

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VITOR CAMPIOLO MANOEL PINTO

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS DE  
BLOCOS DE CONCRETO INTERTRAVADOS EM CAMPO MOURÃO-  
PR PARA CONTROLE DE ESCOAMENTO PLUVIAL**

CAMPO MOURÃO

2019

VITOR CAMPIOLO MANOEL PINTO

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS DE  
BLOCOS DE CONCRETO INTERTRAVADOS EM CAMPO MOURÃO-  
PR PARA CONTROLE DE ESCOAMENTO PLUVIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paula Cristina de Souza

CAMPO MOURÃO

2019



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Construção Civil  
Coordenação de Engenharia Civil



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS DE BLOCOS DE  
CONCRETO INTERTRAVADOS EM CAMPO MOURÃO-PR PARA CONTROLE DE  
ESCOAMENTO PLUVIAL**

por

**Vitor Campiolo Manoel Pinto**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 15:30h do dia 28 de junho de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof. Dr. Ewerton Clayton Alves da  
Fonseca**

(UTFPR)

**Prof. Dr. Helton Rogerio Mazzer**

(UTFPR)

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Paula Cristina de Souza**

(UTFPR)

**Orientadora**

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

**Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paula Cristina de Souza**

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.*

## **AGRADECIMENTOS**

Durante essa jornada difícil tive momentos bons e ruins. Nela encontrei pessoas que me ajudaram de certo modo e se tornaram marcantes em minha vida. Logo, nada menos justo do que agradecer a cada um que teve uma participação especial ao longo de minha graduação.

Agradeço primeiramente a Deus, pela minha vida, pelas as oportunidades que tive, pela minha linda família e por me dar forças mesmo que o caminho se mostrava difícil.

À minha Família, especialmente ao meu pai Edson e minha mãe Cristina, por sempre me apoiarem nas minhas decisões e me darem suporte ao longo da graduação, fazendo com que esse sonho se tornasse possível. À minhas irmãs Lívia e Thais pelos conselhos e toda preocupação que sempre tiveram por mim.

A todos meus professores pelos ensinamentos transmitidos durante a graduação, contribuindo para minha formação profissional. À minha orientadora Dr<sup>a</sup> Paula Cristina de Souza, pelo auxílio, apoio e orientação durante este estudo, tornando-o possível. E também ao Fábio, Técnico de laboratório, por toda a ajuda oferecida.

À todos meus amigos que encontrei durante a graduação, pelos grupos de estudos, pelas festas e momentos de descontração e pelo companheirismo em momentos difíceis que passamos ao longo do curso. À bateria infernal devido a todas as festas e apresentações juntos.

Ao Brad, Cansa, Chierrito, Gabi, Guilherme, Japa, Ruan, Tayla e Vini pelos bons momentos que vivemos, saibam que sou muito grato por vocês terem feito parte dessa etapa de minha vida, a vocês meu muito obrigado!

Por fim, a todos aqueles que não foram citados, mas contribuíram de algum modo para realização deste trabalho e participaram da minha jornada acadêmica.

## RESUMO

PINTO, V. C. M. **Análise da eficiência dos pavimentos permeáveis de blocos de concreto intertravados em Campo Mourão-PR para controle de escoamento pluvial**. 2019. 45f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2019.

A crescente urbanização das últimas décadas tem alterado de forma significativa o ciclo hidrológico nos centros urbanos, pois aumenta o coeficiente de escoamento superficial, diminui a infiltração e gera um grande aumento de vazões máximas. Com isso, surgem problemas de drenagem nas cidades, tais como, alagamentos e problemas erosivos em finais de emissários. É possível perceber que os sistemas tradicionais de drenagem têm se mostrado muitas vezes ineficazes, evidenciando a necessidade de estudos de novas soluções. Com o intuito de apresentar uma solução mais sustentável e assertiva para o município de Campo Mourão-PR, este estudo tem como objetivo de avaliar o controle do escoamento por meio de um dispositivo de infiltração, a partir da utilização de pavimentos permeáveis. Para isso, realizou-se os experimentos no campus de Campo Mourão da Universidade Federal Tecnológica do Paraná. Nesta área foram realizados os ensaios de infiltração e textura do solo. Foi construído um simulador de chuva e executou-se três superfícies: blocos de concreto permeável, blocos de concreto e solo natural. Em cada superfície foram simuladas precipitações máximas baseadas na curva IDF da cidade de Campo Mourão. A partir do volume de chuva projetado e do volume escoado recolhido, foi possível calcular o coeficiente de escoamento superficial para cada superfície. Mediante a análise da taxa de infiltração do solo e dos coeficientes de escoamento superficial gerados, é possível afirmar que os blocos de concreto são uma solução viável para controle de escoamento, levando em consideração as condições locais encontradas no campus da UTFPR de Campo Mourão-PR, o que tornaria o ciclo hidrológico mais próximo da condição de pré-urbanização.

**Palavras-chave:** Pavimentos permeáveis. Drenagem sustentável. Blocos de concreto intertravados.

## ABSTRACT

PINTO, V. C. M. **Interlocking concrete pavers permeable efficiency analysis for rainfall flow control in Campo Mourão-PR.** 2019. 45f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2019.

The increasing urbanization in the last decades has significantly altered the hydrological cycle in urban centers, increasing the runoff coefficient, reducing infiltration and generating a great increase in flow volume. As a result, urban drainage problems arise, such as flooding and erosion problems at the end of the pipeline. Therefore, it is possible to note that drainage systems were ineffective, evidencing the need for new solution studies. With the objective of presenting a more sustainable and assertive solution for the municipality of Campo Mourão in the state of Paraná (PR), this work aims to evaluate the flow control through an infiltration device, through permeable pavements. To this end, the experiments were carried out at the Federal Technological University of Paraná Campo Mourão campus. In this area, soil infiltration and texture tests were performed. A rainfall simulator was built and three surfaces were tested: permeable concrete paver, concrete paver and natural soil. On each surface, the maximum precipitation was calculated based on the city's IDF curve. From the volume of precipitation projected and the drained volume collected, it was possible to calculate the runoff coefficient for each specific surface. By analyzing the infiltration rate and the flow coefficients generated, it is possible to state that permeable pavements is a viable solution for flow control, taking into account the UTFPR campus's local conditions, rendering the hydrological cycle closer to a pre-urbanization condition.

**Keywords:** Permeable pavement. Sustainable drainage. Interlocking concrete pavers.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1- Balanço hídrico.</b> .....	14
<b>Figura 2- escoamento superficial.</b> .....	15
<b>Figura 3- Efeito da urbanização.</b> .....	16
<b>Figura 4- Estrutura do pavimento permeável.</b> .....	21
<b>Figura 5- Sistema reservatório e bomba afogada.</b> .....	24
<b>Figura 6- Malha de PVC com microaspersores nas três superfícies: a) Blocos de concreto permeável b) Blocos de concreto c) Solo natural.</b> .....	25
<b>Figura 7- Execução do ensaio dos anéis concêntricos.</b> .....	26
<b>Figura 8 - Localização da área de estudo.</b> .....	27
<b>Figura 9- Ensaio de <math>W_I</math> e de <math>W_p</math>.</b> .....	27
<b>Figura 10- Montagem dos blocos de concreto.</b> .....	28
<b>Figura 11- Superfícies avaliadas: a) Blocos de concreto poroso b) Blocos de concreto c) Solo natural.</b> .....	29
<b>Figura 12- Sistema de calha para captação e armazenamento.</b> .....	31
<b>Figura 13- Balança para aferir a massa de água escoada.</b> .....	32
<b>Figura 14- Peça de madeira encontrado abaixo do ensaio A.</b> .....	33
<b>Figura 15- Curva de fluidez.</b> .....	34
<b>Figura 16 - Velocidade de infiltração ensaio B.</b> .....	35
<b>Figura 17- Velocidade de infiltração ensaio C.</b> .....	35
<b>Figura 18- Velocidade de infiltração ensaio D.</b> .....	36
<b>Figura 19 - Coeficiente de escoamento para diferentes superfícies.</b> .....	41

## LISTAS DE TABELAS

<b>Tabela 1 - Determinação da granulometria da brita. ....</b>	<b>37</b>
<b>Tabela 2- Ensaio blocos de concreto. ....</b>	<b>38</b>
<b>Tabela 3- Avaliação do escoamento dos blocos de concreto.....</b>	<b>38</b>
<b>Tabela 4- Ensaio blocos de concreto permeável.....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 5- Avaliação do escoamento dos blocos de concreto permeável. ....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 6- Ensaio solo natural.....</b>	<b>40</b>
<b>Tabela 7- Avaliação do escoamento no solo natural. ....</b>	<b>40</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BMP	<i>Best Management Practices</i>
DMC	Dimensão Máxima Característica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IDF	Intensidade Duração Frequência
le	Taxa de Infiltração do Solo
IP	Índice de Plasticidade
Ip	Intensidade Máxima de Chuva de Projeto
LID	<i>Low Impact Development</i>
WI	Limite de Liquidez
Wp	Limite de Plasticidade
VIB	Velocidade de Infiltração Básica
V Prec	Volume Precipitado
Vr	Volume a Ser Retido

