

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE DRENAGEM PLUVIAL EM ÁREAS URBANAS. ESTUDO DE CASO: SUB-BACIA DE NOVA FLORESTA/PB

*Vinícius Santos Oliveira¹; Sonaly Rodrigues Felix²; José Matheus da Silva Miranda³; Joab Kleber
Lucena Machado⁴; Aurea Kelly Jordão Borges de Araújo⁵; Victor Leite de Lacerda⁶; Andréa
Carla Lima Rodrigues⁷; Dayse Luna Barbosa⁸; Sinara Martins Camelo⁹ & Maria Adriana de
Freitas Mágero Ribeiro¹⁰*

RESUMO – O processo acelerado de urbanização, aliado à impermeabilização do solo e à ausência de planejamento adequado, tem intensificado a ocorrência de alagamentos em áreas urbanas, gerando impactos ambientais e sociais. Nesse contexto, as medidas compensatórias de drenagem, emergem como complemento às abordagens convencionais, com o objetivo de reduzir o escoamento superficial e restabelecer, parcialmente, as condições naturais das bacias urbanas. Assim, este estudo tem como objetivos analisar o sistema de drenagem urbana e propor intervenções sustentáveis em uma sub-bacia do município de Nova Floresta/PB. A metodologia incluiu a caracterização da área avaliada por meio de geoprocessamento no QGIS e levantamentos de campo, seguida da modelagem hidrológica no software SWMM. Foram simulados três cenários: condição natural, situação atual com drenagem convencional existente e cenário com medidas sustentáveis, considerando tempos de retorno de 5 e 10 anos. Os resultados indicaram que o sistema convencional reduziu os pontos de alagamento, porém elevou os picos de vazão, aumentando riscos a jusante. Por outro lado, as medidas compensatórias mostraram maior eficiência, ao reduzir o volume escoado e amortecer o hidrograma. Por fim, concluiu-se que a modelagem hidrológica demonstrou ser uma ferramenta essencial para o planejamento urbano sustentável e as medidas compensatórias foram alternativas viáveis para redução de problemas associados a drenagem pluvial na área estudada.

Palavras-Chave – Drenagem convencional; Medidas compensatórias; Simulações hidrológicas

ABSTRACT– The accelerated process of urbanization, combined with soil impermeabilization and inadequate planning, has intensified the occurrence of urban flooding, generating environmental and social impacts. In this context, compensatory drainage measures have emerged as a complement to conventional approaches, aiming to reduce surface runoff and partially restore the natural conditions of urban watersheds. Thus, this study aims to analyze the urban drainage system and propose sustainable interventions in a sub-basin located in the municipality of Nova Floresta, Paraíba, Brazil. The methodology included the characterization of the study area through geoprocessing using QGIS and field surveys, followed by hydrological modeling in the SWMM software. Three scenarios were simulated: natural conditions, the current situation with existing conventional drainage, and a scenario incorporating sustainable measures, considering return periods of 5 and 10 years. The results indicated that the conventional system reduced flooding points; however, it increased peak flows, thereby

1) Universidade Federal de Campina Grande, vsoonze@gmail.com

2) Universidade Federal de Campina Grande, felix.sonaly6@gmail.com

3) Universidade Federal de Campina Grande, matheus45sm@gmail.com

4) Universidade Federal de Campina Grande, joabmachado@gmail.com

5) Universidade Federal de Campina Grande, engaureajborges@gmail.com

6) Universidade Federal de Campina Grande, victor.leite@estudante.ufcg.edu.br

7) Universidade Federal de Campina Grande, andreaufcg@gmail.com

8) Universidade Federal de Campina Grande, dayseluna@yahoo.com.br

9) Universidade Federal de Campina Grande, sinara@hotmail.com

10) Universidade Estadual da Paraíba, drickadefreitas@yahoo.com.br

raising downstream risks. In contrast, compensatory measures proved more efficient by reducing runoff volume and attenuating the hydrograph. Finally, it is concluded that hydrological modeling is an essential tool for sustainable urban planning, and compensatory measures represent viable alternatives for mitigating stormwater drainage issues in the studied area.

