



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**

**CAMPUS CRATEÚS**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JORGE RAFAEL SOUSA GOMES**

**CARACTERIZAÇÃO DO ESCOAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM VIAS  
URBANAS: PAVIMENTO ASFÁLTICO VERSUS PAVIMENTO INTERTRAVADO**

**CRATEÚS**

**2025**

JORGE RAFAEL SOUSA GOMES

CARACTERIZAÇÃO DO ESCOAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM VIAS URBANAS:  
PAVIMENTO ASFÁLTICO VERSUS PAVIMENTO INTERTRAVADO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará – Campus de Crateús, como exigência parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Jorge Luis Santos Ferreira

CRATEÚS

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S697c Gomes, Jorge Rafael Sousa .  
Caracterização do escoamento de águas pluviais em vias urbanas: pavimento asfáltico versus  
pavimento intertravado / Jorge Rafael Sousa Gomes. – 2025.  
36 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de  
Crateús, Curso de Engenharia Civil, Crateús, 2025.

Orientação: Prof. Me. Jorge Luis Santos Ferreira.

1. Escoamento . 2. Drenagem Urbana. 3. Pavimento Intertravado. 4. Pavimento Asfáltico. 5.  
SWMM.

I. Título.

CDD 620

---

JORGE RAFAEL SOUSA GOMES

CARACTERIZAÇÃO DO ESCOAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM VIAS URBANAS:  
PAVIMENTO ASFÁLTICO VERSUS PAVIMENTO INTERTRAVADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará - UFC, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Jorge Luis Santos Ferreira (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC) Campus de Crateús

---

Prof. Me. Tatiane Lima Batista  
Universidade Federal do Ceará (UFC) Campus de Crateús

---

José Wémenson Rabelo Chaves  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho a Deus e à minha família, que sempre foram meus alicerces ao longo da minha jornada acadêmica. Em especial, aos meus saudosos avós Joaquim, Maria, Messias e Raimunda, cujos exemplos de dedicação, força e caráter continuam a me inspirar.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por me conceder forças e perseverança nos momentos em que duvidei de mim mesmo, permitindo-me chegar até aqui.

Aos meus pais, meus maiores pilares ao longo dessa jornada acadêmica, sou eternamente grato. Agradeço profundamente pelos esforços incansáveis, pelas palavras de incentivo e pelos sacrifícios feitos com tanto amor. À minha mãe, Luzinete, por sua dedicação inabalável e pelo amor ao próximo, e ao meu pai, Epaminondas, por seu apoio constante e pelos valores sólidos transmitidos.

À minha irmã, Kamila, sou imensamente grato por todo o apoio, ensinamentos e pela parceria constante. Seus gestos de apoio e correção foram essenciais para meu crescimento. Ao meu irmão João Guilherme, agradeço pela admiração e por me considerar um exemplo a ser seguido, o que me motiva a ser uma pessoa ainda melhor.

Aos meus amigos e colegas, em especial, Gabriel, João Paulo e Roni, sou grato por estarem comigo desde o início desta jornada árdua. Levarei para a vida cada momento compartilhado com vocês.

À minha namorada, Thais, agradeço por todo o apoio incondicional, carinho e paciência, que foram fundamentais para que eu seguisse com firmeza e determinação, mesmo nos momentos mais difíceis.

Ao professor e orientador Jorge Luís, sou profundamente grato pela orientação valiosa, pelo conhecimento compartilhado e pelo papel essencial no meu desenvolvimento acadêmico. Sua sabedoria foi fundamental para o sucesso deste trabalho.

À banca examinadora, agradeço imensamente pela atenção, contribuições enriquecedoras e por aceitarem participar da avaliação desta defesa. Suas análises e sugestões elevaram ainda mais a qualidade do meu trabalho.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos. Cada gesto e palavra de apoio foram cruciais para o meu desenvolvimento pessoal e acadêmico.

Seja forte e corajoso. Não tema, nem fique apavorado, pois o Senhor, seu Deus, estará com você por onde quer que andar."(Josué 1:9).

## RESUMO

Este trabalho investiga de forma integrada o comportamento do escoamento de águas pluviais em vias urbanas com pavimentação asfáltica e intertravada, utilizando o modelo hidrológico Storm Water Management Model (SWMM) para simular hidrogramas e analisar parâmetros como volume de escoamento, vazão e velocidade do fluxo. Em cenários simulados com precipitação total de 150 mm distribuída ao longo de seis horas – com pico de 40 mm – o pavimento asfáltico, caracterizado por sua baixa permeabilidade, apresentou um pico de vazão de aproximadamente 180 L/s, enquanto o pavimento intertravado, permitindo maior infiltração, registrou um pico de cerca de 130 L/s, correspondendo a uma redução de aproximadamente 28% na vazão de pico. Ademais, a velocidade máxima do fluxo sobre o pavimento intertravado foi cerca de 33% inferior à observada no asfalto, evidenciando que a liberação mais gradual da água contribui para uma mitigação eficaz dos impactos hidráulicos. Esses achados reforçam a importância da utilização de pavimentos permeáveis como estratégia sustentável para reduzir a sobrecarga dos sistemas de drenagem, minimizar os riscos de alagamentos e promover um ambiente urbano mais resiliente e bem planejado.

**Palavras-chave:** escoamento superficial; drenagem urbana; pavimento asfáltico; pavimento intertravado; SWMM.

## **ABSTRACT**

This study comprehensively investigates the behavior of rainwater runoff on urban roads by comparing asphalt and interlocking pavements. Using the Storm Water Management Model (SWMM), hydrographs were simulated to analyze key parameters such as runoff volume, flow rate, and flow velocity under a scenario with a total precipitation of 150 mm over six hours, with a peak of 40 mm. The results show that the asphalt pavement, due to its low permeability, reached a peak flow rate of approximately 180 L/s, while the interlocking pavement, which facilitates infiltration, recorded a peak of about 130 L/s – representing a 28% reduction in peak flow. Moreover, the maximum flow velocity on the interlocking pavement was around 33% lower, demonstrating a more gradual and controlled water release. These findings underscore the importance of adopting permeable solutions to mitigate flood risks, reduce the burden on urban drainage systems, and promote more resilient and sustainable urban environments.

**Keywords:** surface runoff; urban drainage; asphalt pavement; interlocking pavement; SWMM.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pavimento flexível .....	17
Figura 2 - Pavimento rígido.....	17
Figura 3 - Estrutura do pavimento intertravado.....	19
Figura 4 - Fluxograma de metodologia .....	21
Figura 5 - Interface do modelo no SWMM.....	23
Figura 6 - Precipitação de 150mm com 6 horas de duração .....	25
Figura 7 - Escoamento superficial no pavimento intertravado e pavimento asfáltico.....	26
Figura 8 - Vazão no Pavimento Intertravado e no Pavimento Asfáltico .....	28
Figura 9 - Velocidade no trecho do Pavimento Intertravado e Pavimento Asfáltico .....	29
Figura 10 - Precipitação de 40mmcom 6 horas de duração .....	30
Figura 11 - Escoamento Asfáltico e Intertravado com Precipitação de 40mm .....	31
Figura 12 - Vazões e Velocidades em ambos os pavimentos.....	32

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Parâmetro de entrada dos pavimentos .....	22
Tabela 2 - Cenários Simulados .....	23

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>14</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Drenagem Urbana.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Pavimento.....</b>	<b>16</b>
<i>2.2.1 Pavimento Asfáltico.....</i>	<i>16</i>
<i>2.2.2 Pavimento Intertravado .....</i>	<i>18</i>
<b>2.3 Modelos Hidrológicos.....</b>	<b>19</b>
<i>2.3.1 StormWater Management Model .....</i>	<i>20</i>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Definição das Condições de Simulação.....</b>	<b>21</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>33</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o crescimento urbano acelerado e a conseqüente impermeabilização do solo têm intensificado os desafios relacionados ao escoamento das águas pluviais. Cidades de grande e médio porte frequentemente enfrentam problemas como alagamentos, erosão do solo e sobrecarga dos sistemas de drenagem, agravados pela expansão desordenada e pelo uso inadequado de materiais de pavimentação (TUCCI, 2008). Nesse contexto, o estudo das características hidráulicas de diferentes tipos de pavimentos torna-se essencial para o planejamento urbano sustentável.

