MODELAGEM HIDROLÓGICA DE UMA PISTA EXPERIMENTAL DE PAVIMENTO PERMEÁVEL IMPLANTADA NA UFPE, UTILIZANDO O SWMM

Ana Karla Batista da Silva [1]; Marcos Antônio Barbosa da Silva Júnior [2] Alisson Caetano da Silva [3] & Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral[4]

RESUMO – A urbanização crescente e desordenada na cidade do Recife tem provocado um aumento do escoamento superficial e consequentemente das inundações urbanas. Diante da necessidade de mitigar os impactos causados pelas inundações estão sendo implantadas soluções baseadas na natureza (SbN). Este estudo consiste em avaliar a eficiência de uma pista experimental de pavimento permeável, com a utilização do software livre de modelagem hidrológica (SWMM). Para tanto, foram avaliados 02 cenários: Cenário 01 (Sem a implantação de LIDs – Low Impact Development) e Cenário 02 (Com a implantação de LID), considerando o evento de chuva de 165,36mm, ocorrido em 01/05/2026 na cidade do Recife/PE. Os resultados indicaram uma redução de aproximadamente 29% na vazão de pico, após a implantação de LID. Dessa forma, constatou-se a eficácia dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial, ressaltando o seu potencial como técnica de drenagem sustentável para mitigação de inundações em áreas urbanas.

Palavras-Chave – Pavimentos permeáveis, SWMM, Inundações urbanas.

ABSTRACT– Increasing and unplanned urbanization in the city of Recife has led to an increase in surface runoff and, consequently, urban flooding. Given the need to mitigate the impacts caused by flooding, Nature-Based Solutions (NbS) have been implemented. This study evaluates the efficiency of an experimental permeable pavement test section using the Storm Water Management Model (SWMM), a free hydrological modeling software. To this end, two scenarios were evaluated: Scenario 01 (without the implementation of LID – Low Impact Development) and Scenario 02 (with the implementation of LID), considering the rainfall event of 165,36mm, that occurred on May 1, 2026, in the city of Recife, Pernambuco. The results indicated a reduction of approximately 29% in peak flow following the implementation of LID. Thus, the effectiveness of permeable pavements in reducing surface runoff was demonstrated, emphasizing their potential as a sustainable drainage technique for flood mitigation in urban areas.

Palavras-Chave – Permeable pavements, SWMM, Urban flooding.

[1]) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/nº, Cidade Universitária. CEP:50.740-530. Recife-PE – Brasil. Fone: +55 81 99653-4435. E-mail: anakarla.silva@ufpe.br.
[2]) Doutor em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pela UFPE e Professor Adjunto na Poli/UPE. Fone: +55 81 99264-3860. E-mail: mabsj@poli.br.
[3]) Doutor em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pela UFPE. Fone: +55 81 99213-4540. E-mail: alissoncaetanodasilva@hotmail.com.
[4]) Professor da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco – POLI-UPE, docente permanente – PPGEC, UFPE, Recife-PE. Fone: +55 81 99987-8260. E-mail: Jaime.cabral@ufpe.br.

INTRODUÇÃO

O processo acelerado de urbanização decorrente da ocupação desordenada tem intensificado os problemas de drenagem e aumentado a ocorrência de inundações, alagamentos e enxurradas nas cidades brasileiras, especialmente na região Nordeste. De acordo com o IBGE (2018), cerca de 31% dos municípios do país já registraram ocorrências de alagamentos e 27% sofreram com enchentes ou enxurradas, evidenciando a relevância dos desastres hidrológicos no contexto urbano. Diante desse contexto, a implantação de Soluções Baseadas na Natureza (SbNs), como os pavimentos permeáveis, têm se destacado como alternativas sustentáveis para a gestão das águas pluviais, promovendo maior infiltração, redução do escoamento superficial e mitigação dos riscos de inundações em áreas urbanas.

