www.revistaft.com.br

Revista FT | ISSN 1678-0817 | v. 30, n. 163, 2026 | DOI: 10.69849/yvmr6191

Pavimentos permeáveis como componente da drenagem urbana: critérios de projeto, desempenho hidráulico e referências normativas

Permeable pavements as a component of urban drainage: design criteria, hydraulic performance, and technical standards

Débora da Cruz[1]
Douglas Marques Silva[2]
Felipe Silva da Costa[3]
Gabriel de Oliveira Braga[4]
Marcos Vinícius Duarte Amândula[5]
Luis Felipe Coutinho Corrêa Alves[6]

RESUMO

O presente artigo examina a aplicação de pavimentos permeáveis à drenagem urbana por meio de revisão narrativa de literatura em português e análise documental de referências normativas brasileiras. Inicialmente, a investigação diferencia a passagem da água pelo revestimento, o armazenamento na estrutura e a infiltração no subleito. Posteriormente, discute critérios de projeto e interpreta a evidência de uma instalação experimental em São Paulo (SP) e de uma simulação hidrológica em Curitiba (PR). A análise associa o desempenho à configuração hidráulica, à condição local e à manutenção. Finalmente, o estudo reúne critérios para a avaliação preliminar de alternativas, explicita a limitação de acesso às fontes e não realiza ensaio próprio nem validação experimental do procedimento apresentado.

Palavras-chave: pavimentos permeáveis; drenagem urbana; projeto; normalização; engenharia.

ABSTRACT

This article examines the application of permeable pavements to urban drainage through a narrative review of Portuguese-language literature and a documentary analysis of Brazilian technical standards. First, the investigation distinguishes water passage through the pavement surface, storage within the pavement structure, and infiltration into the subgrade. It then discusses design criteria and interprets evidence from an experimental installation in São Paulo, Brazil, and a hydrologic simulation in Curitiba, Brazil. The analysis relates performance to hydraulic configuration, site conditions, and maintenance. Finally, the study compiles criteria for a preliminary assessment of alternatives, acknowledges limitations in

[1] Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro – RJ – Brasil. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-5118-4538. debora.cruz@etu.ufrj.br.
[2] douglasmdasilva_@hotmail.com.
[3] felipecosta84@yahoo.com.
[4] gabriel.obraga@poli.ufrj.br.
[5] marcosamandula@etu.ufrj.br.
[6] luisfcca@hotmail.com.

access to source materials, and conducts neither original testing nor experimental validation of the procedure presented.
Keywords: permeable pavements; urban drainage; design; standardization; engineering.

1 INTRODUÇÃO

No ambiente urbano, a substituição de áreas vegetadas por superfícies impermeáveis reduz a infiltração da água no solo e altera a resposta hidrológica. Consequentemente, pode aumentar o escoamento e a vazão encaminhada à drenagem, como discute Pinto (2011). Separadamente, a revisão de Becker e Pinheiro (2019) relaciona o escoamento à mobilização de poluentes depositados nas superfícies.

Nesse contexto, o pavimento permeável constitui uma alternativa de controle junto à origem do escoamento. Entretanto, a avaliação deve considerar a estrutura construída e a condição do local, pois a passagem da água pelo revestimento não define, isoladamente, a resposta do conjunto (Pinto; Martins; Porto, 2011).

O projeto pode adotar peça porosa de concreto ou concreto permeável moldado no local. Paralelamente, deve definir a função das camadas, a possibilidade de infiltração no subleito e a ligação do dispositivo de saída à drenagem receptora (Balbo, 2020).

A modelagem de Souza *et al.* (2026) compara a aplicação de jardim de chuva, pavimento permeável e solução combinada na bacia do rio Belém, em Curitiba (PR). Metodologicamente, o resultado representa uma resposta simulada, sem comprovar o desempenho de uma implantação acompanhada em campo.

O estudo de Pinto, Martins e Porto (2011) acompanha dois módulos na Universidade de São Paulo, com revestimento de blocos de concreto permeável e de concreto poroso asfáltico. Cada estrutura armazena água e utiliza drenagem subsuperficial, sem infiltração no subleito. Posteriormente, a modelagem examina o comportamento observado e estima a resposta a outras condições de chuvas.