Dentre os tipos utilizados na pavimentação de vias urbanas, o pavimento asfáltico e o pavimento intertravado possuem impactos distintos no escoamento superficial. O pavimento asfáltico, predominante no Brasil, apresenta baixa permeabilidade, contribuindo para o aumento do volume de escoamento e sobrecarregando os sistemas de drenagem urbana (PEREIRA; SOUZA, 2016). Em contrapartida, o pavimento intertravado, composto por blocos de concreto assentados sobre base permeável, permite maior infiltração da água, reduzindo o escoamento superficial e favorecendo a recarga do lençol freático (FERREIRA et al., 2019).

A caracterização do escoamento superficial em vias urbanas com pavimentação de diferentes tipos é fundamental para o embasamento de políticas públicas e de estratégias para o manejo sustentável das águas pluviais. Diversos trabalhos, como os de Alves e Barros (2021), Silva et al. (2019) e Costa (2020), têm demonstrado que a característica dos materiais de pavimentação influencia com intensidade a dinâmica do escoamento, impactando diretamente a eficiência dos sistemas drenagem e a prevenção das enchentes. Apesar do avanço das pesquisas na área, observa-se uma lacuna em relação à comparação sistemática de pavimentos de asfalto e intertravados, especialmente no que se refere à resposta dos microambientes urbanos e os impactos da mudança climática sobre a intensidade e a frequência do fenômeno chuva.

Neste sentido, nosso trabalho tem como proposta caracterizar e comparar o escoamento superficial de vias urbanas com pavimentação asfáltica e pavimentação intertravada, visando contribuir com a literatura por meio do preenchimento dessa lacuna de estudos. Com uma abordagem que combina análises qualitativa e quantitativa, buscamos evidenciar as vantagens e limitações de cada tipo de pavimentação, contribuindo para o desenvolvimento de diretrizes mais acertadas e eficientes para planejamento urbanístico que sejam resilientes.

### **1.1 Objetivo Geral**

- Comparar as características de escoamento de águas pluviais em áreas urbanas revestidas por pavimento asfáltico e intertravado.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Analisar e comparar a influência do pavimento asfáltico e intertravado no escoamento superficial, vazões e velocidade de águas pluviais.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Drenagem Urbana

Os primeiros sistemas de drenagem urbana surgiram há mais de 5.000 anos. Contudo, apesar dessa longa trajetória, houve poucos avanços significativos até a Idade Moderna, quando a drenagem urbana ainda não era considerada uma infraestrutura essencial para o desenvolvimento urbano. Nos últimos 150 anos, observou-se um progresso notável impulsionado pelas consequências do aumento populacional, que demandam melhorias na gestão das águas pluviais e na infraestrutura de drenagem urbana (MATOS, 2003).

A rede de drenagem urbana é definida como um sistema preventivo de enchentes, particularmente nas áreas mais baixas de comunidades vulneráveis a inundações ou situadas próximas aos cursos d'água, onde o Brasil enfrenta diversos problemas urbanos causados por um sistema de drenagem ineficiente, especialmente durante os meses mais chuvosos (CALDEIRA E LIMA, 2020).

Segundo a Lei nº 11.445/2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, em seu Art. 2º, inciso IV, é estabelecido que deve haver “disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes, adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado” (BRASIL, 2007). A drenagem urbana é composta por um conjunto de sistemas, incluindo sarjetas, bocas-de-lobo, condutos de ligação e poços de visita, entre outros (DINIZ *et al.*, 2016). Para assegurar a eficiência do sistema de drenagem, é essencial uma boa organização estrutural urbana que incorpore esses dispositivos. Além disso, a concepção e execução adequadas do projeto são cruciais, garantindo que a obra de drenagem atenda às necessidades locais com qualidade, menor custo e maior segurança (PAULA *et al.*, 2017).

A questão da drenagem também envolve a alocação adequada de espaços, incluindo a remoção de áreas suscetíveis a inundações, o que implica sua transferência para regiões a jusante. Da mesma forma, a perda de áreas de infiltração devido às infraestruturas urbanas resulta na criação de vastas áreas impermeáveis (SILVA, 2023).

Os sistemas de drenagem urbana são compostos por dois subsistemas principais: a microdrenagem e a macrodrenagem. A microdrenagem consiste em um sistema de condutos ao

nível de loteamento ou rede primária urbana, projetado localmente para captar e distribuir o escoamento superficial gerado em áreas urbanizadas. Este sistema é responsável por receber e conduzir as águas pluviais provenientes de construções, lotes, ruas e praças. Por outro lado, a macrodrenagem refere-se a uma rede de maior escala que recebe águas já concentradas, incluindo canalizações, galerias de grande dimensão e barragens. Compreender o impacto da urbanização no processo de geração de cheias é essencial para o planejamento e projeto adequados de sistemas de drenagem e controle de inundações nas cidades. Esses problemas precisam ser abordados de maneira adequada, e as soluções técnicas devem evoluir para enfrentá-los eficazmente (MARTINS, 2021).

Segundo Becker (2006), as redes de drenagem, tanto micro quanto macro, devem ser representadas em uma base cartográfica georreferenciada, utilizando um modelo de rede que permita a verificação de todos os ajustes de arco-nos. Com a aplicação do modelo de rede, é possível criar um banco de dados relacional, facilitando a realização de análises e consultas espaciais. A partir dessas análises, podem ser atribuídos parâmetros como diâmetros das tubulações, dados de vazão, largura e profundidade dos cursos d'água, entre outros.

## **2.2 Pavimento**

Bernucci *et al.* (2022) afirmam que o pavimento é uma estrutura composta por várias camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem. Essa estrutura é projetada técnica e economicamente para suportar os esforços decorrentes do tráfego de veículos e das condições climáticas, proporcionando aos usuários melhores condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

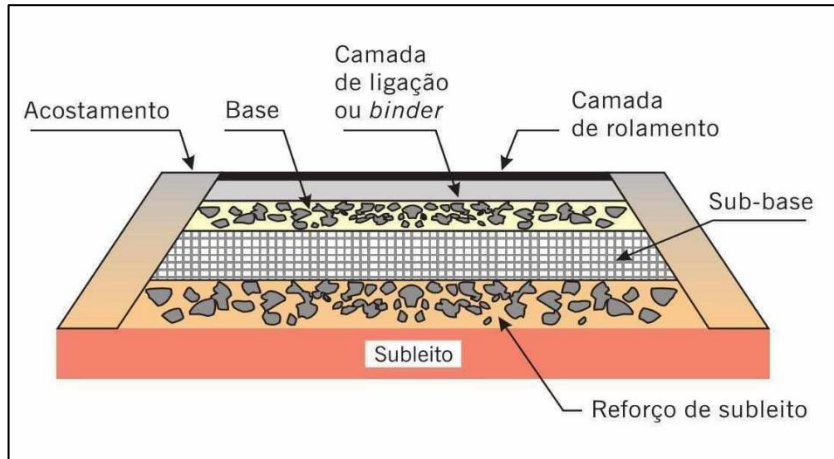
### **2.2.1 Pavimento Asfáltico**

Pavimento asfáltico é um tipo de pavimentação composto por uma mistura de agregados (como areia, brita e pó de pedra) e um ligante betuminoso, geralmente asfalto. Essa mistura é aplicada em camadas e compactada para formar uma superfície resistente e durável, adequada para suportar o tráfego de veículos (DNIT, 2006).

Os pavimentos podem ser classificados em dois tipos principais: flexíveis e rígidos. O pavimento flexível, geralmente constituído por camadas de materiais granulares e revestimento asfáltico, distribui as cargas do tráfego de forma gradual ao longo da estrutura (Figura 1). Já o pavimento rígido, composto por placas de concreto, possui maior rigidez

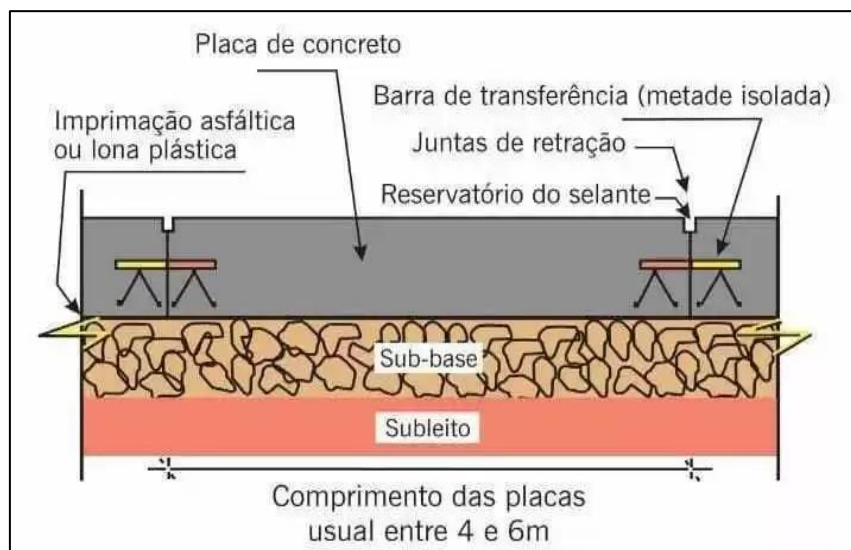
estrutural e distribui as cargas de maneira uniforme sobre a base (Figura 2) (Bernucci *et al.*, 2006).

