

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NOS  
GRANDES CENTROS URBANOS: ESTUDO NA SUB-BACIA DO  
EMBIRA (MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE-MG)**

**PERFORMANCE ANALYSIS OF POROUS PAVEMENTS IN LARGE  
URBAN CENTERS: A STUDY IN THE EMBIRA SUB-BASIN  
(BELO HORIZONTE-MG)**

**PEDRO MAGALHÃES ROCHA**

Engenheiro Civil / Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG  
pedromrocha@ufmg.br

**JISELA APARECIDA SANTANNA GRECO**

Doutora / Docente da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG  
jisela@etg.ufmg.br

**Resumo:** Atualmente as inundações e enchentes urbanas estão cada vez mais comuns. Isso se deve a crescente urbanização do Brasil no século XX, que ocorreu de forma desorganizada e gerou grande impermeabilização do subsolo nos centros urbanos, fazendo com que uma pequena parcela da água das chuvas consiga infiltrar no solo, enquanto grande parcela dessa água escoar superficialmente. Dessa forma, são desenvolvidas novas tecnologias para o combate desse problema, como os pavimentos permeáveis. Esses dispositivos se diferenciam dos pavimentos tradicionais por possuírem estrutura porosa, permitindo a infiltração da água, que é armazenada em um reservatório, até ser direcionada para a rede de drenagem ou infiltrar no subsolo. O presente trabalho apresenta os tipos e funcionamento dos pavimentos permeáveis e um estudo de caso simulando a utilização de pavimentos permeáveis em uma sub-bacia do município de Belo Horizonte, comparando o pavimento asfáltico tradicional com o pavimento constituído de concreto asfáltico poroso em relação ao seu impacto no escoamento superficial. Foi observada uma redução de 24% na vazão de pico e na altura de lâmina d'água no evento chuvoso com tempo de retorno de 10 anos, quando foi utilizado o concreto asfáltico poroso em substituição ao concreto asfáltico tradicional.

**Palavras-chave:** Pavimentos porosos. Drenagem urbana. Escoamento superficial.

**Abstract:** Currently, urban floods are increasingly common. This is due to the growing urbanization of Brazil in the twentieth century, which occurred in a disorganized manner and generated a great impermeability of the subsoil in urban centers, causing a small portion of the rainwater to infiltrate the soil, while a large portion of that water drains superficially. Thus, new technologies are developed to combat this problem, such as porous pavements. These devices are different from traditional pavements in that they have a porous structure, allowing water to infiltrate, which is stored in a reservoir, until it is directed to the drainage system or infiltrates underground. The present work shows the types and functioning of porous pavements and a case simulating the use of porous pavements in a sub-basin of Belo Horizonte city, comparing the traditional asphalt pavement with the porous pavement in relation to its impact in runoff. A 24% reduction in peak flow and water depth was observed in the rainy event with a return time of 10 years, when porous asphalt concrete was used to replace traditional asphalt concrete.

**Keywords:** Porous pavements. Urban drainage. Runoff.

## **Introdução**

A crescente urbanização observada no Brasil a partir da metade do século XX, na maioria dos casos de forma desordenada, gerou como consequência o aumento da impermeabilização do solo nos centros urbanos, por meio da construção de ruas, passeios, estacionamentos e edifícios comerciais e residenciais. Esse processo alterou o ciclo hidrológico, resultando no aumento das enchentes urbanas e na degradação da qualidade das águas pluviais, problemas com impactos significativos nos âmbitos econômico e social.

Muitos dos esforços do poder público para mitigar o problema exposto são focados na ampliação da drenagem urbana, buscando um rápido escoamento da água da chuva, o que pode produzir um aumento de inundações a jusante, não resolvendo a questão. Essas medidas apenas atenuam o problema no âmbito local, mas não atuam nas suas causas. A partir dessa ótica, é preciso buscar soluções alternativas eficientes.

Uma abordagem atual sobre a drenagem urbana envolve conceitos que buscam atingir as condições de pré-desenvolvimento do local, de forma que a drenagem não produza impactos superiores aos naturais da bacia. Dessa forma, um objetivo é aumentar a infiltração da água no solo e, assim, reduzir o escoamento.

Neste contexto, pode-se utilizar materiais mais permeáveis na construção das vias urbanas e dos passeios, como os pavimentos permeáveis. Esses pavimentos são definidos como aqueles que possuem espaços livres em sua estrutura por onde a água pode infiltrar e que possuem simultânea resistência ao tráfego. Eles são capazes de reduzir os volumes de escoamento superficial e vazões de pico.