A revisão concentra o exame no funcionamento hidráulico, na orientação de projeto e na identificação da base normativa. Analiticamente, distingue observação de campo e estimativa de modelo, preservando a diferença de escala e de indicador entre São Paulo e Curitiba (Pinto, 2011; Pinto; Martins; Porto, 2011; Souza *et al.*, 2026).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Referências normativas

Inicialmente o responsável técnico deve identificar a norma aplicável à solução construtiva e verificar a legislação ambiental e municipal pertinente. Em seguida, deve registrar a responsabilidade técnica cabível. A revisão identifica os documentos normativos, mas não verifica conformidade de projeto sem acesso ao requisito integral.

O pavimento intertravado permeável permite a passagem da água pela junta, pela peça porosa ou pela combinação de ambas. Normativamente, conforme a ABNT NBR 16416-1:2026, o responsável técnico deve verificar o requisito aplicável na íntegra correspondente (ABNT, 2026a).

O revestimento permeável de concreto moldado no local encaminha a água através de vazios interligados. Analogamente, a especificação deve consultar a ABNT NBR 16416-2:2026 e identificar o procedimento de execução e de avaliação pertinente ao uso previsto (ABNT, 2026b).

A escolha construtiva exige compatibilizar a função hidráulica com a solicitação do tráfego. Paralelamente, o projetista deve examinar acessibilidade, execução e possibilidade de manutenção, considerando o material e a aplicação (Balbo, 2020).

A ABNT NBR 16416-1:2026 corresponde à parte destinada à execução do pavimento permeável intertravado (ABNT, 2026a), classificando os pavimentos permeáveis intertravados em três tipos de revestimento:

- Peças de concreto simples com juntas alargadas (PP-JA): a junta permite a passagem da água entre os elementos de concreto;
- Peças de concreto permeável (PP-CP): o elemento admite a passagem da água pelo concreto e pela junta entre peças;
- Placas de concreto permeável (PP-PCP): o revestimento admite a passagem da água pelo concreto e pela junta entre placas.

A ABNT NBR 16416-2:2026 aborda a execução do pavimento permeável de concreto moldado no local (ABNT, 2026b). Previamente à especificação, o projetista deve conferir o campo de aplicação e a condição de uso no texto integral.

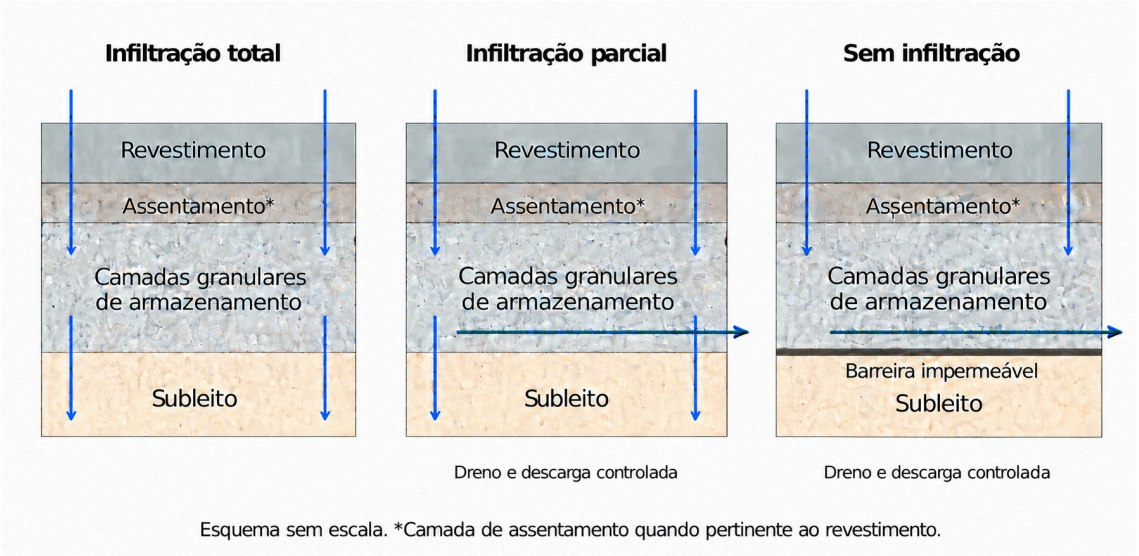
Quanto à espessura e à resistência mecânica, o responsável técnico deve verificar a classe de uso, a grandeza de resistência, o procedimento de ensaio e o limite correspondente

na norma integral. Esta revisão não prescreve mínimo numérico que não pôde confirmar na ABNT NBR 16416-2:2026 (ABNT, 2026b).