Figura 1 - Pavimento flexível



Fonte: Adaptada pelo BERNUCCI *et al.*, 2022

Figura 2 - Pavimento rígido



Fonte: Adaptada de BERNUCCI, 2022

Nos pavimentos asfálticos, as infiltrações iniciais ocorrem principalmente nas juntas entre a pista de rolamento e o acostamento, bem como nas juntas de construção da camada asfáltica. Com o passar do tempo, a camada superficial começa a apresentar trincas, as quais também contribuem para a ocorrência desse fenômeno. É importante destacar que precipitações de intensidade moderada a baixa, quando ocorrem por períodos prolongados,

tendem a ser mais críticas para a degradação do pavimento do que aquelas de grande intensidade e curta duração, pois permitem maior infiltração e consequente deterioração da estrutura asfáltica (Pereira, 2003).

A presença de água dentro das camadas do pavimento reduz sua capacidade estrutural, podendo acelerar processos de fadiga e deformação permanente. Segundo Pereira (2003), a infiltração excessiva pode gerar bombeamento de finos, erosão da base e até falhas estruturais prematuras, exigindo estratégias eficientes de drenagem para mitigar esses efeitos. Para isso, a utilização de misturas asfálticas drenantes e a implementação de sistemas de drenagem superficial e subterrânea tornam-se fundamentais para aumentar a durabilidade da pavimentação.

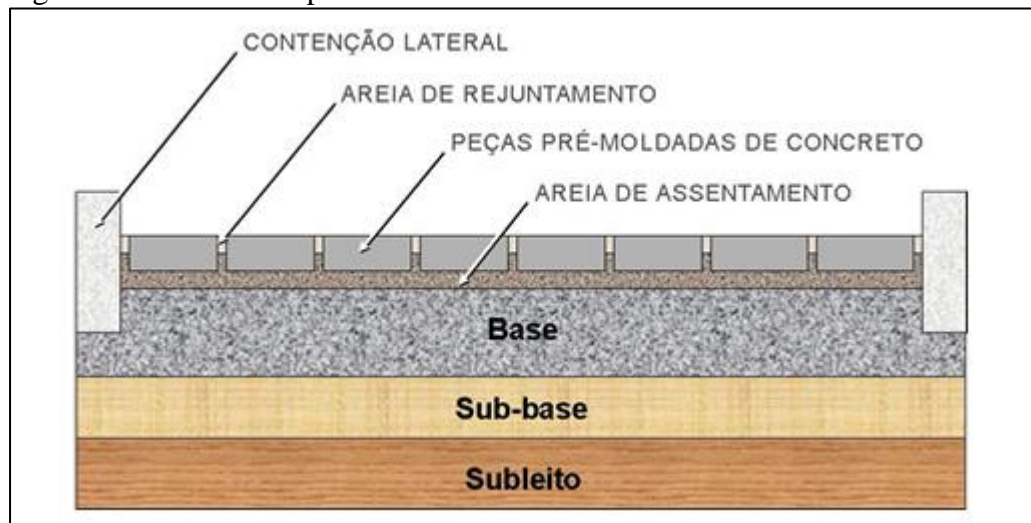
### ***2.2.2 Pavimento Intertravado***

O pavimento intertravado de concreto, conhecido popularmente como **paver**, é amplamente utilizado em vias urbanas devido à sua versatilidade e praticidade na execução. Uma das grandes vantagens desse tipo de pavimento é a simplicidade do processo construtivo, que não exige equipamentos pesados nem mão de obra altamente especializada. Isso permite que a instalação seja feita rapidamente, reduzindo o tempo de obra e possibilitando a liberação imediata do tráfego, o que é um grande benefício em áreas urbanas movimentadas (Simieli et al., 2007). Além disso, a possibilidade de realização de frentes de trabalho simultâneas contribui para a eficiência da construção, otimizando prazos e custos (Alves et al., 2018).

A estrutura do pavimento intertravado, conforme ilustrada na imagem, é composta por peças pré-moldadas de concreto assentadas sobre uma camada de areia, que por sua vez repousa sobre uma base granular compactada. Essa configuração, evidenciada no esquema, permite uma melhor distribuição das cargas aplicadas, tornando o pavimento mais resistente ao tráfego intenso (Tavares et al., 2015).

Além disso, como mostrado na figura 3, o sistema conta com uma contenção lateral, que evita o deslocamento das peças, e uma camada de areia de rejuntamento, essencial para garantir a estabilidade entre os blocos. A presença dessas camadas e o intertravamento das peças proporcionam maior estabilidade estrutural, reduzindo riscos de deformações e garantindo uma maior durabilidade ao longo do tempo (Silva *et al.*, 2019).

Figura 3 - Estrutura do pavimento intertravado



Fonte: Adaptada HALLACK, 1998.

Outro grande diferencial desse tipo de pavimento é a facilidade de manutenção. Caso seja necessário um reparo, basta remover e substituir apenas as peças danificadas, sem a necessidade de refazer grandes trechos, como acontece no pavimento asfáltico. Isso não só reduz custos como também evita transtornos no trânsito durante as intervenções (Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP). Além disso, o pavimento intertravado permite a infiltração da água da chuva, auxiliando na drenagem e contribuindo para a redução do escoamento superficial, o que é essencial para minimizar problemas como alagamentos e sobrecarga nos sistemas de drenagem urbana (Pereira et al., 2020).

De acordo com a ABCP, "o pavimento intertravado de concreto é uma solução técnica e economicamente viável para pavimentação urbana e de áreas industriais, apresentando elevada resistência e durabilidade, além de ser uma solução sustentável devido à sua capacidade de drenagem." Essa característica o torna uma alternativa cada vez mais adotada em cidades que buscam infraestrutura eficiente e ambientalmente responsável (Ferreira & Santos, 2022). Além disso, pesquisas indicam que a aplicação de pavimentos permeáveis pode contribuir para a redução da temperatura nas cidades, ajudando a mitigar o efeito das ilhas de calor e proporcionando um ambiente mais confortável para a população (Costa et al., 2017).

### 2.3 Modelos Hidrológicos

Um modelo hidrológico pode ser descrito matematicamente pelo movimento da água e seus componentes sobre qualquer parte da superfície e/ou subsuperfície da Terra. A

hidrologia está intimamente ligada às condições climáticas, então os modelos hidrológicos e atmosféricos deveriam ser interligados. Eles servem como ferramentas para aprofundar o entendimento dos fenômenos físicos envolvidos e para prever cenários futuros. Os modelos hidrológicos envolvem um conjunto de equações e procedimentos compostos por variáveis e parâmetros, cada vez mais empregados em estudos ambientais, auxiliando na compreensão do impacto das mudanças no uso da terra e na previsão de futuras alterações nos ecossistemas (Almeida e Serra, 2017).

### ***2.3.1 StormWater Management Model***

De acordo com Collodel (2009), o StormWater Management Model, traduzido para o português, Sistema de Modelagem de Águas Pluviais (SWMM) é aplicado em uma variedade de contextos, incluindo sistemas de drenagem para controle de inundações, análise de problemas de controle de inundação e qualidade da água, bem como estudos de redução de fontes poluentes, entre outros.

