

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS PATO BRANCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

CAROLINE FRANCISCA PAZETTI

**QUANTIFICAÇÃO DE FLUXOS HÍDRICOS EM PAVIMENTOS  
ALTAMENTE PERMEÁVEIS NA MITIGAÇÃO DE INUNDAÇÕES  
URBANAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

PATO BRANCO

2021

**CAROLINE FRANCISCA PAZETTI**

**QUANTIFICAÇÃO DE FLUXOS HÍDRICOS EM PAVIMENTOS ALTAMENTE  
PERMEÁVEIS NA MITIGAÇÃO DE INUNDAÇÕES URBANAS**

**Quantification of water fluxes in highly permeable pavements for urban  
flooding mitigation**

Dissertação apresentada como requisito para  
obtenção do título de Mestre em Engenharia  
Civil da Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná (UTFPR).

Orientador: Profº. Drº. Murilo Cesar Lucas

**PATO BRANCO**

**2021**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Pato Branco**



CAROLINE FRANCISCA PAZETTI

## **QUANTIFICAÇÃO DE FLUXOS HÍDRICOS EM PAVIMENTOS ALTAMENTE PERMEÁVEIS NA MITIGAÇÃO DE INUNDAÇÕES URBANAS**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestra Em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Meio Ambiente.

Data de aprovação: 27 de Agosto de 2021

Prof Murilo Cesar Lucas, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Cesar Augusto Medeiros Destro, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Flavio Aparecido Goncalves, Doutorado - Universidade Federal de Alfenas (Unifal-Mg)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 26/10/2021.

## AGRADECIMENTOS

Este projeto foi desenvolvido com recursos financeiros do projeto CNPq Universal nº 429750/2018-8, chamada MCTIC/CNPq nº 28/2018.

No âmbito acadêmico quero agradecer ao meu orientador Prof. Dr. Murilo Cesar Lucas, pelas importantes contribuições e estímulos transmitidos. Agradeço também aos membros da banca examinadora que deixaram valiosas contribuições para o trabalho.

Às pessoas que, durante esse extenso trabalho auxiliaram nas fases de ensaios, execução dos pavimentos, análise dos dados e elaboração da dissertação; às meninas do grupo de pesquisa, ao pessoal da equipe de colaboradores da UTFPR.

Agradeço especialmente a minha família, meus pais Otacir e Jussara, que me apoiaram incondicionalmente em todas as etapas da vida, cada uma de minhas vitórias também são suas. A minha vó Chica (*in memorian*) que de onde estiver sei que ora por mim!

Ao Willyan, que tem sido muito importante para mim, me dando apoio, incentivo e compreensão nos momentos difíceis ou compartilhando os bons momentos da vida.

Aos amigos que conquistei e com quem convivi durante essa trajetória, agradeço de todo coração.

Por fim, quero agradecer a Deus, responsável pelas minhas conquistas, por ter me dado forças e me conduzido até este momento: muito obrigada!

## RESUMO

O crescimento da urbanização acarreta o aumento de superfícies impermeáveis e por consequência, alterações no ciclo hidrológico, por exemplo, o aumento do escoamento superficial ( $R_{off}$ ). O aumento do  $R_{off}$  pode sobrecarregar os sistemas de drenagem pluvial e, conseqüentemente, aumentar o risco de inundações urbanas. Para mitigar os problemas de volume e pico de escoamento superficial, os Sistemas Sustentáveis de Drenagem (*SuDS*) vêm sendo cada vez mais empregados. Pavimentos Permeáveis (PP) são um exemplo de *SuDS* e permitem a infiltração e o armazenamento de águas pluviais. No entanto, há poucos estudos experimentais sobre o desempenho hidrológico de PP no Brasil. O objetivo desse estudo é quantificar os fluxos hídricos em uma parcela experimental de PP altamente permeável. A área experimental é localizada no município de Pato Branco, Paraná. O estudo foi realizado na escala de parcela (experimental) e o PP foi construído com a presença de dreno de fundo e revestimento de bloco de concreto intertravado poroso e permeável. Foram monitorados 11 eventos de precipitação, entre os meses de janeiro e maio de 2021. A avaliação dos fluxos hídricos foi realizada em relação ao comportamento da vazão de pico dos volumes drenados pelo PP e a condição de umidade antecedente (*AMC*). O módulo de PP apresentou porcentagem média de 65,89% dos volumes drenados em relação aos volumes precipitados, demonstrando assim, que o desempenho do PP foi consistente, sem ocorrência de escoamento superficial ( $R_{off}$ ). Os resultados indicam que eventos com *AMC III* se aproximaram dos volumes de chuva, e eventos com *AMC I* se distanciaram dos volumes precipitados. Os resultados desse estudo contribuem para aumentar a credibilidade na utilização dos PP, principalmente no Sul do Brasil. Além disso, os resultados abrem a possibilidade de para calibração de modelos computacionais de drenagem pluvial sustentável.

Palavras – Chave: *SuDS*; pavimentos permeáveis; blocos intertravados; fluxos hídricos.

## ABSTRACT

The growth of urbanization leads to an increase in impermeable surfaces and, consequently, changes in the hydrological cycle, for example, an increase in surface runoff (*Roff*). The increase in *Roff* can overload the rain drainage systems and, consequently, increase the risk of urban flooding. To mitigate the problems of volume and peak surface runoff, Sustainable Drainage Systems (*SuDS*) are being increasingly used. Permeable Pavements (PP) are an example of *SuDS* and allow rainwater infiltration and storage. However, there are few experimental studies on the hydrological performance of PP in Brazil. The aim of this study is to quantify water fluxes in an experimental plot of highly permeable PP. The experimental area is located in the municipality of Pato Branco, Paraná. The aim of this study is to quantify water fluxes in an experimental plot of highly permeable PP. The study was carried out on a plot scale (experimental) and the PP was built with the presence of a bottom drain and a porous and permeable interlocking concrete block lining. Twelve rainfall events were monitored and evaluated between January and May 2021, in addition to data on drained water in the experimental module. The evaluation of the peak flow behavior was made in relation to the precipitation heights and the antecedent humidity (*AMC*). The PP module had an average percentage of 65.89% of the volumes. The PP module had an average percentage of 65.89% of the volumes drained in relation to the precipitated volumes, thus demonstrating that the PP performance was consistent, without the occurrence of runoff (*Roff*). The results indicate that events with *AMC* III approached rainfall volumes, and events with *AMC* I moved away from precipitation volumes. The results of this study contribute to increase the credibility in the use of PP, especially in southern Brazil. In addition, the results open the possibility of calibrating computational models of sustainable rainwater drainage. drained in relation to the precipitated volumes, thus demonstrating that the PP performance was consistent, without the occurrence of runoff (*Roff*). The results indicate that events with *AMC* III approached rainfall volumes, and events with *AMC* I moved away from precipitation volumes. The results of this study contribute to increase the credibility in the use of PP, especially in southern Brazil. In addition, the results open the possibility of calibrating computational models of sustainable rainwater drainage.

Keywords: *SuDs*; permeable pavements; interlocking blocks; water flows.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação das camadas de um pavimento permeável. ....	18
Figura 2 - Classificação dos pavimentos permeáveis, de acordo com Woods–Ballard et al. (2015): (a) infiltração total; (b) infiltração parcial; e (c) sem infiltração. ....	19
Figura 3 - Tipos de pavimentos permeáveis: (a) peças de concreto com juntas alargadas;(b) peças de concreto com áreas vazadas; (c) peças de concreto permeável; (d) placas de concreto permeável.....	20
Figura 4 – Localização da área de estudo, onde foi confeccionado o módulo experimental de pavimentos permeáveis. A imagem de satélite representa a UTFPR no município de Pato Branco – PR. ....	26
Figura 5 - Precipitação média mensal histórica de Pato Branco-PR entre 1989 e 2019. ....	27
Figura 6 - Corte esquemático do módulo experimental de PP. ....	28
Figura 7 - Bloco de concreto intertravado permeável e poroso usado como revestimento do PP. ....	30
Figura 8 - Etapas da preparação do terreno: (a) Limpeza e escavação; (b) Nivelamento; ....	41
Figura 9 - Regularização da área, colocação de <i>pallets</i> e instalação do módulo experimental.....	42
Figura 10 - Representação da planta baixa do PP.....	43
Figura 11 – (a) Posição dos tanques de coleta de água drenada e de escoamento superficial; (b) Vista superior da camada de revestimento.....	43
Figura 12 - Instalação dos instrumentos de monitoramento: (a) pluviômetro de bascula; (b) <i>datalogger</i> e placa solar que alimenta a energia elétrica do <i>datalogger</i> . ....	44
Figura 13 - Transdutor de pressão para medição de lâmina d’água. ....	45
Figura 14 - Representação gráfica dos tempos do hidrograma.....	48
Figura 15 - Curva granulométrica do material de assentamento.....	51
Figura 16 - Curva granulométrica do material da camada de base.....	53
Figura 17 - (a) Valores de teor de umidade das amostras (b) Valores de expansão das amostras (c) Valores do Índice de Suporte Califórnia (ISC). ....	54
Figura 18 - Camadas do módulo experimental e suas respectivas dimensões.....	56

Figura 19 - Altura de precipitação (mm) para cada evento monitorado.....	59
Figura 20 - Valores das lâminas d'água (cm) para cada evento. ....	59
Figura 21 - Desempenho do PP em relação ao volume retido e drenado: (a) Eventos do 1 ao 5; (b) Eventos do 6 ao 11. ....	61
Figura 22 - Volume drenado em relação à altura de chuva para os 11 eventos caracterizados. ....	62
Figura 23 - Gráfico do volume drenado no PP X altura de chuva com base no <i>AMC</i> . ....	63
Figura 24 - Hidrograma de drenagem (água coletada no dreno) do pavimento permeável para o evento 3.....	64
Figura 25 - Hidrograma de drenagem (água coletada no dreno) do pavimento permeável para o evento 5.....	65
Figura 26 - Hidrograma de drenagem (água coletada no dreno) do pavimento permeável para o evento 7.....	66
Figura 27 - Hidrograma de drenagem (água coletada no dreno) do pavimento permeável para o evento 9.....	67
Figura 28 - Hidrograma do evento 11 com a representação do ponto onde ocorre diferença de pressão nos dados coletados. ....	67



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estudos brasileiros recentes sobre pavimentos permeáveis.....	24
Tabela 2 - Classificação da Condição de Umidade Antecedente.....	49
Tabela 3 - Resultados da caracterização do pedrisco.....	50
Tabela 4 - Composição granulométrica do pedrisco. ....	50
Tabela 5 - Resultados da caracterização da brita 3. ....	51
Tabela 6 - Composição granulométrica da brita 3.....	52
Tabela 7 - Valores dos parâmetros de dimensionamento pela NBR 16416.....	53
Tabela 8 - Parâmetros obtidos pelo dimensionamento da Curva-Envelope.....	54
Tabela 9 - Valores de CBR para a amostra 4.....	54
Tabela 10 - Resultados dos parâmetros do dimensionamento mecânico. ....	55
Tabela 11 - Resumo dos eventos coletados: Data do evento; Precipitação (mm); Duração do evento; Intensidade média (mm/h) e Classificação da intensidade .....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMC	<i>Antecedent Moisture Condition</i>
CBR	California Bearing Ratio
IDF	Intensidade – Duração - Frequência
LID	Low Impact Development
NBR	Norma Brasileira
PP	Pavimento Permeável
SUDS	Sustainable Urban Drainage Systems
SWMM	Storm Water Management Model
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>14</b>
3.1 EFEITOS DA URBANIZAÇÃO E DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOB A DRENAGEM URBANA.....	14
3.2 SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL .....	15
3.3 CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS .....	17
3.3.1 Tipologia de revestimentos .....	20
3.4 DESEMPENHO HIDROLÓGICO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS.....	21
<b>4. ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>26</b>
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>28</b>
5.1 CRITÉRIOS ADOTADOS PARA A CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL .....	28
5.2 CAMADA DE REVESTIMENTO .....	29
5.3 CAMADA DE ASSENTAMENTO.....	31
5.4 CAMADA DE BASE.....	32
5.5 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL.....	33
5.5.1 Dimensionamento Mecânico .....	33
5.5.2 Dimensionamento Hidrológico .....	37
5.6 CONSTRUÇÃO DOS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS.....	41
5.7 MONITORAMENTO E COLETA DE DADOS .....	44
5.8 TRATAMENTO DOS DADOS DE ÁGUA DRENADA.....	45
5.9 ANÁLISE DOS DADOS DOS FLUXOS HÍDRICOS MONITORADOS .....	47
<b>6. 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>49</b>
6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS QUE COMPÕEM OS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS .....	49
6.2 RESULTADO DO DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO .....	53
6.3 RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO MECÂNICO .....	54

6.4	RESULTADOS DOS FLUXOS HÍDRICOS.....	56
6.5	AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DE UMIDADE ANTECEDENTE (AMC).....	62
6.6	HIDROGRAMAS DE DRENAGEM.....	64
7.	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>69</b>
8.	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>71</b>
9.	<b>APÊNDICE A – CURVA DE COMPACTAÇÃO DO SOLO</b> .....	<b>79</b>
10.	<b>APÊNDICE B – GRÁFICO DO MÉTODO DE PROJETO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS (DNER, 1981)</b> .....	<b>80</b>
11.	<b>APÊNDICE C - GRÁFICOS DE PRECIPITAÇÃO X DRENAGEM</b> .....	<b>81</b>
12.	<b>APÊNDICE D – DADOS DOS HIDROGRAMAS</b> .....	<b>99</b>
13.	<b>ANEXO E – LAUDO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DO BLOCO POROSO</b> .....	<b>129</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, 55% da população global vive em áreas urbanas, o que corresponde a um aumento de 24% desde 1950. É esperado que aproximadamente 68% da população global viva em áreas urbanas até 2050 (UNITED NATIONS, 2018). O crescimento da urbanização tem ocasionado o aumento de superfícies impermeáveis (e.g., ruas, calçadas, edificações e estacionamentos) (HEILIG, 2012) e, conseqüentemente, alterações no ciclo hidrológico (HAO et al., 2015). Por exemplo, aumento significativo do volume e pico de escoamento superficial (BRAUD et al., 2013; MILLER et al., 2014; LI et al., 2018), dificultando a infiltração de água no solo (GREGORY et al.; 2006; BARUCH et al., 2018) e diminuído a evapotranspiração (FANG et al., 2020).

Essas alterações no ciclo hidrológico urbano, usualmente, ocasionam a sobrecarga dos sistemas de drenagem pluvial, causando inundações urbanas. Mundialmente, as inundações são responsáveis por aproximadamente 50% do total de danos causados pelos desastres naturais (KRON, 2003). Na última década, perdas financeiras anuais, motivadas por inundações, atingiram 10 bilhões de dólares, e milhares de pessoas foram mortas (HIRABAYASHI et al., 2013). Além disso, o aumento do escoamento superficial em áreas urbanas pode prejudicar a qualidade dos corpos hídricos superficiais, por meio da erosão de suas margens, aumento da concentração de poluentes (WINSTON et al., 2018; VAILLANCOURT et al., 2019), diminuição da biodiversidade e desequilíbrio ecológico (FLETCHER et al., 2013).

Para a mitigação do volume e do pico de escoamento superficial, Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana (*SuDS*) vêm sendo utilizados (WOODS-BALLARD et al., 2015). Os *SuDS* são projetados para auxiliar a infiltração de água no solo de modo a atingir condições hidrológicas semelhantes às de pré-urbanização (ALSUBIH et al., 2017; PAGE et al., 2015; WOODS-BALLARD et al., 2015). Células de biorretenção, trincheiras de infiltração, telhados verdes, coleta pluvial a partir de telhados e pavimentos permeáveis são alguns exemplos de *SuDS*. Por exemplo, na China, o uso de *SuDS* tem sido proposto em escala nacional, no contexto de “cidades espojas”, para mitigar as inundações urbanas e melhorar a qualidade da água (Hu et al., 2018).

Os Pavimentos Permeáveis (PP) são compostos por camadas que permitem o escoamento e o armazenamento das águas pluviais (SAADEH et al., 2019). Além disso, os PP proporcionam o equilíbrio ecológico nas bacias hidrográficas (STØVRING; DAM; JENSEN, 2018). Altas taxas de infiltração (entre 13 e 4.000 cm/h) podem ser atingidas a partir de PP, dependendo do tipo de revestimento e das condições de manutenção (BEAN; HUNT; BIDELESPACH, 2007). Em geral, os PP são compostos de uma camada de revestimento, junto à superfície do terreno, uma camada de assentamento composta de agregados miúdos (e.g., areia ou pedrisco), uma manta (geotêxtil) permeável para reter o transporte de partículas da camada de assentamento até as camadas inferiores, e uma camada de base e/ou sub-base composta por agregados de granulometria aberta (e.g., brita) (SCHOLZ; GRABOWIECKI, 2007; TURCO et al., 2017). A água drenada pelos PP pode ser armazenada, infiltrada diretamente no solo ou lançada diretamente no sistema de drenagem pluvial convencional.

Os estudos têm reportado o desempenho hidrológico de PP em várias regiões do mundo. Por exemplo, Vaillancourt et al. (2019) avaliou o desempenho hidrológico de PP em escala de bacia hidrográfica (urbana), na cidade de Montreal, Canadá. Devido à baixa permeabilidade do solo, foram instalados drenos na sub-base das estruturas. Os resultados obtidos mostraram redução no volume de pico do escoamento superficial nos módulos estudados.

Collins, Hunt e Hathaway (2008), compararam em escala de campo o desempenho hidrológico de quatro tipos de PP (altura superior a 500 mm) com o pavimento de asfalto convencional. Esses autores observaram uma redução média no volume percentual de escoamento superficial entre 36 e 67% e uma redução do pico de escoamento entre 60 e 77%. Liu et. al (2019), estudaram o desempenho hidrológico de quatro módulos de PP com quatro diferentes tipos de revestimentos. Os PP foram implementados em um estacionamento da Universidade de Tongji, em Xangai, China, e monitorado durante 1 ano. Um módulo era composto por revestimento de concreto impermeável (CP); dois módulos com revestimento de concreto permeável intertravado com diferentes dosagens de areia (PCIP1 e PCIP2) e um módulo com revestimento feito de argila (IPP). Os resultados apresentaram redução nas taxas do escoamento superficial de 96%, 96,5% e 99,4%, para o

PICP1, PICP2 e IPP, respectivamente, em relação ao pavimento de concreto impermeável (CP).

Apesar dos estudos prévios, ainda é insuficiente o número de pesquisas experimentais sobre o desempenho hidrológico de PP. Além disso, estudos sobre PP particularmente no Brasil ainda são raros. O desempenho hidrológico dos PP pode variar em função das condições climáticas locais (e.g., características de precipitação e demanda evaporativa do ar) (DE MACEDO et al., 2017). Por isso, são urgentes mais estudos experimentais sobre PP que considerem as diferentes particularidades climáticas de cada região (CHARLESWORTH et al., 2013). Além disso, o desempenho hidrológico de PP também pode mudar de acordo com o tipo de revestimento (COLLINS; HUNT; HATHAWAY, 2008). A camada de revestimento influencia fortemente no escoamento de saída através da base do PP (BRUNETTI; ŠIMUNEK; PIRO, 2016). No entanto, a maioria dos estudos têm limitado a avaliação do desempenho hidrológico de PP apenas considerando o uso de blocos de concreto intertravados como revestimento.

O foco desse estudo é o desempenho hidrológico de PP, em relação a redução do pico de escoamento superficial na rede de drenagem, diminuindo assim a sobrecarga do sistema convencional. Tomadores de decisão e indústrias privadas precisam de evidências claras sobre os benefícios da implantação de pavimentos permeáveis (PERALES-MOMPARLER et al., 2017).

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desse trabalho é quantificar os fluxos hídricos em pavimentos altamente permeáveis.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para que seja atingido o objetivo geral, foram listados os seguintes objetivos específicos:

- Dimensionar e construir um módulo experimental de pavimentos permeáveis usando revestimento permeável na superfície;
- Monitorar e avaliar os dados de precipitação e os dados de água drenada no módulo experimental;
- Avaliar o comportamento da vazão de pico do módulo experimental de pavimento permeável em relação às alturas de precipitação e a umidade antecedente.



### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 EFEITOS DA URBANIZAÇÃO E DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOB A DRENAGEM URBANA

É estimado que até 2050 aproximadamente 70% da população mundial viverá em áreas urbanas (UNITED NATIONS, 2018). Os impactos provenientes das mudanças climáticas e da urbanização são fatores que causam mudanças consideráveis na velocidade e no volume do escoamento superficial (ZHOU, 2014). Por isso, as mudanças climáticas e a urbanização não planejada são responsáveis pelo aumento do risco de inundações urbanas (HUONG; PATHIRANA, 2013; LI et al., 2013; MILLER; HUTCHINS, 2017; ZHANG et al., 2018).

Mudanças climáticas envolvem o aumento na temperatura média do ar, alterações de vento e precipitação. O aumento da temperatura tende a aumentar a capacidade evaporativa do ar atmosférico e conseqüentemente, um aumento da magnitude e frequência de eventos extremos de precipitação (AHMED; TSANIS, 2015; KANG et al., 2016). Como limitação, os sistemas de drenagem pluvial são usualmente dimensionados usando dados de precipitação, sob a hipótese da estacionaridade, a qual não considera mudanças climáticas. Assim, há necessidade de realizar pesquisas científicas para analisar os efeitos das mudanças climáticas sob o dimensionamento da drenagem pluvial urbana. A consideração das mudanças climáticas deve ser analisada junto com o uso de sistemas sustentáveis (AHMED; TSANIS, 2015; KANG et al., 2016).

Atualmente, existe uma crescente pressão para que as políticas públicas sejam aprimoradas no que diz respeito a enfrentar os desafios que envolvem os impactos da urbanização nos processos ambientais (ALVES et al., 2020). As intervenções antrópicas sem planejamento, trouxeram inúmeras complicações no que diz respeito a questão das águas urbanas. Como alternativa para solução dos problemas, devem ser consideradas medidas institucionais e medidas estruturais, como a prevenção em áreas não ocupadas, por meio de um planejamento. Já os locais de densa ocupação necessitam de medidas que mitiguem os problemas hidrológicos (ZANANDREA; DA SILVEIRA, 2019). Áreas impermeáveis, como ruas,

calçadas e telhados, estão entre os responsáveis pelos problemas associados às inundações em cidades, pois provocam aumento na velocidade e volume de escoamento superficial em relação às áreas menos urbanizadas (COLLINS; HUNT; HATHAWAY, 2008).

Braud et al. (2013) definiu indicadores que quantificassem o impacto das mudanças no uso e ocupação do solo, principalmente em relação as alterações no regime hidrológico na bacia hidrográfica de Yzeron, localizada na cidade de Lyon, França. O aumento da frequência de inundações nessa bacia veio principalmente das áreas rurais, potencializado pela contribuição das áreas urbanizadas. Os resultados obtidos pelo estudo mostram que o impacto da urbanização em relação ao aumento do escoamento superficial é limitado, pois neste caso à parte, a área rural da bacia hidrográfica é a principal responsável pela saturação do solo.

Miller et al. (2014) investigaram as mudanças no escoamento superficial em duas bacias hidrográficas localizadas na cidade de Swindon, Reino Unido. Essas bacias sofreram transformações de paisagens; anteriormente eram rurais e passaram a ser urbanizadas. Uma das bacias tornou-se altamente urbanizada e a outra era uma área periurbana recém desenvolvida com sistemas de drenagem de águas pluviais. Os resultados obtidos para a bacia hidrográfica da área periurbana demonstraram um aumento na cobertura impermeável do solo de 11% na década de 1960 para 44% na década de 2010. Os resultados mostram que após a inserção de um sistema de drenagem sustentável, os volumes de escoamento superficial reduziram em mais de 50%. Comparando com a resposta no escoamento superficial da área urbanizada, sugere-se que a redução do pico de escoamento e redução na duração das cheias e no tempo de resposta da bacia hidrográfica, são maiores em locais com baixo índice de urbanização.

### 3.2 SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL

Com aumento da impermeabilização do solo, além das ocupações irregulares em áreas de risco de inundação acabaram por potencializar os problemas da drenagem urbana. Deste modo, a demanda pelo desenvolvimento urbano sustentável vem produzindo efeitos nos sistemas de drenagem, por meio da

busca de soluções inovadoras que possam trazer benefícios à população e aos ecossistemas (RIGHETTO, 2009).

Segundo Fletcher et al. (2014), nas últimas décadas diversas terminologias passaram a caracterizar uma nova atitude em relação à drenagem urbana: *Alternative Techniques (ATs)* ou *Compensatory Techniques (CTs)*, *Best Management Practices (BMPs)*, *Green Infrastructure*, *Integrated Urban Water Management (IUWM)*, *Low Impact Development (LID)* e *Low Impact Urban Design and Development (LIUDD)*, *Source Control*, *Storm Water Control Measures (SCMs)*, *Stormwater Quality Improvement Devices (SQIDs)*, *Sustainable Urban Drainage Systems (SuDS)* e *Water Sensitive Urban Design (WSUD)*. Essas terminologias traziam novos conceitos para a drenagem urbana, com uma maior preocupação com questões ambientais, econômicas, sanitárias e sociais.

Os Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (*SuDS*) são práticas sustentáveis de drenagem de águas pluviais e superficiais, cujo objetivo principal é de mitigar os impactos da impermeabilização do solo em áreas urbanas (RODRÍGUEZ – ROJAS et al., 2018). Esses impactos devem ser mitigados de modo a reproduzir condições hidrológicas próximas às de pré-desenvolvimento do local, viabilizando os processos de armazenamento, infiltração e evapotranspiração em escala reduzida. Em relação ao ciclo hidrológico, o uso de *SuDS* pretende reestabelecer as condições naturais que foram alteradas pelos processos de urbanização, a partir da redução dos volumes e da vazão do escoamento superficial (TAVANTI; BARBASSA, 2012).

De acordo com Woods-Ballard et al. (2015), os *SuDS* consideram fatores econômicos, sociais e ambientais no processo de tomada de decisões, potencializando o aumento da biodiversidade por meio da minimização dos efeitos da urbanização em relação a qualidade e quantidade do escoamento superficial. Os *SuDS* comumente utilizados são: pavimentos permeáveis e semipermeáveis, reservatórios de detenção e retenção, bacias de biorretenção, trincheiras de infiltração, telhados verdes e faixas gramadas (WOODS-BALLARD et al., 2015).

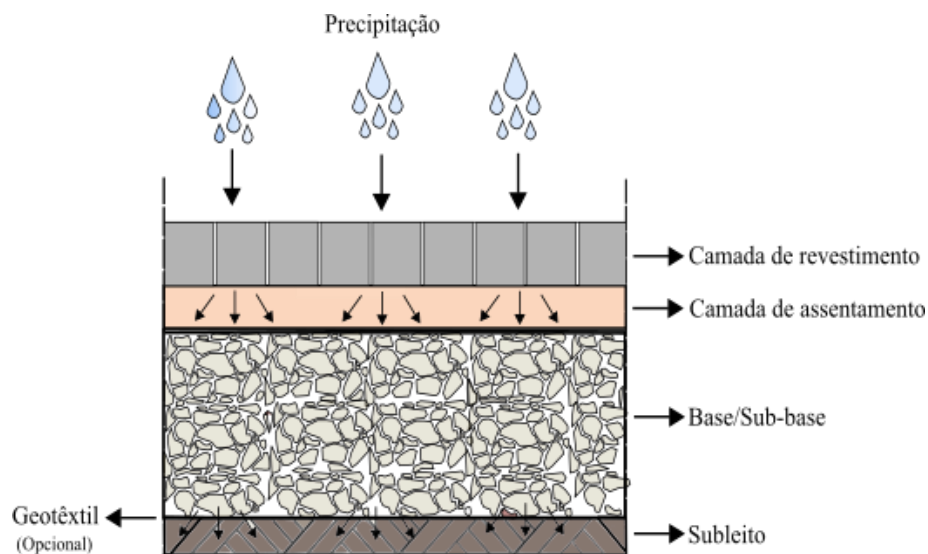
Palla e Gnecco (2015) estudaram o desempenho hidrológico de telhados verdes e pavimentos permeáveis em áreas de estacionamento, na cidade de Gênova, Itália. O desempenho foi avaliado por meio da modelagem hidrológica usando o modelo *EPA SWMM*. Os resultados da modelagem demonstraram a eficácia

das medidas de controle mesmo para um evento de chuva de projeto (PALLA; GNECCO, 2015).

Wu; Yang; Song (2018) avaliaram a eficiência dos sistemas sustentáveis de drenagem na mitigação das inundações urbanas da bacia hidrográfica do Rio Umbanda, na província de Guangdong, sul da China. A finalidade do estudo foi calibrar e validar um modelo utilizando o *EPA SWMM* e o *IFMS-Urban* (sistema integrado de modelagem de inundações urbanas), considerando oito cenários com porcentagens distintas de áreas de PP e telhados verdes. Os resultados demonstraram que os SuDS reduziram satisfatoriamente o escoamento superficial simulado sendo que o PP teve melhor desempenho em relação aos telhados verdes.

### 3.3 CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Pavimentos permeáveis são definidos como pavimentos que possuem espaços livres em sua estrutura permitindo a passagem de água e ar. A camada de revestimento pode ser executada com concreto poroso moldado in loco ou peças pré-moldadas de concreto, que permitem que a água da chuva se infiltre no pavimento. As camadas inferiores são compostas de agregados de classificação aberta, que além de fornecerem suporte estrutural também favorecem a criação de espaços vazios para o armazenamento de águas pluviais e posterior drenagem (Figura 1) (MARCHIONI, SILVA, 2015; WINSTON et al., 2020).



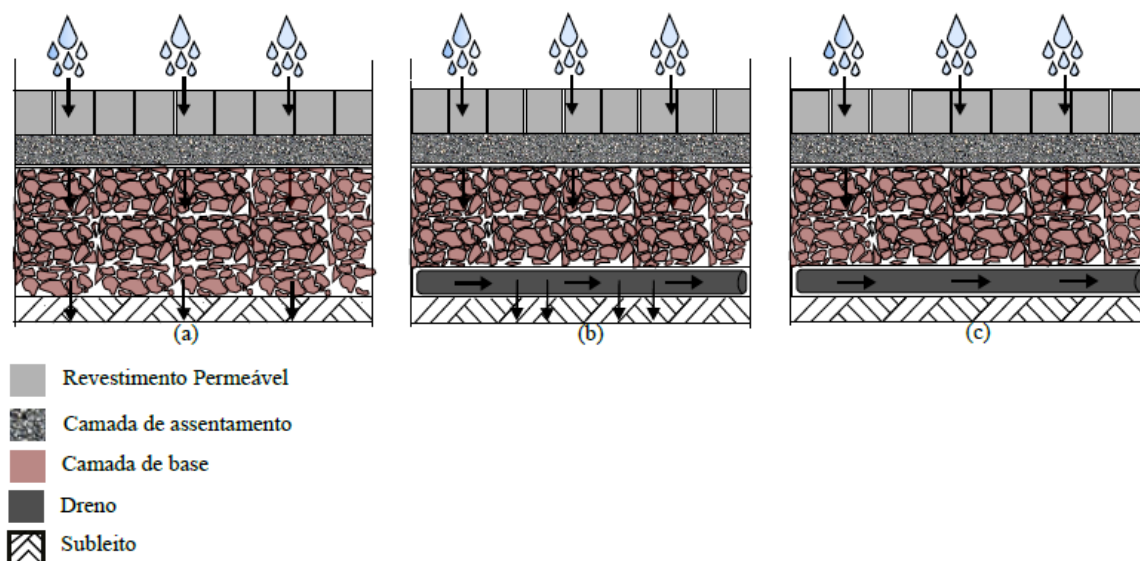
**Figura 1 - Representação das camadas de um pavimento permeável.**  
**Fonte: Adaptado de Marchioni e Silva (2011).**

De acordo com a NBR 16416 (ABNT, 2015), o PP deve atender simultaneamente às solicitações de esforços mecânicos, as condições de tráfego, além de proporcionar a infiltração, a percolação e o acúmulo (temporário) de água na camada de armazenamento. Os locais recomendados para a instalação de PP de concreto poroso são áreas com pouco tráfego, como estacionamentos, calçadas e acostamentos de ruas pavimentadas (LEE et al., 2014).

Segundo Woods-Ballard et al. (2015), PP são classificados em três categorias, chamadas de tipo A, B e C, que dependem do armazenamento de água na camada de armazenamento (ou reservatório) e da capacidade de infiltração de água do solo (Figura 2). No sistema do tipo A – sistema de infiltração total – a água da chuva percola pela estrutura, onde pode ser armazenada temporariamente na camada de armazenamento (base e/ou sub-base) e se infiltrar no solo. Assim não haverá descarga da água drenada pelos PP nos sistemas de drenagem convencional ou diretamente em cursos d'água. Isso permite que o PP promova o controle da descarga de pico, do volume e da qualidade da água.

O sistema do tipo B – sistema de infiltração parcial – é recomendado em solos com permeabilidade inferior a  $10^{-8}$  m/s. Quando a capacidade de infiltração de água do solo for excedida pela água que percola através do PP, escoará para um sistema de drenos receptores, dentro ou abaixo da camada de base ou sub-base, e posteriormente vai para o sistema de drenagem. Esse sistema impede que a água acumule acima da camada de subleito, reduzindo os riscos de instabilidade do solo.

No sistema do tipo C – sistema sem infiltração – não há infiltração de água no solo. A parte inferior da camada de base ou sub-base é impermeabilizada, geralmente com membrana impermeável e flexível. A água precipitada percola até a camada de base ou sub-base e escoar por meio de drenos até um eventual tanque de armazenamento, podendo ser utilizada para uso não-potável. Além disso, o dreno pode ser conectado diretamente ao sistema de drenagem convencional.

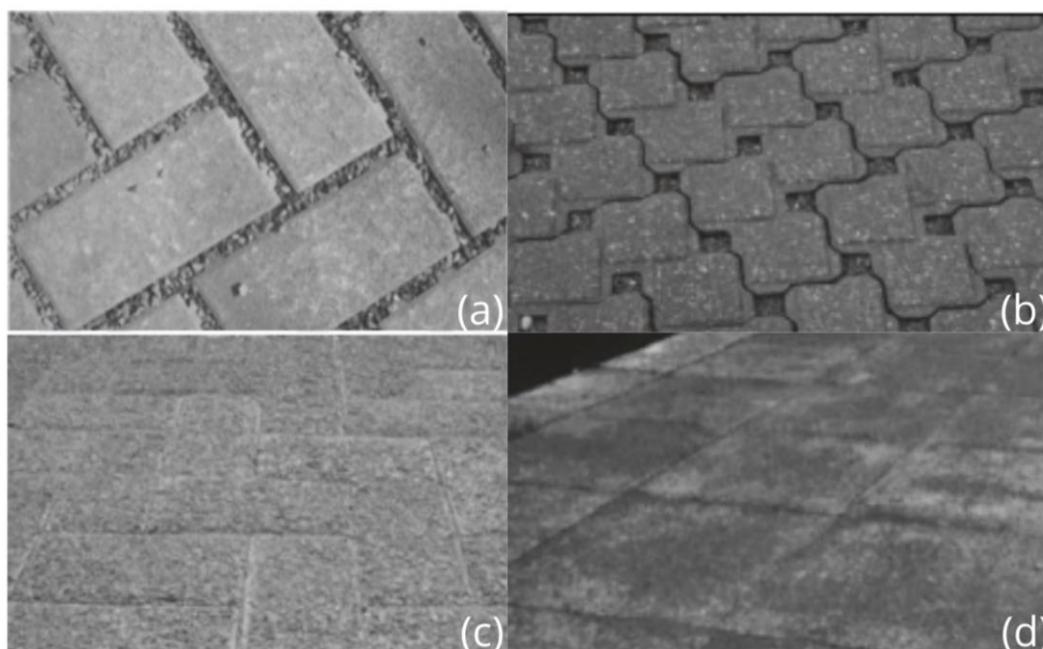


**Figura 2 - Classificação dos pavimentos permeáveis, de acordo com Woods–Ballard et al. (2015): (a) infiltração total; (b) infiltração parcial; e (c) sem infiltração. Fonte: Adaptado de Woods – Ballard et. al (2015).**

Pavimentos permeáveis requerem manutenção, principalmente devido à colmatação por sedimentos. A colmatação por sedimentos ocorre, por exemplo, devido ao tráfego de veículos ou ao transporte de partículas sólidas a partir de áreas de contribuição adjacentes. Os espaços porosos preenchidos pelos sedimentos devem ser desobstruídos (KAZEMI et al., 2017) e manutenções periódicas dos dispositivos de drenagem são recomendadas para manter a boa capacidade de infiltração e armazenamento de água. Além disso, recomenda-se o uso de sopradores ou lavadoras de alta pressão para executar a remoção dos sólidos que possam ficar na superfície do pavimento (WOODS-BALLARD et al., 2015).

### 3.3.1 Tipologia de revestimentos

O revestimento de um PP tem como função a permitir a rápida infiltração das águas pluviais até as camadas inferiores do PP. Deve ser construído sobre uma camada de agregado miúdo (camada de assentamento), uma manta geotêxtil e uma base de material particulado (brita) (SCHOLZ; GRABOWIECKI, 2007). PP podem ser revestidos por, por exemplo (ABNT, 2015): peças de concreto com juntas alargadas; peças de concreto com espaços vazados; peças de concreto permeável, placas de concreto permeável e concreto permeável moldado *in loco* (Figura 3).



**Figura 3 - Tipos de pavimentos permeáveis: (a) peças de concreto com juntas alargadas; (b) peças de concreto com áreas vazadas; (c) peças de concreto permeável; (d) placas de concreto permeável.**  
Fonte: ABNT (2015).

No revestimento composto por peças de concreto com juntas alargadas, a infiltração da água ocorre exclusivamente por meio das juntas entre as peças. Em PP que possuem revestimento de peças de concreto com espaços vazados, a infiltração ocorre através desses espaços. Em revestimentos de blocos (ou placas) confeccionadas com concreto permeável, a percolação ocorre através do concreto (ABNT, 2015).

### 3.4 DESEMPENHO HIDROLÓGICO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Collins et al. (2008), verificaram as respostas hidrológicas de PP com quatro tipos distintos de revestimentos permeáveis e de uma parcela de asfalto convencional. As parcelas de PP foram executadas em um estacionamento sobre um solo com baixa taxa de infiltração. Por meio do monitoramento das vazões do sistema de drenagem subterrânea do estacionamento, os pavimentos permeáveis foram verificados em relação a redução do escoamento superficial, vazão de pico e tempo para atingir o pico. Os resultados mostraram que, estatisticamente, os quatro PP tiveram desempenhos melhores que o asfalto (COLLINS et al., 2008). Em condições de chuvas intensas (maiores que 50 mm), as camadas do PP obtiveram comportamentos semelhantes entre elas (COLLINS et al., 2008).

Brown e Borst (2015) quantificaram a evaporação em um PP em escala aplicado a um estacionamento em New Jersey, Estados Unidos da América (EUA). O experimento foi feito com três diferentes tipos de revestimento: blocos de concreto intertravados, pavimento de concreto poroso e asfalto permeável. Para captar toda a água drenada nos PP, que posteriormente era encaminhada até tanques de coleta, uma manta impermeável foi instalada a 0,4 m entre a camada de revestimento e a camada de assentamento. A evaporação média acumulada nas camadas foi obtida por meio do método do balanço hídrico, em que a componente residual do balanço é a evaporação. O resultado para 134 eventos de chuva (em 24 meses) foi de 5,2% do volume médio acumulado de chuva, com faixa de variação entre 2,4 e 7,6% em relação à média (BROWN; BORST, 2015).