O Storm Water Management Model – SWMM (Modelo de Gestão de Drenagem Urbana - SWMM), da EPA (Agência de Proteção Ambiental dos EUA), é um modelo dinâmico chuva-vazão que simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, especialmente em áreas urbanas (ROSSMAN, 2010). Este modelo tem sido utilizado para realizar simulações hidrológicas da implantação de Técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LIDs) em áreas urbanas.

O estudo de Lopes (2017) apresenta uma avaliação da eficiência de pavimentos permeáveis e reservatórios de detenção em um lote urbano da cidade de João Pessoa, através da utilização do SWMM. Menezes (2026) analisou o desempenho hidráulico de um pavimento permeável implantado no estacionamento da Escola Politécnica (POLI/UPE), situada em Recife/PE. O trabalho de Xie *et al.* (2017) utilizou o SWMM para comparar cenários com e sem a implantação de pavimento permeável e valas vegetadas.

Diante deste contexto, esse trabalho busca avaliar a eficiência da implantação de 01 (Uma) pista experimental de pavimento permeável implantada no estacionamento da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo está situada na cidade do Recife/PE, na região Nordeste, e é uma das principais metrópoles do Brasil. Além disso, tem uma área territorial de 218,84 km² e conta com um PIB per capita igual a R$ 44.563,38 (IBGE, 2023). O município do Recife requer atenção no que diz respeito ao escoamento superficial, pois segundo Albuquerque *et al.* (2013), o município sofre intensamente com alagamentos, transbordamentos de córregos e rios, e deslizamentos de morros devido à intensificação da precipitação que ocorre no período de chuvas.

A pista experimental de pavimento permeável foi implantada no estacionamento do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) da UFPE, situado na cidade do Recife com aproximadamente 4 metros acima do nível do mar (Figura 01).

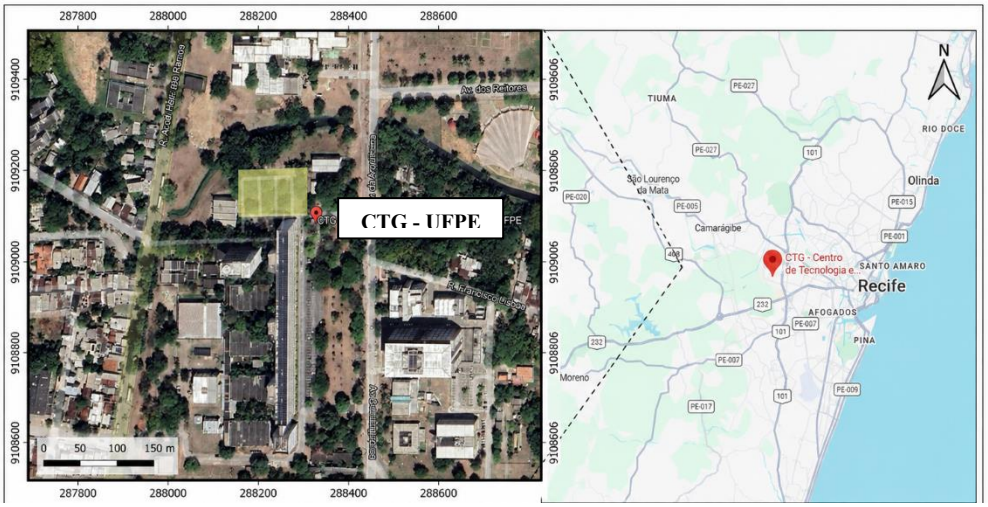


Figura 1 – Localização da área de estudo.

De acordo com Coutinho (2011), a precipitação pluviométrica no local, no tocante a série histórica de precipitações da estação várzea do LAMEPE (Entre 1994 e 2010), apresenta uma média anual de 2.173,8mm, com mínima de 1.255,4 mm e máxima de 3.482,0 mm anuais.