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>12</b>
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>13</b>
<b>4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>14</b>
<b>4.1 Impactos da Urbanização no Ciclo Hidrológico</b> .....	<b>14</b>
<b>4.2 Alteração do Escoamento Superficial em Bacias Urbanas</b> .....	<b>15</b>
<b>4.3 Medidas de Controle de Escoamento</b> .....	<b>16</b>
<b>4.4 Pavimento Permeável</b> .....	<b>17</b>
4.4.1 Influência das características do solo nos pavimentos permeáveis .....	18
4.4.2 Vantagens e desvantagens do pavimento permeável .....	19
4.4.3 Manutenção do pavimento permeável .....	19
4.4.3 Estrutura do pavimento permeável.....	20
<b>4.5 Intensidade Máxima de Chuva de Projeto</b> .....	<b>21</b>
<b>5 MATERIAL E METODOS</b> .....	<b>23</b>
<b>5.1 Dados Pluviométricos</b> .....	<b>23</b>
<b>5.2 Simulador de Chuva</b> .....	<b>23</b>
<b>5.3 Determinação da Velocidade de Infiltração e Plasticidade do Solo.</b> .....	<b>25</b>
<b>5.4 Montagem das Superfícies e Dimensionamento do Reservatório</b> .....	<b>28</b>
<b>5.5 Cálculo do Coeficiente de Escoamento Superficial</b> .....	<b>30</b>
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>33</b>
<b>6.1 Capacidade de Infiltração do Solo e Suas Características</b> .....	<b>33</b>
<b>6.2 Dimensionamento do Reservatório de Brita</b> .....	<b>36</b>
<b>6.2 Escoamento Superficial Gerado nas Superfícies</b> .....	<b>37</b>
<b>7 CONCLUSÕES</b> .....	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>43</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente urbanização das últimas décadas fez com que se criassem grandes centros urbanos, alterando a condição de uso e ocupação do solo, que antes era coberto por vegetação, atualmente impermeabilizado por superfícies de concreto, asfalto e construções de edifícios.

Devido ao aumento das áreas impermeáveis, o ciclo hidrológico é alterado e surgem problemas na drenagem urbana, pois muitas vezes os sistemas de drenagem são insuficientes podendo causar inundações. Mesmo quando esses sistemas são eficazes os problemas são transferidos para jusante, pois transportam poluentes e criam erosões em finais de emissários, tais como as voçorocas.

O extravasamento do sistema de drenagem por falta de capacidade ou obstrução é danoso a população, pois a água acumulada apresenta grande quantidade de organismos patogênicos prejudiciais à saúde, podendo causar doenças como cólera ou outras (CRUZ; SOUZA; TUCCI, 2007).

Em vista disso, nas últimas décadas foram desenvolvidos novos estudos de tecnologias de drenagem, como os pavimentos permeáveis, que visam tornar as características da bacia mais próximas das condições de pré-urbanização, diminuindo a área impermeável, possibilitando a infiltração e, por consequência, reduzindo o escoamento superficial.

Portanto, neste trabalho será analisado a eficiência dos pavimentos permeáveis, uma alternativa mais econômica quando comparada às obras de drenagem convencionais e viável em áreas urbanas com pouca disponibilidade de espaço. Esses dispositivos compensam os efeitos da urbanização na fonte, evitando que a água seja transportada até as redes de drenagem e são eficazes na diminuição das vazões máximas e suas estruturas de infiltração permitem a recarga das águas subterrâneas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar a eficiência do uso do pavimento permeável para controle de escoamento pluvial na cidade de Campo Mourão/PR.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Identificar a velocidade básica de infiltração do solo de Campo Mourão/PR;
- Avaliar o coeficiente de escoamento superficial dos blocos de concreto permeável, dos blocos de concreto e do solo natural;
- Comparar a eficiência das superfícies testadas para controle do escoamento pluvial.

### 3 JUSTIFICATIVA

O processo de urbanização tem acontecido muito rapidamente e, na maioria das vezes, de forma desordenada, sem planejamento e condução adequada do uso e ocupação do solo. Com isso, o aumento de áreas impermeáveis causa impactos significativos na drenagem de águas pluviais, os quais são tratados de forma secundária e acabam causando alagamentos e problemas erosivos, tais como assoreamento de rios e voçorocas. (SILVA, 2006).

A drenagem urbana no Brasil utiliza soluções tradicionais, que são voltadas para canalização do escoamento, com a intenção de transportar o mais rápido possível a água pluvial para fora do centro urbano.

De fato, o aumento de áreas impermeabilizadas devido ao crescimento acelerado das cidades evidenciou as limitações dos sistemas de drenagem tradicionais, que alteram o ciclo hidrológico negativamente.

Embora no Brasil se tenha poucos relatos da utilização de técnicas para controle de escoamento que aumentam a infiltração, estudos tem se consolidado internacionalmente, mostrando que esses dispositivos são uma solução viável quando comparadas com as soluções tradicionais, compensando os impactos da urbanização sobre o escoamento superficial.

Em virtude disso, torna-se necessário o estudo de técnicas de drenagem mais sustentáveis que visam o aumento de infiltração e o retardo do escoamento, tais como os pavimentos permeáveis, minimizando as alterações no ciclo hidrológico causado pelo homem.

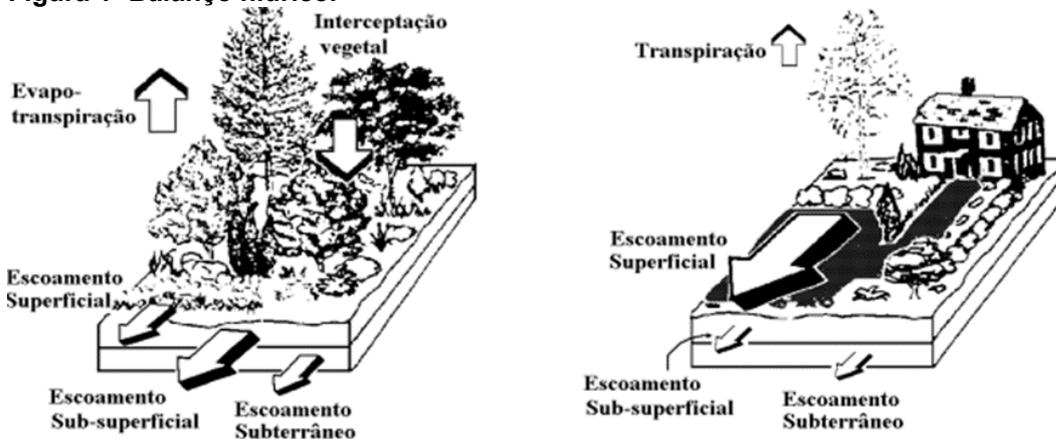
## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1 Impactos da Urbanização no Ciclo Hidrológico

Os principais impactos nos ciclos hidrológicos causados pela urbanização são: o aumento do escoamento superficial, devido ao volume de água que deixa de infiltrar e fica retido na superfície; o aumento da vazão máxima, já que a construção de condutos pluviais diminui o tempo de deslocamento da água, antecipando os picos; a redução da evapotranspiração, devido a substituição da cobertura natural e a redução do escoamento subterrâneo (Figura 1). Pode-se observar, também, a ocorrência do rebaixamento do lençol freático e a contaminação das águas superficiais e subterrâneas (TUCCI, 2006).

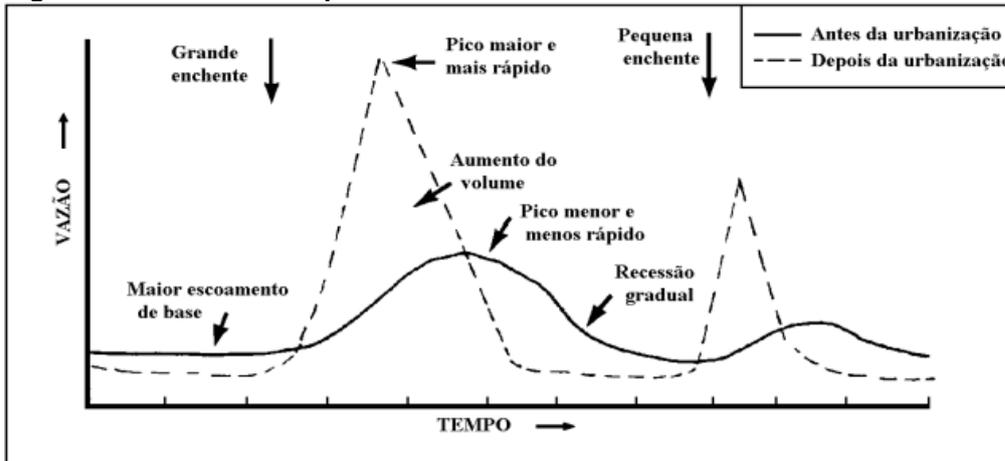
Logo, a urbanização altera os picos de fluxos, escoamento total e a qualidade da água (Figura 2), e dentre todos os tipos de ocupação e modificações do solo, é a mais danosa, sendo a que mais afeta a hidrologia de uma área (LEOPOLD, 1968).

Figura 1- Balanço hídrico.



Fonte: TUCCI (2006).

Figura 2- Escoamento superficial.



Fonte: TUCCI (2006).

#### 4.2 Alteração do Escoamento Superficial em Bacias Urbanas

O escoamento superficial é gerado a partir das precipitações. Parte da água da chuva é retida por obstáculos como a vegetação e evaporada posteriormente. O restante da água atinge a superfície do solo, desta porção de água parte se infiltra ou fica retida em depressões geográficas e seu restante escoou pela superfície assim que a capacidade de infiltração é superada pela precipitação, formando o escoamento superficial (PINTO et al, 1976).