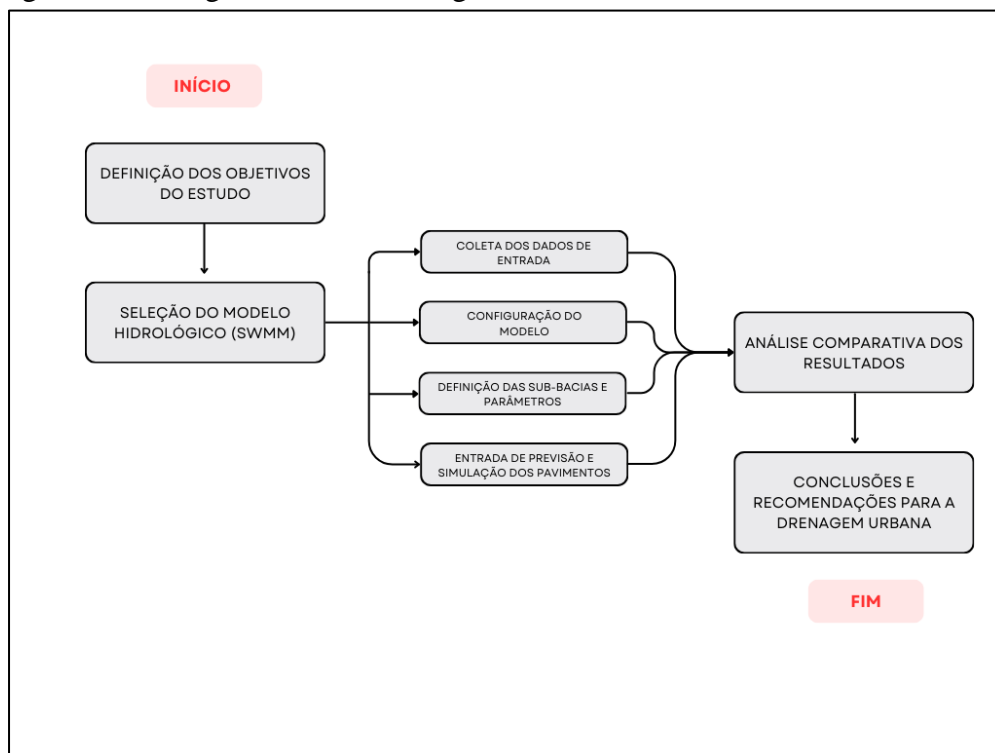
Este sistema constitui um modelo hidrológico dinâmico que, com base em dados de entrada, realiza simulações de hidrogramas resultantes. Sua função é determinar o volume de escoamento gerado em cada sub-bacia, bem como a vazão e a velocidade do fluxo, além de avaliar a qualidade da água em cada tubulação ou canal durante o período de simulação.

Na simulação do escoamento superficial, considera-se que as sub-bacias se assemelham a reservatórios não lineares, os quais são representados pela combinação das equações de Manning e da continuidade. A solução desta equação diferencial não linear é obtida por meio do processo iterativo de Newton-Raphson. A propagação do escoamento através da rede de drenagem é calculada utilizando as equações completas de Saint Venant, empregando um esquema explícito conforme o método de Euler modificado (GARCIA E PAIVA, 2006).

### 3 METODOLOGIA

O delineamento da pesquisa, ilustrado na Figura 4, apresenta a sequência metodológica adotada neste estudo, detalhando cada etapa do processo investigativo. Nesta pesquisa, foram utilizadas situações e cenários hipotéticos, permitindo a análise da resposta hidrológica de diferentes tipos de pavimento sob condições controladas de precipitação.

Figura 4 - Fluxograma de metodologia



Fonte: Autoria Própria (2025).

#### 3.1 Definição das Condições de Simulação

A área de estudo foi definida com base em cenários hipotéticos que representam vias urbanas pavimentadas com pavimento asfáltico e pavimento intertravado. Para a simulação do escoamento superficial das águas pluviais, considerou-se uma sub-bacia urbana típica, onde a impermeabilização do solo influencia diretamente a drenagem. Os parâmetros hidrológicos adotados incluem declividade, rugosidade superficial e condições de infiltração, definidos de acordo com valores característicos de áreas urbanizadas definidos de acordo com a Tabela 1. A escolha desses valores baseou-se em referências técnicas e estudos anteriores, buscando

representar condições realistas de escoamento. Os dados de entrada necessários para a simulação incluem intensidade e duração da precipitação, coeficientes de escoamento, taxa de infiltração do pavimento intertravado e rugosidade das superfícies, garantindo uma análise comparativa entre os diferentes tipos de pavimento.

Tabela 1 - Parâmetro de entrada dos pavimentos

<b>Parâmetros</b>	<b>Intertravado</b>	<b>Asfáltico</b>
Coeficiente de Rugosidade de Manning	0,02	0,015
Índice de Vazios	0,3	0,05
Capacidade de Infiltração	0,01	0,001
Colmatação	0,5	0,8
Coeficiente de Escoamento Superficial	0,6	0,95

Fonte: Aatoria Própria (2025).

Para determinar a influência da precipitação sobre os diferentes tipos de pavimento, foram simulados cenários hipotéticos de chuva com diferentes intensidades e durações. Como evento pluviométrico de referência, adotou-se uma precipitação total de 150 mm, com um pico de 40 mm, distribuídos ao longo de 6 horas, baseado no Método dos Blocos Alternados. Esse método reorganiza o hietograma por ordenação alternada, posicionando o pico da precipitação de forma centralizada e distribuindo os blocos de chuva em ordem decrescente de intensidade alternadamente à direita e à esquerda do pico.

A escolha desses valores foi baseada em referências técnicas que consideram eventos críticos, porém plausíveis, para o dimensionamento de sistemas de drenagem urbana. Como se trata de uma simulação teórica, não foi utilizada uma equação IDF específica de um município, mas sim valores representativos de precipitações intensas em áreas urbanizadas. A duração da chuva foi definida levando em conta o tempo de concentração típico de uma sub-bacia urbana de porte médio, compatível com estudos hidrológicos que avaliam a resposta do escoamento superficial em áreas impermeabilizadas.

Esse cenário permitiu analisar a evolução do escoamento superficial nos diferentes tipos de pavimento, considerando a resposta hidrológica da sub-bacia em termos de volume infiltrado e volume escoado, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Cenários Simulados

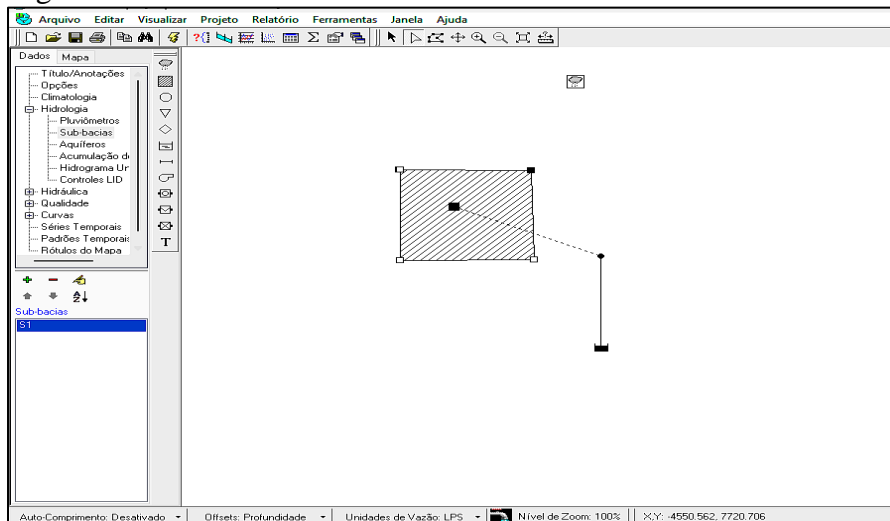
Cenário	Precipitação (mm)	Duração da Precipitação (h)	Duração do Relatório (h)
Cenário 1 - Alta Intensidade	150 mm	6h	8h
Cenário 2 - Baixa Intensidade	40 mm	6h	8h

Fonte: Autoria Própria (2025).

A modelagem foi realizada com o software Storm Water Management Model (SWMM), amplamente utilizado, por meio de simulação hidrológica e hidráulica para drenagem urbana. Na solução numérica do SWMM, foram obtidos os hidrogramas de escoamento, que possibilitaram a análise do fluxo, do volume, da vazão e da velocidade do fluxo, ao longo do tempo de concentração.

A figura 5 mostra a interface do software, utilizado para modelagem hidrológica e hidráulica de sistemas de drenagem urbana. Nela, é possível identificar uma sub-bacia (S1) representada no modelo, conectada a um nó de drenagem por meio de um conduto com diâmetro padrão definido pelo Software.

Figura 5 - Interface do modelo no SWMM



Fonte: Elaboração própria (2025).