Key-words – Conventional drainage; Compensatory measures; Hydrological simulations

INTRODUÇÃO

No cenário de crescente urbanização no Brasil, a população urbana correspondia a aproximadamente 87,41% da população total no Censo Demográfico de 2022, evidenciando aumento em relação aos 84% registrados em 2010 (IBGE, 2022). Esse crescimento urbano acelerado, quando não acompanhado de planejamento adequado, intensifica pressões sobre os sistemas naturais, gerando desafios ambientais e socioeconômicos associados à gestão e ao planejamento urbano, com reflexos diretos na qualidade de vida da população.

Nesse contexto, a expansão urbana desordenada promove a impermeabilização do solo, reduzindo a infiltração de água e a evapotranspiração, ao mesmo tempo em que eleva o escoamento superficial (Alves, 2017). Como consequência, observa-se o aumento da frequência e da intensidade de eventos de alagamento, evidenciando limitações dos sistemas de drenagem urbana e ocasionando impactos significativos sobre a mobilidade, as edificações e as atividades econômicas.

No Brasil, a gestão da drenagem pluvial urbana está amparada por instrumentos legais, como a Lei nº 9.433/1997, que estabelece diretrizes para a gestão de recursos hídricos, e a Lei nº 11.445/2007, atualizada pela Lei nº 14.026/2020, que trata do saneamento básico. Contudo, as práticas predominantes ainda se baseiam em soluções convencionais, voltadas à rápida condução das águas pluviais para jusante, frequentemente transferindo os problemas para outras áreas da bacia.

Diante dessas limitações, ganha destaque a necessidade de integração entre drenagem urbana e planejamento territorial, incorporando abordagens mais sustentáveis. Nesse sentido, emergem conceitos como *Low Impact Development* (LID), *Water Sensitive Urban Design* (WSUD) e *Sustainable Drainage Systems* (SuDS), que priorizam o uso de superfícies permeáveis e soluções baseadas na natureza, promovendo benefícios ambientais, sociais e paisagísticos.

Adicionalmente, a construção de cidades resilientes demanda a adoção de estratégias capazes de mitigar os impactos da urbanização e promover soluções inovadoras e sustentáveis. Nesse cenário, os modelos hidrológicos destacam-se como ferramentas essenciais para a análise do comportamento do sistema de drenagem, permitindo a simulação de diferentes cenários e a avaliação de alternativas de manejo das águas pluviais.

O presente estudo avalia o sistema de drenagem urbana em uma sub-bacia de Nova Floresta/PB por meio de simulações hidrológicas em diferentes cenários. Embora se trate de um município de

pequeno porte, contexto ainda pouco explorado na literatura, observa-se urbanização desordenada, com elevada impermeabilização do solo e ocorrência de alagamentos. Nesse cenário, limitações técnicas e financeiras reforçam a importância de soluções sustentáveis adaptadas à realidade local, evidenciando a aplicabilidade de medidas compensatórias mesmo em áreas com menor infraestrutura.

METODOLOGIA

Caracterização e delimitação da sub-bacia de estudo

Inicialmente, a área urbana de Nova Floresta/PB foi caracterizada a partir de dados secundários, levantamentos de campo e ferramentas de geoprocessamento, com apoio do *Google Earth* e do *QGIS*. Em seguida, foi delimitada uma sub-bacia representativa, com base no Modelo Digital de Elevação (MDE) (*ALOS PALSAR*, 12,5 m), considerando o exutório definido em projeto de drenagem existente e em pontos críticos de alagamentos, segundo dados de reportagens (TV CORREIO, 2019).

A sub-bacia foi subdividida em unidades menores, conforme a Figura 1, correspondentes às quadras urbanas, permitindo a parametrização detalhada de variáveis como área, declividade, percentual de impermeabilização e coeficientes de rugosidade.

