

## **INFLUÊNCIA DAS INTENSIDADES DE PRECIPITAÇÕES NA EFICIÊNCIA DE PAVIMENTO INTERTRAVADO DE CONCRETO PERMEÁVEL**

ADRIANA GINDRI SALBEGO<sup>1\*</sup>, ANGELO MAGNO DOS SANTOS E SILVA<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Eng civil, Dr<sup>a</sup> Prof<sup>a</sup> Adjunta, UNIPAMPA, Alegrete-RS, adrianasalbego@unipampa.edu.br

<sup>2</sup>Eng<sup>a</sup> Civil, UNIPAMPA, Alegrete-RS, angelo.magno.eng@gmail.com

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC 2018  
22 a 24 de agosto de 2018 – Maceió/AL - Brasil

**RESUMO:** O presente estudo objetiva verificar a eficiência de drenagem de pavimento de blocos intertravados de concreto permeável submetidos a diferentes intensidades de precipitação. O experimento foi conduzido nas dependências da Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete, Rio Grande do Sul, Brasil. Foi caracterizado a capacidade de infiltração do solo da área de estudo e determinado 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. Foi construído um simulador de chuva para obter a resposta do pavimento à intensidade máxima de precipitação para a região e outra inferior, analisando desta forma o comportamento do material ensaiado sob diferentes intensidades de precipitação. A simulação de chuva foi feita 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 cada ensaio realizado, determinou-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 tradicionais, surgindo como uma alternativa para a redução do escoamento superficial.

**PALAVRAS-CHAVE:** drenagem pluvial, escoamento superficial, pavimento permeável.

## **INFLUENCE OF PRECIPITATION INTENSITIES IN THE EFFICIENCY OF INTERLOCKER CONCRETE PAVEMENT**

**ABSTRACT:** The present study aims to verify the efficiency of drainage of pavement of interlocked blocks of permeable concrete submitted to different precipitation intensities. The experiment was conducted at the Federal University of Pampa, Alegrete Campus, Rio Grande do Sul, Brazil. The soil infiltration capacity of the study area was determined and the maximum precipitation intensity was determined by means of the intense rain equations with adjusted parameters for the municipality of Alegrete, having been adopted in the experiments a return time of 10 years and duration of 15 minutes. A rainfall simulator was constructed to obtain the response of the pavement to the maximum intensity of precipitation for the region and another lower one, analyzing in this way the behavior of the tested material under different intensities of precipitation. The rainfall simulation was carried out in an experimental area of 1 m<sup>2</sup> with slope of 5%, seated on the stone tank with total infiltration system, previously dimensioned. For each test, the moisture content of the soil was determined in order to correlate the yield indices generated with the soil conditions. The results show that the permeable concrete interlocking pavements present lower flow coefficient than traditional pavement systems, appearing as an alternative for the reduction of surface runoff.

**KEYWORDS:** drainage, surface runoff, permeable pavement.

## INTRODUÇÃO

Um dos problemas gerados nos centros urbanos devido ao intenso processo de urbanização decorre de áreas que são impermeabilizadas, incrementando assim o escoamento superficial, sobrecarregando os sistemas de drenagem urbana.

Buscando 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. As impermeabilizações mais convencionais como asfaltamento de ruas e avenidas, grandes edificações, calçadas e outros meios decorrentes do processo de urbanização, de maneira geral possibilitam pouca drenagem das águas pluviais. Conseqüentemente, são gerados grandes volumes de escoamento superficial das águas pluviais.

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 a necessidade de implantação de alternativas de pavimentação que reduzam o escoamento superficial, permitindo assim a infiltração desta água no solo ou direcionando as 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, o qual consiste em 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; STAHRÉ, 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.

No Brasil, a implementação destes pavimentos é mais recente que em outros países mais desenvolvidos, 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 visa diagnosticar a capacidade de retenção do escoamento superficial com o uso de pavimentos permeáveis, bem como verificar a viabilidade sob as condições de clima e solo presentes no município de Alegrete/RS, com vistas a reduzir os efeitos oriundos da impermeabilização do solo decorrente do processo de urbanização.

## MATERIAIS E MÉTODOS

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.

De acordo com a fabricante, a produção 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:

$$Vr = (ip + c - ie) * td \quad \dots(1)$$

onde  $V_r$  é o volume de chuva a ser retido pelo reservatório em mm;  $i_p$  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  $c=0$ ;  $i_e$  a capacidade de infiltração do solo em mm/h, e  $td$  o tempo de retorno em horas, sendo adotado 15 minutos.

