



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CHAPECÓ
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

LEONARDO FURTADO

**EFICIÊNCIA DE DRENAGEM DE UM MODELO DE PAVIMENTO DE
CONCRETO PERMEÁVEL SOB PRECIPITAÇÃO NATURAL**

**CHAPECÓ
2019**

LEONARDO FURTADO

**EFICIÊNCIA DE DRENAGEM DE UM MODELO DE PAVIMENTO DE
CONCRETO PERMEÁVEL SOB PRECIPITAÇÃO NATURAL**

Trabalho de Conclusão do curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e
Sanitária da Universidade Federal da Fronteira
Sul.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Leandro Menegotto

CHAPECÓ

2019

LEONARDO FURTADO

**EFICIÊNCIA DE DRENAGEM DE UM MODELO DE PAVIMENTO
DE CONCRETO PERMEÁVEL SOB PRECIPITAÇÃO NATURAL**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: **Prof. Mauro Leandro Menegotto**

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e
aprovado pela banca em: 02 / 12 / 2019

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Mauro Leandro Menegotto



Profa. Dra. Aline de Almeida Mota - UFFS



Prof. Dr. Fernando Grison - UFFS

EFICIÊNCIA DE DRENAGEM DE UM MODELO DE PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEÁVEL SOB PRECIPITAÇÃO NATURAL

DRAINING EFFICIENCY OF A PERMEABLE CONCRETE PAVEMENT MODEL UNDER NATURAL PRECIPITATION

Leonardo Furtado¹ Mauro Leandro Menegotto¹

¹Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, Campus Chapecó

Resumo

O crescimento das cidades traz consigo a construção de moradias, ruas asfaltadas, calçadas e diversas outras construções impermeáveis sobre o solo. Assim, a urbanização tem como consequência um maior escoamento superficial da água da chuva. Perante essa problemática, é preciso encontrar práticas que melhorem o funcionamento da drenagem urbana. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência de drenagem de um modelo de pavimento de concreto permeável submetido a precipitação natural. Para isso foi necessário a produção do concreto permeável, avaliando sua resistência à tração na flexão e sua permeabilidade. Em sequência foi construído um modelo de pavimento permeável, sendo fundamental para sua construção o dimensionamento da camada de base e assentamento. Esse modelo possibilitou a coleta do escoamento superficial gerado e assim, relacionando estes dados com a precipitação natural, foi possível calcular o coeficiente de escoamento superficial do pavimento permeável. Também foi determinado o coeficiente de permeabilidade do pavimento permeável, que apresentou um valor de $1,5 \cdot 10^{-2}$ m/s. Os resultados de resistência à tração na flexão e coeficiente de permeabilidade do concreto foram de 1,72 MPa e $1,8 \cdot 10^{-2}$ m/s, respectivamente. O coeficiente de escoamento superficial médio foi de 0,024. Isso mostra a eficiência do modelo de pavimento de concreto permeável na redução do escoamento superficial, desde que corretamente dimensionado para com a sua aplicabilidade.

Palavras-chave: Drenagem urbana. Concreto permeável. Pavimento permeável. Escoamento superficial. Chuva natural.

Abstract

The growth of the cities brings the construction of houses, paved streets, sidewalks and several other impermeable buildings on the soil. Thus, the urbanization it has as a consequence a greater rainwater surface runoff. Faced with this problem, it is necessary to find practices that improve the urban drainage operation. The present paper aims to evaluate the drainage efficiency of a permeable concrete pavement model subject natural precipitation. In order to do this, the production of permeable concrete was required, evaluating its flexural tensile strength and permeability. In sequence, a permeable pavement model was built, being must for its construction the dimensioning of the base layer and laying. This model made it possible to collect the surface runoff generated and thus, by relating these data to natural precipitation, it was possible to calculate the runoff coefficient of the permeable pavement. It was also determined the permeability coefficient of the permeable pavement, which

presented a value of $1,5 \cdot 10^{-2}$ m/s. The results of flexural tensile strength and concrete permeability coefficient were 1,72 MPa and $1,8 \cdot 10^{-2}$ m/s. The runoff coefficient average was 0,024. Therefore, this work shows the efficiency of the permeable concrete pavement model in reducing surface runoff, since it is correctly sized for its applicability.

Keywords: Urban drainage. Permeable concrete. Permeable pavement. Surface runoff. Natural precipitation.

1 Introdução

O crescimento das cidades traz consigo a construção de moradias, ruas asfaltadas, calçadas e diversas construções impermeáveis sobre o solo. Assim, a urbanização tem como consequência um maior escoamento superficial da água da chuva. Com isso, surgem problemas como alterações no volume e na qualidade do ciclo hidrológico. O gerenciamento da drenagem urbana tem tido como desafio direcionar o volume de água oriundo do escoamento superficial para galerias, que conduzem essas águas a jusante. Porém, pelo fato de cada vez mais a proporção de área impermeabilizada se tornar maior em relação à área com o solo exposto, a rede de drenagem urbana não suporta o volume d'água, gerando assim, enchentes e inundações (ARAÚJO; TUCCI; GOLDEFUM, 2000). Para minimizar tal problema, nos últimos anos vem se desenvolvendo sistemas e tipos de construções que visam a diminuição do escoamento superficial.

Uma das soluções empregadas para a redução do escoamento superficial é a utilização de pavimentos permeáveis, cujo objetivo é a infiltração da água da chuva através de uma superfície permeável, sendo direcionada a um reservatório de pedras localizado sobre a superfície do terreno (URBONAS; STAHERE, 1993). Segundo Batezini (2013), a água que fica retida neste reservatório de pedras pode ser direcionada para um ponto de captação específico ou infiltrada no subsolo.