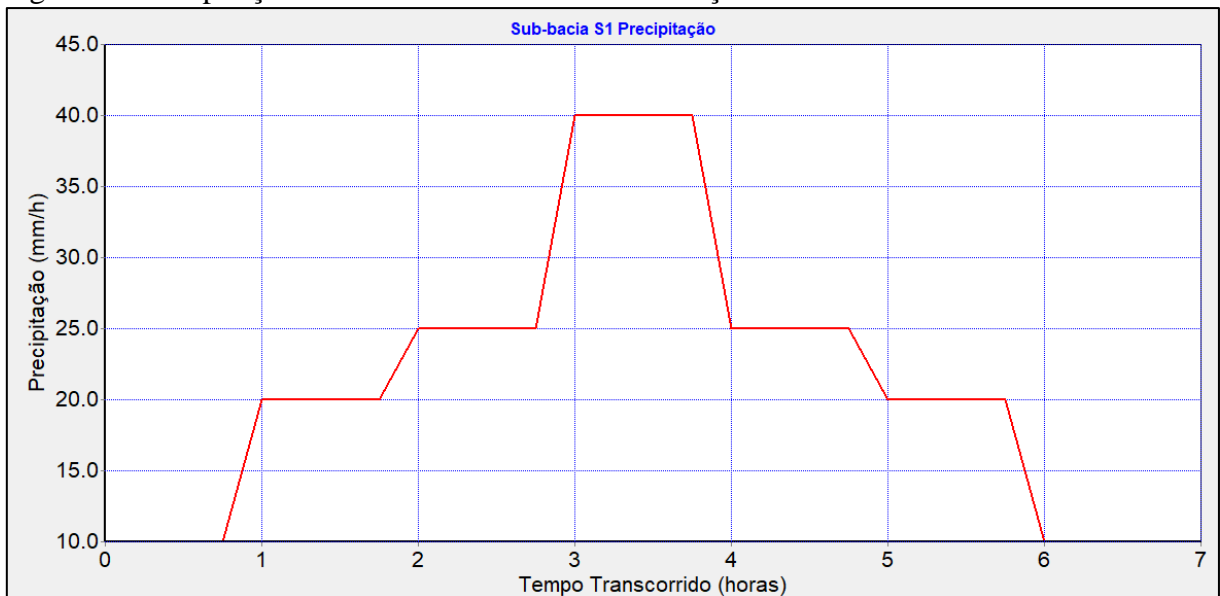
Essa representação corresponde exatamente à descrição apresentada, que detalha a modelagem de uma via urbana para diferentes tipos de pavimentos (intertravado e asfáltico), em que a sub-bacia S1 pode corresponder a um trecho da via urbana considerada um evento de precipitação para avaliar o comportamento hidráulico das possibilidades simuladas.

A modelagem no SWMM foi realizada seguindo a subdivisão da área em sub-bacias, que é definida com a área do pavimento na via, permitindo que fosse feita uma análise mais apurada do escoamento superficial e da infiltração segundo tipo de pavimento. Os resultados desse processo auxiliam na análise da influência dos pavimentos na drenagem urbana e na gestão sustentável de águas pluviais.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o objetivo de investigar o desempenho dos pavimentos intertravado e asfáltico no manejo do escoamento superficial, foram realizadas simulações hidrológicas considerando uma precipitação de 150 mm como mostra a Figura 6. Esse arranjo resultou em uma chuva com intensidade crescente até atingir o pico, e então decrescendo de forma gradativa ao longo da duração total. A partir das simulações, foram obtidos dados relevantes, consistindo em três parâmetros principais: (i) escoamento superficial da sub-bacia, (ii) vazão no trecho analisado e (iii) velocidade do fluxo ao longo do trecho.

Figura 6 - Precipitação de 150mm com 6 horas de duração



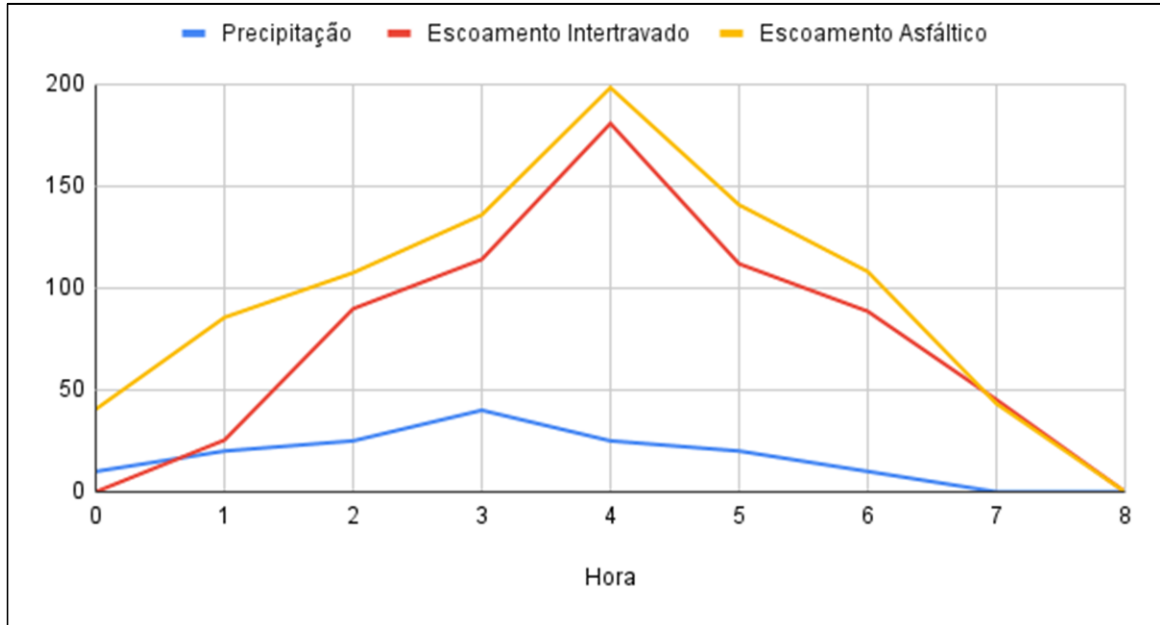
Fonte: Elaboração própria (2025).

Os resultados se encontram apresentados sob a forma de gráficos que demonstram o comportamento hidrológico ao longo do período de seis horas. A análise integrada deles viabiliza a averiguação do potencial de o pavimento intertravado atenuar picos de escoamento, com implicações diretas sobre a quantidade de água escoada, assim como sobre a velocidade desta água. Assim, se pode verificar se a utilização de materiais permeáveis apresenta potencial para reduzir riscos de alagamentos e incrementar a eficiência do sistema de drenagem urbana.

As Figuras 7, 8 e 9 apresentadas a seguir ilustram o comportamento hidrológico de um pavimento intertravado comparado com um pavimento asfáltico com uma precipitação de

150 mm, evidenciando aspectos relevantes do escoamento superficial, da vazão e da velocidade do fluxo ao longo do tempo.

Figura 7 - Escoamento superficial no pavimento intertravado e pavimento asfáltico



Fonte: Elaboração própria (2025).

A curva de precipitação apresenta um aumento contínuo até alcançar o máximo na quarta hora, coincidindo com o maior volume de chuva. O pavimento asfáltico apresenta tempo de resposta rápido e intenso ao evento pluviométrico, atingindo um pico de aproximadamente 180 L/s, enquanto o pavimento intertravado apresenta um escoamento máximo menor, na ordem de 130 L/s. Essa diferença de cerca de 28% reflete a capacidade que o pavimento intertravado proporciona de reduzir e retardar o escoamento, favorecendo processos de infiltração.

Após o máximo pluviométrico, nota-se a queda progressiva no escoamento de ambos os pavimentos, mas a redução do pavimento asfáltico ocorreu de forma mais abrupta, visto que praticamente toda a água escoou de forma superficial. No pavimento intertravado, a redução do escoamento ocorre de maneira mais gradual, mostrando que parte da água da chuva ainda está sendo absorvida e escoada levemente. Esse comportamento mostra o efeito favorável do pavimento intertravado na mitigação da vazão de pico e redução da carga em sistemas de drenagem urbana.

Em razão desses resultados, evidencia-se que o pavimento intertravado apresenta vantagens significativas de redução do escoamento superficial, sendo uma alternativa eficaz a representar à sustentabilidade dos recursos hídricos e minimização de riscos de alagamentos e sobrecarga da infraestrutura urbana.