## **Pavimento Permeável**

O pavimento permeável é aquele que possui porosidade e permeabilidade significativamente elevada de maneira a influenciar a hidrologia e causar algum efeito positivo no meio ambiente (VIRGILIIS, 2009).

Esse tipo de pavimento pode ser utilizado no combate as inundações urbanas, atuando na fonte do problema, sendo sua principal finalidade permitir a infiltração da água no subsolo e reduzir o escoamento superficial.

A Figura 1 apresenta uma seção transversal típica de projetos de pavimentos permeáveis. Segundo Schueler (1987), há uma camada de revestimento poroso de 5 a 10 cm de espessura, por onde a água infiltra rapidamente, passando em seguida por um filtro de agregados de 1,25 cm de diâmetro, até chegar a um reservatório de pedras com diâmetro variando entre 3,8 a 7,6 cm. Em seguida há uma nova camada de filtro e uma manta geotêxtil e, por fim, uma camada de solo.

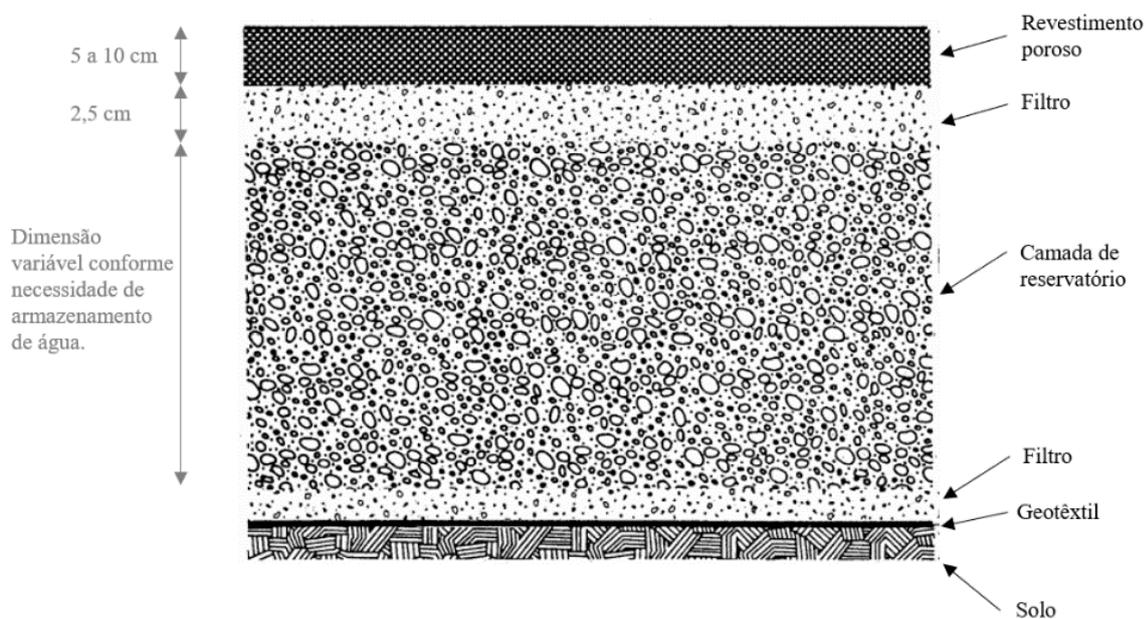


Figura 1 - Seção transversal típica de pavimento permeável. Fonte: Adaptado de Schueler, 1987.

Segundo Accioli (2005), o material da camada superficial deve resistir as solicitações produzidas pelo tráfego (deformação vertical e esforço de cisalhamento), e permitir a infiltração da água da chuva (no caso de pavimento drenante). Ele deve ser escolhido em função de seu uso e de sua capacidade de infiltração (ARAÚJO *et al.*, 2000; CASTRO *et al.*, 2013).

Geralmente, quando se fala em pavimentos permeáveis são considerados três tipos de revestimentos: pavimento de concreto poroso, pavimento de asfalto poroso e pavimento de

blocos de concreto vazados preenchidos com material granular, como areia ou vegetação rasteira.