Støvring et al. (2018), estudaram o desempenho dos materiais que constituem um PP disponíveis comercialmente. Quatro tipos de revestimentos de PP: blocos de concreto intertravado permeável, pavimento de concreto poroso, pavimento de resina e asfalto poroso. Além disso, três tipos de agregados para a sub-base foram testados em seis combinações para uma área de estacionamento. Cada área de 25 m<sup>2</sup> foi monitorada por 12 meses em relação aos volumes de precipitação e drenagem. Os resultados indicaram que a porosidade dos agregados utilizados na sub-base afetaram a redução do volume total de escoamento superficial, sobretudo na áreas em que o revestimento tem grande permeabilidade (STØVRING et al., 2018).



Braswell et al. (2018) examinaram o desempenho de PP em solo argiloso com baixa condutividade hidráulica na cidade de Durham, North Carolina, EUA. Para isso, quatro estacionamentos com uma área total de 50 m<sup>2</sup> foram reformados e instalados os pavimentos com revestimento de blocos intertravados de concreto permeável (PICP). Após a instalação dos PP, a área de contribuição impermeável foi de 15,2 m<sup>2</sup>. No período de março de 2014 a abril de 2015, 22% do volume de escoamento superficial foi reduzido por meio da exfiltração e evaporação (BRASWELL et al., 2018). Além disso, foi possível armazenar mais de 70% do volume de escoamento superficial para os eventos de precipitações inferiores a 8 mm, além das vazões de pico terem sido reduzidas significativamente (BRASWELL et al., 2018).

Hu et al. (2018) avaliaram, por meio de modelagem hidrológica, a eficiência de PP com três tipos diferentes de revestimento (asfalto permeável, concreto permeável e blocos de concreto intertravados permeáveis) na mitigação de inundações urbanas na China. Os resultados mostraram que em 12 cenários diferentes, os PP reduziram o volume de escoamento superficial em 40% e o pico em 43%. Entre os três tipos de revestimento, o concreto permeável mostrou a eficiência na mitigação de inundações. O PP de blocos de concreto intertravados permeáveis apresentou a menor propensão à colmatação por partículas sólidas.

Winston et al. (2020) avaliaram o desempenho hidrológico de PP de blocos de concreto intertravados permeáveis em um estacionamento da Reserva Nacional de Pesquisa Old Woman Creek, na cidade de Huron, Ohio, EUA. O estacionamento foi monitorado por 13 meses e os fluxos hídricos foram quantificados. Uma parte do volume drenado infiltrou-se no solo subjacente, e outra volume foi captado por meio de cisternas instaladas abaixo do PP. Os resultados do balanço hídrico mostraram que 16,4% (50m<sup>3</sup>) foi volume de drenagem, 1,6% (5 m<sup>3</sup>) de infiltração da cisterna, 25,4% (77 m<sup>3</sup>) de drenagem do pavimento permeável e 56,6% (173m<sup>3</sup>) além da capacidade do reservatório (volume que transbordou). O volume total de escoamento superficial teve redução de 27% por meio da infiltração nos solos adjacentes (WINSTON et al., 2020).

No Brasil, nas duas últimas décadas alguns trabalhos avaliaram a eficiência de PP, principalmente em relação à redução do escoamento superficial. Aciolli (2005) avaliou a utilização de PP confeccionados com dois tipos de revestimentos

instalados em uma área de estacionamento. Os resultados apresentaram valores de escoamento superficial médio de 5% para o asfalto poroso e 2,3% para o PP de revestimento de bloco vazado, comprovando assim a eficiência dos pavimentos (ACIOLLI, 2005). O tempo de esvaziamento foi inferior a 72 horas, recomendado pela literatura.

Castro (2011) analisou o comportamento de PP com três diferentes revestimentos de superfície (concreto poroso, bloco de concreto vazado e bloco de concreto maciço) construídos sob três condições estruturais diferentes, presença de base e sub-base. O estudo foi realizado na Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiânia (UFG). Os eventos precipitação foram simuladas artificialmente, utilizando um simulador de chuvas, com valores de precipitação de média (69 mm/h) e alta intensidade (180 mm/h). Por meio de avaliações quantitativas do escoamento superficial, concluiu-se que o PP com maior espessura da camada de armazenamento obteve o melhor desempenho hidrológico.

Estudos sobre a avaliação do comportamento hidrológico de PP, tanto em escala de campo quanto em escala laboratorial, ainda possuem números mais significativos em trabalhos realizados no exterior. Por outro lado, na última década, estudos vêm sendo desenvolvidos dentro do território brasileiro para avaliar o comportamento de medidas *SuDS* (como os PP), como mostra a **Erro! Fonte de eferência não encontrada..**

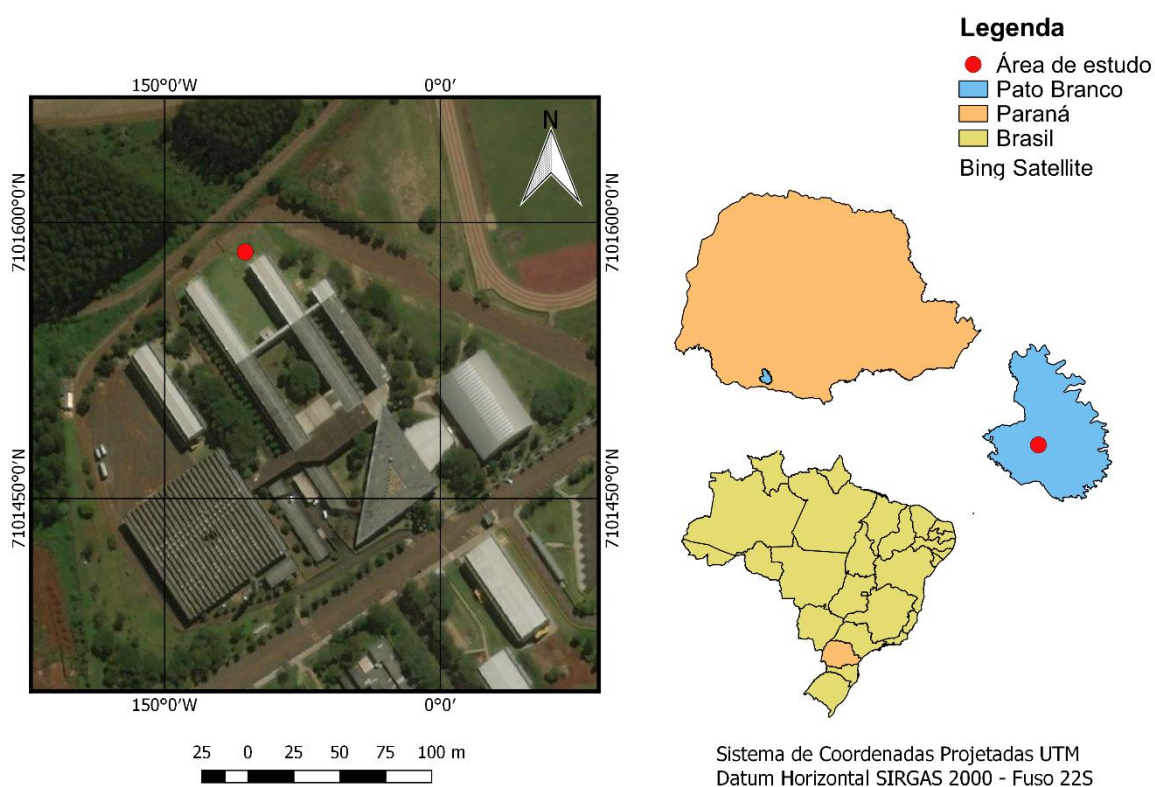
Estudo	Objetivo	Classificação das camadas	Escala do estudo	Metodologia	Referência
Hydraulic characterization and hydrological behavior of a pilot permeable pavement in an urban center, Brazil	Caracterização hidráulica de um PP e avaliação da eficiência hidrológica do ponto de vista do processo de infiltração	Pavimento do tipo A, com camada de sub-base e infiltração no subleito	Escala de campo	Análise numérica	COUTINHO, A. P. et al. (2016)
Impact of pervious pavement in urban areas on catchment basin recovery	Comparar dois sistemas de pavimentos permeáveis, com diferentes revestimentos (pavers de concreto com juntas permeáveis e pavers de concreto poroso)	Pavimento do tipo A, com camada de sub-base e infiltração no subleito	Escala laboratorial	Simulação de chuva	SANTOS, C. DE A. (2018)
Potential for potable water savings in buildings by using stormwater harvested from porous pavements	Revisar estudos que verifiquem a redução de poluentes do escoamento superficial, após percolação no pavimento permeável	Pavimento do tipo A, com infiltração no subleito	Escala laboratorial	Simulação	ANTUNES, L. N.; THIVES, L. P.; GHISI, E. (2016)

Tabela 1 - Estudos brasileiros recentes sobre pavimentos permeáveis (continuação)

Estudo	Objetivo	Classificação das camadas	Escala do estudo	Metodologia	Referência
Runoff on Pavements of Soil - Cement Blocks – an Experimental Boarding	Avaliar a redução do escoamento superficial em pavimentos permeáveis	Pavimento permeável do tipo A, com infiltração no subleito	Escala laboratorial	Balanço hídrico	TARQUI J. L. Z., BRITO, J. S., CARVALHO, M. F. (2015)
Effects of LID Implementation on Hydrological Processes in an Urban Catchment under Consolidation in Brazil	Implementar sistemas LID (pavimentos permeáveis e sistemas de biorretenção) no modelo SWMM	Pavimento permeável do tipo A, com infiltração no subleito	Escala de campo	Simulação no modelo SWMM	ZANANDREA, F.; DA SILVEIRA, A. L. L. (2018)
Environmental assessment of a permeable pavement system used to harvest stormwater for non-potable water water uses in a building	Apresentar e aplicar um método para avaliar ambientalmente um sistema de PP usado para captar águas pluviais para uso não potável em uma edificação	Pavimento do tipo C, sem infiltração no subleito	Escala de campo	Dimensionamento do PP pela NBR 16416 (ABNT,2015) Avaliação do ciclo de vida	ANTUNES, L.N.;GHISI, E.;SEVERIS, R.M. (2020)

#### 4. ÁREA DE ESTUDO

Este estudo foi realizado em escala de parcela experimental dentro da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), no município de Pato Branco (Figura 4), Paraná, sul do Brasil. A área foi escolhida por causa da facilidade de acesso à UTFPR e por causa da segurança para realizar o monitoramento do módulo (ou parcela) experimental de PP. O município de Pato Branco localiza-se na região Sudoeste do Estado do Paraná, onde escoam os Rios Pato Branco, Ligeiro e Vitorino, principais afluentes do Rio Chopim. O Rio Chopim é afluente, pela margem esquerda, do Rio Iguaçu; esse último é afluente do Rio Paraná.



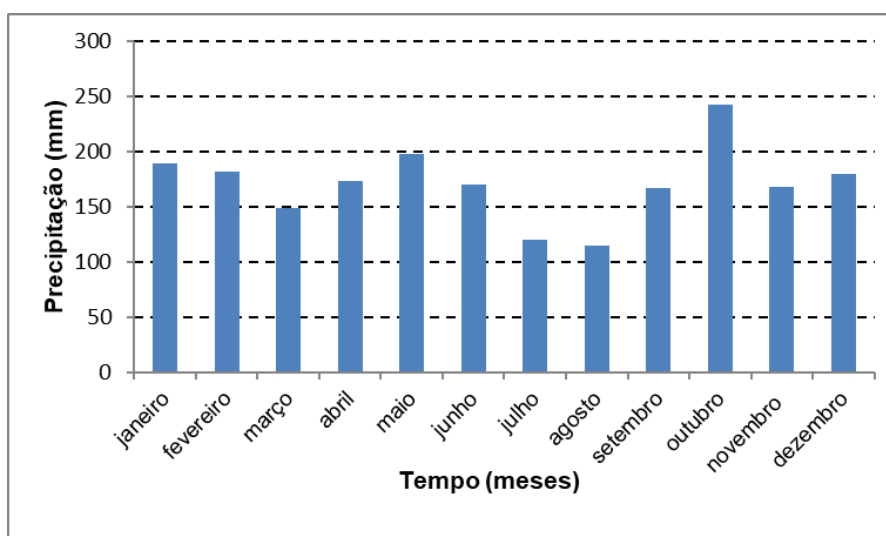
**Figura 4 – Localização da área de estudo, onde foi confeccionado o módulo experimental de pavimentos permeáveis. A imagem de satélite representa a UTFPR no município de Pato Branco – PR.**

**Fonte: Acervo pessoal (2020).**

Apesar do Sudoeste do Paraná possuir predominantemente um clima subtropical (Cfa), o município de Pato Branco apresenta um clima temperado (Cfb), com ausência de estação seca, caracterizado por verões frescos e invernos com

geadas frequentes e severas, de acordo com a classificação climática de Köppen (ALVARES et al., 2013). Os solos característicos da região são: Latossolo, Natossolo, Cambissolo Distrófico e Neossolo (TABALIPA; FIORI, 2008).

Em relação ao regime de precipitação em Pato Branco entre 1989 e 2019, o mês de outubro e agosto apresentam a maior (243 mm) e menor (114,5 mm) altura média (mensal) de precipitação, respectivamente (Figura 5). A precipitação média anual para o período (1989–2019) foi de 2089,40 mm.



**Figura 5 - Precipitação média mensal histórica de Pato Branco-PR entre 1989 e 2019.**  
Fonte: Acervo pessoal (2020).

A velocidade média dos ventos é de 10 km/h, com ventos principalmente nas direções Sudeste (23,05% do total) e Sul (21,60% do total). A temperatura média mensal da cidade varia entre 14°C e 22°C, e a umidade relativa do ar é de 74% (TABALIPA; FIORI, 2008).

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 CRITÉRIOS ADOTADOS PARA A CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL

Este estudo possui caráter experimental, por meio do monitoramento e coleta de dados em campo, para avaliar o desempenho hidrológico de um módulo de PP com revestimento de superfície composto por blocos intertravados permeáveis e porosos. O desempenho hidrológico foi avaliado para cada evento de precipitação, em termos de geração de fluxos hídricos, Condição de Umidade Antecedente (*AMC*) e dos tempos característicos de hidrogramas dos eventos.

O PP foi dimensionado considerando a aplicação de tráfego de veículos leves. Assim, o estudo foi desenvolvido para uma futura aplicação de estacionamento, localizado em frente ao Bloco J1 da UTFPR, campus Pato Branco. O sistema de infiltração adotado para o PP foi do tipo C – sem infiltração no subleito e com a presença de dreno de fundo (ABNT, 2015). É importante ressaltar que o PP foi construído em uma estrutura metálica elevada em relação à superfície do solo (sem contato com o solo) para a coleta e monitoramento do volume de drenagem (água que escoar através do dreno de fundo), conforme demonstrado na Figura 6.

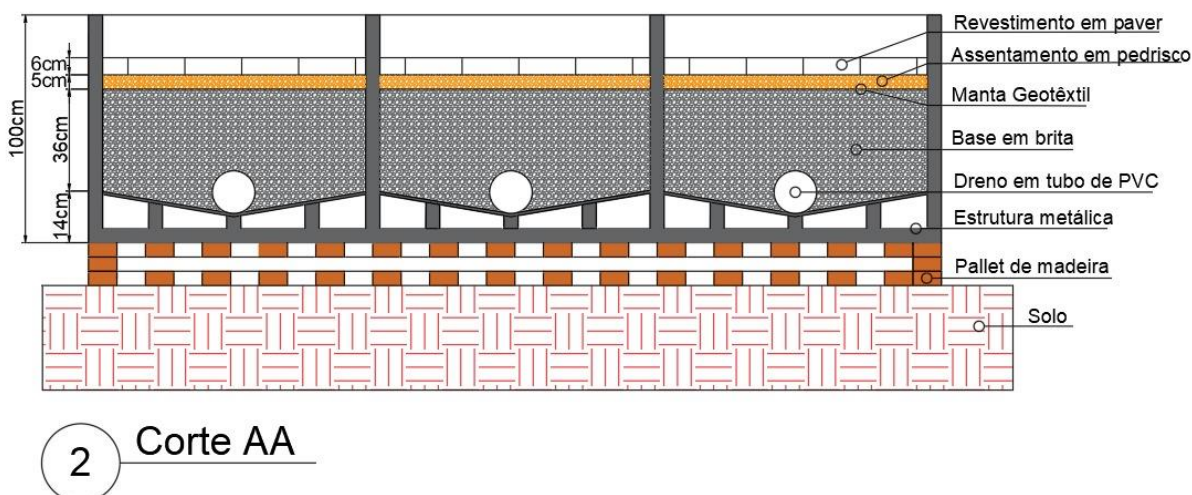


Figura 6 - Corte esquemático do módulo experimental de PP.  
Fonte: Acervo pessoal (2021).

A altura (ou profundidade) do PP foi dimensionada usando dois métodos: o dimensionamento hidrológico e o mecânico (estrutural). Foi adotado o dimensionamento que apresentou a maior altura da camada de armazenamento (i.e., ABNT, 2015; WOODS–BALLARD et al., 2015). No dimensionamento mecânico foi adotado o Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis do Departamento de Estradas de Rodagem (SOUZA, 1981). No dimensionamento hidrológico foi usado o método proposto pela NBR 16416/2015 (ABNT, 2015) e o método da Curva Envelope (LOPES DA SILVEIRA; GOLDENFUM, 2007).

Os materiais que compõem o módulo de PP foram escolhidos de modo a atender às solicitações mecânicas e o armazenamento de águas pluviais. A seguir são descritos os materiais que compõem das camadas do PP experimental e os ensaios realizados para a caracterização física dos mesmos.

## 5.2 CAMADA DE REVESTIMENTO

Os blocos intertravados permeáveis e porosos foram escolhidos como revestimento do PP. Esse material foi escolhido porque é utilizado na execução de calçadas e estacionamentos em cidades do Sudoeste do Paraná. Os blocos utilizados no experimento foram cedidos pela empresa PAVIMENTI Ltda, localizada na cidade de Francisco Beltrão, PR.

Os blocos de concreto intertravados porosos e permeáveis (chamados aqui apenas de blocos permeáveis) (Figura 7), possuem 10 cm de comprimento, 20 cm de largura e 6,0 cm de altura. Os blocos permeáveis foram confeccionados a partir de uma mistura de concreto e agregados de distribuição granulométrica aberta, atendendo aos requisitos da NBR 16416/2015 (ABNT, 2015). Esses blocos apresentaram resistência à compressão de 35 MPa, sendo usualmente utilizados em locais com tráfego leve (e.g., pedestres e veículos de passeio).





**Figura 7 - Bloco de concreto intertravado permeável e poroso usado como revestimento do PP.**  
**Fonte: Acervo pessoal (2020).**

A absorção de água dos blocos permeáveis foi determinada de acordo com a NBR 9781/2013 (ABNT, 2013). Seis amostras de bloco permeável foram imersas em um tanque com água à temperatura de  $23 \pm 2$  °C durante 24 horas. Os blocos foram retirados do tanque com água, para determinação da massa saturada por água. Em seguida, as amostras saturadas foram levadas até a estufa (temperatura de  $110 \pm 5$  °C) durante 24 horas. Em seguida, as amostras foram retiradas da estufa para a medição da massa seca. A medição da massa seca foi realizada em intervalos de 2 horas até que a diferença de massa não fosse superior a 0,5% em relação ao seu valor medido no tempo anterior.

A permeabilidade dos blocos permeáveis foi obtida seguindo a NBR 16416/2015 (ABNT, 2015). As condições de construção de um PP foram reproduzidas em laboratório (modelo físico reduzido) pela empresa PAVIMENTI Ltda (o laudo do ensaio encontra-se no Apêndice E), responsável pela produção e fornecimento dos blocos intertravados, com a montagem do revestimento usando os blocos permeáveis com  $0,6 \text{ m}^2$  de superfície de área. No ensaio de permeabilidade foi usado um cilindro de 300 mm de diâmetro, contendo uma coluna d'água variando entre 10 e 15 mm sobre os blocos permeáveis. Efetuou-se a pré-molhagem dos blocos antes de iniciar a infiltração de água, para determinar o volume de água a ser utilizado no ensaio com área saturada.

### 5.3 CAMADA DE ASSENTAMENTO

A camada de assentamento foi dimensionada atendendo aos critérios da NBR 16416/2015 (ABNT, 2015). A camada de assentamento deve constar em pavimentos permeáveis que utilizem blocos intertravados de concreto permeável como revestimento (ABNT, 2015). A camada de assentamento tem como função nivelar a superfície para apoiar o revestimento. Por ser um material de baixo custo, quando comparado a outros materiais usualmente utilizados na camada de assentamento como a areia por exemplo, o pedrisco foi escolhido para ser utilizado como camada de assentamento no PP. Além disso, foi instalada uma manta geotêxtil permeável na parte inferior da camada de assentamento para impedir o transporte do pedrisco até as camadas inferiores do PP (WOODS- BALLARD et al., 2015).

A determinação da composição granulométrica do pedrisco foi realizada de acordo com a NBR NM 248/2003 (ABNT, 2003). Inicialmente, as amostras de pedrisco foram coletadas seguindo as recomendações da NBR NM 26/2000 (ABNT, 2000). As amostras foram secas em estufa, até a obtenção de massa constante, para cálculo da massa seca total da amostra. Em seguida, a primeira amostra foi passada por um conjunto de peneiras, sob agitação mecânica, para a separação das partículas de acordo com o diâmetro. A amostra retida em cada peneira foi calculada para determinação da curva granulométrica.

Massa unitária é a massa da unidade de volume aparente do agregado, isto é, incluindo na medida deste volume os vazios entre os grãos. A massa unitária do pedrisco foi determinada de acordo com a NBR NM 45/2006 (ABNT, 2006). A amostragem foi realizada de acordo com as normas da NBR NM 26/2000 (ABNT, 2000) e da NBR NM 27/200 (ABNT, 2000). O procedimento adotado para o ensaio foi o Método A – massa unitária de material compactado, para agregados com dimensão menor ou igual a 37,5 mm. A massa unitária do pedrisco, em estado solto, foi obtida pelo Método C.

A massa específica relativa do pedrisco seco foi determinada por meio das normas NBR 53/2009 (ABNT, 2009) e NBR 45/2006 (ABNT, 2006). Inicialmente foi tomado um valor de amostra, realizado o quarteamento, e dividida a amostra em 3 partes. Foram tomadas as massas das amostras imersas em água, na sequência as

amostras foram levadas em estufa (temperatura de  $110 \pm 5$  °C) por aproximadamente 3 horas, e posteriormente obtida as massas do agregado seco.

Após a determinação da massa unitária e da massa específica relativa do agregado seco, foi calculado o índice do volume de vazios conforme orientações da NBR NM 45/2006.

#### 5.4 CAMADA DE BASE

A brita nº 3 (brita 3) foi escolhida como material para compor a camada de base do PP; a camada de base também é chamada de camada de armazenamento (ou reservatório). A profundidade e a porosidade dessa camada é um fator determinante para a capacidade de armazenamento do PP.

A determinação composição granulométrica da brita 3 (agregado graúdo), seguiu as recomendações da NBR 248/2001 (ABNT, 2001). A coleta das amostras seguiu as recomendações da NBR 26/2000 (ABNT, 2000). Após a coleta, as amostras foram preparadas seguindo as especificações da NBR 27/2000 (ABNT, 2000), utilizando o método do quarteamento, e umedecidas para evitar a perda de partículas finas. As amostras foram secas em estufa por um período de 24 horas e, após resfriadas em temperatura ambiente, determinou-se a massa seca. A amostra foi passada por um conjunto de peneiras, sob agitação mecânica, para separar o agregado. Por fim, foram obtidas as massas retidas em cada peneira.

O índice de vazios do agregado graúdo da base foi obtido por meio da NBR 45/2006 (ABNT, 2006). Para a realização do ensaio, inicialmente, foi feita a amostragem de acordo com a NBR 26/2000 (ABNT, 2000) e a NBR 27/2000 (ABNT, 2000). Como o diâmetro da brita 3 é de 37,5 mm, foi usado o Método A – massa unitária de material compactado, para agregados com dimensão igual ou menor do que 37,5 mm. Após determinar a massa do recipiente vazio, o mesmo foi preenchido com a brita 3 até 1/3 da sua capacidade e efetuado o adensamento com 25 golpes de haste. O mesmo procedimento foi repetido para 2/3 do recipiente, para o recipiente cheio e, por fim determinada a massa do recipiente com o conteúdo. A massa unitária, em estado solto, foi determinada pelo Método C. Inicialmente

coletou-se a massa do recipiente vazio, na sequência o mesmo foi preenchido com água e com a brita 3, nivelado e registrada a massa do conjunto. Além disso, a determinação da massa específica da brita 3 seguiu as diretrizes da NBR 53/2009 (ABNT, 2009).

## 5.5 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL

O dimensionamento do pavimento permeável deve ter como intuito atender tanto as solicitações hidrológicas permitindo a infiltração de água no solo, quanto as solicitações mecânicas em relação as cargas dos veículos e pedestres. Sendo assim, são necessários dois dimensionamentos: mecânico e hidrológico, aonde ambos devem atender as características dos materiais e espessuras das camadas que serão executadas.

Se a espessura da camada de base por meio do dimensionamento hidrológico apresentar um valor maior que o obtido para a mesma camada pelo dimensionamento mecânico, a espessura final adotada para o projeto será determinada pelo processo de projeto hidrológico. No entanto se a espessura mecânica for maior que a espessura hidráulica, a espessura de projeto será determinada pelo dimensionamento mecânico (WOODS-BALLARD et al., 2015; MACINTOSH-WATSON; MORRELL, 2018).

### 5.5.1 Dimensionamento Mecânico

O dimensionamento mecânico foi realizado usando o Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis do Departamento de Estradas de Rodagem (SOUZA,1981), esse método foi utilizado porque o uso de PP é recomendado para baixo volume de tráfego (WOODS-BALLARD et al., 2015; VAILLANCOURT et al., 2019). Inicialmente, devem ser obtidos os dados do tráfego de veículos no local da implantação do PP. Dado esse expresso em solicitações equivalentes ao eixo padrão ( $N$ ) de 18000 kip (80 KN), e usualmente adota-se vida útil do pavimento de 20 anos (MARCHIONI; SILVA, 2011). Deve ser enfatizado que o PP deste estudo foi construído suspenso

em relação à superfície do terreno. Isso foi feito para facilitar a construção e o monitoramento hidrológico do PP. Por outro lado, o dimensionamento levou em consideração a sua utilização (no terreno) para tráfegos leves.

Para definir a capacidade de sustentação de um solo em relação ao tráfego, foi determinado o Índice de Suporte Califórnia, ISC, (ou *California Bearing Ratio - CBR*). O *CBR* é usado para definir o uso adequado do solo nas camadas de um pavimento (EMMERT; PEREIRA, 2016). Para definição do *CBR*, o solo da área de estudo foi caracterizado em relação à granulometria, limite de liquidez e plasticidade, grau de compactação e teor de umidade. Assim, foram coletadas amostras de solo na área de estudo, onde foram construídos os PP. A granulometria do solo foi obtida a partir da NBR 7181/2016 (ABNT, 2016d). Após a coleta das amostras de solo (8 kg), foi realizada a secagem utilizando uma estufa (temperatura entre 105 e 110 °C) e destorroamento do solo utilizando um soquete. Em seguida, a amostra passou por uma série de peneiras de malha quadrada usando um agitador mecânico. As peneiras usadas possuem malha igual a 50 mm, 37,5 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,8 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm, 0,075 mm.

Os ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade foram realizados de acordo com a NBR 6459/2016 (ABNT, 2016b) e NBR 7180/2016 (ABNT, 2016c). Inicialmente, tomou-se uma fração de amostra de solo que posteriormente foi passada na peneira de malha 0,42 mm, até obter-se aproximadamente 200 g de material, conforme a NBR 6457/2016 (ABNT, 2016). Para o ensaio do limite de liquidez, a amostra foi colocada em uma cápsula e adicionado água até ser obtida uma massa homogênea. Em seguida, a massa do solo foi colocada na concha do aparelho de Casagrande, realizados os procedimentos de acordo com a NBR 6459/2016 (ABNT, 2016b) e obtidos cinco valores distintos, de acordo com o número de golpes aplicados no ensaio.

Para a realização do ensaio de limite de plasticidade, uma amostra de 200 g de solo foi colocada em cápsula de porcelana e, adicionou-se uma parte de água. Em seguida o solo foi revolvido até formar uma mistura plástica. Em seguida, 10 g da amostra foi rolada em uma placa de vidro até tomar a forma de um cilindro, quando a amostra atingiu aproximadamente 3 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento, foi transferida uma parte desta para uma cápsula a fim de se

determinar a umidade, conforme a NBR 6457/2016 (ABNT, 2016a). O ensaio foi repetido até se obter três valores de umidade.

Os ensaios de compactação e teor de umidade do solo do subleito do PP, foram realizados de acordo com a NBR 7182/2016 (ABNT, 2016e). O ensaio de compactação consistiu em compactar uma porção de solo com determinada energia de compactação em teores de umidade distintos. Com os resultados obteve-se a curva de compactação (Apêndice A), que determinou a umidade ótima do solo.

O ensaio do *CBR* foi realizado seguindo as especificações da NBR 9895/2016 (ABNT, 2016f). Inicialmente foram coletados 50 kg de amostra de solo e moldados sete corpos de prova. Em cada corpo de prova foi acoplado um deflectômetro, em seguida os corpos de prova foram imersos em um tanque de água por um período de quatro dias. As leituras das expansões dos corpos de prova foram efetuadas a cada 24 horas. Após os quatro dias, realizou-se o ensaio de penetração, com os valores obtidos foi possível traçar a curva pressão-penetração e, assim, calcular o valor do *CBR* para cada corpo de prova.

A capacidade de suporte do subleito, definida por meio do cálculo do Índice de Suporte (IS), foi determinada a partir do valor do *CBR*, obtido no ensaio realizado de acordo com a NBR 9895 (ABNT, 2016f). Quando for justificável uma maior segurança no projeto, Souza (1981) recomenda utilizar o *CBR* corrigido em função do Índice de Grupo (IG). Como a finalidade do PP é para tráfego leve, optou-se por não corrigir o *CBR*.

O Índice de Suporte (IS) foi calculado pela seguinte expressão (SOUZA, 1981):

$$IS = \frac{CBR}{2} \quad (1)$$

Onde, *CBR* é o valor do índice de suporte na umidade ótima determinado por meio dos ensaios e condições descritas na sessão 5.2.1.

O dimensionamento do PP foi realizado em função do número equivalente de operações de um eixo tomado como padrão (*N*), de acordo com o período escolhido para o projeto. O período de projeto, em anos, (*P<sub>a</sub>*) adotado para o dimensionamento mecânico dos PP foi de 20 anos (WOODS-BALLARD *et al.*, 2015).

Sendo  $V_1$  o volume médio diário de tráfego no ano de abertura num sentido, a Equação 3 fornece o volume diário de tráfego num período de projeto de  $P_a$  anos ( $V_m$ ), e adotando-se uma taxa de 1% de crescimento.

$$V_m = \frac{V_1 \cdot \left[ 2 + (P_a - 1) \cdot \frac{t}{100} \right]}{2} \quad (2)$$

Onde,  $V_m$  é o volume médio diário de tráfego (veículos),  $V_1$  é o volume diário de tráfego no ano de abertura,  $P_a$  é o período de projeto em anos e  $t$  é a taxa de crescimento anual (%). Para o dimensionamento do PP do estudo, considerou como finalidade a de uma área de estacionamento, sem aumento de tráfego ao longo do tempo. Sendo assim, assume-se que  $V_m = V_1 = 65$ , com base no número de vagas disponíveis no estacionamento localizado em frente ao Bloco J1, da UTFPR.

Na sequência obteve-se o volume total de tráfego ( $V_t$ ), durante um período  $P_a = 20$  anos foi calculado por:

$$V_t = 365 \cdot P_a \cdot V_m \quad (3)$$

O número equivalente de operações do eixo simples padrão ( $NE$ ) durante o tempo período  $P_a = 20$  anos e o parâmetro de tráfego utilizado no dimensionamento é dado por (SOUZA, 1981):

$$NE = V_t \cdot FE \cdot FC \quad (4)$$

Onde,  $FE$  é um fator de eixos, ou seja, um número que multiplicado pelo número de veículos apresenta o número de eixos correspondentes. Considerando que a contagem do número total de fator de eixos ( $n$ ) para 65 automóveis foi de 130 eixos, o valor do  $FE$  é obtido usando a seguinte expressão (SOUZA, 1981):

$$FE = \frac{n}{V_t} \quad (5)$$

$FC$  é o fator de carga, ou seja, um número que multiplicado pelo número de eixos que operam corresponde ao número de eixos equivalentes ao eixo padrão. O valor de  $FC$  é obtido por (SOUZA, 1981):

$$FC = \frac{\text{Equivalência}}{100} \quad (6)$$

Para o dimensionamento do pavimento, inicialmente foram definidos os coeficientes de equivalência estrutural. Esses coeficientes representam os diferentes tipos de materiais que compõem os PP. Para a camada de armazenamento, composta por material granular, o coeficiente estrutural  $K$  possui valor correspondente à 1,0 (SOUZA, 1981).

Na sequência, deve-se fixar o valor de espessura mínima de revestimento betuminoso, entretanto essa etapa não foi realizada neste estudo, pois tal camada não foi considerada no projeto de PP. Por meio do ábaco de dimensionamento (Apêndice B) e dispondo dos valores do número equivalente de operações do eixo simples padrão e do Índice de Suporte Califórnia ( $CBR$ ) obteve-se a espessura total do pavimento permeável.

### 5.5.2 Dimensionamento Hidrológico

No dimensionamento hidrológico é feito o cálculo da espessura da camada de armazenamento do PP (WOODS-BALLARD et. al., 2015). Esse dimensionamento segue quatro etapas principais: 1) a escolha do período de retorno da precipitação de projeto; 2) a determinação do volume de armazenamento referente à precipitação de projeto e, conseqüentemente, determinação da espessura da camada de armazenamento; 3) cálculo da capacidade da estrutura de saída do pavimento (e.g., dreno de fundo ou infiltração direta no solo); 4) verificação do tempo de esvaziamento da camada de armazenamento (WOODS-BALLARD et. al., 2015). Nesse estudo, o dimensionamento hidrológico foi feito por meio de dois métodos: o método da NBR 16416/2015 (ABNT, 2015) e o método de dimensionamento da Curva Envelope (LOPES DA SILVEIRA; GOLDENFUM, 2007).

Para o dimensionamento hidrológico do PP pelo método da NBR 16416/2015 (ABNT, 2015) foi adotado o sistema do tipo sem infiltração de água no



subleito com a presença de drenos de fundo no PP. A espessura da camada de armazenamento foi calculada usando a equação do balanço hídrico (ABNT, 2015):

$$H = \frac{P_e \cdot A + P - f \cdot t_e}{\eta} \quad (7)$$

Em que,  $H$  é a espessura da camada de armazenamento (ou base) do PP (m);  $P_e$  é a precipitação efetiva sobre a área de contribuição externa ao PP (m);  $A$  é a razão entre a área superficial de contribuição do entorno dos PP ( $m^2$ ) e a área da superfície dos PP ( $m^2$ );  $P$  é a precipitação de projeto (mm);  $f$  é a taxa de infiltração de água no solo (m/h);  $t_e$  é o tempo que a camada de armazenamento leva para ser enchida de água (h) e  $\eta$  é a porosidade do material que constitui a camada de armazenamento. O tempo de enchimento adotado foi de 2 horas, conforme recomendado pela NBR 16416/2015 (ABNT, 2015). Neste estudo os PP foram dimensionados sem considerar áreas de contribuição adjacentes (i.e.,  $P_e \cdot A = 0$ ). Por isso, a única entrada de água no PP (em forma de precipitação) ocorre sobre a sua área superficial do PP. A taxa de infiltração de água no solo é zero, visto que o módulo opera sem infiltração (sistema do tipo C).

A altura da precipitação de projeto foi obtida a partir da intensidade de precipitação,  $i$  (mm/h),  $P = i \cdot t_d$ , onde  $t_d$  é o tempo de duração da precipitação (horas). A intensidade  $i$  foi obtida por meio da equação de Intensidade-Duração-Frequência (IDF), Equação 8, do município de Pato Branco (REIS, 2017):

$$i = \frac{986,7 \cdot T^{0,1457}}{(t_d + 9,791)^{0,7244}} \quad (8)$$

Em que,  $T$  é o tempo (ou período) de retorno (anos). Especificamente na Equação 9,  $t_d$  é utilizado em unidades de minutos. Sendo assim, um período de retorno de 10 anos, e duração de 10 minutos resultou em uma intensidade de 158,7537 mm/h. Na sequência, multiplicando a intensidade pela duração (em horas), obteve-se a altura de precipitação de projeto.

De acordo com Lopes da Silveira e Goldenfum (2007), a aplicação do Método da Curva Envelope tem como objetivo definir equações de pré-dimensionamento hidrológico de uma estrutura de controle de inundações,

associando uma chuva de projeto a um balanço hídrico simplificado, para calcular os volumes de armazenamento necessários e dimensões mínimas das camadas dos dispositivos de controle.

O Método da Curva Envelope relaciona alguns parâmetros da equação IDF com a expressão geral correspondente à equação de Talbot, conforme a Equação 9:

$$i = \frac{a \cdot T^b}{t+c} \quad (9)$$

Como a expressão de Talbot para a IDF não é comumente utilizada no Brasil, tem-se uma equação similar, apresentada na Equação 10 (SILVEIRA; GOLDEFUM, 2007):

$$i = \frac{k \cdot T^m}{(t+d)^n} \quad (10)$$

A partir de simulações matemáticas foram determinados as seguintes expressões de conversão para IDF de Talbot, conforme Equação 10 (LOPES DA SILVEIRA; GOLDENFUM, 2007).

$$a = 0,68 \cdot k \cdot \exp(0,06 n^{-0,26} d^{1,13}) \quad (11)$$

$$b = m \quad (12)$$

$$c = 1,32 n^{-2,28} d^{0,89} \quad (13)$$

Portanto, para o cálculo dos parâmetros da equação IDF de Talbot foi utilizada a IDF para a cidade de Pato Branco – Paraná, expressa na Equação 8. A equação proposta por Reis (2017), foi precedida pela IDF apresentada na Equação 14, proposta por Fenderich (2003).

$$i = \frac{1584,61 \cdot T^{0,1457}}{t+20,973}$$

(14)

Com objetivo de avaliar se as Equações 8 e 14 são equivalentes, ambas foram testadas para um período de retorno de 10 anos, e durações de 5 a 120 minutos. Como foi observada uma diferença entre os valores, realizou-se a majoração do coeficiente 'a', conforme recomendado por Silveira e Goldenfum (2007). Por meio dos cálculos das médias das razões, obteve-se uma majoração do coeficiente 'a' no valor de 2,36, e na sequência foi definida uma nova equação Talbot para a IDF de Pato Branco (Equação 15).

$$i = \frac{3739,68 \cdot T^{0,1457}}{t+20,973} \quad (15)$$

Como os PP possuem uma camada reservatório abaixo do revestimento, geralmente constituída de agregado graúdo (i.e., brita), o pré-dimensionamento desta camada é dado pela expressão do volume máximo, Equação 16 (LOPES DA SILVEIRA; GOLDENFUM, 2007).

$$Vmáx = \left( \sqrt{\frac{a}{60}} \sqrt{\beta} T^{b/2} - \sqrt{\frac{c}{60}} \sqrt{q_s} \right)^2 \quad (16)$$

Onde  $Vmáx$  (mm) é o volume de dimensionamento;  $\beta$  (adimensional) é o produto do coeficiente de escoamento pela razão entre área contribuinte e área do dispositivo;  $T$  (anos) é o período de retorno;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  são os parâmetros da IDF de Talbot e  $q_s$  (mm/h) é a vazão de saída constante no dispositivo.