A vazão de escoamento depende das características de infiltração, declive da terra, tipo de solo, cobertura vegetal e a porcentagem de área impermeável (LEOPOLD, 1968). Esta vazão de escoamento superficial pode ser definida conforme a seguinte equação (TUCCI, 2000):

$$Q = C * I * A \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

- C é o coeficiente de escoamento superficial;
- I é a intensidade da precipitação;
- A é a área que houve precipitação.

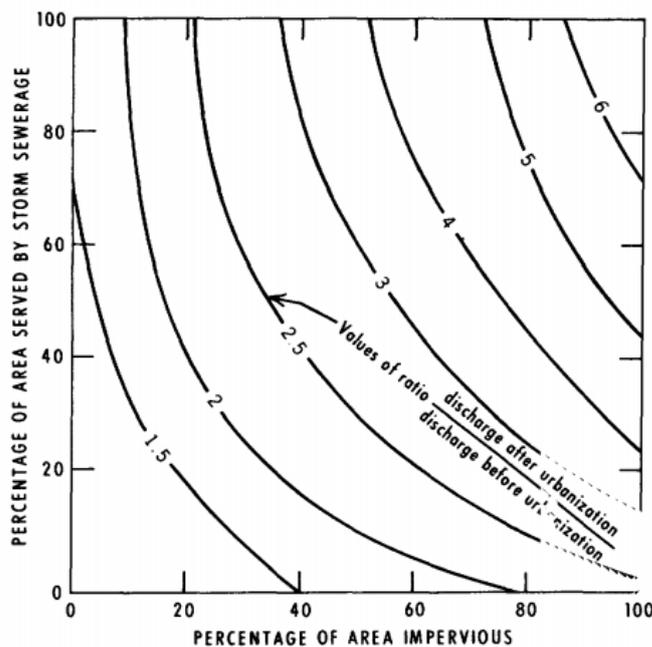
O coeficiente de escoamento superficial (C) representa a quantidade de água escoada em um evento chuvoso (TUCCI, 2000). Este coeficiente é calculado de

acordo com as características da superfície, o tipo de solo, a umidade antecedente, o coeficiente de permeabilidade do solo, a taxa de ocupação e o tempo de concentração, apresentando valores de mais próximos de 1 em áreas urbanas predominantemente impermeáveis (GAROTTI; BARBASSA, 2010).

Por consequência, aumenta-se a frequência e magnitude de inundações e assoreamentos após a urbanização, que por meio da ocupação do solo, impermeabilização e construção de condutos pluviais, amplia-se o volume de escoamento (TUCCI, 2002).

Portanto, a vazão máxima de cheia de uma bacia pode aumentar até seis vezes com a urbanização e este aumento pode ser relacionado com as porcentagens de área com condutos e área urbanizada, como apresentado na Figura 3. (LEOPOLD, 1968).

**Figura 3- Efeito da urbanização.**



Fonte: LEOPOLD (1968).

### 4.3 Medidas de Controle de Escoamento

De acordo com sua atuação na bacia hidrográfica as medidas de controle de escoamento são divididas em: microdrenagem, macrodrenagem e distribuída ou na fonte (TUCCI, 2006).

Segundo Dias e Antunes (2010) a microdrenagem é um sistema utilizado para atender precipitações de riscos moderados, formado por condutos pluviais ou canais de uma rede primária ou loteamento, enquanto a macrodrenagem é um conjunto de microdrenagens responsável pela drenagem de áreas com mais de 200 km<sup>2</sup>.

Já o controle na fonte pode ser definido como um sistema utilizado para drenar um lote, condomínio, estacionamento, parques e passeios públicos (IPH, 2005). De acordo com Fletcher et al (2014) o termo foi utilizado primeiramente para diferenciar os sistemas de drenagem que gerenciam o escoamento mais próximo da área geradora, em oposição aos sistemas de drenagem convencionais que transportam o volume de escoamento para jusante.

As técnicas de controle na fonte, conhecidas também por medidas compensatórias, *Best Management Practices* (BMP) ou *Low Impact Development* (LID), são divididas em medidas estruturais e não estruturais. As medidas não estruturais são regulamentações sobre uso do solo e o manejo sustentável das águas pluviais e as medidas estruturais referem-se a obras pontuais ou lineares de grande ou pequeno porte, ambas com o objetivo de regular a vazão de escoamento (TOMINAGA, 2013).

Algumas vezes a única saída para solução dos problemas de drenagem urbana são os métodos de controle na fonte, tendo em vista o alto custo dos mecanismos convencionais de drenagens e seus impactos ambientais em casos que a taxa de impermeabilização do solo da bacia é muito alta (ACIOLI, 2005).

As medidas de controle na fonte podem aumentar as áreas de infiltração e percolação ou prover armazenamento temporário em reservatórios residenciais. Dentre os dispositivos de controle que aumentam as áreas de infiltração pode-se citar os planos de infiltração, valos de infiltração, bacias de percolação, dispositivos hidráulicos permeáveis e os pavimentos permeáveis (TUCCI, 2006).

#### **4.4 Pavimento Permeável**

Os pavimentos permeáveis são similares aos pavimentos convencionais, pois também absorvem as cargas de tráfego leve, entretanto, permitem a passagem de água e ar através da sua estrutura e podem ser utilizados, do mesmo modo, em ruas, estacionamentos, pátios entre outros. Dentre os tipos de pavimentos permeáveis pode-se citar os blocos de concreto permeáveis, concreto poroso, asfalto poroso e

grid de concreto ou plástico, sendo os que melhor suportam esforços devido ao fluxo de veículos os blocos de concreto vazados, concreto poroso e asfalto poroso (BECCIU; MARCHIONI, 2014).

A eficiência desses dispositivos foi comprovada por Araújo, Tucci e Goldenfum, (2000) que a partir da utilização da técnica do simulador de chuvas, analisou pavimentos de concreto poroso e de blocos vazados, obtendo um escoamento superficial quase nulo.

Em virtude disso, sua utilização em meios urbanos é diversa, embora seja recomendado somente em ruas de baixo tráfego, é uma boa alternativa para áreas com pouca disponibilidade de espaço superficial (IMADA, 2014).

A utilização do pavimento permeável também se mostrou eficaz sob o ponto de vista econômico, pois os custos adicionais de construção e manutenção, quando comparado aos pavimentos convencionais, são compensados devido à redução dos danos referentes as falhas dos sistemas de drenagem convencionais, tais como alagamentos e inundações, pois o escoamento superficial gerado será menor, devido ao aumento da infiltração (DIAS; ANTUNES, 2010).

#### 4.4.1 Influência das características do solo nos pavimentos permeáveis

A infiltração e o grau de saturação do solo influenciam diretamente no escoamento superficial. Na medida que a capacidade de infiltração do solo é superada pela precipitação, inicia-se o escoamento superficial (PINTO; et al, 1976).

Em virtude disso, para aplicação dos pavimentos permeáveis é necessário o conhecimento dos parâmetros do solo, pois esses dispositivos dependem de sua permeabilidade. Segundo Souza e Alves (2003) a quantidade, continuidade e tamanho dos poros, assim como seu grau de compactação influencia diretamente na velocidade de infiltração e na condutividade hidráulica do solo que, conseqüentemente, interferirá na resolução de problemas nas áreas de irrigação, drenagem, conservação da água e do solo e controle do deflúvio superficial.

Portanto, torna-se necessário o conhecimento da velocidade de infiltração básica do solo (VIB) para dimensionamento do reservatório de brita do pavimento permeável. Segundo Daker (1984) a medida que a infiltração da água da chuva atinge uma profundidade maior e camada de superficial torna-se praticamente saturada, a velocidade de infiltração do solo tende a um valor constante.

#### 4.4.2 Vantagens e desvantagens do pavimento permeável

Os pavimentos permeáveis são dispositivos interessantes para controle de escoamento, mas deve-se conhecer suas vantagens e desvantagens para melhor entendimento desta tecnologia. Quanto as principais vantagens podemos elencar as seguintes:

- Redução no volume a ser escoado na rede de drenagem diminuindo o risco de inundação a jusante (CIRIA, 1996);
- Preservação natural da recarga do lençol freático (SCHUELER, 1987);
- Auxílio na manutenção da vazão de base de pequenos rios no perímetro urbano (URBONAS; STAHR, 1993);
- Controle de erosão do solo (PINTO, 2011);
- Aumento de segurança e conforto nas vias, pois diminui o acúmulo de água e o ruído (EPA, 1999);

Todavia, essa tecnologia apresenta algumas desvantagens tais como:

- Necessidade de manutenção frequente, para evitar a colmatação desses dispositivos, o que diminui sua eficiência (URBONAS; STAHR, 1993);
- Risco de contaminação de aquíferos a depender de sua suscetibilidade e das condições do solo local (EPA, 1999);
- Necessidade de mão de obra qualificada para execução, devido ao risco de obstrução do sistema durante a construção (PINTO, 2011);
- A falta de manutenção correta pode ocasionar o entupimento da camada superficial ou do reservatório e o reparo do sistema se tornará difícil e caro (COLLINS; HUNT; HATHAWAY, 2007).

#### 4.4.3 Manutenção do pavimento permeável

A manutenção periódica dos pavimentos permeáveis influencia diretamente na eficiência desses dispositivos ao longo de sua vida útil, pois o processo de colmatação leva a um aumento do coeficiente de escoamento dessas superfícies (ACIOLI, 2005).