A implantação de um pavimento permeável serve como uma técnica compensatória, eficiente no manejo das águas pluviais, diminuindo a solicitação dos sistemas de drenagem convencionais e a propensão de sobrecarga dos mesmos. Os pavimentos permeáveis oferecem elevada eficiência hidrológica e consequente redução do escoamento (SILVA; MENEZES FILHO, 2019). Segundo Lima et al. (2019), esse tipo de pavimento pode ser aplicado para tráfego considerado leve

como calçadas destinadas a circulação de pedestres, ciclovias e áreas onde não há carga demasiada sobre o pavimento.

Neste sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência do concreto permeável desenvolvido por Vieira (2018) para a diminuição do escoamento superficial, usando-o na construção de um modelo de pavimento permeável. Para isto, foi confeccionado o concreto permeável em conjunto com a construção do modelo de um pavimento permeável. Este modelo possibilitou a medição do volume escoado, gerado por eventos de chuva natural. Em posse dos dados de escoamento e precipitação foi possível determinar a eficiência de infiltração do pavimento permeável.

Diferentemente de trabalhos por Alessi, Kokot e Gomes (2006) e Salbego e Silva (2018), neste estudo o evento de chuva ocorre de forma natural ao invés de chuva artificial. Isso implica em uma diferença importante onde a intensidade de precipitação varia ao longo do tempo no caso da chuva natural e é constante com chuva artificial. De acordo Machado et al. (2007), as variáveis umidade, temperatura média e a velocidade horizontal do vento interferem diretamente no comportamento da chuva e conseqüentemente influenciam no escoamento superficial. Com isso, o presente trabalho propôs um cálculo da eficiência de drenagem do pavimento, mais representativo perante a realidade dos eventos de chuva do cotidiano.

Pelos fatos apresentados, o presente trabalho se justifica pelo apelo ambiental, pois com a infiltração de água no solo tem-se uma maior recarga do lençol freático e conseqüentemente uma melhora no balanço hídrico.

2 Materiais e métodos

2.1 Concreto permeável

Para a produção do concreto permeável, adotou-se a mesma metodologia de Vieira (2018), porém repetindo apenas o traço com 100% de agregado natural. Para isso, primeiramente foi necessário identificar as quantidades de material para o traço, que conta com uma 1 parte de cimento para 4 partes de brita nº 0 (agregado natural) e 0,35 partes de água. Totalizando para a produção do concreto permeável 50 kg de cimento, 200 kg de brita nº 0 e 17,5 kg de água.

O cimento utilizado foi do tipo CP – V ARI (Cimento Portland de alta resistência inicial). Este tipo de cimento foi escolhido por apresentar características específicas para atingir altas resistências já nos primeiros dias da aplicação e ser ideal para obras onde há escoamento de fluidos e exposição ao ar livre.

O agregado natural foi adquirido em um britador localizado na cidade de Chapecó. Sua separação e peneiramento foi realizado de acordo com a NBR NM 26 (ABNT, 2009) para a produção do concreto. Esse processo se deu em coletar o material passante na peneira de 12,5 mm e o retido na peneira de 4,8 mm (Figura 1).

Figura 1 – Agregado natural usado na produção do concreto permeável.



Ainda para a caracterização do agregado, foram realizados os ensaios para determinar a granulometria de acordo com a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003), a massa unitária e o índice de vazios de acordo com a norma NBR NM 45 (ABNT, 2006).

Toda a produção do concreto e ensaios foram realizados no *Campus* Chapecó, da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS). De acordo com a norma NBR 16416 (ABNT, 2015), os tipos de ensaio que devem ser executados para determinar os parâmetros fundamentais para o concreto permeável, que são os

testes de resistência e permeabilidade. Para tal, esta norma determina a resistência e permeabilidade mínima de acordo com o tipo de revestimento e a sua aplicação.

Para o presente projeto foi escolhido a modalidade de concreto moldado no local que exige uma resistência à tração na flexão mínima de 1,0 MPa e um coeficiente de permeabilidade (k) maior ou igual a 10^{-3} m/s. Este coeficiente representa a velocidade com que a água percola em um meio. Para a obtenção do k, foram confeccionadas 3 placas quadradas com 70 cm de lado e altura de 6 cm (Figura 2).

Para os ensaios de resistência foi produzido 10 blocos de concreto permeável prismáticos com 40 cm de comprimento, 10 cm de altura e 10 cm de largura (Figura 2). Após 48 horas da produção do concreto, os corpos de prova foram submersos em água por 28 dias para, posteriormente serem rompidos no ensaio de resistência à tração na flexão.

Figura 2 – Placas de concreto e Corpos de prova, 48 horas após sua produção.