A partir do cálculo do volume máximo ( $Vmáx$ ), obteve-se a espessura da camada do reservatório do PP (ou de base), dada pela seguinte expressão (LOPES DA SILVEIRA; GOLDENFUM, 2007):

$$H = \frac{Vmáx}{\eta} \quad (17)$$

Onde  $H$  (mm) é a altura da camada reservatório e  $\eta$  (adimensional) é o valor da porosidade do material que compõem a camada de assentamento (i.e, brita).

## 5.6 CONSTRUÇÃO DOS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

A construção dos PP seguiu as recomendações do *The SuDs Manual* (WOODS-BALLARD et al., 2015) e da NBR 16416/2015 (ABNT, 2015). A primeira etapa consistiu na limpeza e remoção da vegetação do terreno. Na sequência foi realizado o nivelamento do terreno e a compactação do solo (Figura 8a e Figura 8b). Após regularização da superfície, *pallets* foram colocados para sustentar os PP (Figura 8c)



Figura 8 - Etapas da preparação do terreno: (a) Limpeza e escavação; (b) Nivelamento; (c) Compactação.

Fonte: Acervo pessoal.

A estrutura na qual foram construídos os PP é de chapas metálicas retangulares de 0,97 m x 0,98 m (largura x profundidade), totalizando uma área superficial de 0,95 m<sup>2</sup>, como mostra a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** a parte interior da camada de armazenamento (ou base) foi instalado um dreno de fundo feito com um tubo de PVC perfurado com 75 mm de diâmetro. A água drenada e pelo dreno de fundo foi escoada por meio de tubulação de PVC de 50 mm de diâmetro e comprimento de 1 metro até um reservatório externo de coleta.

É importante ressaltar que apesar da Figura 9 mostrar a estrutura metálica contendo divisões para a construção de três PP, neste estudo foi construído apenas um módulo de PP. A justificativa é que, infelizmente, os outros dois módulos sofreram problemas construtivos no início do monitoramento dos fluxos hídricos e não puderam ser utilizados.



**Figura 9 - Regularização da área, colocação de *pallets* e instalação do módulo experimental.**  
Fonte: Acervo pessoal.

O PP foi preenchido com os materiais porosos que compõem as camadas de revestimento, assentamento e armazenamento. Uma manta geotêxtil permeável foi colocada entre a camada de assentamento e de armazenamento com a finalidade de evitar o transporte de sólidos. Junto a camada de revestimento do módulo foi realizada a instalação de uma calha metálica com 8 cm de largura, que tem a função de direcionar o volume gerado pelo escoamento superficial até outro reservatório externo de armazenamento.

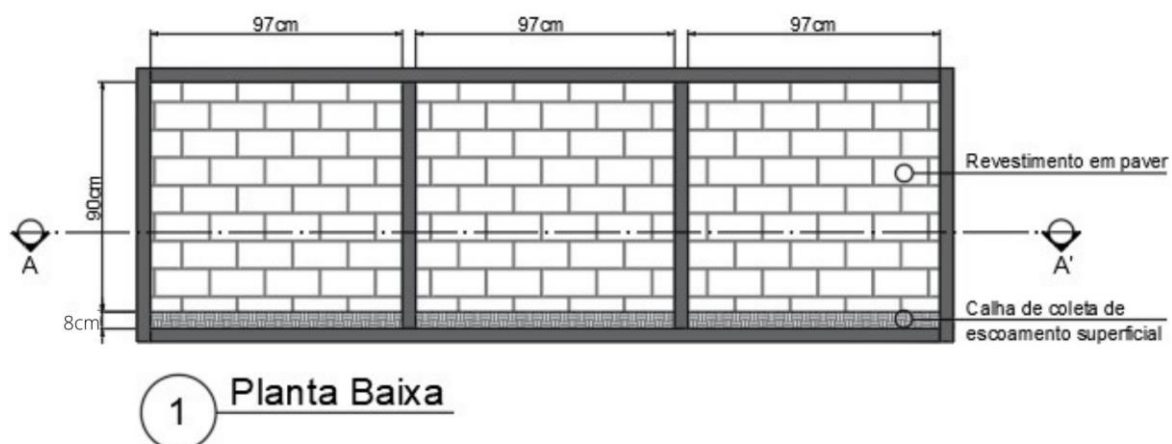


Figura 10 - Representação da planta baixa do PP.  
Fonte: Acervo pessoal (2021).

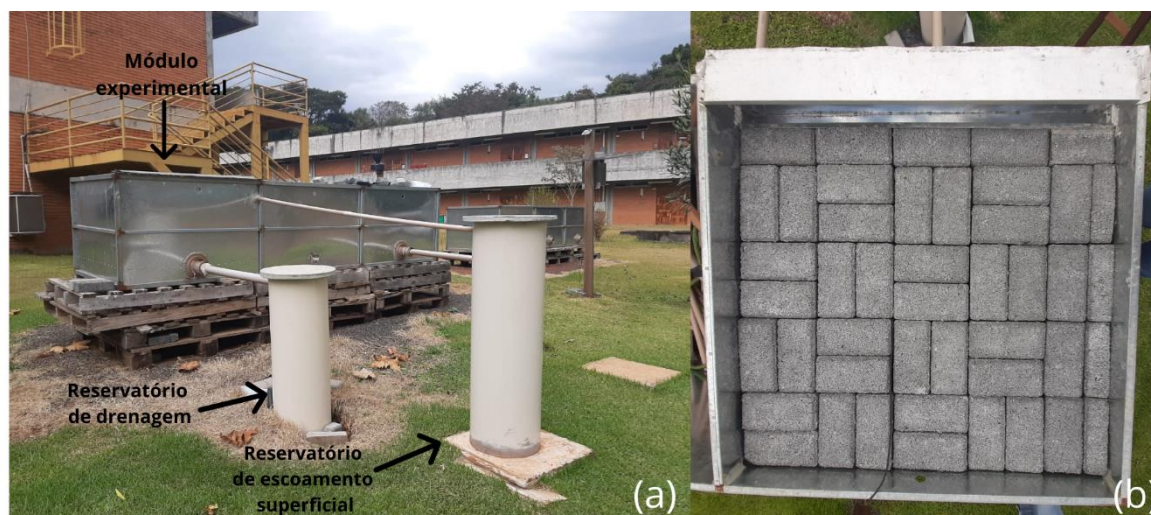


Figura 11 – (a) Posição dos tanques de coleta de água drenada e de escoamento superficial;  
(b) Vista superior da camada de revestimento.  
Fonte: Acervo pessoal (2021).

## 5.7 MONITORAMENTO E COLETA DE DADOS

Os instrumentos de monitoramento foram instalados na área de estudo com a finalidade de monitorar a precipitação e os fluxos hídricos através do PP. A altura de precipitação na área de estudo foi medida usando um pluviômetro basculante da marca Davis Instruments, modelo 6463. Os valores de precipitação foram registrados e armazenados em resolução temporal sub-horária (minutos) usando um *datalogger* da marca (Figura 12). Os eventos de precipitação foram considerados independentes quando separados por período mínimo de 6 horas sem precipitação e com altura superior a 2,5 mm (i.e., WOODS-BALLARD, 2012; BROWN; BORST, 2015; WINSTON et al., 2020).



**Figura 12 - Instalação dos instrumentos de monitoramento: (a) pluviômetro de bascula; (b) datalogger e placa solar que alimenta a energia elétrica do datalogger.**  
Fonte: Acervo pessoal (2021).

O volume de drenagem nos PP foi medido para cada evento (individual) de precipitação, conforme sugerido pelo *Urban Stormwater BMP Monitoring Manual* (EPA, 2002). Os eventos de precipitação foram classificados de acordo com a

intensidade: pouco intensa ( $i < 2,5$  mm/h), média intensidade ( $2,5 \leq i < 10$  mm/h); alta intensidade ( $10 \leq i < 50$  mm/h), e extrema ( $i \geq 50$  mm/h).

O volume de drenagem e de escoamento superficial foi obtido a partir da medição da lâmina d'água nos reservatórios externos ao PP, usando transdutores de pressão da marca HOBO, modelo U20L-01 (Figura 13), com resolução de 0,21 cm e faixa de operação entre 0 a 9 m de coluna d'água. Assim, a lâmina a pressão medida pelos transdutores foi convertida em medida de lâmina (ou nível) d'água e, conseqüentemente, em medida de volume para cada evento de precipitação. As medidas coletadas pelos transdutores foram obtidas em resolução temporal sub-horária (minutos).



**Figura 13 - Transdutor de pressão para medição de lâmina d'água.  
Fonte: AgSolve (2021).**

## 5.8 TRATAMENTO DOS DADOS DE ÁGUA DRENADA

As medições automatizadas de níveis d'água, como as realizadas com transdutores de pressão, geram ruídos por causa das variações ocasionadas por fenômenos externos no reservatório de drenagem. Quando esses ruídos não são tratados podem interferir na análise dos dados, acarretando uma falsa interpretação do fenômeno (FREITAS; KAVISKI, 2015).

Para tratar os ruídos provenientes das variações da pressão atmosférica na medição da lâmina d'água no reservatório. Para remover o ruído foi usada a técnica de filtragem de Savitzky-Golay (SG) (SAVITZKY; GOLAY, 1964). Essa técnica vem



sendo utilizada na suavização de séries temporais, gerando novos valores por meio do encaixe de polinômios de quadrados mínimos com grau variável em intervalos dessas séries (SAVITZKY; GOLAY, 1964). A vantagem do filtro SG é de eliminar os ruídos ao mesmo tempo que preserva a forma e o tamanho do espectro (SCHAFER, 2011). O filtro SG é utilizado para remoção de ruídos em dados de transdutores de pressão aplicados em monitoramento de nível d'água em aquíferos (ARISTODEMO; IANCHELLO; FALLICO, 2018).

O princípio do filtro SG é a combinação de duas características: a equivalência entre a filtragem digital passa-baixa e a suavização de ruídos por meio de polinômios. A construção do filtro é elaborada a partir do método de média ponderada, conforme a Equação 18 (SAVITZKY; GOLAY, 1964).

$$Y_j^* = \frac{\sum_{i=-m}^{i=m} C_i Y_{j+i}}{N} \quad (18)$$

Onde,  $Y$  é o sinal original;  $Y_j^*$  é o valor do sinal suavizado;  $C_i$  é o coeficiente para a  $i$ -ésima suavização;  $N$  é o número de pontos da janela de suavização, que é dado por  $2m + 1$ ;  $m$  é a metade do valor da janela de ponto, ou seja,  $N/2$ ;  $S_j + i$  é o valor dos coeficientes de Savitzky-Golay e  $j$  representa o índice de execução dos dados ordenados no conjunto dos dados originais. Para obtenção dos coeficientes de suavização aplica-se o método dos mínimos quadrados e adota-se um polinômio para se ajustar ao sinal original ponto a ponto conforme a Equação 19.

$$f_k(i) = b_0 + b_1 i + b_2 i^2 + \dots + b_k i^k = \sum_{n=0}^k b_n i^n, i \leq 2m \quad (19)$$

A dimensão da janela variável ( $DJ$ ) do filtro SG foi calculada em função da área de drenagem ( $AD$ ) do experimento conforme a Equação 20 (FREITAS; KAVISKI, 2015).

$$DJ = 12 \ln(AD) + 1 \quad (20)$$

A partir do valor encontrado na dimensão da janela foi definido o grau do polinômio (GP) para o filtro SG, conforme indicado na Equação 20.

$$\begin{aligned}
 & \text{se } \frac{DJ-1}{2} \leq 10 \rightarrow GP = 2 \\
 & \text{se } 10 < \frac{DJ-1}{2} \leq 15 \rightarrow GP = 3 \\
 & \text{se } 15 < \frac{DJ-1}{2} \leq 30 \rightarrow GP = 4 \\
 (20) & \\
 & \text{se } 30 < \frac{DJ-1}{2} \leq 50 \rightarrow GP = 5 \\
 & \text{se } 50 < \frac{DJ-1}{2} \leq 70 \rightarrow GP = 6
 \end{aligned}$$

A partir do valor da área de drenagem foi definida a dimensão da janela ( $DJ = 30,79$ ), com o valor obtido para  $DJ$  foi definido o grau do polinômio ( $GP = 5$ ). O filtro foi aplicado aos dados usando o *software* MATLAB (2021).

## 5.9 ANÁLISE DOS DADOS DOS FLUXOS HÍDRICOS MONITORADOS

Os valores de lâmina d'água do reservatório de drenagem foram transformados em valores de vazão para construção de hidrogramas. Deve ser enfatizado que os hidrogramas são referentes ao escoado pelo dreno de fundo do PP, não ao escoamento superficial. Não foram construídos hidrogramas de escoamento superficial porque não houve geração desse escoamento para os eventos monitorados. As vazões foram obtidas a cada minuto usando a Equação 21:

$$Q_d = \frac{V}{t}$$

(21)

Onde,  $Q_d$  é a vazão de drenagem na saída do dreno ( $\text{cm}^3/\text{minuto}$ ),  $V$  é o volume de drenagem ( $\text{cm}^3$ ) calculado durante o intervalo de tempo,  $t$  (minutos).

O volume de drenagem foi calculado a partir do produto entre a área da seção transversal do reservatório externo,  $A = 706,85 \text{ cm}^2$ , e a taxa de variação da lâmina d'água de drenagem entre dois intervalos consecutivos. O cálculo da taxa de variação da lâmina d'água de drenagem foi feito usando a Equação 22:

$$V = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{h_i - h_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \quad (22)$$

Onde,  $h_i$  e  $h_{i-1}$  são os valores da lâmina d'água de drenagem nos intervalos  $t_i$  (atual) e  $t_{i-1}$  (anterior), respectivamente ( $\text{cm}^3$ ).

O hidrograma representa graficamente a variação da vazão ao longo do tempo. Neste estudo, foram calculados alguns tempos usados para caracterizar o formato de um hidrograma, como mostra a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Por exemplo, o tempo de resposta do hidrograma ( $TLR$ ), o tempo do centroide da precipitação até o pico do hidrograma ( $TLPC$ ), o tempo de elevação (ou ascensão) do hidrograma ( $TR$ ), o tempo de resposta até o pico do hidrograma ( $TLP$ ), o tempo de base do hidrograma ( $TB$ ), e o tempo de concentração ( $TC$ ).

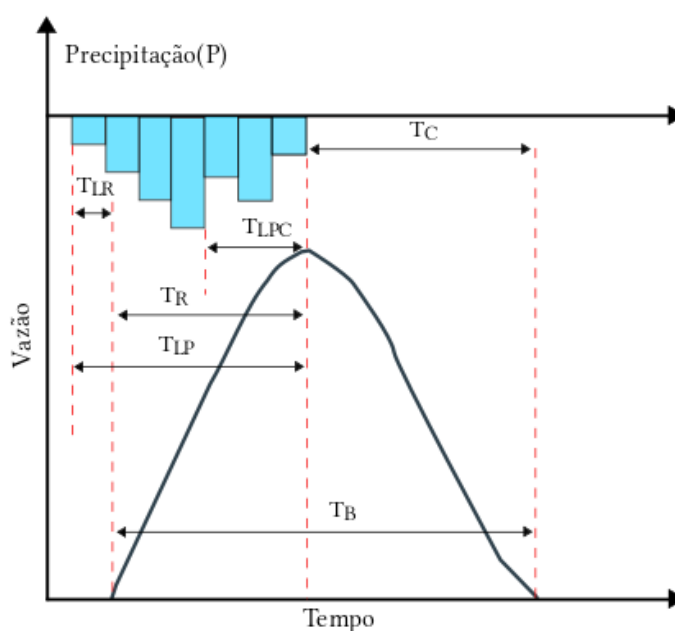


Figura 14 - Representação gráfica dos tempos do hidrograma.

Fonte: Adaptado de Dingman (2015).

Além disso, em geral, os valores de precipitação foram relacionados com valores de drenagem para cada evento individual. Também foi explorada a influência da Condição de Umidade Antecedente (*Antecedent Moisture Condition* - *AMC*) sob a geração de vazão do dreno de fundo do PP. O *AMC* é um critério pré-estabelecido por USDA (2004), sendo definido como o tempo em que ocorreu ao menos 1,0 mm de precipitação, sem o registro da mesma nas 6 horas anteriores ou subsequentes.

Os eventos de precipitação foram separados em três grupos, de acordo com os critérios de condição de umidade antecedente (Tabela 2).

**Tabela 2 - Classificação da Condição de Umidade Antecedente**  
**Condição de Umidade**

<b>Antecedente</b>
<i>AMC I</i> > 5 dias
2 dias < <i>AMC II</i> < 5 dias
<i>AMC III</i> < 2 dias

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS QUE COMPÕEM OS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Os resultados para a camada de revestimento indicam que o valor médio, ou seja, a média entre os valores das amostras do ensaio de absorção de água para o bloco intertravado de concreto poroso e permeável foi superior (8,36%) ao recomendado (6,00%) pela NBR 9781/2013 (ABNT, 2013), correspondendo com a característica do material com menor teor de finos e elevada porosidade. De acordo com a NBR 16416/2015 (ABNT, 2015), pavimentos permeáveis devem apresentar um grau de permeabilidade alta, correspondendo a um coeficiente de permeabilidade acima de  $10^{-3}$  mm/h. O paver poroso obteve resultado de  $2,4 \times 10^{-2}$  mm/h, atendendo assim ao requisito da norma.

Em relação à camada de assentamento, o índice de vazios do pedrisco foi maior que 32%, atendendo a recomendação da NBR 16416/2015 (ABNT, 2015). O resultado da dimensão máxima característica ( $D_{m\acute{a}x}$ ) foi igual a 12,5 mm (Tabela 3), isto é, superior a 9,5 mm e o material passante na peneira com abertura de malha de 0,075 mm menor a 2,0%, atendendo aos critérios da NBR 16416/2015 (ABNT, 2015).

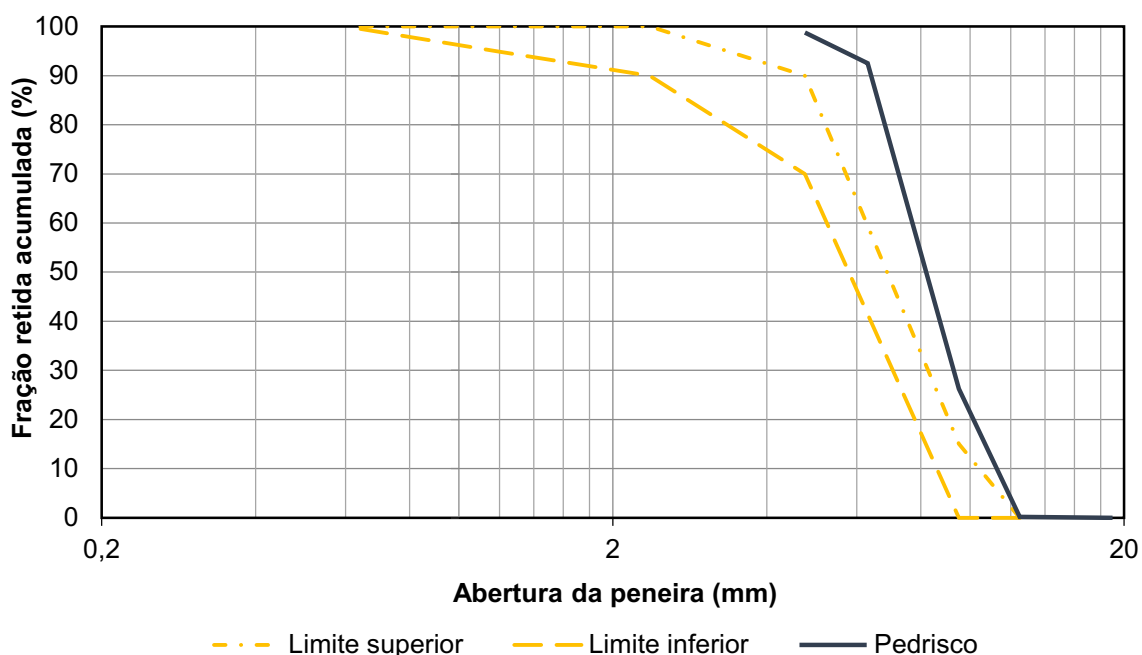
**Tabela 3 - Resultados da caracterização do pedrisco.**

<b>Material</b>	<b>Ensaio</b>	<b>Norma: ano</b>	<b>Resultado</b>
Pedrisco	Granulometria	248:2001	Dmáx: 12,5 mm
	Massa específica	53:2009	2,88 g/cm <sup>3</sup>
	Massa unitária	45:2006	1597 kg/m <sup>3</sup>
	Índice de vazios	45:2006	48,95%

A Tabela 4 apresenta os valores obtidos por meio do ensaio de distribuição granulométrica do material que compõem a camada de assentamento. A Figura 15 ilustra os valores ensaiados para o pedrisco, assim como os limites inferiores e superiores recomendados pela NBR 16416 (ABNT,2015).

**Tabela 4 - Composição granulométrica do pedrisco.**

<b>Abertura da peneira (mm)</b>	<b>Fração retida acumulada (%)</b>
	<b>Pedrisco</b>
19	0,00
12,5	0,20
9,5	26,22
6,3	92,52
4,75	98,80
2,36	100,00
1,18	100,00
0,6	100,00
0,3	100,00
0,15	100,00
0,1	100,00



**Figura 15 - Curva granulométrica do material de assentamento.**  
**Fonte: Acervo pessoal.**

Verifica-se que o material ensaiado apresentou uma granulometria maior que a recomendada, entretanto dentre os materiais disponíveis para compra na cidade de Pato Branco, o pedrisco foi o que apresentou valores mais próximos aos recomendados pela norma.

Em relação a camada de base, o agregado graúdo é classificado de acordo com a sua dimensão máxima característica ( $D_{máx}$ ). A faixa granulométrica para o agregado graúdo ser considerado uma brita 3 compreende valores entre 25 mm e 50 mm (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009). Sendo assim, classificou-se o agregado graúdo como pedra brita 3. O índice de vazios médio do agregado obtido foi de 53,65% (Tabela 5), atendendo a recomendação da NBR 16416/2005 de ABNT (2015).

**Tabela 5 - Resultados da caracterização da brita 3.**

Material	Ensaio	Norma: Ano	Resultado
Brita 3	Granulometria	248:2001	$D_{máx}$ : 37,5 mm
	Massa específica aparente	53:2009	3,38 g/cm <sup>3</sup>
	Massa unitária	45:2006	1590,95 Kg/m <sup>3</sup>
	Índice de	45:2006	53,65%

---

vazios

---

A Tabela 6, apresenta os valores obtidos por meio do ensaio de granulometria para a brita utilizada na camada de base.

**Tabela 6 - Composição granulométrica da brita 3.**

Abertura da peneira (mm)	Fração retida acumulada (%)	
	Brita 3	
50	0,00	
37,5	2,03	
31,5	12,72	
25	55,42	
19	95,52	
12,5	100,00	
9,5	100,00	
6,3	100,00	

A Figura 16 ilustra os limites inferiores e superiores estabelecidos pela NBR 16416 (ABNT, 2015) para a granulometria da camada de base, além dos valores ensaiados para o material. O gráfico mostrou que a caracterização do material que constituiu a base possuiu uma granulometria maior que a recomendada, entretanto novamente favorecendo a infiltração de água.

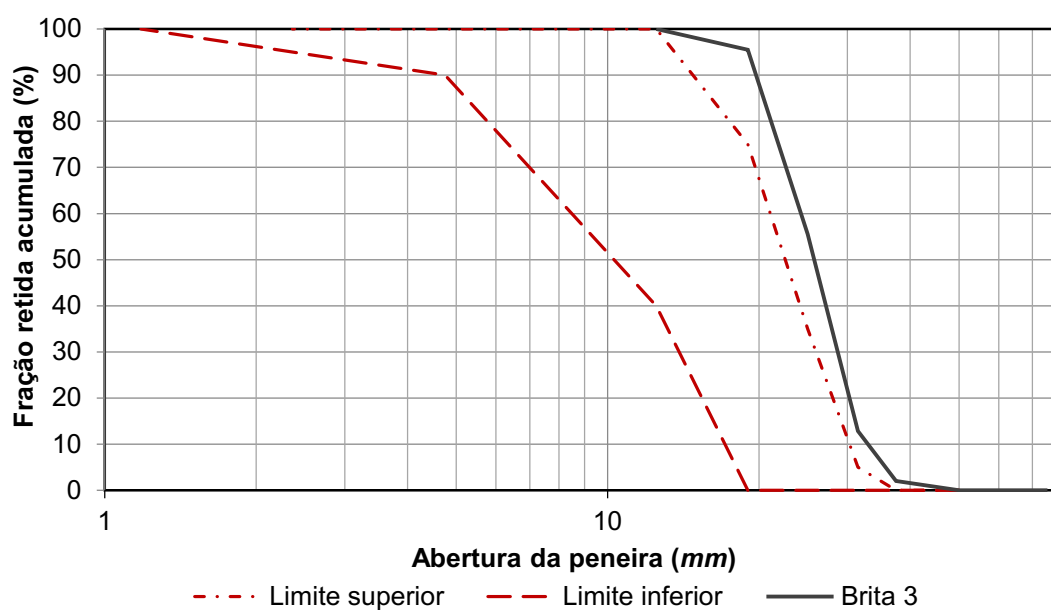


Figura 16 - Curva granulométrica do material da camada de base.  
Fonte: Acervo pessoal (2020).

## 6.2 RESULTADO DO DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO

Os valores empregados no dimensionamento hidrológico usando a NBR 16416/2005 estão listados na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores dos parâmetros de dimensionamento pela NBR 16416.		
Parâmetros e variáveis	Valor	Unidade
$P_e$	0	m
$A$	1	adimensional
$P$	26,988	mm
$f$	0	m/h
$t_e$	2	h
$\eta$	0,5365	adimensional

Por meio dos valores da Tabela 7 aplicados à Equação 7, obteve-se para a camada de base do dimensionamento hidrológico pelo método da NBR 16416/2005, o valor de 5 cm de altura.



Os valores obtidos no dimensionamento do Método da Curva Envelope e estão apresentados na Tabela 8. O valor da camada de base calculado pelo método de dimensionamento da Curva Envelope foi de 16,48 cm.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
<i>qs</i>	0	mm/h
$\beta$	1	adimensional
<i>T</i>	10	anos
<i>a</i>	3739,68	adimensional
<i>b</i>	0,1457	adimensional
<i>c</i>	20,973	adimensional
<i>V<sub>máx</sub></i>	87,17	mm

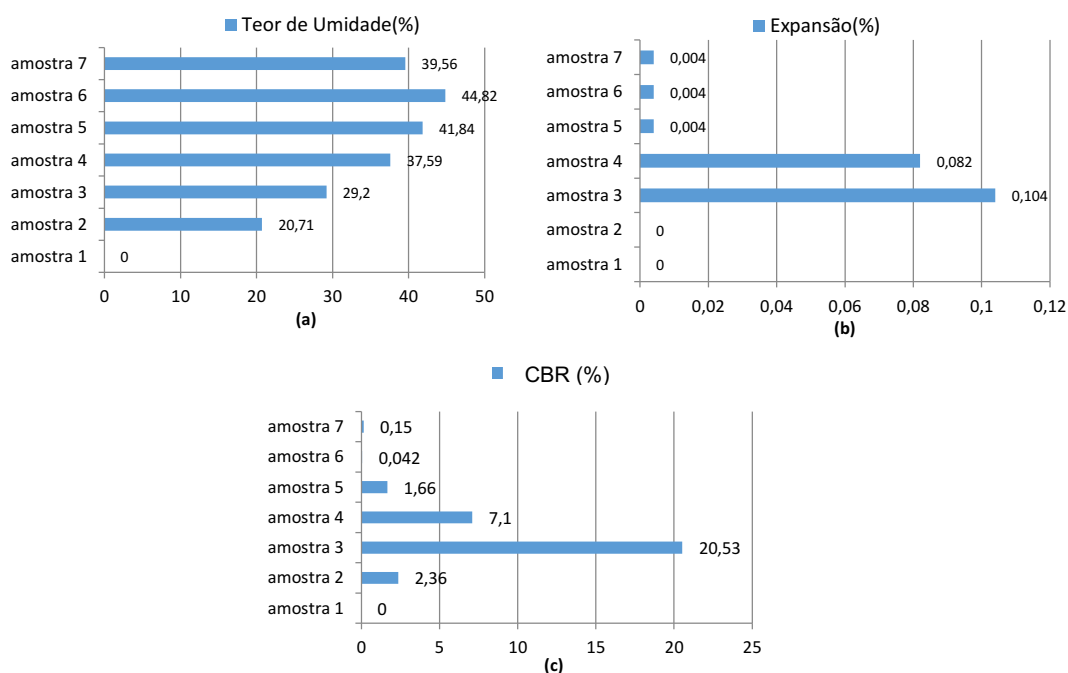
### 6.3 RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO MECÂNICO

Por meio de ensaios realizados de acordo com a NBR 7182/2016 (ABNT,2016e) e NBR 9895/2016 (ABNT, 2016f) , foram obtidos os valores de teor de umidade, expansão e o CBR dos sete corpos de prova confeccionados para o presente estudo, apresentados na .

A partir dos dados de teor de umidade e massa específica aparente seca, elaborou-se o gráfico da curva de compactação do solo (Apêndice A), onde o ponto mais alto da curva corresponde a massa específica aparente máxima e o teor de umidade ótima do solo, com valores de 1,43 g/cm<sup>3</sup> e 37,59%, respectivamente.

O corpo de prova número 4 obteve o valor de umidade ótima, sendo assim, os ensaios de penetração e pressão foram realizados para a amostra. E por fim, o Índice de Suporte Califórnia (CBR) foi calculado, correspondendo ao maior valor para as penetrações 2,54 mm e 5,08 mm, conforme a Tabela 9.

<b>Penetração (mm)</b>	<b>Pressão (Mpa)</b>		<b>CBR (%)</b>
	<b>Calculada</b>	<b>Padrão</b>	
2,54	0,485	6,9	7,02
5,08	0,746	10,5	7,10



**Figura 17 - (a) Valores de teor de umidade das amostras; (b) Valores de expansão das amostras; (c) Valores do CBR das amostras.**  
**Fonte: Acervo pessoal (2020).**

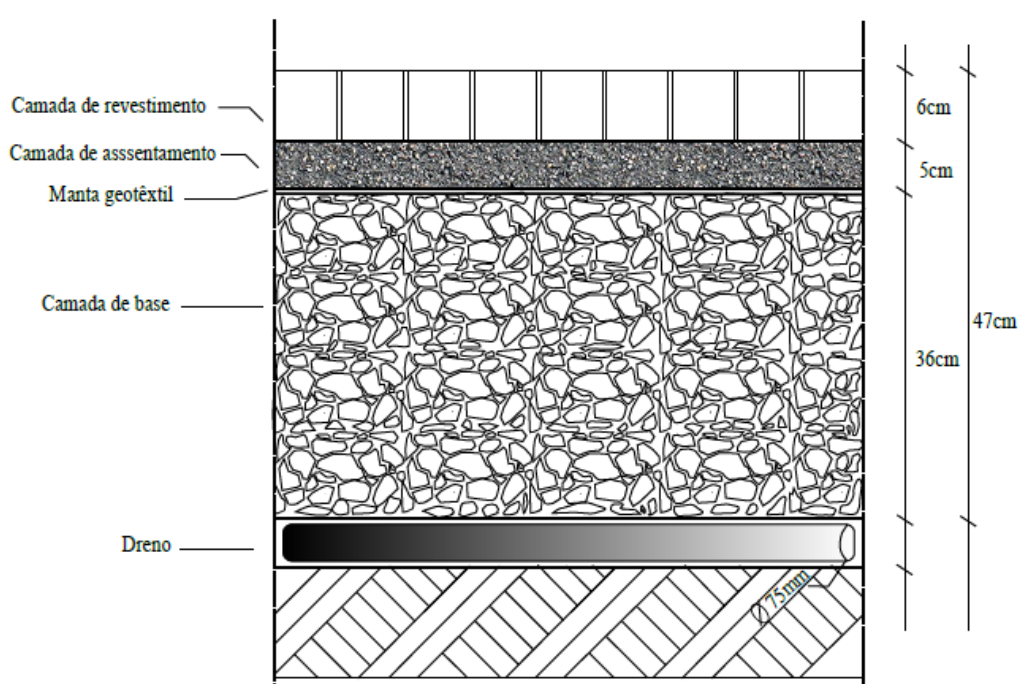
Por meio das equações do dimensionamento mecânico proposto por Souza (1981), foram calculados os parâmetros apresentados na Tabela 10 .

**Tabela 10 - Resultados dos parâmetros do dimensionamento mecânico.**

Parâmetro	Resultado
Fator de eixos (FE)	2,00
Fator de carga (FC)	1,00
Índice de suporte (IS)	3,55
Volume total de tráfego (Vt)	474500 veículos
Número equivalente de operações (NE)	949000

O ábaco de dimensionamento de projetos de pavimentos flexíveis apresentado no Apêndice D fornece a espessura total do pavimento, em função do número equivalente de operações (N) e do Índice de Suporte (IS). A espessura total do pavimento (Hmec) obtida foi de 47 cm.

Os valores obtidos para a camada de base pelos dimensionamentos hidrológicos e pelo dimensionamento mecânico foram comparados. Como a espessura da camada de armazenamento pelo dimensionamento mecânico foi superior aos resultados obtidos tanto pelo método da curva envelope, quanto pela NBR 16416/2015, o valor adotado para a camada de base (H) foi de 36 cm. Sendo assim, somando os valores das 3 camadas (base, assentamento e revestimento) a espessura total do PP foi de 47 cm. A apresenta as camadas do módulo experimental e as respectivas dimensões das camadas (Figura 18).



**Figura 18 - Camadas do módulo experimental e suas respectivas dimensões.**  
**Fonte: Acervo pessoal (2020).**

#### 6.4 RESULTADOS DOS FLUXOS HÍDRICOS

Os fluxos hídricos monitorados corresponderam à altura de precipitação incidente sobre a área dos PP e as lâminas d'água coletadas pelos drenos de fundo tanto para o tanque de drenagem. Foram monitorados 18 eventos de precipitação entre os dias 7 de janeiro e 30 de maio de 2021, entretanto apenas 11 eventos apresentaram altura de precipitação acima de 2,5 mm. A Tabela 11 apresenta um resumo dos valores de altura, duração e período de retorno dos eventos de

precipitação. É importante ressaltar que não houve geração de escoamento superficial em nenhum evento.

**Tabela 11 - Resumo dos eventos coletados: Data do evento; Precipitação (mm); Duração do evento; Intensidade média (mm/h) e Classificação da intensidade**

Evento	Data do evento	Precipitação (mm)	Duração do evento		Duração do evento (horas)	Intensidade média (mm/h)	Classificação da intensidade
			Início	Fim			
1	13/01/2021	8,2	16:38	19:01	2,38	3,41	média
2	16/01/2021	7,6	13:57	20:24	6,28	1,11	baixa
3	17/01/2021	12,2	17:51	20:50	3,0	4,06	média
4	21/01/2021	3,6	18:06	22:20	5,33	0,5	baixa
5	23/01/2021	37,6	17:12	22:05	6,28	5,99	média
6	24/02/2021	3,2	05:33	09:29	5,0	0,64	baixa
7	02/03/2021	28,6	17:02	17:47	0,76	37,6	alta
8	04/03/2021	23,0	02:42	05:36	2,9	7,93	média
9	05/03/2021	8,6	02:19	03:30	1,18	7,28	média
10	05/03/2021	16,6	10:04	16:57	6,88	2,41	baixa
11	26/03/2021	10,0	10:04	11:24	2,36	4,23	média

Observa-se que dos 11 eventos analisados no presente trabalho, quatro eventos apresentaram intensidade baixa, ou seja,  $i < 2,5$  mm/h. Na sequência, os eventos que apresentaram intensidade média ( $2,5 < i < 10$  mm/h) foram os eventos: 1, 3, 5, 8, 9 e 11. O evento 7 considerado é o único classificado como alta intensidade ( $10 < i < 50$  mm/h).

No evento do dia 13 de janeiro de 2021, ocorreu uma precipitação de 8,2 mm (Figura 19). A precipitação teve início às 16h38 e término às 19h01, com duração de 2,38 horas e intensidade média de 3,41 mm/h. A lâmina d'água aferida no reservatório de drenagem foi de 4,35 mm (Figura 20). O volume precipitado sobre o PP foi de 7,13 litros e o volume total drenado foi de 3,8 Litros. Do volume total precipitado sobre o PP (7,13 L) 53,80% foi direcionado para o reservatório de drenagem (Figura 21a).

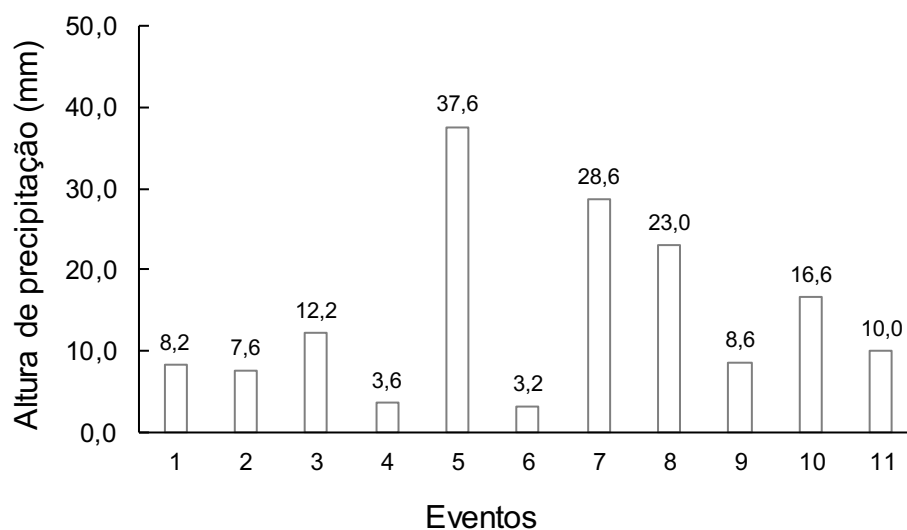
O evento do dia 16 de janeiro de 2021 apresentou altura precipitada de 7,6 mm (Figura 19), duração de 6,28 horas e intensidade média de 1,11 mm/h. O valor de lâmina d'água aferida no reservatório de drenagem foi de 3,83 mm (Figura 20). O

volume precipitado sobre o pavimento foi de 6,61 litros e o volume de drenagem foi de 3,34 litros correspondendo a 50,53% do volume precipitado sobre o PP.

