

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**ANGELO MAGNO DOS SANTOS E SILVA**

**DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE DRENAGEM PARA UM PAVIMENTO  
INTERTRAVADO DE CONCRETO PERMEÁVEL SOB DIFERENTES  
INTENSIDADES DE PRECIPITAÇÃO**

**Alegrete  
2016**

**ANGELO MAGNO DOS SANTOS E SILVA**

**DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE DRENAGEM PARA UM PAVIMENTO  
INTERTRAVADO DE CONCRETO PERMEÁVEL SOB DIFERENTES  
INTENSIDADES DE PRECIPITAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Dra. Adriana Gindri Salbego

**Alegrete  
2016**

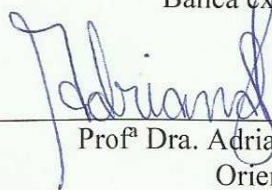
ANGELO MAGNO DOS SANTOS E SILVA

**DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE DRENAGEM PARA UM PAVIMENTO  
INTERTRAVADO DE CONCRETO PERMEÁVEL SOB DIFERENTES  
INTENSIDADES DE PRECIPITAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal do Pampa, como requisito parcial para  
obtenção do Título de Bacharel em Engenharia  
Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 29 de junho de 2016

Banca examinadora:



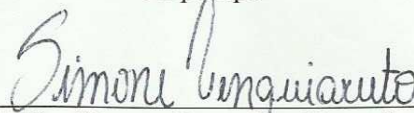
---

Profª Dra. Adriana Gindri Salbego  
Orientadora  
Unipampa



---

Profº. Dr. Fladimir Fernandes dos Santos  
Unipampa



---

Prof. MSc. Simone Dornelles Venquiaruto  
Unipampa

Dedico este trabalho à minha família, que em toda esta jornada sempre esteve ao meu lado me incentivando e apoiando-me nos mais adversos momentos.

## AGRADECIMENTOS

Acima de tudo a Deus, por me conceder esta oportunidade dando-me capacidade para chegar até aqui, e tudo de bom que me deparei nesta jornada.

Aos meus pais, Magno e Carla e minhas irmãs, Narayana e Daniela que estiveram longe fisicamente neste período de graduação, mas sempre me incentivando de maneira incondicional. Nos momentos em que a vontade era desistir e voltar para o conforto do lar sempre ouvi palavras de encorajamento se hoje estou concluindo esta jornada devo muito a eles.

A professora Adriana, pela orientação, atenção, dedicação e incentivos dados para a realização deste trabalho sempre que preciso, além da contribuição dada para meu crescimento profissional.

A professora Simone, pelo auxílio e prontidão nos atendimentos, sempre que solicitada.

Ao meus tios Marco e Carol, que sempre me receberam em sua casa, fazendo com que me sentisse próximo a minha família.

Aos companheiros de graduação Diego Perez, Pedro Jucá e Eduardo Pachla que se tornaram grandes amigos em todos os momentos. Levarei essa amizade por toda a vida, independente do rumo que nossas vidas tomarem.

As amigas Maira e Deise, que hoje considero minha família em Alegrete. Jamais me esquecerei da forma como fui recebido por vocês.

Ao demais familiares, pelo carinho constante e total apoio em toda a caminhada realizada.

E por fim, a todos os amigos que estenderam de alguma forma a mão quando se fez necessário.

“Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista.”

Aldo Novak

## RESUMO

Um dos grandes transtornos encontrados pela população dos centros urbanos decorre do crescimento urbano desordenado, que traz consigo o aumento de áreas impermeabilizadas, modificando as condições de infiltração de água no solo e conseqüentemente ocasionando aumento do volume de escoamento superficial. Desta maneira, vêm se pesquisando formas alternativas a fim de fornecer às cidades condições mais próximas àquelas existentes antes de processo de urbanização. Um dos objetos de pesquisa é o pavimento permeável, uma vez que este possibilite às condições de drenagem, contribuindo assim na redução do escoamento superficial. Este trabalho tem como objetivo verificar a eficiência de drenagem de um bloco intertravado de concreto permeável sob diferentes condições de precipitação. O experimento foi conduzido nas dependências da Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete. Previamente, buscou-se na bibliografia, a capacidade de infiltração para a área de estudo. Posteriormente foi determinada a intensidade de precipitação máxima, por meio das equações de chuvas intensas com parâmetros ajustados para o município de Alegrete, tendo sido adotado nos experimentos um tempo de retorno de 10 anos e duração de 15 minutos. Simulou-se uma precipitação intensa com aproximação do valor calculado e outra simulação com intensidade inferior, ambas com três repetições, analisando desta forma o comportamento do material ensaiado sob diferentes intensidades de precipitação. Para os experimentos, foi primeiramente construído um simulador de chuva capaz de simular as diferentes intensidades utilizadas. As precipitações foram aplicadas em uma área experimental de 1 m<sup>2</sup> com declividade de 5%, assentada sobre o reservatório de pedras com sistema de infiltração total, previamente dimensionado. Para a obtenção dos dados, foi realizada a leitura de um reservatório que alimentava o sistema no momento em que ensaio era iniciado. O mesmo procedimento se dava no encerramento de cada experimento, conhecendo assim o volume de precipitação aplicado. O módulo experimental continha também um sistema coletor onde o volume escoado era direcionado para um recipiente para posterior determinação do escoamento gerado. Para cada ensaio realizado, determinava-se o teor de umidade do solo, a fim de correlacionar os índices de escoamento gerados com as condições do solo. Os resultados revelam que os pavimentos intertravados de concreto permeável apresentam coeficiente de escoamento inferior aos sistemas de pavimentação mais utilizados, desnudando que a sua utilização em locais adequados se dão como boa alternativa na busca da redução do escoamento superficial. Para o município de Alegrete, devido à baixa capacidade de infiltração do solo, o sistema de infiltração total pode ser modificado para o sistema parcial

com a utilização de drenos, proporcionando assim melhor desempenho. Porém, mesmo com a capacidade de infiltração apresentada pelo solo, à utilização dos pavimentos intertravados de concreto permeável se mostram como boa alternativa de pavimentação, em razão de proporcionar condições de drenagem mais eficientes que pavimentos convencionais, com valores próximos a áreas não pavimentadas como grama ou solo exposto.

Palavras-chave: drenagem, escoamento superficial, pavimento permeável.



## ABSTRACT

One of the major disorders encountered by the population of urban centers stems from urban sprawl, which brings with it an increase in impermeable areas, changing the water infiltration conditions in the soil and thus causing increased runoff volume. In this way, it has been researching alternative ways to provide the cities conditions closer to those existing before the urbanization process. One of the search objects is the permeable paving, since it enables excellent drainage conditions, thus contributing to reducing runoff. This study aims to verify the efficiency of drainage of interlocked block permeable concrete under different conditions of precipitation. The experiment was conducted on the premises of the Federal University of Pampa, Campus Alegrete. Previously, it was sought to the literature, the infiltration capacity for the study area. Afterward, It was determined the intensity of maximum rainfall, through the heavy rain equations with parameters adjusted for the city of Alegrete, having been adopted in the experiments a return time of 10 years and duration of 15 minutes. It was simulated an intense precipitation approach the calculated value and other simulation with lower intensity, both with three replications, thus analyzing the behavior of the material tested under different intensities of rainfall. For the experiments, it was first built a rain simulator able to simulate different intensities used. The Rainfall was applied in a  $m^2$  experimental area with a slope of 5%, seated on the stone reservoir with total infiltration system, previously scaled. To obtain the data, it was performed from a reservoir feeding system at the time the test was started. The same procedure was given at the end of each experiment, so knowing the volume of applied rainfall. The experimental module also contained a collection system where the drained volume was directed to a container for determining the generated flow. For each test performed, determine the soil humidity content in order to correlate the flow rates generated with soil conditions. The results show that the permeable concrete floors have interlocked flow coefficient less than the most widely used flooring systems, stripping their use in appropriate locations to provide a good alternative in the search for reducing runoff. For the city Alegrete, due to low soil infiltration capacity, the total infiltration system can be modified for the partial system with the use of drains, thus providing improved performance. However, even with the infiltration capacity presented by the soil, the use of interlocked floor permeable concrete to show how good alternative paving due to provide more efficient drainage conditions than conventional floors, with values close to unpaved areas like grass or exposed soil.

Keywords: drainage, runoff, permeable paving.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Caracterização dos leitos dos rios.....	3
Figura 2 – Hidrograma de bacia rural e bacia urbanizada.....	4
Figura 3 – Curva IDF para a cidade de Porto Alegre.....	7
Figura 4 – HUS de Snyder.....	16
Figura 5 - Sistemas de infiltração.....	18
Figura 6 – Peças de concreto com juntas alargadas.....	19
Figura 7 – Peças de concreto com abertura.....	20
Figura 8 – Peças de concreto poroso.....	20
Figura 9 - Bloco vazado preenchido com grama.....	21
Figura 10 - Bloco vazado preenchido com brita.....	22
Figura 11 - Placas de concreto permeável.....	23
Figura 12 - Calçada com placa de concreto permeável.....	23
Figura 13 – Estrutura típica de pavimentos permeáveis de concreto.....	24
Figura 14 – Execução de camada de assentamento.....	25
Figura 15 – Colocação de blocos intertravados de concreto.....	26
Figura 16 – Concreto asfáltico drenante de CPA (camada porosa de atrito).....	28
Figura 17 – Drenagem de CPA.....	28
Figura 18 – Colmatação de pavimento permeável.....	30
Figura 19 – Crescimento de vegetação nas juntas de pavimento permeáveis.....	31
Figura 20 – Efeitos dos dispositivos de controle na fonte sobre o hidrograma da bacia.....	32
Figura 21 – Superfícies ensaiadas por Araújo, Tucci e Goldenfum (2000).....	33
Figura 22 – Escoamento superficial observado nas superfícies ensaiadas.....	33
Figura 23 – Organograma de atividades.....	41
Figura 24 - Blocos assentados para execução do ensaio.....	42
Figura 25 – Simulador de chuva elaborado por Silva, 2016.....	44
Figura 26 - Sistema coletor do escoamento.....	49
Figura 27 – Volume (litros) escoado em cada ensaio.....	50
Figura 28 - Volume (litros) escoado em cada ensaio.....	51
Figura 29 - Valores médios para coeficiente de escoamento.....	52

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>1.1 Objetivos</b> .....	2
<i>1.1.1 Objetivo geral</i> .....	2
<i>1.1.2 Objetivos específicos</i> .....	2
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	3
<b>2.1 Processos de urbanização</b> .....	3
<i>2.1.1 Impactos da urbanização nas cheias urbanas</i> .....	3
<b>2.2 Introdução à Hidrologia</b> .....	5
<i>2.2.1 Medidas pluviométricas</i> .....	5
<i>2.2.2 Período de retorno (TR)</i> .....	5
<i>2.2.3 Chuvas intensas</i> .....	6
<i>2.2.4 Relação Intensidade, Duração e Frequência (IDF)</i> .....	7
<i>2.2.4.1 Determinação por curva IDF</i> .....	7
<i>2.2.4.2 Determinação por equações de chuvas intensas (IDF tipo geral)</i> .....	8
<i>2.2.5 Tempo de concentração</i> .....	8
<i>2.2.6 Escoamento Superficial Direto (ESD)</i> .....	10
<i>2.2.7 Vazão máxima de projeto</i> .....	11
<i>2.2.7.1 Método Racional</i> .....	12
<i>2.2.7.2 Método do Soil Conservation Service (SCS)</i> .....	14
<i>2.2.8 Hidrograma Unitário Sintético (HUS)</i> .....	14
<b>2.3 Pavimentos Permeáveis</b> .....	16
<i>2.3.1 Características</i> .....	17
<i>2.3.2 Tipos de pavimentos permeáveis</i> .....	19
<i>2.3.2.1 Bloco Intertravado Permeável</i> .....	19
<i>2.3.2.2 Piso de Concreto em Grade</i> .....	21
<i>2.3.2.3 Placas de Concreto Permeável</i> .....	22
<i>2.3.2.4 Estrutura Típica dos Pavimentos de Concreto Permeável</i> .....	24
<i>2.3.2.5 Pavimentos de Concreto Asfáltico Poroso</i> .....	27
<i>2.3.2.6 Estrutura dos Pavimentos Asfáltico Poroso</i> .....	29
<i>2.3.3 Manutenção</i> .....	30
<i>2.3.4 Desempenho</i> .....	32
<i>2.3.5 Projeto dos pavimentos permeáveis</i> .....	34

<i>2.3.5.1 Dados necessários</i> .....	34
<i>2.3.5.2 Pré-dimensionamento</i> .....	35
<i>2.3.5.2.1 Pré-dimensionamento hidráulico</i> .....	35
<i>2.3.5.2.2 Pré-dimensionamento mecânico</i> .....	36
<i>2.3.6 Vantagens e Desvantagens</i> .....	36
<i>2.3.7 Normas Técnicas para pavimentos permeáveis</i> .....	37
<i>2.3.7.1 Normas Técnicas para Concreto Asfáltico Drenante</i> .....	37
<i>2.3.7.2 Normas para pavimento permeável de concreto</i> .....	38
<i>2.3.8 Históricos de utilização de pavimentos permeáveis</i> .....	38
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	41
<i>3.1 Definição da área de estudo e montagem do módulo experimental</i> .....	41
<i>3.2 Caracterização do solo local</i> .....	43
<i>3.3 Simulador de chuva</i> .....	43
<i>3.4 Determinação do escoamento superficial</i> .....	45
<b>4 RESULTADOS</b> .....	47
<i>4.1 Determinação do Escoamento Superficial</i> .....	48
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	53
<i>5.1 Conclusões</i> .....	53
<i>5.2 Recomendações para trabalhos futuros</i> .....	55
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	56
<b>7 ANEXOS</b> .....	1
<i>7.1 Dados determinação do teor de umidade do solo</i> .....	1

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização acarreta diversos benefícios e melhorias na qualidade de vida da população. Entretanto, este processo muitas vezes gera transtornos à população, principalmente se o crescimento ocorrer de maneira desordenada.

Um dos problemas gerados nos grandes centros urbanos devido ao intenso processo de urbanização existente no século XX e que continua acontecendo atualmente, se dá devido às extensas áreas que são impermeabilizadas, incrementando assim o escoamento superficial, fazendo com que os sistemas de drenagem urbana sejam ineficientes, tendo como consequência grandes enchentes (MOURA, 2005).

Buscando então uma redução dos impactos gerados devido ao aumento do escoamento superficial, vem se pesquisando alternativas de pavimentação que possibilitem melhoria no sistema de drenagem das águas pluviais. Sabe-se que as impermeabilizações mais convencionais como asfaltamento de ruas e avenidas, grandes edificações, pavimentação de calçadas e outros meios de impermeabilização decorrentes do processo de urbanização, de maneira geral possibilitam pouca drenagem das águas pluviais. Consequentemente, são gerados grandes volumes de escoamento superficial das águas pluviais (TUCCI, 2000).

De acordo com Tucci (2000), uma impermeabilização de 7% do lote aumenta o escoamento superficial 2,15 vezes em relação ao volume escoado em condição rural. Com isso, comprova-se necessário a implantação de alternativas de pavimentação que reduzam o escoamento superficial, permitindo assim a infiltração desta água no solo ou direcionando-a às redes de drenagem, trabalhando desta maneira de forma conjunta com as redes de drenagem pluvial, reduzindo as falhas ocorrentes devido ao incremento do volume escoado das águas pluviais.

Dentre as alternativas que visam reduzir os problemas gerados com as impermeabilizações urbanas, buscando fornecer condições mais próximas as originais no que se refere à retenção de águas, está o pavimento permeável.

Pavimento permeável é um recurso de infiltração onde o escoamento superficial é desviado por meio de uma superfície permeável, sendo direcionado a um reservatório de pedras localizado sob a superfície do terreno (URBONAS; STAHR, 1993). Segundo Ferguson (2006), pavimentos permeáveis são aqueles que por meio de vazios internos possibilitam a passagem de água. Esta água pode ser conduzida para reservatórios para posterior tratamento e utilização, direcionada para as redes de drenagem ou simplesmente ser absorvida pelo subsolo, dependendo de sua capacidade de infiltração.

Batezini (2013, p. 20), diz que “existem três tipos de pavimentos permeáveis: pavimento de concreto asfáltico poroso; pavimento de concreto permeável; e pavimento de blocos de concreto intertravados permeável”. Em alguns países europeus e nos Estados Unidos, as utilizações deste tipo de pavimento, que visa à diminuição de problemas provenientes das impermeabilizações urbanas, já se dão há mais de trinta anos.

No Brasil, a implementação destes pavimentos é mais recente, fazendo com que sejam mais escassas as informações referentes à temática. Desde 2007, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) vem se dedicando a pesquisas com pavimentos permeáveis, comprovando que este tipo de material possui boa adaptação ao meio urbano, principalmente se utilizado em estacionamentos, pátios e ruas de tráfego leve, trazendo soluções para as enchentes nos grandes centros urbanos.

No contexto apresentado, o presente trabalho se justifica pelo fato de que trata da capacidade de retenção do escoamento superficial com o uso de pavimentos permeáveis, sob as condições de clima e solo presentes no município de Alegrete, com vistas a reduzir os efeitos oriundos da impermeabilização do solo devido ao processo de urbanização.