2.2 Funcionamento e configurações de drenagem

A descrição hidráulica distingue a configuração com infiltração total, com infiltração parcial e sem infiltração. Especificamente, considera o destino da água após sua passagem pelo revestimento, conforme a atuação do subleito e do dispositivo de descarga (Pinto, 2011). A classificação não implica confirmação das cláusulas das normas de 2026.

Figura 1 – Configurações de infiltração e drenagem de águas pluviais em pavimentos permeáveis



Fonte: elaboração da autora. O esquema não apresenta escala; o projeto determina o material e a espessura de cada camada. A representação pressupõe armazenamento e não abrange toda alternativa construtiva.

A Figura 1 representa o destino da água em cada configuração esquemática. Especificamente, diferencia a transferência ao subleito e a descarga por dreno, conforme o percurso previsto.

A configuração com infiltração total prevê o encaminhamento da água armazenada ao subleito. Entretanto, essa concepção não assegura a absorção de qualquer chuva: a verificação depende da capacidade hidráulica e da condição do solo (Pinto, 2011).

Na alternativa com infiltração parcial, o sistema transfere uma parcela da água ao subleito e encaminha a parcela remanescente ao dreno. Assim, o projeto deve compatibilizar os dois mecanismos de esvaziamento (Pinto, 2011).

Na configuração sem infiltração, o reservatório armazena água temporariamente e o dispositivo de saída controla sua descarga. Portanto, o funcionamento depende do

armazenamento e do encaminhamento à drenagem, como examina Pinto (2011). A adoção dessa alternativa exige avaliação geotécnica e ambiental específica.

3 METODOLOGIA

3.1 Delineamento e delimitação

O artigo adota abordagem qualitativa, exploratória e propositiva, com revisão narrativa e análise documental. Especificamente, examina o funcionamento, o projeto e a manutenção de pavimentos permeáveis e interpreta o estudo experimental de São Paulo e a simulação de Curitiba. A pesquisa não coleta dado de campo, não realiza ensaio nem aplica o procedimento preliminar apresentado. Tampouco desenvolve avaliação econômica comparativa.

3.2 Seleção e tratamento das fontes

O manuscrito registra levantamento documental até 8 de outubro de 2026 e reúne publicação técnica em português, artigo científico, trabalho de evento, tese e registro normativo. Entretanto, não informa estratégia de busca reproduzível, contagem de registros ou critério detalhado de seleção; por isso, o recorte não caracteriza revisão sistemática. Complementarmente, a revisão incorpora em 13 de outubro de 2026 o artigo em português de Simões *et al.* (2023) para atualizar a discussão sobre seleção de materiais.

A análise utiliza publicação em português e diferencia acesso integral, consulta a excerto e identificação bibliográfica. O registro de uma norma comprova sua identificação, sem demonstrar a leitura de seu requisito técnico. A revisão assume, portanto, limitação de cobertura e de confirmação normativa.

O procedimento identifica, para cada fonte, a configuração do sistema, o método de investigação e o indicador de interesse. Posteriormente, distingue informação de campo, estimativa de simulação e orientação de projeto, conservando o limite de interpretação correspondente.

A organização relaciona o critério à unidade e ao indicador apresentados na fonte. Consequentemente, preserva o valor e sua precisão, sem combinar estatisticamente percentuais provenientes de escalas ou métodos distintos.