Segundo Azzout et al. (1994) apud Virgiliis (2009), o funcionamento dos pavimentos permeáveis baseia-se em:

- Entrada imediata da água da chuva no corpo do pavimento. Essa entrada pode ser feita de forma distribuída (no caso de revestimentos porosos, que permitem a penetração da água) ou localizadamente (através de drenos laterais ou bocas-de-lobo);
- Estocagem temporária da água no interior do pavimento, nos vazios da camada reservatório;
- Evacuação lenta da água, que é feita por infiltração no solo, pela liberação lenta para a rede de drenagem, ou uma combinação das duas formas.

Pinto (2011) lista algumas vantagens e desvantagens em relação à utilização de pavimentos permeáveis:

### **Vantagens**

- Permite a recarga do lençol freático;
- Melhora a qualidade das águas infiltradas ou mesmo encaminhadas para o sistema de drenagem;
- Reduz significativamente o volume de escoamento superficial, promovendo o amortecimento dos picos de cheia com o aumento do tempo de concentração da bacia onde o dispositivo está instalado;
- Controle da erosão do solo;

### **Desvantagens**

- Possibilidade de contaminação do lençol freático;
- Necessidade de inspeções regulares para execução da obra com a finalidade de prevenir a obstrução prematura do pavimento;
- Manutenção periódica com lavagem à vácuo;

- Em caso de obstrução (entupimento) tanto da camada superficial quanto da estrutura do reservatório, faz-se necessária a reabilitação do pavimento.

### **Sub-bacia do Embira (Município de Belo Horizonte - MG)**

A sub-bacia do Embira está localizada na região norte da cidade de Belo Horizonte e é derivada da presença do Córrego do Embira, fazendo parte da macro bacia do Isidoro. A sub-bacia possui área de 2,62 km<sup>2</sup>, perímetro de 7,15 km e o Córrego do Embira possui comprimento de 1962 m, com uma declividade média de 1,12%. A figura 2 apresenta a localização da sub-bacia do Embira.

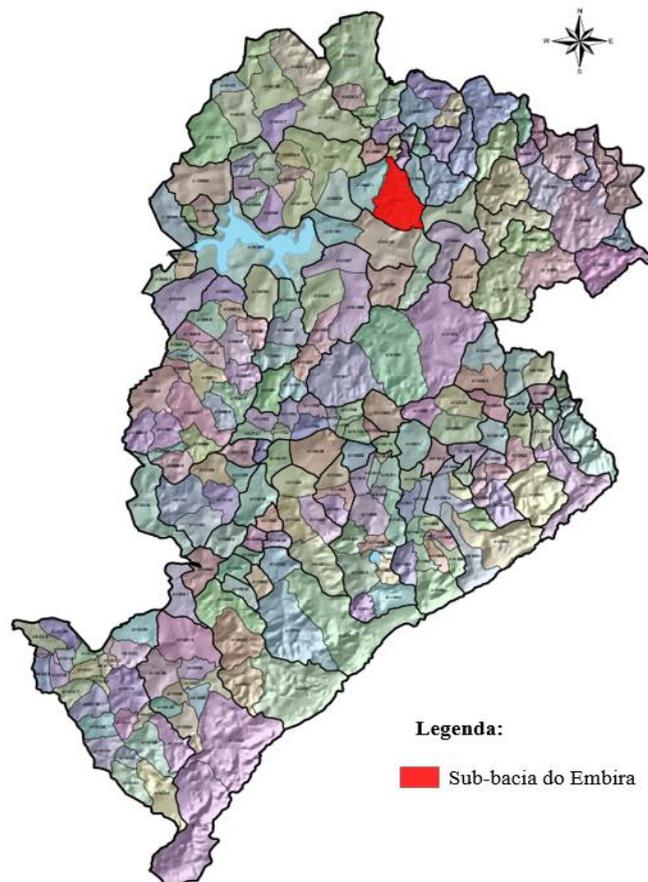


Figura 2 - Localização da sub-bacia do Embira (Adaptado de PBH).

A região é caracterizada por ser preferencialmente residencial, apresentando, em sua maioria, vias de tráfego pouco intenso. Também são observadas poucas praças e áreas verdes, indicando áreas restritas de infiltração de água, o que acarreta recorrentes problemas de inundações.

A figura 3 apresenta os limites da sub-bacia do Embira e o zoneamento na região. Esse zoneamento dispõe sobre as regras de uso e ocupação do solo, estabelecidas pela lei municipal 7.166/1996, o Plano Diretor de Belo Horizonte. Os zoneamentos presentes na região são: Zona de Preservação Ambiental (ZPAM), Zona de Adensamento Restrito (ZAR), Zona de Especial Interesse Social (ZEIS) e Zona de Adensamento Preferencial (ZAP).