## **1.1 Objetivos**

### ***1.1.1 Objetivo geral***

- avaliar a eficiência de um pavimento intertravado de concreto permeável na redução do escoamento superficial sob diferentes intensidades de precipitação.

### ***1.1.2 Objetivos específicos***

- montagem do experimento em local com características adequadas quanto à declividade;
- projetar e montar um simulador de chuvas para uso no experimento;
- diagnosticar o solo local baseado em referencial bibliográfico (capacidade de infiltração);
- simular 2 diferentes intensidades de precipitação no experimento;
- quantificar o escoamento superficial gerado pelas diferentes intensidades de precipitação.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

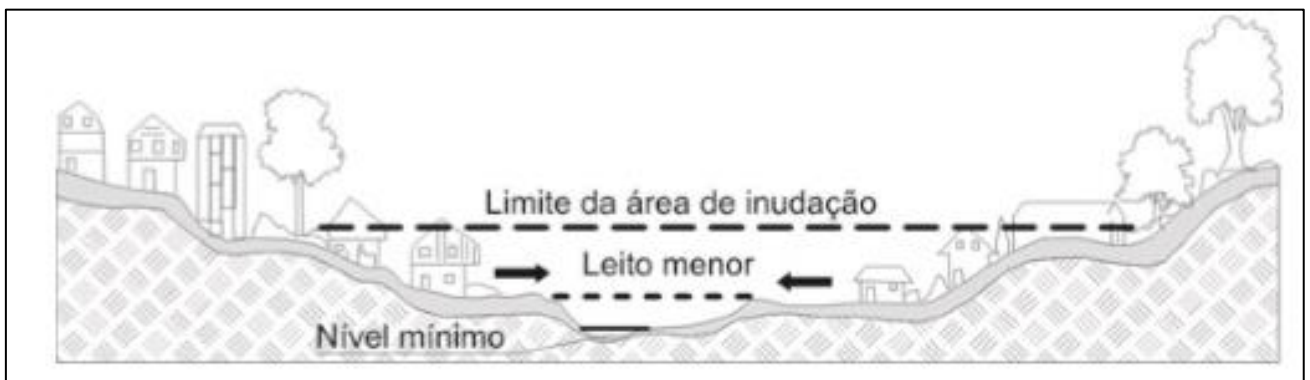
### 2.1 Processos de urbanização

#### 2.1.1 Impactos da urbanização nas cheias urbanas

Atualmente ao se ouvir a palavra enchente realiza-se uma associação com catástrofes urbanas, desabrigados e tantos outros problemas que se tornaram comuns nos centros urbanos. Mas na realidade, as enchentes sempre existiram. Porém, as áreas impermeabilizadas, que são cada vez mais correntes devido aos processos de urbanização, fazem com que este problema afete diretamente a população. Áreas que anteriormente drenavam a água interceptada, após sua impermeabilização passam a produzir elevado volume de escoamento superficial, contribuindo assim na ocorrência de enchentes e fazendo com que estas se tornem mais corriqueiras (TUCCI, 2008).

Não bastando à questão das grandes áreas impermeabilizadas, existe também um avanço da população em áreas próximas às margens de rios e córregos, as chamadas áreas ribeirinhas. De acordo com Tucci (2008), os rios possuem dois leitos: o leito menor, onde a água escoar na maior parte do tempo, é limitado pelo risco de 1,5 a 2 anos. As inundações em si, acontecem quando este escoamento atinge níveis superiores a este leito menor, atingindo então o leito denominado de leito maior. Com o crescimento populacional, esta região do leito maior, passou a ser loteada e construída (Figura 1). Assim, casas, favelas e indústrias passaram a ocupar regiões que anteriormente ao serem inundadas não afetavam de maneira direta a população.

Figura 1 - Caracterização dos leitos dos rios



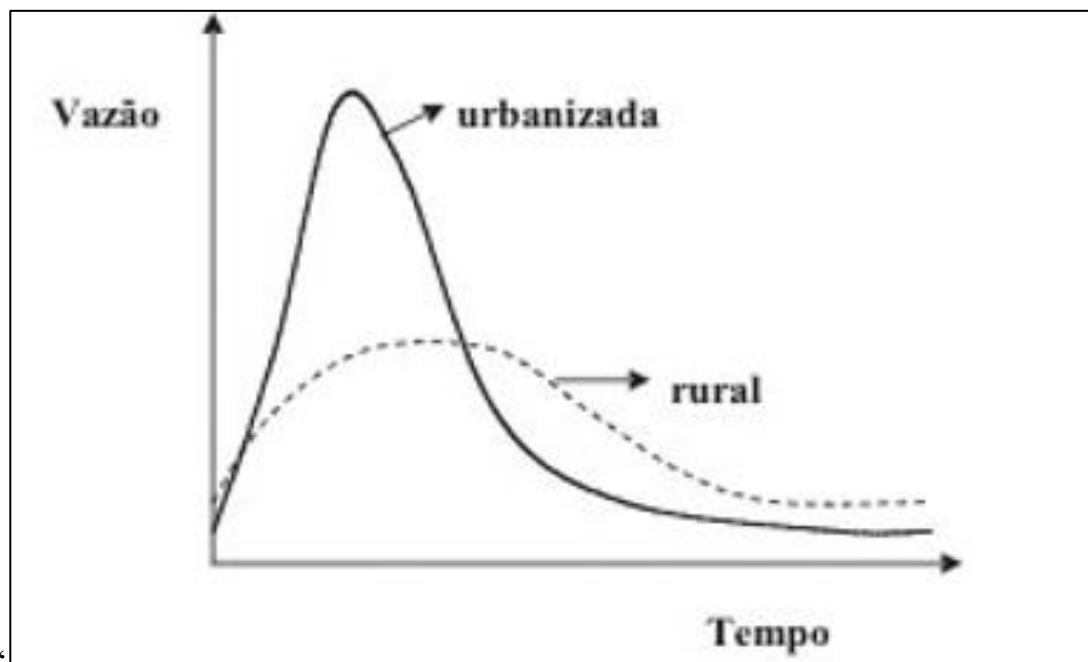
Fonte: Tucci (2008, p. 105)

Segundo Tucci (2008), os maiores impactos decorrentes da inundação se dão justamente nesta área de risco. Por uma falta de fiscalização do poder público, estes locais são ocupados da maneira muitas vezes indevida. Outra questão é o fato dos Planos Diretores municipais, na sua grande maioria, não trazem nenhum tipo de restrição quanto à ocupação destas regiões. Contudo, seja pela legislação falha, ou por falta de fiscalização, as inundações se tornaram um grande problema da atualidade.

As impermeabilizações, juntamente com a questão de ocupação das áreas ribeirinhas somam-se ainda com outros fatores que contribuem ainda mais para a ocorrência de enchentes. Sedimentos decorrentes de poluição urbana são transportados até o leito dos rios, exacerbando ainda mais a situação. Outro fator agravante é a desordem das obras de infraestrutura urbana. Diante disso tudo, o que é visto, são transbordamentos do sistema de drenagem natural, onde na medida em que cresce a urbanização dentro da área da bacia hidrográfica, crescem também os problemas ocasionados pelas inundações, resultando em eventos maiores e mais frequentes quando comparados às condições naturais da bacia (COSTA; ALVES; BARBOZA, 2011).

A Figura 2, mostrada na sequência demonstra, por meio de um hidrograma a diferença de vazões entre bacias naturais e urbanizadas.

Figura 2 – Hidrograma de bacia rural e bacia urbanizada



Fonte: Tucci (2008, p. 106)



O hidrograma de vazões mostra, de maneira clara, o quanto a urbanização acarreta em um aumento do volume de escoamento superficial. Este volume, que em condições naturais, seria interceptado e drenado para o lençol freático, passa a ser escoado, intensificando as inundações e aumentando também sua ocorrência (TUCCI, 2008).

## **2.2 Introdução à Hidrologia**

### **2.2.1 Medidas pluviométricas**

Segundo Garcez (1967), medidas pluviométricas são grandezas e dimensões utilizadas para medir as precipitações. Essas grandezas são:

- altura pluviométrica (h): corresponde ao volume de chuva precipitado medido em milímetros (mm). Refere-se à uma altura de lâmina de água que se forma no solo devido a precipitação incidente, caso não houvesse escoamento, infiltração ou evaporação de águas.
- duração (t): intervalo de tempo contado desde o início até o fim da precipitação, geralmente expresso em horas ou minutos.
- intensidade (I): relação entre a altura pluviométrica e a duração da chuva (mm/h ou mm/min).
- frequência (F): número de ocorrências de uma dada intensidade de chuva em um intervalo de tempo fixo.
- tempo de retorno (T): trata-se do tempo médio de um determinado evento, probabilisticamente, acontecerá novamente ou será superado.

### **2.2.2 Período de retorno (TR)**

Tempo de retorno é o período médio em anos, em que se espera que determinado evento de precipitação possa ser superado ou ocorrer novamente. A determinação do tempo de retorno é de extrema importância em obras hídricas como reservatórios, canais, vertedores, bueiros, galerias de águas pluviais, dentre outras. Em obras de engenharia a questão da segurança e durabilidade está frequentemente associada ao tempo de retorno, estimando assim o período em anos em que determinado evento ocorrerá com a mesma magnitude ou até mesmo ser superado pelo menos uma vez.

Para os dispositivos de drenagem este tempo refere-se a enchentes de projeto que fornecem a orientação para o dimensionamento de maneira que a estrutura indicada resista a estas enchentes sem risco de superação (COOPER, 2013).

Para a determinação do tempo de retorno a ser utilizado em uma obra hídrica deve-se utilizar de valores tabelados (Tabela 1), definidos segundo o tipo de obra de drenagem e ocupação da área.

Tabela 1 - Determinação do tempo de retorno segundo tipo de obra e ocupação da área

Tipo de Obras	Tipo de ocupação da área	T (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviço ao público	5
	Aeroportos	2-5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5-10
Macro drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50-100
	Áreas de importância específica	500

Fonte: DAEE/CETESB (1980, não paginado)

Quanto maior o tempo de retorno adotado, maior será a proteção conferida à população, porém, esta maior segurança tem como consequência um custo mais oneroso e também o porte das obras e suas interferências no ambiente em que estão inseridas são maiores.

### 2.2.3 Chuvas intensas

Chuvas intensas geralmente são de pequena duração, no entanto com grande volume precipitado, sendo consideradas críticas para um determinado local ou bacia hidrográfica. Em 13 de fevereiro de 1981 choveu cerca de 100 mm em 1 hora no município de Porto Alegre, sendo um exemplo de chuva com elevada intensidade (BERTONI; TUCCI, 2003). Vale ressaltar que o problema não está no volume precipitado, e sim no tempo em que este ocorreu. Este mesmo volume certamente não teria causado os transtornos gerados se tivesse ocorrido em um período de 24 horas.

Em obras hidráulicas, como no dimensionamento de galerias pluviais, telhados e calhas, condutos de drenagem, dentre outras, se faz indispensável o conhecimento da chuva

de maior intensidade para um determinado tempo de retorno, desta forma se faz necessário conhecer a relação entre intensidade, duração e frequência (BERTONI; TUCCI, 2003).

#### 2.2.4 Relação Intensidade, Duração e Frequência (IDF)

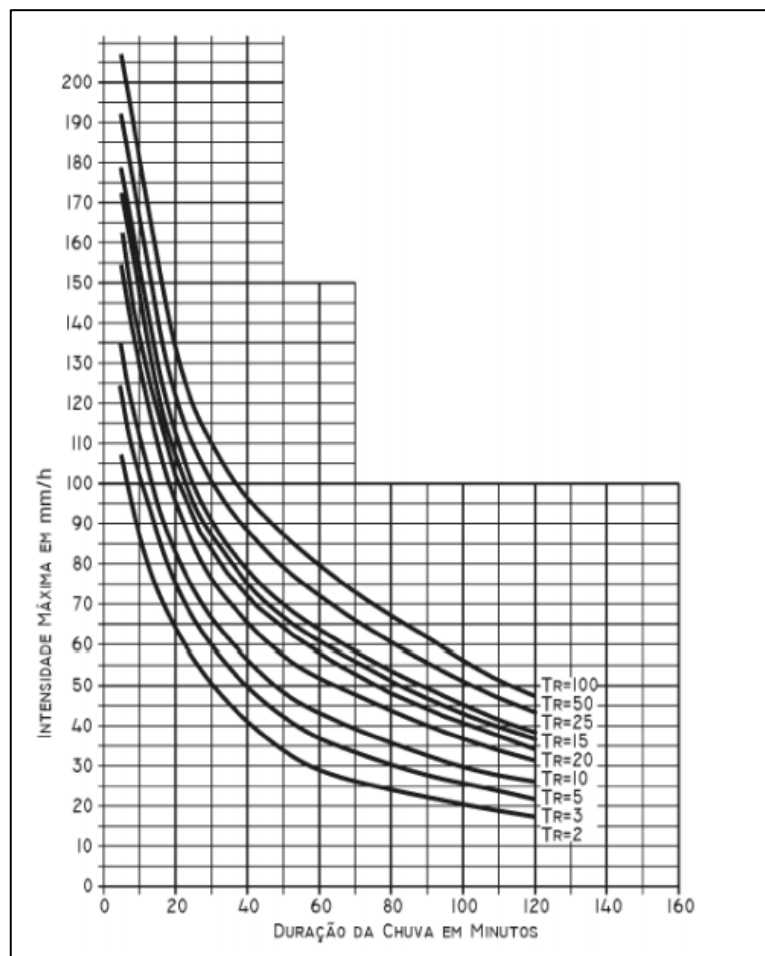
A relação entre intensidade, duração e frequência (IDF) pode variar de um local para outro. É uma relação que depende de uma longa série de registros pluviográficos. Esta relação pode ser obtida por duas maneiras:

- por meio da utilização de gráficos denominados de curvas IDF;
- pela utilização de equações matemática.

##### 2.2.4.1 Determinação por curva IDF

A Figura 3 refere-se a um exemplo de curva IDF por meio de dados pluviográficos.

Figura 3 – Curva IDF para a cidade de Porto Alegre



Fonte: Tucci (1993, p.202)

As curvas IDF (Figura 3) podem ser determinadas de diferentes formas, segundo o tipo, quantidade e qualidade de dados de chuva disponíveis para o local estudado.

#### **2.2.4.2 Determinação por equações de chuvas intensas (IDF tipo geral)**

As equações IDF são determinadas através de observações em chuvas intensas durante determinado período de tempo, período este que seja suficientemente longo e representativo dos eventos chuvosos mais intensos da região.

As equações IDF, de maneira geral são expressas conforme a Equação 1 (Gonçalves, 2011):

$$I = \frac{a \times TR^b}{(t+c)^d} \quad \dots(1)$$

onde  $TR$  é o tempo de retorno em anos;  $I$  é a intensidade de precipitação em  $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ;  $t$  é a duração em minutos;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  são parâmetros adimensionais ajustados em relação ao local.

A maior dificuldade para a obtenção das equações IDF são consequência das limitações de dados disponíveis, tanto no que refere-se à densidade da rede pluviométrica, como em relação ao pequeno período de observação disponível. Além disso, para a determinação dos parâmetros de uma equação IDF se faz necessário um exaustivo trabalho de análise, interpretação e codificação de grande quantidade de dados (PEREIRA, et al., 2007).

#### **2.2.5 Tempo de concentração**

O tempo de concentração (TC) é um parâmetro fundamental para a caracterização do pico como também do formato do hidrograma, sendo assim, primordial na estimativa de vazões máximas e previsão de desastres naturais.

Na literatura encontra-se como TC, o tempo de percurso que a água leva desde o ponto mais distante da bacia, até a seção de interesse, sua foz, a partir do instante em se dá início a precipitação. Segundo Farias e Botelho (2011), o tempo de concentração pode ser entendido então como o intervalo temporal, a partir do início de uma precipitação, necessário para que toda a área de contribuição da bacia em questão contribua então para o escoamento superficial no seu exutório, ou seja, o tempo levado para que o ponto mais distante (em tempo de viagem, e não necessariamente a maior distância) contribua para o escoamento superficial.

Alguns métodos se destacam na determinação do tempo de concentração. Conforme Carvalho e Silva (2006) são estes:

- **Método Gráfico:** consiste em traçar trajetórias perpendiculares as curvas de nível de pontos dos divisores até a seção de controle

$$TC = \sum tp_{max} \quad \dots(2)$$

onde  $TC$  é o tempo de concentração e  $tp$ , o tempo de percurso em segundos.

$$tp = \frac{L}{v} \quad \dots(3)$$

onde  $L$  é o comprimento da área de escoamento, em metros e  $v$  é a velocidade de escoamento em metros por segundo (m/s).

$$v = f \times \sqrt{I} \quad \dots(4)$$

onde  $f$  é o fator de escoamento em função da superfície e  $I$  é a declividade do trajeto, em %.

- **Equação de Kirpich**

$$TC = (0,87 \frac{L^3}{H})^{0,385} \quad \dots(5)$$

onde  $TC$  é o tempo de concentração, em h;  $l$  é o comprimento do talvegue principal, em km e  $H$  é o desnível entre a parte mais elevada e a seção de controle, em m.

- **Equação de Ventura**

$$TC = 0,127 \sqrt{\frac{A}{I}} \quad \dots(6)$$

onde  $A$  é a área da bacia, em km<sup>2</sup>; e  $I$  é a declividade média do principal curso d'água, em m/m.