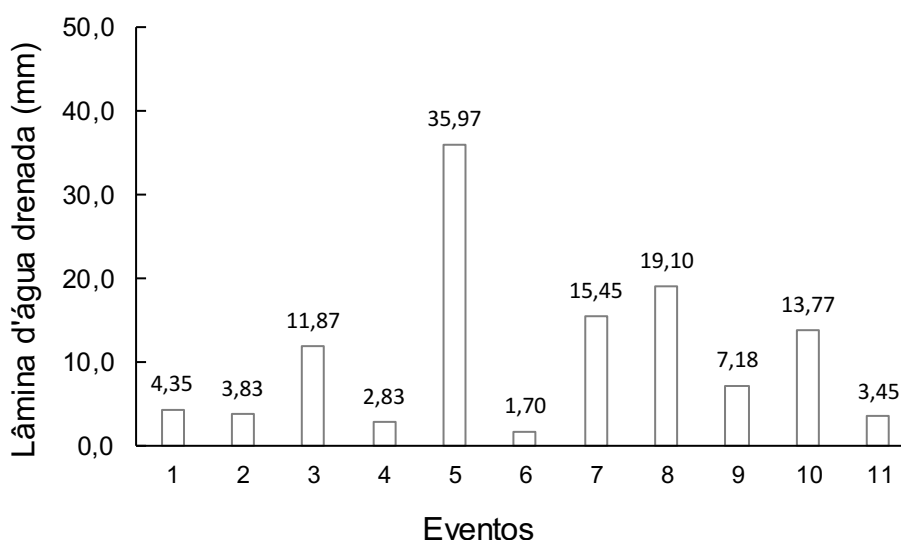
No dia 17 de janeiro de 2021 a altura de precipitação foi de 12,2 mm (Figura 19), tendo início às 17h51 e término às 20h50, com duração de 3 horas e intensidade média de 4,06 mm/h. A lâmina d'água coletada pelo dreno apresentou altura foi de 11,87 mm (Figura 20) . O volume precipitado sobre o PP foi de 10,61 litros, e o volume coletado no reservatório de drenagem foi de 10,36 litros ou 97,61% do total precipitado conforme mostra a Figura 21a.

No dia 21 de janeiro de 2021 ocorreu uma precipitação de 3,6 mm (Figura 19), com início às 18h06 e término às 22h20, duração de 5,33 horas, intensidade média de 0,5 mm/h e lâmina d' água registrada no reservatório igual a 2,83 mm (Figura 20). O volume precipitado sobre o PP foi de 3,13 Litros e o volume drenado correspondeu a 78,86% (Figura 21a) do volume total (2,47 L).

No dia 23 de janeiro de 2021 ocorreu o evento com maior altura de precipitação de 37,6 mm (Figura 19) , duração de 6,28 horas, intensidade média de 5,99 mm/h e altura de lâmina d'água no reservatório de drenagem de 35,97 mm (Figura 20).O volume que precipitou sobre o PP foi de 32,71 litros e o volume de drenagem correspondeu a 95,99% do volume total (Figura 21a). O sexto evento ocorreu no dia 24 de fevereiro de 2021, com duração de 5 horas, intensidade média de 0,64 mm/h e altura de precipitação de 3,4 mm (Figura 19). A altura de lâmina d'água monitorada no reservatório de drenagem foi de 1,70 mm (Figura 20). O volume precipitado na área do PP foi de 2,78 litros e volume coletado pelo dreno de 1,48 litros (53,16%).



**Figura 19 - Altura de precipitação (mm) para cada evento monitorado.**  
**Fonte: Autoria própria (2021).**



**Figura 20 - Valores das lâminas d'água (cm) para cada evento.**  
**Fonte: Autoria própria (2021).**

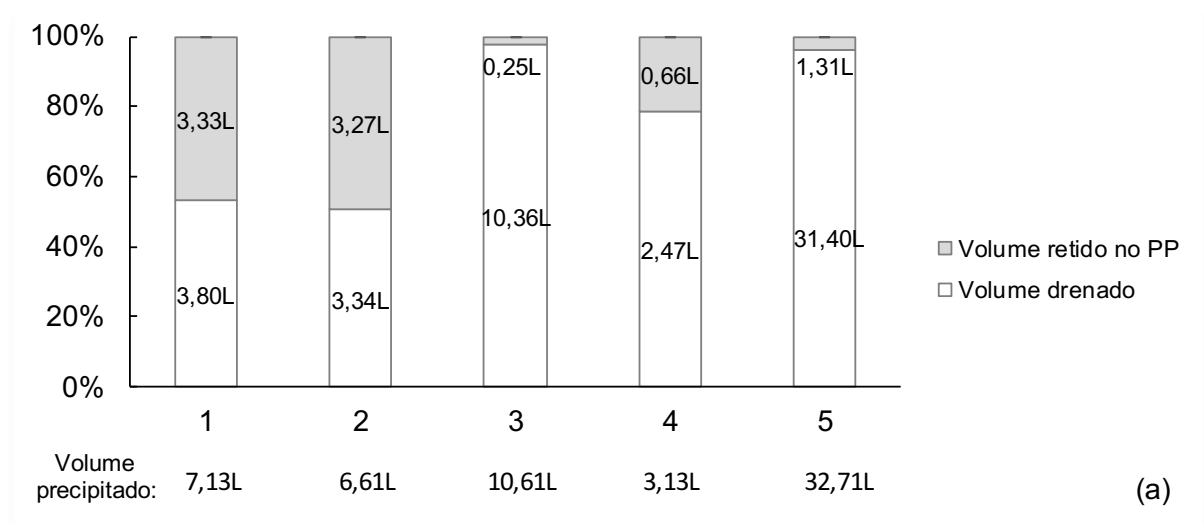
No dia 02 de março de 2021, ocorreu o evento 8 com altura de precipitação com 28,6 mm (Figura 19), com início às 17h02 e término às 17h47, tendo duração de 0,76 horas e intensidade média de 37,6 mm/h. A altura da lâmina d'água coletada no reservatório de drenagem foi de 15,45 mm (Figura 20). O volume precipitado sobre o PP foi de 24,88 litros e o volume de drenagem foi de 13,49 litros, o equivalente a 54,22% (Figura 21b) do volume total precipitado sobre o PP.

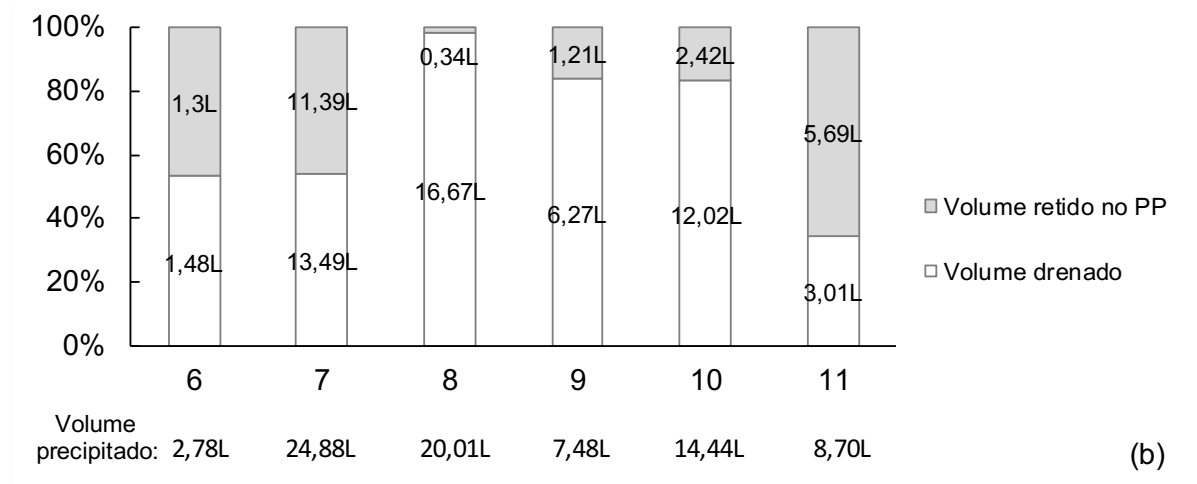
O evento 9 ocorreu no dia 04 de março de 2021, com altura de precipitação de 23 mm (Figura 19), duração de 2,9 horas e intensidade média de 7,93 mm/h. A

altura da lâmina d'água registrada no reservatório de drenagem foi de 19,10 mm (Figura 20). O volume drenado foi de 19,67 litros, correspondendo a 98,30% do volume total precipitado (Figura 21b).

O evento 10 ocorreu no dia 05 de março de 2021, com altura de precipitação de 8,6 mm (Figura 19), início às 02h19 e término às 03h30, duração de 1,18 horas e intensidade média de 7,28 mm/h. A altura registrada de lâmina d'água no reservatório de drenagem foi de 7,18 mm (Figura 20). O volume coletado pelo dreno foi de 6,27 litros e o volume precipitado sobre o PP foi de 7,48 litros ou 83,80% do volume total. Na mesma data também ocorreu o evento 11, com altura de precipitação de 16,6 mm (Figura 19), duração de 6,88 horas e intensidade média de 2,41 mm/h. A altura da lâmina d'água registrada no reservatório de drenagem foi de 13,77 mm (Figura 20). O volume drenado no PP foi de 12,02 litros, equivalente a 83,23% do volume precipitado no PP (Figura 21b).

O último evento (evento 12) teve intensidade média acima de 2,5 mm/h ocorreu no dia 26 de março de 2021, apresentando uma altura de precipitação de 10 mm (Figura 19), duração de 2,36 horas e intensidade média de 4,23 mm/h. A altura de lâmina d'água coletada no reservatório de drenagem foi de 3,45 mm (Figura 20). A precipitação gerou um volume de 8,70 litros, sendo que 34,60% do volume total precipitado correspondeu a drenagem do PP (Figura 21b).





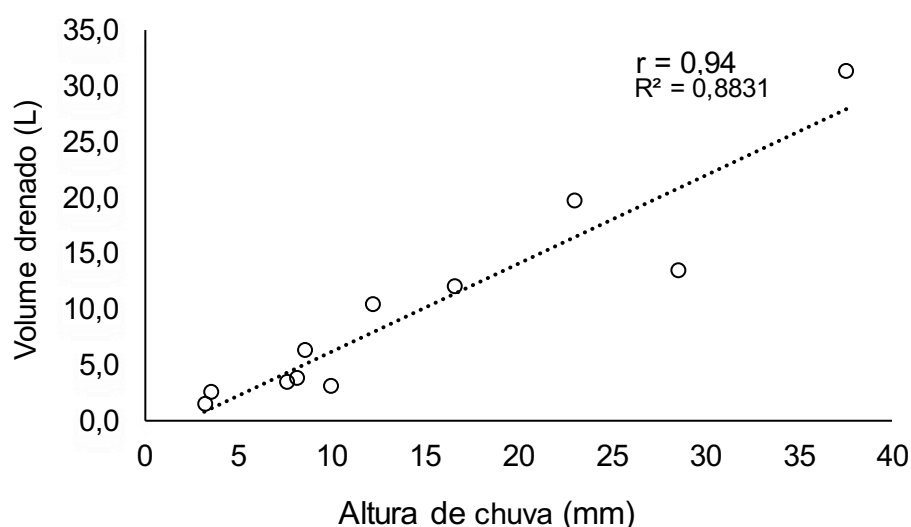
**Figura 21 - Desempenho do PP em relação ao volume retido e drenado: (a) Eventos do 1 ao 5; (b) Eventos do 6 ao 11.**  
**Fonte: Autoria própria (2021).**

Analisando a Figura 21, verificou-se características comuns aos eventos 3, 5, 8, 9 e 10. Os referidos eventos apresentaram volumes coletados pelo dreno acima de 80% do volume total precipitado no PP, outra característica mostra que ambos os eventos possuem condição de umidade antecedente *AMC III*, ou seja, ocorreram em intervalos menores que 2 dias em relação aos demais eventos. Neste caso, assume-se a hipótese de que os materiais que compõem o PP já estavam saturados, favorecendo a drenagem.



O módulo de PP apresentou volume médio precipitado de 12,86 litros e porcentagem média de 65,89% dos volumes drenados em relação aos volumes de precipitação. O desempenho do módulo experimental de PP foi consistente em todos os eventos caracterizados, não apresentando a ocorrência de escoamento superficial com toda água sendo drenada pelo PP, assim como alguns estudos que também não relataram escoamento superficial direto durante todo o período de monitoramento dos sistemas (BRATTEBO; BOOTH, 2003; COLLINS; HUNT; HATHAWAY, 2010; ROSENBERGER et al., 2021).

A Figura 22 mostra os volumes drenados calculados para o PP para as diferentes alturas de chuva. Os valores estimados para o coeficiente de Pearson ( $r$ ) e o coeficiente de determinação para a relação linear ( $R^2$ ) foram de 0,94 e 0,8831 respectivamente. Para a maior parte dos eventos, o volume drenado aumentou com a altura de chuva, demonstrando assim uma correlação forte e positiva entre as variáveis, esta tendência linear também foi observada por Mahmoud et al.(2020).

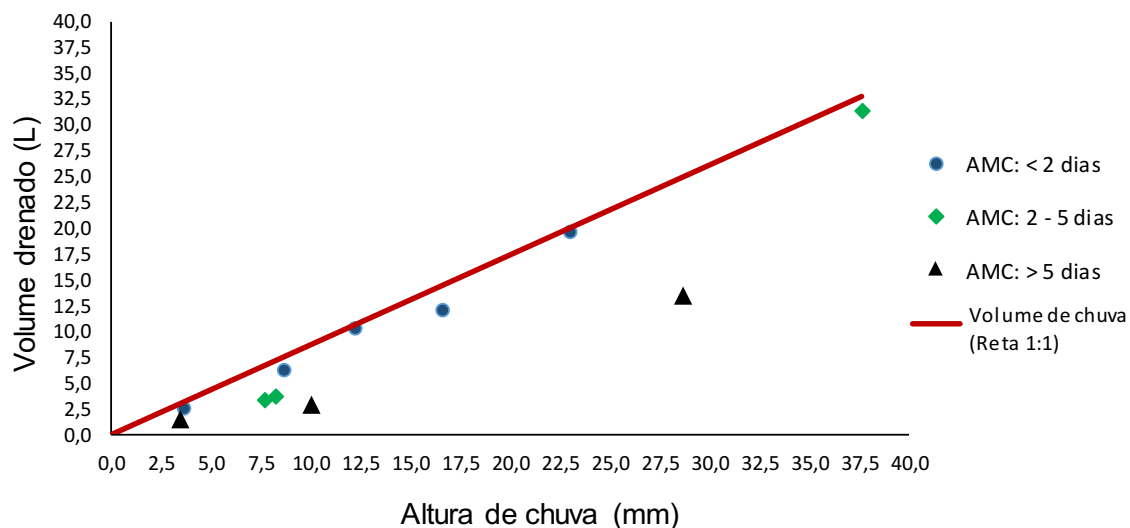


**Figura 22 - Volume drenado em relação à altura de chuva para os 11 eventos caracterizados.**  
**Fonte: A autoria própria (2021).**

## 6.5 AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DE UMIDADE ANTECEDENTE (AMC)

Os volumes de chuva drenados no PP para todos os 11 eventos, foram categorizados e agrupados em relação a umidade antecedente (AMC) e classificados pela condição apresentada na Tabela 2. Na Figura 23 observa-se

quanto mais próximo da reta 1:1, mais o volume drenado no PP se aproximou do volume precipitado sobre o pavimento.



**Figura 23 - Gráfico do volume drenado no PP X altura de chuva com base no AMC.**  
**Fonte: A autoria própria (2021).**

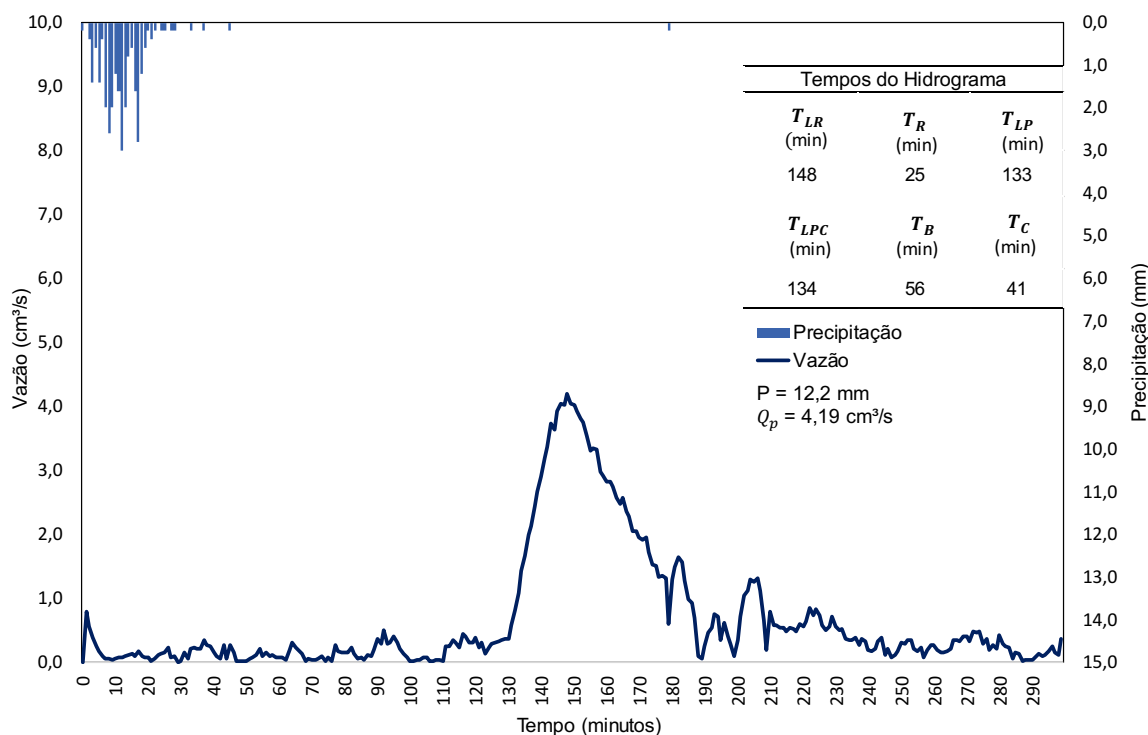
O gráfico mostra ampla variação entre os dados. Entretanto, os eventos com AMC III foram os que mais tiveram o volume drenado próximo ao valor precipitado. Isso pode ser atribuído ao fato de que os materiais que compõem as camadas do PP já estavam saturados, sendo assim a água infiltrou em maiores volumes até o dreno.

Os resultados de Brown e Borst (2015), também apresentaram uma ampla variação, principalmente para eventos classificados em AMC III, entretanto as visitas em campo durante eventos de chuva não demonstraram rachaduras ou depressões na superfície, outra hipótese é a influência das taxas de evaporação no PP. O estudo também demonstrou que a evaporação em sistemas de pavimentos permeáveis varia de acordo com a estação, visto que a maioria (53%) da evaporação anual do sistema de PP do referido estudo ocorreu durante os quatro meses mais quentes do ano.

## 6.6 HIDROGRAMAS DE DRENAGEM

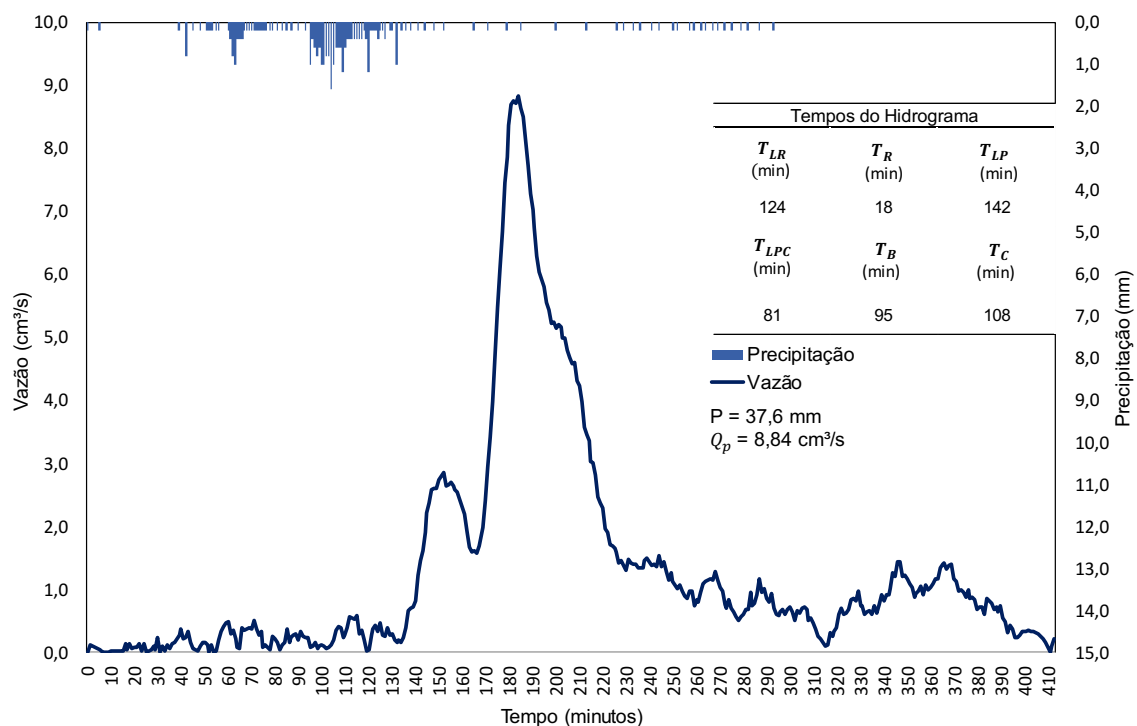
O evento 3, com altura de precipitação de 12,2 mm, apresentou uma vazão de pico ( $Q_p$ ) de 4,19 cm<sup>3</sup>/s. O tempo de duração da precipitação foi de 45 minutos, o pico da chuva se deu às 18h08min com um bloco de chuva de 2,8 mm. A (Figura 24) ilustra que ocorreu um retardo no pico do hidrograma em relação ao pico da chuva, com um tempo de resposta ( $T_{LR}$ ) de 148 minutos. Analisando-se os tempos do hidrograma gerado, o tempo de resposta até o pico ( $T_{LPC}$ ) foi de 134 minutos, já o tempo de base ( $T_B$ ) ocorreu em 41 minutos.

A Figura 25 ilustra o hidrograma do evento 5, que teve altura de precipitação de 37,6 mm, e vazão de pico ( $Q_p$ ) de 8,84 cm<sup>3</sup>/s. O pico da precipitação ocorreu às 18h56 minutos, com um bloco de chuva de 1,6 mm, a duração do evento até atingir o pico da vazão foi de 114 minutos. O tempo de resposta ( $T_{LR}$ ) foi de 124 minutos, o tempo de resposta até o pico ( $T_{LPC}$ ) foi de 81 minutos, já o tempo de base ( $T_B$ ) ocorreu em 95 minutos.



**Figura 24 - Hidrograma de drenagem (água coletada no dreno) do pavimento permeável para o evento 3.**

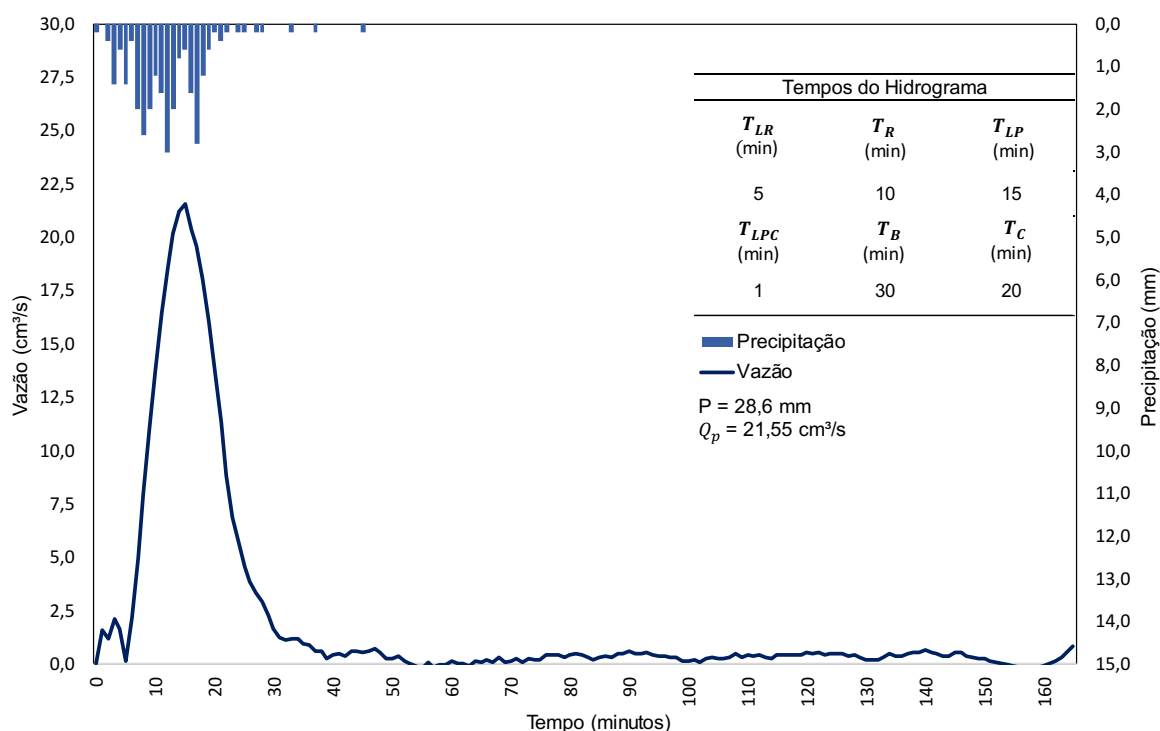
**Fonte: Autoria própria (2021).**



**Figura 25 - Hidrograma de drenagem (água coletada no dreno) do pavimento permeável para o evento 5.**

**Fonte: Autoria própria (2021).**

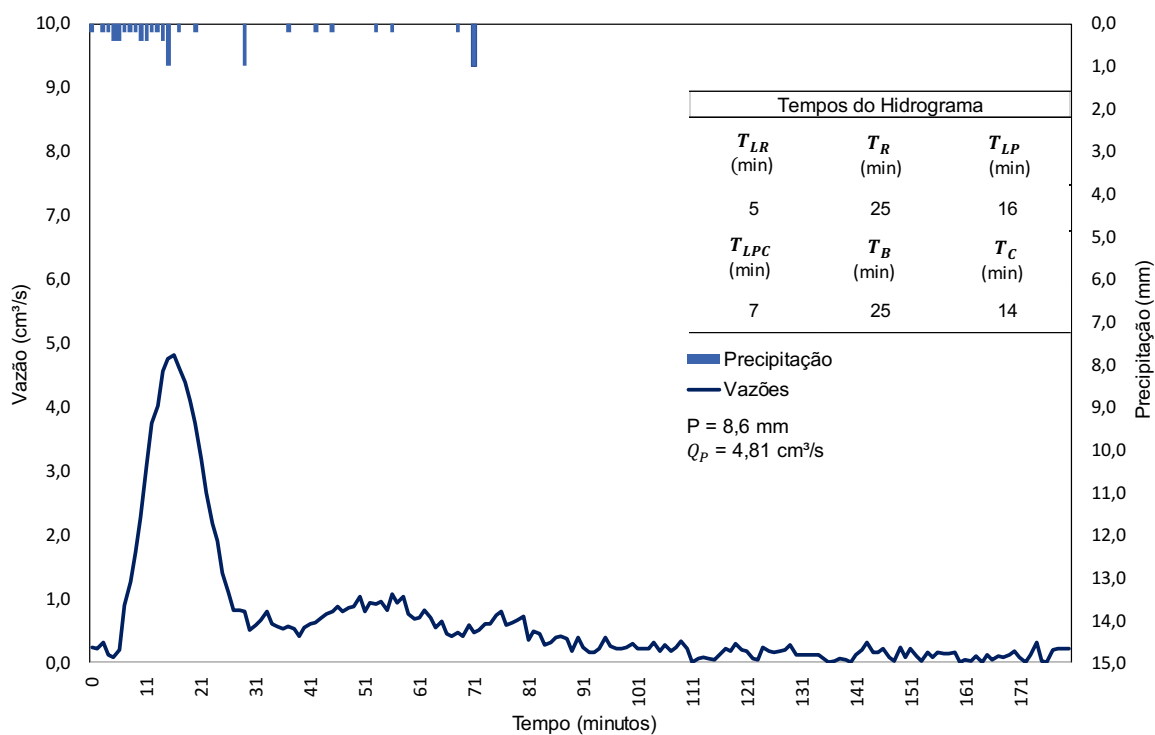
No dia 2 de março de 2021, ocorreu o evento 7, com altura de chuva de 28,6 mm e vazão de pico ( $Q_p$ ) de 21,55  $\text{cm}^3/\text{s}$  (Figura 26). Este evento foi classificado como de alta intensidade e curta duração, com o pico da precipitação ocorrendo 12 minutos após o início do evento, com um bloco de chuva de 3,0 mm, demonstrando que o tempo de resposta do pico ( $T_{LP}$ ) do hidrograma quase coincide com o pico da chuva. O tempo de resposta ( $T_{LR}$ ) foi de 5 minutos, o tempo de resposta até o pico ( $T_{LPC}$ ) foi de 1 minutos, já o tempo de base ( $T_B$ ) ocorreu em 30 minutos.



**Figura 26 - Hidrograma de drenagem (água coletada no dreno) do pavimento permeável para o evento 7.**

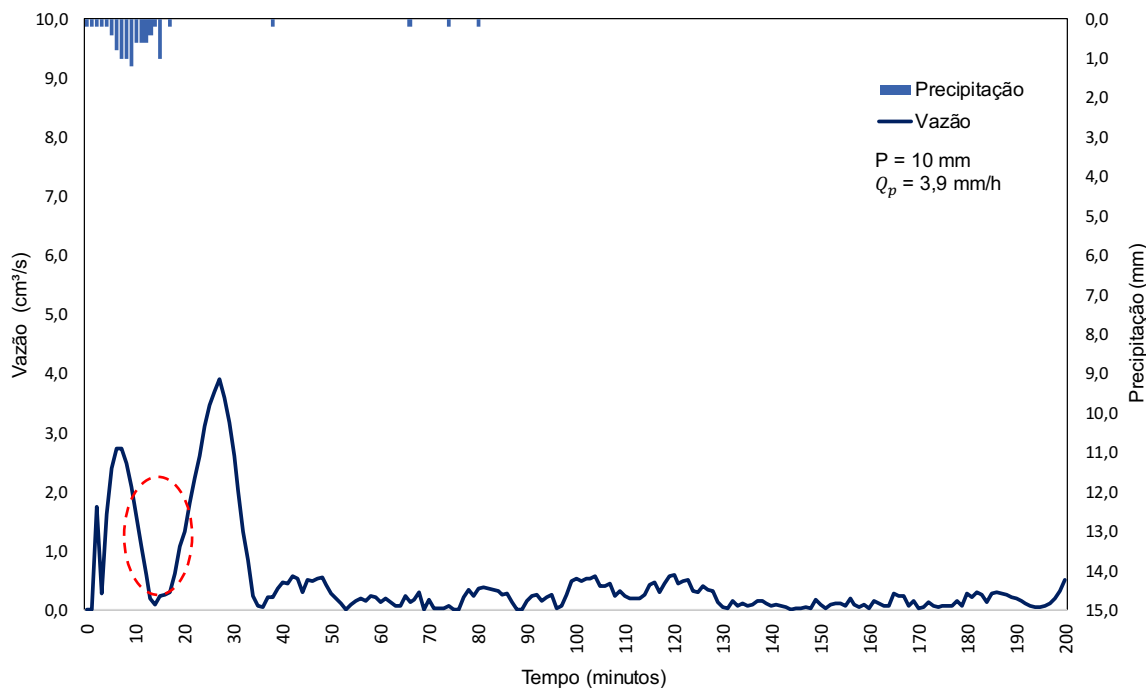
**Fonte: Autoria Própria (2021).**

O evento 9, que ocorreu no dia 5 de março, apresentou altura de chuva de 8,6 mm e vazão de pico ( $Q_p$ ) de 4,81  $\text{cm}^3/\text{s}$  (Figura 27). A duração do evento que gerou a vazão de pico foi de 20 minutos, sendo que o pico da precipitação ocorreu 15 minutos após o início chuva, com um bloco de chuva de 1,0 mm, demonstrando que o tempo de resposta do pico ( $T_{LP}$ ) do hidrograma de 16 minutos também coincidiu com o pico da chuva. O tempo de resposta ( $T_{LR}$ ) foi de 5 minutos, o tempo de resposta até o pico ( $T_{LPC}$ ) ocorreu em 7 minutos e o tempo de base ( $T_B$ ) em 25 minutos.



**Figura 27 - Hidrograma de drenagem (água coletada no dreno) do pavimento permeável para o evento 9.**

Fonte: Autoria própria (2021).



**Figura 28 - Hidrograma do evento 11 com a representação do ponto onde ocorre diferença de pressão nos dados coletados.**

Fonte: Autoria própria (2021).

O evento 11, apresentou altura de chuva de 10 mm e vazão de pico ( $Q_p$ ) de 3,9 mm/h. O gráfico mostra a presença de dois picos, no entanto a região em destaque (área pontilhada) indica que houve uma diferença de pressão na referida região. Os dados apresentados na Tabela D.5 (Apêndice D), revelam uma queda no nível de água do reservatório que está associada a um erro de medição do equipamento, sendo assim o referido período do hidrograma deveria ter reproduzido somente um pico.

A escolha dos eventos 3, 5, 7 e 9 está associada ao fato de que foram os eventos cujos hidrogramas apresentaram comportamento mais próximo ao visto na literatura, com vazão de pico e tempos característicos bem definidos. Durante a ocorrência de eventos menores o módulo de PP não produziu drenagem suficiente, apresentando uma taxa de vazão de pico próxima de 0 cm<sup>3</sup>/s. No estudo de Collins et al. (2008), as seções de PP reduziram ou atrasaram o tempo das vazões de pico, durante a ocorrência de eventos menores os PP que não produziram drenagem foram excluídos das análises de tempo de pico.

O evento 3 teve atraso de tempo de vazão de pico significativamente mais longo que os demais eventos. A base do pavimento, composta por agregados de granulometria aberta teve a função de retardar o transporte de água até o dreno, dissipando assim a energia da chuva. O evento 7 mostra que uma maior altura de chuva provavelmente resultou na saturação dos vazios dos materiais de retenção que compõem o PP, uma vez que o tempo de resposta até o pico foi o menor dentre os eventos analisados. Collins et al. (2008), evidencia que para eventos de maiores intensidades, a água seria retida nos espaços vazios.

## 7. CONCLUSÕES

O acelerado e constante crescimento dos meios urbanos, trouxe a necessidade de um maior planejamento e controle do uso e ocupação do solo, de modo a possibilitar o desenvolvimento sustentável das cidades além da minimização dos impactos resultantes da urbanização. Sendo assim, as aplicações de sistemas sustentáveis como medidas de controle na fonte do escoamento superficial necessitam de um maior conhecimento e compreensão das técnicas abrangidas, por meio de estudos teóricos e práticos.

Esta pesquisa aborda o processo de dimensionamento e construção de um módulo experimental de pavimento permeável, além da coleta e interpretação dos dados dos fluxos hídricos do sistema. O trabalho avaliou dois métodos: mecânico e hidrológico, para escolha dos parâmetros de dimensionamento. Por meio de critério de avaliação, o valor da camada de base obtido no dimensionamento mecânico orientou a construção do módulo experimental.

No processo de implantação do módulo de PP, as técnicas empregadas para assentamento do revestimento foram análogas às correspondentes a implantação de um pavimento convencional, solicitando apenas um maior controle em relação as espessuras das camadas (revestimento, assentamento e base) previamente dimensionadas. Em relação a quantificação dos fluxos hídricos, 11 eventos foram caracterizados, sendo que destes eventos quatro foram classificados como de baixa intensidade, seis eventos classificados como média intensidade e apenas um evento de alta intensidade.

Os métodos e resultados deste trabalho fornecem subsídios para implantação de sistemas sustentáveis de drenagem urbana em áreas suscetíveis as inundações urbanas. Os resultados obtidos ressaltaram o desempenho do pavimento, não apresentando formação de escoamento superficial, além do dreno de fundo ter coletado mais de 50% dos volumes precipitados da maioria dos eventos analisados, contribuindo assim na característica altamente permeável do PP. Em relação a condição de umidade antecedente (*AMC*), eventos com *AMC III* apresentaram volumes drenados mais próximos aos valores precipitados, enquanto eventos com *AMC I*, se distanciaram dos valores precipitados.



Prováveis influências seriam a permeabilidade do material que compõem o PP ou a evaporação, entretanto o presente estudo não avaliou as respectivas características, encorajando pesquisas futuras analisarem a influência desses fatores em pavimentos permeáveis. Os tempos gerados pelos hidrogramas demonstram que eventos com maiores alturas de chuva e alta intensidade podem resultar na rápida saturação dos materiais que compõem as camadas do PP ocasionando tempos de resposta até o pico menores, já eventos com baixas ou médias intensidades tiveram os volumes infiltrados lentamente nas camadas, atrasando assim o tempo de resposta da vazão de pico.

Espera-se que os dados fornecidos pelo estudo possam contribuir para aumentar a credibilidade na utilização dos PP, principalmente no Sul do Brasil. Além disso, os resultados desse trabalho abrem a possibilidade de melhorar o entendimento sobre PP por meio da calibração de modelos hidrológicos.

## 8. REFERÊNCIAS

ACIOLI, L.A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, 2005.

ALSUBIH, M.; SCOTT, A.; WRITH, G.; ALLEN, D. Experimental study on the hydrological performance of a permeable pavement. **Urban Water Journal**, v. 14, n. 4, p. 427–434, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2016.1176221>.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GOLÇALVES, J. L. de; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507 eschweizerbart\_xxx.

ALVES, P. B. R.; RUFINO, I.A.A.; FEITOSA, P.H.C.; DJORDJEVIC, S.; JAVADI, A. et al. Land-Use and Legislation-Based Methodology for the Implementation of Sustainable Drainage Systems in the Semi-Arid Region of Brazil. **Sustainability**, v. 12, n. 2, p. 661, 2020. DOI:10.3390/su12020661.

ANTUNES, L. N.; THIVES, L. P.; GHISI, E. Potential for potable water savings in buildings by using stormwater harvested from porous pavements. **Water (Switzerland)**, v. 8, n. 4, 2016.

ARISTODEMO, F.; IANCHELLO, M.; FALLICO, C. Smoothing analysis of slug tests data for aquifer characterization at laboratory scale. **Journal of Hydrology**, v. 562, p. 125–139, Dez 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 27**: Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 26**: Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16416**: Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016e.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9895**: Solo – Índice de suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016f.

AZZOUT, Y., BARRAUD, S., CRES, F. N., ALFAKIH, E. Techniques alternatives en assainissement pluvial. **Paris: Technique et Documentation** , Lavoisier, p. 372, 1994.

BARUCH, E.M.; KRISTOFOR, A.V.; BLASCZAK, J.R; DELESANTRO, J.; URBAN, D. L; BERNHARDT, E. S. Not all pavements lead to streams: variation in impervious surface connectivity affects urban stream ecosystems. **Freshwater Science**, v.37, n.3, p. 673 – 684, set. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1086/699014>.