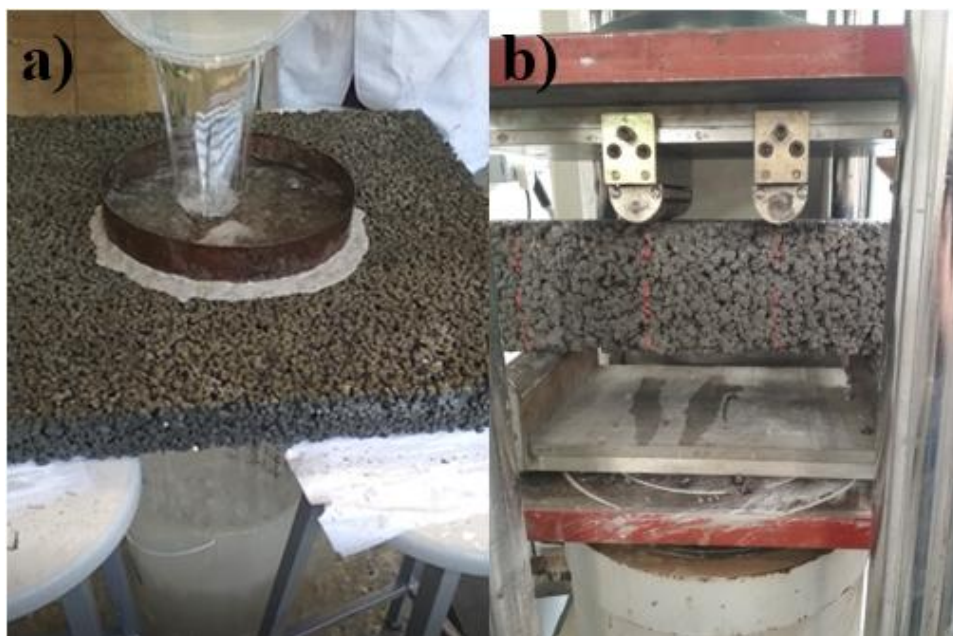


A determinação do coeficiente de permeabilidade foi realizada de acordo com o Anexo A da norma NBR 16416 (ABNT, 2015), sendo as placas suspensas de modo que houvesse um vão livre entre a sua superfície inferior e o piso (Figura 3a). Sobre a placa, foi utilizado um anel rígido de 30 cm de diâmetro posicionado no

centro da placa e vedado na parte de contato com massa de calafetar. Este anel deve possuir na face interna duas linhas paralelas que serviram de limite inferior e limite superior para a lâmina de água formada durante o ensaio. Estas marcações localizaram-se a 1,0 cm e a 1,5 cm da base do anel. Para cada ensaio foi utilizada uma massa de água de 18 kg e em cada placa o foi repetido 4 vezes, obtendo-se um coeficiente de permeabilidade médio. Considerou-se a média dos resultados das três placas como o coeficiente de permeabilidade do concreto permeável.

A norma NBR 12142 (ABNT, 2010) determina os procedimentos de ensaio que devem ser realizados para determinar a resistência à tração na flexão (Figura 3b). O procedimento de moldagem e cura dos corpos de prova foi executado conforme a norma NBR 5738 (ABNT, 2015). A determinação dos parâmetros de absorção de água, o índice de vazios e a massa específica do concreto foram realizadas de acordo com a norma NBR 9778 (ABNT, 1987).

Figura 3 – a) Execução do ensaio para determinar o coeficiente de permeabilidade do concreto permeável; b) Execução do teste de resistência à tração na flexão.



2.2. Modelo de pavimento permeável

Após a produção do concreto permeável, foi construído um modelo de pavimento permeável usando como revestimento as placas de concreto que foram

produzidas anteriormente. Para a construção do protótipo do pavimento permeável, escolheu-se a Área Experimental da UFFS, onde há uma estação pluviométrica que fornece os dados de precipitação pluviométrica através de um pluviógrafo digital (Figura 4). Este aparelho permitiu medir o volume de chuva em um intervalo de 5 minutos e o tempo que suficiente para uma precipitação de 0,2 mm de chuva. De modo que foi possível calcular a intensidade média de precipitação, o tempo de cada evento e a precipitação total.

De acordo com Moraes, Bandeira e Menegotto (2018) o solo do local caracteriza-se como residual de basalto, de textura argilo-siltosa com pouca areia e elevado índice de vazios. Através de um ensaio realizado no local, foi determinada a permeabilidade do solo no seu estado natural, dado que influencia no dimensionamento do pavimento permeável. O coeficiente de infiltração do solo (f) no local de instalação do protótipo, foi de 0,22 m/h, parâmetro considerado elevado para este tipo de solo, que faz com que a altura da camada de base seja menor e pode aumentar a eficiência de drenagem do modelo de pavimento permeável.

Figura 4 – Local de execução do modelo de pavimento permeável e ao fundo a Estação Pluviométrica.



O modelo foi construído com área total de 1 m^2 e com inclinação média de 6%. Uma vez que a declividade do pavimento influencia na velocidade do escoamento superficial, consequentemente interfere na capacidade de infiltração do pavimento. Porém esta declividade é ideal para o modelo experimental, pois facilita o escoamento da água para o recipiente de medição. Em uma das extremidades do protótipo foi acoplada uma calha coletora feita com material PVC. Esta calha direciona a água escoada para um recipiente com capacidade de volume de 12 litros que possibilita a medição do volume de água escoado após cada evento de chuva (Figura 5 e 8a).

O modelo de pavimento permeável conta com uma base de brita, denominado reservatório de pedras. O dimensionamento da camada de base foi determinada de acordo com a norma NBR 16416 (ABNT, 2015), optando-se por uma camada de brita nº1 (nomenclatura comercial) passando por uma caracterização através de

ensaios granulométricos de acordo com a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003), massa unitária e índice de vazios de acordo com a norma NBR NM 45 (ABNT, 2006).

Após realizar os referidos ensaios, buscou-se na literatura a precipitação de projeto para o local. De acordo com Back, Henn e Oliveira (2011) a equação usada para o município de Chapecó/SC é a seguinte:

$$i = \frac{398 * T^{0,1594}}{(t + 2,9)^{0,5629}} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde, i é a intensidade da chuva em (mm/h), T é o tempo de retorno em (anos) e t é a duração da precipitação em (minutos).

Para o presente trabalho foi utilizado um tempo de retorno 10 anos e uma duração de precipitação de 60 minutos, que são os parâmetros mínimos exigidos pela norma NBR 16416 (ABNT, 2015). Resultando em uma chuva de projeto de 55,8 mm/h. De posse desses dados foi calculada a altura para a camada de base cujo resultado foi inferior ao mínimo exigido pela norma. Portanto, adotou-se a altura mínima de 10 cm para camada de base.