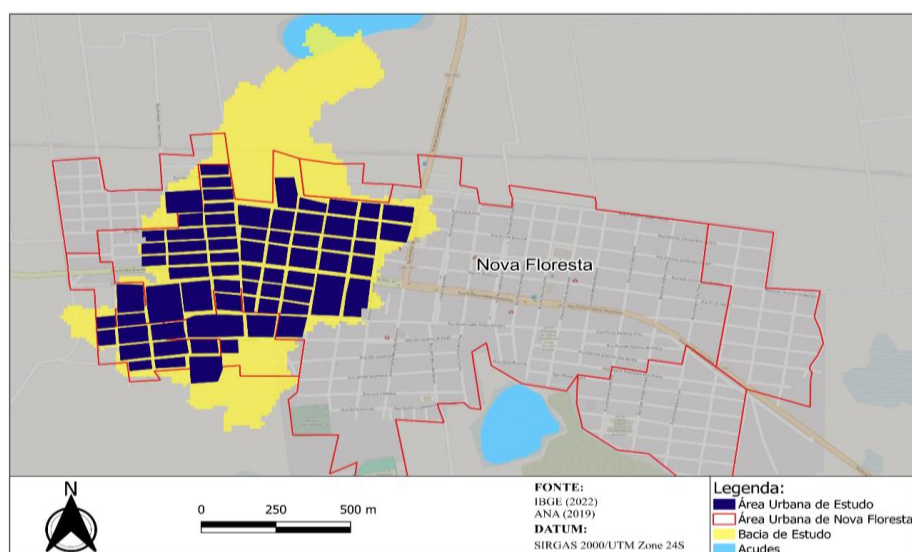


Figura 1 – Localização da área de estudo

O uso e ocupação do solo foram mapeados por análise geoespacial, enquanto o diagnóstico da microdrenagem foi realizado por meio de visitas *in loco*, identificando inconsistências na infraestrutura existente. Pôde-se observar, por meio de técnicas de geoprocessamento, que as áreas impermeáveis incluem lotes residenciais, instituições de ensino, religiosas e comerciais, caracterizadas por superfícies pavimentadas. Com base nessas informações, foi calculada a porcentagem de impermeabilização de cada sub-bacia em relação à sua área total. Já as áreas permeáveis são formadas por terrenos vazios e áreas verdes. Os coeficientes de rugosidade de *Manning* para áreas impermeáveis (NI) e permeáveis (NP) estão detalhados nas Tabelas 1 e 2 e foram

estimados com base nas características do revestimento do solo. Além disso, há o valor correspondente também aos condutos e vias.

Tabela 1 – Coeficiente de rugosidade de *Manning* para as áreas permeáveis e impermeáveis da sub-bacia

Parâmetro	Sigla	Valor
Coeficiente de rugosidade de <i>Manning</i> - Superfícies impermeáveis	NI	0,013
Coeficiente de rugosidade de <i>Manning</i> - Superfícies permeáveis	NP	0,05 0,13

Fonte: Rossman (2015)

Tabela 2 – Coeficiente de rugosidade de *Manning* para os condutos

Conduto	Superfície	n-Manning
Galeria	Concreto	0,013
Vias pavimentadas	Asfalto	0,015
	Paralelepípedo	0,03
Vias não pavimentadas	Solo	0,025

Fonte: Rossman (2015)

Diagnóstico do sistema de drenagem

Foram identificados e analisados os elementos de microdrenagem existentes. Apesar do sistema ter sido recentemente projetado e executado, verificaram-se inconformidades, como ausência de bocas de lobo, tampas de concreto danificadas e dispositivos implantados fora do meio-fio. Os parâmetros hidráulicos, como diâmetro, profundidade e declividade, foram adotados conforme o projeto de drenagem fornecido pela Superintendência de Obras do Plano de Desenvolvimento do Estado da Paraíba (SUPLAN), referente à rede implantada no município.

Ainda assim, realizou-se o cadastramento do sistema, com delimitação de 125 sub-bacias, inserção de 144 nós e 144 trechos, correspondentes aos condutos fechados com geometria circular (Figura 2).