No intuito de caracterizar o solo da camada de subleito do pavimento permeável, foi realizada uma análise dos ensaios de composição granulométrica constantes no estudo de Coutinho (2011), e verificou-se que o tipo de solo da região é predominantemente arenoso. Além disso, foi determinada a Taxa de infiltração do solo, através do ensaio com o infiltrômetro de anel simples. O Gráfico 01 apresenta uma Taxa de infiltração média de 1.085,96 mm/h.

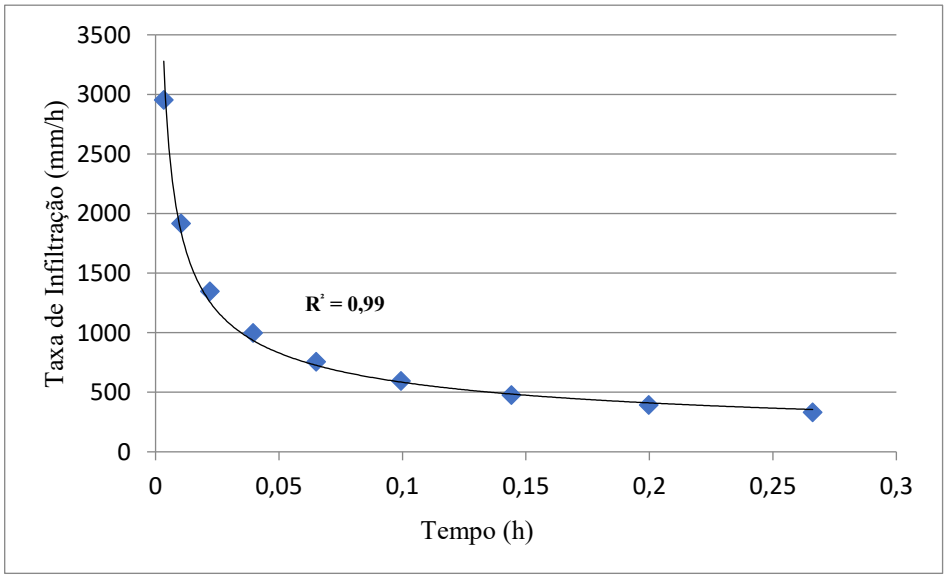


Gráfico 1 – Curva de Infiltração média e coeficiente de determinação (R^2).

Descrição da Pista experimental de Pavimento permeável

A pista experimental (Figura 02) foi construída há 1 ano e 6 meses (Novembro/2024) e apresenta uma área de 4,50m². A mesma está inserida dentro estacionamento dos professores do CTG/UFPE (Área total = 2.932,04m²), conforme os dados obtidos do levantamento topográfico.