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

$$H = \frac{V_r}{n} \quad \dots(2)$$

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

Para execução dos experimentos, fez-se necessário dados referentes à capacidade de infiltração do solo em estudo, para o dimensionamento do reservatório de pedras, exigido na implementação de pavimentos permeáveis. No presente estudo, utilizou-se dados disponíveis na bibliografia, determinada por Cooper (2013).

A construção do simulador de chuva 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, 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 a quantificação do escoamento superficial, foi determinado a umidade inicial do solo no momento da execução de cada ensaio, seguido da aplicação de precipitações variáveis, através do simulador projetado sobre o pavimento ensaiado, onde efetuou-se o registro das variações do nível de água do reservatório que alimentou o simulador. Foi montada uma calha coletora para captação do volume de escoamento gerado com posterior 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**

$$Q_{apl} = Ac \times \frac{\Delta h_e}{\Delta t} \quad \dots(3)$$

onde  $Q_{apl}$  é a vazão de aplicação sobre os pavimentos em m<sup>3</sup>/s;  $Ac$  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**

$$i = \frac{V_{apl}/A}{t_{apl}} \quad \dots(4)$$

onde  $V_{apl}$  é o volume aplicado sobre o pavimento em litros;  $A$  é a área do pavimento em m<sup>2</sup>;  $t_{apl}$  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:

$$C = \frac{60 \times Q_{m\acute{a}x}}{i \times A} \quad \dots(5)$$

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.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo da área de estudo possui baixa taxa de infiltração, com valores próximos a 0,04 milímetros por hora, considerado relativamente baixo quando objetiva-se utilizar 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).

Conhecida a capacidade de infiltração da área de estudo, foi possível realizar o dimensionamento do reservatório de pedras necessário na utilização de pavimentos permeáveis, optando-se por um sistema de infiltração total, onde toda a água infiltrada é captada pelo solo. Com um 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. Sendo assim, obteve-se uma intensidade de precipitação de 148,48 milímetros por hora. Com base nesta precipitação, foi determinado o volume de chuva a ser retido pelo reservatório ( $Vr$ ), equivalente a 37,09 milímetros, o qual serviu de parâmetro para o dimensionamento da altura (H) do reservatório de pedras, sendo determinado 92,50 milímetros. Entretanto, este parâmetro encontrado é inferior ao valor mínimo recomendado para o método escolhido, que é de 150 milímetros, sendo então adotado a altura mínima recomendada.

Para a determinação do escoamento superficial do 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. Montado o módulo experimental, procedeu-se a realização dos experimentos. 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.

A Tabela 1 apresenta os dados referentes ao primeiro teste realizado. Neste ensaio, buscou-se uma calibragem com intensidade de precipitação 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 variaram de 0,07 a 0,09. 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.

Tabela 1 - 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

A Tabela 2 refere-se aos dados obtidos no ensaio 2, no qual 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 2 - Coeficientes de escoamento (ensaio 2).

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	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

Analisando a Tabela 2, verifica-se um aumento do teor de umidade 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 ensaio 1. Conclui-se que mesmo com o aumento do teor de umidade do solo na realização dos três últimos testes, 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.

Embora o coeficiente de escoamento tenha sofrido um decréscimo do teste 1 para o 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.

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.

## CONCLUSÃO

A metodologia adotada no presente estudo atendeu aos objetivos propostos, concluindo que o coeficiente de escoamento superficial do bloco intertravado de concreto permeável, apresenta valores consideravelmente menores quando comparados com outros tipos de materiais comumente utilizados, validando a idéia de sua utilização com o objetivo de reduzir o escoamento superficial. Os blocos de concreto permeável apresentaram coeficiente de escoamento superficial próximo a estudos realizados em áreas não pavimentadas, como áreas gramadas ou solo exposto, sendo a utilização dos pavimentos permeáveis uma boa alternativa, desde que devidamente dimensionado o sistema de infiltração.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, p. 25. 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Marchioni, Mariana; SILVA, Claudio Oliveira. Conceitos e Requisitos para pavimento intertravado permeável. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2011. 8 p.
- Streck, Edmar Valdir et al. Solos do Rio Grande do Sul. 2ª Edição. Porto Alegre: Emater/Rs, 2008
- Tucci, Carlos E. M.. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS, 2000. 9 p.
- Urbonas, B.; Stahre, P. Stormwater Best Management Practices and Detention Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993. 450 p.