A elaboração da Figura 2 e do Apêndice A utiliza os números do artigo integral de Souza *et al.* (2026). Especificamente, separa escoamento e pico de vazão e registra a qualificação estatística divergente na própria fonte. A comparação permanece descritiva e não agrega esses valores aos resultados de São Paulo.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

4.1 Projeto de sistema de drenagem sustentável

O projeto deve integrar a avaliação hidráulica à especificação estrutural e ao planejamento da manutenção (Balbo, 2020). Para isso, o responsável técnico deve examinar os seguintes aspectos:

- Planejamento integrado: o projetista deve verificar a integração entre pavimento permeável, jardim de chuva e drenagem existente. A simulação de Souza *et al.* (2026) oferece evidência para comparar alternativas, mas não substitui a avaliação da implantação.

- Caracterização do local: previamente, o responsável técnico deve delimitar a área contribuinte e levantar topografia, solo, precipitação e condição de conexão à drenagem receptora (Balbo, 2020; Pinto, 2011).

- Seleção de materiais: o projetista deve especificar o revestimento e cada camada de acordo com sua função hidráulica e estrutural (Balbo, 2020). Adicionalmente, o estudo de Simões *et al.* (2023) evidencia que o atendimento hidráulico de uma composição não assegura resistência mecânica suficiente. O resultado se refere às peças e misturas ensaiadas, sem substituir a verificação normativa atual.

- Manutenção e acompanhamento: periodicamente, o responsável pela operação deve inspecionar o revestimento e executar a limpeza ou o reparo compatível com o material. Complementarmente, deve verificar a capacidade de passagem da água e a recuperação após a intervenção (Balbo, 2020).

A Tabela 1 sistematiza informação preliminar para a avaliação. Inicialmente, o projetista deve relacionar a chuva à área contribuinte e estimar o aporte de água. Em seguida, deve conferir o armazenamento disponível e o mecanismo de esvaziamento, incluindo infiltração quando a configuração prevê essa função. Além de realizar o cálculo executivo ou investigação local (Balbo, 2020; Pinto, 2011).

Tabela 1 – Informações para o projeto de pavimentos permeáveis

Fatores	Obtenção e verificação	Aplicação no projeto
Chuva e área contribuinte	Dados locais de precipitação e delimitação da área drenada	Estimar o aporte e a chuva de projeto

Infiltração do subleito	Ensaios de campo e investigação geotécnica	Verificar infiltração e necessidade de drenos
Armazenamento nas camadas	Espessuras e porosidade efetiva das camadas	Estimar o volume disponível nos vazios
Vazão de saída e extravasamento	Cotas, drenos e ligação à rede	Dimensionar e validar a descarga e o percurso dos excedentes
Tráfego e entorno	Uso previsto, cargas e interferências	Dimensionar a estrutura e proteger áreas limítrofes

Fonte: síntese da autora a partir de Balbo (2020) e Pinto, Martins e Porto (2011).

5 RESULTADOS E ANÁLISE DAS EVIDÊNCIAS

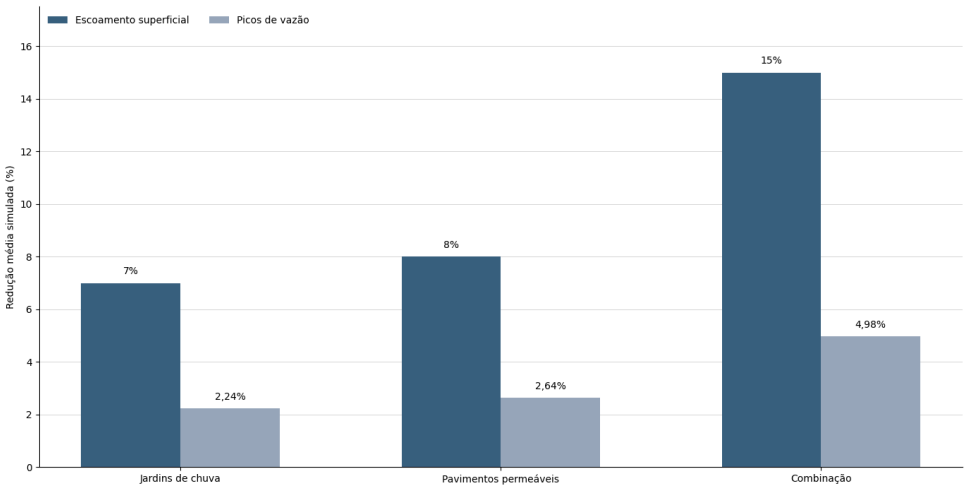
Pinto (2011) sintetiza, no resumo da tese, amortecimento de 28% a 87% para o módulo de blocos de concreto permeável (BCP) e de 56% a 85% para o módulo de concreto poroso asfáltico (CPA). Entretanto, o conjunto tabulado contém valor fora desses intervalos. Assim, a análise mantém a faixa como síntese do resumo, sem tratá-la como amplitude completa.