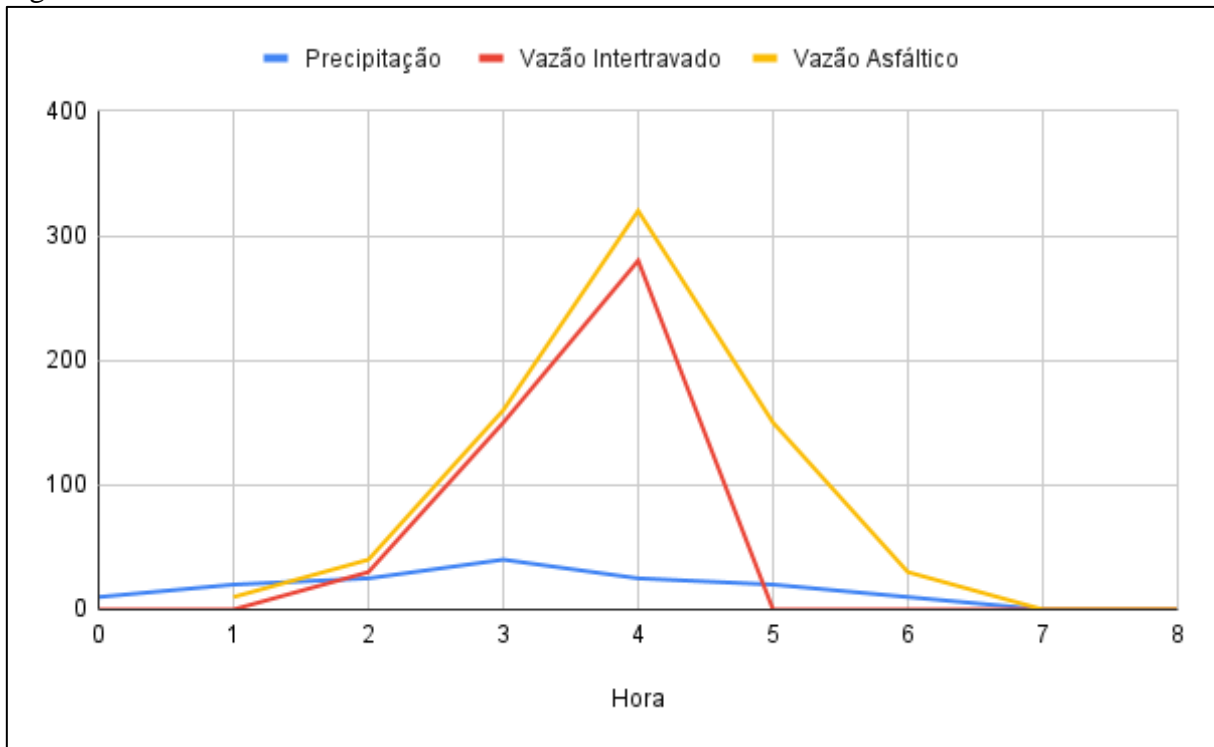
Diante desses resultados, percebe-se que o pavimento intertravado apresenta vantagens significativas na redução do escoamento superficial, tornando-se uma alternativa eficaz para minimizar riscos de alagamentos e sobrecarga da infraestrutura urbana. A adoção desse tipo de pavimento, aliada a estratégias complementares, como bacias de retenção e sistemas de infiltração, pode aprimorar a gestão das águas pluviais, promovendo maior sustentabilidade no ambiente urbano.

Na Figura 8, observa-se que enquanto o pavimento asfáltico apresenta um pico de vazão próximo a 320 LPS, o pavimento intertravado exibe uma elevação mais moderada, com valor máximo de 280 LPS. Essa diferença entre os dois picos de escoamento é significativa para o dimensionamento da drenagem urbana, pois indica que o pavimento intertravado é capaz de reduzir o volume de água que escoam superficialmente em um único momento, aliviando a sobrecarga sobre a rede de drenagem.

Além disso, o pavimento intertravado não apenas atenua a intensidade do pico, mas também promove uma liberação mais gradual da água. Nota-se, após a quarta hora, que a vazão no pavimento intertravado decai de forma controlada, permanecendo um pouco acima do zero por mais tempo, enquanto a vazão do asfalto apresenta uma queda mais acentuada, porém em valores absolutos inicialmente mais elevados. Esse comportamento sugere que a capacidade de infiltração do pavimento intertravado retém parte do escoamento e o libera ao longo do tempo, reduzindo riscos de alagamento pontual e contribuindo para um manejo de águas pluviais mais sustentável.

Em suma, a comparação dos valores nos dois tipos de revestimento confirma a eficiência do pavimento intertravado em evitar picos extremos de vazão, oferecendo uma distribuição mais equilibrada do volume de água e, conseqüentemente, menor sobrecarga na infraestrutura de drenagem. Isso reforça a importância de soluções que aliem permeabilidade e resistência mecânica, possibilitando um escoamento controlado e reduzindo o impacto de precipitações intensas em áreas urbanas.

Figura 8 - Vazão no Pavimento Intertravado e no Pavimento Asfáltico



Fonte: Elaboração própria (2025).

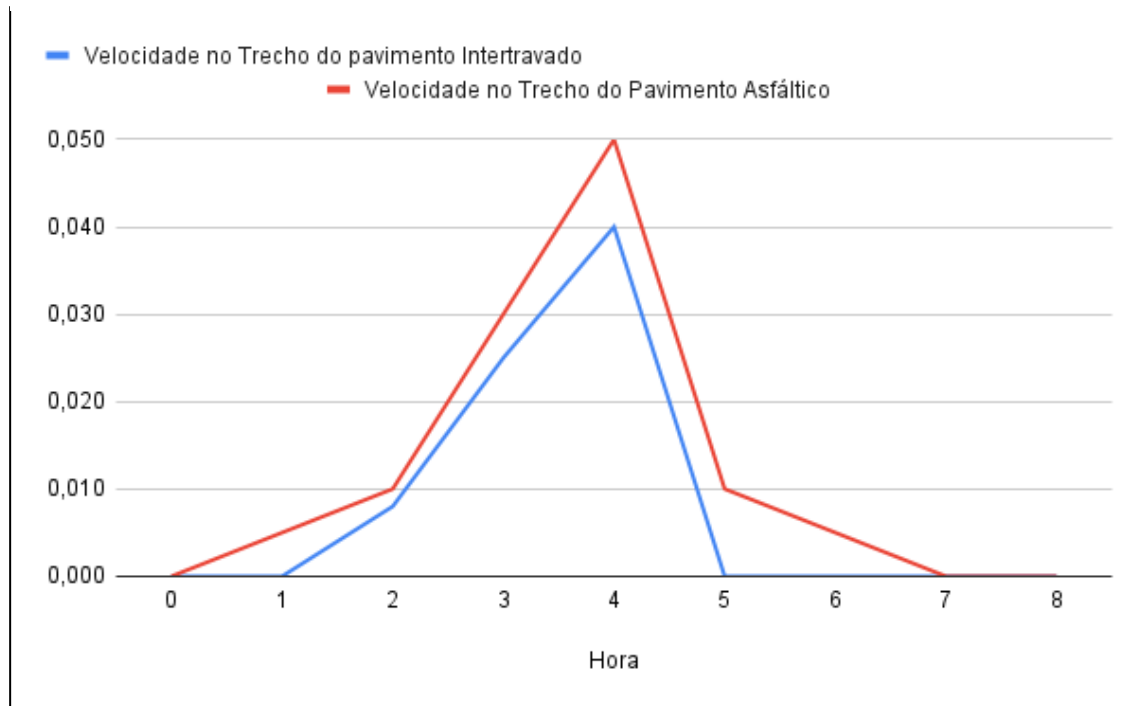
Ao observar a Figura 9, percebe-se que, até aproximadamente a segunda hora, as velocidades de escoamento se mantêm em níveis baixos, indicando um fluxo inicial pouco significativo. A partir da terceira hora, contudo, ocorre um aumento acentuado nas duas linhas, em resposta ao pico de precipitação. Nesse momento, o pavimento asfáltico atinge cerca de 0,045 (na escala vertical), enquanto o pavimento intertravado chega a aproximadamente 0,030. Essa diferença de cerca de 0,015 evidencia como a maior permeabilidade do pavimento intertravado contribui para armazenar parte da água, reduzindo a energia do escoamento superficial.