BEAN, E.Z; HUNT, W.F.; BIDELSPACH, D.A. Field Survey of Permeable Pavement Surface Infiltration Rates. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133,n.3, 2007. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2007\)133:3\(249\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:3(249)).

BRASWELL, A. S.; WINSTON, R. J.; HUNT, W. F. Hydrologic and water quality performance of permeable pavement with internal water storage over a clay soil in Durham, North Carolina. **Journal of Environmental Management**, v. 224, p. 277–287, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.040>.

BRAUD, I.; BREIL, P.; THOLLET, F.; LAGOY, M.; BRANGER, F.; JACQUEMINET, C.; KERMADI, S.; MICHEL, K. Evidence of the impact of urbanization on the hydrological regime of a medium-sized periurban catchment in France, **Journal of Hydrology**, v. 485, p. 5- 23, 2013. DOI: 10.1016 / j.jhydrol.2012.04.049. 21.

BRATTEBO, B. O.; BOOTH, D. B. Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems. **Water Research**, v. 37, n. 18, p. 4369–4376, nov. 2003.

BROWN, R. A.; BORST, M. Quantifying evaporation in a permeable pavement system. **Hydrological Processes**, v. 29, n. 9, p. 2100–2111, 2015. DOI: 10.1002/hyp.10359.

BRUNETTI, G.; ŠIMŮNEK, J.; PIRO, P. A comprehensive numerical analysis of the hydraulic behavior of a permeable pavement. **Journal of Hydrology**, v. 540, p. 1146–1161, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.07.030> 0022-1694/Ó.

BRITISH STANDART. **BS 7533-132009**. Pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers. Guide for the design of permeable pavements constructed with concrete paving blocks and flags, natural stone slabs and setts and clay pavers. 2009.

CASTRO, T. Q. **Avaliação do desempenho de pavimentos permeáveis**. Dissertação (mestrado) Escola de Engenharia Civil -UFG, Programa de Pós-Graduação em Engenharia do meio Ambiente, Goiânia, 2011.

CHARLESWORTH, S.M.; PERALES – MOMPALER, S.; LASHFORD, C.; WARWICK, F. The sustainable management of surface water at the building scale: preliminary results of case studies in the UK and Spain. **Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua**, v. 62, n. 8, p. 534 – 544. 2013. DOI: <https://doi.org/10.2166/aqua.2013.051>.

CHOW, Ven Te; MAIDMENT, David R.; MAYS, Larry W. **Applied Hydrology**. New York: McGraw-Hill Science, p.572, 1988. 572 p.

COLLINS, K. A.; HUNT, W. F.; HATHAWAY, J. M. Hydrologic Comparison of Four Types of Permeable Pavement and Standard Asphalt in Eastern North Carolina. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 13, n. 12, p. 1146–1157, 2008. DOI: [10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2008\)13:12\(1146\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2008)13:12(1146)).

COLLINS, K. A.; HUNT, W. F.; HATHAWAY, J. M. Side-by-side comparison of nitrogen species removal for four types of permeable pavement and standard asphalt in eastern north carolina. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 15, n. 6, p. 512–521, 2010.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. Porto Alegre, RS. IPH UFRGS, p. 274, 2008.

COUTINHO, A. P. et al. Hydraulic characterization and hydrological behaviour of a pilot permeable pavement in an urban centre, Brazil. **Hydrological Processes**, [s.l.], v. 30, no 23, p. 4242–4254, 2016. ISSN: 10991085, DOI: [10.1002/hyp.10985](https://doi.org/10.1002/hyp.10985).

DINGMAN, S L. **Physical Hydrology**. 3 a ed. Waveland Press, Long Grove, Illinois, 2015.

FANG, D.; HAO, L.; CAO, Z.; HUANG, X.; QIN, M.; HU, J.; LIU, Y.; SUN, G. Combined effects of urbanization and climate change on watershed evapotranspiration at multiple spatial scales. **Journal of Hydrology**, v. 587, p.12869, ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124869>.

FREITAS, C.; KAVISKI, E. Suavização de séries de vazões médias horárias. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **ABRH**. Brasília, DF. Anais de Congressos.

EMMERT, F; PEREIRA, R. S. Caracterização geotécnica e classificação de solos para estradas florestais: estudo de caso. *Ciência Florestal*, v. 26, n. 2, p. 601 – 614, 2016.

ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. **EPA**. Urban Stormwater BMP Performance Monitoring. United States: American Society Of Civil Engineers, 2002. Disponível em: <http://www.bmpdatabase.org/Docs/2009%20Stormwater%20BMP%20Monitoring%20Manual.pdf>.

FASSMAN, E. A.; BLACKBOURN, S. Urban runoff mitigation by a permeable pavement system over impermeable soils. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 15, n. 6, p. 475–485, 1 junho 2010. DOI: 10.1061 (ASCE)HE.1943-5584.0000238.

FLETCHER, T.D., ANDRIEU, H., HAMEL, P. Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. **Advances in Water Resources**, n.51, p.261-279, 2012.

FLETCHER, T. D.; SCHUSTER, W.; HUNT, W.F.; ASHLEY, R.; BUTLER, D.; ARTHUR, S.; TROWSDALE, S.; BARRAUD, S.; SEMADENI-DAVIES, A.; BERTRAND-KRAJEWSKI, J.L.; MIKKELSEN, P.S.; UHL, M.; DAGENAIS, D.; VIKLANDER, M. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more-The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, v .12, n. 7, p. 525-542, 2014.DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>.

GREGORY, J.H.; DUKES, M. D; JONES, P.H.; MILLER, G.L. Effect of urban soil compaction on infiltration rate. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.61, p. 117 – 124, 2006. Disponível em: <https://www.jswconline.org/content/61/3/117>.

HAO, L., SUN, G., LIU, Y., WAN, J., QIN, M., QIAN, H., LIU, C., ZHENG, J., JOHN, R., FAN, P.; CHEN, J.: Urbanization dramatically altered the water balances of a paddy field-dominated basin in southern China. **Hydrology and Earth System Science**, v. 19, p. 3319–3331,2015. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-19-3319-2015>.

HEALY, R. W. **Estimating Groundwater Recharge**. New York: Cambridge University Press, 2010, 238 p. ISBN 978-0-511-79768-2.

HU, M.; ZHANG, X.; SIU, Y.L.; LI, Y.; TANAKA, K.; YANG, H; XU, Y. Flood Mitigation by Permeable Pavements in Chinese Sponge City Construction. **Water**, v. 10, n. 2, p. 172, 9 fev. 2018. DOI: 10.3390/w10020172.

HUONG, H. T. L.; PATHIRANA, A. Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam, **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 17, 379–394, DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-17-379-2013>, 2013.

KAZEMI, H; ROCKAWAY, T.D; RIVARD, J.; ABDOLLAHIAN, S. Assessment of Surface Infiltration Performance and Maintenance of Two Permeable Pavement Systems in Louisville, Kentucky. **Journal of Sustainable Water in the Built Environment**, v. 3, n. 4, p. 401-709, 30 jun. 2017. DOI: 10.1061/JSWBAY.0000830.

LEE, J. G.; BORST, M.; BROWN, R. A.; SIMON, M. A. Modeling the Hydrologic Processes of a Permeable Pavement System. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 20, n. 5, 23 set. 2014. DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001088.

Li, G.F.; XIANG, X.Y.; TONG, Y.Y.; WANG, H.M. Impact assessment of urbanization on flood risk in the Yangtze River Delta. **Stoch. Environmental. Res. Risk Assess**, v. 27, p.1683–1693, 2017.

LI, C.; LIU, M.; HU, Y.; SHI, T.; QU, X.; WALTER, M.T. Effects of urbanization on direct runoff characteristics in urban functional zones. **Science of The Total Environment**. v.643, p. 301 – 311, 1 dez.2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.211>.

LIU, Y.; LI, T.; YU, L. Urban heat island mitigation and hydrology performance of innovative permeable pavement: A pilot-scale study. **Journal of Cleaner Production**, v.244, 22 out. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118938>.

LOPES DA SILVEIRA, A. L.; GOLDENFUM, J. A. Metodologia Generalizada para Pré-Dimensionamento de Dispositivos de Controle Pluvial na Fonte. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.12, n.2, p 157-168, 2 abril. 2007.

LOPES, B.; RAMOS, I.C. de O.; RIBEIRO, G.; CORREA, R.; VALBON, B. de F.; LUZ, A.C da; SALOMÃO, M.; LYRA, J.M.; JUNIOR, R.A. Biostatistics: Fundamental concepts and practical applications. **Revista Brasileira de Oftalmologia**, v. 73, n. 1, p. 16–22, 16 out. 2014. DOI: 10.5935/0034-7280.20140004.

MACINTOSH-WATSON, M.; MORRELL, D. **Design & Construction of Concrete Block**. Leicester, UK: Interpave, 2018.

MATLAB: Matemática. Dados. Programação. 2021. [S.l]: **OPENCADD**, 2021. Disponível em: <<https://opencadd.com.br/matlab/>>.

MARCHIONI, M. L.; SILVA, C. O.; **Pavimento Intertravado Permeável: Melhores Práticas**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland , 2011, 24 p. Disponível em: [https://castelatto.com.br/cartilha/Cartilha\\_Pav\\_Intertravado\\_Permeavel.pdf](https://castelatto.com.br/cartilha/Cartilha_Pav_Intertravado_Permeavel.pdf). Acesso em: 17 ago. 2019.

MARCHIONI, M. L.; SILVA, C. O.; **Conceitos e Requisitos para Pavimento Intertravado Permeável**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2015, 8 p. Disponível em: [https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/PR2\\_Conceitos\\_requisitos\\_pav\\_permeavel.pdf](https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/PR2_Conceitos_requisitos_pav_permeavel.pdf). Acesso em: 17 ago. 2019.

MILLER, J. D., HUTCHINS, M. The impacts of urbanization and climate change on urban flooding and urban water quality: A review of the evidence concerning the United Kingdom. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v.12, p. 345 – 362, 2017.

MILLER, J.; KIM, H.; KJELDTSEN, T.; PACKMAN, J.; GREBBY, S.; DEARDEN, R. Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover. **Journal of Hydrology**, v. 515, p. 59-70, 19 abril 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrolo.2014.04.011>.

MILLER, J.; KIM, H.; KJELDTSEN, T.; PACKMAN, J.; GREBBY, S.; DEARDEN, R. Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover. **Journal of Hydrology**, v. 515, p. 59-70, 19 abril 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.011>.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Perfil de brita para construção civil. *In: Agregados para construção civil*. Brasília - DF, 2009. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/documents/36108/448620/P22\\_RT30\\_Perfil\\_de\\_brita\\_para\\_construcao\\_civil.pdf/0b657545-498a-46ee-b836-a974026d435a?version=1.0](http://www.mme.gov.br/documents/36108/448620/P22_RT30_Perfil_de_brita_para_construcao_civil.pdf/0b657545-498a-46ee-b836-a974026d435a?version=1.0). Acesso em: 22 jun. 2020.

PAGE, J. L., WINSTON, R. J., MAYES, D. B., PERRIN, C., AND HUNT, W. F. Hydrologic mitigation of impervious cover in the municipal right-of-way through innovative stormwater control measures. **Journal of Hydrology**, v. 527, p. 923–932, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.046>.

PERALES-MOMPARLER, S.; The role of monitoring sustainable drainage systems for promoting transition towards regenerative urban built environments: a case study in the Valencian region, Spain. **Journal of Cleaner Production**, v. 163, p. 113–124, 24 maio 2017. DOI: [10.1016/j.jclepro.2016.05.153](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.153).

RIGHETTO A. M. (coord). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

RODRIGUEZ-HERNANDEZ, J. et al. Laboratory Study on the Stormwater Retention and Runoff Attenuation Capacity of Four Permeable Pavements. **ASCE – American Society of Civil Engineers**, v.2, p.142, 2015. DOI: [10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001033](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001033).

RODRÍGUEZ – ROJAS, M.I.; HUERTAS – FERNÁNDEZ, F.; MORENO, B.; MARTÍNEZ, G.; GRINDLAY, A. L. A study of the application of permeable pavements as a sustainable technique for the mitigation of soil sealing in cities: A case study in the south of Spain. **Journal of Environmental Management**, v. 205, p. 151 – 162, 2 out. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.075>.

ROSENBERGER, L. et al. Sustainable stormwater management under the impact of climate change and urban densification. **Journal of Hydrology**, v. 596, p. 126-137, fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126137>.

SAADEH, S.; RALLA, A.; AL-ZUBI, Y.; WU, R.; HARVEY, J. Application of fully permeable pavements as a sustainable approach for mitigation of stormwater runoff. **International Journal of Transportation Science and Technology**, 1 fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2019.02.001>.

SANTOS, C. DE A., et al. Impact of pervious pavement in urban areas on catchment basin recovery. **Ciências Agrárias**, v.39, n. 1, p. 39-50, 2018.

SAVITZKY, A.; GOLAY, M. J. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. **Analytical Chemistry**, v. 36, n. 8, p. 1627–1639, 1964.

SCHAFER, R.W. What is a Savitzky - Golay filter. *IEEE Signal Processing Magazine*, v.28, n.4, p. 111-117, 2011.

SCHOLZ, M.; GRABOWIECKI, P. Review of permeable pavement systems. **Building and Environment**, v. 42, n. 11, p. 3830–3836, 20 nov. 2007. DOI: [10.1016/j.buildenv.2006.11.016](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.11.016).

SILVEIRA, A. L. L. da; GOLDENFUM, J. A. Metodologia Generalizada para Pré-Dimensionamento de Dispositivos de Controle Pluvial na Fonte. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.12, n.2, p 157-168, 2 abril. 2007.

SOUZA, M. L. de. **DNER 667/22: Método de projeto de pavimentos flexíveis**. 3.ed. rev. Atual. Rio de Janeiro, RJ: IPR – Instituto de Pesquisas Rodoviárias. DITC, 1981. [http://ipr.dnit.gov.br/normasmanuais/manuais/documentos/667\\_metodo\\_de\\_projeto\\_de\\_pavimentos\\_flexiveis.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/normasmanuais/manuais/documentos/667_metodo_de_projeto_de_pavimentos_flexiveis.pdf). Acesso em: 27 out. 2019.

STARKE, P.; GÖBEL, P.; COLDEWEY, W. G. Urban evaporation rates for water-permeable pavements. **Water Science and Technology**, v. 62, n. 5, p. 1161–1169, 2010. DOI: [10.2166/wst.2010.390](https://doi.org/10.2166/wst.2010.390).

STØVRING, J.; DAM, T.; JENSEN, M. B. Hydraulic performance of lined permeable pavement systems in the built environment. **Water**, v. 10, n. 5, 1 maio. 2018. DOI: [10.3390/w10050587](https://doi.org/10.3390/w10050587).

TABALIPA, N. L.; FIORI, A. P. Caracterização dos solos da bacia do Rio Ligeiro (PR) na estabilidade de taludes. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. 1, p. 11-26, 2012. Disponível em: <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/7871>.

TARQUI J. L. Z., BRITO, J. S., CARVALHO, M. F. Runoff on Pavements of Soil - Cement Blocks – an Experimental Boarding. **Ingeniería Investigación y Tecnología**, v. 4, n. 1, p. 35–47, 2015.

TAVANTI, D. R., BARBASSA, A. P. Análise dos Desenvolvimentos Urbanos de Baixo Impacto e Convencional. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 4, p. 17-28, 2012.

TURCO, M.; KODEŠOVÁ, R.; BRUNETTI, G.; NIKODEM, A.; FÉR, M.; PIRO, P. Unsaturated hydraulic behaviour of a permeable pavement: Laboratory investigation



and numerical analysis by using the HYDRUS-2D model. **Journal of Hydrology**, v. 554, p. 780–791, 4 out. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.10.005>.

UNITED NATIONS. **Population Distribution, Urbanization, Internal Migration and Development**. 2008. Disponível em: <https://www.un.org/en/development/desa/population/publication/urbanization/population-distribution.asp>.

UNITED NATIONS. **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision**. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Department. 2018. Disponível em: <https://population.un.org/wup/>.

USDA – NRCS. **Chapter 10: estimation of direct runoff from storm rainfall**. In *National Engineering Handbook: Part 630 Hydrology*. 2004. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service: Washington DC.

WINSTON, R. J.; DORSEY, J. D.; SMOLEK, A. P.; HUNT, W. F. Hydrologic Performance of Four Permeable Pavement Systems Constructed over Low-Permeability Soils in Northeast Ohio. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.23, n.4, 8 fev. 2018. DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001627.

WINSTON, R. J.; AREND, K.; DORSEY, J.D.; JOHNSON, J.P.; HUNT, W. F. Hydrologic performance of permeable pavement and stormwater harvesting treatment train stormwater control measure. **Journal of Sustainable Water in the Built Environment**, v. 6, n. 1, p. 1–12, 27 nov. 2020. DOI: 10.1061/JSWBAY.0000889.

WOODS-BALLARD, B.; WILSON, S.; UDALE – CLARKE, H.; ILLMAN, S.; SCOTT, T.; ASHLEY, R.; KELLAGHER, R. **The SUDS manual**. London: CIRIA, 2015, 937 p. ISBN: 978-0-86017-760-9.

WU, J.; YANG, R.; SONG, J. Effectiveness of low-impact development for urban inundation risk mitigation under different scenarios: A case study in Shenzhen, China. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 18, n. 9, p. 2525–2536, 20 set. 2018. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2525-2018>.

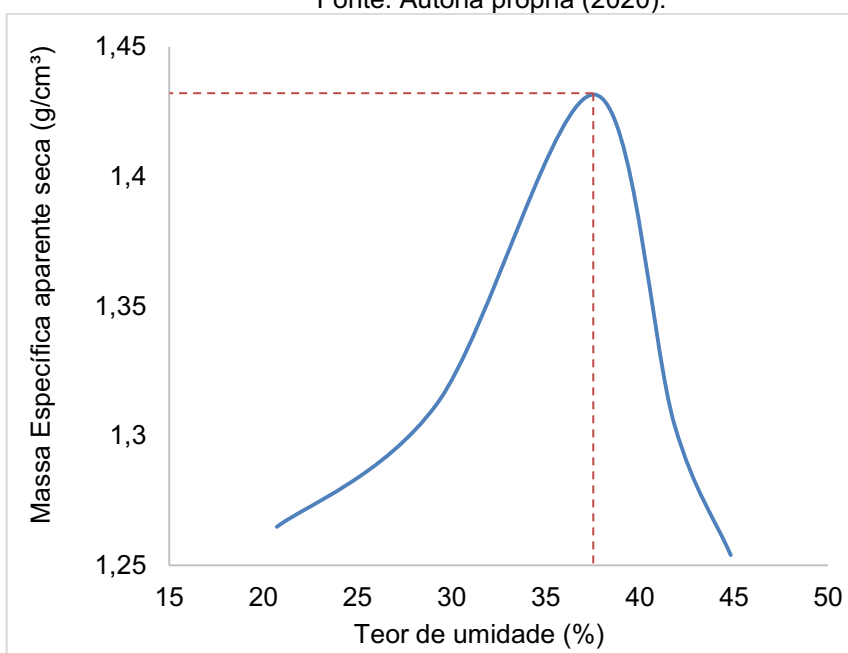
ZANANDREA, F.; SILVEIRA, A. L. L. DA. Effects of LID Implementation on Hydrological Processes in an Urban Catchment under Consolidation in Brazil. **Journal of Environmental Engineering**, v. 144, n. 9, p. 04018072, set. 2018.

ZHANG, W., VILLARINI, G., VECCHI, G. A., SMITH, J.A. Urbanization exacerbated the rainfall and flooding caused by hurricane Harvey in Houston. *Nature*, n.563, p. 384 -388, 2018.

ZHOU, Q. A Review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts. **Water**, v. 6, n. 4, p. 976–992, 22 abril. 2014. DOI: 10.3390/w6040976.

## 9. APÊNDICE A – CURVA DE COMPACTAÇÃO DO SOLO

Figura A.1 – Curva de compactação do solo  
Fonte: Autoria própria (2020).



10. APÊNDICE B – GRÁFICO DO MÉTODO DE PROJETO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS (DNER, 1981)

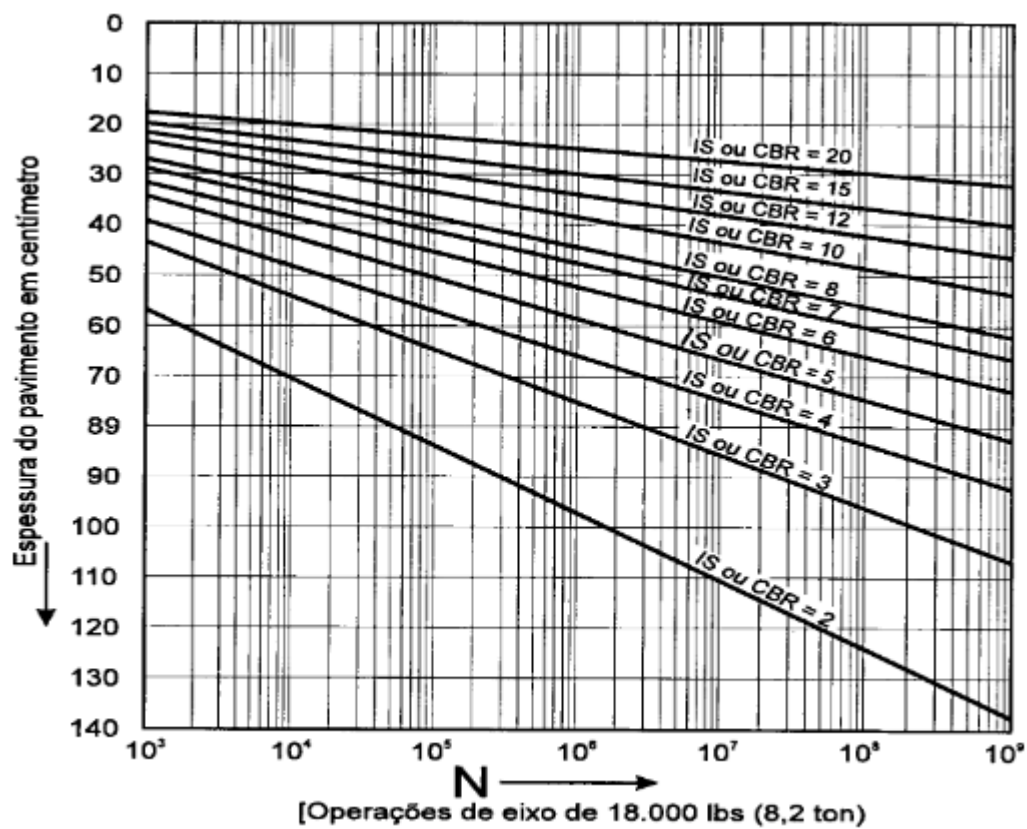
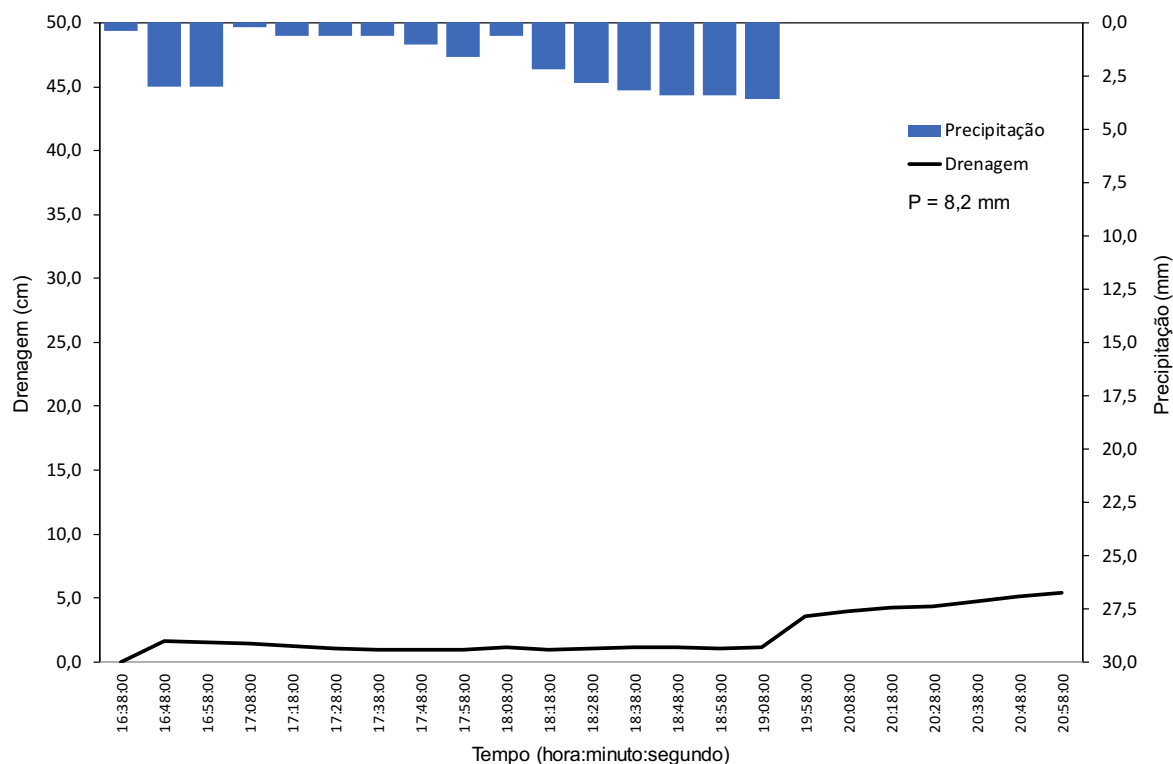


Figura B.1 - Ábaco de Dimensionamento de pavimentos flexíveis.  
 Fonte: Souza (1981) .

## 11. APÊNDICE C - GRÁFICOS DE PRECIPITAÇÃO X DRENAGEM



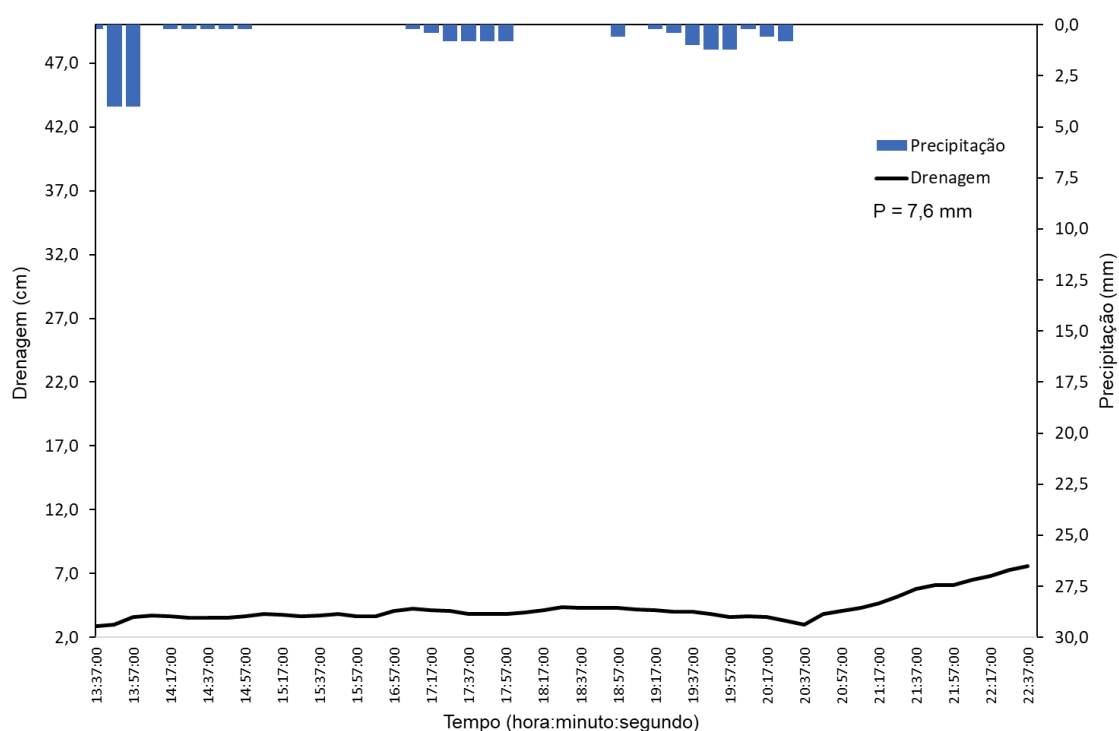
**Figura C.1 – Evento1: Precipitação (mm) x Drenagem (cm).**

Fonte: Autoria própria (2021).

**Tabela C.1 – Valores da precipitação e lâminas d'água - (resolução temporal de 10 min).**

Evento 1			
Data	Hora	Precipitação acumulada (mm)	Lâmina d'água no reservatório (cm)
13/01/2021	16:38:00	0,4	0,00
13/01/2021	16:48:00	3,0	1,64
13/01/2021	16:58:00	3,0	1,51
13/01/2021	17:08:00	0,2	1,46
13/01/2021	17:18:00	0,6	1,25
13/01/2021	17:28:00	0,6	1,09
13/01/2021	17:38:00	0,6	0,98
13/01/2021	17:48:00	1,0	1,00
13/01/2021	17:58:00	1,6	0,91
13/01/2021	18:08:00	0,6	1,12
Data	Hora	Precipitação acumulada	Lâmina d'água no reservatório

		(mm)	(cm)
13/01/2021	18:18:00	2,2	1,00
13/01/2021	18:28:00	2,8	1,03
13/01/2021	18:38:00	3,2	1,15
13/01/2021	18:48:00	3,4	1,11
13/01/2021	18:58:00	3,4	1,08
13/01/2021	19:08:00	3,6	1,18
13/01/2021	19:18:00	0,0	1,46
13/01/2021	19:28:00	0,0	1,99
13/01/2021	19:38:00	0,0	2,58
13/01/2021	19:48:00	0,0	3,10
13/01/2021	19:58:00	0,0	3,60
13/01/2021	20:08:00	0,0	3,92
13/01/2021	20:18:00	0,0	4,25
13/01/2021	20:28:00	0,0	4,39
13/01/2021	20:38:00	0,0	4,78
13/01/2021	20:48:00	0,0	5,12
13/01/2021	20:58:00	0,0	5,38



**Figura C.2 - Evento 2: Precipitação (mm) x Drenagem (cm).**  
**Fonte: Autoria própria (2021)**

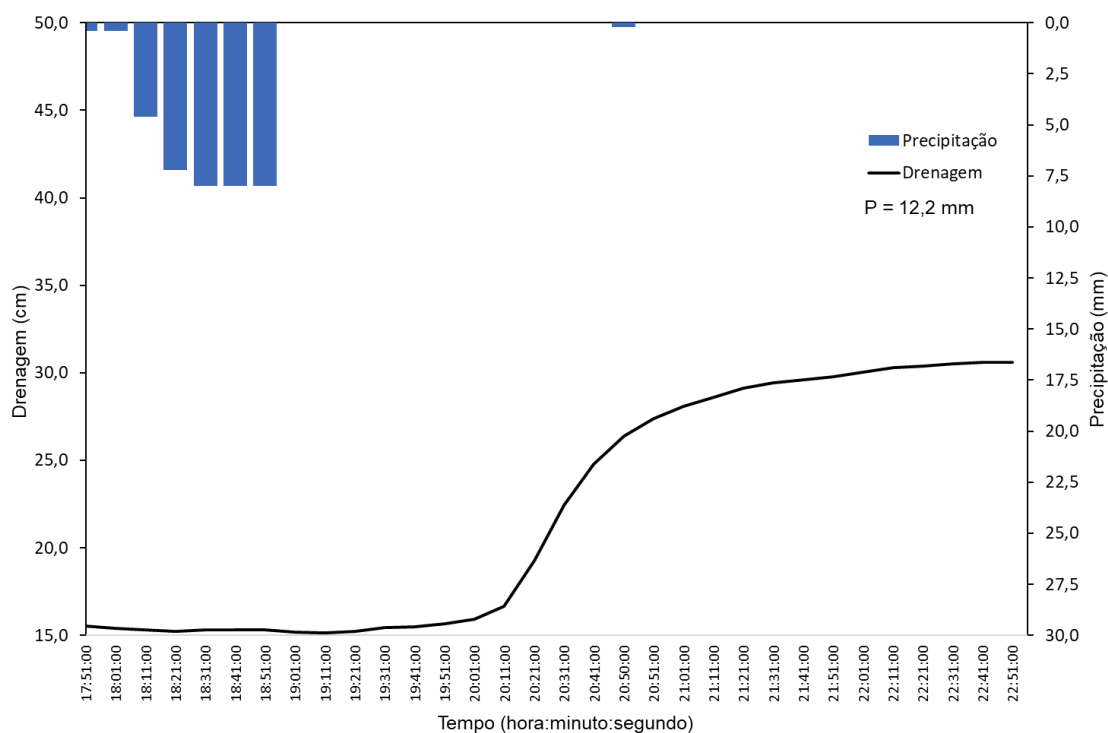
**Tabela C.2 - Valores da precipitação e lâminas d'água - (resolução temporal de 10 min).**

**Evento 2**

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Precipitação acumulada (mm)</b>	<b>Lâmina d'água no reservatório (cm)</b>
16/01/2021	13:37:00	0,2	2,87
16/01/2021	13:47:00	4,0	3,02
16/01/2021	13:57:00	4,0	3,58
16/01/2021	14:07:00	0,0	3,70
16/01/2021	14:17:00	0,2	3,67
16/01/2021	14:27:00	0,2	3,52
16/01/2021	14:37:00	0,2	3,54
16/01/2021	14:47:00	0,2	3,55
16/01/2021	14:57:00	0,2	3,66
16/01/2021	15:07:00	0,0	3,85
16/01/2021	15:17:00	0,0	3,77
16/01/2021	15:27:00	0,0	3,68
16/01/2021	15:37:00	0,0	3,72
16/01/2021	15:47:00	0,0	3,85
16/01/2021	15:57:00	0,0	3,66
16/01/2021	16:07:00	0,0	3,66
16/01/2021	16:17:00	0,0	3,50
16/01/2021	16:27:00	0,0	3,56
16/01/2021	16:37:00	0,0	3,84
16/01/2021	16:47:00	0,0	3,97
16/01/2021	16:57:00	0,0	4,07
16/01/2021	17:07:00	0,2	4,25
16/01/2021	17:17:00	0,4	4,16
16/01/2021	17:27:00	0,8	4,08
16/01/2021	17:37:00	0,8	3,87
16/01/2021	17:47:00	0,8	3,86
16/01/2021	17:57:00	0,8	3,83
16/01/2021	18:07:00	0,0	4,0
16/01/2021	18:17:00	0,0	4,1
16/01/2021	18:27:00	0,0	4,4
16/01/2021	18:37:00	0,0	4,3
16/01/2021	18:47:00	0,0	4,3
16/01/2021	18:57:00	0,6	4,3
16/01/2021	19:07:00	0,0	4,2
16/01/2021	19:17:00	0,2	4,1
16/01/2021	19:27:00	0,4	4,0
16/01/2021	19:37:00	1,0	4,0
16/01/2021	19:47:00	1,2	3,8
16/01/2021	19:57:00	1,2	3,6
16/01/2021	20:07:00	0,2	3,6
16/01/2021	20:17:00	0,6	3,6

**Continuação - Valores da precipitação e lâminas d'água -  
(resolução temporal de 10 min).**

Data	Hora	Precipitação acumulada (mm)	Lâmina d'água no reservatório (cm)
16/01/2021	20:27:00	0,8	3,3
16/01/2021	20:37:00	0,0	3,0
16/01/2021	20:47:00	0,0	3,8
16/01/2021	20:57:00	0,0	4,1
16/01/2021	21:07:00	0,0	4,3
16/01/2021	21:17:00	0,0	4,7
16/01/2021	21:27:00	0,0	5,2
16/01/2021	21:37:00	0,0	5,8
16/01/2021	21:47:00	0,0	6,1
16/01/2021	21:57:00	0,0	6,1
16/01/2021	22:07:00	0,0	6,5
16/01/2021	22:17:00	0,0	6,8
16/01/2021	22:27:00	0,0	7,3
16/01/2021	22:37:00	0,0	7,6

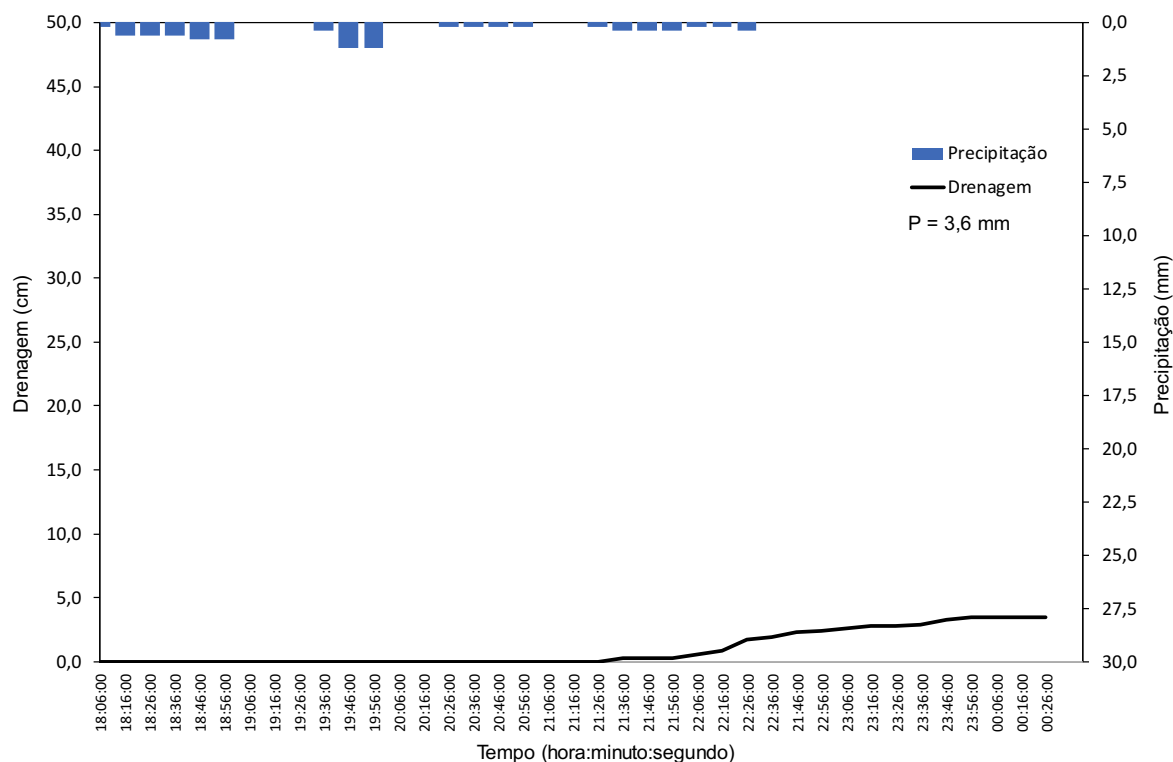


**Figura C.3 - Evento 3: Precipitação (mm) x Drenagem (cm).**  
**Fonte: Autoria própria (2021).**

**Tabela C.3 - Valores da precipitação e lâminas d'água - (resolução temporal de 10 min).**

<b>Evento 3</b>			
<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Precipitação acumulada (mm)</b>	<b>Lâmina d'água no reservatório (cm)</b>
17/01/2021	17:51:00	0,4	15,55
17/01/2021	18:01:00	0,4	15,39
17/01/2021	18:11:00	4,6	15,30
17/01/2021	18:21:00	7,2	15,23
17/01/2021	18:31:00	8,0	15,30
17/01/2021	18:41:00	8,0	15,34
17/01/2021	18:51:00	8,0	15,30
17/01/2021	19:01:00	0,0	15,19
17/01/2021	19:11:00	0,0	15,14
17/01/2021	19:21:00	0,0	15,25
17/01/2021	19:31:00	0,0	15,45
17/01/2021	19:41:00	0,0	15,51
17/01/2021	19:51:00	0,0	15,65
17/01/2021	20:01:00	0,0	15,92
17/01/2021	20:11:00	0,0	16,67
17/01/2021	20:21:00	0,0	19,25
17/01/2021	20:31:00	0,0	22,44
17/01/2021	20:41:00	0,0	24,80
17/01/2021	20:50:00	0,2	26,40
17/01/2021	20:51:00	0,00	27,41
17/01/2021	21:01:00	0,00	28,09
17/01/2021	21:11:00	0,00	28,59
17/01/2021	21:21:00	0,00	29,11
17/01/2021	21:31:00	0,00	29,41
17/01/2021	21:41:00	0,00	29,59
17/01/2021	21:51:00	0,00	29,77
17/01/2021	22:01:00	0,00	30,03
17/01/2021	22:11:00	0,00	30,30
17/01/2021	22:21:00	0,00	30,37
17/01/2021	22:31:00	0,00	30,50
17/01/2021	22:41:00	0,00	30,59
17/01/2021	22:51:00	0,00	30,59