Para a execução do pavimento foi retirada a vegetação superficial e nivelado o solo do local de implantação. Após isso, foi construída uma lateral em madeira para delimitar a área e dar suporte estrutural para o pavimento. Depois de executada a camada de base (Figura 8b), foi executada uma camada de assentamento de 5 cm de areia grossa, conforme o recomendado na norma NBR 16416 (ABNT, 2015).

De modo geral, o modelo de pavimento de concreto permeável foi construído conforme representado na planta baixa (Figura 5), e seus respectivos cortes (Figura 6 e 7). As referidas figuras indicam detalhes de seu perfil e demais aspectos construtivos. Todas as medidas apresentadas nas Figuras 5, 6 e 7 estão em centímetros.

Figura 5 – Planta baixa do modelo de pavimento de concreto permeável.

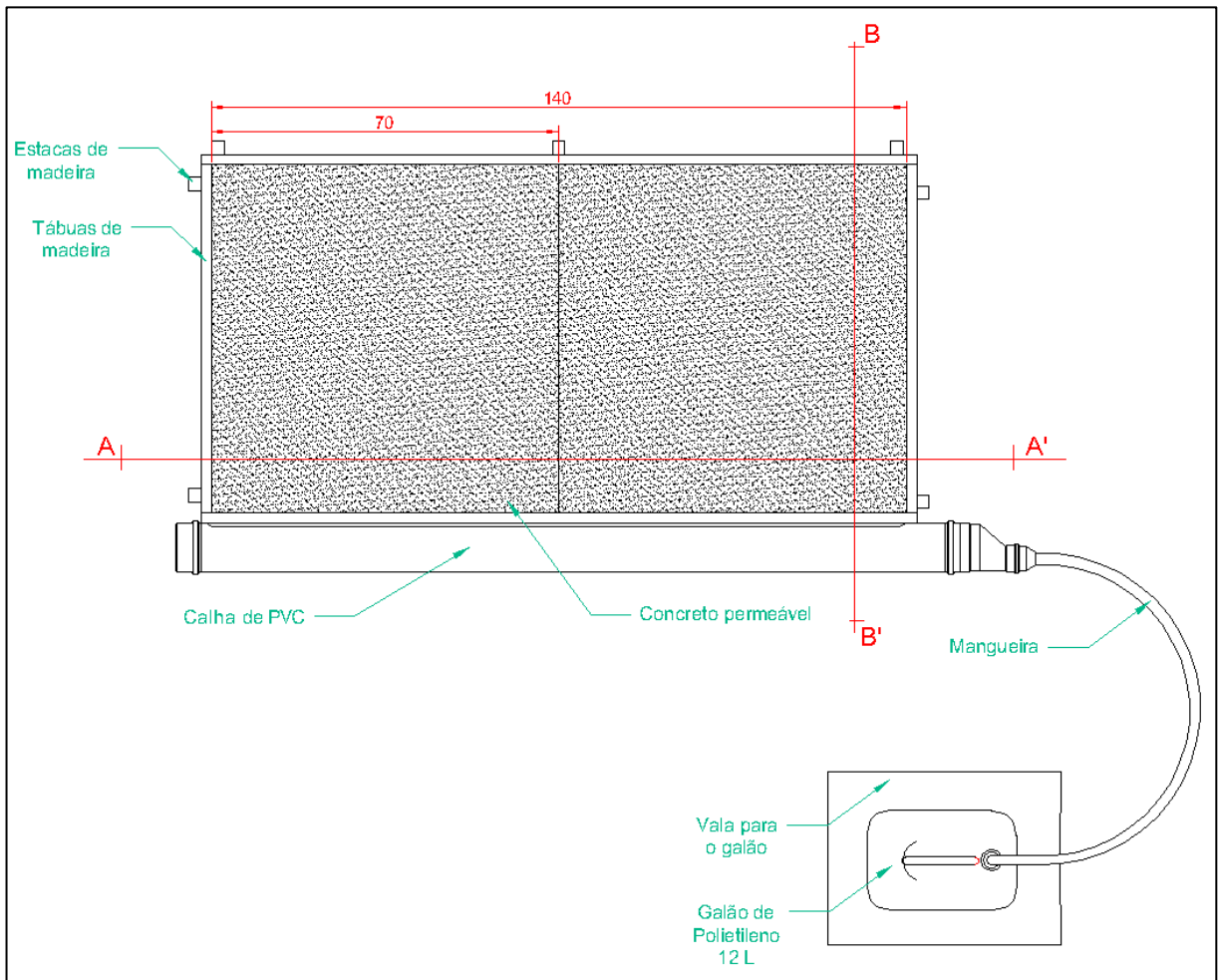


Figura 6 – Corte AA' do modelo de pavimento de concreto permeável.