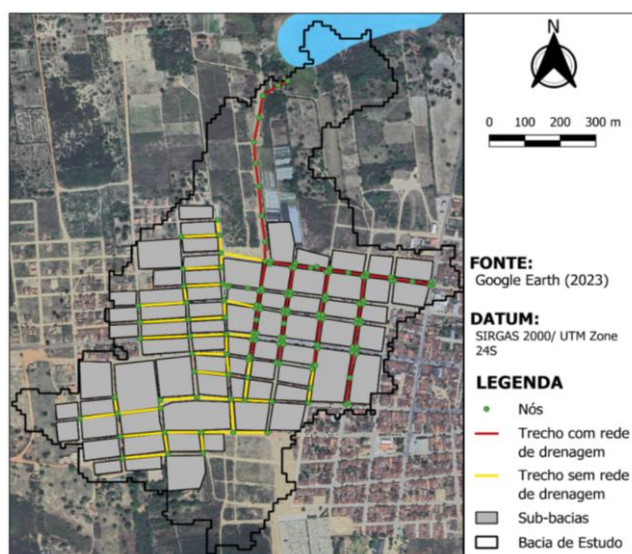


Figura 2 – Elementos do sistema de drenagem da área de estudo

Como a execução não abrangeu toda a área de estudo, utilizou-se o MDE para parametrizar as regiões não contempladas e considerou as ruas como canais, sendo a profundidade máxima das vias corresponde à altura do meio fio. Para a análise dos resultados, considerou-se a profundidade máxima das vias caracterizadas como condutos alcançando 15 cm, enquanto para os poços de visita da rede, observou-se a profundidade máxima de 120 cm.

Escolha da medida compensatória

Após a análise de campo, selecionou-se a bacia de retenção como medida compensatória de drenagem, priorizando sua implantação em áreas públicas para evitar intervenções em propriedades privadas (Baptista, 2005; Righetto, 2009). A escolha baseou-se na viabilidade de aplicação em diferentes tipos de uso do solo (Tucci, 2003), na contribuição ao resfriamento evaporativo urbano (NBR 15220/2003) e pela existência de espaços adequados na área avaliada para a implantação dessa medida. O dispositivo foi alocado em um terreno compactado e sem uso, com baixa capacidade de infiltração.

No modelo Storm Water Management Model (SWMM), as bacias de retenção foram representadas por unidades de armazenamento (nós), responsáveis pelo volume acumulado. A definição das áreas aptas considerou a disponibilidade de espaços públicos amplos, sem restrições de uso e com potencial para controle do escoamento, além de parâmetros recomendados pelo *software*. Os dispositivos de saída, como orifícios e vertedores, foram modelados como links conectando o nó de armazenamento ao nó a jusante. A Tabela 3 apresenta os parâmetros adotados para inserção da medida.

Tabela 3 – Parâmetros para inserção da bacia de retenção

Parâmetros	Valor
Área (m ²)	15.000
Altura (m)	2
Reguladores de fluxo	
Diâmetro do orifício (m)	0,05
Coeficiente de descarga (orifício) - Co	0,65
Dimensões do vertedor trapezoidal	
Altura - hw (m)	1
Largura - Lw (m)	1
Coeficiente de descarga (vertedor) - Cw	3,33

Fonte: Autores (2026).

Considerando que a bacia de retenção não altera a vazão no exutório da bacia de drenagem, mas atua localmente no ponto de sua implantação, foram analisados os hidrogramas nos trechos imediatamente a montante e a jusante do dispositivo.

Simulações hidrológicas no SWMM

A modelagem hidrológica foi desenvolvida adotando o método do *Curve Number* (CN) para infiltração e o modelo de onda dinâmica para propagação do escoamento. De acordo Ramos (2022) para a região de Nova Floresta/PB, a classificação predominante do solo é composta por Latossolos Vermelhos Distróficos, Luvisolos Crônicos e Neossolos Regolíticos. E, com base nos dados apresentados no mapa de classificação de solos e em alinhamento com a categorização estabelecida pelo SCS (1964), é possível classificar o solo do município no Grupo C. Assim, o CN médio foi calculado para cada sub-bacia a partir dos valores de CN correspondentes a cada tipo de uso do solo.