O cálculo de Pinto (2011, p. 176–180) compara o pico de saída ao pico potencial de um pavimento convencional. Consequentemente, expressa amortecimento de vazão, sem representar redução de volume. A interpretação deve diferenciar a estimativa de modelo da observação e considerar a ressalva de instrumentação descrita na tese.

O trabalho de evento de Souza *et al.* (2026, p. 1, 8–10) apresenta 7%, 8% e 15% para escoamento e médias de 2,24%, 2,64% e 4,98% para pico de vazão, respectivamente para jardim de chuva, pavimento permeável e combinação. Entretanto, a tese qualifica o primeiro conjunto como limite superior no resumo e como média na conclusão. Esta revisão adota o tese integral e registra a divergência em relação ao resumo eletrônico dos anais.

A simulação de Souza *et al.* (2026) utiliza retornos de 2, 5, 10, 20 e 50 anos e área de intervenção entre 3% e 5% das sub-bacias. Metodologicamente, a tese declara precipitação uniforme, simplificação do solo e ausência da rede existente. Também menciona infiltração total em todos os cenários, expressão que permanece ambígua diante do escoamento reportado. Portanto, a revisão não certifica o balanço do modelo. A Tabela 2 distingue a natureza das evidências (Souza *et al.*, 2026, p. 4–5, 9).

Figura 2 – Percentuais de redução reportados para os cenários de Curitiba



Fonte: elaboração da autora com base na tese integral de Souza *et al.* (2026, p. 1, 8–10). O rótulo do eixo não resolve a divergência da fonte: o primeiro indicador aparece como limite superior e como média, enquanto o segundo expressa redução média de pico. Portanto, a leitura deve considerar essa distinção. Dados no Apêndice A.

Tabela 2 – Natureza das evidências de São Paulo e Curitiba

Aspecto	**São Paulo – Pinto (2011) e Pinto, Martins e Porto (2011)**	**Curitiba – Souza et al. (2026)**
Método	Monitoramento e simulações na USP	Modelagem de cenários na bacia do rio Belém
Configuração	Sistema sem infiltração no solo; estruturas BCP e CPA	Pavimentos permeáveis, jardins de chuva e combinação
Limite de interpretação	Resultados observados e simulados	Estimativas dependentes dos cenários e do modelo

Fonte: Pinto (2011), Pinto, Martins e Porto (2011) e Souza *et al.* (2026). A comparação distingue método, indicador e escala; portanto, não estabelece equivalência entre percentuais.

6 DISCUSSÃO

Inicialmente, a avaliação deve estabelecer o destino da água que atravessa o revestimento. Na configuração com infiltração, o responsável técnico examina a condição do subleito; na configuração sem infiltração, examina o reservatório e a descarga. Assim, relaciona a resposta hidráulica à estrutura construída (Pinto, 2011).

A comparação reúne evidência de uma instalação experimental e de uma simulação de bacia. Entretanto, a diferença de método, indicador e escala impede estabelecer superioridade pela simples magnitude percentual, conforme o alcance dos estudos de Pinto (2011) e Souza *et al.* (2026).

A revisão apresenta acesso desigual às fontes e cobertura restrita da produção científica. Adicionalmente, não valida o procedimento de projeto em uma implantação local. Por isso, a aplicação exige investigação hidrológica, geotécnica, ambiental e estrutural e consulta ao requisito normativo integral.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O exame bibliográfico indica que o pavimento permeável pode modificar o encaminhamento das águas pluviais e, quando dispõe de reservatório, promover armazenamento temporário. Hidraulicamente, a revisão diferencia infiltração e amortecimento de pico, pois cada mecanismo depende da configuração. O conjunto da evidência experimental e da estimativa de simulação permite discutir essas funções, sem demonstrar benefício ambiental universal (Pinto, 2011; Souza *et al.*, 2026).