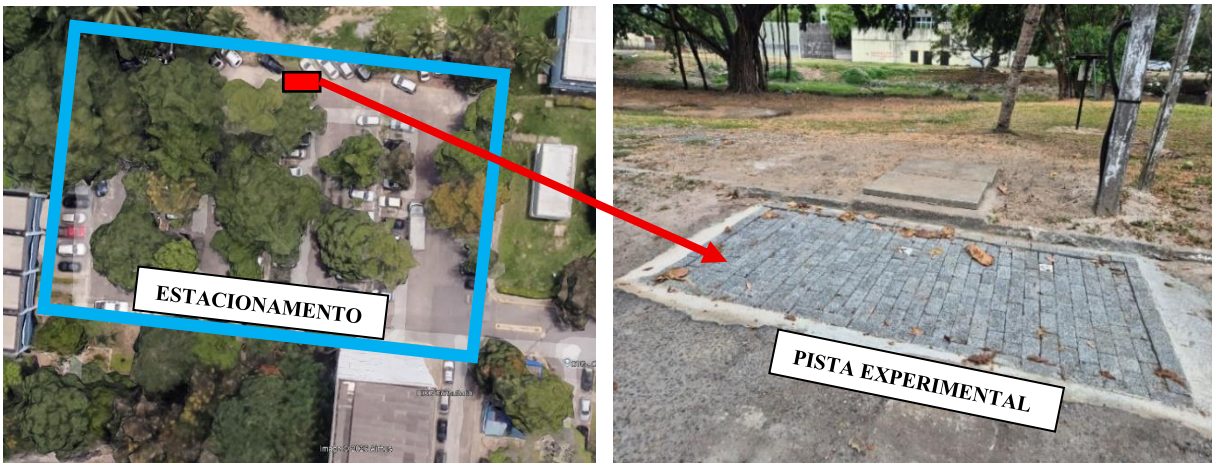


Figura 2 – Pista experimental do pavimento permeável.

A Figura 03 mostra o detalhe da seção tipo da estrutura da pista experimental.

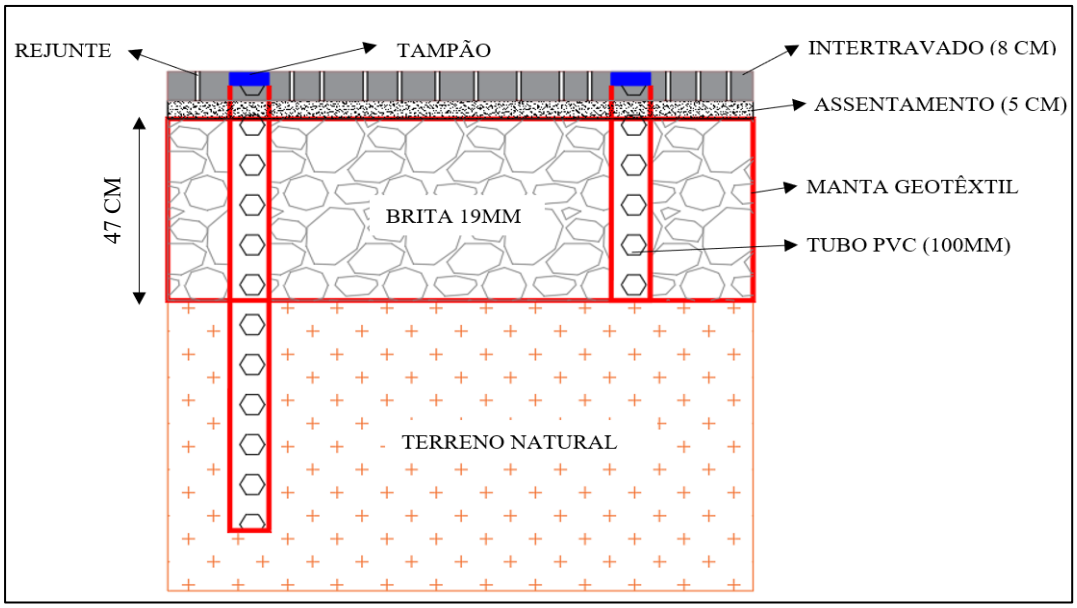


Figura 3 – Estrutura da Pista experimental do Pavimento Permeável.

Modelagem Hidrológica

As simulações hidrológicas foram realizadas no software SWMM (Versão brasileira 5.00.22), considerando 02 Cenários: Sem implantação de LID (Cenário 01) e com implantação de LID (Cenário 02). Para ambos os cenários, adotou-se uma área de sub-bacia equivalente a 15,00m², que representa 0,51% da área total de estacionamento. Vale ressaltar que a área de pista experimental construída

equivale a apenas 0,15% da área do estacionamento, e, portanto, não representaria um impacto significante na redução do escoamento superficial.

A sub-bacia foi caracterizada pelos parâmetros físicos de entrada do modelo, tais como: Área (ha), largura (m), declividade (%), áreas impermeáveis (%); coeficiente de rugosidade de Manning ($s/m^{-1/3}$) e profundidade de armazenamento em depressões (mm), para as áreas permeáveis e impermeáveis. A Tabela 01 apresenta os principais parâmetros físicos adotados nas simulações.