O modelo foi calibrado com base em um evento real de precipitação intensa (181,5 mm em 4 h), ocorrido em 04 de fevereiro de 2019 (PORTAL DO CURIMATAÚ, 2019), utilizando a distribuição temporal pelo método de *Huff*, resultando em ajuste satisfatório para 91,7% dos pontos analisados. As áreas mais críticas foram identificadas nas ruas Elpídio Sabino e Presidente João Pessoa, correspondendo aos trechos de maior vulnerabilidade no município e áreas mais baixas da região estudada.

Vale ressaltar que não foi levado em consideração o retorno da água extravasada pelos nós na simulação, representado pelas áreas alagadas, essa água foi considerada como uma perda para o sistema, já que esse contexto também permite avaliar o desempenho do sistema (Rossman, 2015).

As chuvas de projeto foram definidas a partir de curvas IDF locais, cujos coeficientes foram calculados por Aragão *et al.* (2024), para tempos de retorno de 5 e 10 anos. Para a estimativa do tempo de concentração, utilizou-se a fórmula de *Kirpich*, considerando o percurso entre o ponto mais distante da bacia e o exutório, resultando em aproximadamente 35 minutos. A discretização da chuva de projeto foi realizada pelo Método dos Blocos Alternados, com intervalos de 5 minutos. Adotou-se ainda o conceito de tempo de recuperação, conforme proposto por Alves (2017) e aplicado por Felix (2024), fixado em 30 minutos após o término da precipitação.

Por fim, foram simulados três cenários: condição pré-urbanização, situação atual com drenagem convencional e cenário com implantação de medida compensatória (bacia de retenção), conforme Figura 3. Essa abordagem permitiu avaliar o desempenho hidrológico do sistema e a conectividade de soluções sustentáveis no controle do escoamento superficial.

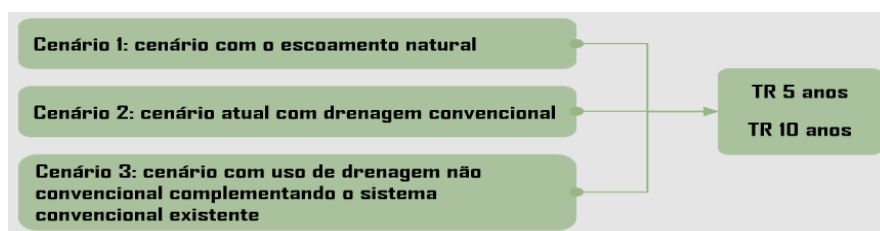


Figura 3 – Cenários simulados

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Simulação do cenário 1

No cenário 1 (escoamento natural), foram identificados 11 e 12 pontos críticos para tempos de retorno de 5 e 10 anos, respectivamente, evidenciando a elevada suscetibilidade da área a alagamentos. Os hidrogramas (Figura 4) indicaram resposta hidrológica rápida, com picos de vazão de 1,12 m³/s. Esse comportamento está associado à concentração do escoamento em áreas de menor altitude, combinada a níveis já significativos de impermeabilização, mesmo em condições prévias à implantação da rede de drenagem. Tal padrão é consistente com estudos recentes que demonstram que alterações iniciais no uso do solo já são suficientes para intensificar o escoamento superficial e aumentar a ocorrência de alagamentos em áreas urbanas (Zhang; Chen; Liu, 2023; Li *et al.*, 2024).