Os métodos mencionados são apenas alguns dos inúmeros meios de determinação de TC. Os valores encontrados em cada equação diferem entre si, sendo a equação mais utilizada a de Kirpich, uma vez que, normalmente esta fornece valores menores, resultando em uma intensidade de chuva maior e por consequência, uma maior vazão de cheia.

### **2.2.6 Escoamento Superficial Direto (ESD)**

De todas as fases existentes no ciclo hidrológico, talvez a mais importante para as obras de engenharia seja a do escoamento superficial, que é a fase onde ocorre o transporte da água na superfície terrestre, uma vez que grande parte dos estudos hidrológicos estão relacionados ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra sinistros causados pelo seu deslocamento (VILLELA; MATTOS, 1975).

Parte do volume total precipitado numa bacia hidrográfica é interceptado pela vegetação e outros obstáculos, outra parcela é devolvida à atmosfera devido à evapotranspiração e uma outra parte é infiltrada pelo solo. De todo volume precipitado o excedente da chuva se transforma em escoamento superficial direto (GARCEZ; ALVAREZ, 1988; VILLELA; MATTOS, 1975).

Tucci (2003) traz como escoamento superficial o fluxo sobre a superfície do solo e pelos seus múltiplos canais. Segundo ele a parcela de escoamento superficial pode ser identificada diretamente do hidrograma observado por métodos gráficos que baseiam-se em uma análise qualitativa do mesmo.

O escoamento superficial sofre interferência de vários fatores externos que podem facilitar ou prejudicar sua ocorrência. Estes fatores podem ser de natureza climática, relacionados à precipitação ou de natureza fisiográfica. A duração é outro componente que está diretamente relacionado ao escoamento, pois chuvas de intensidade constante acarretarão em escoamento superficial conforme aumentar sua duração.

Quanto às condições climáticas tem-se ainda como um fator importante o conhecimento de precipitação antecedente, já que uma precipitação que venha a acontecer em um solo já úmido devido a uma chuva anterior ocasionará escoamento superficial com mais facilidade (VILLELA; MATTOS, 1975; COSTA; ALVES; BARBOZA, 2011).

Referente aos fatores fisiográficos, segundo Villela e Mattos (1975), os mais importantes são a área, pois sua extensão está relacionada à maior ou menor de água que ela pode captar e a permeabilidade e a capacidade de infiltração já que quanto maior for a permeabilidade, maior será a capacidade de infiltração reduzindo assim a probabilidade de ocorrência de escoamento.

Villela e Mattos (1975) mencionam ainda outros fatores que influenciam no escoamento superficial. São eles: topografia, forma e obras hidráulicas no entorno da bacia como barragens que por acumularem água em um reservatório reduzem as vazões máximas do escoamento superficial.

Outra consideração importante no que refere-se a escoamento superficial direto (ESD) é a interferência provocada pelo tipo de cobertura existente na área da bacia. Bacias com cobertura natural, ou seja, não urbanizadas, tendem a reduzir o ESD. De maneira contrária, bacias com elevado índice de urbanização devido as grandes áreas impermeabilizadas o volume de ESD aumentam e como consequência o pico de vazão também (COSTA; ALVES; BARBOZA, 2011).

### ***2.2.7 Vazão máxima de projeto***

O conhecimento da vazão máxima de projeto é de extrema importância para previsão de enchentes e no projeto de obras hidráulicas tais como condutos, canais, bueiros, entre outras. O hidrograma de projeto se faz necessário quando o volume, a distribuição temporal e o pico são importantes no andamento da obra hidráulica, como em reservatórios e enseadeiras (TUCCI, 1993).

No dimensionamento, as vazões devem reproduzir condições críticas possíveis de ocorrer com um determinado risco. Essas condições são identificadas dentro das mais desfavoráveis. Deve-se definir o risco de um projeto de acordo com os objetivos do projeto e, dentro destas condições de risco, explorar as situações mais desfavoráveis. Por exemplo, no cálculo de bueiros o risco adotado é de 2 a 10 anos, pois aceita-se que as ruas poderão ser inundadas com a referida frequência; o dimensionamento de vertedor de grandes barragens deve ter um risco mínimo, pois o impacto do rompimento da barragem é destrutivo e o tempo de retorno adotado tem sido de 10.000 anos. A definição das situações mais desfavoráveis, após a escolha de um risco, envolve as condições iniciais de solo, perdas por retenção e infiltração, distribuição temporal e espacial da precipitação (TUCCI, 1993, p. 527).

Para determinação da vazão máxima são conhecidos três métodos: distribuição estatística, quando há dados de uma série histórica e a bacia não passou por grandes transformações ao longo do tempo em que se tem os dados; regionalização de vazões, empregada nos casos onde a série histórica é insuficiente ou não existe, sendo a vazão estimada com base em postos próximos; e por último, os modelos matemáticos que transformam as precipitações máximas em vazões máximas (COSTA; ALVES; BARBOZA; 2011).

### 2.2.7.1 Método Racional

Tucci (1993) traz o método racional como amplamente utilizado na determinação da vazão máxima para bacias pequenas (até 2 km<sup>2</sup>). Nesta metodologia os princípios básicos são:

- a duração da precipitação intensa de projeto é considerada igual ao tempo de concentração;
- determinação de um coeficiente único de perdas denominado C, estimado com base nas características da bacia;
- não é avaliado o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões.

A equação deste modelo de determinação é a seguinte:

$$Q_{max} = 0,278 * C * I * A \quad \dots(7)$$

onde I é a intensidade em mm/h; A é a área da bacia em km<sup>2</sup> e C é coeficiente e perdas segundo as características do terreno (Tabelas 2 e 3). A vazão máxima Q é dada em m<sup>3</sup>/s.

Tabela 2 - Valores do coeficiente C

Superfície	C	
	intervalo	valor esperado
Pavimento		
asfalto	0,70 - 0,95	0,83
concreto	0,80 - 0,95	0,88
calçadas	0,75 - 0,85	0,80
telhado	0,75 - 0,95	0,85
Cobertura: grama, solo arenoso		
plano (2%)	0,05 - 0,10	0,08
médio (2 a 7%)	0,10 - 0,15	0,13
alta (7%)	0,15 - 0,20	0,18
grama, solo pesado		
plano (2%)	0,13 - 0,17	0,15
médio (2 a 7%)	0,18 - 0,22	0,20
declividade alta (7%)	0,25 - 0,35	0,30

Fonte: ASCE (1969), adaptado por Tucci (1993, p.542)



Tabela 3 - Valor de C para áreas rurais

Tipo de área	C'
<b>1 Topografia</b>	
terreno plano, declividade de 0,2 - 0,6 m/km	0,3
terreno, declividade de 3 - 4 m/km	0,2
morros, declividade de 30 - 50 m/km	0,1
<b>2 Solo</b>	
argila impermeável	0,1
permeabilidade média	0,2
arenoso	0,4
<b>3 Cobertura</b>	
áreas cultivadas	0,1
árvores	0,2

Fonte: Tucci (1993, p.543)

Conforme já abordado, os valores de C são baseados em tabelas que levam em conta aspectos subjetivos. Na Tabela 2 são apresentados valores recomendados pela ASCE (1969). Na Tabela 3 são vistos os valores de C'1, C'2 e C'3 para ambientes agrícolas, onde pela equação 8 é possível se obter o valor do coeficiente C.

$$C = 1 - (C'1 + C'2 + C'3) \quad \dots(8)$$

Levando em consideração o comportamento natural da bacia, sabe-se que o valor do coeficiente C pode sofrer variação de acordo com o tempo de retorno, uma vez que sendo o TR superior a 10 anos o coeficiente tende a aumentar, pois para chuvas muito intensas as perdas na bacia não permanecem as mesmas. Sendo assim se faz necessário a correção pela seguinte expressão:

$$C' = 0,8TR^{0,1}C \quad \dots(9)$$

onde C' é o coeficiente corrigido para TR superior a 10 anos; TR é o tempo de retorno em anos e C é o coeficiente entre 2 a 10 anos.

### 2.2.7.2 Método do Soil Conservation Service (SCS)

Este método foi desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS), do Departamento de Agricultura dos EUA, em 1957. O método SCS baseia-se em estudos que buscam correlacionar a precipitação total e a efetiva (PAZ, 2004).

O método SCS utiliza da seguinte equação:

$$H_{exc} = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S}, P > 0,2S \quad \dots(10)$$

onde  $H_{exc}$  é a precipitação excedente ou escoamento superficial direto, em mm;  $P$  é a precipitação em mm;  $S$  é a retenção potencial do solo em mm.

Para cálculo do  $S$  utiliza-se a equação 11:

$$S = 25,4\left(\frac{1000}{CN} - 10\right) \quad \dots(11)$$

onde  $CN$  é o parâmetro denominado de “número de curva” e varia entre 0 e 100, depende do tipo do solo, condições de uso, ocupação do solo e umidade antecedente.

### 2.2.8 Hidrograma Unitário Sintético (HUS)

Na prática, frequentemente os dados históricos são inexistentes. Os hidrogramas unitários sintéticos (HUS) foram estabelecidos com base em dados de algumas bacias e assim são utilizados em casos em que não existem dados que permitam o estabelecimento do hidrograma unitário (HU).

Os métodos que determinam HU são baseados no valor de algumas abcissas, como o tempo de pico e tempo de base e as ordenadas como vazão de pico. Com essa regionalização de variáveis baseadas em características físicas é possível estimar-se o HU para locais sem dados observados (TUCCI, 1993).

Em seguida, é apresentado um dos primeiros HUS estabelecidos, método este utilizado por Snyder no ano de 1938 nos Estados Unidos. Para tal metodologia, é necessária a determinação de:

- Tempo de pico ( $tp$ );

$$tp = Ct(L.Lcg)^{0,3} \quad \dots (12)$$

onde  $L$  é o comprimento longitudinal em km;  $Lcg$  é a distância da seção principal ao ponto do rio mais próximo ao centro de gravidade da bacia em km e  $Ct$  é um coeficiente que varia entre 1,35 e 1,65.

- Tempo de duração de precipitação em horas ( $trl$ );

$$trl = \frac{tp}{5,5} \quad \dots(13)$$

- Vazão de pico em m<sup>3</sup>/s ( $qp$ );

$$qp = \frac{2,75 CP A}{tp} \quad \dots(14)$$

onde  $A$  é a área de drenagem em km<sup>2</sup> e  $Cp$  é um coeficiente que varia entre 0,56 e 0,69.

- Tempo de base em dias ( $tb$ );

$$tb = 3 + \frac{tp}{8} \quad \dots(15)$$

Esta determinação se torna irreal para bacias muito pequenas.

- Largura de 75% e 50% do pico ( $W75$  e  $W50$ );

$$W75 = \frac{3,352}{(qp/A)^{1,08}} \quad \dots(16)$$

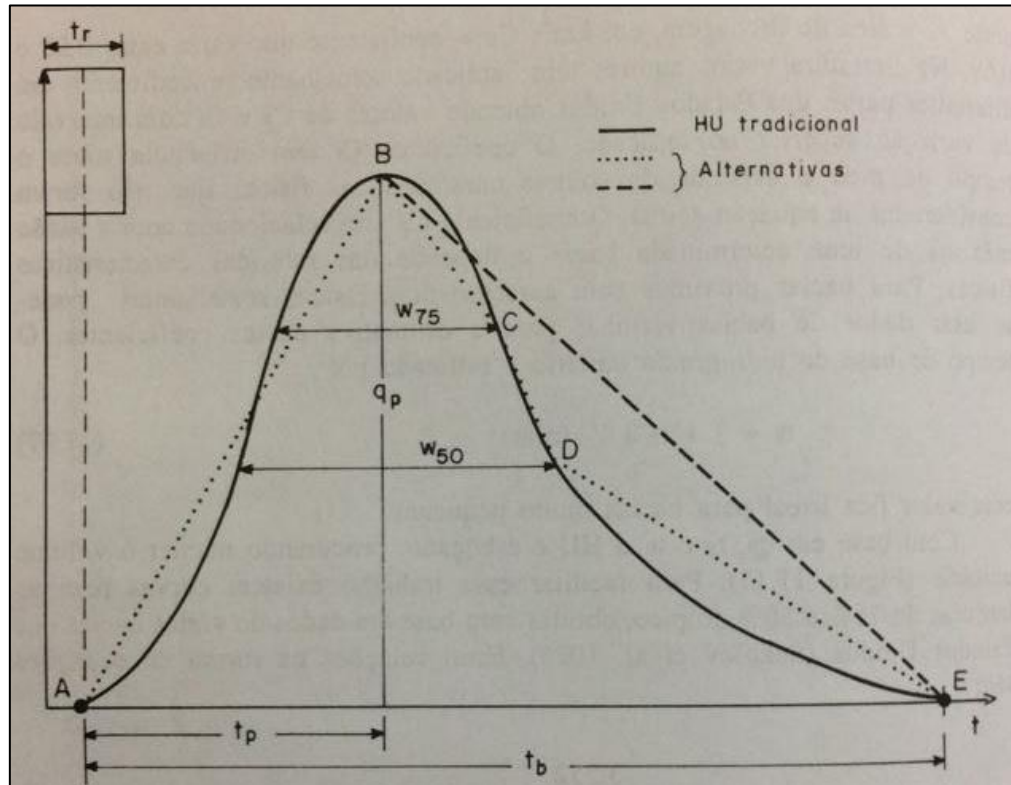
$$W50 = \frac{5,87}{(qp/A)^{1,08}} \quad \dots(17)$$

sendo  $qp$  em m<sup>3</sup>/s;  $A$  em km<sup>2</sup> e  $W75$  e  $W50$  em horas.

Segundo Tucci (1993), as relações obtidas pelas Equações 16 e 17 devem ser utilizadas com cuidado, pois retratam condições médias de um grande número de bacias americanas, o que não atende necessariamente a uma bacia em específico.

A Figura 4 mostra o HUS estabelecido por Snyder em 1938 nos Estados Unidos.

Figura 4 – HUS de Snyder



Fonte: Tucci (1993, p.432)

### 2.3 Pavimentos Permeáveis

Os sistemas de pavimentação mais difundidos no Brasil procuram conferir ao revestimento a maior impermeabilização possível. Vias direcionadas para a transição de pedestres, veículos e áreas de estacionamento modificam as condições naturais do terreno por meio da utilização de materiais que geram aumento do escoamento superficial. O constante processo de urbanização tem aumentado às impermeabilizações, e esta impermeabilização faz aumentar a frequência e a intensidade de eventos de inundação urbana (KABBACH; AZEVEDO; SUZUKI, 2013).

Visando amenizar os impactos gerados, buscam-se métodos alternativos de pavimentação, métodos que devolvam ao solo a capacidade de infiltração anterior à urbanização. Uma das alternativas é a utilização de pavimentos permeáveis, que podem ser utilizados como via para pedestres, estacionamentos e para tráfego de veículos ao mesmo tempo em que possibilitam a drenagem pluvial (MARCHIONI; SILVA, 2011).

Pavimentos permeáveis são aqueles que possuem espaços livres em sua estrutura, permitindo a infiltração da água e desviando este volume que seria escoado para um reservatório de pedras (URBONAS; STAHERE, 1993). A camada superior ou revestimento de um pavimento permeável deve possibilitar a passagem de até 100% da água por entre seus vazios, dependendo da intensidade de precipitação, reduzindo assim consideravelmente o escoamento superficial. As camadas inferiores dos pavimentos permeáveis exercem considerável função na captação das águas provenientes da chuva. A camada de revestimento permeável exerce a função de conduzir o que seria escoado para o reservatório de pedras citado por Urbonas e Stahre (1993).

Segundo Araújo, Tucci e Goldenfum (2000), o escoamento imediatamente após ser infiltrado, passa por um filtro de agregados com 1,25 cm de diâmetro e espessura de 2,5 cm e se direciona para uma câmara ou reservatório de pedras mais profundo com agregados de dimensões entre 3,8 a 7,6 cm de diâmetro. O revestimento permeável age apenas como conduto para o escoamento chegar ao reservatório de pedras. Desta maneira o volume de água existente no reservatório, poderá ser infiltrado pelo subsolo ou ser coletado pela tubulação da rede de drenagem.

A camada superior dos pavimentos permeáveis é constituída de maneira semelhante aos pavimentos convencionais, porém, com a retirada da fração de areia fina da mistura dos agregados do pavimento (ARAÚJO; TUCCI; GOLDENFUM, 2000).

Os pavimentos permeáveis, em um contexto geral, podem proporcionar reduções nos volumes escoados e do tempo de resposta da bacia em condições similares, ou até mesmo, dependendo das características do subsolo, melhores que as condições anteriores ao desenvolvimento, desde que seja utilizado de maneira racional, respeitando os seus limites físicos e também que sejam periodicamente preservados com manutenção preventiva de maneira a evitar o entupimento (ARAÚJO; TUCCI; GOLDENFUM, 2000).

### ***2.3.1 Características***

Os pavimentos permeáveis possuem como função principal a infiltração do volume precipitado, volume este que nos pavimentos convencionais gerariam elevado índice de escoamento superficial, retardando assim sua chegada aos sistemas de macrodrenagem, resultando numa diminuição do pico de vazão. Em alguns casos onde a água drenada é direcionada para a base granular, como é o caso dos pavimentos de concreto permeável, se a compactação natural do solo for reduzida, este permitirá à percolação das águas pluviais

retidas pelo pavimento contribuindo assim para a recarga dos aquíferos subterrâneos (MARCHIONI; SILVA, 2010).