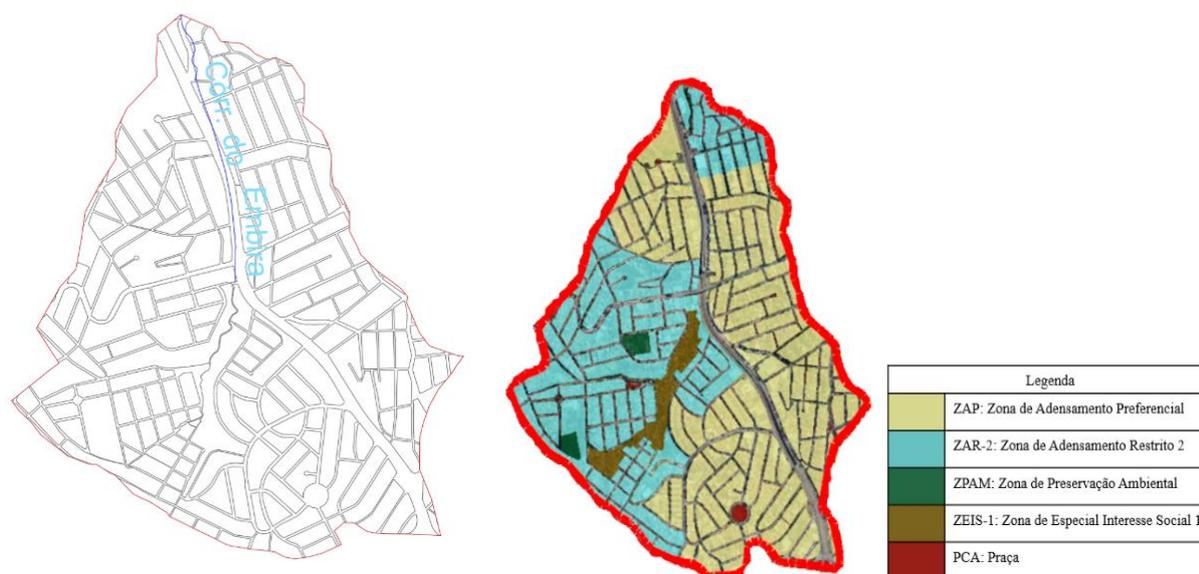


Figura 3 - Sub-bacia do Embira e seus zoneamentos (Adaptado de PBH).

### **Cálculo da vazão de cheia na sub-bacia do Embira pelo método racional**

Nesse trabalho foi utilizado o método racional para determinar a vazão de cheia na sub-bacia do Embira em dois cenários. O primeiro simula a condição atual da sub-bacia, pavimentada com mistura asfáltica tradicional e o segundo cenário simula uma situação

hipotética em que as vias são pavimentadas com um pavimento permeável, o concreto asfáltico poroso.

O Método Racional é um modelo hidrológico simples que promove a transformação de precipitação em escoamento superficial (deflúvio). Ele utiliza uma equação simples que exprime um estado permanente da transformação da chuva em vazão (BARBOSA JR., 2007; TOMAZ, 2006; NAGHETTINI, 1997). A equação do método racional é apresentada a seguir.

$$Q = \frac{C \times i \times A}{3,6}$$

Considere-se  $Q$  = vazão de pico ( $m^3/s$ );  $C$  = coeficiente de escoamento superficial;  $i$ =intensidade média de precipitação de duração igual ao tempo de concentração ( $mm/h$ );  $A$ = área da bacia ( $km^2$ ).

Nesse estudo foi considerado um tempo de retorno de 10 anos e o tempo de concentração foi determinado pela equação de Kirpch, apresentada a seguir (SILVEIRA, 2005).

$$t_c = 0,39 \left( \frac{L^2}{S} \right)^{0,385}$$

Considere-se  $t_c$  = tempo de concentração (horas);  $L$  = comprimento do curso d'água principal;  $S$  = declividade curso d'água.

Substituindo os valores do comprimento do córrego do Embira e sua declividade, já citados anteriormente, obtém-se um tempo de concentração de 0,626 horas, ou 37,56 minutos.

A intensidade de precipitação para a cidade de Belo Horizonte é dada pela equação do tipo IDF definida por Pinheiro e Naghettini (1998).

$$i_{T,t} = 0,76542 \times t^{-0,7059} \times P_{anual}^{0,5360} \times \mu_{T,t}$$

Em que,  $i_{T,t}$  = intensidade de precipitação média de duração  $t$  (h ou min) do local, associada ao período de retorno  $T$  (anos);  $t$  = duração da precipitação (h ou min);  $P$  anual = precipitação total anual média do local (mm);  $\mu_{T,t}$ : quantil adimensional regional.