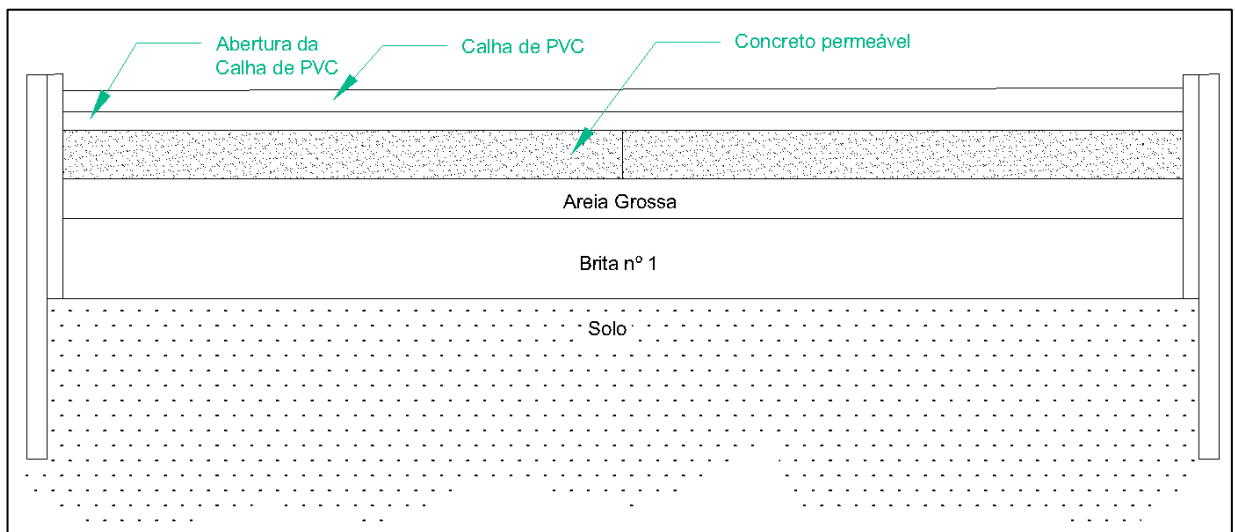


Figura 7 – Corte BB' do modelo de pavimento de concreto permeável.

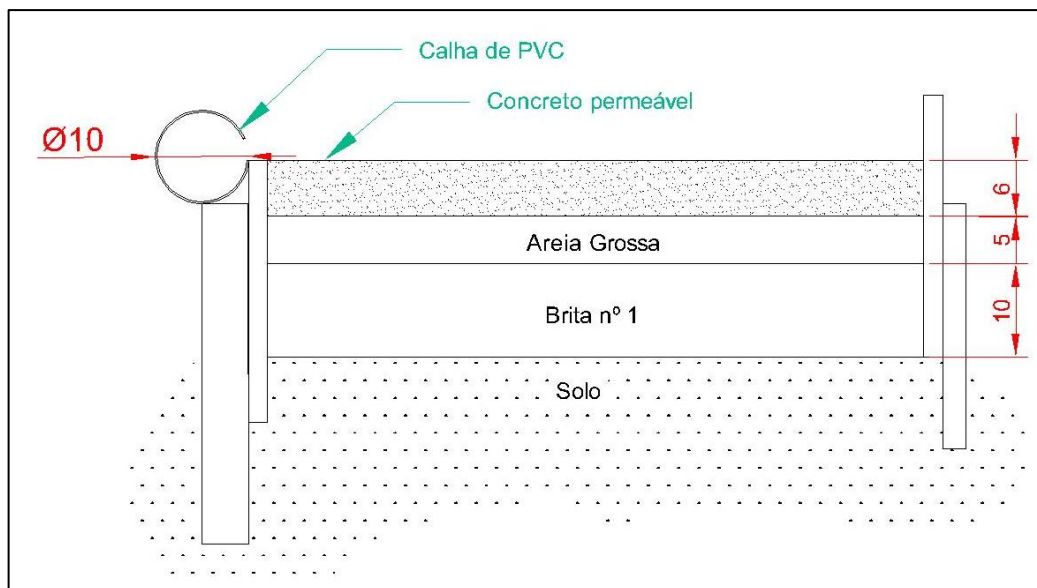


Figura 8 – a) Modelo de pavimento de concreto permeável instalado; b) Execução da camada de base.



Para determinar a eficiência de drenagem do modelo, foram determinados dois coeficientes para o pavimento de concreto permeável:

- a) coeficiente de permeabilidade (k), que foi determinado seguindo a mesma metodologia utilizada para a determinação do coeficiente de permeabilidade do concreto permeável;

b) coeficiente de escoamento superficial (C), obtido pela razão entre o volume escoado e o volume gerado pela precipitação total sob a área do pavimento.

O cálculo do coeficiente de escoamento superficial foi realizado através da seguinte equação:

$$C = \frac{V_e}{A * P * 1000} \quad \text{Eq. 2}$$

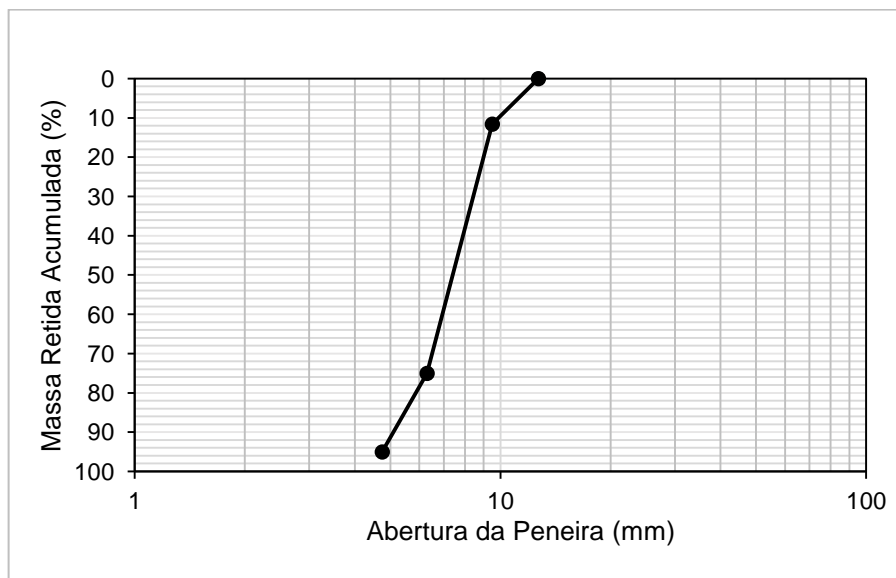
Onde, C é o coeficiente de escoamento superficial (adimensional); V_e é o volume escoado em mL; A é a área do pavimento em m^2 e P é a precipitação total em mm.