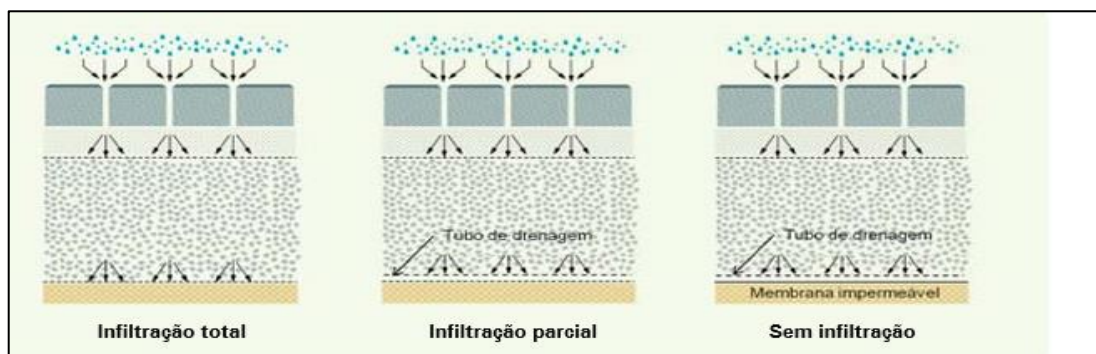
Marchioni e Silva (2010) lembram ainda que esta base granular funciona também como um filtro para o volume de água precipitado, contribuindo também para a redução de contaminação do solo.

A infiltração existente nos pavimentos permeáveis é classificada em três categorias básicas. Essa divisão se dá conforme o tipo de solo e/ou nível do lençol freático, que pode permitir infiltração total, parcial ou até mesmo não permitir infiltração, como ocorre nos casos em que a água captada é direcionada para as redes de drenagens. As características de cada classe mencionada são dadas a seguir (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH, 2013; COSTA; ALVES; BARBOZA, 2011):

- I. Sistema de infiltração total: toda água retida pelo pavimento é infiltrada no solo;
- II. Sistema de infiltração parcial: parte da água é infiltrada pelo solo, sendo necessária a instalação de um tubo de drenagem na base do pavimento, para que a água excedente seja conduzida até as galerias de drenagem pluvial.
- III. Sistema sem infiltração: nesta situação não ocorre infiltração no solo das águas retidas pela camada de revestimento. A elevada compactação do solo e impermeabilização do mesmo, ou nível do lençol freático muito próximo ao pavimento, ou ainda uma elevada concentração de poluentes, podem ser fatores que façam necessária a utilização deste sistema de infiltração. Neste caso utiliza-se uma tubulação que direciona as águas ao sistema de drenagem urbana.

A Figura 5 ilustra os três sistemas de infiltração citados.

Figura 5 - Sistemas de infiltração



Fonte: Marchioni e Silva (2011, p.14)

### **2.3.2 Tipos de pavimentos permeáveis**

Os principais tipos de pavimentos permeáveis encontrados na bibliografia são:

#### **2.3.2.1 Bloco Intertravado Permeável**

Os blocos intertravados permeáveis são semelhantes aos blocos intertravados convencionais, porém, possuem maior capacidade de infiltração da água proveniente das chuvas. Os blocos intertravados convencionais até permitem que parte do volume precipitado seja drenado, entretanto os blocos intertravados permeáveis permitem até 100% de infiltração por entre os vazios, sendo assim mais eficientes no que se refere ao controle do escoamento superficial (MARCHIONI, 2011).

Assim como os blocos convencionais, os blocos permeáveis consistem em peças pré-moldadas de concreto cujo intertravamento das peças tem a capacidade de resistir a movimentos de deslocamento individual. Os blocos intertravados permeáveis podem ser utilizados em áreas de estacionamento, tráfego de pedestres e tráfego de veículos leves.

Um estudo realizado por Marchioni e Silva (2011, traz três diferentes tipos de revestimentos de blocos intertravados permeáveis, conforme apresentam as Figuras 6, 7 e 8.

Figura 6 – Peças de concreto com juntas alargadas



Fonte: Marchioni e Silva (2011, p.4)

Figura 7 – Peças de concreto com abertura



Fonte: Marchioni e Silva (2011, p.4)

Figura 8 – Peças de concreto poroso



Fonte: Marchioni e Silva (2011, p.4)

Nas Figuras 6, 7 e 8 apresentam-se três tipos de intertravamento, cada um apresentando uma forma de permeabilidade. A Figura 6 traz um exemplo onde a drenagem se dá por entre as juntas alargadas, cujas espessuras variam entre 6 e 10 mm. Esta abertura proporcionará de 7 até 10% de áreas abertas em relação à superfície total, sendo suficiente para que toda a área do pavimento seja considerada permeável.

A Figura 7 é um exemplo de peças de concreto com formato diferente. Neste modelo a consideração de pavimento permeável se dá de maneira similar a Figura 6, onde se considera como pavimento permeável devido a área de abertura existente entre as peças de concreto (MARCHIONI; SILVA, 2011).



A Figura 8 consiste em uma amostra de blocos intertravados de concreto poroso. Para a produção deste tipo de peça, utiliza-se da eliminação de agregados mais finos, optando apenas pelo uso de agregados graúdos e pasta de cimento. Esta mistura resulta em um produto poroso, cuja característica permite a passagem da água por meio de seus vazios, resultando em um produto considerado como pavimento permeável (MARCHIONI, 2011).

Segundo Marchioni e Silva (2011), os pavimentos apresentados não apresentam benefícios apenas no que se refere à redução do escoamento superficial. As peças pré-moldadas de concreto possuem melhor desempenho antiderrapante e melhor eficiência para iluminação pública devido ao seu fator de iluminância. Estes fatores somados com a permeabilidade de até 100% resultam em produtos considerados ecológicos, indicados para uso em passeios públicos, vias de tráfego leve, pátios, jardins e estacionamentos, contribuindo para ambientes mais sustentáveis.

### ***2.3.2.2 Piso de Concreto em Grade***

Este tipo de pavimento mostrado nas Figuras 9 e 10 consistem também em blocos de concreto, mais precisamente em um pré-moldado vazado de concreto preenchido por brita ou grama. O mesmo é indicado para pavimentação em áreas externas é considerado um pavimento ecológico e permeável que reúne além de beleza, funcionalidade que permite redução de até 100% das enxurradas ajudando assim no combate aos problemas provenientes de enchentes (RHINO, 2015).

Figura 9 - Bloco vazado preenchido com grama



Fonte: Rhino (2015, não paginado)

Figura 10 - Bloco vazado preenchido com brita



Fonte: Rhino (2015, não paginado)

Nas Figuras 9 e 10 nota-se a aplicação de blocos vazados. Muito indicado para calçadas, áreas de estacionamento e tráfego de veículos leves (pátios de condomínios, estacionamentos, jardins, etc), conforme já mencionado são formas de pavimentação que transmitem ao ambiente funcionalidade e beleza.

### ***2.3.2.3 Placas de Concreto Permeável***

As placas de concreto permeável (Figura 11) são similares aos blocos intertravados de concreto permeável. Sua composição se dá pela junção de agregados graúdos e pasta de cimento, resultando em um material poroso por onde a água é drenada, assim como os blocos intertravados já citados (RHINO, 2015).

Figura 11 - Placas de concreto permeável



Fonte: Rhino (2015, não paginado)

A Figura 11 mostra primeiramente a eficiência da placa em relação a certo volume de águas lançado em sua superfície. A segunda parte mostra um dos tipos indicados para a utilização deste tipo de material. Além de estacionamentos, estas placas podem ser utilizadas em calçadas, pátios residenciais, e áreas destinadas a tráfego de veículos, conforme pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 - Calçada com placa de concreto permeável



Fonte: Rhino (2015, não paginado)

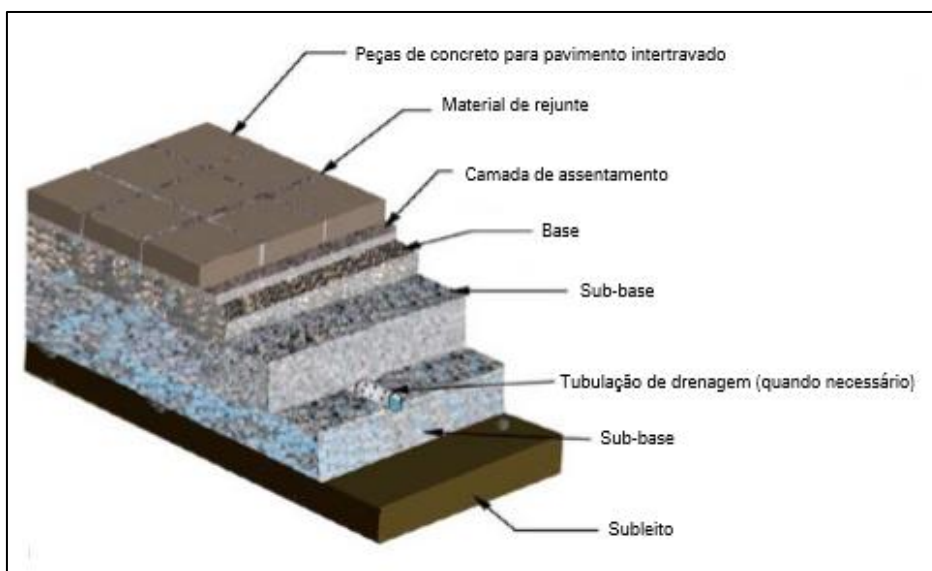
A Figura 12 mostra mais um exemplo da possível utilização das placas de concreto permeável de maneira a contribuir na drenagem urbana, reduzindo os volumes escoados superficialmente.

### 2.3.2.4 Estrutura Típica dos Pavimentos de Concreto Permeável

A sub-base e base dos pavimentos permeáveis, que possuem pouca quantidade de finos ou até mesmo a inexistência destes, atuam de maneira semelhante a um recipiente de coleta d'água, permitindo estocagem de água por entre seus vazios (BATEZINI, 2013). Para correto dimensionamento das camadas de um pavimento permeável deve ser levado em consideração parâmetros que possibilitem a implantação de um pavimento permeável que atenda de maneira simultânea às necessidades técnicas da Engenharia de Transportes, da Engenharia Hidráulica e da sustentabilidade (VIRGILIIS, 2009).

De acordo com Marchioni e Silva (2011), a seção tipo (Figura 13) dos pavimentos intertravados permeáveis consiste em revestimento, camada de assentamento, base e sub-base, tubulação de drenagem, quando necessário e subleito.

Figura 13 – Estrutura típica de pavimentos permeáveis de concreto



Fonte: Marchioni e Silva (2011, p.1)

**Camada de assentamento:** Marchioni e Silva (2011) recomendam camada de assentamento com espessura de 50 mm, tendo esta camada, normalmente feita de areia (Figura 14), como função principal fornecer uma superfície uniforme para o assentamento das peças de concreto. Existem ainda recomendações quanto à granulometria para o material de assentamento, conforme visto na Tabela 4.



Tabela 4 - Granulometria recomendada para camadas de assentamento e de rejunte para pavimento permeável de concreto

Peneira com abertura de malha	Camada de assentamento e material de rejunte (%retida)	Material de rejunte (% retida)	
12,50 mm	0	0	
9,50 mm	0 a 15	0 a 10	0
4,75 mm	70 a 90	45 a 80	0 a 15
2,36 mm	90 a 100	70 a 95	60 a 90
1,16 mm	95 a 100	90 a 100	90 a 100
0,30 mm		95 a 100	95 a 100

Fonte: Marchioni e Silva ( 2011, p.12)

Figura 14 – Execução de camada de assentamento



Fonte: Budny (2015, não paginado)

A execução da camada de assentamento (Figura 14) deve ser realizada com alguns cuidados. É necessária a consideração da jornada de trabalho, não deixando uma camada já pronta para o recebimento das peças de revestimento em longos períodos exposta. Também não é permitido pisar sobre a camada após seu nivelamento. A colocação das peças deve ser executada conforme apresenta a Figura 15.

Figura 15 – Colocação de blocos intertravados de concreto



Fonte: Budny (2015, não paginado)

Conforme é visto, a Figura 15 mostra a correta aplicação de peças de concreto pré-moldado, os trabalhadores fazem a colocação de novas peças pisando apenas sobre os locais onde já foram aplicadas as peças de revestimento.

**Base e Sub-base:** O dimensionamento das camadas de base e sub-base deve ser feito conforme a utilização que se dará sobre o pavimento, existindo variação entre cada caso. A necessidade de tubulação de drenagem também deve ser colocada segundo sua necessidade de utilização ou não. A normatização dos materiais de base e sub-base é obtida pela NBR NM 51/2001 - Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”. O Índice de Suporte Califórnia (CBR) deve ser no mínimo de 80%, conforme normatizado na NBR 9895 de 1987. A capacidade de atuação como reservatório de água destas camadas dependerá do índice de vazios do agregado, determinado de acordo com a NBR NM 45/2006: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios, que deve ser no mínimo de 32% (MARCHIONI, 2011).

A seguir é apresentado na Tabela 5 a granulometria recomendada para camadas de base e sub-base.

Tabela 5 - Granulometria recomendada para camadas de sub-base e base para pavimentos permeáveis

Peneira com abertura de malha	Sub-base (% retida)	Base (% retida)
12,50 mm	0	
63,00 mm	0 a 10	
50,00 mm	30 a 65	
37,00 mm	85 a 100	0
25,00 mm		0 a 5
19,00 mm	95 a 100	
12,50 mm		40 a 75
4,75 mm		90 a 100
2,36 mm		95 a 100

Fonte: Marchioni e Silva (2011, p.12)

**Material de rejuntamento:** O material de rejuntamento pode variar conforme o tipo de rejuntamento escolhido. Para peças com juntas alargadas, conforme já mencionado, as juntas possuem espessuras incorporadas pela utilização de espaçadores cujas dimensões variam entre 6 e 10 mm. Em outros tipos de rejuntamento, como o sistema utilizado para peças de blocos intertravados permeáveis e placas de concreto permeável, o material de rejuntamento pode ser o mesmo utilizado para a camada de assentamento, porém se necessário é permitido à utilização de agregados mais finos a fim de garantir o preenchimento das juntas. A granulometria para o material de rejuntamento pode ser observada na Tabela 4 apresentada anteriormente (MARCHIONI; SILVA, 2011).

### 2.3.2.5 Pavimentos de Concreto Asfáltico Poroso

Os revestimentos asfálticos mais utilizados no Brasil, em sua maioria apresentam ruptura precoce e outras patologias que reduzem a vida útil do revestimento. Buscando pavimentos com maior durabilidade vêm se pesquisando novos tipos de revestimentos asfálticos que apresentem além de segurança, resistência e durabilidade melhor desempenho quanto à permeabilidade. Estas pesquisas trouxeram ao mercado os pavimentos de concreto asfáltico poroso (Figuras 16 e 17).

Este material começou a ser usado na metade de século passado em estradas de rodagem como sobrecamada do revestimento convencional, cuja finalidade era proporcionar melhor drenagem superficial e segurança. A utilização inicial dos pavimentos de concreto asfáltico poroso inicialmente se deu restringida a áreas de estacionamento, vias de pedestres e

vias locais de pequenos tráfegos, porém, com base nos estudos realizados, que trouxeram resultados satisfatórios, atualmente a utilização deste recurso de pavimentação vem sendo mais difundido, sendo utilizado também em vias de tráfego mais significativo (VIRGILIIS, 2009).

Este tipo de pavimento possui capacidade drenante proveniente da dosagem de mistura agregados britados, fíler e cimentos asfálticos puros ou modificados por polímeros. Os agregados possuem granulometria aberta com cerca de 20% de vazios, que permitem a permeabilidade. Esta camada de revestimento além de captar as águas superficiais faz a condução desta para fora da estrutura do pavimento até dispositivos de descarga (ALESSI; KOKOT; GOMES, 2006).

Figura 16 – Concreto asfáltico drenante de CPA (camada porosa de atrito)



Fonte: FlatOut Brasil (2015, não paginado)

Figura 17 – Drenagem de CPA



Fonte: FlatOut Brasil (2015, não paginado)

As Figuras 16 e 17 trazem um dos tipos de pavimentação asfáltica porosa. As figuras apresentadas são exemplos de uma camada porosa de atrito (CPA), utilizada como camada de revestimento destinada ao atrito pneu-pavimento em rodovias de tráfego intenso.



Na Figura 16 pode-se ver a abertura da granulometria que exerce a função de permitir a drenagem. A Figura 17 apresenta a eficiência da permeabilidade para certo volume de água lançado sobre sua superfície.

Este tipo de pavimento é assentada sobre uma camada impermeável e permite o escoamento das águas pluviais por entre seus vazios. Ao encontrar a camada impermeável, a água é escoada devido à inclinação transversal da pista, reduzindo a lâmina de água sobre a superfície de rolamento.