Alguns autores, tais como Urbanas e Stahre (1993), Schueler (1987), Ciria (2000) e Butler e Davies (2004) são unânimes quanto a necessidade de manutenção desses sistemas. Segundo EPA (2000), a varredura a vácuo do pavimento e lavagem de alta pressão são soluções para aumentar a longevidade dos pavimentos permeáveis.

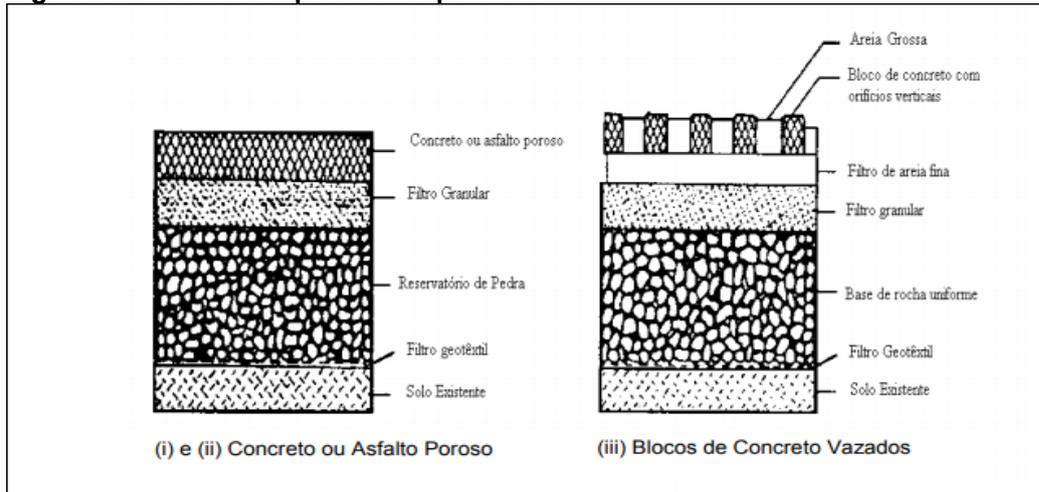
Sendo assim, a rotina de manutenção deve ser preventiva, para que desta forma mantenha-se a capacidade de infiltração do revestimento, evitando assim gastos futuros exacerbados devido a falta de manutenção (ACIOLI, 2005).

#### 4.4.3 Estrutura do pavimento permeável

Os pavimentos permeáveis, assim como os pavimentos convencionais, são constituídos basicamente dos mesmos componentes. Os pavimentos permeáveis podem ser compostos por camadas de base, camada filtrante, geomembrana, geotextil, pavimento, sobrecamada, estrutura do pavimento, reservatório, sub-base, subleito e revestimento, não havendo a necessidade de conter todos estes componentes, mas de uma combinação que atenda suas necessidades funcionais (VIRGILIS, 2009).

Esses pavimentos possuem uma estrutura composta por uma camada superior de revestimento drenante, assentada sobre camadas de material granular. Sob este revestimento é disposta uma camada filtrante e, a seguir, uma camada de brita com alto índice de vazios (Figura 4). Nas interfaces da camada de brita são utilizados filtros para evitar a migração de finos para a base do pavimento (DIAS; ANTUNES, 2010).

**Figura 4- Estrutura do pavimento permeável.**



Fonte: (URBONAS; STAHR, 1993) <sup>1</sup> apud (ARAÚJO; TUCCI; GOLDENFUM, 2000).

Essas camadas de brita, de acordo com Acirole (2005), tem como função a transmissão dos esforços aplicados na camada superior até o solo de suporte, e de armazenar a água proveniente das precipitações até sua completa infiltração no solo.

Portanto, segundo Araújo, Tucci e Goldenfum (2000), esse reservatório de brita deve ser dimensionado estimando o volume de escoamento a ser retido, por meio da análise da taxa de infiltração do solo e das intensidades máximas de chuvas de projeto provenientes da análise de dados das precipitações.

#### 4.5 Intensidade Máxima de Chuva de Projeto

Para o cálculo da intensidade máxima de chuva de projeto é necessário a determinação da precipitação que ocorrerá sobre uma área, em uma duração qualquer, com probabilidade de ocorrência em qualquer ano. Para relacionar essas variáveis pode ser utilizada a curva de Intensidade Duração-Frequência (curva IDF), obtida a partir de análises estatísticas de séries longas, segundo Collischonn e Tassi, (2010).

$$I = a * \frac{Tr^b}{(Td+c)^d} \quad \text{Equação (2)}$$

<sup>1</sup> URBONAS, B.; STAHR, P. **Stormwater Best Management Practices and Detention**: 1993. New Jersey: Prentice Hall. 450p.

Onde:

- $I$  é a intensidade da chuva;
- $Tr$  é o período de retorno em anos;
- $Td$  é a duração da precipitação em minutos;
- $a, b, c$  e  $d$  são parâmetros regionais.

Segundo Silva (2006), o período de retorno para obras de microdrenagem variam entre 2 e 10 anos, logo neste estudo será utilizado 10 anos, sendo compatível com o período de retorno utilizado por Acioli (2005). Para a duração da precipitação será utilizado 10 minutos, assim como, proposto por Araújo, Tucci e Goldenfum (2000).

## 5 MATERIAL E METODOS

A fim de atingir os objetivos, este trabalho utilizou a curva IDF para a cidade de Campo Mourão/PR com o intuito de simular uma chuva com período de retorno de 10 anos e duração de 10 minutos, determinou a velocidade de infiltração do solo mediante ensaio de infiltração, construiu um simulador de chuva, executou três superfícies e avaliou os respectivos escoamentos superficiais gerados.

### 5.1 Dados Pluviométricos

Para o cálculo da intensidade máxima de chuva de projeto ( $I_p$ ) será utilizada a curva IDF com período de retorno de 10 anos e duração da precipitação de 10 minutos, como descrito no item 4.5. A curva IDF para a cidade de Campo Mourão, segundo Arantes et al (2009) é representada pela equação 3:

$$I_p = \frac{901,51 * Tr^{0,1803}}{(Td+11)^{0,7508}} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

- $I_p$  é a intensidade da chuva;
- $Tr$  é o período de retorno em anos;
- $Td$  é a duração da precipitação em minutos.

Logo com  $Tr= 10$  anos e  $Td= 10$  minutos a intensidade máxima de chuva de projeto obtida é de 138,85 mm/h, ou seja, a precipitação a ser simulada foi de aproximadamente 23,14 mm em um intervalo de 10 minutos, com vazão de 2,31 litros/minuto para 1m<sup>2</sup>.

### 5.2 Simulador de Chuva

Para a simular a precipitação montou-se um sistema com uma caixa d'água de 310 litros, sendo está o reservatório para uma bomba afogada (BCR- 2010 de 0,5 CV com tensão de 220 volts) que após passar por um hidrômetro (figura 5) foi ligada a

uma malha de com três canos de PVC de 25 mm, nos quais, conectou-se 8 aspersores MA-30, com vazão máxima de 27,6 litros/hora.

Em seguida, a malha foi fixada acima das superfícies a uma altura de aproximadamente 40 cm, de modo a evitar que as precipitações simuladas fossem direcionadas sobre o sistema de calhas (figura 6).

Depois disso, o controle da vazão de entrada foi feito com a instalação de um registro de pressão após o hidrômetro, dessa forma, foi possível regular uma vazão próxima a desejada.

Para minimizar a interferência do vento nas chuvas simuladas, as superfícies ensaiadas foram circundadas por lonas.

**Figura 5– Sistema reservatório e bomba afogada.**



Fonte: Autoria Própria (2018).

**Figura 6– Malha de PVC com microaspersores nas três superfícies: a) Blocos de concreto permeável b) Blocos de concreto c) Solo natural.**



Fonte: Autoria Própria (2018).

### **5.3 Determinação da Velocidade de Infiltração e Plasticidade do Solo.**

Com o objetivo determinar a velocidade básica de infiltração (VIB) do solo de Campo Mourão/PR, para posterior dimensionamento do reservatório de brita do pavimento permeável, foram realizados ensaios de infiltração.

Portanto, utilizou-se o método dos anéis concêntricos, pois é de simples execução e capaz de obter resultados satisfatórios. Este ensaio foi executado baseado na metodologia do manual de operação da empresa Soil Moisture, 2830K1, de junho de 2009.

O ensaio consiste na utilização de dois anéis concêntricos de chapas metálicas com diâmetros de 25 e 50 cm, que foram cravados verticalmente no solo, com o auxílio de uma chapa em cruz e duas marretas de 10 e 2 kg, em uma profundidade de aproximadamente 10 cm, até que o solo se nivelasse com a linha exterior demarcada nos anéis (figura 7).

**Figura 7– Execução do ensaio dos anéis concêntricos.**



**Fonte: Autoria Própria (2018).**

Após a fixação dos anéis concêntricos, manteve-se uma reserva de água em baldes próximos ao ensaio conforme recomendado pelo manual de operação 2830K1, de modo a evitar que os níveis do anel externo e interno variasse muito entre si. Um nível maior do anel externo levaria a uma taxa de infiltração menor e um nível menor do anel externo diminuiria o bloqueio da infiltração lateral, obtendo uma taxa de infiltração maior (SOIL MOISTURES, 2009).

Por fim, com o auxílio de um cronômetro com precisão de segundos, foram medidos os níveis da boia milimetrada (figura 7) nos intervalos de tempo de 0,1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 300 e 360 minutos e posteriormente calculou-se a velocidade básica de infiltração do solo. O ensaio foi finalizado quando a variação da taxa de infiltração tornou-se menor que 10% (SOIL MOISTURE, 2009). e se aproximou de um valor constante (DAKER, 1984).

