v. 189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2025.106441>.

ZHANG, X; KANG, A.; LEI, X.; WANG, H. (2024). “Urban drainage efficiency evaluation and flood simulation using integrated SWMM and terrain structural analysis”. *Science of The Total Environment*, v. 957, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177442>.

WANG, Z.; CHEN, Y.; ZENG, Z.; CHEN, X.; LI, X.; JIANG, X.; LAI, C. (2024). “A tight coupling model for urban flood simulation based on SWMM and TELEMAC-2D and the uncertainty analysis” *Sustainable Cities and Society*, v. 114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105794>.

WESTRA, Seth et al. Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. *Reviews of Geophysics*, v. 52, n. 3, p. 522-555, 2014.
<https://doi.org/10.1002/2014RG000464>