PARÂMETROS FÍSICOS	VALOR
Porosidade (n) da brita nº 19mm	43%
Espessura da camada de reservatório	47cm
Área da sub-bacia	0,0015 ha

Tabela 1 – Parâmetros físicos e Variáveis de entrada.

As variáveis de entrada adotadas correspondem a Taxa de infiltração média igual a 1.085,96 mm/h e os dados de precipitação de um evento de chuva de 165,36mm ocorrido em 01 de maio de 2026, que foram obtidos de uma estação pluviométrica (Quadro 1) do CEMADEN (2026).

Código	Nome da estação	Município	Responsável
261160610A	Alto Mandu	Recife/PE	CEMADEN

Quadro 1 – Estação Pluviométrica.

RESULTADOS

O Gráfico 1 apresenta o Hietograma da chuva de projeto utilizado nas simulações hidrológicas, caracterizado por um evento pluviométrico de 165,36mm e intensidade média de 7,52mm, ocorrido em 01/05/2026, com duração aproximada de 20 horas, tempo de recorrência (Tr) de 3,27anos e uma distribuição temporal não uniforme, compreendido entre 00h 20min e 20h 30min (Horário local).

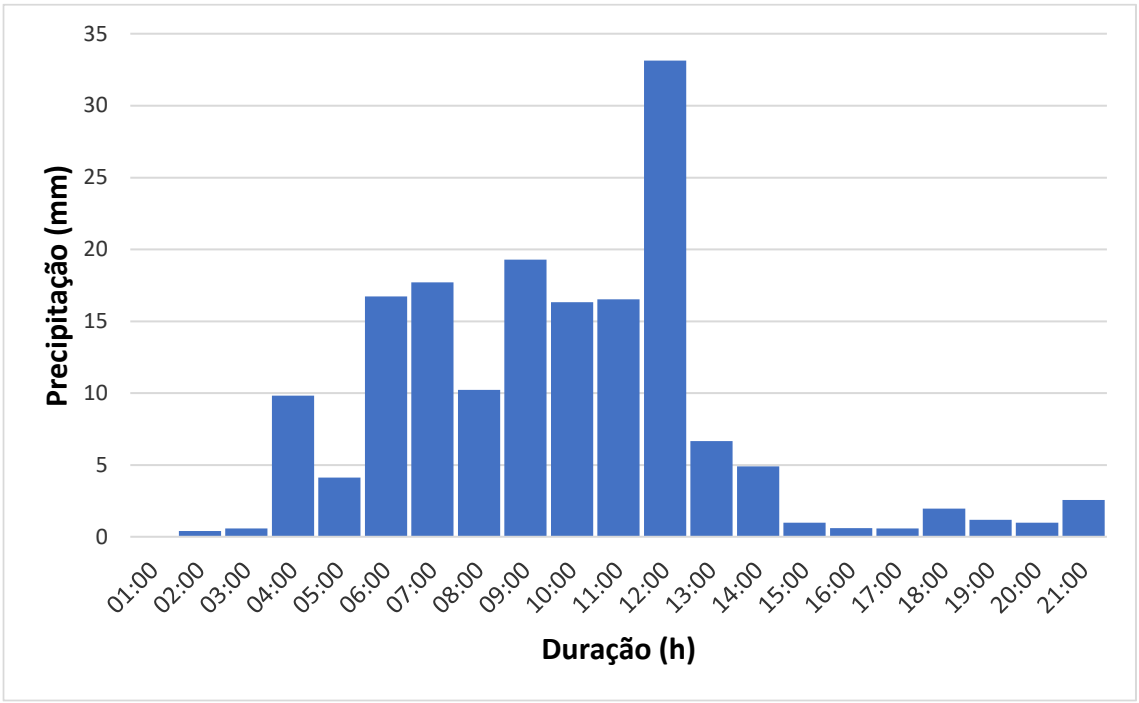


Gráfico 1 – Hietograma de Projeto.