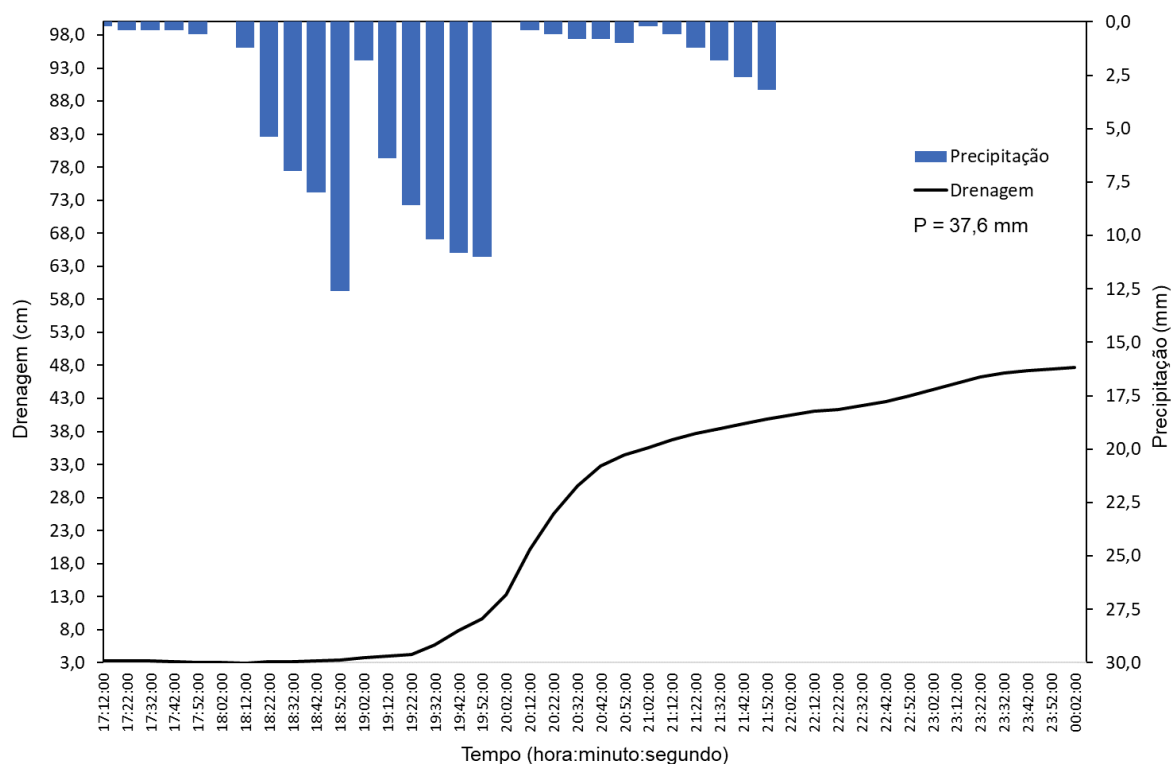


**Figura C.4 - Evento 4: Precipitação (mm) x Drenagem (cm).**  
**Fonte: Autoria própria (2021).**

**Tabela C.4- Valores da precipitação e lâminas d'água - (resolução temporal de 10 min).**

Evento 4			
Data	Hora	Precipitação acumulada (mm)	Lâmina d'água no reservatório (cm)
21/01/2021	18:06:00	0,2	0,00
21/01/2021	18:16:00	0,6	0,00
21/01/2021	18:26:00	0,6	0,00
21/01/2021	18:36:00	0,6	0,00
21/01/2021	18:46:00	0,8	0,00
21/01/2021	18:56:00	0,8	0,00
21/01/2021	19:06:00	0,0	0,00
21/01/2021	19:16:00	0,0	0,00
21/01/2021	19:26:00	0,0	0,00
21/01/2021	19:36:00	0,4	0,00
21/01/2021	19:46:00	1,2	0,00
21/01/2021	19:56:00	1,2	0,00
21/01/2021	20:06:00	0,0	0,00
21/01/2021	20:16:00	0,0	0,00
21/01/2021	20:26:00	0,2	0,00

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Precipitação acumulada (mm)</b>	<b>Lâmina d'água no reservatório (cm)</b>
21/01/2021	20:36:00	0,2	0,00
21/01/2021	20:46:00	0,2	0,00
21/01/2021	20:56:00	0,2	0,00
21/01/2021	21:06:00	0,0	0,00
21/01/2021	21:16:00	0,0	0,00
21/01/2021	21:26:00	0,2	0,00
21/01/2021	21:36:00	0,4	0,30
21/01/2021	21:46:00	0,4	0,30
21/01/2021	21:56:00	0,4	0,30
21/01/2021	22:06:00	0,2	0,60
21/01/2021	22:16:00	0,2	0,90
21/01/2021	22:26:00	0,4	1,70
21/01/2021	22:36:00	0,0	1,90
21/01/2021	21:46:00	0,0	2,3
21/01/2021	22:56:00	0,0	2,4
21/01/2021	23:06:00	0,0	2,6
21/01/2021	23:16:00	0,0	2,8
21/01/2021	23:26:00	0,0	2,8
21/01/2021	23:46:00	0,0	2,9
21/01/2021	23:56:00	0,0	3,3
22/01/2021	00:06:00	0,0	3,5
22/01/2021	00:16:00	0,0	3,5
22/01/2021	00:26:00	0,0	3,5

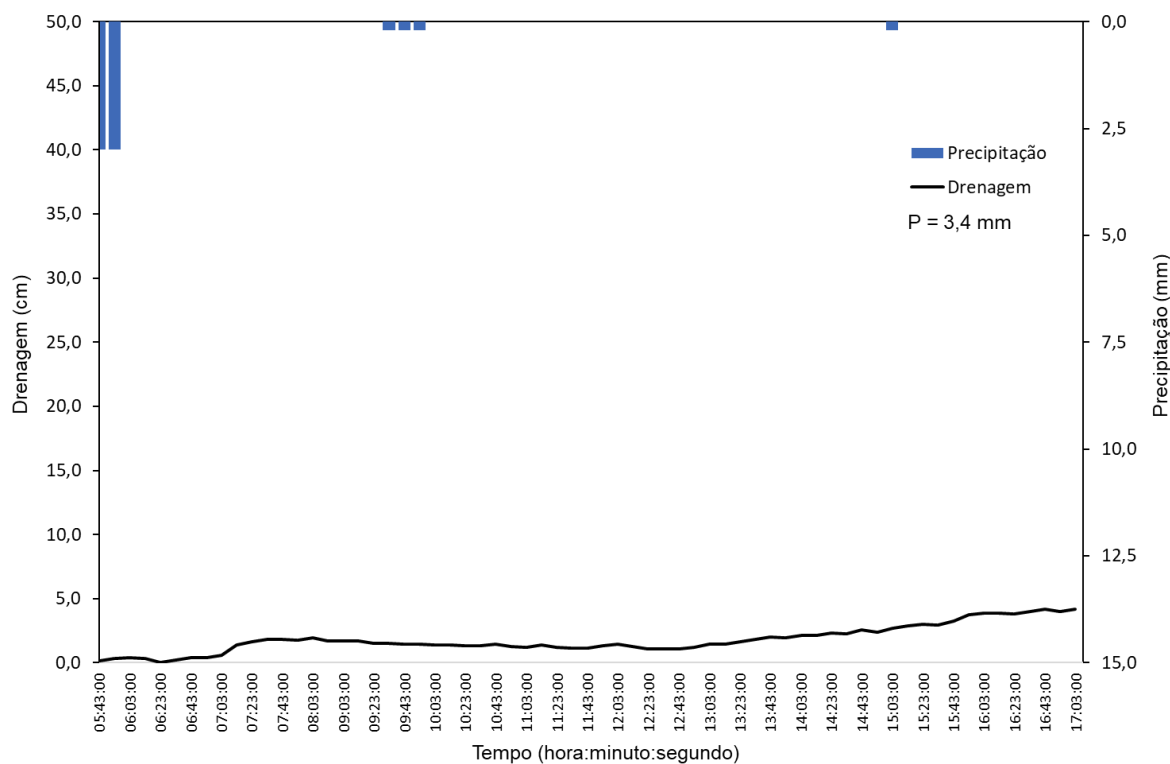


**Figura C.5 - Evento 5: Precipitação (mm) x Drenagem (cm).**  
**Fonte: Autoria própria (2021).**

**Tabela C.5 - Valores da precipitação e lâminas d'água - (resolução temporal de 10 min).**

Evento 5			
Data	Hora	Precipitação acumulada (mm)	Nível d'água no reservatório (cm)
23/01/2021	17:12:00	0,20	3,24
23/01/2021	17:22:00	0,40	3,33
23/01/2021	17:32:00	0,40	3,24
23/01/2021	17:42:00	0,40	3,18
23/01/2021	17:52:00	0,60	3,05
23/01/2021	18:02:00	0,00	3,02
23/01/2021	18:12:00	1,20	2,93
23/01/2021	18:22:00	5,40	3,11
23/01/2021	18:32:00	7,00	3,19
23/01/2021	18:42:00	8,00	3,34
23/01/2021	18:52:00	12,60	3,41
23/01/2021	19:02:00	1,80	3,74
23/01/2021	19:12:00	6,40	3,99
23/01/2021	19:22:00	8,60	4,29
23/01/2021	19:32:00	10,20	5,70
23/01/2021	19:42:00	10,80	7,92
23/01/2021	19:52:00	11,00	9,67

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Precipitação acumulada (mm)</b>	<b>Lâmina d'água no reservatório (cm)</b>
23/01/2021	20:02:00	0,00	13,34
23/01/2021	20:12:00	0,40	20,19
23/01/2021	20:22:00	0,60	25,57
23/01/2021	20:32:00	0,80	29,79
23/01/2021	20:42:00	0,80	32,76
23/01/2021	20:52:00	1,00	34,40
23/01/2021	21:02:00	0,20	35,58
23/01/2021	21:12:00	0,60	36,76
23/01/2021	21:22:00	1,20	37,65
23/01/2021	21:32:00	1,80	38,49
23/01/2021	21:42:00	2,60	39,20
23/01/2021	21:52:00	3,20	39,89
23/01/2021	22:02:00	0,00	40,52
23/01/2021	22:12:00	0,00	41,07
23/01/2021	22:22:00	0,00	41,34
23/01/2021	22:32:00	0,00	41,87
23/01/2021	22:42:00	0,00	42,48
23/01/2021	22:52:00	0,00	43,38
23/01/2021	23:02:00	0,00	44,28
23/01/2021	23:12:00	0,00	45,30
23/01/2021	23:22:00	0,00	46,19
23/01/2021	23:32:00	0,00	46,82
23/01/2021	23:42:00	0,00	47,23
23/01/2021	23:52:00	0,00	47,47
23/01/2021	00:02:00	0,00	47,72

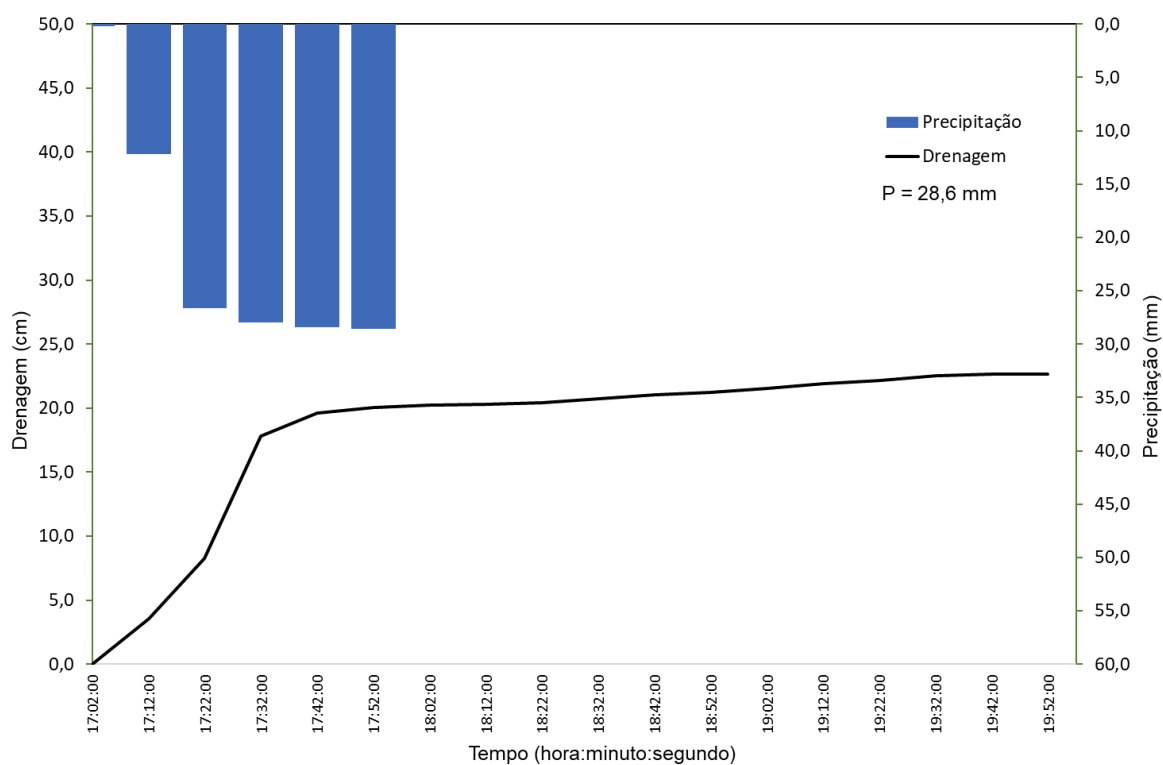


**Figura C.6 - Evento 6: Precipitação (mm) x Drenagem (cm).**  
**Fonte: Autoria própria (2021).**

**Tabela C.6 - Valores da precipitação e lâminas d'água - (resolução temporal de 10 min).**

Evento 6			
Data	Hora	Precipitação acumulada (mm)	Lâmina d'água no reservatório (cm)
24/02/2021	05:33:00	1,4	0,76
24/02/2021	05:43:00	3,0	0,37
24/02/2021	05:53:00	3,0	0,66
24/02/2021	06:03:00	0,0	0,83
24/02/2021	06:13:00	0,0	0,99
24/02/2021	06:23:00	0,0	1,33
24/02/2021	06:33:00	0,0	1,33
24/02/2021	06:43:00	0,0	1,12
24/02/2021	06:53:00	0,0	1,30
24/02/2021	07:03:00	0,0	1,50
24/02/2021	07:13:00	0,0	1,33
24/02/2021	07:23:00	0,0	1,52
24/02/2021	07:33:00	0,0	1,52
24/02/2021	07:43:00	0,0	1,37
24/02/2021	07:53:00	0,0	1,58
24/02/2021	08:03:00	0,0	1,60
24/02/2021	08:13:00	0,0	1,64

Data	Hora	Precipitação acumulada (mm)	Lâmina d'água no reservatório (cm)
24/02/2021	08:23:00	0,0	1,68
24/02/2021	08:33:00	0,0	1,57
24/02/2021	08:43:00	0,0	1,61
24/02/2021	08:53:00	0,0	1,45
24/02/2021	09:03:00	0,0	1,63
24/02/2021	09:13:00	0,0	1,82
24/02/2021	09:23:00	0,0	1,85
24/02/2021	09:33:00	0,2	2,03
24/02/2021	09:43:00	0,0	2,03
24/02/2021	09:53:00	0,0	2,03
24/02/2021	10:03:00	0,0	2,0
24/02/2021	10:13:00	0,0	2,0
24/02/2021	10:23:00	0,0	2,0
24/02/2021	10:33:00	0,0	2,0
24/02/2021	10:43:00	0,0	2,1
24/02/2021	10:53:00	0,0	2,1



**Figura C.7 - Evento 7: Precipitação (mm) x Drenagem (cm).**  
**Fonte: Autoria própria (2021).**

Tabela C.7 - Valores da precipitação e lâminas d'água - (resolução temporal de 10 min).

Evento 7			
Data	Hora	Precipitação acumulada (mm)	Lâmina d'água no reservatório (cm)
02/03/2021	17:02:00	0,2	0,00
02/03/2021	17:12:00	12,2	3,56
02/03/2021	17:22:00	26,6	8,25
02/03/2021	17:32:00	28,0	17,84
02/03/2021	17:42:00	28,4	19,64
02/03/2021	17:52:00	28,6	20,08
02/03/2021	18:02:00	0,0	20,25
02/03/2021	18:12:00	0,0	20,29
02/03/2021	18:22:00	0,0	20,43
02/03/2021	18:32:00	0,0	20,71
02/03/2021	18:42:00	0,0	21,05
02/03/2021	18:52:00	0,0	21,22
02/03/2021	19:02:00	0,0	21,54
02/03/2021	19:12:00	0,0	21,90
02/03/2021	19:22:00	0,0	22,16
02/03/2021	19:32:00	0,0	22,53
02/03/2021	19:42:00	0,0	22,63
02/03/2021	19:52:00	0,0	22,65

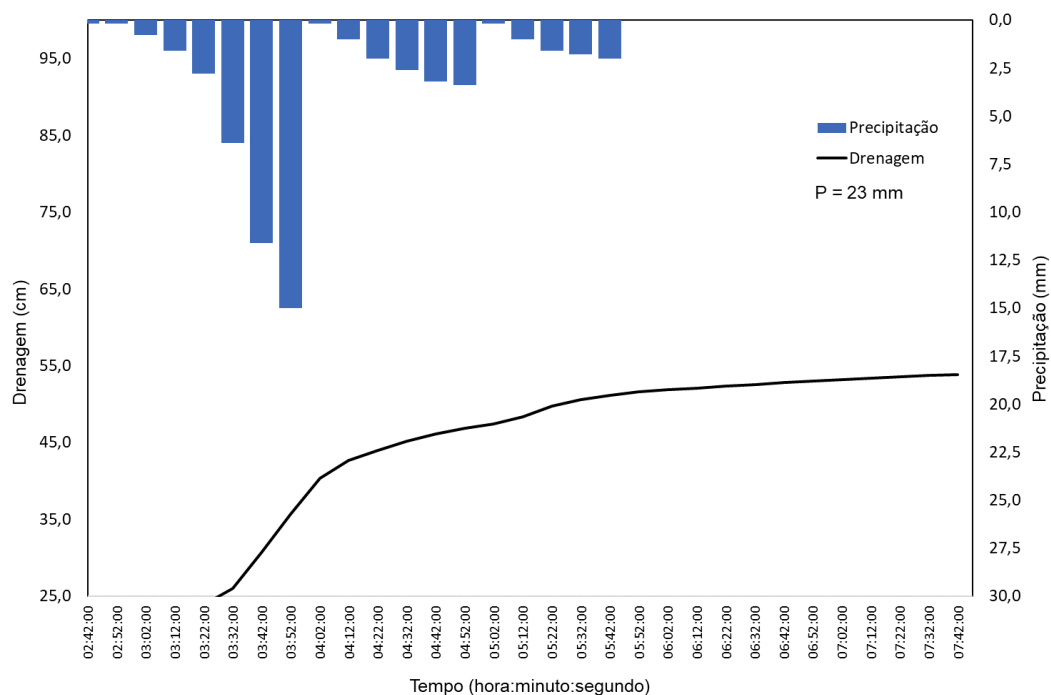
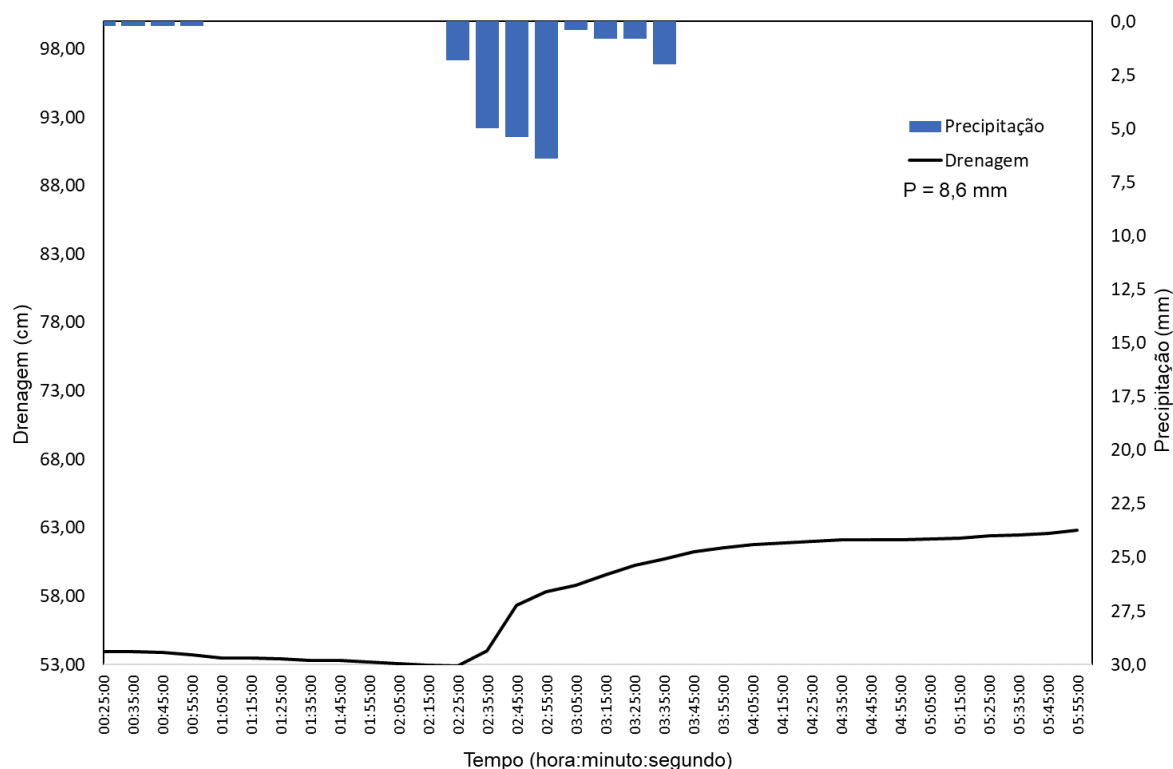


Figura C.8 - Evento 8: Precipitação (mm) x Drenagem (cm).  
 Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela C.8 - Valores da precipitação e lâminas d'água - (resolução temporal de 10 min).

Evento 8			
Data	Hora	Precipitação acumulada (mm)	Lâmina d'água no reservatório (cm)
04/03/2021	02:42:00	0,2	24,17
04/03/2021	02:52:00	0,2	24,08
04/03/2021	03:02:00	0,8	24,08
04/03/2021	03:12:00	1,6	24,06
04/03/2021	03:22:00	2,8	23,91
04/03/2021	03:32:00	6,4	26,01
04/03/2021	03:42:00	11,6	30,70
04/03/2021	03:52:00	15,0	35,69
04/03/2021	04:02:00	0,2	40,33
04/03/2021	04:12:00	1,0	42,64
04/03/2021	04:22:00	2,0	43,98
04/03/2021	04:32:00	2,6	45,18
04/03/2021	04:42:00	3,2	46,13
04/03/2021	04:52:00	3,4	46,85
04/03/2021	05:02:00	0,2	47,38
04/03/2021	05:12:00	1,0	48,38
04/03/2021	05:22:00	1,6	49,74
04/03/2021	05:32:00	1,8	50,61
04/03/2021	05:42:00	2,0	51,17
04/03/2021	05:52:00	0,0	51,63
04/03/2021	06:02:00	0,0	51,93
04/03/2021	06:12:00	0,0	52,09
04/03/2021	06:22:00	0,0	52,36
04/03/2021	06:32:00	0,0	52,57
04/03/2021	06:42:00	0,0	52,87
04/03/2021	06:52:00	0,0	53,02
04/03/2021	07:02:00	0,0	53,15
04/03/2021	07:12:00	0,0	53,37
04/03/2021	07:22:00	0,0	53,58
04/03/2021	07:32:00	0,0	53,78
04/03/2021	07:42:00	0,0	53,85



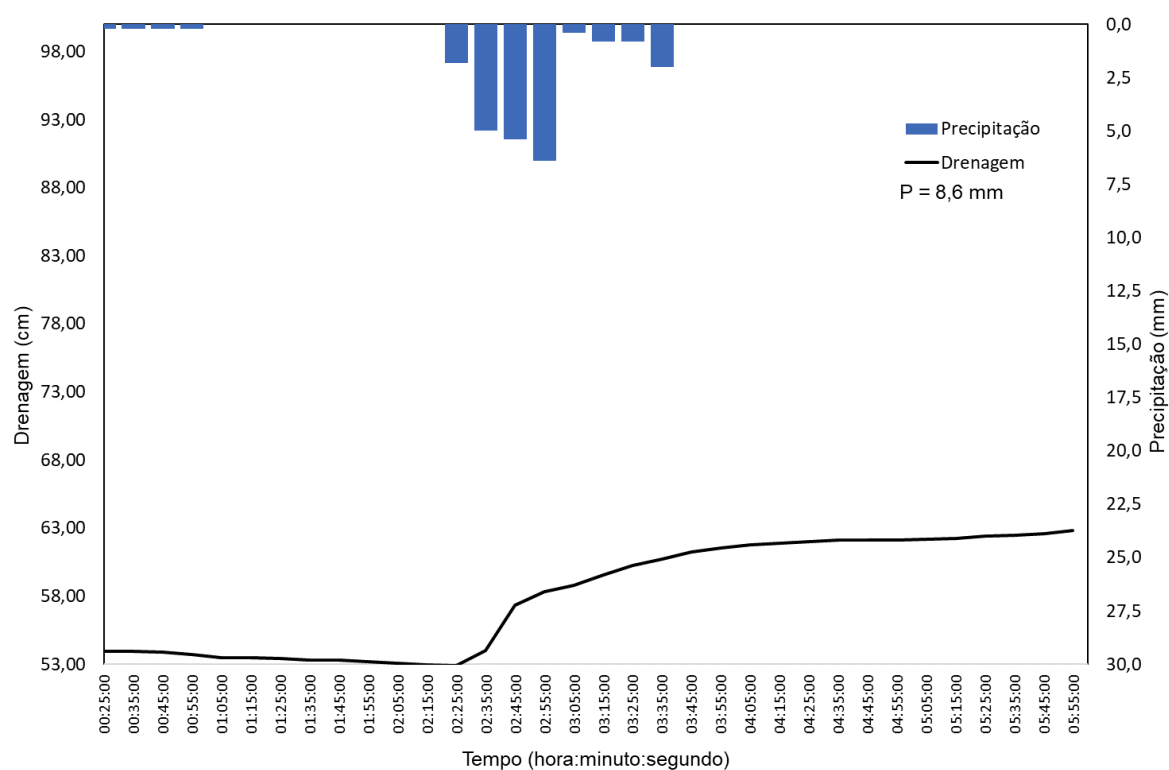


**Figura C.9 - Evento 9: Precipitação (mm) x Drenagem (cm).**  
**Fonte: Autoria própria (2021).**

**Tabela C.9 - Valores da precipitação e lâminas d'água - (resolução temporal de 10 min).**

Evento 9			
Data	Hora	Precipitação acumulada (mm)	Lâmina d'água no reservatório (cm)
05/03/2021	00:25:00	0,2	53,94
05/03/2021	00:35:00	0,2	53,92
05/03/2021	00:45:00	0,2	53,86
05/03/2021	00:55:00	0,2	53,74
05/03/2021	01:05:00	0,0	53,48
05/03/2021	01:15:00	0,0	53,48
05/03/2021	01:25:00	0,0	53,44
05/03/2021	01:35:00	0,0	53,30
05/03/2021	01:45:00	0,0	53,30
05/03/2021	01:55:00	0,0	53,20
05/03/2021	02:05:00	0,0	53,06
05/03/2021	02:15:00	0,0	52,96
05/03/2021	02:25:00	1,8	52,90
05/03/2021	02:35:00	5,0	53,99
05/03/2021	02:45:00	5,4	57,31
05/03/2021	02:55:00	6,4	58,34
05/03/2021	03:05:00	0,4	58,82

Data	Hora	Precipitação acumulada (mm)	Lâmina d'água no reservatório (cm)
05/03/2021	03:15:00	0,8	59,55
05/03/2021	03:25:00	0,8	60,27
05/03/2021	03:35:00	2,0	60,72
05/03/2021	03:45:00	0,0	61,25
05/03/2021	03:55:00	0,0	61,53
05/03/2021	04:05:00	0,0	61,75
05/03/2021	04:15:00	0,0	61,89
05/03/2021	04:25:00	0,0	62,03
05/03/2021	04:35:00	0,0	62,15
05/03/2021	04:45:00	0,0	62,14
05/03/2021	04:55:00	0,0	62,13
05/03/2021	05:05:00	0,0	62,19
05/03/2021	05:15:00	0,0	62,24
05/03/2021	05:25:00	0,0	62,41
05/03/2021	05:35:00	0,0	62,46
05/03/2021	05:45:00	0,0	62,57
05/03/2021	05:55:00	0,0	62,82

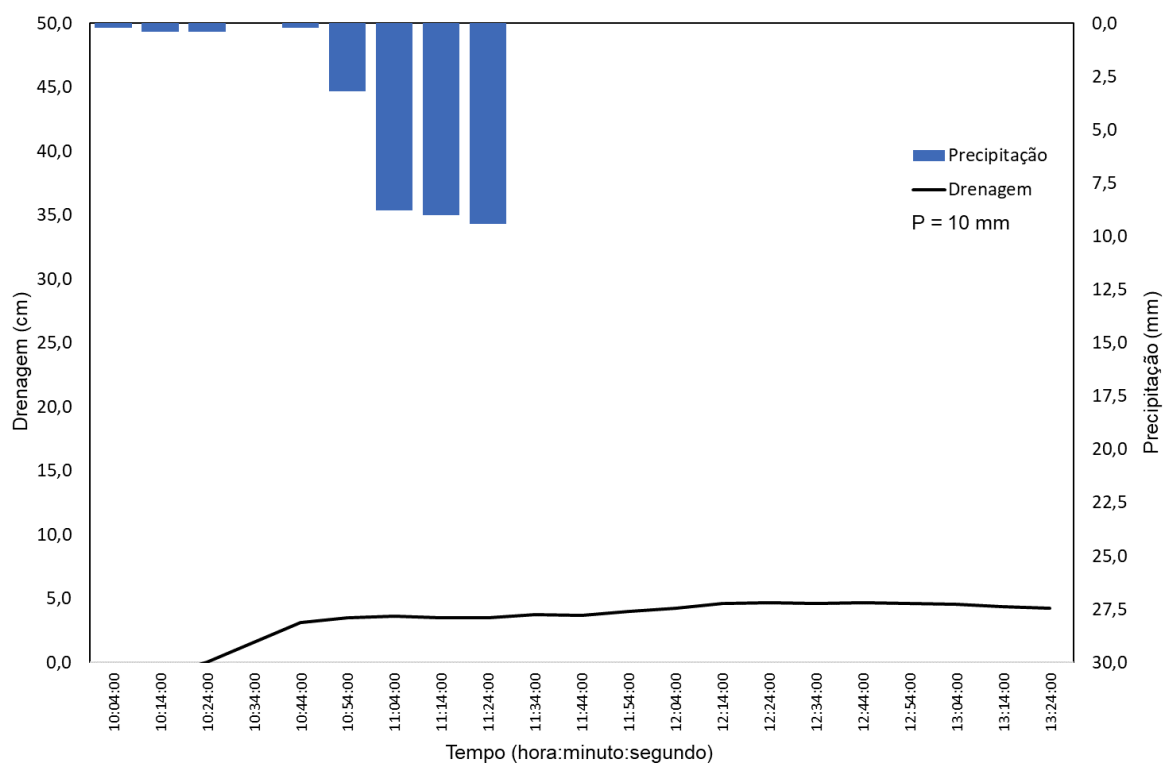


**Figura C.10 - Evento 10: Precipitação (mm) x Drenagem (cm).**  
**Fonte: Autoria própria (2021).**

Tabela C.10 - Valores da precipitação e lâminas d'água - (resolução temporal de 10 min).

Evento 10			
Data	Hora	Precipitação acumulada (mm)	Lâmina d'água no reservatório (cm)
05/03/2021	10:04:00	0,2	65,94
05/03/2021	10:14:00	0,2	65,93
05/03/2021	10:24:00	0,2	65,83
05/03/2021	10:34:00	0,2	65,80
05/03/2021	10:44:00	0,2	65,76
05/03/2021	10:54:00	0,2	65,88
05/03/2021	11:04:00	0,0	65,90
05/03/2021	11:14:00	0,0	65,82
05/03/2021	11:24:00	0,0	65,74
05/03/2021	11:34:00	0,0	66,03
05/03/2021	11:44:00	0,0	66,09
05/03/2021	11:54:00	0,0	66,24
05/03/2021	12:04:00	0,6	66,25
05/03/2021	12:14:00	2,6	66,45
05/03/2021	12:24:00	3,0	67,73
05/03/2021	12:34:00	3,0	68,20
05/03/2021	12:44:00	3,0	68,33
05/03/2021	12:54:00	3,0	68,63
05/03/2021	13:04:00	0,0	68,76
05/03/2021	13:14:00	0,0	69,00
05/03/2021	13:24:00	0,0	69,04
05/03/2021	13:34:00	0,0	68,96
05/03/2021	13:44:00	0,0	69,11
05/03/2021	13:54:00	0,0	69,16
05/03/2021	14:04:00	0,0	69,03
05/03/2021	14:14:00	0,0	69,10
05/03/2021	14:24:00	0,0	69,43
05/03/2021	14:34:00	3,4	70,13
05/03/2021	14:44:00	3,4	71,08
05/03/2021	14:54:00	3,4	71,36
05/03/2021	15:04:00	0,0	71,58
05/03/2021	15:14:00	0,0	71,74
05/03/2021	15:24:00	0,0	72,02
05/03/2021	15:34:00	0,0	72,23
05/03/2021	15:44:00	0,0	72,52
05/03/2021	15:54:00	0,0	72,47
05/03/2021	16:04:00	0,0	72,52
05/03/2021	16:14:00	0,0	72,60

Data	Hora	Precipitação acumulada (mm)	Lâmina d'água no reservatório (cm)
05/03/2021	16:24:00	0,0	72,75
05/03/2021	16:34:00	0,0	72,73
05/03/2021	16:44:00	0,2	72,82
05/03/2021	16:54:00	7,6	74,33
05/03/2021	17:04:00	8,0	78,71
05/03/2021	17:14:00	0,0	79,88
05/03/2021	17:24:00	0,0	80,23
05/03/2021	17:34:00	0,0	80,66
05/03/2021	17:44:00	0,0	81,09
05/03/2021	17:54:00	0,0	81,29
05/03/2021	18:04:00	0,0	81,54
05/03/2021	18:14:00	0,0	81,77
05/03/2021	18:24:00	0,0	82,09
05/03/2021	18:34:00	0,0	82,21
05/03/2021	18:44:00	0,0	82,41
05/03/2021	18:54:00	0,0	82,65
05/03/2021	19:04:00	0,0	82,95



**Figura C.121 - Evento 11: Precipitação (mm) x Drenagem (cm).**  
**Fonte: Autoria própria (2021).**

Tabela C.11 - Valores da precipitação e lâminas d'água - (resolução temporal de 10 min).