Logo após o pico, a velocidade do fluxo sobre o asfalto diminui de forma rápida, retornando a valores próximos de 0,010 por volta da quinta hora. Já o pavimento intertravado apresenta uma queda mais gradual, prolongando o período de escoamento em valores intermediários. Esse comportamento ocorre porque a água, ao encontrar espaços para infiltrar, é liberada de maneira mais lenta, evitando picos muito elevados de velocidade.

Essas diferenças na forma como o fluxo se comportam impactam diretamente o sistema de drenagem urbano. Velocidades mais baixas e distribuídas ao longo do tempo, como as observadas no pavimento intertravado, reduzem o risco de enxurradas intensas, diminuem a possibilidade de erosão superficial e aliviam a sobrecarga em galerias e bueiros. Assim, os

resultados reforçam o papel do pavimento intertravado na atenuação dos picos de escoamento e na promoção de um manejo mais equilibrado e sustentável das águas pluviais, contribuindo para a proteção contra alagamentos localizados e para a durabilidade da infraestrutura de drenagem.

Figura 9 - Velocidade no trecho do Pavimento Intertravado e Pavimento Asfáltico



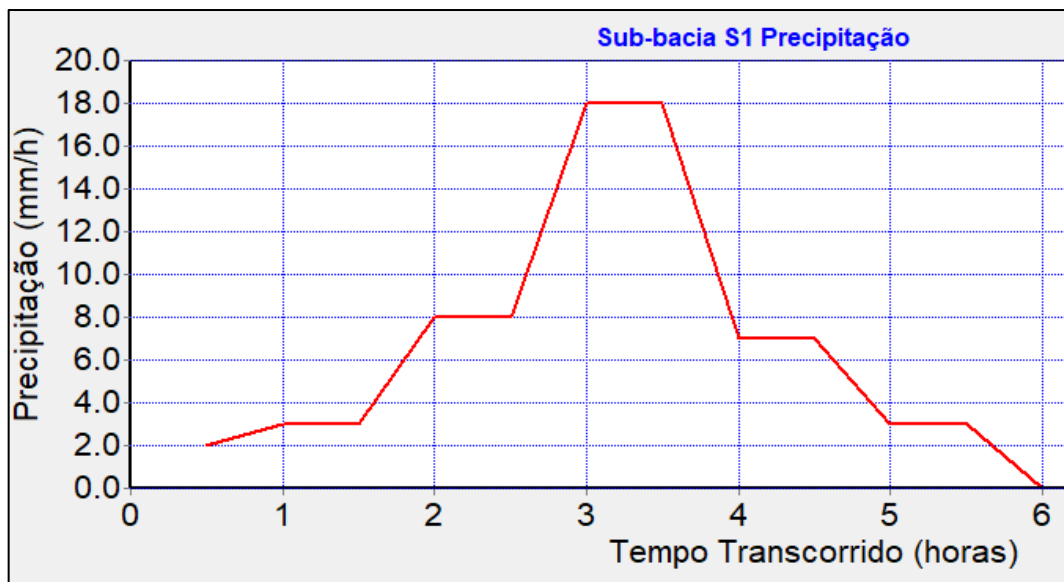
Fonte: Elaboração própria (2025).

Nos resultados obtidos para o cenário de 150 mm, verificamos que as vazões e velocidades elevadas estão intimamente associadas ao tempo que a chuva leva para escoar até o início da tubulação. Esse comportamento depende da área da bacia e do tempo de concentração, indicando que a geometria e a extensão do território são determinantes na formação dos picos intensos de fluxo. Assim, concluímos que a infraestrutura de drenagem deve ser dimensionada com base nesses parâmetros, de modo a absorver e distribuir a energia do escoamento de forma controlada, minimizando os riscos de sobrecarga e eventuais danos estruturais.

Após apresentarmos os resultados robustos do cenário de 150 mm, que evidenciam de maneira clara a dinâmica do fluxo com velocidades elevadas e vazões expressivas, entendemos ser relevante contrastar esses dados com o cenário de 40 mm, ilustrado na Figura 10, onde também utilizamos o Método dos Blocos Alternados. Essa comparação nos permite

observar que, sob condições de menor intensidade de precipitação, o sistema de drenagem opera com uma demanda significativamente reduzida, o que favorece um manejo mais eficiente e seguro das águas pluviais. Dessa forma, reforçamos a importância de considerar diferentes cenários de precipitação para o desenvolvimento de soluções urbanas resilientes e adaptadas às

Figura 10 - Precipitação de 40mm com 6 horas de duração



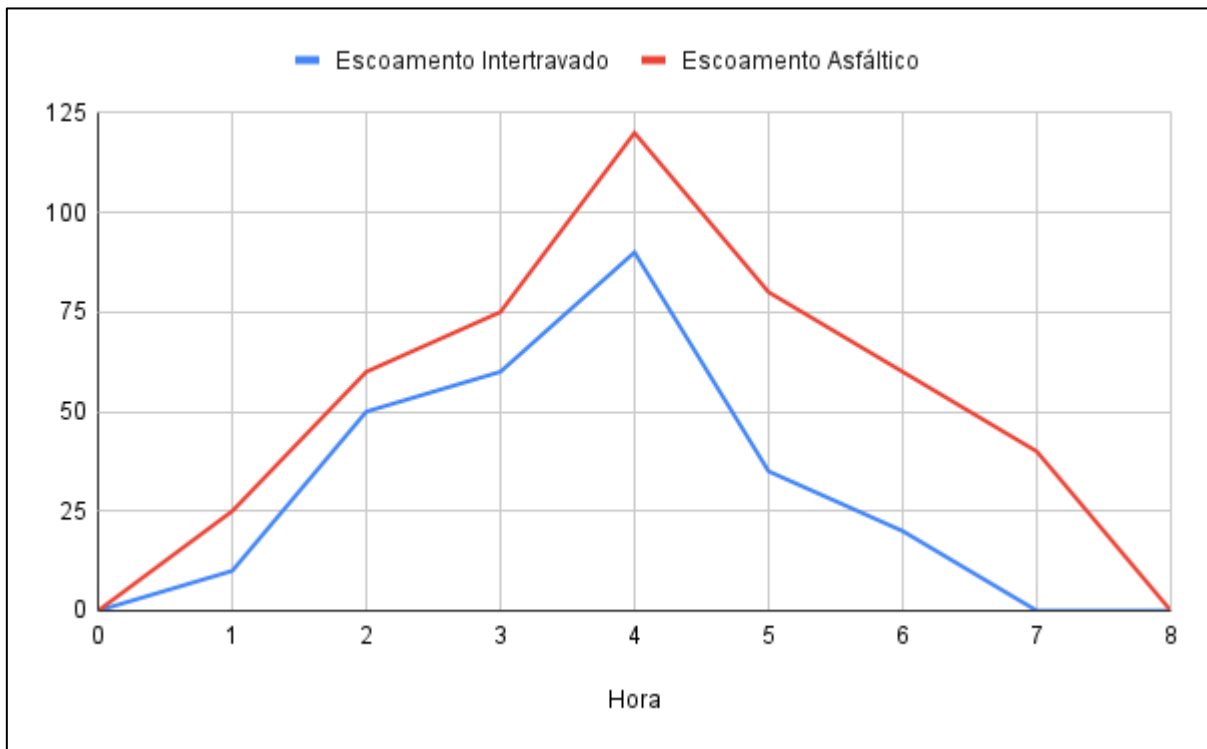
variações dos eventos climáticos.

Fonte: Elaboração própria (2025).

Na Figura 11, observa-se que o escoamento para a superfície asfáltica apresenta um rápido aumento logo no início, atingindo seu pico por volta da terceira hora, em torno de 120. Em seguida, ocorre uma queda brusca, de cerca de 40% do valor máximo entre a terceira e a quinta hora, sugerindo que a água escoar rapidamente sobre a superfície impermeável, sem retenção significativa. Esse comportamento reforça a ideia de que pavimentos com baixa capacidade de infiltração tendem a gerar picos de vazão elevados em curtos intervalos de tempo.

Por outro lado, o escoamento para a superfície intertravada apresenta um crescimento mais gradual, atingindo um pico próximo a 90, também por volta da terceira hora. A partir daí, a redução do escoamento ocorre de maneira menos abrupta, mantendo valores intermediários até a sétima hora. Essa característica indica que o pavimento intertravado ou um solo mais permeável possibilita maior infiltração e retardamento do escoamento, distribuindo a vazão ao longo de um período mais extenso. Em síntese, a comparação dos hidrogramas demonstra que superfícies impermeáveis geram picos de vazão mais altos e rápidos, enquanto superfícies permeáveis contribuem para amortecer o escoamento e promover uma drenagem mais equilibrada no tempo.