Segundo Rojas e Rodrigo [200-] a utilização deste tipo de pavimentação traz diversas vantagens que podem ser citadas:

- minimização do fenômeno de hidroplanagem;
- maior resistência à derrapagem com pavimento molhado;
- redução do “spray de água”;
- menor reflexão das luzes dos veículos;
- redução do ruído do tráfego;

Porém Rojas e Rodrigo [200-] mencionam também algumas desvantagens referentes à implementação deste sistema de pavimentação. São elas:

- maior custo inicial;
- desenho geométrico rigoroso;
- necessidade de drenagem lateral;
- perda de drenabilidade (colmatação);

Com o estudo apresentado encontra-se nos revestimentos de asfalto poroso uma boa alternativa para locais de tráfego elevado (rodovias, avenidas, vicinais, etc), melhorando o atrito pneu-pavimento em dias de chuva, proporcionando mais conforto e segurança ao tráfego. Desta maneira, os pavimentos de asfalto poroso são fortes aliados na redução do escoamento superficial nos grandes centros urbanos.

#### ***2.3.2.6 Estrutura dos Pavimentos Asfáltico Poroso***

As camadas do pavimento asfáltico poroso se dão de maneira diferente dos pavimentos permeáveis de concreto. Conforme já mencionado, nos pavimentos de concreto a água infiltrada pode ser absorvida pelas camadas subjacentes (base e sub-base) podendo ser direcionada para o solo, ou ainda conduzida por meio de tubulações, se assim for necessário.

Já no pavimento asfáltico poroso a água drenada pela camada de revestimento é tratada de modo diferente. Anteriormente a aplicação da camada porosa, se faz necessário à impermeabilização da superfície existente, evitando assim que a água penetre na estrutura do pavimento. Esta impermeabilização preferencialmente deve ser realizada por meio de ligante modificado (VIRGILIIS, 2009). O mesmo autor ressalta ainda outros cuidados que devem ser tomados na implementação de Pavimento Asfáltico Poroso. São estes:

- regularização da superfície a receber o revestimento poroso, de maneira que sejam eliminadas as depressões maiores que 1 cm, evitando assim acumulação de água em pequenas bacias;
- declividade transversal adequada para o escoamento da água, de modo a propiciar a saída rápida da água do interior do pavimento poroso. Para essa finalidade podem ser utilizados acostamentos permeáveis, drenos subsuperficiais ou, simplesmente, deixar a lateral da camada desobstruída.

### **2.3.3 Manutenção**

Ao longo do tempo é comum a redução das propriedades drenantes dos pavimentos permeáveis, tanto de concreto asfáltico como de cimento Portland. Segundo a ABCP (2009), considera-se que em 10 anos a capacidade de permeabilidade de um pavimento permeável reduza em até 90%, variando conforme o volume do tráfego e da existência de fontes de sedimentos na proximidade da área do pavimento. Esta ineficiência se dá devido à poluição que ocasiona a colmatação dos poros, resultando na perda da capacidade de absorção do pavimento drenante (Figura 18).

Figura 18 – Colmatação de pavimento permeável



Fonte: ABCP (2009, p.1)

Os sedimentos que ocasionam a contrariedade da função dos pavimentos permeáveis podem ser removidos por meio de varrição com aspiração (sem aspersão de água) utilizando varredeiras mecânicas. O intervalo de tempo para este processo varia conforme a necessidade de cada pavimento, já que cada um possui suas próprias necessidades de limpeza. Porém, como medida geral, deve ser programada esta manutenção para o ano seguinte à construção do pavimento (DUMKE, 2005).

Alguns equipamentos de aspiração necessários para casos de colmatação mais severos possuem potência suficiente para remoção do material de rejuntamento. Na ocorrência da retirada do rejunte das peças é necessário novo preenchimento com material de rejunte limpo (ABCP, 2009).

Outra forma de patologia, comum nos pavimentos intertravados permeáveis de concreto pré-moldado, é o surgimento de vegetação entre as juntas (Figura 19).

Figura 19 – Crescimento de vegetação nas juntas de pavimento permeáveis



Fonte: Marchioni e Silva (2011, p.18)

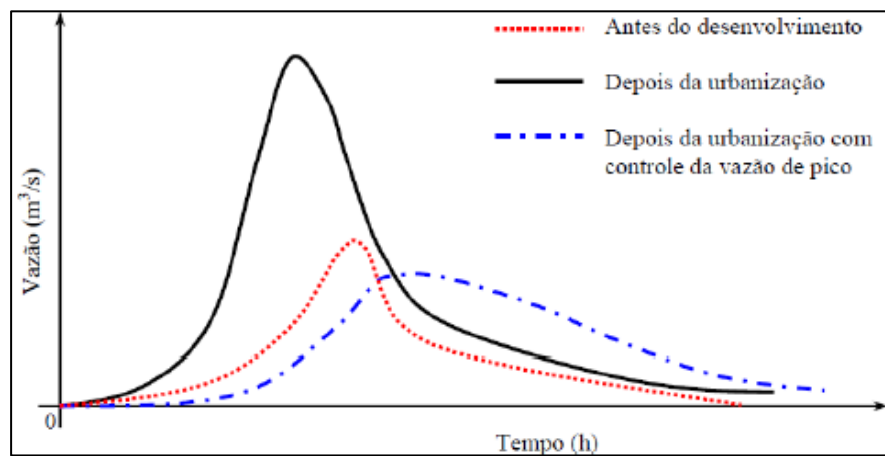
Esta vegetação, conforme apresentada na Figura 19, deve ser retirada, pois afeta a capacidade de infiltração da peça. A forma mais indicada para a retirada desta vegetação é manualmente. A ABCP (2009) indica a utilização de um garfo de jardinagem para escavação abaixo da raiz e desta maneira executar a retirada total da vegetação existente.

Entende-se assim que a manutenção preventiva dos pavimentos permeáveis preserva sua taxa de infiltração ao longo dos anos, reduzindo o risco de colmatação e crescimento de vegetação.

### 2.3.4 Desempenho

Os pavimentos permeáveis são grande aliados no controle de escoamento superficial diminuindo de maneira considerável a vazão máxima do hidrograma e retardando o tempo de pico. Segundo Acioli (2005), com a utilização deste recurso para controle na fonte, pode-se chegar a um cenário até mesmo melhor que ao antecedente à urbanização, conforme ilustrado na Figura 20.

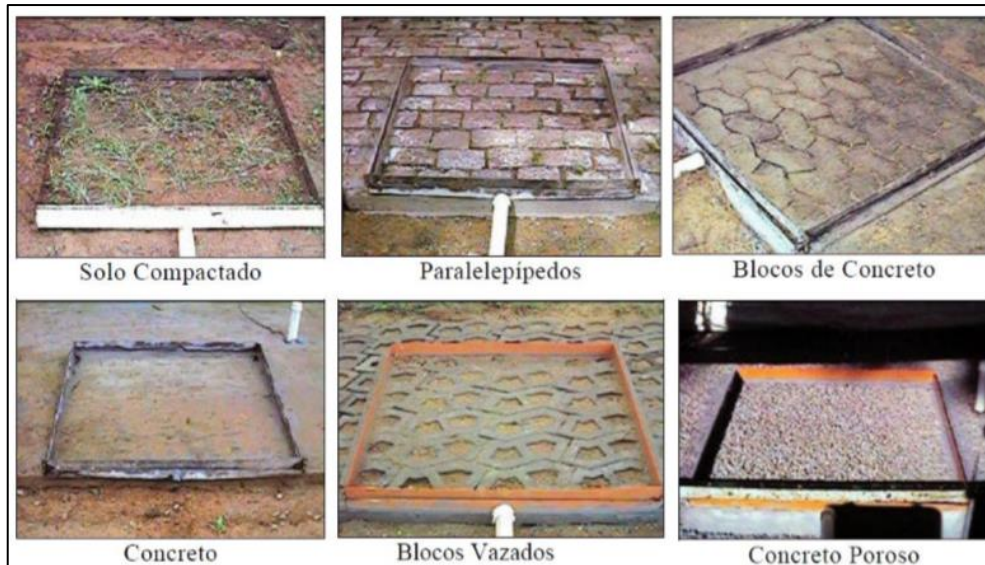
Figura 20 – Efeitos dos dispositivos de controle na fonte sobre o hidrograma da bacia



Fonte: Acioli (2005, p.30)

Araújo, Tucci e Goldenfum (2000), estudaram diferentes pavimentos permeáveis. Nestes estudos avaliou-se o desempenho dos pavimentos na redução do escoamento superficial. Para o estudo realizado utilizou-se da simulação de situações de precipitações intensas sobre seis tipos de coberturas urbanas, conforme apresenta na Figura 21.

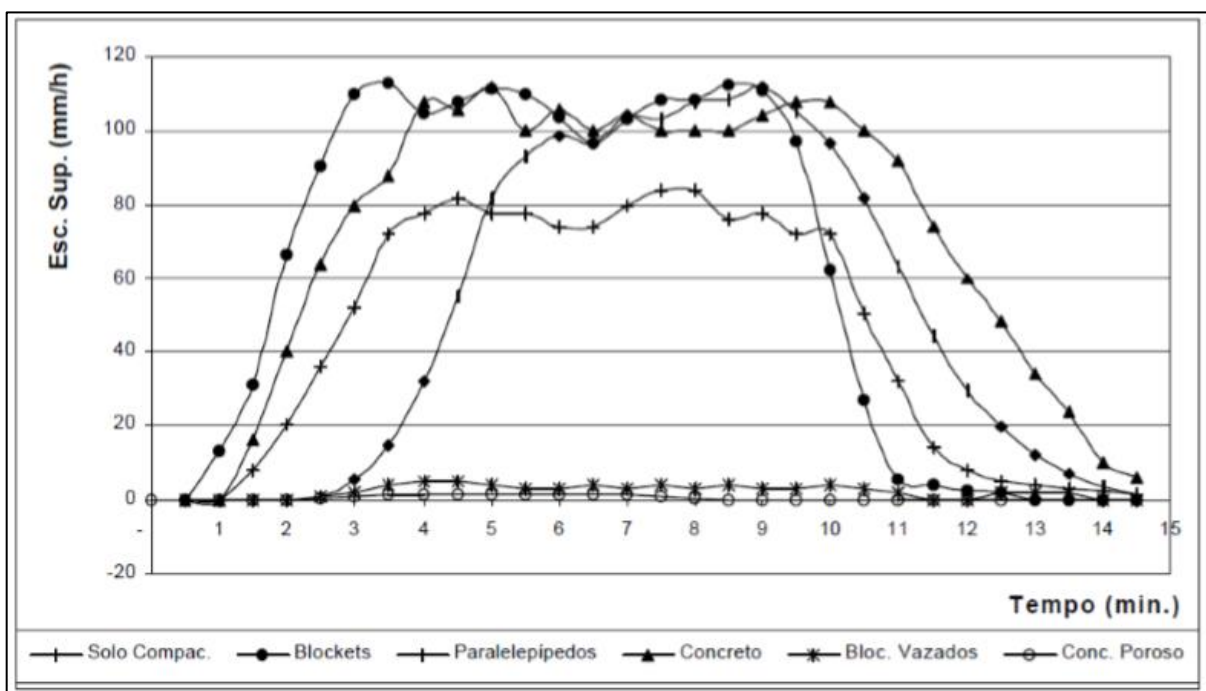
Figura 21 – Superfícies ensaiadas por Araújo, Tucci e Goldenfum (2000)



Fonte: Araújo, Tucci e Goldenfum (2000, p.25)

Os resultados da simulação realizada em cada uma das superfícies ilustrada na Figura 21 são apresentados na Figura 22. Dos seis tipos de pavimentos analisados, a superfície ensaiada de concreto poroso e de blocos vazados apresentaram o desempenho mais satisfatório no que refere-se à redução do escoamento superficial e eficiência de infiltração.

Figura 22 – Escoamento superficial observado nas superfícies ensaiadas



Fonte: Araújo, Tucci e Goldenfum (2000, p.25)

### ***2.3.5 Projeto dos pavimentos permeáveis***

#### ***2.3.5.1 Dados necessários***

Para a utilização dos pavimentos permeáveis, é preciso a checagem de alguns fatores para que se garanta a eficiência do pavimento. Marchioni e Silva (2011) relatam que para a viabilidade dos pavimentos permeáveis, as áreas de contribuição não devem exceder em cinco vezes a área do pavimento e recomenda-se um afastamento mínimo de 30 metros de distância entre córregos, reservatórios de águas e pântanos.

Outra recomendação se dá quanto à declividade do pavimento, que deve ser no máximo de 5%, uma vez que com declividades maiores a capacidade de infiltração é reduzida favorecendo o escoamento superficial. Nas áreas do entorno do pavimento deve-se evitar declividades superiores a 20% (MARCHIONI; SILVA, 2011).

Deve-se conhecer os dados de precipitação do local, definindo-se o tempo de retorno (TR) do projeto para obras de microdrenagem, que é o caso dos pavimentos permeáveis, normalmente de 5 a 10 anos. Determinado o TR e conhecendo também dos valores de precipitação local, se obtém a precipitação que virá a ser utilizada no dimensionamento do pavimento permeável.

Também é necessário o levantamento dos dados de tráfego no local de implantação. Esse dado é expresso em solicitações ao eixo padrão de 80 kN e normalmente se adota a vida útil do pavimento de 20 anos.

Por fim, ainda se faz necessário conhecer os dados do subleito para o dimensionamento adequado, sendo o tipo de solo, a capacidade de suporte e o coeficiente de permeabilidade, dados utilizados no dimensionamento da camada de base e sub-base do pavimento permeável (MARCHIONI; SILVA, 2011).

Quanto aos coeficientes de permeabilidade, Marchioni e Silva (2011) ressaltam que quanto mais baixo seja este coeficiente, menos permeável será o solo. Para a utilização de pavimentos permeáveis em solos com pouca capacidade de infiltração, pode ser que se faça necessária a utilização de tubos de drenagem. Desta maneira se evitará que a água permaneça na estrutura do pavimento por muito tempo podendo ocasionar perda de suporte.

### 2.3.5.2 Pré-dimensionamento

#### 2.3.5.2.1 Pré-dimensionamento hidráulico

Neste pré-dimensionamento utiliza-se dados de precipitação local, coeficiente de permeabilidade do solo e o risco de contaminação da água. Deve-se determinar também o tipo de infiltração a ser adotado pelo sistema, conforme já referido.

No sistema de infiltração total, toda água armazenada pelo pavimento é infiltrada no subleito. O sistema de infiltração parcial utiliza de tubos de drenagem para destinar o excesso de água armazenada para os sistemas de drenagem urbana. E por último, no sistema sem infiltração, toda a água é direcionada para os sistemas de drenagem pluvial, devido ao baixo índice de permeabilidade do solo, ou então pelo risco de contaminação das águas subterrâneas.

Para a determinação da espessura mínima de base e sub-base do pavimento permeável, Marchioni e Silva (2011) utilizam a seguinte equação:

$$h_b = \frac{\Delta Qc.R+P-f.T}{Vr} \quad \dots(18)$$

onde  $hb$  é a altura da base e sub-base granular em m;  $\Delta Qc$  é a área de contribuição em  $m^2$ ;  $R$  é o quociente da área de contribuição e da área do pavimento;  $P$  é altura da chuva de projeto em m;  $f$  é o coeficiente de permeabilidade do solo em m/s;  $T$  é o tempo de enchimento do reservatório em s e  $Vr$  é o volume de vazios dos agregados em %.

Para determinação do tempo de enchimento do reservatório, que é o tempo de saturação na ocorrência da chuva de projeto, recomenda-se a adoção de um período de 2 horas.

No pré-dimensionamento hidráulico é necessária a verificação da altura máxima das camadas de base e sub-base (Equação 19) e a determinação do nível do lençol freático.

$$h_{max} = \frac{f.Ts}{Vr} \quad \dots(19)$$

onde  $Ts$  é o tempo máximo de armazenamento de água em s, adotando-se geralmente 3 dias de armazenamento.

Determinados as alturas pelas Equações 18 e 19, deve-se verificar se o valor de  $hb$  é maior  $h_{max}$ . Caso isso aconteça será necessário à implantação de uma tubulação de drenagem para remoção da água excedente, resultando em um sistema sem infiltração ou de infiltração parcial.

Por fim, recomenda-se que a distância da face inferior da sub-base do pavimento permeável seja de no mínimo 60 cm em relação ao nível do lençol freático.

### 2.3.5.2.2 Pré-dimensionamento mecânico

O dimensionamento mecânico da camada de base de um pavimento permeável se dá de maneira semelhante ao pavimento intertravado convencional. A Tabela 6 pode ser utilizada como referência para o pré-dimensionamento, sendo conhecida a capacidade de suporte do solo e o número de soluções equivalentes para um projeto de vida útil de 20 anos.

Tabela 6 - Recomendação de espessura mínima da camada de base e sub-base

Solicitações equivalentes para 20 anos*	Índice de Suporte Califórnia de Subleito		
	>15	10 a 14	5 a 9
50,00	125	175	225
150,00	150	200	275
600,00	175	225	350

Fonte: Smith, 2006, apud Marchioni e Silva (2011, p.15)

\*Solicitações equivalentes ao eixo padrão de 80 kN

**Nota:** Todas as espessuras são consideradas após a compactação e são aplicáveis para todas as condições de infiltração. Para aplicações de tráfego de pedestres a espessura mínima recomendada é de 150 mm.

Para a espessura da camada de base e sub-base é adotado o maior valor entre o dimensionamento hidráulico e mecânico. Para base existe uma dimensão fixa de 100 mm e a camada de sub-base terá como dimensão a diferença necessária para se atingir o valor total encontrado no dimensionamento.