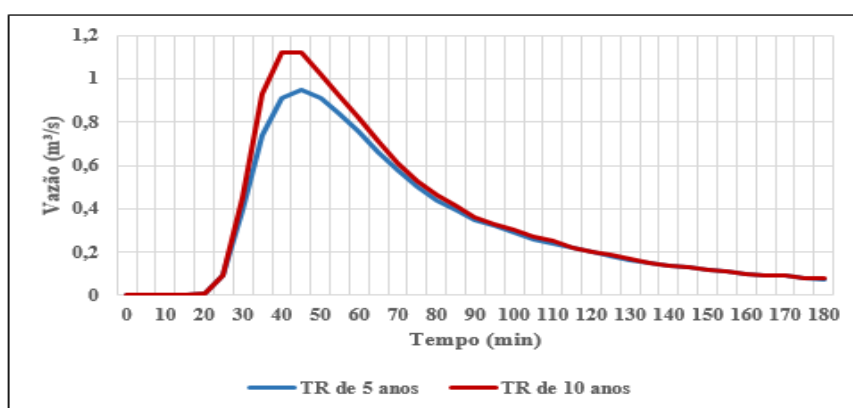


Figura 4 - Hidrogramas para TR de 5 e 10 anos – Cenário 1

Simulação do cenário 2

No cenário 2 (drenagem convencional), observou-se redução de aproximadamente 82% dos pontos de alagamento, restando apenas dois pontos críticos. Esse resultado evidencia a eficiência hidráulica do sistema na rápida condução das águas pluviais. No entanto, verificou-se aumento expressivo das vazões de pico (até 7,58 m³/s), acompanhado da antecipação do tempo ao pico, caracterizando uma resposta hidrológica mais rápida e concentrada (Figura 5).

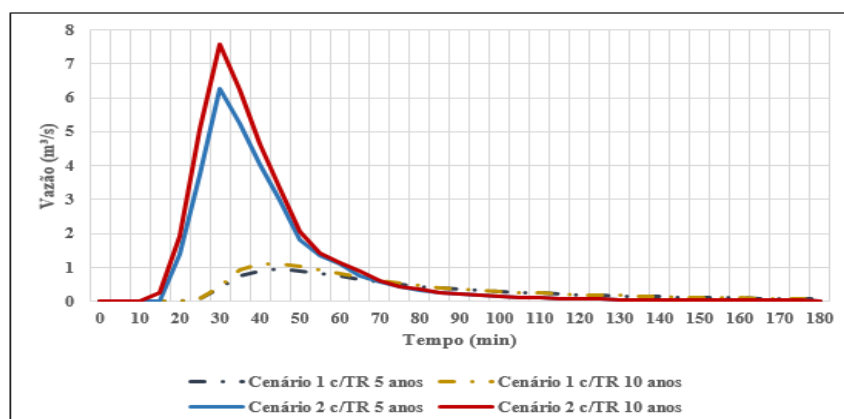


Figura 5 - Hidrogramas pós drenagem convencional para TR de 5 anos e TR de 10 ano – Cenário 2

Estudos recentes indicam que sistemas convencionais tendem a amplificar picos de vazão e reduzir o tempo de concentração, aumentando a vulnerabilidade a jusante (Li *et al.*, 2024; Kumar; Kumar; Singh, 2024). Em termos quantitativos, a literatura recente aponta aumentos de até 2 a 5 vezes nos picos de vazão em áreas urbanizadas; no presente estudo, o aumento observado supera essa faixa, indicando uma intensificação mais acentuada da resposta hidrológica, associada à hidráulica da rede.

Simulação do cenário 3

No cenário 3 (medida compensatória), a implantação da bacia de retenção eliminou os alagamentos remanescentes e promoveu redução significativa dos picos de vazão, variando entre 87% e 89%, além de proporcionar o amortecimento do hidrograma (Figuras 6 e 7). Esse desempenho está diretamente relacionado ao armazenamento temporário e ao controle do escoamento na fonte. Estudos recentes sobre técnicas *LIDs* e *SuDS* indicam reduções típicas de 30% a 70% nos picos de vazão, além do atraso no tempo ao pico e aumento do armazenamento (Ahiablame; Shakya; Hayes, 2023; Zhang; Chen; Liu, 2023). Nesse contexto, os valores obtidos neste estudo situam-se na faixa superior, e até acima, dos reportados na literatura recente, evidenciando elevada eficiência da solução proposta.