Foram realizados quatro ensaios no campus da UTFPR-CM para obtenção de um VIB satisfatório, visto que o solo é um material muito heterogêneo.

Os quatro ensaios foram executados ao lado do bloco H (figura 8) sendo denominados de Ensaio A, B, C e D.

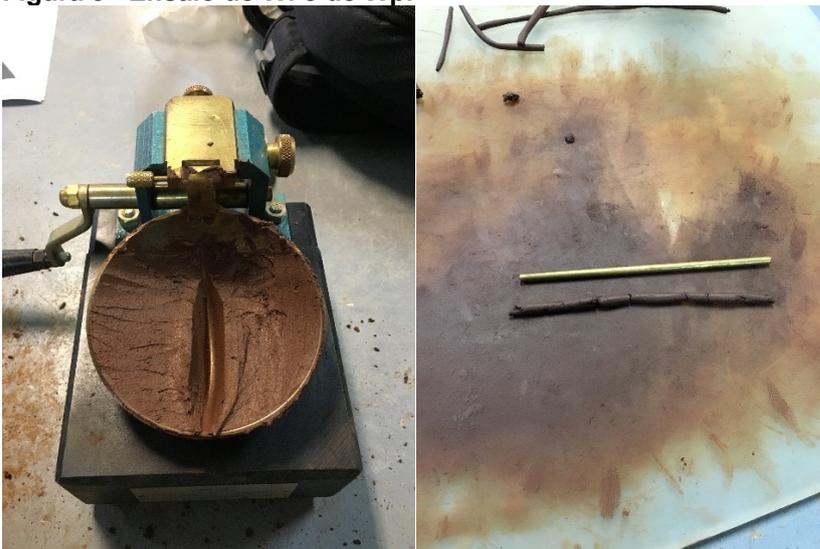
**Figura 8 – Localização da área de estudo.**



Fonte: Google Maps (2019).

Além disso, executou-se os ensaios de Limite de Liquidez (WL) e Limite de Plasticidade (Wp) conforme a figura 9, seguindo as premissas da NBR 6459 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016) e da NBR 7180 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016), para cálculo do índice de plasticidade (IP) para posteriormente obter um contraponto entre a textura e taxa de infiltração do solo obtida nos ensaios.

**Figura 9– Ensaio de WL e de Wp.**



Fonte: Aatoria Própria (2018).

#### 5.4 Montagem das Superfícies e Dimensionamento do Reservatório

Os blocos de concreto foram executados com estrutura similar ao descrito no 4.4.2, contendo uma camada superficial drenante, uma camada de areia de aproximadamente 3,0 cm para melhor assentamento dos blocos, uma manta geotêxtil (Bidim) para impedir a passagem de finos e um reservatório composto por brita, conforme figura 10.

**Figura 10– Montagem dos blocos de concreto.**



**Fonte: Autoria Própria (2018).**

Sendo assim, foram testadas duas camadas superficiais drenantes, uma composta por blocos de concreto poroso intertravados com junta seca e outra com blocos de concreto intertravados com junta preenchida com areia, ambas com declividade de 2%. Para confronto de resultados utilizou-se uma superfície descoberta de vegetação com solo natural. As superfícies executadas com blocos de concretos intertravados possuíam a dimensão de 0,92m<sup>2</sup> e a superfície de solo natural com aproximadamente 1m<sup>2</sup>. (figura 11).

**Figura 11– Superfícies avaliadas: a) Blocos de concreto poroso b) Blocos de concreto c) Solo natural.**



Fonte: Aatoria Própria (2018).

O reservatório de brita foi dimensionado avaliando apenas aspectos hidráulicos-hidrológicos, visto que, esse trabalho não tem o objetivo de avaliar o comportamento mecânico dos pavimentos.

Portanto, para o dimensionamento do reservatório foi seguido o modelo proposto por Araújo, Tucci e Goldenfum (2000). Logo, os cálculos do volume de escoamento a ser retido pelo reservatório ( $V_r$ ) foi obtido a partir das seguintes formulações:

$$V_r = (i_p - i_e) \cdot t_d \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

- $V_r$  é o volume de escoamento a ser retido pelo reservatório (mm);
- $i_p$  é a intensidade máxima de chuva definida em projeto (mm/h);
- $i_e$  é taxa de infiltração do solo (mm/h);
- $t_d$  é o tempo de duração da precipitação (horas);

Em seguida, foi feito o dimensionamento da profundidade do reservatório determinado conforme as formulações:

$$H = \frac{V_r}{f} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

- H é a profundidade do reservatório de brita (mm);
- Vr é o volume de escoamento a ser retido pelo reservatório (mm);
- $f$  é a porosidade do material do reservatório;

Para determinação da porosidade da brita foi feita a classificação de sua dimensão máxima característica (DMC), de acordo com a NBR 7217 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987).

### 5.5 Cálculo do Coeficiente de Escoamento Superficial

Para o cálculo do coeficiente de escoamento superficial gerado nos dois tipos de pavimentos permeáveis foi necessário a construção de um sistema de calhas de tubos de PVC para esgoto, com diâmetros de 100 milímetros cerrados ao meio, com uma extremidade fechada e outra extremidade direcionada até um reservatório (figura 12) onde mensurou-se o volume de escoamento gerado.

A partir desse volume calculou-se o coeficiente de escoamento superficial (C), dado pela equação:

$$C = \frac{\text{Volume escoado}}{\text{Volume precipitado}} \quad \text{Equação (8)}$$

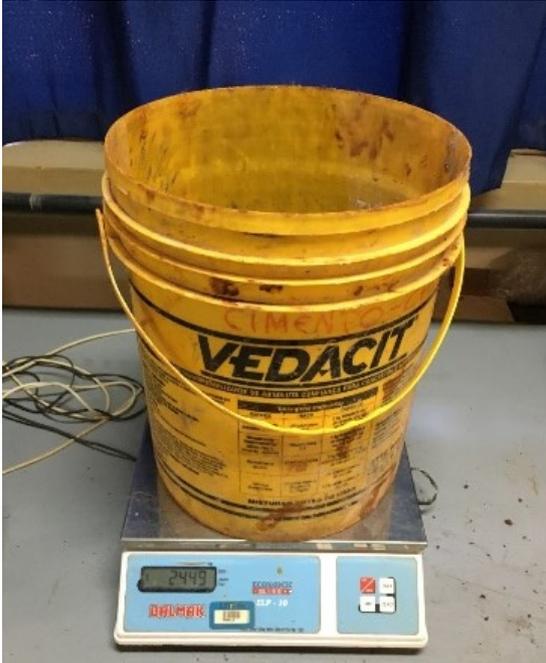
**Figura 12– Sistema de calha para captação e armazenamento.**



**Fonte: Autoria Própria (2018).**

O volume precipitado foi mensurado a partir da medição do hidrômetro sendo a diferença de vazão contínua de um intervalo de tempo de 10 minutos. Já o volume escoado foi determinado a partir da massa da água coletada, aferida por uma balança digital (figura 13).

**Figura 13– Balança para aferir a massa de água escoada.**



**Fonte: Aatoria Própria (2018).**

Realizou-se três ensaios em cada superfície, sendo estes realizados em dias diferentes para um resultado mais condizente com a realidade. A partir desses três ensaios realizou-se a média do coeficiente de escoamento superficial gerado para cada superfície analisada.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Capacidade de Infiltração do Solo e Suas Características.

A taxa de infiltração do solo é um dos fatores que viabilizam ou não a utilização do pavimento permeável para controle de escoamento superficial na fonte. Segundo Araújo, Tucci e Goldenfum (2000), a utilização de pavimentos permeáveis como dispositivo de infiltração torna-se viável em solos com VIB superior a 7 mm/h.

Desse modo, foi realizado 4 ensaios no solo para avaliar a taxa de infiltração do solo. Para o ensaio A mediou-se uma velocidade de infiltração de 52 mm/h, a qual é uma velocidade de infiltração foi muito alta.

Em vista disso, após a finalização do ensaio A, escavou-se o solo na região onde foi executado o ensaio e foi encontrado um pedaço de madeira (figura 14), o qual se tornou um caminho facilitador para a infiltração de água no solo, o que resultou uma VIB muito elevada.

Figura 14– Pedaço de madeira encontrado abaixo do ensaio A.