### 2.3.6 Vantagens e Desvantagens

Os pavimentos permeáveis no geral possuem certas vantagens em relação a outros sistemas de drenagem. Segundo Suzuki, Azevedo e Kabbach (2013) as principais vantagens são:



- a infiltração reduz bastante o volume de água que seria destinado ao sistema de drenagem, reduzindo de maneira considerável o risco de inundação nos sistemas a jusante.
- os dispositivos de infiltração podem ser utilizados em locais onde não existe rede de drenagem que possa absorver o escoamento proveniente do empreendimento.
- controlando o escoamento superficial na fonte, os dispositivos de infiltração minimizam os impactos hidrológicos da urbanização.
- não sobrecarregam a rede de drenagem evitando despesas com a ampliação da rede.
- a infiltração pode servir como recarga do aquífero quando a qualidade do escoamento superficial não vier a comprometer a qualidade da água.
- a construção dos dispositivos de infiltração, normalmente é simples e rápida.
- os custos em toda vida útil pode ser bem menos que em outros sistemas de drenagem.
- é possível o tratamento da água da chuva por meio da remoção de poluentes.
- redução da necessidade de meio-fio em canais de drenagem
- aumento do conforto e segurança em vias, devido à melhora do atrito pneu-pavimento e redução de ruídos.
- é um sistema que se integra completamente à obra, dispensando a necessidade de espaço exclusivo para drenagem.

Porém, o uso dos pavimentos permeáveis trazem algumas restrições devendo ser evitado em regiões de clima muito frio, devido ao possível entupimento e trincamento devido ao congelamento, em regiões áridas, em função da elevada amplitude térmica, em regiões com altas taxas de erosão, devido ao vento, em face do acúmulo de sedimento na superfície e em áreas de recarga de aquíferos elevados.

### ***2.3.7 Normas Técnicas para pavimentos permeáveis***

#### ***2.3.7.1 Normas Técnicas para Concreto Asfáltico Drenante***

A referência normativa para pavimento de concreto asfáltico drenante é:

- DNER – Departamento Nacional de Estradas e Rodagem - Especificação de Serviços, DNER 386/99.

Outras referências para pavimentos asfálticos que devem ser consideradas no dimensionamento de pavimento asfáltico drenante são trazidas na sequência. São elas:

- DNER – Departamento Nacional de Estradas e Rodagem - Preparação de Amostras para Ensaio e Caracterização, DNER ME 041/94;
- DNER – Departamento Nacional de Estradas e Rodagem - Determinação de Limite de Plasticidade, DNER ME 082/94;
- DNER – Departamento Nacional de Estradas e Rodagem - Compactação Utilizando Amostras Trabalhadas, DNER ME 129/94.

### ***2.3.7.2 Normas para pavimento permeável de concreto***

No Brasil a referência normativa sobre os pavimentos permeáveis de concreto foi aprovada recentemente, em agosto de 2015. Anteriormente eram inexistentes referências normativas para pavimentos permeáveis de concreto. Anteriormente à publicação, utilizava-se de normas técnicas internacionais e outras normas nacionais com certa relação a pavimentos de concreto como a NBR 9780:1987– Peças de concreto para pavimentação – determinação da resistência à compressão e NBR 9781:1987– Peças de concreto para pavimentação.

Porém, com o crescimento dos pavimentos permeáveis de concreto no Brasil fazia-se necessário à criação de uma norma própria para este tipo de pavimento, pois as referências existentes traziam apenas condições quanto às características técnicas de pisos de concreto, como dimensões, resistência, dentre outros parâmetros. Sendo assim depois de muitos estudos a Associação Brasileira de Normas Técnicas disponibiliza como referência normativa citada a seguir:

- NBR 16416:2015 – Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos, elaborada pelo Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados.

### ***2.3.8 Históricos de utilização de pavimentos permeáveis***

No que refere-se ao histórico de utilização de pavimentos permeáveis no mundo, segundo um estudo apresentado por Suzuki, Azevedo e Kabbach (2013), os primeiros indícios do uso de pavimentos permeáveis se deram na França, entre 1945 e 1950, porém sem muito êxito, pois na época a qualidade do ligante asfáltico se apresentava heterogênea de pouca trabalhabilidade, não atendendo às solicitações da estrutura devido ao elevado índice de vazios. Uma nova utilização de pavimentos permeáveis sucedeu-se 20 anos mais tarde, no final dos anos 1970, onde alguns países como França, Estados Unidos, Japão e Suécia voltaram a demonstrar interesse pelos pavimentos permeáveis.

Os principais motivos que despertaram o interesse nos pavimentos permeáveis foram:

- o aumento das superfícies impermeáveis, devido ao rápido processo de urbanização do pós-guerra, que causou o sobrecarregamento dos sistemas de drenagens existentes, gerando frequentes enchentes urbanas.
- melhorar a drenagem nas vias de tráfego, evitando a formação de poças de água no pavimento, o que proporciona melhores condições de segurança e conforto em dias de chuva.
- o reduzido nível de emissão de ruídos em comparação com o pavimento convencional, o que ajuda a diminuir a poluição sonora nos centros urbanos.

Nos Estados Unidos, vêm se criando em diversos estados leis que alteram os objetivos e métodos de drenagem urbana, impondo a máxima infiltração ou armazenamento temporário da água de escoamento superficial. Em alguns casos, a água armazenada é direcionada para outros fins, como por exemplo, a irrigação (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH, 2013).

Na França em 1978 foi lançado pelo *Ministère de l'Équipement* o programa de pesquisas com o intuito de explorar soluções para as questões de inundações. Dentre os estudos realizados, o pavimento permeável, destacou-se como uma das soluções mais interessantes devido a sua facilidade de integração aos ambientes urbanos. Desde então o pavimento permeável se tornou objeto de pesquisas e experimentos, que resultaram em um domínio de suas técnicas e vantagens. O pavimento permeável passou, então, por um processo de desenvolvimento industrial à partir de 1987, e é hoje largamente utilizado em vias, calçadas, praças, etc (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH, 2013).

No Japão, o uso do pavimento permeável se integra programas que incluem todas as técnicas de infiltração. Essas técnicas são usadas principalmente nos quarteirões de grandes cidades, em locais com disponibilidade e que possam sofrer inundações, como quadras de esporte de universidades, pátios de escolas, etc. Um exemplo que pode ser citado no Japão é a cidade de Yokohama, que devido ao elevado processo de urbanização ocorrido entre as décadas de 80 e 90, desde então tem estudado técnicas de controle de escoamento na fonte, sendo o uso de pavimentos permeáveis uma delas.

Na Suécia, a utilização dos pavimentos permeáveis foi incentivada pela sua contribuição para solução de outros dois problemas importantes: (i) a redução do nível do lençol freático levou à diminuição da umidade do solo e como consequência o adensamento do solo local; (ii) os danos causados pelo gelo no norte da Suécia, onde rodovias e tubulações de água pluvial localizadas próximo a superfície sofrem danos consideráveis, cujos gastos para

recuperação são elevados. Com a larga utilização dos pavimentos permeáveis, foi interrompida a redução do lençol freático, reduzindo também a necessidade de redes de drenagem pluvial (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH, 2013).

Em estudos mais recentes, encontram-se outros países que têm adotado os pavimentos permeáveis como controle de escoamento superficial na fonte, solucionando os constantes problemas de drenagem urbana. Dentre eles a Austrália, que desde 1996, tem pesquisado as formas de controle na fonte e na incorporado as técnicas de pavimentos permeáveis a diversos projetos de loteamentos urbanos, áreas industriais e estacionamentos.

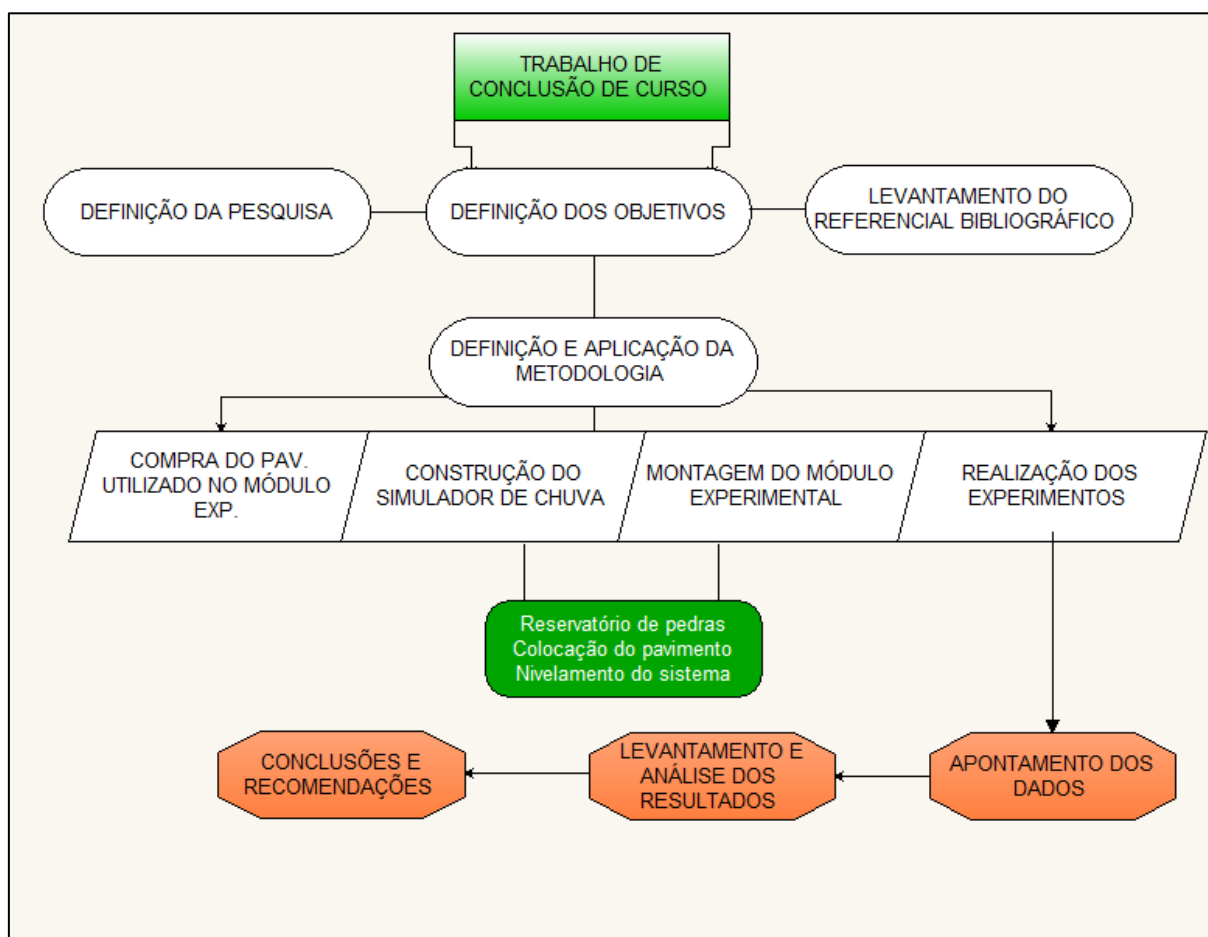
No Brasil, os estudos referentes aos pavimentos permeáveis são mais recentes. Desde 2007, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) tem se dedicado em pesquisas com concreto permeável para uso em pavimentos. Assim como em outros países, os incentivos para as pesquisas motivaram-se pelas constantes enchentes nos grandes centros urbanos. Coordenada pela engenheira civil Mariana Marchioni, os estudos resultaram na elaboração de um manual de melhores práticas em pavimentos permeáveis, tendo como modelo o pavimento intertravado (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH, 2013).

Com o intuito de propagar o sistema de pavimentos permeáveis no Brasil, a ABCP promove intercâmbios com o *Interlocking Concrete Pavement Institute* (ICPI), nos Estados Unidos, e também integra o *Small Element Pavement Technologists* (SEPT) – um grupo que reúne os maiores especialistas em pavimentos de concreto. Segundo Marchioni (2011), a ABCP tem estudado os pavimentos permeáveis e elaborado uma série de ferramentas para ajudar a propagar este sistema. Mas o ideal é que os municípios também tenham um bom plano diretor de drenagem. (Marchioni, 2011)

### 3 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos no presente estudo, foi adotado o procedimento metodológico apresentado na Figura 23.

Figura 23 – Fluxograma de atividades



Fonte: Elaboração Própria

#### 3.1 Definição da área de estudo e montagem do módulo experimental

Com base nos objetivos propostos, o desenvolvimento do estudo consistiu inicialmente na montagem de um módulo experimental, nas dependências do campus Alegrete – Unipampa, constituído de uma área de 1 m<sup>2</sup> de pavimento permeável, com posterior determinação da eficiência de infiltração deste pavimento sob diferentes intensidades de precipitação.

O pavimento permeável foi montado sobre uma base de brita, denominado reservatório de pedras, com uma inclinação de 5%, conforme recomendado por Marchioni e Silva (2011), uma vez que a declividade do pavimento influencia na velocidade do escoamento superficial, que por sua vez pode interferir na capacidade de infiltração do pavimento. A superfície ensaiada no experimento é composta de revestimento de blocos intertravados de concreto permeável (Figura 24).

Figura 24 - Blocos assentados para execução do ensaio



Fonte: Elaboração Própria

Os blocos ensaiados foram adquiridos junto a empresa Tecmold, localizada no município de Gravataí – RS. De acordo com a referida empresa, o processo de fabricação dos blocos seguem os critérios estabelecidos pela NBR 16416:2015 – Pavimentos Permeáveis de Concreto – Requisitos e Procedimentos.

O bloco permeável de concreto apresenta as seguintes dimensões: 10cm x 20cm x 6cm (largura x comprimento x espessura). A Norma Técnica específica estabelece resistência mecânica mínima de 20 MPa, sendo recomendando sua utilização para tráfego de pedestres e veículos leves.

Em relação à base necessária para assentamento do pavimento permeável e respectivo processo de infiltração, faz-se necessário o dimensionamento do reservatório de pedras. No

presente estudo, adotou-se o sistema de infiltração total. De acordo com Araújo, Tucci e Goldenfum (2000), o dimensionamento poderá ser realizado através da seguinte expressão:

$$Vr = (ip + c - ie) * td \quad \dots(20)$$

onde  $Vr$  é o volume de chuva a ser retido pelo reservatório em mm;  $ip$  é a intensidade máxima de chuva de projeto em mm/h;  $c$  é o fator de contribuição de áreas externas ao pavimento permeável, sendo para o experimento  $c=0$ ;  $ie$  a capacidade de infiltração do solo em mm/h, e  $td$  o tempo de retorno em horas, sendo adotado 15 minutos.

Conhecendo  $Vr$  determinou-se o valor de  $H$ , sendo este a altura mínima determinada para o reservatório de pedras (ARAÚJO; TUCCI; GOLDENFUM, 2000):

$$H = \frac{Vr}{n} \quad \dots(21)$$

onde  $n$  é a porosidade da brita, sendo adotado  $n = 40\%$  (brita nº 3).

### **3.2 Caracterização do solo local**

Para execução dos experimentos, fez-se necessário dados referentes a capacidade de infiltração do solo em estudo. Um dos meios de determinação da capacidade de infiltração é o método dos anéis concêntricos, que determina a velocidade de infiltração existente no solo.

Estas informações se fazem necessárias para o dimensionamento do reservatório de pedras, exigido na implementação de pavimentos permeáveis.

No presente estudo, utilizaram-se dados disponíveis na bibliografia, referentes a capacidade de infiltração da área em tela, determinada por Cooper (2013), que verificou a viabilidade de implementação de três tipos de pavimentos para a redução do escoamento superficial.

### **3.3 Simulador de chuva**

A construção do simulador visou à obtenção de diferentes intensidades de precipitação, verificando assim a eficiência dos blocos utilizados quanto a sua capacidade de drenagem.

A intensidade média de precipitação para o local de estudo, foi obtida através da equação de chuvas intensas (Equação 1), com parâmetros definidos por Denardin e Freitas (1982), disponível no *software* Pluvio 2.1, da Universidade Federal de Viçosa.

Utilizou-se os parâmetros que representam a região em estudo, no caso o município de Alegrete/RS. Adotando-se um tempo de retorno de 10 anos, com um tempo de precipitação de 15 minutos, foi determinado a intensidade média de precipitação para o local de estudo, dando sequência em outras etapas do trabalho em questão.

O simulador de chuva projetado para os ensaios de campo possui capacidade de gerar precipitações com diferentes intensidades sobre uma superfície de 1 m<sup>2</sup>. O simulador consiste em uma armação retangular, apoiada sobre quatro hastes fixas sobre a superfície dos blocos utilizados. Para minimizar a ação do vento sobre as gotas de chuva, o experimento foi realizado em ambiente protegido.

Na base superior do simulador foi fixado um sistema de tubulações de PVC, perfurados de maneira uniforme, para simular as gotas de chuva, sendo alimentados por uma entrada de água. A alimentação do simulador ocorreu através de um reservatório de 2000 litros, onde com o auxílio de um conjunto motor-bomba foi possível controlar a vazão, de forma que fosse atendida a intensidade de precipitação necessária durante a execução do ensaio. A Figura 25 mostra o simulador de chuva montado para o referido estudo.