Evento 11			
Data	Hora	Precipitação acumulada (mm)	Lâmina d'água no reservatório (cm)
26/03/2021	10:04:00	0,2	0,00
26/03/2021	10:14:00	0,4	0,00
26/03/2021	10:24:00	0,4	0,01
26/03/2021	10:34:00	0,0	1,57
26/03/2021	10:44:00	0,2	3,12
26/03/2021	10:54:00	3,2	3,50
26/03/2021	11:04:00	8,8	3,64
26/03/2021	11:14:00	9,0	3,51
26/03/2021	11:24:00	9,4	3,51
26/03/2021	11:34:00	0,0	3,73
26/03/2021	11:44:00	0,0	3,67
26/03/2021	11:54:00	0,0	4,01
26/03/2021	12:04:00	0,0	4,25
26/03/2021	12:14:00	0,0	4,62
26/03/2021	12:24:00	0,0	4,67
26/03/2021	12:34:00	0,0	4,64
26/03/2021	12:44:00	0,0	4,67
26/03/2021	12:54:00	0,0	4,63
26/03/2021	13:04:00	0,0	4,55
26/03/2021	13:14:00	0,0	4,39
26/03/2021	13:24:00	0,0	4,26

## 12. APÊNDICE D – DADOS DOS HIDROGRAMAS

**Tabela D.1 – Evento 3: Precipitação e vazão em resolução temporal de minuto.**

Evento 3				
Data	Hora	Tempo (min)	Precipitação (mm)	Vazão (cm <sup>3</sup> /s)
17/01/2021	17:51:00	0	0,2	0,00
17/01/2021	17:52:00	1	0,0	0,79
17/01/2021	17:53:00	2	0,4	0,56
17/01/2021	17:54:00	3	1,4	0,38
17/01/2021	17:55:00	4	0,6	0,25
17/01/2021	17:56:00	5	1,4	0,16
17/01/2021	17:57:00	6	0,4	0,10
17/01/2021	17:58:00	7	2,0	0,06
17/01/2021	17:59:00	8	2,6	0,04
17/01/2021	18:00:00	9	2,0	0,04
17/01/2021	18:01:00	10	1,2	0,05
17/01/2021	18:02:00	11	1,6	0,06
17/01/2021	18:03:00	12	3,0	0,08
17/01/2021	18:04:00	13	2,0	0,09
17/01/2021	18:05:00	14	0,8	0,11
17/01/2021	18:06:00	15	0,6	0,12
17/01/2021	18:07:00	16	1,6	0,09
17/01/2021	18:08:00	17	2,8	0,16
17/01/2021	18:09:00	18	1,2	0,08
17/01/2021	18:10:00	19	0,6	0,08
17/01/2021	18:11:00	20	0,2	0,07
17/01/2021	18:12:00	21	0,4	0,02
17/01/2021	18:13:00	22	0,2	0,06
17/01/2021	18:14:00	23	0,0	0,11
17/01/2021	18:15:00	24	0,2	0,13
17/01/2021	18:16:00	25	0,2	0,14
17/01/2021	18:17:00	26	0,0	0,23
17/01/2021	18:18:00	27	0,2	0,07
17/01/2021	18:19:00	28	0,2	0,09
17/01/2021	18:20:00	29	0,0	0,00
17/01/2021	18:21:00	30	0,0	0,02
17/01/2021	18:22:00	31	0,0	0,15
17/01/2021	18:23:00	32	0,0	0,05
17/01/2021	18:24:00	33	0,2	0,21
17/01/2021	18:25:00	34	0,0	0,22
17/01/2021	18:26:00	35	0,0	0,20
17/01/2021	18:27:00	36	0,0	0,20

17/01/2021	18:28:00	37	0,2	0,34
<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Vazão (cm<sup>3</sup>/s)</b>
17/01/2021	18:29:00	38	0,0	0,26
17/01/2021	18:30:00	39	0,0	0,24
17/01/2021	18:31:00	40	0,0	0,15
17/01/2021	18:32:00	41	0,0	0,09
17/01/2021	18:33:00	42	0,0	0,05
17/01/2021	18:34:00	43	0,0	0,26
17/01/2021	18:35:00	44	0,0	0,05
17/01/2021	18:36:00	45	0,2	0,27
17/01/2021	18:37:00	46	0,0	0,14
17/01/2021	18:38:00	47	0,0	0,01
17/01/2021	18:39:00	48	0,0	0,00
17/01/2021	18:40:00	49	0,0	0,02
17/01/2021	18:41:00	50	0,0	0,00
17/01/2021	18:42:00	51	0,0	0,04
17/01/2021	18:43:00	52	0,0	0,07
17/01/2021	18:44:00	53	0,0	0,10
17/01/2021	18:45:00	54	0,0	0,21
17/01/2021	18:46:00	55	0,0	0,09
17/01/2021	18:47:00	56	0,0	0,15
17/01/2021	18:48:00	57	0,0	0,08
17/01/2021	18:49:00	58	0,0	0,11
17/01/2021	18:50:00	59	0,0	0,07
17/01/2021	18:51:00	60	0,0	0,06
17/01/2021	18:52:00	61	0,0	0,08
17/01/2021	18:53:00	62	0,0	0,04
17/01/2021	18:54:00	63	0,0	0,18
17/01/2021	18:55:00	64	0,0	0,31
17/01/2021	18:56:00	65	0,0	0,23
17/01/2021	18:57:00	66	0,0	0,19
17/01/2021	18:58:00	67	0,0	0,12
17/01/2021	18:59:00	68	0,0	0,01
17/01/2021	19:00:00	69	0,0	0,06
17/01/2021	19:01:00	70	0,0	0,04
17/01/2021	19:02:00	71	0,0	0,03
17/01/2021	19:03:00	72	0,0	0,05
17/01/2021	19:04:00	73	0,0	0,09
17/01/2021	19:05:00	74	0,0	0,02
17/01/2021	19:06:00	75	0,0	0,07
17/01/2021	19:07:00	76	0,0	0,02
17/01/2021	19:08:00	77	0,0	0,25
17/01/2021	19:09:00	78	0,0	0,16
17/01/2021	19:10:00	79	0,0	0,14
17/01/2021	19:11:00	80	0,0	0,14

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Vazão (cm<sup>3</sup>/s)</b>
17/01/2021	19:12:00	81	0,0	0,15
17/01/2021	19:13:00	82	0,0	0,23
17/01/2021	19:14:00	83	0,0	0,13
17/01/2021	19:15:00	84	0,0	0,05
17/01/2021	19:16:00	85	0,0	0,08
17/01/2021	19:17:00	86	0,0	0,03
17/01/2021	19:18:00	87	0,0	0,11
17/01/2021	19:19:00	88	0,0	0,09
17/01/2021	19:20:00	89	0,0	0,18
17/01/2021	19:21:00	90	0,0	0,35
17/01/2021	19:22:00	91	0,0	0,28
17/01/2021	19:23:00	92	0,0	0,49
17/01/2021	19:24:00	93	0,0	0,27
17/01/2021	19:25:00	94	0,0	0,31
17/01/2021	19:26:00	95	0,0	0,40
17/01/2021	19:27:00	96	0,0	0,30
17/01/2021	19:28:00	97	0,0	0,21
17/01/2021	19:29:00	98	0,0	0,13
17/01/2021	19:30:00	99	0,0	0,07
17/01/2021	19:31:00	100	0,0	0,02
17/01/2021	19:32:00	101	0,0	0,02
17/01/2021	19:33:00	102	0,0	0,03
17/01/2021	19:34:00	103	0,0	0,03
17/01/2021	19:35:00	104	0,0	0,08
17/01/2021	19:36:00	105	0,0	0,06
17/01/2021	19:37:00	106	0,0	0,01
17/01/2021	19:38:00	107	0,0	0,02
17/01/2021	19:39:00	108	0,0	0,04
17/01/2021	19:40:00	109	0,0	0,03
17/01/2021	19:41:00	110	0,0	0,01
17/01/2021	19:42:00	111	0,0	0,24
17/01/2021	19:43:00	112	0,0	0,24
17/01/2021	19:44:00	113	0,0	0,33
17/01/2021	19:45:00	114	0,0	0,30
17/01/2021	19:46:00	115	0,0	0,23
17/01/2021	19:47:00	116	0,0	0,43
17/01/2021	19:48:00	117	0,0	0,40
17/01/2021	19:49:00	118	0,0	0,30
17/01/2021	19:50:00	119	0,0	0,31
17/01/2021	19:51:00	120	0,0	0,38
17/01/2021	19:52:00	121	0,0	0,22
17/01/2021	19:53:00	122	0,0	0,31
17/01/2021	19:54:00	123	0,0	0,12
17/01/2021	19:55:00	124	0,0	0,22



<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Vazão (cm<sup>3</sup>/s)</b>
17/01/2021	19:56:00	125	0,0	0,28
17/01/2021	19:57:00	126	0,0	0,29
17/01/2021	19:58:00	127	0,0	0,32
17/01/2021	19:59:00	128	0,0	0,34
17/01/2021	20:00:00	129	0,0	0,36
17/01/2021	20:01:00	130	0,0	0,36
17/01/2021	20:02:00	131	0,0	0,57
17/01/2021	20:03:00	132	0,0	0,81
17/01/2021	20:04:00	133	0,0	1,08
17/01/2021	20:05:00	134	0,0	1,43
17/01/2021	20:06:00	135	0,0	1,65
17/01/2021	20:07:00	136	0,0	1,98
17/01/2021	20:08:00	137	0,0	2,11
17/01/2021	20:09:00	138	0,0	2,44
17/01/2021	20:10:00	139	0,0	2,66
17/01/2021	20:11:00	140	0,0	2,89
17/01/2021	20:12:00	141	0,0	3,19
17/01/2021	20:13:00	142	0,0	3,36
17/01/2021	20:14:00	143	0,0	3,72
17/01/2021	20:15:00	144	0,0	3,63
17/01/2021	20:16:00	145	0,0	3,91
17/01/2021	20:17:00	146	0,0	4,04
17/01/2021	20:18:00	147	0,0	4,02
17/01/2021	20:19:00	148	0,0	4,19
17/01/2021	20:20:00	149	0,0	4,04
17/01/2021	20:21:00	150	0,0	4,03
17/01/2021	20:22:00	151	0,0	3,92
17/01/2021	20:23:00	152	0,0	3,80
17/01/2021	20:24:00	153	0,0	3,74
17/01/2021	20:25:00	154	0,0	3,53
17/01/2021	20:26:00	155	0,0	3,31
17/01/2021	20:27:00	156	0,0	3,34
17/01/2021	20:28:00	157	0,0	3,33
17/01/2021	20:29:00	158	0,0	2,97
17/01/2021	20:30:00	159	0,0	2,91
17/01/2021	20:31:00	160	0,0	2,82
17/01/2021	20:32:00	161	0,0	2,83
17/01/2021	20:33:00	162	0,0	2,74
17/01/2021	20:34:00	163	0,0	2,56
17/01/2021	20:35:00	164	0,0	2,47
17/01/2021	20:36:00	165	0,0	2,57
17/01/2021	20:37:00	166	0,0	2,36
17/01/2021	20:38:00	167	0,0	2,28
17/01/2021	20:39:00	168	0,0	2,05

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Vazão (cm<sup>3</sup>/s)</b>
17/01/2021	20:40:00	169	0,0	2,04
17/01/2021	20:41:00	170	0,0	1,94
17/01/2021	20:42:00	171	0,0	1,91
17/01/2021	20:43:00	172	0,0	1,95
17/01/2021	20:44:00	173	0,0	1,71
17/01/2021	20:45:00	174	0,0	1,53
17/01/2021	20:46:00	175	0,0	1,50
17/01/2021	20:47:00	176	0,0	1,32
17/01/2021	20:48:00	177	0,0	1,36
17/01/2021	20:49:00	178	0,0	1,31
17/01/2021	20:50:00	179	0,2	0,59
17/01/2021	20:51:00	180	0,0	1,29
17/01/2021	20:52:00	181	0,0	1,47
17/01/2021	20:53:00	182	0,0	1,64
17/01/2021	20:54:00	183	0,0	1,56
17/01/2021	20:55:00	184	0,0	1,26
17/01/2021	20:56:00	185	0,0	0,98
17/01/2021	20:57:00	186	0,0	0,92
17/01/2021	20:58:00	187	0,0	0,68
17/01/2021	20:59:00	188	0,0	0,09
17/01/2021	21:00:00	189	0,0	0,05
17/01/2021	21:01:00	190	0,0	0,24
17/01/2021	21:02:00	191	0,0	0,46
17/01/2021	21:03:00	192	0,0	0,54
17/01/2021	21:04:00	193	0,0	0,74
17/01/2021	21:05:00	194	0,0	0,70
17/01/2021	21:06:00	195	0,0	0,34
17/01/2021	21:07:00	196	0,0	0,61
17/01/2021	21:08:00	197	0,0	0,40
17/01/2021	21:09:00	198	0,0	0,27
17/01/2021	21:10:00	199	0,0	0,08
17/01/2021	21:11:00	200	0,0	0,35
17/01/2021	21:12:00	201	0,0	0,70
17/01/2021	21:13:00	202	0,0	1,03
17/01/2021	21:14:00	203	0,0	1,11
17/01/2021	21:15:00	204	0,0	1,29
17/01/2021	21:16:00	205	0,0	1,25
17/01/2021	21:17:00	206	0,0	1,31
17/01/2021	21:18:00	207	0,0	1,12
17/01/2021	21:19:00	208	0,0	0,65
17/01/2021	21:20:00	209	0,0	0,19
17/01/2021	21:21:00	210	0,0	0,79
17/01/2021	21:22:00	211	0,0	0,57
17/01/2021	21:23:00	212	0,0	0,58

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Vazão (cm<sup>3</sup>/s)</b>
17/01/2021	21:24:00	213	0,0	0,54
17/01/2021	21:25:00	214	0,0	0,54
17/01/2021	21:26:00	215	0,0	0,47
17/01/2021	21:27:00	216	0,0	0,53
17/01/2021	21:28:00	217	0,0	0,52
17/01/2021	21:29:00	218	0,0	0,49
17/01/2021	21:30:00	219	0,0	0,59
17/01/2021	21:31:00	220	0,0	0,56
17/01/2021	21:32:00	221	0,0	0,63
17/01/2021	21:33:00	222	0,0	0,84
17/01/2021	21:34:00	223	0,0	0,73
17/01/2021	21:35:00	224	0,0	0,83
17/01/2021	21:36:00	225	0,0	0,73
17/01/2021	21:37:00	226	0,0	0,57
17/01/2021	21:38:00	227	0,0	0,49
17/01/2021	21:39:00	228	0,0	0,55
17/01/2021	21:40:00	229	0,0	0,71
17/01/2021	21:41:00	230	0,0	0,54
17/01/2021	21:42:00	231	0,0	0,50
17/01/2021	21:43:00	232	0,0	0,51
17/01/2021	21:44:00	233	0,0	0,37
17/01/2021	21:45:00	234	0,0	0,33
17/01/2021	21:46:00	235	0,0	0,33
17/01/2021	21:47:00	236	0,0	0,38
17/01/2021	21:48:00	237	0,0	0,27
17/01/2021	21:49:00	238	0,0	0,36
17/01/2021	21:50:00	239	0,0	0,33
17/01/2021	21:51:00	240	0,0	0,18
17/01/2021	21:52:00	241	0,0	0,17
17/01/2021	21:53:00	242	0,0	0,21
17/01/2021	21:54:00	243	0,0	0,32
17/01/2021	21:55:00	244	0,0	0,38
17/01/2021	21:56:00	245	0,0	0,11
17/01/2021	21:57:00	246	0,0	0,21
17/01/2021	21:58:00	247	0,0	0,06
17/01/2021	21:59:00	248	0,0	0,11
17/01/2021	22:00:00	249	0,0	0,16
17/01/2021	22:01:06	250	0,0	0,30
17/01/2021	22:02:06	251	0,0	0,28
17/01/2021	22:03:06	252	0,0	0,35
17/01/2021	22:04:06	253	0,0	0,34
17/01/2021	22:05:06	254	0,0	0,21
17/01/2021	22:06:06	255	0,0	0,16
17/01/2021	22:07:06	256	0,0	0,23

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Vazão (cm<sup>3</sup>/s)</b>
17/01/2021	22:08:06	257	0,0	0,06
17/01/2021	22:09:06	258	0,0	0,18
17/01/2021	22:10:06	259	0,0	0,27
17/01/2021	22:11:06	260	0,0	0,27
17/01/2021	22:12:06	261	0,0	0,19
17/01/2021	22:13:06	262	0,0	0,15
17/01/2021	22:14:06	263	0,0	0,14
17/01/2021	22:15:06	264	0,0	0,16
17/01/2021	22:16:06	265	0,0	0,20
17/01/2021	22:17:06	266	0,0	0,33
17/01/2021	22:18:06	267	0,0	0,34
17/01/2021	22:19:06	268	0,0	0,33
17/01/2021	22:20:06	269	0,0	0,41
17/01/2021	22:21:06	270	0,0	0,39
17/01/2021	22:22:06	271	0,0	0,31
17/01/2021	22:23:06	272	0,0	0,48
17/01/2021	22:24:06	273	0,0	0,47
17/01/2021	22:25:06	274	0,0	0,47
17/01/2021	22:26:06	275	0,0	0,29
17/01/2021	22:27:06	276	0,0	0,37
17/01/2021	22:28:06	277	0,0	0,18
17/01/2021	22:29:06	278	0,0	0,26
17/01/2021	22:30:06	279	0,0	0,20
17/01/2021	22:31:06	280	0,0	0,41
17/01/2021	22:32:06	281	0,0	0,28
17/01/2021	22:33:06	282	0,0	0,24
17/01/2021	22:34:06	283	0,0	0,23
17/01/2021	22:35:06	284	0,0	0,06
17/01/2021	22:36:06	285	0,0	0,15
17/01/2021	22:37:06	286	0,0	0,12
17/01/2021	22:38:06	287	0,0	0,01
17/01/2021	22:39:06	288	0,0	0,04
17/01/2021	22:40:06	289	0,0	0,04
17/01/2021	22:41:06	290	0,0	0,02
17/01/2021	22:42:06	291	0,0	0,06
17/01/2021	22:43:06	292	0,0	0,12
17/01/2021	22:44:06	293	0,0	0,08
17/01/2021	22:45:06	294	0,0	0,11
17/01/2021	22:46:06	295	0,0	0,16
17/01/2021	22:47:06	296	0,0	0,24
17/01/2021	22:48:06	297	0,0	0,15
17/01/2021	22:49:06	298	0,0	0,12
17/01/2021	22:50:06	299	0,0	0,36

Tabela D.2 - Evento 5: Precipitação e vazão em resolução temporal de minuto.

Evento 5				
Data	Hora	Tempo (minutos)	Precipitação (mm)	Vazão (cm <sup>3</sup> /s)
23/01/2021	17:12:00	0	0,2	0,00
23/01/2021	17:13:00	1	0,0	0,13
23/01/2021	17:14:00	2	0,0	0,11
23/01/2021	17:15:00	3	0,0	0,09
23/01/2021	17:16:00	4	0,0	0,07
23/01/2021	17:17:00	5	0,2	0,05
23/01/2021	17:18:00	6	0,0	0,03
23/01/2021	17:19:00	7	0,0	0,01
23/01/2021	17:20:00	8	0,0	0,00
23/01/2021	17:21:00	9	0,0	0,01
23/01/2021	17:22:00	10	0,0	0,02
23/01/2021	17:23:00	11	0,0	0,02
23/01/2021	17:24:00	12	0,0	0,03
23/01/2021	17:25:00	13	0,0	0,02
23/01/2021	17:26:00	14	0,0	0,02
23/01/2021	17:27:00	15	0,0	0,01
23/01/2021	17:28:00	16	0,0	0,14
23/01/2021	17:29:00	17	0,0	0,04
23/01/2021	17:30:00	18	0,0	0,15
23/01/2021	17:31:00	19	0,0	0,07
23/01/2021	17:32:00	20	0,0	0,08
23/01/2021	17:33:00	21	0,0	0,07
23/01/2021	17:34:00	22	0,0	0,14
23/01/2021	17:35:00	23	0,0	0,03
23/01/2021	17:36:00	24	0,0	0,14
23/01/2021	17:37:00	25	0,0	0,01
23/01/2021	17:38:00	26	0,0	0,02
23/01/2021	17:39:00	27	0,0	0,05
23/01/2021	17:40:00	28	0,0	0,11
23/01/2021	17:41:00	29	0,0	0,05
23/01/2021	17:42:00	30	0,0	0,23
23/01/2021	17:43:00	31	0,0	0,01
23/01/2021	17:44:00	32	0,0	0,11
23/01/2021	17:45:00	33	0,0	0,03
23/01/2021	17:46:00	34	0,0	0,12
23/01/2021	17:47:00	35	0,0	0,07
23/01/2021	17:48:00	36	0,0	0,15
23/01/2021	17:49:00	37	0,0	0,16
23/01/2021	17:50:00	38	0,0	0,23
23/01/2021	17:51:00	39	0,2	0,27

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Vazão (cm<sup>3</sup>/s)</b>
23/01/2021	17:52:00	40	0,0	0,37
23/01/2021	17:53:00	41	0,0	0,21
23/01/2021	17:54:00	42	0,8	0,23
23/01/2021	17:55:00	43	0,0	0,33
23/01/2021	17:56:00	44	0,0	0,16
23/01/2021	17:57:00	45	0,2	0,07
23/01/2021	17:58:00	46	0,0	0,04
23/01/2021	17:59:00	47	0,0	0,03
23/01/2021	18:00:00	48	0,2	0,10
23/01/2021	18:01:00	49	0,0	0,17
23/01/2021	18:02:00	50	0,0	0,16
23/01/2021	18:03:00	51	0,2	0,12
23/01/2021	18:04:00	52	0,2	0,01
23/01/2021	18:05:00	53	0,2	0,13
23/01/2021	18:06:00	54	0,0	0,00
23/01/2021	18:07:00	55	0,2	0,03
23/01/2021	18:08:00	56	0,2	0,20
23/01/2021	18:09:00	57	0,0	0,33
23/01/2021	18:10:00	58	0,0	0,41
23/01/2021	18:11:00	59	0,0	0,46
23/01/2021	18:12:00	60	0,2	0,49
23/01/2021	18:13:00	61	0,4	0,30
23/01/2021	18:14:00	62	0,8	0,35
23/01/2021	18:15:00	63	1,0	0,22
23/01/2021	18:16:00	64	0,4	0,07
23/01/2021	18:17:00	65	0,4	0,06
23/01/2021	18:18:00	66	0,4	0,39
23/01/2021	18:19:00	67	0,2	0,35
23/01/2021	18:20:00	68	0,2	0,38
23/01/2021	18:21:00	69	0,2	0,39
23/01/2021	18:22:00	70	0,2	0,37
23/01/2021	18:23:00	71	0,2	0,52
23/01/2021	18:24:00	72	0,2	0,38
23/01/2021	18:25:00	73	0,2	0,28
23/01/2021	18:26:00	74	0,2	0,33
23/01/2021	18:27:00	75	0,2	0,07
23/01/2021	18:28:00	76	0,2	0,13
23/01/2021	18:29:00	77	0,0	0,08
23/01/2021	18:30:00	78	0,2	0,05
23/01/2021	18:31:00	79	0,2	0,26
23/01/2021	18:32:00	80	0,0	0,22
23/01/2021	18:33:00	81	0,2	0,15
23/01/2021	18:34:00	82	0,0	0,04
<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Vazão</b>

			(mm)	(cm <sup>3</sup> /s)
23/01/2021	18:35:00	83	0,2	0,13
23/01/2021	18:36:00	84	0,0	0,16
23/01/2021	18:37:00	85	0,2	0,38
23/01/2021	18:38:00	86	0,0	0,17
23/01/2021	18:39:00	87	0,2	0,23
23/01/2021	18:40:00	88	0,0	0,27
23/01/2021	18:41:00	89	0,0	0,29
23/01/2021	18:42:00	90	0,2	0,21
23/01/2021	18:43:00	91	0,0	0,33
23/01/2021	18:44:00	92	0,0	0,25
23/01/2021	18:45:00	93	0,2	0,23
23/01/2021	18:46:00	94	0,0	0,24
23/01/2021	18:47:00	95	1,0	0,08
23/01/2021	18:48:00	96	0,4	0,10
23/01/2021	18:49:00	97	0,6	0,16
23/01/2021	18:50:00	98	0,8	0,06
23/01/2021	18:51:00	99	0,6	0,11
23/01/2021	18:52:00	100	1,0	0,12
23/01/2021	18:53:00	101	1,0	0,10
23/01/2021	18:54:00	102	0,8	0,06
23/01/2021	18:55:00	103	0,8	0,09
23/01/2021	18:56:00	104	1,6	0,12
23/01/2021	18:57:00	105	1,0	0,21
23/01/2021	18:58:00	106	0,6	0,34
23/01/2021	18:59:00	107	0,6	0,41
23/01/2021	19:00:00	108	0,6	0,40
23/01/2021	19:01:00	109	1,2	0,25
23/01/2021	19:02:00	110	0,6	0,28
23/01/2021	19:03:00	111	0,4	0,40
23/01/2021	19:04:00	112	0,4	0,57
23/01/2021	19:05:00	113	0,4	0,55
23/01/2021	19:06:00	114	0,4	0,53
23/01/2021	19:07:00	115	0,4	0,59
23/01/2021	19:08:00	116	0,4	0,30
23/01/2021	19:09:00	117	0,4	0,36
23/01/2021	19:10:00	118	0,2	0,21
23/01/2021	19:11:00	119	0,4	0,03
23/01/2021	19:12:00	120	1,2	0,04
23/01/2021	19:13:00	121	0,2	0,28
23/01/2021	19:14:00	122	0,2	0,38
23/01/2021	19:15:00	123	0,2	0,43
23/01/2021	19:16:00	124	0,4	0,34
23/01/2021	19:17:00	125	0,2	0,46
23/01/2021	19:18:00	126	0,2	0,28
Data	Hora	Tempo (min)	Precipitação	Vazão

			(mm)	(cm <sup>3</sup> /s)
23/01/2021	19:19:00	127	0,4	0,26
23/01/2021	19:20:00	128	0,0	0,40
23/01/2021	19:21:00	129	0,2	0,27
23/01/2021	19:22:00	130	0,2	0,30
23/01/2021	19:23:00	131	0,0	0,20
23/01/2021	19:24:00	132	1,0	0,16
23/01/2021	19:25:00	133	0,0	0,20
23/01/2021	19:26:00	134	0,2	0,16
23/01/2021	19:27:00	135	0,0	0,24
23/01/2021	19:28:00	136	0,2	0,38
23/01/2021	19:29:00	137	0,0	0,67
23/01/2021	19:30:00	138	0,2	0,71
23/01/2021	19:31:00	139	0,0	0,72
23/01/2021	19:32:00	140	0,0	0,82
23/01/2021	19:33:00	141	0,2	1,23
23/01/2021	19:34:00	142	0,0	1,46
23/01/2021	19:35:00	143	0,0	1,62
23/01/2021	19:36:00	144	0,2	1,90
23/01/2021	19:37:00	145	0,0	2,21
23/01/2021	19:38:00	146	0,0	2,37
23/01/2021	19:39:00	147	0,0	2,59
23/01/2021	19:40:00	148	0,2	2,60
23/01/2021	19:41:00	149	0,0	2,61
23/01/2021	19:42:00	150	0,0	2,74
23/01/2021	19:43:00	151	0,0	2,80
23/01/2021	19:44:00	152	0,2	2,85
23/01/2021	19:45:00	153	0,0	2,63
23/01/2021	19:46:00	154	0,0	2,66
23/01/2021	19:47:00	155	0,0	2,70
23/01/2021	19:48:00	156	0,0	2,64
23/01/2021	19:49:00	157	0,0	2,58
23/01/2021	19:50:00	158	0,0	2,54
23/01/2021	19:51:00	159	0,0	2,43
23/01/2021	19:52:00	160	0,0	2,31
23/01/2021	19:53:00	161	0,0	2,20
23/01/2021	19:54:00	162	0,0	1,92
23/01/2021	19:55:00	163	0,0	1,68
23/01/2021	19:56:00	164	0,0	1,60
23/01/2021	19:57:00	165	0,2	1,62
23/01/2021	19:58:00	166	0,0	1,57
23/01/2021	19:59:00	167	0,0	1,69
23/01/2021	20:00:00	168	0,0	1,79
23/01/2021	20:01:00	169	0,0	1,99
23/01/2021	20:02:00	170	0,0	2,40
Data	Hora	Tempo (min)	Precipitação	Vazão



			(mm)	(cm <sup>3</sup> /s)
23/01/2021	20:03:00	171	0,2	2,95
23/01/2021	20:04:00	172	0,0	3,42
23/01/2021	20:05:00	173	0,0	3,99
23/01/2021	20:06:00	174	0,0	4,74
23/01/2021	20:07:00	175	0,0	5,48
23/01/2021	20:08:00	176	0,0	6,09
23/01/2021	20:09:00	177	0,0	6,67
23/01/2021	20:10:00	178	0,0	7,45
23/01/2021	20:11:00	179	0,2	7,87
23/01/2021	20:12:00	180	0,0	8,36
23/01/2021	20:13:00	181	0,0	8,69
23/01/2021	20:14:00	182	0,0	8,75
23/01/2021	20:15:00	183	0,0	8,71
23/01/2021	20:16:00	184	0,0	8,84
23/01/2021	20:17:00	185	0,2	8,63
23/01/2021	20:18:00	186	0,0	8,50
23/01/2021	20:19:00	187	0,0	8,12
23/01/2021	20:20:00	188	0,0	7,72
23/01/2021	20:21:00	189	0,0	7,28
23/01/2021	20:22:00	190	0,0	7,02
23/01/2021	20:23:00	191	0,0	6,73
23/01/2021	20:24:00	192	0,0	6,29
23/01/2021	20:25:00	193	0,0	6,04
23/01/2021	20:26:00	194	0,0	5,91
23/01/2021	20:27:00	195	0,0	5,80
23/01/2021	20:28:00	196	0,0	5,56
23/01/2021	20:29:00	197	0,0	5,43
23/01/2021	20:30:00	198	0,0	5,23
23/01/2021	20:31:00	199	0,0	5,25
23/01/2021	20:32:00	200	0,2	5,15
23/01/2021	20:33:00	201	0,0	5,20
23/01/2021	20:34:00	202	0,0	5,17
23/01/2021	20:35:00	203	0,0	4,99
23/01/2021	20:36:00	204	0,0	4,99
23/01/2021	20:37:00	205	0,0	4,80
23/01/2021	20:38:00	206	0,0	4,67
23/01/2021	20:39:00	207	0,0	4,58
23/01/2021	20:40:00	208	0,0	4,61
23/01/2021	20:41:00	209	0,0	4,31
23/01/2021	20:42:00	210	0,0	4,23
23/01/2021	20:43:00	211	0,0	3,98
23/01/2021	20:44:00	212	0,0	3,57
23/01/2021	20:45:00	213	0,2	3,46
23/01/2021	20:46:00	214	0,0	3,36
Data	Hora	Tempo (min)	Precipitação	Vazão

			(mm)	(cm <sup>3</sup> /s)
23/01/2021	20:47:00	215	0,0	3,04
23/01/2021	20:48:00	216	0,0	3,00
23/01/2021	20:49:00	217	0,0	2,82
23/01/2021	20:50:00	218	0,0	2,47
23/01/2021	20:51:00	219	0,0	2,37
23/01/2021	20:52:00	220	0,0	2,30
23/01/2021	20:53:00	221	0,0	1,97
23/01/2021	20:54:00	222	0,0	1,90
23/01/2021	20:55:00	223	0,0	1,71
23/01/2021	20:56:00	224	0,0	1,68
23/01/2021	20:57:00	225	0,0	1,66
23/01/2021	20:58:00	226	0,2	1,59
23/01/2021	20:59:00	227	0,0	1,43
23/01/2021	21:00:00	228	0,0	1,46
23/01/2021	21:01:00	229	0,2	1,39
23/01/2021	21:02:00	230	0,0	1,30
23/01/2021	21:03:00	231	0,0	1,48
23/01/2021	21:04:00	232	0,0	1,42
23/01/2021	21:05:00	233	0,2	1,40
23/01/2021	21:06:00	234	0,0	1,39
23/01/2021	21:07:00	235	0,0	1,33
23/01/2021	21:08:00	236	0,2	1,34
23/01/2021	21:09:00	237	0,0	1,34
23/01/2021	21:10:00	238	0,0	1,45
23/01/2021	21:11:00	239	0,0	1,51
23/01/2021	21:12:00	240	0,0	1,44
23/01/2021	21:13:00	241	0,2	1,38
23/01/2021	21:14:00	242	0,0	1,40
23/01/2021	21:15:00	243	0,0	1,35
23/01/2021	21:16:00	244	0,2	1,55
23/01/2021	21:17:00	245	0,0	1,36
23/01/2021	21:18:00	246	0,0	1,45
23/01/2021	21:19:00	247	0,0	1,29
23/01/2021	21:20:00	248	0,0	1,15
23/01/2021	21:21:00	249	0,0	1,26
23/01/2021	21:22:00	250	0,2	1,13
23/01/2021	21:23:00	251	0,0	1,07
23/01/2021	21:24:00	252	0,2	1,02
23/01/2021	21:25:00	253	0,0	1,07
23/01/2021	21:26:00	254	0,0	0,98
23/01/2021	21:27:00	255	0,0	0,89
23/01/2021	21:28:00	256	0,0	0,85
23/01/2021	21:29:00	257	0,2	0,98
23/01/2021	21:30:00	258	0,0	0,97
Data	Hora	Tempo (min)	Precipitação	Vazão

			(mm)	(cm <sup>3</sup> /s)
23/01/2021	21:31:00	259	0,2	0,74
23/01/2021	21:32:00	260	0,0	0,85
23/01/2021	21:33:00	261	0,0	0,80
23/01/2021	21:34:00	262	0,2	0,95
23/01/2021	21:35:00	263	0,0	1,08
23/01/2021	21:36:00	264	0,2	1,13
23/01/2021	21:37:00	265	0,0	1,15
23/01/2021	21:38:00	266	0,0	1,17
23/01/2021	21:39:00	267	0,2	1,16
23/01/2021	21:40:00	268	0,0	1,28
23/01/2021	21:41:00	269	0,2	1,14
23/01/2021	21:42:00	270	0,0	1,04
23/01/2021	21:43:00	271	0,0	0,98
23/01/2021	21:44:00	272	0,2	0,77
23/01/2021	21:45:00	273	0,0	0,71
23/01/2021	21:46:00	274	0,0	0,84
23/01/2021	21:47:00	275	0,2	0,71
23/01/2021	21:48:00	276	0,0	0,64
23/01/2021	21:49:00	277	0,0	0,57
23/01/2021	21:50:00	278	0,0	0,51
23/01/2021	21:51:00	279	0,2	0,56
23/01/2021	21:52:00	280	0,0	0,61
23/01/2021	21:53:00	281	0,0	0,67
23/01/2021	21:54:00	282	0,2	0,68
23/01/2021	21:55:00	283	0,0	0,95
23/01/2021	21:56:00	284	0,0	0,75
23/01/2021	21:57:00	285	0,0	0,79
23/01/2021	21:58:00	286	0,0	0,91
23/01/2021	21:59:00	287	0,2	1,17
23/01/2021	22:00:00	288	0,0	0,96
23/01/2021	22:01:00	289	0,0	1,01
23/01/2021	22:02:00	290	0,0	0,85
23/01/2021	22:03:00	291	0,0	0,80
23/01/2021	22:04:00	292	0,0	0,94
23/01/2021	22:05:00	293	0,2	0,70
23/01/2021	22:06:18	294	0,0	0,61
23/01/2021	22:07:18	295	0,0	0,59
23/01/2021	22:08:18	296	0,0	0,65
23/01/2021	22:09:18	297	0,0	0,68
23/01/2021	22:10:18	298	0,0	0,61
23/01/2021	22:11:18	299	0,0	0,69
23/01/2021	22:12:18	300	0,0	0,73
23/01/2021	22:13:18	301	0,0	0,65
23/01/2021	22:14:18	302	0,0	0,50
Data	Hora	Tempo (min)	Precipitação	Vazão

			(mm)	(cm <sup>3</sup> /s)
23/01/2021	22:15:18	303	0,0	0,67
23/01/2021	22:16:18	304	0,0	0,63
23/01/2021	22:17:18	305	0,0	0,71
23/01/2021	22:18:18	306	0,0	0,72
23/01/2021	22:19:18	307	0,0	0,68
23/01/2021	22:20:18	308	0,0	0,51
23/01/2021	22:21:18	309	0,0	0,54
23/01/2021	22:22:18	310	0,0	0,47
23/01/2021	22:23:18	311	0,0	0,38
23/01/2021	22:24:18	312	0,0	0,26
23/01/2021	22:25:18	313	0,0	0,23
23/01/2021	22:26:18	314	0,0	0,16
23/01/2021	22:27:18	315	0,0	0,11
23/01/2021	22:28:18	316	0,0	0,13
23/01/2021	22:29:18	317	0,0	0,32
23/01/2021	22:30:18	318	0,0	0,25
23/01/2021	22:31:18	319	0,0	0,34
23/01/2021	22:32:18	320	0,0	0,39
23/01/2021	22:33:18	321	0,0	0,60
23/01/2021	22:34:18	322	0,0	0,71
23/01/2021	22:35:18	323	0,0	0,60
23/01/2021	22:36:18	324	0,0	0,62
23/01/2021	22:37:18	325	0,0	0,68
23/01/2021	22:38:18	326	0,0	0,83
23/01/2021	22:39:18	327	0,0	0,86
23/01/2021	22:40:18	328	0,0	0,82
23/01/2021	22:41:18	329	0,0	0,97
23/01/2021	22:42:18	330	0,0	0,75
23/01/2021	22:43:18	331	0,0	0,74
23/01/2021	22:44:18	332	0,0	0,62
23/01/2021	22:45:18	333	0,0	0,65
23/01/2021	22:46:18	334	0,0	0,67
23/01/2021	22:47:18	335	0,0	0,60
23/01/2021	22:48:18	336	0,0	0,74
23/01/2021	22:49:18	337	0,0	0,62
23/01/2021	22:50:18	338	0,0	0,76
23/01/2021	22:51:18	339	0,0	0,91
23/01/2021	22:52:18	340	0,0	0,83
23/01/2021	22:53:18	341	0,0	0,92
23/01/2021	22:54:18	342	0,0	0,91
23/01/2021	22:55:18	343	0,0	1,02
23/01/2021	22:56:18	344	0,0	1,27
23/01/2021	22:57:18	345	0,0	1,22
23/01/2021	22:58:18	346	0,0	1,44
Data	Hora	Tempo (min)	Precipitação	Vazão

			(mm)	(cm <sup>3</sup> /s)
23/01/2021	22:59:18	347	0,0	1,44
23/01/2021	23:00:18	348	0,0	1,20
23/01/2021	23:01:18	349	0,0	1,22
23/01/2021	23:02:18	350	0,0	1,16
23/01/2021	23:03:18	351	0,0	1,10
23/01/2021	23:04:18	352	0,0	1,03
23/01/2021	23:05:18	353	0,0	0,87
23/01/2021	23:06:18	354	0,0	0,93
23/01/2021	23:07:18	355	0,0	0,98
23/01/2021	23:08:18	356	0,0	1,05
23/01/2021	23:09:18	357	0,0	0,91
23/01/2021	23:10:18	358	0,0	1,06
23/01/2021	23:11:18	359	0,0	1,00
23/01/2021	23:12:18	360	0,0	1,03
23/01/2021	23:13:18	361	0,0	1,09
23/01/2021	23:14:18	362	0,0	1,16
23/01/2021	23:15:18	363	0,0	1,17
23/01/2021	23:16:18	364	0,0	1,35
23/01/2021	23:17:18	365	0,0	1,39
23/01/2021	23:18:18	366	0,0	1,41
23/01/2021	23:19:18	367	0,0	1,33
23/01/2021	23:20:18	368	0,0	1,39
23/01/2021	23:21:18	369	0,0	1,40
23/01/2021	23:22:18	370	0,0	1,16
23/01/2021	23:23:18	371	0,0	1,12
23/01/2021	23:24:18	372	0,0	0,97
23/01/2021	23:25:18	373	0,0	0,98
23/01/2021	23:26:18	374	0,0	0,95
23/01/2021	23:27:18	375	0,0	0,87
23/01/2021	23:28:18	376	0,0	1,00
23/01/2021	23:29:18	377	0,0	0,87
23/01/2021	23:30:18	378	0,0	0,87
23/01/2021	23:31:18	379	0,0	0,84
23/01/2021	23:32:18	380	0,0	0,69
23/01/2021	23:33:18	381	0,0	0,73
23/01/2021	23:34:18	382	0,0	0,73
23/01/2021	23:35:18	383	0,0	0,62
23/01/2021	23:36:18	384	0,0	0,86
23/01/2021	23:37:18	385	0,0	0,83
23/01/2021	23:38:18	386	0,0	0,78
23/01/2021	23:39:18	387	0,0	0,69
23/01/2021	23:40:18	388	0,0	0,73
23/01/2021	23:41:18	389	0,0	0,64
23/01/2021	23:42:18	390	0,0	0,74
Data	Hora	Tempo (min)	Precipitação	Vazão