Para aplicação da equação IDF, a duração da precipitação considerada é igual ao tempo de concentração, 0,626 horas. A precipitação anual é obtida por isoietas de precipitação da Região Metropolitana de Belo Horizonte, obtendo-se um valor de 1500 mm/ano. Por fim, o quantil adimensional ( $\mu_{T,t}$ ) é definido por meio da  $t$

Tabela 1. Realizando interpolação linear, considerando período de retorno de 10 anos e para o tempo de precipitação de 0,626 horas ou 37,56 minutos, obtém-se um quantil adimensional igual a 1,418.

Tabela 1 - Quantis adimensionais  $\mu_{T,t}$ .

Durações	Período de retorno (anos)							
	1,05	1,25	2	10	20	50	100	200
10 minutos	0,691	0,828	1,013	1,428	1,586	1,791	1,945	2,098
15 minutos	0,695	0,830	1,013	1,422	1,578	1,780	1,932	2,083
30 minutos	0,707	0,836	1,013	1,406	1,557	1,751	1,897	2,043
45 minutos	0,690	0,827	1,013	1,430	1,589	1,795	1,949	2,103
1 hora	0,679	0,821	1,014	1,445	1,610	1,823	1,983	2,143
2 horas	0,683	0,823	1,014	1,439	1,602	1,813	1,970	2,128
3 horas	0,679	0,821	1,014	1,445	1,610	1,823	1,983	2,143
4 horas	0,688	0,826	1,013	1,432	1,591	1,798	1,953	2,108
8 horas	0,674	0,818	1,014	1,451	1,618	1,834	1,996	2,157
14 horas	0,636	0,797	1,016	1,503	1,690	1,931	2,112	2,292
24 horas	0,603	0,779	1,017	1,550	1,754	2,017	2,215	2,412

Fonte: Pinheiro e Naghettini, 1998.

Portanto, a intensidade de precipitação é:

$$i_{T,t} = 0,76542 \times 0,626^{-0,7059} \times 1500^{0,5360} \times 1,418$$

$$i_{T,t} = 76,14 \text{ mm/h}$$

Para a determinação do coeficiente de escoamento superficial, foi calculada a área de cada zoneamento definido no Plano Diretor de Belo Horizonte. Nas regiões de ZAP, ZAR-2 e ZESI-1 foi considerada uma área permeável de 20% e na ZPAM foi considerada área permeável de 100%. Tem-se:

Tabela 2 - Áreas referentes ao zoneamento da sub-bacia do Embira.

Regiões	Área (km <sup>2</sup> )	Representatividade
ZAP	1,13	43,2%
ZAR-2	0,81	30,7%
ZEIS-1	0,09	3,3%
ZPAM	0,04	1,4%
ARRUAMENTO	0,56	21,4%
TOTAL	2,62	100,0%

Fonte: Autores

Utilizando-se a tabela 3 e a tabela 4 determinou-se o coeficiente de escoamento superficial para cada zona de ocupação. Nas regiões de ZAP, ZAR-2, ZEIS-1 e ZAPM, o valor de C utilizado nas áreas impermeáveis foi o referente a telhados (0,85), e nas áreas permeáveis foi utilizado o valor referente a regiões de solo pesado com declividade alta (0,30). As áreas de arruamento foram consideradas impermeáveis no cenário 1, sendo utilizado valor de C referente a asfalto (0,83). Já no cenário 2, essas áreas foram consideradas permeáveis, sendo utilizado valor de C referente a concreto asfáltico poroso (0,03).

Tabela 3 - Valores de C para diferentes superfícies (Accioli, 2005).

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
Cob.: 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: Autores

Tabela 4 - Valores médios de C para diferentes superfícies permeáveis (Araújo et al., 2000).

Tipo de superfície	Valor médio	C <sub>i</sub>
Cimento e asfalto	0,95	0,90 - 0,95
Paralelepípedo	0,60	0,58 - 0,81
Blockets	0,78	0,70 - 0,89
Concreto e asfalto poroso	0,03	0,05
Solo compactado	0,66	0,59 - 0,79

Fonte: Autores

### **Cenário 1 – situação atual: utilização de pavimento asfáltico tradicional**

Para determinar o coeficiente de escoamento da região no cenário 1 foi feita uma média ponderada, considerando as áreas permeáveis e impermeáveis de cada zoneamento e seus respectivos coeficientes de escoamento superficial, obtendo-se um valor de 0,75.