Figura 25 – Simulador de chuva utilizado na pesquisa



Fonte: Elaboração Própria



A Figura 25 apresenta dois momentos referentes à montagem do módulo experimental. O item “A)” traz o experimento já montado, incluindo colocação do simulador, já nivelado, e os blocos devidamente colocados sobre o reservatório de pedras. Já a parte “B” mostra o momento em que foi realizada a aferição do equipamento verificando se a simulação realizada apresentava-se de maneira uniforme em toda a superfície ensaiada.

### ***3.4 Determinação do escoamento superficial***

Para a determinação do escoamento superficial, adotou-se o seguinte procedimento metodológico:

- determinação da umidade inicial do solo no momento da execução de cada ensaio;
- colocação e nivelamento do simulador de chuva sobre o pavimento a ser ensaiado;
- aplicação de precipitações variáveis, através do simulador projetado sobre o pavimento ensaiado;
- anotação das variações do nível de água do reservatório que alimentou o simulador;
- montagem de uma calha coletora para captação do volume de escoamento gerado;
- medição da variação do volume do reservatório a jusante, visando determinar o escoamento superficial gerado pelo pavimento.

Posteriormente aos ensaios foram determinados os dados descritos a seguir:

#### **a) Cálculo da vazão de aplicação;**

$$Q_{apl} = A_c \times \frac{\Delta h_e}{\Delta t} \quad \dots(22)$$

onde  $Q_{apl}$  é a vazão de aplicação sobre os pavimentos em m<sup>3</sup>/s;  $A_c$  é a área em planta do reservatório em m<sup>2</sup>;  $\Delta h_e$  é a variação do nível de água no reservatório em m; e  $\Delta t$  é o intervalo de tempo entre as leituras em segundos.

**b) Determinação da intensidade de precipitação;**

$$i = \frac{V_{apl}/A}{t_{apl}} \quad \dots(23)$$

onde  $V_{apl}$  é o volume aplicado sobre o pavimento em litros;  $A$  é a área do pavimento em  $m^2$ ;  $t_{apl}$  é o tempo de aplicação em minutos e  $i$  é a intensidade de precipitação em  $mm/h$ .

**c) Determinação do escoamento superficial;**

Para determinação do volume escoado utilizou-se de uma calha coletora que direcionava o escoamento para um recipiente. Ao final do ensaio este volume era inserido em um proveta milimetrada, tornando assim conhecido o volume escoado, em litros por minuto (l/min).

**d) Cálculo do coeficiente C pelo método racional.**

Para o cálculo de coeficiente de escoamento, utilizou-se uma adaptação da equação 7, chegando assim na expressão:

$$C = \frac{60 \times Q_{m\acute{a}x}}{i \times A} \quad \dots(24)$$

onde  $C$  é o coeficiente de escoamento superficial,  $Q_{m\acute{a}x}$  é a vazão máxima em litros por minuto,  $i$  é a intensidade de precipitação em milímetros por hora e  $A$  é a área do pavimento em metros quadrados.

## 4 RESULTADOS

No estudo apresentado foi determinada a eficiência de um bloco intertravado permeável sob duas diferentes intensidades de precipitação. Para o estudo em questão optou-se pela realização dos ensaios em uma área experimental nas dependências da Universidade Federal do Pampa – Alegrete RS. Tendo sido determinado o local onde os experimentos foram realizados, parte-se para a determinação de alguns dados iniciais necessários para o prosseguimento do trabalho.

Para a execução das simulações de chuva em um pavimento permeável, se faz necessário o dimensionamento de um reservatório de pedras. Porém para o dimensionamento deste reservatório é preciso conhecer a capacidade de infiltração do solo em que seriam realizados os ensaios. O conhecimento desta capacidade de infiltração para o presente estudo se deu em busca bibliográfica. Segundo Cooper (2013), o solo local da área em que se deu a realização dos experimentos possui baixa taxa de infiltração, com valores próximos a 0,04 milímetros por hora, valor considerado relativamente baixo quando objetiva-se utilizar de pavimentos permeáveis para redução do escoamento superficial.

Uma das justificativas encontradas para os baixos valores de taxa de infiltração está nas características do solo da região, uma vez que o município de Alegrete possui predominância de solos com perfis rochosos, tendo estes como características baixa capacidade de infiltração (STRECK et al.,2008).

Sendo conhecida a capacidade de infiltração da área de estudo, foi possível realizar o dimensionamento do reservatório de pedras necessário na utilização de pavimentos permeáveis. Para o estudo em questão optou-se por um sistema de infiltração total, onde toda a água infiltrada é captada pelo solo.

Tendo sido escolhido o tempo de retorno de 10 anos e duração de precipitação de 15 minutos, determinou-se a intensidade de precipitação máxima para o município de Alegrete por meio das equações de chuvas intensas (IDF). Sendo assim, obteve-se uma intensidade de precipitação de 148,48 milímetros por hora.

Com base na precipitação encontrada foi determinado pelo método já referido, o volume de chuva a ser retido pelo do reservatório ( $V_r$ ), equivalente a 37,09 milímetros. Com este volume dimensionado, partiu-se para o dimensionamento da altura (H) do reservatório de pedras, sendo encontrada uma altura de 92,50 milímetros. Entretanto, este parâmetro encontrado é inferior ao valor mínimo recomendado no método escolhido, que é de 150

milímetros. Sendo assim, adotou-se para o reservatório de pedras, a altura de mínima recomendada de 150 milímetros.

#### ***4.1 Determinação do escoamento Superficial***

Para o estudo em questão foram utilizadas duas intensidades de precipitação, sendo uma próxima ao valor encontrado para precipitação máxima por meio das equações de chuvas intensas para o município de Alegrete e outra uma intensidade menor, verificando assim a eficiência do bloco utilizado para ambas as intensidades.

Antes da realização de cada ensaio, foram coletadas três amostras de solo para determinação do teor de umidade do solo, fazendo assim uma relação com o teor de umidade e a eficiência do bloco em reduzir o escoamento superficial. As amostras retiradas foram colocadas em cápsulas, pesadas em uma balança de precisão e postas em uma estufa. Após 24 horas, as amostras foram pesadas novamente. Com os dados obtidos por meio da equação 25, pode-se conhecer o teor de umidade antes da realização de cada ensaio.

$$U = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad \dots(25)$$

onde  $U$  é o teor de umidade em %;  $M_w$  é a diferença entre o peso da amostra no momento em que esta foi retirada e seu peso seco em gramas e  $M_s$  é o peso da amostra seca.

Conforme observado, o teor de umidade do solo para os ensaios realizados aumentou consideravelmente, uma vez que foram realizados em sequência, com um intervalo de 10 minutos.

Montado o módulo experimental, que inclui a colocação e nivelamento do simulador construído, instalação do conjunto motor-bomba, que além de bombear água para o sistema regulava também a vazão para que esta fosse constante durante o ensaio, e montagem de um sistema constituído de uma calha coletora e um recipiente (Figura 26) para captação do volume escoado, procedeu-se a realização dos experimentos.

Primeiramente, foi verificado e registrado o nível do reservatório antes de ser acionado o sistema. Este mesmo procedimento foi realizado no final de cada ensaio, determinando-se assim a variação de nível do reservatório. Após o período determinado, o volume escoado foi colocado em uma proveta milimetrada, determinando assim o volume escoado em cada ensaio.

Figura 26 - Sistema coletor do escoamento



Fonte: Elaboração Própria

Para cada teste realizado foram feitas três repetições, para uma mesma vazão. Observa-se que os valores encontrados para os coeficientes de escoamento tiveram um acréscimo do primeiro para o terceiro ensaio realizado. Este fato é compreensível, uma vez que houve um incremento do teor de umidade do local onde se deram os ensaios. Com isso entende-se que a eficiência dos pavimentos permeáveis está ligada a outros fatores.

Araújo, Tucci e Goldenfun (2000) simularam chuvas intensas em diferentes superfícies, duas delas em área com solo exposto compactado e concreto poroso. Os resultados obtidos comprovam que o concreto poroso obteve coeficiente de escoamento de 0,005, já o solo exposto compactado resultou em um coeficiente de 0,66. Contudo comprova-se que as condições do solo interferem na capacidade de infiltração proporcionada pelos pavimentos permeáveis. A Tabela 7 expõe os dados obtidos no primeiro ensaio realizado.

Tabela 7 - Coeficientes de escoamento ensaio 1

Teste	Vazão aplicada(m <sup>3</sup> /s)	Teor de umidade do solo	Intensidade média (mm/h)	Escoamento superficial (l/min)	C (Método Racional)
1	3,70E-05	6,5%	133,33	0,15	0,07
2	3,92E-05	8,04%	141,17	0,18	0,08
3	3,92E-05	10,84%	141,17	0,21	0,09

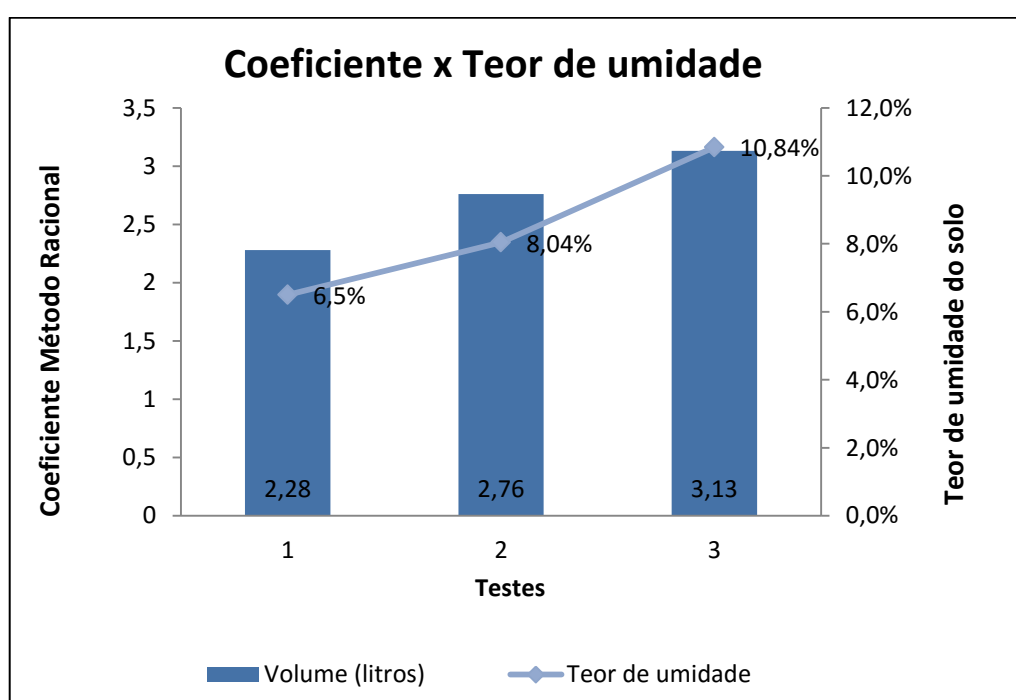
Fonte: Elaboração Própria

A Tabela 7 apresentada anteriormente explicita os dados referentes ao primeiro teste realizado. Neste ensaio buscou-se uma calibragem em que a intensidade de precipitação

utilizada fosse próxima do valor encontrado pela equação de chuvas intensas (IDF) para o município de Alegrete. Para uma intensidade de precipitação média de 138,60 mm/h, os valores de coeficiente de escoamento foram de 0,07 para o primeiro ensaio, 0,08 para o segundo e 0,09 para o último ensaio realizado para tal intensidade. Este aumento no escoamento torna-se claro segundo motivos já referidos.

A Figura 27 apresenta o volume escoado nos três ensaios realizados para o teste 1, juntamente com os valores do teor de umidade encontrado na realização de cada ensaio.

Figura 27 – Volume (litros) escoado em cada ensaio



Fonte: Elaboração Própria

A Tabela 8 refere-se aos dados obtido no teste 2. Neste utilizou-se de uma intensidade de precipitação inferior à primeira, objetivando verificar como o bloco intertravado de concreto permeável se comportaria quando submetido a uma intensidade de precipitação inferior aquela encontrada como máxima para o município de Alegrete.

Tabela 8 - Coeficientes de escoamento Teste 2

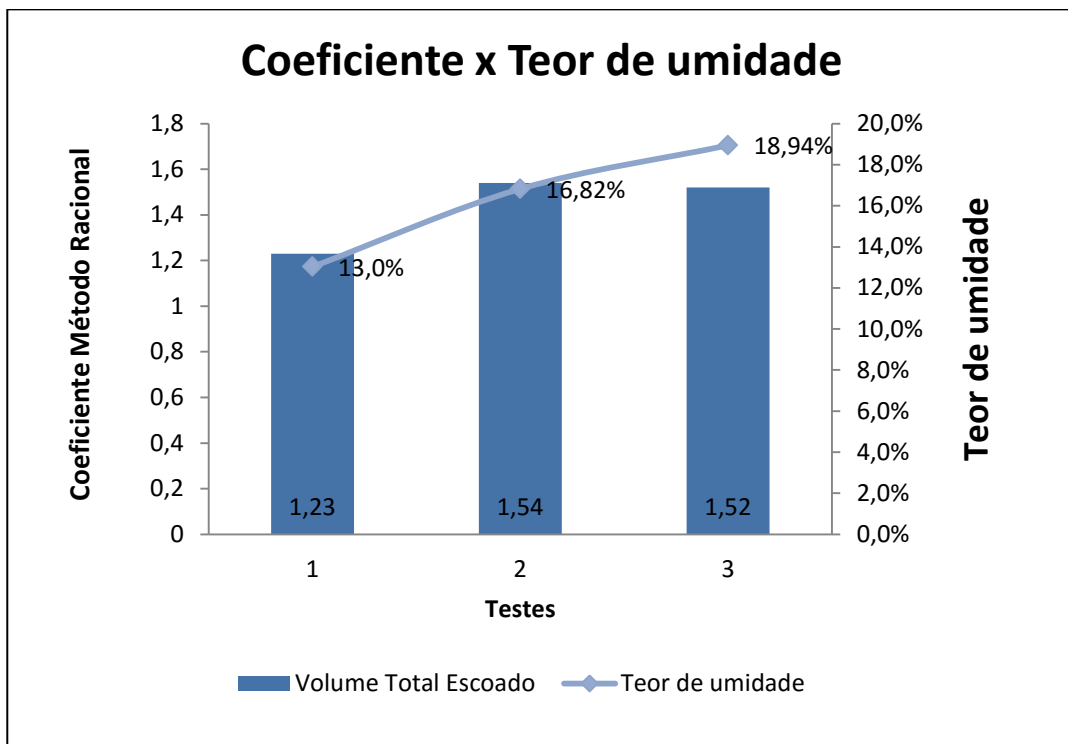
Ensaio	Vazão aplicada(m <sup>3</sup> /s)	Teor de umidade do solo	Intensidade média (mm/h)	Escoamento superficial (l/min)	C (Método Racional)
1	2,40E-05	13,03%	86,27	0,08	0,057
2	2,61E-05	16,82%	94,11	0,10	0,065
3	2,40E-05	18,94%	86,27	0,10	0,070

Fonte: Elaboração Própria

Analisando a Tabela 8, verifica-se um aumento do teor de umidade do solo em cada ensaio, uma vez que estes foram realizados em sequência, conforme já descrito. Porém percebe-se também que os valores do coeficiente de escoamento foram inferiores ao teste 1. Por isto conclui-se que mesmo com o aumento do teor de umidade do solo na realização dos três últimos ensaios, o pavimento proporcionou melhores resultados no que se refere ao coeficiente de escoamento. Portanto, conclui-se que com este comportamento o bloco intertravado permeável possui melhor desempenho quando sujeito a intensidades de precipitação menores.

A Figura 28 apresenta o volume escoado nos três ensaios realizado para o teste 2 juntamente com os valores do teor de umidade encontrado na realização de cada ensaio.