Figura 11 - escoamento Asfáltico e Intertravado com Precipitação de 40mm



Fonte: Elaboração própria (2025).

Na análise da vazão e da velocidade do escoamento no trecho T1, como mostra a Figura ambos os pavimentos apresentaram índices praticamente nulos ao longo do tempo. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que a precipitação aplicada no modelo não foi suficiente para gerar um fluxo significativo nessa região. Como o trecho T1 pode estar localizado em uma área de baixa declividade ou possuir características que favorecem a infiltração, a pouca intensidade da chuva resultou na absorção da água pelo solo ou na dispersão da lâmina d'água sobre a superfície, sem formar um escoamento concentrado.

Figura 12 - Vazões e Velocidades em ambos os pavimentos



Fonte: Elaboração própria (2025).

A Figura 12 mostram que, independentemente do tipo de pavimento analisado, a vazão e a velocidade do escoamento permaneceram constantes e praticamente nulas ao longo do tempo. Esse comportamento reforça a ideia de que há um limiar mínimo de precipitação necessário para que ocorra escoamento superficial perceptível; abaixo desse patamar, a água tende a se infiltrar ou permanecer na superfície sem gerar fluxo expressivo. A análise de diferentes cenários de precipitação é, portanto, fundamental para entender os mecanismos de escoamento e infiltração, destacando a importância de considerar esses limiares no planejamento urbano e no manejo dos recursos hídricos. Esse fator tem implicações diretas na prevenção de inundações e no dimensionamento dos sistemas de drenagem, pois subestimar a influência da intensidade da chuva pode resultar tanto em infraestruturas ineficientes quanto em soluções superdimensionadas, comprometendo a eficácia e a sustentabilidade das medidas adotadas.

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos indicam que o pavimento intertravado desempenha um papel crucial no manejo das águas pluviais, especialmente em situações de chuvas intensas. Os dados mostraram que, durante essas chuvas, a capacidade de infiltração do pavimento intertravado contribui para a redução dos picos de escoamento superficial, retardando o fluxo de água e aliviando a pressão sobre os sistemas de drenagem nas áreas urbanas. Essa característica é vital para prevenir alagamentos e mitigar os danos associados a esses eventos, especialmente em regiões onde a impermeabilização do solo costuma agravar os problemas de alagamento e erosão.

Ademais, ao avaliar um cenário de 40 mm de precipitação, verificou-se que tanto o pavimento intertravado quanto o pavimento asfáltico não resultaram em fluxo significativo. Esse fato demonstra que há um limite mínimo de precipitação em que ambos os tipos de pavimento conseguem reter e infiltrar água sem gerar escoamento superficial considerável. Esse resultado destaca a relevância de selecionar materiais de pavimentação adequados para cada tipo de ambiente urbano, assegurando uma drenagem pluvial mais eficaz.

Nesse contexto, a urgência em implementar ações para o manejo das águas pluviais se torna ainda mais evidente, especialmente em face das alterações climáticas. Projeções sugerem um aumento na frequência e na intensidade de eventos extremos, com chuvas mais intensas ocorrendo de maneira mais regular. Isso pode levar ao colapso das infraestruturas de drenagem convencionais, tornando essencial a adoção de soluções resilientes e sustentáveis. O pavimento intertravado, nesse cenário, se apresenta como uma alternativa eficaz para mitigar esses impactos, pois favorece uma maior absorção de água e reduz o volume de escoamento direcionado às redes de drenagem.

Além dos benefícios hidráulicos, a inclusão desse tipo de pavimento faz parte de um contexto de projeto urbano que propõe uma resposta mais sustentável e adaptativa, seguindo as diretrizes de infraestrutura verde e desenvolvimento resiliente. Sua adoção poderá ser associada a outras soluções de drenagem sustentável, tais como bacias de retenção, jardins de chuva e dispositivos para captação de água pluvial, criando-se um espaço urbano mais bem preparado para responder aos desafios impostos pelas mudanças climáticas. Assim, os resultados obtidos indicam a viabilidade do uso de pavimentos intertravados como um viável

instrumento estratégico para mitigação de impactos de chuvas intensas, no sentido de promover uma gestão hídrica mais eficiente e sustentável.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Lizane; SERRA, Juan Carlos Valdés. Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. **Revista da FAE**, v. 20, n. 1, p. 129-137, 2017.

ALVES, R.; BARROS, M. **Influência dos pavimentos urbanos na drenagem sustentável: uma revisão bibliográfica**. Revista Brasileira de Engenharia Urbana, v. 23, n. 2, p. 101-120, 2021.

Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). "**Pavimento intertravado de concreto**." Disponível em: (<https://www.abcp.org.br/pavimento-intertravado-de-concreto/>). Acesso em: 21 maio 2024.

BECKER, P. **Obtenção de informações para plano diretor de drenagem urbana utilizando o SIG**. 115 f. Dissertação (Mestrado) – à Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis. 2006.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P. e SOARES, J. B. (2022) **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobrás: Abeda, 504p.

BRASIL. Presidência da República. Lei n. 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Casa Civil. Brasília: DOU, 2007.

CALDEIRA, Luiz Antônio Cardoso; LIMA, Diogo Pedreira. **Drenagem urbana: uma revisão de literatura**. Engineering Sciences, v. 8, n. 2, p. 1-9, 2020.

COLLODEL, Milena Gardai. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DINIZ, C. M.; RANGEL, M. P.; OLIVEIRA, M. B.; ROSTANGO, P. V.. **A interferência das redes subterrâneas na qualidade da pavimentação urbana: comparativo econômico entre alternativas de traçado**. Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico, n.2, v.2, 2016.

FERREIRA, L. G.; OLIVEIRA, J. P.; SANTOS, H. A. **Pavimentos permeáveis como solução para o manejo sustentável das águas pluviais**. Revista de Engenharia Civil Sustentável, v. 12, n. 1, p. 45-63, 2019.

GARCIA, J. I. B.; PAIVA, E. M. C. D. **Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia do Arroio Cancela** – RS. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 11, n. 4, Out/Dez 2006, 99-108 pp. 2006.

HALLACK, ABDO, (1998). “**Dimensionamento de Pavimentos com Revestimento de Peças Pré-Moldadas de Concreto para Áreas Portuárias e Industriais**”, Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo – Escola Politécnica, São Paulo, Brasil, 116 p

MARTINS, Malu Batista Ramos. **Estudo de caso da obra de recuperação de drenagem urbana nas Três Lagoas: a importância social da engenharia de infraestrutura**. 2021.

MATOS, J.S. Aspectos **históricos e atuais da evolução da drenagem de águas residuais em meio urbano**. Lisboa: Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura do Instituto Superior Técnico, 2003.

MELLER, A. **Simulação hidrodinâmica integrada de sistema de drenagem de Santa Maria** – RS. 2004. 152 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal de Santa Maria – UFMS, Santa Maria, 2004.

PAULA, J. S.; SILVA, J. S.; OLIVEIRA, M. A. F.; RANGEL, M. P.. **Execução de obras de drenagem pluvial: princípios empregados na construção de redes de drenagem urbana**. Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico, n.2, v.3, 2017.

PEREIRA, Antônio Carlos Oquendo. **Influência da drenagem subsuperficial no desempenho de pavimentos asfálticos**. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PEREIRA, V. C.; SOUZA, R. F. **Impactos do pavimento asfáltico no escoamento superficial urbano**. Revista de Hidrologia Urbana, v. 5, n. 1, p. 20-35, 2016.

SAVIETTO, Júlia Panzarin. **Análise de impactos ambientais da restauração de um pavimento asfáltico pela Avaliação do Ciclo de Vida**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SILVA, Thyago Vinícius Santos da et al. **Sistemas de drenagem urbana de águas pluviais: um estudo de caso na cidade de Bacabal/MA**. 2023.

SIMIÉLI, Daniel; MIZUMOTO, Camilo; SEGANTINI, Anderson da Silva; MOREIRA, Flávio. **Utilização de Agregados Reciclados em Pavimentos Intertravados**. Revista Exata. Centro Universitário Nove de Julho. São Paulo, 2007, 10p.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2008.