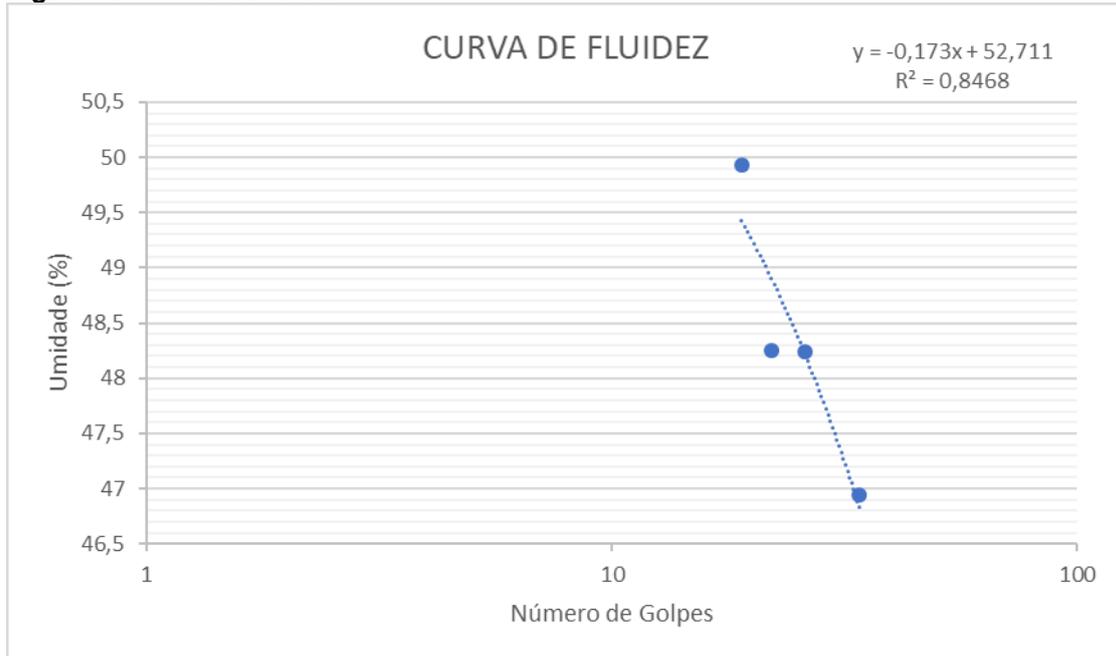


Fonte: Autoria Própria (2018).

Além disso, executou-se também os ensaios para classificação da consistência do solo, para uma obter um comparativo se a taxa de infiltração encontrada seria razoável. Foram realizados os ensaios de Limite de Liquidez (WL) e Limite de

Plasticidade ( $W_p$ ) conforme a NBR 6459 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016) e NBR 7180 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016), a partir de sua diferença estimou-se o Índice de Plasticidade (IP). Por meio da equação da curva de fluidez (figura 15) obtida encontrou-se um WI de 48 %. O  $W_p$  obtido foi de 36 %.

**Figura 15- Curva de fluidez.**



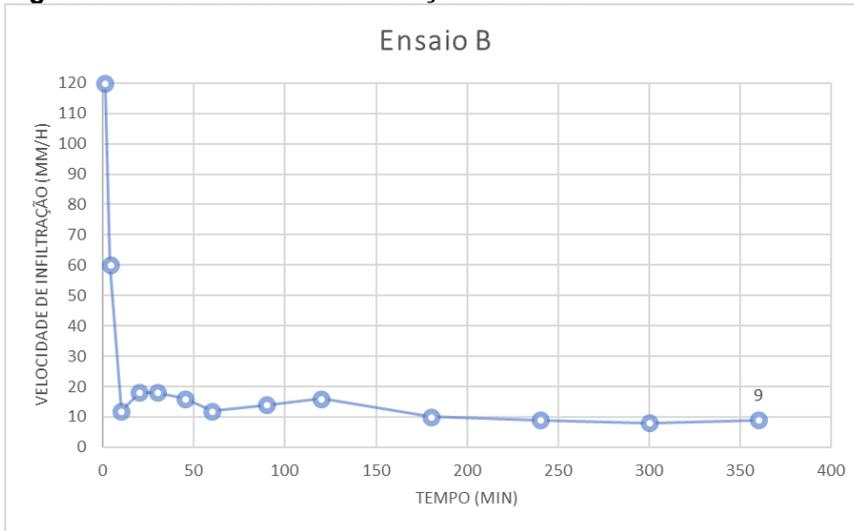
**Fonte: Autoria Própria (2019).**

Portanto, o IP obtido foi de 12 % e a partir disso foi possível classificar a textura do solo. Segundo Burmister (1949), que classificou o índice de plasticidade do solo de forma qualitativa, este é um solo de plasticidade média.

Logo, como a plasticidade é uma propriedade de solos finos principalmente os argilominerais, este não pode apresentar uma VIB superior a 40 mm/h, o que corresponde a solos arenosos leves (DAKER, 1984). Com isso, o ensaio A foi desconsiderado para o cálculo da média da VIB.

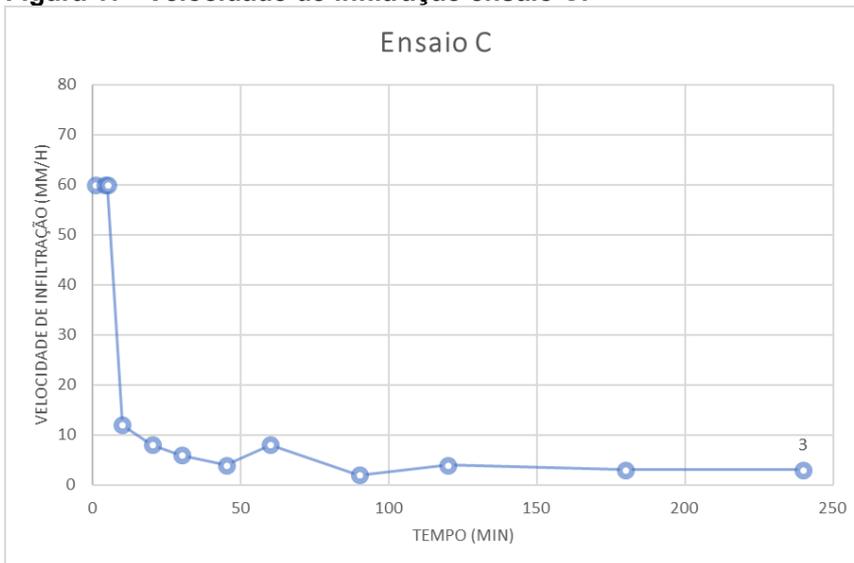
Entretanto, com os ensaios B, C e D obteve-se uma VIB de 9 mm/h, 3 mm/h e 20 mm/h respectivamente, conforme apresentados nas figuras 16, 17 e 18.

**Figura 16 – Velocidade de infiltração ensaio B.**

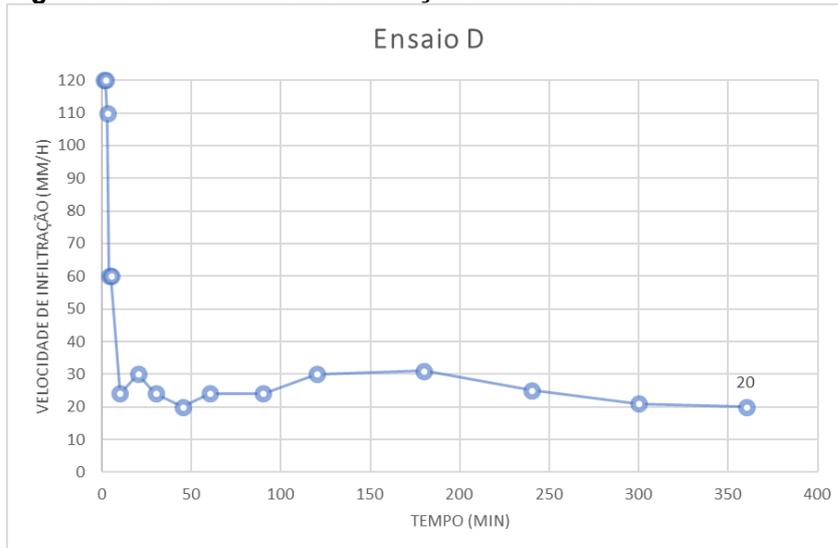


Fonte: Autoria Própria (2019).

**Figura 17– Velocidade de infiltração ensaio C.**



Fonte: Autoria Própria (2019).

**Figura 18– Velocidade de infiltração ensaio D.**

Fonte: Autoria Própria (2019).

Com isso, calculou-se a média desses três ensaios, obtendo uma velocidade básica de infiltração de 10,67 mm/h.

Portanto, como a taxa de infiltração média obtida foi de 10,67 mm/h, o uso de pavimentos permeáveis para o solo encontrado no campus da UTFPR de Campo Mourão é uma solução para controle de escoamento.

Entretanto, deve-se ressaltar que o solo de Campo Mourão apresenta características de um solo colapsível, pois é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico na maior parte do território municipal (EMBRAPA, 2007), tipo de solo que de modo geral é colapsível (GUTIERREZ, 2005).

Segundo Freitas (2016) um dos métodos mais práticos para prevenção de colapso do solo é a execução da compactação. Sendo assim, para utilização dos pavimentos permeáveis neste tipo de solo, deve ser analisado seu grau de compactação para evitar possíveis transtornos, promovendo sua compactação quando necessária.

## 6.2 Dimensionamento do Reservatório de Brita.

Para o dimensionamento do reservatório de brita foi calculado o volume a ser retido pelo reservatório, conforme equação 5. Para 1m<sup>2</sup> com  $I_p = 138,85$  mm/h,  $I_e = 10,67$  mm/h e  $T_d = 0,1667$  h obteve-se um volume de escoamento a ser retido de 21,36

mm. Toda via, como a área das superfícies de blocos de concreto eram de 0,92 m<sup>2</sup>, o volume a ser retido foi de 19,65 mm.

Em seguida foi feito a classificação da dimensão máxima característica da brita (DMC), que segundo a NBR 7217 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987) é classificada por meio da análise coluna de “% Retida Acumulada” (tabela 1) da parte superior para parte inferior.

**Tabela 1 - Determinação da granulometria da brita.**

Peneira (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada
76	0		
38	0		
25	333	33,10	33,10
19	540	53,68	86,78
12,5	132	13,12	99,90
9,5	0	0,00	99,90
Fundo	1	0,10	100

Fonte: Autoria Própria (2018).