3 Resultados e Discussões

3.1 Concreto permeável

Para a caracterização do agregado natural (brita nº 0) usado na confecção do concreto permeável, foi realizado o ensaio de granulometria onde obteve-se a curva granulométrica apresentada na Figura 9.

Figura 9 - Curva granulométrica do agregado usado para a produção do concreto permeável.



Observando o gráfico acima, a predominância da granulometria está na faixa entre 9,5 e 6,3 mm, cerca de 64%. Sendo assim é possível verificar a semelhança entre os agregados usados para a produção do concreto permeável em comparação aos usados no trabalho de Vieira (2016).

Para massa unitária do agregado encontrou-se $1,694 \text{ g/cm}^3$, resultado que se aproxima do encontrado por Vieira (2018) que é de $1,717 \text{ g/cm}^3$. Determinada a massa unitária foi possível calcular o índice de vazios, que para o agregado usado no presente trabalho foi de 38,66%.

A Tabela 1 exibe os resultados dos ensaios de laboratório para o concreto permeável produzido.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de laboratório para o concreto permeável.

Massa Específica Seca	Massa Específica Saturada	Massa Unitária (g/cm^3)	Absorção de Água por Imersão (%)	Índice de Vazios (%)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)	Coefficiente de Permeabilidade (m/s)
2,408	2,582	1,621	7,20	17,37	1,72	$1,8 \cdot 10^{-2}$

Os resultados de resistência e permeabilidade atendem ao mínimo exigido pela norma NBR 16416 (ABNT, 2015), com destaque para o coeficiente de permeabilidade que é praticamente 18 vezes maior do que o mínimo exigido. Resultado muito próximo ao encontrado por Vieira (2018) e por Strzoda et al. (2017), que utilizou um traço muito similar ao deste trabalho. O coeficiente de variação do coeficiente de permeabilidade medido nas 3 placas foi de 0,9 %, demonstrando uma baixa variabilidade nos resultados obtidos.

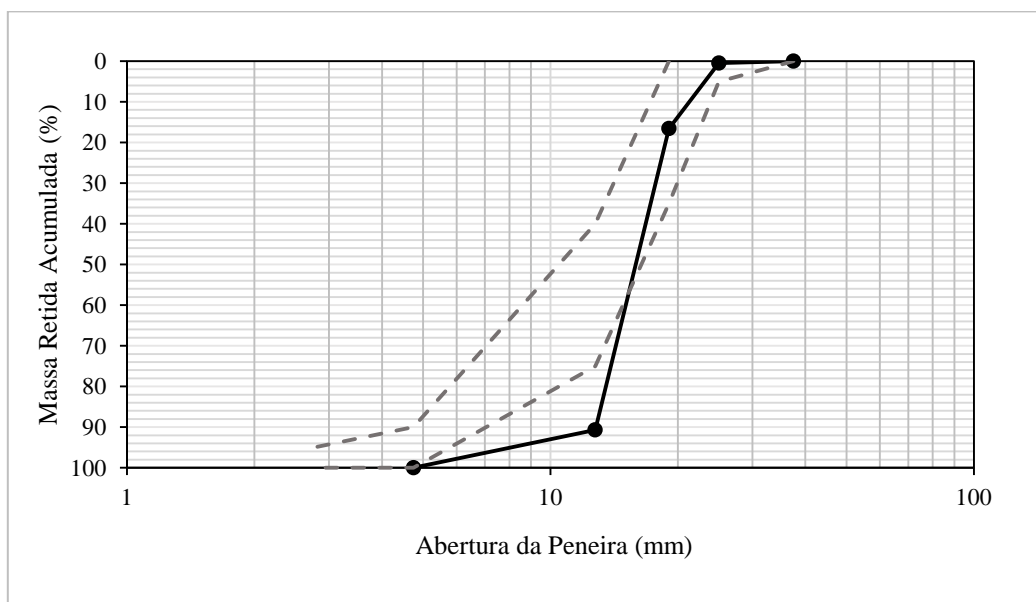
Os trabalhos supracitados usam o ensaio de resistência à compressão, diferentemente do ensaio de resistência à tração na flexão realizados. Logo, o resultado de resistência à tração na flexão média encontrado foi de 1,72 MPa, superior aos resultados encontrados por Silva et al. (2018), que encontrou 1,27 MPa, usando um traço semelhante ao usado para este trabalho.

Os resultados para absorção de água por imersão e índice de vazios se encontram próximos aos resultados de Vieira (2018), que apresentou 6,9 % e 16,3 %, respectivamente. Os resultados do cálculo da massa específica seca e saturada também são muito semelhantes aos de Vieira (2018), que encontrou os valores de 2,386 e 2,549 respectivamente.

3.2 Modelo de pavimento permeável

Realizando o ensaio de granulometria para o material usado como base do pavimento, pode-se observar que a curva granulométrica (Figura 10) se aproxima aos limites exigidos pela norma NBR 16416 (ABNT, 2015), com exceção à massa de agregado acumulada na peneira de 12,75 mm que é de aproximadamente 90 %, enquanto a norma indica que sua faixa deveria variar de 40-75 %. Já o índice de vazios calculado foi de 40,85 %, sendo que o mínimo exigido em norma é de 32 %.

Figura 10 - Curva granulométrica Brita nº 1, material utilizado para execução da base do pavimento.



O coeficiente de variação do coeficiente de permeabilidade do pavimento permeável foi de 1,32 %. O coeficiente de permeabilidade apresentado pelo modelo de pavimento permeável foi de $1,5 \cdot 10^{-2}$ m/s, apresentando um valor significativo de permeabilidade comparado a outros pavimentos. Ono, Balbo e Gargnin (2017),

encontraram para um pavimento permeável de bloco de concreto unidirecionalmente articulado um k de $4,9.10^{-3}$ m/s.