Figura 28 - Volume (litros) escoado em cada ensaio

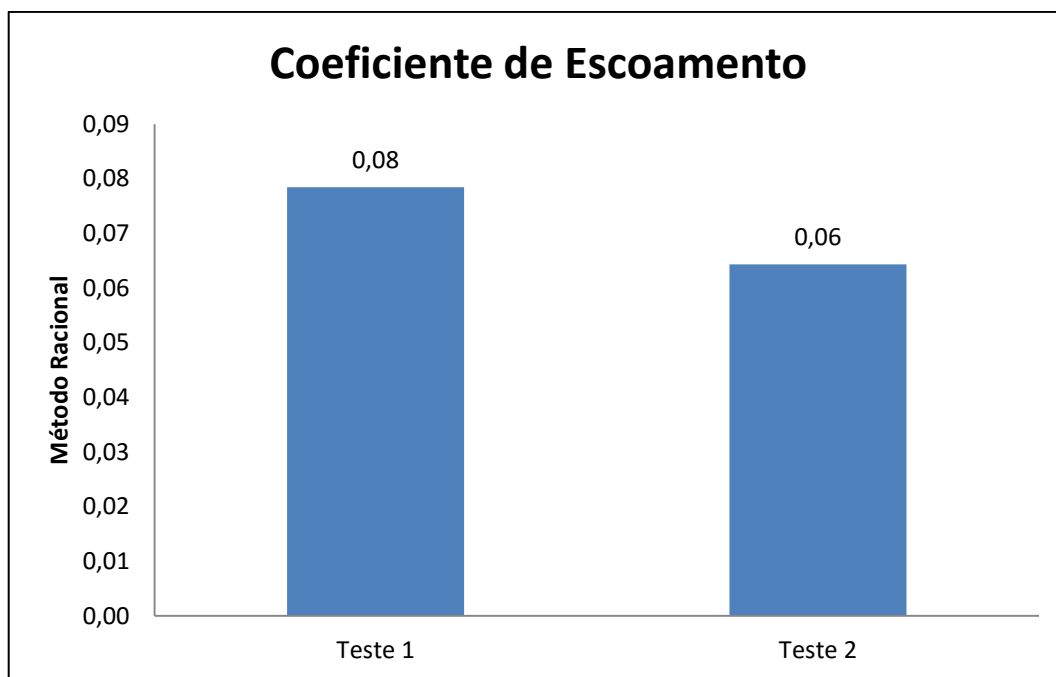


Fonte: Elaboração Própria

Observando a Figura 28, referente ao teste 2, percebe-se que o comportamento se deu de maneira similar aos ensaios do teste 1. Embora o coeficiente de escoamento tenha sofrido um decréscimo do teste 1 para o teste 2, o que explica-se pela menor intensidade de precipitação utilizada entre os experimentos, nos ensaios realizados para o teste 2 os valores aumentam da mesma forma vista no teste 1, confirmando mais uma vez que a eficiência do pavimento permeável está relacionada a parâmetros externos como o teor de umidade do solo.

Tendo sido analisado de maneira individual cada ensaio realizado, partiu-se para uma análise global dos resultados obtidos. A Figura 29 mostra os valores médios para cada ensaio quanto ao coeficiente de escoamento encontrado.

Figura 29 - Valores médios para coeficiente de escoamento



Fonte: Elaboração Própria

De acordo com a Figura 29, percebe-se de maneira mais clara que o coeficiente de escoamento para o teste 2 foi inferior ao teste 1, como já descrito.

Em uma análise bibliográfica, verifica-se que os pavimentos permeáveis são grande aliados na redução do escoamento superficial em grandes centros urbanos. Araújo, Tucci e Goldenfun (2000), apresentam um estudo realizado onde se determinou o coeficiente de escoamento para pavimentos de concreto convencional, blocos de concreto e paralelepípedos. Estes apresentaram coeficiente de escoamento de 0,95, 0,78 e 0,6, respectivamente, enquanto que um pavimento de concreto poroso apresentou valor médio de 0,01.

Durante os ensaios realizados nos blocos intertravados de concreto permeável notou-se que grande parte do volume de precipitação simulada era absorvida rapidamente sendo direcionada ao reservatório de pedras. Outra característica observada foi à questão dos blocos apresentarem sua superfície seca, ligeiramente após o término do ensaio, comprovando a rápida absorção do material. Estas características são mencionadas por Acioli (2005) e Araújo, Tucci e Goldenfun (2000), comprovando assim o que foi visto.



## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 Conclusões

O presente estudo visou analisar a eficiência de um pavimento intertravado permeável sob diferentes intensidades de precipitação para uma área de estudo no município de Alegrete, verificando a contribuição destes para redução do escoamento superficial. Para a realização dos ensaios, se fez necessário a construção de um simulador capaz de simular as diferentes intensidades a serem ensaiadas.

Para a realização dos experimentos optou-se pela utilização de blocos intertravados de concreto permeável colocados em uma superfície de 1 m<sup>2</sup> com declividade de 5%. Esta área exerceu a função de captar o volume precipitado, fazendo seu direcionamento para o reservatório de pedras, sendo este escolhido como sistema de infiltração total. O volume excedente era direcionado para um sistema coletor, onde deste era conduzido para um recipiente para posterior determinação do volume escoado.

Com base em um referencial bibliográfico, constatou-se que o solo local possui baixa capacidade de infiltração, o que muitas vezes pode inviabilizar a utilização dos pavimentos permeáveis com sistema de infiltração total. Esta questão encontrada em pesquisas realizadas apenas comprova o que já se vê cotidianamente após períodos chuvosos na região, onde nota-se esta questão da baixa taxa de infiltração. Com isso é indicado como possível solução à utilização de outro sistema de infiltração, como o de infiltração parcial que por meio de drenos faz com que a água drenada pelo pavimento não necessite ser captada por completo pelo solo.

Quanto aos resultados encontrados, estes se deram dentro do esperado. Quando determinados os valores médios para o coeficiente de escoamento superficial do bloco intertravado de concreto permeável, comprovou-se que este possui valores consideravelmente menores quando comparados com outros tipos de materiais comumente utilizados, validando a ideia de sua utilização com o objetivo de reduzir o escoamento superficial.

Foi comprovado que as condições do solo interferem na capacidade de infiltração do pavimento, pois conforme visto os valores dos coeficientes de escoamento superficial encontrados para uma mesma intensidade de precipitação aumentaram de um teste para outro. Considerando que eram realizados em sequência com um intervalo de 10 minutos entre si confirma-se então que a eficiência da capacidade de drenagem do pavimento permeável está relacionada a parâmetros externos como o teor de umidade do solo.

Quando comparados os valores do coeficiente de escoamento para as duas intensidades de precipitação simuladas, observa-se que mesmo com teores de umidade do solo mais elevados, o coeficiente de escoamento superficial para intensidades menores, são inferiores, comprovando que os pavimentos permeáveis possuem melhor desempenho quando submetidos a intensidades de precipitação mais baixas.

Os blocos de concreto permeável apresentaram coeficiente de escoamento superficial próximo a estudos realizados em áreas não pavimentadas, como áreas gramadas ou solo exposto. Estes na maioria das vezes são aqueles que apresentam melhor desempenho na redução do escoamento, entretanto, em função das características deste solo exposto, isso nem sempre acontece, sendo a utilização dos pavimentos permeáveis uma boa alternativa, desde que devidamente dimensionado seu sistema de infiltração.

Outra questão que viabiliza a utilização dos pavimentos permeáveis refere-se às superfícies gramadas ou com solo exposto exigirem alguns cuidados (limpeza, irrigação e corte), sendo os blocos de concreto permeável uma boa opção para passeios públicos, pátios domésticos e áreas de estacionamento por sua maior praticidade.

Cabe salientar que o estudo realizado limitou-se a área experimental, nas dependências do campus Alegrete da Universidade Federal do Pampa. Sendo assim, seria errôneo afirmar que o estudo apresentado serve para todo o município. Mesmo que os índices utilizados na determinação da intensidade de precipitação máxima para a cidade sejam próximos, o solo de uma região para outra pode apresentar diferentes características, alterando assim a eficiência dos pavimentos permeáveis de um local da cidade para outro.

Conforme visto, o solo do município de Alegrete possui capacidade de infiltração baixa, o que inviabiliza de certa maneira a utilização dos pavimentos permeáveis com sistema de infiltração total. Todavia, mesmo sob estas circunstâncias a utilização dos pavimentos intertravados permeáveis se dão como uma boa alternativa em locais destinados a circulação de pedestres e veículos leves, conforme recomendado em norma, já que o material ensaiado apresentou capacidade de infiltração muito superior quando comparado a superfícies de concreto convencional, além da questão da praticidade comparada com superfícies gramadas, podendo contribuir de forma semelhante no que se refere à redução do escoamento superficial.

## ***5.2 Recomendações para trabalhos futuros***

Com o estudo apresentado constatou-se que o pavimento intertravado de concreto permeável é uma boa alternativa de pavimentação em determinados locais pela contribuição fornecida na redução do escoamento superficial e pela sua praticidade. Infelizmente mesmo com as inúmeras vantagens, este material é pouco utilizado, seja pela falta de informações disponíveis ou até mesmo por desconhecimento.

Desta maneira, trabalhos que visem propagar a utilização do pavimento intertravado permeável, como custos de implantação deste executando um comparativo com os sistemas convencionais são boas sugestões de pesquisa.

Sugere-se ainda que o conteúdo abordado neste trabalho seja apresentado ao poder público de Alegrete, sugerindo que este possa ceder incentivos fiscais para obras que utilizem pavimentos permeáveis, ou ainda que seja incluso no código de obras do município a obrigatoriedade da utilização de sistemas de pavimentação que reduzam o escoamento superficial em áreas de estacionamento, pátios residenciais, parques, passeios públicos e demais locais em que a utilização do pavimento permeável se dá como boa opção.

## 6 REFERÊNCIAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. (Org.). **Pavimento intertravado permeável com juntas alargadas**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, [201-].

\_\_\_\_. **Pavimento Intertravado é alternativa sustentável para economia de recursos**. 2015. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/pavimento-intertravado-e-alternativa-sustentavel-para-economia-de-recursos#.VTAe49zF8po>>. Acesso em: 18 out. 2015.

\_\_\_\_. **Manutenção de pavimentos intertravados permeáveis**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9780**: Peças de concreto para pavimentação - determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

\_\_\_\_. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

\_\_\_\_. **NBR 16416**: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ACIOLI, Laura Albuquerque. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle de escoamento superficial na fonte**. 2005. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ALESSI, Fernando; KOKOT, Pedro Júnior; GOME, Júlio. **Comparação de escoamento superficial gerado por pavimentos permeáveis em blocos de concreto e asfalto poroso**. In: COMPARAÇÃO do escoamento superficial gerado por pavimentos. Curitiba: da Vinci, 2006. p. 139-156.

ARAÚJO, Paulo Roberto de; TUCCI, Carlos E. M.; GOLDENFUM, Joel A.. Avaliação da eficiência dos pavimentos Permeáveis na redução de escoamento superficial. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p.21-29, jul. 2000.

BATEZINI, Rafael. **Estudo Preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**. 2013. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BRASIL, Flatout. **Pavimento asfáltico drenante**. Disponível em: <<http://www.flatout.com.br/pista-molhada-nao-com-esse-asfalto-que-bebe-agua/>>. Acesso em: 18 out. 2015.

CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. Escoamento Superficial. In: CARVALHO, D. F. de. **Hidrologia**. [s.l.]: [não Consta], 2006. Cap. 7. p. 95-115.

COOPER, Alisson Meira. **Estudo de viabilidade técnica da implantação de pavimentos permeáveis do tipo infiltração total para redução do escoamento superficial, na cidade de Alegrete/RS**. 2013. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2013.

COSTA, Cauê S.; ALVES, Edipo M. A.; BARBOZA, Thiago D.. **Uso de pavimentos permeáveis como medida de controle das inundações urbanas**. 2011. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2011.

DENARDIN, José Eloir; FREITAS, Paulo Luiz de. Características da Chuva no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 10, n. 17, p.1409-1416, out. 1982.

FARIAS JÚNIOR, J. E. F; BOTELHO, R.. G. M.. Análise comparativa do tempo de concentração: Um estudo de caso na bacia do rio Cônego, município de Nova Friburgo/RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais...**. Maceió: ABRH, 2011. p. 1 - 20.

FERGUSON, B. K. **Porous Pavements – Integrative Studies in Whater Management and Land Development**, Taylor & Francis Group CRC Press, 2005. 577p.

\_\_\_\_\_. Pavements Porous: The aking of progress in technology and design. In: FERGUSON, Bruce K.. **Pavements Porous**. São Francisco - EUA: International Conference On Concrete Block Paving, 2006. p. 11-16.

GARCEZ, Lucas N.; A ALVAREZ, Guillermo. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998. 291 p.

GONÇALVES, Lidiane Souza. **Relações intensidade-duração-freqüência com base em estimativas de precipitação por satélite**. 2011. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

GRUPO DE PESQUISA DE RECURSOS HÍDRICOS (Minas Gerais). **Pluvio 2.1**. 2006. Disponível em: <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

MARCHIONI, Mariana; SILVA, Claudio Oliveira. **Conceitos e Requisitos para pavimento intertravado permeável**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2011. 8 p.

\_\_\_\_. **Melhores Práticas: Pavimento intertravado permeável**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2011.

MOURA, Thales Augustus Moreira. **Estudo experimental de superfícies permeáveis para o controle do escoamento superficial em ambientes urbanos**. 2005. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília - Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2005.

PAZ, Adriano R.. **Hidrologia Aplicada**. Caxias do Sul: UFRGS, 2004. 138 p.

PEREIRA, S. B. et al. **Equação de Intensidade, Duração e Frequência da precipitação para Dourados, MS**. Dourados: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2007. 18 p.

RHINO. **Pavimentos permeáveis**. Disponível em: <[http://www.rhinopisos.com.br/site/produtos/3/rhino-verde\\_piso\\_grama\\_concregrama\\_pavimento\\_ecologico\\_permeavel\\_drenante\\_concreto](http://www.rhinopisos.com.br/site/produtos/3/rhino-verde_piso_grama_concregrama_pavimento_ecologico_permeavel_drenante_concreto)>. Acesso em: 18 out. 2015.

ROJAS, Gabriela M.; RODRIGO, Consuelo R.. **Metodologia de diseño y colocacion de mezclas drenantes**. Temuco - Chile: Laboratorio Nacional de Vialidad, [200-]. 11 p.

SANTOS, A.. **Pavimento permeável contra enchentes**. 2015. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/pavimento-permeavel-contr-enchentes/>>. Acesso em: 18 out. 2015.

SOUZA, S. A. de. **Avaliação da capacidade de escoamento da água em mistura asfáltica drenante: Proposta de ensaio de laboratório**. 2008. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

STRECK, Edmar Valdir et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª Edição. Porto Alegre: Emater/Rs, 2008

TUCCI, Carlos E. M.. **Coefficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS, 2000. 9 p.

\_\_\_\_\_. (Org.). Desenvolvimento Urbano: Estrutura urbana. In: ÁGUAS Urbanas. Porto Alegre: Ufrgs, 2008. p. 97-112.

\_\_\_\_\_. (Org.). Águas urbanas. In: TUCCI, Carlos E. M.; BERTONI, Juan C. (Org.). **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. p. 1-150.

\_\_\_\_\_. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 1993. 943 p.

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

VILLELA, S. M.; MATTOS, A.. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Mc Graw - Hill do Brasil, 1975. 245 p.

VIRGILLIS, Afonso L. C.. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. 2009. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

## 7 ANEXOS

### 7.1 Dados da determinação do teor de umidade do solo

Determinação de umidade do solo Teste 1								
Ensaio 1			Ensaio 2			Ensaio 3		
Determinação de umidade	M (g)	Ms (g)	Determinação de umidade	M (g)	Ms (g)	Determinação de umidade	M (g)	Ms (g)
	128,45	120,72		117,33	108,61		106,02	95,66
	Mw (g)	Teor de umidade		Mw (g)	Teor de umidade		Mw (g)	Teor de umidade
	7,73	6,4%		8,72	8,03%		10,36	10,83%
Determinação de umidade	M (g)	Ms (g)	Determinação de umidade	M (g)	Ms (g)	Determinação de umidade	M (g)	Ms (g)
	96,27	90,28		139,64	129,27		135,07	121,93
	Mw (g)	Teor de umidade		Mw	Teor de umidade		Mw (g)	Teor de umidade
	5,99	6,6%		10,37	8,02%		13,14	10,78%
Determinação de umidade	M (g)	Ms (g)	Determinação de umidade	M (g)	Ms (g)	Determinação de umidade	M (g)	Ms (g)
	112,46	105,64		124,85	115,52		114,37	103,11
	Mw (g)	Teor de umidade		Mw (g)	Teor de umidade		Mw (g)	Teor de umidade
	6,82	6,5%		9,33	8,08%		11,26	10,92%
Média	6,5%		Média	8,04%		Média	10,84%	

Onde:

M é o peso da cápsula com solo úmido

Mw é a diferença entre o peso da amostra no momento em que esta foi retirada e seu peso seco em gramas;

Ms é o peso da amostra seca.



Determinação de umidade do solo Teste 2								
Ensaio 4			Ensaio 5			Ensaio 6		
Determinação de umidade	M (g)	Ms (g)	Determinação de umidade	M (g)	Ms (g)	Determinação de umidade	M (g)	Ms (g)
	103,6	91,56		99,47	85,09		133,34	112,07
	Mw (g)	Teor de umidade		Mw (g)	Teor de umidade		Mw (g)	Teor de umidade
	12,04	13,1%		14,38	16,90%		21,27	18,98%
Determinação de umidade	M (g)	Ms (g)	Determinação de umidade	M (g)	Ms (g)	Determinação de umidade	M (g)	Ms (g)
	137,12	121,37		94,38	80,69		110,74	93,13
	Mw (g)	Teor de umidade		Mw (g)	Teor de umidade		Mw (g)	Teor de umidade
	15,75	13,0%		13,69	16,97%		17,61	18,91%
Determinação de umidade	M (g)	Ms (g)	Determinação de umidade	M (g)	Ms (g)	Determinação de umidade	M (g)	Ms (g)
	159,61	141,29		97,85	83,92		102,5	86,18
	Mw (g)	Teor de umidade		Mw (g)	Teor de umidade		Mw (g)	Teor de umidade
	18,32	13,0%		13,93	16,60%		16,32	18,94%
Média	13,0%		Média	16,8%		Média	18,9%	

Onde:

M é o peso da cápsula com solo úmido

Mw é a diferença entre o peso da amostra no momento em que esta foi retirada e seu peso seco em gramas;

Ms é o peso da amostra seca.