O primeiro valor maior que 5% corresponde a uma abertura de peneira, sendo o DMC igual a abertura de peneira localizada logo acima desta. Nesse aspecto, encontrou-se a dimensão máxima característica de 38 mm, classificando-a como brita 3.

A partir disso, foi possível determinar a porosidade da brita, pois segundo Araújo, Tucci e Goldenfum (2000), a porosidade da brita 3 varia entre uma ordem de grandeza de 40 a 50%. Deste modo, para realização deste trabalho adotou-se uma porosidade de 40%.

Logo, com um volume a ser retido de 19,65 mm e uma porosidade de 40%, (equação 6), obteve-se uma profundidade do reservatório de 49,12 mm. Por razões práticas recomenda-se um reservatório com profundidade mínima de 150mm (ARAÚJO, TUCCI E GOLDENFUM, 2000), desta forma este foi executado com 150 mm.

## 6.2 Escoamento Superficial Gerado nas Superfícies.

Para as três superfícies o volume de precipitação projetado (V Prec) foi obtido da diferença da vazão final e vazão inicial registrada no hidrômetro e o cálculo do

coeficiente de escoamento foi obtido da divisão do volume precipitado pela somatória das amostras de escoamento (amostra 1 e amostra 2).

As precipitações simuladas para os blocos de concreto tiveram uma duração de 10 minutos, sendo elas de 23,7, 21,96 e 22,14 mm e representaram um período de retorno de 18, 11,8 e 12,4 anos respectivamente (tabela 2). Para esta superfície foram obtidos os coeficientes de escoamento de 0,14, 0,11 e 0,13 (tabela 3).

**Tabela 2- Ensaio blocos de concreto.**

<b>BLOCOS DE CONCRETO</b>			
<b>Índice Pluviométrico (mm/h)</b>	<b>Ensaio 1</b>	<b>Ensaio 2</b>	<b>Ensaio 3</b>
	154,56	143,22	144,39
<b>Período de retorno (anos)</b>	18,1	11,8	12,4
<b>Duração da precipitação (min)</b>	10	10	10
<b>Chuva total (mm)</b>	23,7	21,96	22,14

Fonte: Autoria Própria (2019).

**Tabela 3- Avaliação do escoamento dos blocos de concreto.**

<b>BLOCOS DE CONCRETO</b>							
		Massa(kg)	Vazão i (m <sup>3</sup> )	Vazão f (m <sup>3</sup> )	V prec (L)	C Runoff	± σ
Ensaio 01	Amostra 1	3,321	3,7075	3,7312	23,7	0,14	0,015
	Amostra 2	0					
	Total	3,321					
Ensaio 02	Amostra 1	2,449	3,7362	3,75816	21,96	0,11	0,015
	Amostra 2	0					
	Total	2,449					
Ensaio 03	Amostra 1	2,897	3,762271	3,78441	22,14	0,13	0,015
	Amostra 2	0					
	Total	2,897					

Fonte: Autoria Própria (2019).

Para a superfície de blocos de concreto outros autores também obtiveram resultados satisfatórios para controle de escoamento, tais como Silva (2006) que obteve um coeficiente de escoamento variando de 0,13 a 0,39 com declividade de 2%. Pode-se citar também os coeficientes de escoamento obtidos por Moura (2005) para esta superfície, variou de 0,13 até valores altos próximos a 0,82, executados em uma superfície com inclinação de 2%. Segundo Moura (2005), os valores próximos a 0,82 foram ocasionados pela colmatação da superfície.

Na superfície de blocos de concreto permeável, foram simuladas precipitações de 23,25, 20,28 e 21,34 mm, ambas com 10 minutos, com um período de retorno de

16,3, 7,7 e 10,12 anos respectivamente (tabela 4). Encontrou-se os coeficientes de escoamento de 0,04, 0,05 e 0,05 conforme apresentados na tabela 5.

**Tabela 4- Ensaio blocos de concreto permeável.**

<b>BLOCOS DE CONCRETO PERMEÁVEL</b>			
	<b>Ensaio 1</b>	<b>Ensaio 2</b>	<b>Ensaio 3</b>
<b>Índice Pluviométrico (mm/h)</b>	151,63	132,26	139,17
<b>Período de retorno (anos)</b>	16,3	7,7	10,12
<b>Duração da precipitação (min)</b>	10	10	10
<b>Chuva total (mm)</b>	23,25	20,28	21,34

Fonte: Aatoria Própria (2019).

**Tabela 5- Avaliação do escoamento dos blocos de concreto permeável.**

<b>BLOCOS DE CONCRETO PERMEÁVEL</b>							
		Massa(kg)	Vazão i (m <sup>3</sup> )	Vazão f (m <sup>3</sup> )	V prec (L)	C Runoff	± σ
Ensaio 01	Amostra 1	0,921	3,53305	3,5563	23,25	0,04	0,005
	Amostra 2	0					
	Total	0,921					
Ensaio 02	Amostra 1	1,011	3,59801	3,61829	20,28	0,05	0,005
	Amostra 2	0					
	Total	1,011					
Ensaio 03	Amostra 1	0,978	3,61205	3,63339	21,34	0,05	0,005
	Amostra 2	0					
	Total	0,978					

Fonte: Aatoria Própria (2019).

É evidente que na superfície de blocos de concreto permeável encontrou-se um coeficiente de runoff muito baixo, o que gerou um escoamento superficial quase nulo. Araújo, Tucci e Goldenfum (2000) também encontraram um coeficiente de 0,005 para uma superfície executada com concreto poroso, o que comprova a grande capacidade de percolação de água deste material.

Por fim, na superfície com solo natural foram projetadas chuvas de 23,01, 22,72 e 24,41 mm, que corresponderam a períodos de retorno de 9,68, 9,03 e 13,44 anos (tabela 6), resultando em coeficientes de escoamento de 0,59, 0,58 e 0,67 conforme tabela 7.

Tabela 6- Ensaio solo natural.

SOLO NATURAL			
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
Índice Pluviométrico (mm/h)	138,06	136,32	146,46
Período de retorno (anos)	9,68	9,03	13,44
Duração da precipitação (min)	10	10	10
Chuva total (mm)	23,01	22,72	24,41

Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela 7- Avaliação do escoamento no solo natural.

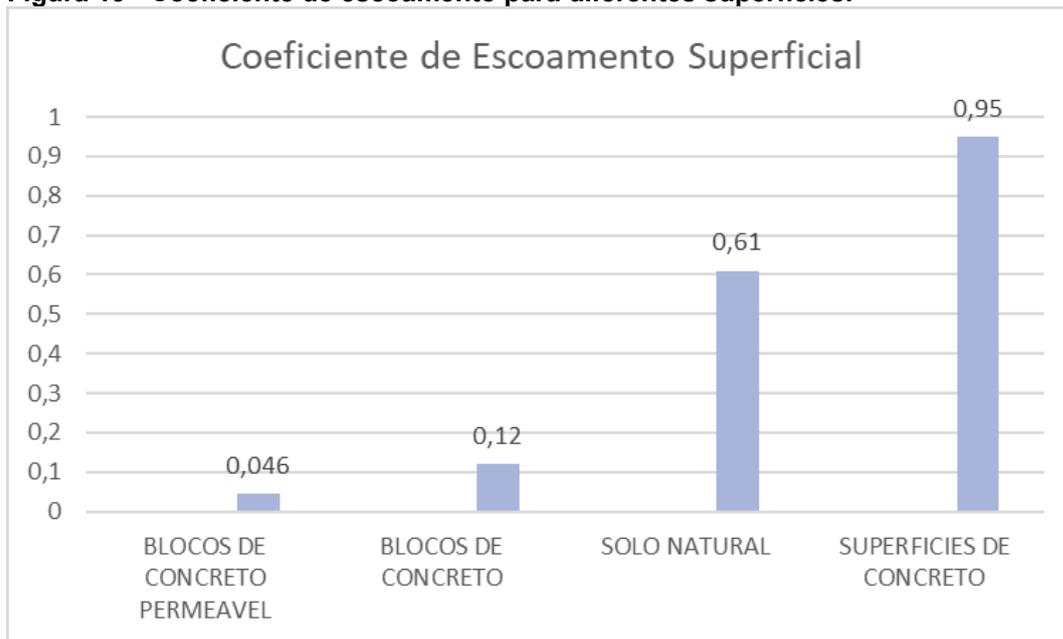
SOLO NATURAL							
		Massa(kg)	Vazão i (m <sup>3</sup> )	Vazão f (m <sup>3</sup> )	V prec (L)	C Runoff	± σ
Ensaio 01	Amostra 1	7,582	3,87909	3,9021	23,01	0,59	0,049
	Amostra 2	6,08					
	Total	13,662					
Ensaio 02	Amostra 1	6,772	3,90218	3,9249	22,72	0,58	0,049
	Amostra 2	6,322					
	Total	13,094					
Ensaio 03	Amostra 1	8,35	3,79471	3,81912	24,41	0,67	0,049
	Amostra 2	7,92					
	Total	16,27					

Fonte: Autoria Própria (2019).

É perceptível que a superfície que foi testada com solo natural foi a que mais gerou escoamento superficial, uma média de escoamento cerca de 13 vezes maior que os blocos de concreto permeável e 5 vezes maior que os blocos de concreto nos ensaios executados.

Todavia, em regiões centrais urbanas grande parte do solo encontra-se impermeabilizado por concreto ou asfalto e os coeficientes de escoamento são maiores e apresentam grandezas de 0,70 a 0,95 (DNIT, 2005).