Os autores Parra e Teixeira (2015) realizaram uma pesquisa de levantamento de dados pavimentos hidrológicamente funcionais fornecidos por empresas de maneira comercial. Um pavimento permeável de determinado fornecedor que apresenta a mesma espessura e proposta de aplicabilidade, apresentou um coeficiente de permeabilidade que varia entre $1,7.10^{-3}$ m/s e $2,4.10^{-3}$ m/s. Comparando ao k igual a $1,5.10^{-2}$ m/s do modelo de pavimento permeável do presente trabalho, que é cerca de 6 à 9 vezes maior do que os pavimentos permeáveis comerciais analisados por Parra e Arantes (2015).

Para a determinação do coeficiente de escoamento superficial, foram obtidos dados de 7 eventos, compostos por diferentes precipitações, intervalos de tempo e intensidades de precipitação. Estes resultados são exibidos na Tabela 2.

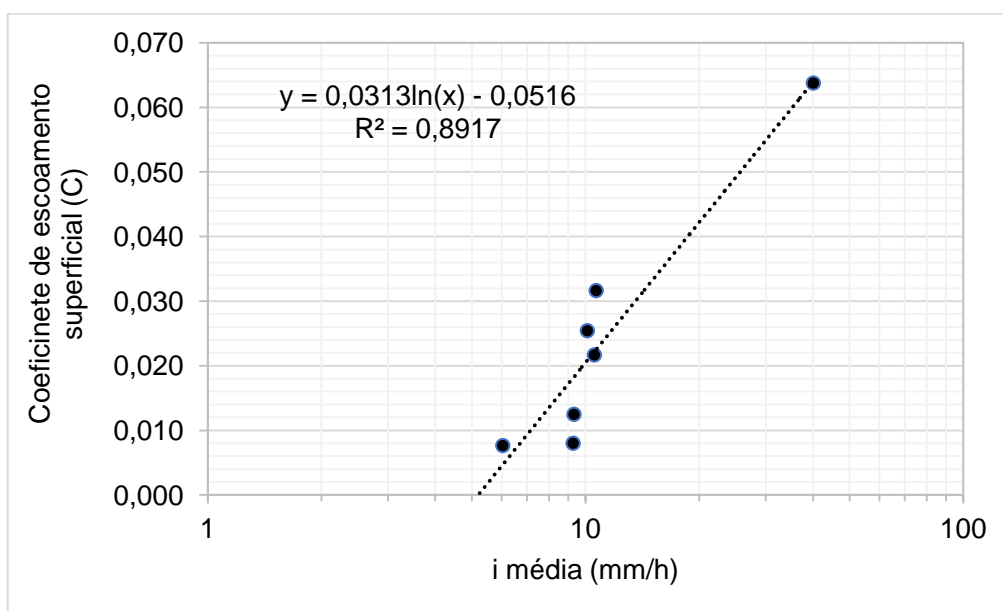
Tabela 2 – Dados dos eventos para o cálculo do Coeficiente de Escoamento Superficial.

Evento	Data	Duração do Evento (horas)	Precipitação (mm)	i média (mm/h)	Volume de precipitação escoado (mL)	Coeficiente de escoamento superficial (C)
1	03/10/19	5,56	51,60	9,28	414,00	0,008
2	06/10/19	3,97	24,00	6,04	184,00	0,008
3	21/10/19	4,80	44,80	9,33	560,00	0,012
4	28/10/19	3,29	34,80	10,56	755,00	0,022
5	01/11/19	4,01	42,80	10,68	1355,00	0,032
6	06/11/19	2,00	20,20	10,12	514,00	0,025
7	07/11/19	0,57	22,80	40,12	1454,50	0,064
MÉDIA						0,024

Através da Tabela 2, podemos analisar cada evento separadamente. Pode-se observar que há eventos bem distintos em relação ao tempo de duração, volume de precipitação, intensidade média e escoamento superficial. O que permite uma amostra com maior variabilidade para a realização dos cálculos de escoamento.

Relacionando os dados da Tabela 2, foi possível observar que o valor do coeficiente de escoamento superficial calculado não apresenta uma correlação significativa com as variáveis de tempo de duração do evento, precipitação total e volume de precipitação escoado. Entretanto, a relação entre a intensidade de precipitação média e coeficiente de escoamento superficial apresentam a correlação observada na Figura 11.

Figura 11 – Variação do Coeficiente de Escoamento Superficial com a Intensidade Média de Precipitação.



No gráfico da Figura 11 é possível observar tendência de aumento do coeficiente “C” com o aumento da intensidade média de precipitação. Esse comportamento pode ser observado também nos trabalhos de Salbego e Silva (2018) e Alessi, Kokot e Gomes (2006). Ainda, na mesma figura, é possível admitir que o pavimento do presente trabalho, começa a gerar escoamento superficial somente para intensidade de precipitação média superior a 5,2 mm/h.

O trabalho realizado por Alessi, Kokot e Gomes (2006) fez a comparação do escoamento superficial gerado por pavimentos permeáveis em blocos de concreto e asfalto poroso. O resultado encontrado pelos autores foi de um coeficiente de escoamento superficial médio de 0,37 para o pavimento com blocos de concreto e 0,35 para o pavimento de asfalto poroso. Enquanto o presente trabalho apresentou

um coeficiente de escoamento superficial médio de 0,024, mostrando assim sua maior eficiência de drenagem.

4 Considerações finais

Este trabalho foi realizado com o intuito de avaliar a eficiência de um modelo de pavimento permeável no campo, sob influência de precipitação natural. Sendo produzido um concreto permeável e construído um modelo de pavimento permeável de acordo com as prescrições das normas brasileiras.