O Hietograma apresentado mostra que o período com maior precipitação ocorreu entre 04:00h e 12:00h, atingido o pico máximo de 33,13mm. Após esse período, verifica-se uma redução da precipitação, apresentando chuvas de baixa intensidade até o término do evento. Diante dessa chuva de projeto foi realizada uma simulação hidrológica para os cenários 1 (Sem LID) e 2 (Com LID). O Gráfico 2 apresenta uma comparação entre os hidrogramas simulados para os 02 cenários, juntamente com o hietograma do evento de precipitação.

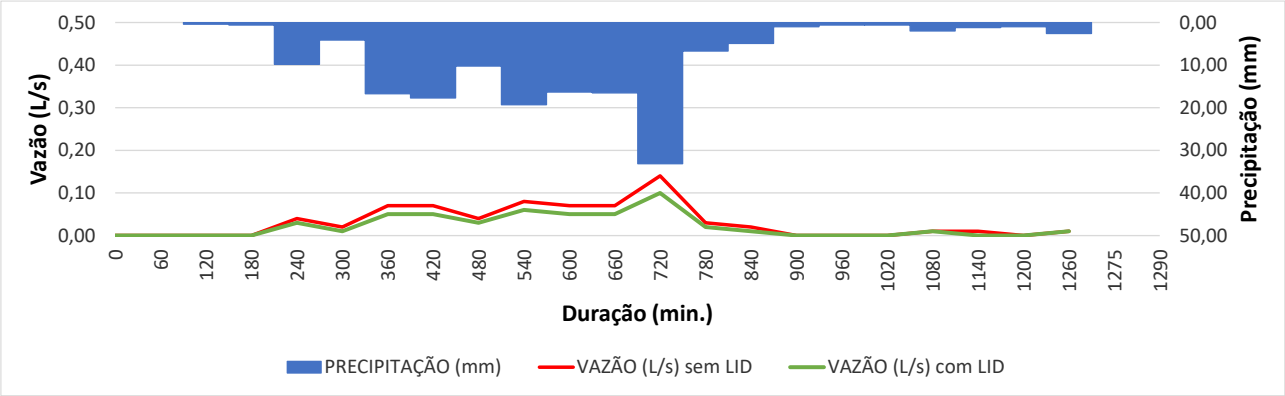


Gráfico 2 – Vazão (Sem LID) x Vazão (Com LID) x Precipitação (01/05/2026).

Os resultados das simulações mostram que a implantação do pavimento permeável provocou uma redução significativa da vazão, sendo de 0,14 l/s no cenário 1 (sem LID) e de 0,10 l/s no cenário 2 (com LID). As vazões acompanham a distribuição temporal da chuva, atingindo os maiores valores durante o período de maior intensidade pluviométrica.

Verifica-se que o pavimento permeável contribui para à atenuação do escoamento superficial ao longo de todo o evento, reduzindo não apenas a vazão de pico, mas também as vazões observadas durante a fase de recessão do hidrograma. Este fato evidencia a capacidade de retenção e infiltração do pavimento permeável, diminuindo a sobrecarga do sistema de drenagem urbana e reforçando seu potencial como solução sustentável para a mitigação de inundações em áreas urbanizadas.

Os estudos de Lopes (2017) destacam que a implantação de pavimentos permeáveis, no Campus I da UFPB, reduziu quase quatro vezes a vazão inicial (de 281,8 L/s para 76,5 L/s), e em conjunto com reservatórios de detenção se mostrou eficiente no controle do escoamento superficial, mesmo para uma condição rígida de controle (uma redução de mais de 100% da vazão escoada nas condições atuais) e com dimensões de construção viáveis e proporcionais à área.