			(mm)	(cm <sup>3</sup> /s)
23/01/2021	23:43:18	391	0,0	0,55
23/01/2021	23:44:18	392	0,0	0,49
23/01/2021	23:45:18	393	0,0	0,31
23/01/2021	23:46:18	394	0,0	0,43
23/01/2021	23:47:18	395	0,0	0,37
23/01/2021	23:48:18	396	0,0	0,25
23/01/2021	23:49:18	397	0,0	0,24
23/01/2021	23:50:18	398	0,0	0,27
23/01/2021	23:51:18	399	0,0	0,33
23/01/2021	23:52:18	400	0,0	0,34
23/01/2021	23:53:18	401	0,0	0,34
23/01/2021	23:54:18	402	0,0	0,35
23/01/2021	23:55:18	403	0,0	0,34
23/01/2021	23:56:18	404	0,0	0,34
23/01/2021	23:57:18	405	0,0	0,32
23/01/2021	23:58:18	406	0,0	0,29
23/01/2021	23:59:18	407	0,0	0,26
23/01/2021	00:00:18	408	0,0	0,21
23/01/2021	00:01:18	409	0,0	0,15
23/01/2021	00:02:18	410	0,0	0,08
23/01/2021	00:03:18	411	0,0	0,00
23/01/2021	00:04:18	412	0,0	0,10
23/01/2021	00:05:18	413	0,0	0,22

**Tabela D.3 - Evento 7: Precipitação e vazão em resolução temporal de minuto.**

Evento 7				
Data	Hora	Tempo (m)	Precipitação (mm)	Vazão (cm <sup>3</sup> /s)
02/03/2021	17:02:00	0	0,2	0,00
02/03/2021	17:03:00	1	0,0	1,57
02/03/2021	17:04:00	2	0,4	1,13
02/03/2021	17:05:00	3	1,4	2,08
02/03/2021	17:06:00	4	0,6	1,63
02/03/2021	17:07:00	5	1,4	0,12
02/03/2021	17:08:00	6	0,4	2,15
02/03/2021	17:09:00	7	2,0	4,92
02/03/2021	17:10:00	8	2,6	7,93
02/03/2021	17:11:00	9	2,0	10,97
02/03/2021	17:12:00	10	1,2	13,85
02/03/2021	17:13:00	11	1,6	16,43
02/03/2021	17:14:00	12	3,0	18,58
02/03/2021	17:15:00	13	2,0	20,18
02/03/2021	17:16:00	14	0,8	21,19

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Vazão (cm<sup>3</sup>/s)</b>
02/03/2021	17:17:00	15	0,6	21,55
02/03/2021	17:18:00	16	1,6	20,36
02/03/2021	17:19:00	17	2,8	19,59
02/03/2021	17:20:00	18	1,2	18,05
02/03/2021	17:21:00	19	0,6	16,06
02/03/2021	17:22:00	20	0,2	13,66
02/03/2021	17:23:00	21	0,4	11,33
02/03/2021	17:24:00	22	0,2	8,82
02/03/2021	17:25:00	23	0,0	6,84
02/03/2021	17:26:00	24	0,2	5,71
02/03/2021	17:27:00	25	0,2	4,53
02/03/2021	17:28:00	26	0,0	3,83
02/03/2021	17:29:00	27	0,2	3,33
02/03/2021	17:30:00	28	0,2	2,90
02/03/2021	17:31:00	29	0,0	2,24
02/03/2021	17:32:00	30	0,0	1,65
02/03/2021	17:33:00	31	0,0	1,21
02/03/2021	17:34:00	32	0,0	1,08
02/03/2021	17:35:00	33	0,2	1,15
02/03/2021	17:36:00	34	0,0	1,15
02/03/2021	17:37:00	35	0,0	0,92
02/03/2021	17:38:00	36	0,0	0,85
02/03/2021	17:39:00	37	0,2	0,56
02/03/2021	17:40:00	38	0,0	0,58
02/03/2021	17:41:00	39	0,0	0,20
02/03/2021	17:42:00	40	0,0	0,38
02/03/2021	17:43:00	41	0,0	0,47
02/03/2021	17:44:00	42	0,0	0,35
02/03/2021	17:45:00	43	0,0	0,55
02/03/2021	17:46:00	44	0,0	0,54
02/03/2021	17:47:00	45	0,2	0,54
02/03/2021	17:48:00	46	0,0	0,55
02/03/2021	17:49:00	47	0,0	0,68
02/03/2021	17:50:00	48	0,0	0,51
02/03/2021	17:51:00	49	0,0	0,20
02/03/2021	17:52:00	50	0,0	0,21
02/03/2021	17:53:00	51	0,0	0,32
02/03/2021	17:54:00	52	0,0	0,11
02/03/2021	17:55:00	53	0,0	0,02
02/03/2021	17:56:00	54	0,0	-0,11
02/03/2021	17:57:00	55	0,0	-0,21
02/03/2021	17:58:00	56	0,0	0,05

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Vazão (cm<sup>3</sup>/s)</b>
02/03/2021	17:59:00	57	0,0	-0,18
02/03/2021	18:00:00	58	0,0	-0,04
02/03/2021	18:01:00	59	0,0	-0,04
02/03/2021	18:02:00	60	0,0	0,11
02/03/2021	18:03:00	61	0,0	-0,03
02/03/2021	18:04:00	62	0,0	-0,01
02/03/2021	18:05:00	63	0,0	-0,11
02/03/2021	18:06:00	64	0,0	0,10
02/03/2021	18:07:00	65	0,0	0,08
02/03/2021	18:08:00	66	0,0	0,15
02/03/2021	18:09:00	67	0,0	0,05
02/03/2021	18:10:00	68	0,0	0,29
02/03/2021	18:11:00	69	0,0	0,08
02/03/2021	18:12:00	70	0,0	0,13
02/03/2021	18:13:00	71	0,0	0,22
02/03/2021	18:14:00	72	0,0	0,07
02/03/2021	18:15:00	73	0,0	0,21
02/03/2021	18:16:00	74	0,0	0,19
02/03/2021	18:17:00	75	0,0	0,19
02/03/2021	18:18:00	76	0,0	0,42
02/03/2021	18:19:00	77	0,0	0,43
02/03/2021	18:20:00	78	0,0	0,41
02/03/2021	18:21:00	79	0,0	0,29
02/03/2021	18:22:00	80	0,0	0,38
02/03/2021	18:23:00	81	0,0	0,44
02/03/2021	18:24:00	82	0,0	0,41
02/03/2021	18:25:00	83	0,0	0,29
02/03/2021	18:26:00	84	0,0	0,18
02/03/2021	18:27:00	85	0,0	0,27
02/03/2021	18:28:00	86	0,0	0,34
02/03/2021	18:29:00	87	0,0	0,27
02/03/2021	18:30:00	88	0,0	0,47
02/03/2021	18:31:00	89	0,0	0,45
02/03/2021	18:32:00	90	0,0	0,55
02/03/2021	18:33:00	91	0,0	0,47
02/03/2021	18:34:00	92	0,0	0,45
02/03/2021	18:35:00	93	0,0	0,52
02/03/2021	18:36:00	94	0,0	0,41
02/03/2021	18:37:00	95	0,0	0,32
02/03/2021	18:38:00	96	0,0	0,36
02/03/2021	18:39:00	97	0,0	0,27
02/03/2021	18:40:00	98	0,0	0,26



<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Vazão (cm<sup>3</sup>/s)</b>
02/03/2021	18:41:00	99	0,0	0,13
02/03/2021	18:42:00	100	0,0	0,11
02/03/2021	18:43:00	101	0,0	0,17
02/03/2021	18:44:00	102	0,0	0,07
02/03/2021	18:45:00	103	0,0	0,25
02/03/2021	18:46:00	104	0,0	0,27
02/03/2021	18:47:00	105	0,0	0,22
02/03/2021	18:48:00	106	0,0	0,22
02/03/2021	18:49:00	107	0,0	0,26
02/03/2021	18:50:00	108	0,0	0,44
02/03/2021	18:51:00	109	0,0	0,30
02/03/2021	18:52:00	110	0,0	0,38
02/03/2021	18:53:00	111	0,0	0,35
02/03/2021	18:54:00	112	0,0	0,39
02/03/2021	18:55:00	113	0,0	0,31
02/03/2021	18:56:00	114	0,0	0,24
02/03/2021	18:57:00	115	0,0	0,42
02/03/2021	18:58:00	116	0,0	0,41
02/03/2021	18:59:00	117	0,0	0,40
02/03/2021	19:00:00	118	0,0	0,40
02/03/2021	19:01:00	119	0,0	0,39
02/03/2021	19:02:00	120	0,0	0,50
02/03/2021	19:03:00	121	0,0	0,45
02/03/2021	19:04:00	122	0,0	0,53
02/03/2021	19:05:00	123	0,0	0,42
02/03/2021	19:06:00	124	0,0	0,46
02/03/2021	19:07:00	125	0,0	0,44
02/03/2021	19:08:00	126	0,0	0,46
02/03/2021	19:09:00	127	0,0	0,33
02/03/2021	19:10:00	128	0,0	0,37
02/03/2021	19:11:00	129	0,0	0,26
02/03/2021	19:12:00	130	0,0	0,18
02/03/2021	19:13:00	131	0,0	0,17
02/03/2021	19:14:00	132	0,0	0,19
02/03/2021	19:15:00	133	0,0	0,26
02/03/2021	19:16:00	134	0,0	0,45
02/03/2021	19:17:00	135	0,0	0,34
02/03/2021	19:18:00	136	0,0	0,36
02/03/2021	19:19:00	137	0,0	0,43
02/03/2021	19:20:00	138	0,0	0,54
02/03/2021	19:21:00	139	0,0	0,53
02/03/2021	19:22:00	140	0,0	0,61

Data	Hora	Tempo (min)	Precipitação (mm)	Vazão (cm <sup>3</sup> /s)
02/03/2021	19:23:00	141	0,0	0,51
02/03/2021	19:24:00	142	0,0	0,46
02/03/2021	19:25:00	143	0,0	0,34
02/03/2021	19:26:00	144	0,0	0,35
02/03/2021	19:27:00	145	0,0	0,52
02/03/2021	19:28:00	146	0,0	0,49
02/03/2021	19:29:00	147	0,0	0,37
02/03/2021	19:30:00	148	0,0	0,27
02/03/2021	19:31:00	149	0,0	0,22
02/03/2021	19:32:00	150	0,0	0,22
02/03/2021	19:33:00	151	0,0	0,13
02/03/2021	19:34:00	152	0,0	0,06
02/03/2021	19:35:00	153	0,0	-0,01
02/03/2021	19:36:00	154	0,0	-0,07
02/03/2021	19:37:00	155	0,0	-0,12
02/03/2021	19:38:00	156	0,0	-0,16
02/03/2021	19:39:00	157	0,0	-0,18
02/03/2021	19:40:00	158	0,0	-0,18
02/03/2021	19:41:00	159	0,0	-0,16
02/03/2021	19:42:00	160	0,0	-0,10
02/03/2021	19:43:00	161	0,0	-0,02
02/03/2021	19:44:00	162	0,0	0,11
02/03/2021	19:45:00	163	0,0	0,29
02/03/2021	19:46:00	164	0,0	0,52
02/03/2021	19:47:00	165	0,0	0,80

**Tabela D.4 - Evento 9: Precipitação e Vazão em resolução temporal de minuto.**

Evento 9				
Data	Hora	Tempo (minutos)	Precipitação (mm)	Vazão (cm <sup>3</sup> /s)
05/03/2021	02:19:00	0	0,2	0,24
05/03/2021	02:20:00	1	0,0	0,22
05/03/2021	02:21:00	2	0,4	0,49
05/03/2021	02:22:00	3	0,2	0,33
05/03/2021	02:23:00	4	0,2	0,12
05/03/2021	02:24:00	5	0,4	0,09
05/03/2021	02:25:00	6	0,4	0,20
05/03/2021	02:26:00	7	0,2	0,90
05/03/2021	02:27:00	8	0,2	1,28
05/03/2021	02:28:00	9	0,2	1,73
05/03/2021	02:29:00	10	0,4	2,28

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Vazão (cm<sup>3</sup>/s)</b>
05/03/2021	02:30:00	11	0,4	3,10
05/03/2021	02:31:00	12	0,2	3,75
05/03/2021	02:32:00	13	0,2	4,02
05/03/2021	02:33:00	14	0,4	4,56
05/03/2021	02:34:00	15	1,0	4,76
05/03/2021	02:35:00	16	0,0	4,81
05/03/2021	02:36:00	17	0,2	4,63
05/03/2021	02:37:00	18	0,0	4,38
05/03/2021	02:38:00	19	0,0	4,11
05/03/2021	02:39:00	20	0,2	3,75
05/03/2021	02:40:00	21	0,0	3,20
05/03/2021	02:41:00	22	0,0	2,66
05/03/2021	02:42:00	23	0,0	2,18
05/03/2021	02:43:00	24	0,0	1,92
05/03/2021	02:44:00	25	0,0	1,40
05/03/2021	02:45:00	26	0,0	1,10
05/03/2021	02:46:00	27	0,0	0,82
05/03/2021	02:47:00	28	0,0	0,83
05/03/2021	02:48:00	29	1,0	0,80
05/03/2021	02:49:00	30	0,0	0,50
05/03/2021	02:50:00	31	0,0	0,60
05/03/2021	02:51:00	32	0,0	0,68
05/03/2021	02:52:00	33	0,0	0,80
05/03/2021	02:53:00	34	0,0	0,61
05/03/2021	02:54:00	35	0,0	0,58
05/03/2021	02:55:00	36	0,0	0,53
05/03/2021	02:56:00	37	0,2	0,57
05/03/2021	02:57:00	38	0,0	0,53
05/03/2021	02:58:00	39	0,0	0,41
05/03/2021	02:59:00	40	0,0	0,54
05/03/2021	03:00:00	41	0,0	0,62
05/03/2021	03:01:00	42	0,2	0,62
05/03/2021	03:02:00	43	0,0	0,70
05/03/2021	03:03:00	44	0,0	0,76
05/03/2021	03:04:00	45	0,2	0,80
05/03/2021	03:05:00	46	0,0	0,88
05/03/2021	03:06:00	47	0,0	0,80
05/03/2021	03:07:00	48	0,0	0,87
05/03/2021	03:08:00	49	0,0	0,88
05/03/2021	03:09:00	50	0,0	1,03
05/03/2021	03:10:00	51	0,0	0,81
05/03/2021	03:11:00	52	0,0	0,94

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Vazão (cm<sup>3</sup>/s)</b>
05/03/2021	03:12:00	53	0,2	0,93
05/03/2021	03:13:00	54	0,0	0,96
05/03/2021	03:14:00	55	0,0	0,83
05/03/2021	03:15:00	56	0,2	1,07
05/03/2021	03:16:00	57	0,0	0,95
05/03/2021	03:17:00	58	0,0	1,04
05/03/2021	03:18:00	59	0,0	0,76
05/03/2021	03:19:00	60	0,0	0,68
05/03/2021	03:20:00	61	0,0	0,71
05/03/2021	03:21:00	62	0,0	0,83
05/03/2021	03:22:00	63	0,0	0,70
05/03/2021	03:23:00	64	0,0	0,55
05/03/2021	03:24:00	65	0,0	0,64
05/03/2021	03:25:00	66	0,0	0,45
05/03/2021	03:26:00	67	0,0	0,42
05/03/2021	03:27:00	68	0,2	0,48
05/03/2021	03:28:00	69	0,0	0,42
05/03/2021	03:29:00	70	0,0	0,58
05/03/2021	03:30:00	71	1,0	0,47
05/03/2021	03:31:00	72	0,0	0,51
05/03/2021	03:32:00	73	0,0	0,62
05/03/2021	03:33:00	74	0,0	0,61
05/03/2021	03:34:00	75	0,0	0,74
05/03/2021	03:35:00	76	0,0	0,80
05/03/2021	03:36:00	77	0,0	0,60
05/03/2021	03:37:00	78	0,0	0,62
05/03/2021	03:38:00	79	0,0	0,67
05/03/2021	03:39:00	80	0,0	0,72
05/03/2021	03:40:00	81	0,0	0,36
05/03/2021	03:41:00	82	0,0	0,48
05/03/2021	03:42:00	83	0,0	0,46
05/03/2021	03:43:00	84	0,0	0,28
05/03/2021	03:44:00	85	0,0	0,33
05/03/2021	03:45:00	86	0,0	0,40
05/03/2021	03:46:00	87	0,0	0,42
05/03/2021	03:47:00	88	0,0	0,37
05/03/2021	03:48:00	89	0,0	0,18
05/03/2021	03:49:00	90	0,0	0,39
05/03/2021	03:50:00	91	0,0	0,24
05/03/2021	03:51:00	92	0,0	0,17
05/03/2021	03:52:00	93	0,0	0,15
05/03/2021	03:53:00	94	0,0	0,23

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Vazão (cm<sup>3</sup>/s)</b>
05/03/2021	03:54:00	95	0,0	0,40
05/03/2021	03:55:00	96	0,0	0,26
05/03/2021	03:56:00	97	0,0	0,23
05/03/2021	03:57:00	98	0,0	0,22
05/03/2021	03:58:00	99	0,0	0,24
05/03/2021	03:59:00	100	0,0	0,30
05/03/2021	04:00:00	101	0,0	0,22
05/03/2021	04:01:00	102	0,0	0,21
05/03/2021	04:02:00	103	0,0	0,22
05/03/2021	04:03:00	104	0,0	0,31
05/03/2021	04:04:00	105	0,0	0,18
05/03/2021	04:05:00	106	0,0	0,27
05/03/2021	04:06:00	107	0,0	0,18
05/03/2021	04:07:00	108	0,0	0,24
05/03/2021	04:08:00	109	0,0	0,34
05/03/2021	04:09:00	110	0,0	0,22
05/03/2021	04:10:00	111	0,0	0,01
05/03/2021	04:11:00	112	0,0	0,08
05/03/2021	04:12:00	113	0,0	0,09
05/03/2021	04:13:00	114	0,0	0,07
05/03/2021	04:14:00	115	0,0	0,05
05/03/2021	04:15:00	116	0,0	0,12
05/03/2021	04:16:00	117	0,0	0,23
05/03/2021	04:17:00	118	0,0	0,18
05/03/2021	04:18:00	119	0,0	0,31
05/03/2021	04:19:00	120	0,0	0,20
05/03/2021	04:20:00	121	0,0	0,19
05/03/2021	04:21:00	122	0,0	0,06
05/03/2021	04:22:00	123	0,0	0,04
05/03/2021	04:23:00	124	0,0	0,23
05/03/2021	04:24:00	125	0,0	0,18
05/03/2021	04:25:00	126	0,0	0,17
05/03/2021	04:26:00	127	0,0	0,19
05/03/2021	04:27:00	128	0,0	0,21
05/03/2021	04:28:00	129	0,0	0,29
05/03/2021	04:29:00	130	0,0	0,12
05/03/2021	04:30:00	131	0,0	0,12
05/03/2021	04:31:00	132	0,0	0,12
05/03/2021	04:32:00	133	0,0	0,12
05/03/2021	04:33:00	134	0,0	0,13
05/03/2021	04:34:00	135	0,0	0,06
05/03/2021	04:35:00	136	0,0	0,01

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Vazão (cm<sup>3</sup>/s)</b>
05/03/2021	04:36:00	137	0,0	0,02
05/03/2021	04:37:00	138	0,0	0,07
05/03/2021	04:38:00	139	0,0	0,05
05/03/2021	04:39:00	140	0,0	0,01
05/03/2021	04:40:00	141	0,0	0,12
05/03/2021	04:41:00	142	0,0	0,19
05/03/2021	04:42:00	143	0,0	0,31
05/03/2021	04:43:00	144	0,0	0,16
05/03/2021	04:44:00	145	0,0	0,17
05/03/2021	04:45:00	146	0,0	0,22
05/03/2021	04:46:00	147	0,0	0,09
05/03/2021	04:47:00	148	0,0	0,04
05/03/2021	04:48:00	149	0,0	0,24
05/03/2021	04:49:00	150	0,0	0,09
05/03/2021	04:50:00	151	0,0	0,22
05/03/2021	04:51:00	152	0,0	0,10
05/03/2021	04:52:00	153	0,0	0,04
05/03/2021	04:53:00	154	0,0	0,15
05/03/2021	04:54:00	155	0,0	0,08
05/03/2021	04:55:00	156	0,0	0,17
05/03/2021	04:56:00	157	0,0	0,15
05/03/2021	04:57:00	158	0,0	0,15
05/03/2021	04:58:00	159	0,0	0,16
05/03/2021	04:59:00	160	0,0	0,01
05/03/2021	05:00:00	161	0,0	0,05
05/03/2021	05:01:00	162	0,0	0,03
05/03/2021	05:02:00	163	0,0	0,10
05/03/2021	05:03:00	164	0,0	0,01
05/03/2021	05:04:00	165	0,0	0,12
05/03/2021	05:05:00	166	0,0	0,05
05/03/2021	05:06:00	167	0,0	0,10
05/03/2021	05:07:00	168	0,0	0,09
05/03/2021	05:08:00	169	0,0	0,12
05/03/2021	05:09:00	170	0,0	0,18
05/03/2021	05:10:00	171	0,0	0,09
05/03/2021	05:11:00	172	0,0	0,01
05/03/2021	05:12:00	173	0,0	0,13
05/03/2021	05:13:00	174	0,0	0,32
05/03/2021	05:14:00	175	0,0	0,03
05/03/2021	05:15:00	176	0,0	0,01
05/03/2021	05:16:00	177	0,0	0,20
05/03/2021	05:17:00	178	0,0	0,22

Data	Hora	Tempo (min)	Precipitação (mm)	Vazão (cm <sup>3</sup> /s)
05/03/2021	05:18:00	179	0,0	0,22
05/03/2021	05:19:00	180	0,0	0,22

**Tabela D.5 - Evento 11: Precipitação e Vazão em resolução temporal de minuto.**

Data	Hora	Tempo (min)	Precipitação (mm)	Vazão (cm <sup>3</sup> /s)
26/03/2021	10:04:00	0	0,2	0,0
26/03/2021	10:05:00	1	0,2	0,0
26/03/2021	10:06:00	2	0,2	1,7
26/03/2021	10:07:00	3	0,2	0,3
26/03/2021	10:08:00	4	0,2	1,6
26/03/2021	10:09:00	5	0,4	2,4
26/03/2021	10:10:00	6	0,8	2,7
26/03/2021	10:11:00	7	1,0	2,7
26/03/2021	10:12:00	8	1,0	2,5
26/03/2021	10:13:00	9	1,2	2,1
26/03/2021	10:14:00	10	0,6	1,6
26/03/2021	10:15:00	11	0,6	1,1
26/03/2021	10:16:00	12	0,6	0,6
26/03/2021	10:17:00	13	0,4	0,2
26/03/2021	10:18:00	14	0,2	0,1
26/03/2021	10:19:00	15	1,0	0,2
26/03/2021	10:20:00	16	0,0	0,3
26/03/2021	10:21:00	17	0,2	0,3
26/03/2021	10:22:00	18	0,0	0,6
26/03/2021	10:23:00	19	0,0	1,1
26/03/2021	10:24:00	20	0,0	1,3
26/03/2021	10:25:00	21	0,0	1,8
26/03/2021	10:26:00	22	0,0	2,2
26/03/2021	10:27:00	23	0,0	2,6
26/03/2021	10:28:00	24	0,0	3,1
26/03/2021	10:29:00	25	0,0	3,5
26/03/2021	10:30:00	26	0,0	3,7
26/03/2021	10:31:00	27	0,0	3,9
26/03/2021	10:32:00	28	0,0	3,6
26/03/2021	10:33:00	29	0,0	3,2
26/03/2021	10:34:00	30	0,0	2,6
26/03/2021	10:35:00	31	0,0	2,0
26/03/2021	10:36:00	32	0,0	1,3
26/03/2021	10:37:00	33	0,0	0,9
26/03/2021	10:38:00	34	0,0	0,2
26/03/2021	10:39:00	35	0,0	0,1

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Vazão (cm<sup>3</sup>/s)</b>
26/03/2021	10:40:00	36	0,0	0,0
26/03/2021	10:41:00	37	0,0	0,2
26/03/2021	10:42:00	38	0,2	0,2
26/03/2021	10:43:00	39	0,0	0,4
26/03/2021	10:44:00	40	0,0	0,5
26/03/2021	10:45:00	41	0,0	0,4
26/03/2021	10:46:00	42	0,0	0,6
26/03/2021	10:47:00	43	0,0	0,5
26/03/2021	10:48:00	44	0,0	0,3
26/03/2021	10:49:00	45	0,0	0,5
26/03/2021	10:50:00	46	0,0	0,5
26/03/2021	10:51:00	47	0,0	0,5
26/03/2021	10:52:00	48	0,0	0,6
26/03/2021	10:53:00	49	0,0	0,4
26/03/2021	10:54:00	50	0,0	0,3
26/03/2021	10:55:00	51	0,0	0,2
26/03/2021	10:56:00	52	0,0	0,1
26/03/2021	10:57:00	53	0,0	0,0
26/03/2021	10:58:00	54	0,0	0,1
26/03/2021	10:59:00	55	0,0	0,2
26/03/2021	11:00:00	56	0,0	0,2
26/03/2021	11:01:00	57	0,0	0,1
26/03/2021	11:02:00	58	0,0	0,2
26/03/2021	11:03:00	59	0,0	0,2
26/03/2021	11:04:00	60	0,0	0,1
26/03/2021	11:05:00	61	0,0	0,2
26/03/2021	11:06:00	62	0,0	0,1
26/03/2021	11:07:00	63	0,0	0,1
26/03/2021	11:08:00	64	0,0	0,1
26/03/2021	11:09:00	65	0,0	0,2
26/03/2021	11:10:00	66	0,2	0,1
26/03/2021	11:11:00	67	0,0	0,2
26/03/2021	11:12:00	68	0,0	0,3
26/03/2021	11:13:00	69	0,0	0,0
26/03/2021	11:14:00	70	0,0	0,2
26/03/2021	11:15:00	71	0,0	0,0
26/03/2021	11:16:00	72	0,0	0,0
26/03/2021	11:17:00	73	0,0	0,0
26/03/2021	11:18:00	74	0,2	0,1
26/03/2021	11:19:00	75	0,0	0,0
26/03/2021	11:20:00	76	0,0	0,0
26/03/2021	11:21:00	77	0,0	0,2
26/03/2021	11:22:00	78	0,0	0,3
26/03/2021	11:23:00	79	0,0	0,2



<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Vazão (cm<sup>3</sup>/s)</b>
26/03/2021	11:24:00	80	0,2	0,4
05/03/2021	11:25:00	81	0,0	0,4
05/03/2021	11:26:00	82	0,0	0,4
05/03/2021	11:27:00	83	0,0	0,3
05/03/2021	11:28:00	84	0,0	0,3
05/03/2021	11:29:00	85	0,0	0,3
05/03/2021	11:30:00	86	0,0	0,3
05/03/2021	11:31:00	87	0,0	0,1
05/03/2021	11:32:00	88	0,0	0,0
05/03/2021	11:33:00	89	0,0	0,0
05/03/2021	11:34:00	90	0,0	0,2
05/03/2021	11:35:00	91	0,0	0,2
05/03/2021	11:36:00	92	0,0	0,3
05/03/2021	11:37:00	93	0,0	0,1
05/03/2021	11:38:00	94	0,0	0,2
05/03/2021	11:39:00	95	0,0	0,2
05/03/2021	11:40:00	96	0,0	0,0
05/03/2021	11:41:00	97	0,0	0,1
05/03/2021	11:42:00	98	0,0	0,3
05/03/2021	11:43:00	99	0,0	0,5
05/03/2021	11:44:00	100	0,0	0,5
05/03/2021	11:45:00	101	0,0	0,5
05/03/2021	11:46:00	102	0,0	0,5
05/03/2021	11:47:00	103	0,0	0,5
05/03/2021	11:48:00	104	0,0	0,6
05/03/2021	11:49:00	105	0,0	0,4
05/03/2021	11:50:00	106	0,0	0,4
05/03/2021	11:51:00	107	0,0	0,4
05/03/2021	11:52:00	108	0,0	0,2
05/03/2021	11:53:00	109	0,0	0,3
05/03/2021	11:54:00	110	0,0	0,2
05/03/2021	11:55:00	111	0,0	0,2
05/03/2021	11:56:00	112	0,0	0,2
05/03/2021	11:57:00	113	0,0	0,2
05/03/2021	11:58:00	114	0,0	0,3
05/03/2021	11:59:00	115	0,0	0,4
05/03/2021	12:00:00	116	0,0	0,5
05/03/2021	12:01:00	117	0,0	0,3
05/03/2021	12:02:00	118	0,0	0,4
05/03/2021	12:03:00	119	0,0	0,6
05/03/2021	12:04:00	120	0,0	0,6
05/03/2021	12:05:00	121	0,0	0,5
05/03/2021	12:06:00	122	0,0	0,5
05/03/2021	12:07:00	123	0,0	0,5

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Vazão (cm<sup>3</sup>/s)</b>
05/03/2021	12:08:00	124	0,0	0,3
05/03/2021	12:09:00	125	0,0	0,3
05/03/2021	12:10:00	126	0,0	0,4
05/03/2021	12:11:00	127	0,0	0,3
05/03/2021	12:12:00	128	0,0	0,3
05/03/2021	12:13:00	129	0,0	0,1
05/03/2021	12:14:00	130	0,0	0,0
05/03/2021	12:15:00	131	0,0	0,0
05/03/2021	12:16:00	132	0,0	0,1
05/03/2021	12:17:00	133	0,0	0,1
05/03/2021	12:18:00	134	0,0	0,1
05/03/2021	12:19:00	135	0,0	0,1
05/03/2021	12:20:00	136	0,0	0,1
05/03/2021	12:21:00	137	0,0	0,2
05/03/2021	12:22:00	138	0,0	0,1
05/03/2021	12:23:00	139	0,0	0,1
05/03/2021	12:24:00	140	0,0	0,1
05/03/2021	12:25:00	141	0,0	0,1
05/03/2021	12:26:00	142	0,0	0,1
05/03/2021	12:27:00	143	0,0	0,1
05/03/2021	12:28:00	144	0,0	0,0
05/03/2021	12:29:00	145	0,0	0,0
05/03/2021	12:30:00	146	0,0	0,0
05/03/2021	12:31:00	147	0,0	0,0
05/03/2021	12:32:00	148	0,0	0,0
05/03/2021	12:33:00	149	0,0	0,2
05/03/2021	12:34:00	150	0,0	0,1
05/03/2021	12:35:00	151	0,0	0,0
05/03/2021	12:36:00	152	0,0	0,1
05/03/2021	12:37:00	153	0,0	0,1
05/03/2021	12:38:00	154	0,0	0,1
05/03/2021	12:39:00	155	0,0	0,1
05/03/2021	12:40:00	156	0,0	0,2
05/03/2021	12:41:00	157	0,0	0,1
05/03/2021	12:42:00	158	0,0	0,0
05/03/2021	12:43:00	159	0,0	0,1
05/03/2021	12:44:00	160	0,0	0,0
05/03/2021	12:45:00	161	0,0	0,2
05/03/2021	12:46:00	162	0,0	0,1
05/03/2021	12:47:00	163	0,0	0,1
05/03/2021	12:48:00	164	0,0	0,1
05/03/2021	12:49:00	165	0,0	0,3
05/03/2021	12:50:00	166	0,0	0,2
05/03/2021	12:51:00	167	0,0	0,2

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Vazão (cm<sup>3</sup>/s)</b>
05/03/2021	12:52:00	168	0,0	0,1
05/03/2021	12:53:00	169	0,0	0,1
05/03/2021	12:54:00	170	0,0	0,0
05/03/2021	12:55:00	171	0,0	0,0
05/03/2021	12:56:00	172	0,0	0,1
05/03/2021	12:57:00	173	0,0	0,1
05/03/2021	12:58:00	174	0,0	0,1
05/03/2021	12:59:00	175	0,0	0,1
05/03/2021	13:00:00	176	0,0	0,1
05/03/2021	13:01:00	177	0,0	0,1
05/03/2021	13:02:00	178	0,0	0,1
05/03/2021	13:03:00	179	0,0	0,1
05/03/2021	13:04:00	180	0,0	0,3
05/03/2021	13:05:00	181	0,0	0,2
05/03/2021	13:06:00	182	0,0	0,3
05/03/2021	13:07:00	183	0,0	0,2
05/03/2021	13:08:00	184	0,0	0,1
05/03/2021	13:09:00	185	0,0	0,3
05/03/2021	13:10:00	186	0,0	0,3
05/03/2021	13:11:00	187	0,0	0,3
05/03/2021	13:12:00	188	0,0	0,3
05/03/2021	13:13:00	189	0,0	0,2
05/03/2021	13:14:00	190	0,0	0,2
05/03/2021	13:15:00	191	0,0	0,1
05/03/2021	13:16:00	192	0,0	0,1
05/03/2021	13:17:00	193	0,0	0,1
05/03/2021	13:18:00	194	0,0	0,1
05/03/2021	13:19:00	195	0,0	0,0
05/03/2021	13:20:00	196	0,0	0,1
05/03/2021	13:21:00	197	0,0	0,1
05/03/2021	13:22:00	198	0,0	0,2
05/03/2021	13:23:00	199	0,0	0,3
05/03/2021	13:24:00	200	0,0	0,5

## 13. ANEXO E – LAUDO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DO BLOCO POROSO

 Associação Brasileira de Cimento Portland	<b>ÁREA DE TECNOLOGIA - LABORATÓRIO</b> <b>RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 123230</b>	1/4
	<b>Interessado:</b> Pisos Pavimenti EIRELI - EPP <b>Endereço:</b> Rod. PR 483 KM 01 S/N - Francisco Beltrão / PR <b>Referência:</b> Orçamento 84025	

<b>Amostra nº:</b> 221614	<b>Data de entrada:</b> 07/06/2019
<b>Material declarado:</b> Peças de concreto permeável para pavimentação	
<b>Objetivo:</b> Determinação do coeficiente de permeabilidade	

### 1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados dos ensaios para determinação do coeficiente de permeabilidade referentes a uma amostra de peças de concreto permeável para pavimentação. Os ensaios foram realizados por constituir parte dos ensaios do Selo de Qualidade ABCP. A amostra recebeu as seguintes identificações:

ABCP	Interessado	
221614	Data da coleta:	29/05/2019
	Data de fabricação:	26/04/2019
	Classe de resistência:	20 MPa
	Modelo:	Retangular
	Dimensões nominais (cm):	20x10x6
	Identificação do lote:	26/04/2019

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

Av. Torres de Oliveira, 76 - CEP 05347-902 - São Paulo/SP - Fone (11) 3760-5300 - Fax (11) 3760-5340 - e-mail: [laboratorio@abcp.org.br](mailto:laboratorio@abcp.org.br)



## 2. MÉTODOS DE ENSAIO E DOCUMENTOS REFERENCIADOS

ABNT NBR 16416:2015 – Pavimentos Permeáveis de Concreto – Requisitos e Procedimentos

## 3. METODOLOGIA

O coeficiente de permeabilidade mede a velocidade de percolação de água e tem relação com a tendência da água infiltrar ou escoar superficialmente. Para medir o coeficiente de permeabilidade de um pavimento intertravado permeável constituído de peças de concreto, utilizou-se o método descrito pela Norma ABNT/NBR 16416/2015.

Para a aplicação do método em laboratório, as condições de execução de um pavimento permeável em campo foram reproduzidas por meio da montagem de uma seção do pavimento com área de 0,6 m<sup>2</sup> de superfície. As peças foram instaladas sobre uma estrutura confinada de pavimento contendo base granular e camada de assentamento, ambas com granulometria aberta sem finos.

## 4. METODO DE ENSAIO

O procedimento consistiu em posicionar um cilindro com diâmetro de (300 mm) ± 10 mm sobre o pavimento. Atentou-se para que não ocorressem vazamentos de água para fora da área interna do cilindro. Antes da realização do ensaio, efetuou-se a pré-molhagem para determinação do volume de água a ser utilizado no ensaio, com saturação da área de ensaio. Na pré-molhagem utilizou-se 3,6kg de água e mediu-se o tempo de infiltração. A metodologia especifica que caso a infiltração da pré-molhagem ocorra em um tempo inferior a 30s, deve se utilizar (18±0,05)kg de água; caso o tempo seja igual ou superior a 30s utilizam-se (3,6 ± 0,05)kg de água para determinar o coeficiente de permeabilidade.

O ensaio deve ser iniciado em até dois minutos após a pré-molhagem. O volume de água determinado pelo tempo da pré-molhagem deve ser vertido no interior do cilindro mantendo-se uma coluna d'água com altura variando entre 10 mm a 15 mm em relação à superfície do pavimento (verificados no lado interno do cilindro).

Deve-se anotar o tempo decorrido entre o início de aplicação da água e a infiltração total, considerada quando não há mais a presença de água na superfície das peças de concreto, ou seja, até que 100% da água seja infiltrada.

---

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

Av. Torres de Oliveira, 76 - CEP 05347-902 - São Paulo/SP - Fone (11) 3760-5300 - Fax (11) 3760-5340 - e-mail: laboratorio@abcp.org.br



## Relatório de ensaio nº 123230

O coeficiente de permeabilidade é calculado através da equação 1:

$$k = \frac{CV}{(D^2t)} \quad \text{Equação 1}$$

- k: Coeficiente de permeabilidade, mm/h
- V: Volume de água infiltrada, L
- D: Diâmetro interno do anel de infiltração, mm
- t: tempo requerido para a infiltração do volume de água, s
- C: 4.583.666.000 – fator de conversão de unidades

## 5. RESULTADOS

O ensaio para determinação do coeficiente de permeabilidade utilizando-se o cilindro de infiltração, executado conforme metodologia descrita anteriormente, tendo-se obtido os resultados apresentados na *Tabela 1*.

*Tabela 1 - Resultados*

Ponto de Ensaio*	Diâmetro do anel (D) (mm)	Tempo da pré-molhagem com 3,6 kg (s)	Massa de água utilizada no ensaio (kg)	Intervalo de tempo - (t) (s)	Coeficiente de permeabilidade (k)			
					(m/s)		(mm/h)	
					Individual	Média	Individual	Média
1	295	3,2	18,0	11,50	2,3x10 <sup>-2</sup>	2,4x10 <sup>-2</sup>	82.441	87.154
				10,78	2,4x10 <sup>-2</sup>		87.947	
				10,41	2,5x10 <sup>-2</sup>		91.073	

\*Após a execução da pré-molhagem, foram realizadas três medidas em um mesmo ponto representativo da superfície do segmento de pavimento.  
Durante a execução dos ensaios, 100% da água do ensaio infiltraram através da superfície do pavimento.

- Data de realização do ensaio: 10/06/2019
- Data de fabricação: 26/04/2019
- Idade no ensaio: 45 dias

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

Av. Torres de Oliveira, 76 - CEP 05347-902 - São Paulo/SP - Fone (11) 3760-5300 - Fax (11) 3760-5340 - e-mail: laboratorio@abcp.org.br



4 / 4

**Relatório de ensaio nº 123230****6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**


O pavimento permeável deve apresentar grau de permeabilidade alta, que corresponde a um coeficiente de permeabilidade acima de  $10^{-3}$  m/s, conforme classificação apresentada na *Tabela 7 - ABNT NBR 16416:2015*.

A amostra ensaiada apresentou coeficiente de permeabilidade de  $2,4 \times 10^{-2}$  m/s sendo classificada com grau de permeabilidade alta, podendo-se considerar 100% permeável.



Eng. Rubens Curti  
Supervisor Técnico

São Paulo, 01 de julho de 2019.



Geol. Arnaldo Forti Battagin  
Chefe do Laboratório  
CREA nº 0600586647

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

Av. Torres de Oliveira, 76 - CEP 05347-902 - São Paulo/SP - Fone (11) 3760-5300 - Fax (11) 3760-5340 - e-mail: laboratorio@abcp.org.br