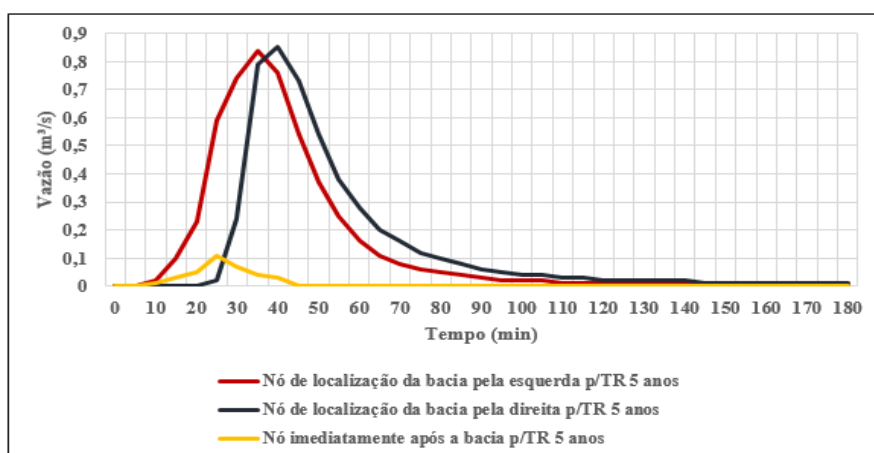


Figura 6 - Hidrogramas dos pontos da bacia de retenção e do trecho imediatamente após para TR 5 anos – Cenário 3

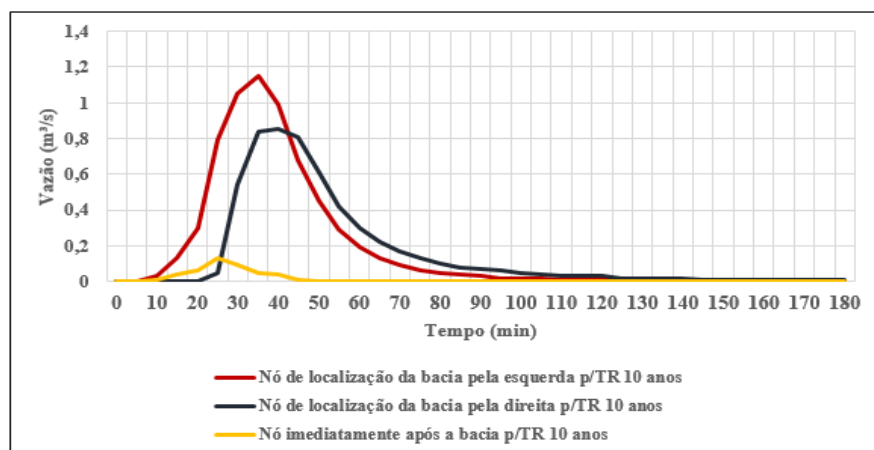


Figura 7 - Hidrogramas dos pontos da bacia de retenção e do trecho imediatamente após para TR 10 anos – Cenário 3

Além disso, pesquisa recente destaca que a adoção de soluções baseadas na natureza pode aumentar a resiliência dos sistemas de drenagem em até cerca de 20%, além de reduzir a quantidade de pontos vulneráveis na rede (*Li et al.*, 2024). Os resultados obtidos corroboram essa abordagem, ao demonstrar que a integração entre drenagem convencional e medidas compensatórias promove melhor desempenho hidrológico global. No entanto, a literatura também ressalta que reduções muito elevadas podem estar associadas a intervenções localizadas e dependem fortemente das características da bacia e da escala de implementação (Kumar; Kumar; Singh, 2024).

CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou a resposta hidrológica de uma sub-bacia urbana por meio de técnicas de geoprocessamento e modelagem no *SWMM*. Os resultados evidenciaram que diferentes configurações de drenagem influenciam significativamente o escoamento superficial, especialmente quanto à ocorrência de alagamentos, vazões de pico e volumes escoados.