De acordo com Menezes *et al.*(2026) o pavimento permeável implantado na Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (POLI-UPE) apresentou desempenho hidráulico satisfatório durante todo o período de monitoramento (março de 2023 a julho de 2024). Os dados de monitoramento evidenciaram que mesmo diante de eventos extremos, como precipitações de 122,8 mm em 24/05/2023 e 137,6 mm em 15/06/2024, o sistema conseguiu infiltrar e armazenar a água sem ocorrência de acúmulo superficial, comprovando sua eficiência na gestão das águas pluviais.

Xie *et al.* (2017) desenvolveu um estudo na Vila Nanshan (China) e verificou que a implantação de pavimento permeável e valas vegetadas proporcionou uma melhoria significativa na gestão das águas pluviais quando comparada ao sistema convencional de drenagem. Os resultados mostraram que houve uma redução do volume total de escoamento (Entre 100% e 27,5%) e da vazão de pico (Entre 100% e 15,9%), evidenciando a eficiência hidrológica das técnicas compensatórias.

CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O pavimento permeável é uma alternativa eficiente de drenagem urbana sustentável, pois contribui para a mitigação dos impactos provocados pela ocorrência de inundações urbanas. Tal fato é apresentado pelos resultados das simulações hidrológicas, que indicaram uma diminuição de aproximadamente 29% na vazão de pico, em comparação ao cenário convencional, demonstrando que a implantação de pavimento permeável foi eficaz na redução do escoamento superficial e das vazões máximas, aumentando a capacidade do sistema em promover o armazenamento temporário e a infiltração da água precipitada.

De maneira geral, os resultados obtidos reforçam o potencial de aplicação dos pavimentos permeáveis em áreas urbanizadas, subsidiando o planejamento e a gestão da drenagem urbana por meio de soluções baseadas na infiltração e no controle do escoamento na fonte. Recomenda-se que

estudos futuros avaliem diferentes percentuais de implantação de pavimentação permeável, bem como a integração dessa técnica com outras soluções baseadas na natureza (SbN), no intuito de ampliar a eficiência hidráulica dos sistemas de drenagem urbana e aumentar a resiliência das cidades diante dos eventos pluviométricos extremos.

REFERÊNCIAS

CEMADEN. Mapa Interativo da Rede Observacional para Monitoramento de Risco de Desastres Naturais do Cemaden. Disponível em:https://mapainterativo.cemaden.gov.br/#. Acesso em 10 mai. 2026.

COUTINHO, A. Pavimento permeável como técnica compensatória na drenagem urbana da cidade do Recife. 2011. 153p. Dissertação (Mestrado da Pós-graduação em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Desastres naturais: 59,4% dos municípios não têm plano de gestão de riscos. *Agência IBGE Notícias*, Rio de Janeiro, 5 jul. 2018. Disponível em: Agência IBGE Notícias. Acesso em: 16 jun. 2026.

IBGE (2023). Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama. Acesso em 16/06/26.

LOPES, Moana Duarte; SILVA, Gustavo Barbosa Lima da. Avaliação do efeito integrado de pavimento permeável e reservatório de detenção no controle do escoamento superficial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis, SC. Anais [...]. Florianópolis: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRHidro), 2017.

MENEZES, Lucas Amorim Amaral; CABRAL, Jaime Joaquim da Silva Pereira; SANTOS, Sylvana Melo dos. Evaluation of the hydraulic performance of a permeable pavement built in the city of Recife-PE (Brazil). *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)*, v. 61, e2677, 2026. DOI: https://doi.org/10.5327/22176-94782677.

ROSSMAN, Lewis A. SWMM 5.0: manual do usuário. Tradução do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, [2010].

XIE, Jianguang; WU, Chenghao; LI, Hua; CHEN, Gengtian. Study on Storm-Water Management of Grassed Swales and Permeable Pavement Based on SWMM. *Water*, v. 9, n. 11, p. 840, 2017. DOI: 10.3390/w9110840. Disponível em: MDPI Water Journal. Acesso em: 10 jun. 2026.