O projeto deve compatibilizar o aporte de água com o armazenamento e o percurso de saída. Paralelamente, deve verificar topografia, área contribuinte, manutenção e solicitação estrutural. A análise ambiental completa essa avaliação ao considerar o destino da água e a possibilidade de transferência de contaminantes (Balbo, 2020; Becker; Pinheiro, 2019).

A pesquisa de Pinto (2011) examina amortecimento mediante armazenamento e descarga, sem infiltração no subleito. Consequentemente, o projeto deve identificar a concepção hidráulica antes de atribuir um mecanismo de desempenho ao pavimento. A passagem da água pelo revestimento, isoladamente, não caracteriza toda a resposta.

Finalmente, a comparação entre São Paulo e Curitiba delimita a interpretação do resultado, sem estabelecer percentual aplicável a outra implantação. A adoção do procedimento exige verificação local e confirmação normativa; posteriormente, o monitoramento poderá examinar o desempenho da alternativa executada.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 16416-1**: pavimento permeável: parte 1: execução de pavimento permeável intertravado. Rio de Janeiro: ABNT, 2026a. Publicada em 27 fev. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 16416-2**: pavimento permeável: parte 2: execução de pavimento permeável de concreto moldado no local. Rio de Janeiro: ABNT, 2026b. Publicada em 20 maio 2026.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de concreto permeáveis**: uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020. 176 p.

BECKER, Nayara; PINHEIRO, Ivone Gohr. Potencialidade dos pavimentos permeáveis na melhoria da qualidade da água do escoamento superficial: uma revisão. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, e20180009, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.002.AO07. Disponível em: https://www.scielo.br/j/urbe/a/7VGbKdMSnLfxghCnZWybrPP/?lang=pt. Acesso em: 10 out. 2026.

PINTO, Liliane Lopes Costa Alves. **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. DOI: https://doi.org/10.11606/T.3.2011.tde-31082011-160233. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-31082011-160233/pt-br.html. Acesso em: 8 out. 2026.

PINTO, Liliane Lopes Costa Alves; MARTINS, José Rodolfo Scarati; PORTO, Rubem La Laina. O desempenho de pavimentos permeáveis. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais** [...]. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2011. Disponível em: https://files.abrhidro.org.br/Sumarios/81/b148bf3fd51300bcb59afd686c3cd34e_3fb5cc249a25dda4f02dacc88e9e254a.pdf. Acesso em: 13 out. 2026.

SIMÕES, Otávio Gaigher *et al.* Avaliação das propriedades mecânicas e de permeabilidade de peças de concreto permeável contendo resíduos de rocha ornamental. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 4, p. 241-254, out./dez. 2023. DOI: https://doi.org/10.1590/s1678-86212023000400701. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ac/a/yJ9KFdckLxqcjF9XNQjvWKm/?lang=pt. Acesso em: 13 out. 2026.

SOUZA, Fernanda Marques de *et al.* Influência de soluções baseadas na natureza no escoamento superficial da Bacia do Belém em Curitiba. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, 16.; SIMPÓSIO DE REVITALIZAÇÃO DE RIOS URBANOS, 6., 2026, São Carlos. **Anais** [...]. [S. l.]: ABRHidro, 2026. Código XVI-ENAU_VI-SRRU0034. Disponível em: https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=18894. Acesso em: 8 out. 2026.

APÊNDICE A – DADOS UTILIZADOS NOS GRÁFICOS

O Apêndice A organiza números reportados no artigo integral de Souza *et al.* (2026), sem apresentar ensaio da autora. Especificamente, conserva o valor de cada alternativa e distingue os indicadores, conforme a ressalva estatística indicada na Figura 2.

Tabela A1 – Dados dos cenários simulados em Curitiba

Cenário	Redução do escoamento reportada (%)	Redução média dos picos (%)
Jardins de chuva	7	2,24
Pavimentos permeáveis	8	2,64
Combinação	15	4,98

Fonte: Souza *et al.* (2026, p. 1, 8–10), artigo integral dos anais. O escoamento recebe qualificação de limite superior e de média em passagens distintas; o conjunto de picos representa médias reportadas.