No cenário natural, os alagamentos associaram-se à concentração de fluxo em áreas de menor altitude e elevada impermeabilização. A drenagem convencional reduziu expressivamente os pontos críticos ($\approx 80\%$), porém aumentou as vazões de pico e acelerou a resposta hidrológica, indicando transferência de impactos para jusante. Já a bacia de retenção mostrou-se eficaz na mitigação dos alagamentos remanescentes e na redução dos picos de vazão, promovendo o amortecimento do hidrograma.

De forma geral, os resultados reforçam a importância da integração entre sistemas convencionais e soluções sustentáveis de drenagem urbana, bem como o uso da modelagem hidrológica como ferramenta de apoio ao planejamento urbano. Ao abordar um município de pequeno porte, o estudo amplia essa discussão para contextos ainda pouco explorados, demonstrando que medidas compensatórias são tecnicamente viáveis mesmo diante de limitações estruturais. Contudo, sua implementação depende de fatores institucionais e econômicos, como disponibilidade de recursos, capacidade técnica e integração com instrumentos de planejamento urbano.

Assim, o trabalho contribui não apenas para o avanço técnico-científico, mas também para a formulação de políticas públicas voltadas à gestão sustentável das águas pluviais, especialmente em cidades de menor porte.

REFERÊNCIAS

ALVES, P. B. R. (2017). “*Simulação de medidas compensatórias sustentáveis de drenagem: propostas em duas microbacias urbanas*”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2017.

- AHIABLAME, L. M.; SHAKYA, R.; HAYES, L (2023). “*Performance of low impact development practices under climate variability and urbanization scenarios*”. Water, v. 15, 2023.
- ARAGÃO, R.; COSTA, F. F.; RUFINO, I. A. A. (2024). “*Intensity-Duration-Frequency equations (IDF) for the state of Paraíba, Brazil, and regionalization of its parameters*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 28 (10).
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N. de O.; BARRAUD, S. (2005). “*Técnicas compensatórias em drenagem urbana*”. Porto Alegre: Editora ABRH.
- FELIX, S. R. (2024). “*Avaliação da implementação de pavimentos permeáveis para melhoria da drenagem em uma área urbana de Campina Grande - PB*”. XV Encontro Nacional de Águas Urbanas e V Simpósio de Revitalização de Rios Urbanos. Recife, 2024.
- IBGE. (2022). “*Censo demográfico – Séries históricas*”. Rio de Janeiro: IBGE.
- KUMAR, P.; KUMAR, S.; SINGH, V. P. (2024) “*Assessing the role of sustainable urban drainage systems in flood mitigation*”. Water Resources Management, v. 38, 2024.
- LI, C. *et al.* (2024). “*Improving urban flood resilience through sustainable drainage systems: a review*”. Sustainability, v. 16, 2024.
- PORTAL DO CURIMATAÚ (2019). “*Chuva derruba árvore e causa alagamentos em Nova Floresta-PB*”. Disponível em: <https://portaldocurimatau.com.br/curimatau/chuva-derruba-arvore-e-causa-alagamentos-em-nova-floresta-pb/>. Acesso em 30 abr. 2026.
- RAMOS, P. B. F. (2022). “*O comércio das águas subterrâneas do município de Nova Floresta-PB*”. Monografia (Especialista em Gestão em Recursos Ambientais do Semiárido) - Instituto Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, Coordenação de Pós-graduação em Gestão dos Recursos Ambientais do Semiárido, Picuí, 2022.
- RIGHETTO, A. M. (2009). “*Manejo de Águas Pluviais Urbanas*”. Natal: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- ROSSMAN, L. (2015). “*Storm Water Management Model User’s Manual Version 5.0*”. United States Environmental Protection Agency. 295 p.
- TV CORREIO (2019). “*Vídeos dos moradores de Nova Floresta registrando as chuvas e alagamentos*”. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=B0EO1fDzOOs>. Acesso em 30 abr. 2026.
- TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. B. (2003). “*Inundações Urbanas na América do Sul*”. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH).
- ZHANG, K.; CHEN, Y.; LIU, J. (2023). “*Evaluating the effectiveness of green infrastructure practices in urban stormwater management: a meta-analysis*”. Journal of Hydrology, v. 617, 2023.