Os resultados encontrados para o concreto permeável em termos de resistência e permeabilidade estão de acordo com o mínimo exigido pela norma. Estes resultados foram 1,72 MPa para a resistência de tração na flexão e $1,8 \cdot 10^{-2}$ m/s para o coeficiente de permeabilidade. Chamando a atenção para o dado de permeabilidade que é significativo pois está na ordem de 18 vezes maior ao exigido pela norma. Já o resultado de resistência poderia ser maior através da padronização do adensamento na produção do concreto permeável, pois é uma variável de difícil padronização. Acredita-se que com um maior nível de adensamento, seria possível atingir uma maior resistência.

O ensaio feito em campo para determinar o coeficiente de permeabilidade do modelo de pavimento, resultou em um k igual à $1,5 \cdot 10^{-2}$ m/s. Este resultado, quando comparado a estudos realizados com outros tipos de pavimento permeável, demonstra maior eficiência.

O modelo de pavimento permeável se mostrou eficiente para a aplicação na redução do escoamento superficial. Por apresentar um resultado médio para o coeficiente de escoamento superficial de 0,024, superando outros tipos de pavimentos tradicionalmente usados, como o pavimento intertravado, calçadas de concreto e asfalto poroso.

É indispensável salientar a importância do tipo de solo no dimensionamento de pavimentos permeáveis. Solos com permeabilidade baixa resultam em camadas de base mais espessas, que pode comprometer a sua viabilidade de instalação.

Portanto, o modelo de pavimento permeável produzido no presente trabalho é uma alternativa para a aplicação em calçadas de cidades, loteamentos, construções residenciais, entre outros, pois demonstrou uma grande eficiência para a redução do

escoamento superficial. Para isso é necessário o seu correto dimensionamento, de acordo com as características do local de instalação, além de seguir suas restrições de aplicabilidade prescritos em norma, para não haver ineficiência estrutural do sistema por excesso de carga sob o pavimento.

Para futuros trabalhos, seria interessante realizar um estudo da qualidade da água que percola no pavimento, isto é, verificar se há alguma contaminação na água pelos componentes do concreto, uma vez que o objetivo dessa prática é que a água infiltrada recarregue o lençol freático.

5 Agradecimentos

A todos os envolvidos para a realização deste trabalho, em especial ao meu Orientador e Professor Dr. Mauro Leandro Menegotto e a minha família.

6 Referências

ALESSI, F.; KOKOT, P. J.; GOMES, J. Comparação do escoamento superficial gerado por pavimentos permeáveis em blocos de concreto e asfalto poroso. **Da Vinci. Curitiba**, v. 3 , n. 1, 2006, p. 139-156.

ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A.: Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial; **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**; V. 5; n. 3; p. 21-29, Porto Alegre, 2000.

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

_____. **NBR NM 26**. Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 45**. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 7211**. Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos -Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa Específica. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 12142**. Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos – Requisitos e procedimentos, Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 16416**. Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos, Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5738**. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro. 2015.

_____. **NBR 5739**. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

BACK, A. J.; HENN, A.; OLIVEIRA, J. L. R. Heavy rainfall equations for Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 2127-2134, 2011.

BATEZINI, R.: **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

LIMA, D. A. de et al. Study of the mechanical and physical characteristics of the permeable concrete using empirical dosage method. **Itegam- Journal Of Engineering And Technology For Industrial Applications (itegam-jetia)**, [s.l.], v. 5, n. 18, p.18-22, 2019.

MACHADO, C. et al. Análise das Previsões de Precipitação Obtidas com a Utilização do Modelo Eta como Insumo para Modelos de Previsão Semanal de Vazão Natural. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 12, n. 3, p.5-17, 2007.

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

MORAIS, M.; BNADEIRA, F.; MENEGOTTO M. L. Geotechnical properties of mixtures of basalt residual soil with tire rubber waste. **Geotecnia**, [s.l.], v. 144, p.35-50, nov. 2018.

ONO, B. W.; BALBO, J. T.; CARGNIN, A. Análise da capacidade de infiltração em pavimento permeável de bloco de concreto unidirecionalmente articulado. **Transportes**, v. 25, n. 3, p. 90, 2017.

PARRA, G. G.; TEIXEIRA, B. A. N. Análise da permeabilidade e dos métodos de instalação de pavimentos permeáveis contidos em artigos científicos e em catálogos técnicos. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, [s.l.], v. 3, n. 15, p.142-157, 2 set. 2015. ANAP - Associação Amigos de Natureza de Alta Paulista.

SALBEGO, A. G.; SILVA, A. M. S. e. Influência das intensidades de precipitações na eficiência de pavimento intertravado de concreto permeável. In: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**. CONTECC, agosto de 2018. Maceió, Alagoas. Brasil.

SILVA, L. H.; MENEZES FILHO, F. C. M. Avaliação da eficiência hidrológica de pavimentos permeáveis e sistemas de biorretenção em loteamento residencial. **Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [s.l.], v. 15, n. 2, p.17-34, 17 set. 2019. Universidade Federal de Goiás.

SILVA, I. A. **Avaliação do comportamento mecânico de concreto permeável com incorporação de sementes de açaí submetido à tração na flexão**. In: 3º Congresso Luso-Brasileiro Materiais de Construção Sustentáveis. CLB-MCS, fevereiro de 2018. Coimbra, Portugal.

STRZODA, F. A. et al. Concreto permeável como alternativa para pavimentos retroportuários. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Rio Grande, v. 9, n. 2, p.155-164, ago. 2017.

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

VIEIRA, J. R. **Produção de concreto permeável com resíduos de construção e demolição**. 2018. 21 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó 2018.