Com isso fica evidente que regiões metropolitanas onde as taxas de impermeabilização são altas, sistemas de drenagem tradicionais ficam sujeitos a sobrecargas. A partir disso torna-se necessário o uso de dispositivos que reduzem o escoamento superficial, tais como os pavimentos permeáveis, pois possuem um coeficiente de escoamento superficial baixo, como apresentado na figura 19.

**Figura 19 - Coeficiente de escoamento para diferentes superfícies.**

Fonte: **Autoria Própria (2019); DNIT (2005).**

É importante frisar que em condições extremas, com uma intensidade de precipitação que supere a capacidade de infiltração do solo e preencha o reservatório de brita, os coeficientes de escoamento dos pavimentos permeáveis seriam maiores.

Contudo, tais eventos chuvosos extremos, com uma intensidade de chuva com período de retorno muito alto, quaisquer que sejam os sistemas de drenagem existentes estariam sujeitos a sobrecargas.

Deve-se salientar também que nestes ensaios não foram avaliados a colmatação das superfícies, mas valores encontrados por outros autores, tais como Moura (2005), evidenciaram que a colmatação da superfície foi responsável pelo aumento do escoamento superficial em até 6 vezes.

Portanto, a manutenção periódica dos pavimentos, com o objetivo da retirada de sedimentos, mediante aspiração, uso de sopradores ou de lavadoras de alta pressão é necessária e influenciará diretamente em sua vida útil.

Pelo que foi exposto, o pavimento permeável é uma alternativa viável para o controle de escoamento, desde que se utilize esta tecnologia de maneira correta, pois o mesmo apresentou médias de coeficiente de escoamento muito baixas, quando comparados a áreas pavimentadas e até mesmo para condição de solo natural.

## 7 CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos, pode-se constatar que os blocos de concreto intertravados apresentaram um coeficiente de escoamento baixo, sendo, portanto, dispositivos eficazes para controle de escoamento e consequente amortecimento de picos de cheias, reduzindo o escoamento superficial e os riscos de inundação e erosão a jusante.

Em muitas cidades, tais como a cidade de Campo Mourão, os problemas relacionados a grandes áreas impermeabilizadas na região central da cidade não são evidentes, pois os alagamentos não acontecem com frequência. Entretanto, os problemas ocorrem a jusante dos sistemas de drenagem em função dos picos de vazão que a impermeabilização gera.

Devido a isso, são encontradas voçorocas em finais de emissários como, por exemplo, a voçoroca no rio KM 119 do emissário 14, situada nas proximidades do encontro da rua Araruna e a Perimetral Tancredo Neves que, segundo Versori (2007) apresentava uma profundidade de 15 metros e trechos com largura superior a 30 metros.

Portanto, o uso de soluções alternativas de drenagem, tais como os pavimentos permeáveis de blocos de concreto, é uma alternativa viável para as características locais encontradas no campus da UTFPR de Campo Mourão, visto que o solo ensaiado apresentou uma VIB média de 10,67 mm/h.

Vale ressaltar que os blocos de concreto necessitam de manutenção periódica para evitar a deposição de sedimentos e a diminuição de sua eficiência, o que garante a capacidade de controle de escoamento na fonte desses dispositivos e, conseqüentemente, evita a transferência de problemas a jusante.

Entretanto, é de extrema importância que os ensaios de infiltração sejam realizados antes da utilização dessa tecnologia, visto que um dos fatores que viabilizam a sua utilização é a taxa de infiltração do solo, podendo variar para diferentes localidades da cidade, uma vez que o solo é um material muito heterogêneo.

Com isso, concluiu-se que sua utilização em passeios, estacionamentos, interiores de lotes e em outros locais com fluxo de veículos reduzidos, pode ser uma alternativa viável para diminuição global do escoamento superficial no município.

## REFERÊNCIAS

- ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. 2005. 147 f. Dissertação (Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- ARAÚJO, P.R.; TUCCI, C.E.M.; GOLDENFUM J.A.; Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 21-29, jul/set 2000.
- ARANTES, E.J.; PASSIG, F. H.; CARVALHO, K. Q.; KREUTZ, C.; ARANTES, E. A.; Análise das Chuvas Intensas da Região Noroeste do Paraná. **OLAM -Ciência & Tecnologia**, Rio Claro – SP, n. 2, p. 31-47, Set. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217:1987 – Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 3 f, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459:2016 – Solos – Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 5 f, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180:2016 – Solos – Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 7 f, 2016.
- BECCIU G.; MARCHIONI M. Permeable pavement used on sustainable drainage systems (SUDs): a synthetic review of recent literature. **Urban Water II**, Milano, v.139, 2014.
- BUTLER, D.; DAVIES, J.W. **Urban Drainage**. 2 ed. New York: Spon Press, 2004.
- BURMISTER, D. M. Principles and Techniques of Soil Identification. **Annual Highway Research Board Meeting**. Washington. v 29. p. 402 – 434, 1949.
- CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION. **Infiltracion drainage – manual of good practice**. Report 156. 124p. Londres: CIRIA, 1996.
- COLLINS, K. A.; HUNT, W. F.; HATHAWAY, J. M. **Evaluation of various types of permeable pavement with respect to water quality improvement and flood control**. In: NATIONAL LOW IMPACT DEVELOPMENT CONFERENCE, 2, 2007, Wilmington. American Society of Civil Engineers, p.275-289. Wilmington. 2007.
- COLLISCHONN, W; TASSI, R. **Introduzindo hidrologia**. 7 ed. Porto Alegre: IPH UFRG, 2010.
- CRUZ, M.A.S; SOUZA, C.F; TUCCI, C.E.M. Controle da drenagem urbana no Brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRICOS, 17, 2007, São Paulo. **Anais**.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. 2 ed. 133 p. Rio de Janeiro. 2005.

DAKER, A. **Irrigação e drenagem: A água na agricultura**. 6 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1984.

DIAS, F. S.; ANTUNES, P. T. S. C. **Estudo comparativo de projeto de drenagem convencional e sustentável para controle de escoamento superficial em ambientes urbanos**. 2010. 98f. Trabalho de Conclusão do Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA -EMBRAPA. **Mapas de solo do estado do Paraná**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. Escala 1:250.000

EPA, 1999. **Storm Water Technology Fact Sheet, Porous Pavement**. United States Environmental Protection Agency. Washington. 1999.

FLETCHER, T. D.; SHUSTER, W.; HUNT, W. F.; ASHLEY, R.; BUTLER, D.; ARTHUR, S.; TROWSDALE, S.; BARRAUD, S.; SEMADENI-DAVIES, A.; BERTRAN-KRAJEWSKI, J.; MIKKELSEN, P. S.; RIVARD, G.; UHL, M.; DAGENAIS, D.; VIKLANDER, M.; SUDS, LID, BMPs, WSUD and more - The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**. Denmark, v.12, n. 7, p. 525-542, 2015.

FREITAS, M. C.; **Avaliação de técnicas de melhoria de solos colapsíveis por meio de colunas de solo laterítico compactado**. 2016. 200f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

GAROTTI, L. M; BARBASSA, A. P. Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. **Eng. Sanit Ambient Journal**, v. 15, n. 1, p. 19-28, jan/mar 2010.

GOOGLE MAPS. <https://www.google.com.br/maps>. **Consulta realizada em 22/02/2019**.

GUTIERREZ, H. M. **Influência de aspectos estruturais no colapso de solos no norte do Paraná**. 2005. 325f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

IMADA, R.G. **Práticas de microdrenagem sustentáveis para a redução do escoamento superficial urbano**. 2014. 122 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Plano diretor de drenagem urbana: Manual de drenagem urbana**. Porto Alegre: Prefeitura Municipal de Porto Alegre: IPH, 2005.

LEOPOLD, L. B. **Hydrology for Urban land Planning** - A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban land Use. 3th ed. Washington: United States Department of the Interior, 1968.

MOURA, T. A. M. **Estudo experimental de superfícies permeáveis para o controle do escoamento superficial em ambientes urbanos**. 2005. 117f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, Distrito Federal, 2005.

PINTO, L. L. C. A.; **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**. 2011. 282f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S.; **Hidrologia Básica**. 1 ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1976.

SCHUELER, T. R. **Controlling Urban runoff: a practical manual for planning and designing urban BMPs**. Washington: Washington Metropolitan Water Resources Planning Board. 1987.

SILVA, G. B. L. **Avaliação experimental sobre a eficiência de superfícies permeáveis com vistas ao controle do escoamento superficial em áreas urbanas**. 2006. 180f. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, Distrito Federal, 2006.

SOIL MOISTURE. **Model 2830K1 double ring infiltrometer kit: operating instructions**. Santa Barbara. 2009.

SOUZA, Z. M; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência á penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7 p 18 – 23, 2003.

TOMINAGA, E. N. S. **Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte**. 2013. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano, in: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Água doce no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2006. cap. 12, p. 399-432.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, p. 5-27, jan./ mar. 2002.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 61-68, jan/mar, 2000.

URBONAS, B.; STAHR, P. **Stormwater Best Management Practices and Detention**. New Jersey: Prentice Hall. 450p. 1993.

VERSARI, W. E.; **Levantamento dos emissários de galerias pluviais contribuintes do rio Km 119 dentro do perímetro urbano no município de Campo Mourão-PR**. 2007. 72f. Trabalho de conclusão de curso (Geografia) – Faculdade de Ciências e Letras de Campo Mourão, Campo Mourão, 2007.

VIRGILIIS, A. L. C.; **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. 2009. 191f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.