A partir dos dados já apresentados foi aplicada a fórmula do método racional:

$$Q = \frac{C \times i \times A}{3,6} \rightarrow Q = \frac{0,75 \times 76,14 \times 2,62}{3,6}$$

$$Q = 41,782 \text{ m}^3/\text{s}$$

A partir da vazão calculada foi determinado a altura de lâmina d'água considerando um evento chuvoso de uma hora. Para isso, foi determinado o volume total precipitado que, dividido pela área total da bacia, fornece a altura de lâmina d'água. O valor obtido foi de 0,057m.

### **Cenário 2 – utilização de pavimento asfáltico poroso**

Para determinar o coeficiente de escoamento superficial do cenário 2 foi realizado o mesmo processo do cenário anterior, considerando-se nesse caso as vias como regiões permeáveis, devido a presença do concreto asfáltico poroso. O valor obtido foi de 0,58.

Foi determinada a vazão de cheia para o cenário 2, obtendo um valor de 31,941 m<sup>3</sup>/s. A partir desse resultado, foi determinada a altura da lâmina d'água, obtendo-se um valor de 0,044 m.

### **Considerações finais**

Comparando os resultados obtidos nos dois cenários simulados, é possível observar uma redução de 24% na vazão de pico e na altura de lâmina d'água no evento chuvoso com tempo de retorno de 10 anos quando utilizado o concreto asfáltico poroso. Essa diferença é significativa e comprova a eficiência da utilização de pavimentos permeáveis, em especial o

concreto asfáltico poroso, na redução do escoamento superficial e, conseqüentemente, no combate aos problemas de inundações e enchentes urbanas.

Os resultados observados neste trabalho comprovam a eficiência dos pavimentos permeáveis no combate às inundações e enchentes urbanas. Com a utilização do pavimento asfáltico convencional, a vazão de cheia na sub-bacia do embira foi estimada em 41,782 m<sup>3</sup>/s e, considerando um evento chuvoso de uma hora, foi obtida uma altura de lâmina d'água de 0,057 m. Por outro lado, utilizando-se pavimento constituído por concreto asfáltico poroso, a vazão de cheia foi estimada em 31,941 m<sup>3</sup>/s, tendo sido determinado um valor para a altura da lâmina d'água de 0,044m. Dessa forma, o estudo de caso mostrou significativa redução do escoamento superficial quando utilizado o revestimento de concreto asfáltico poroso em comparação ao pavimento asfáltico tradicional.

A utilização desse tipo de pavimento, além de permitir uma redução do escoamento superficial, também permite uma maior infiltração da água no subsolo, atuando na recarga do lençol freático, e auxilia no controle da erosão do solo e na diminuição de ruídos.

Ainda há diversos aspectos dos pavimentos permeáveis que precisam ser mais desenvolvidos e estudados. De forma geral, esse tipo de pavimento apresenta uma menor resistência, sendo mais comum sua utilização em vias de tráfego leve. Além disso, ainda há pouca instrução de engenheiros em relação aos seus métodos construtivos e suas formas de manutenção, e os custos de implantação inicial ainda são maiores que os do pavimento asfáltico tradicional.

Apesar disso, os pavimentos permeáveis apresentam uma nova possibilidade de atuação no combate às enchentes urbanas, atuando na causa do problema, a impermeabilização das superfícies. Suas vantagens são inúmeras e deve haver um incentivo para a maior utilização e desenvolvimento dessa tecnologia no Brasil.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) pelo apoio recebido.

## Referências

ACIOLI, L. A. **Estudo Experimental de Pavimentos Permeáveis para Controle do Escoamento Superficial na Fonte**. 2005. 184 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ARAÚJO, P. R.; GOLDENFUM, J. A.; TUCCI, C. E. M. Avaliação da Eficiência dos Pavimentos Permeáveis na Redução de Escoamento Superficial. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, p. 21-29, Jul/Set. 2000.

BARBOSA JR, A. R. **Elementos de Hidrologia Aplicada**. 2007.

CASTRO, A. S.; GOLDENFUM, J. A.; SILVEIRA, A. L. L.; MARQUES, D. M. Avaliação da Evolução do Comportamento Quantitativo de Pavimentos Permeáveis no Controle do Escoamento Superficial. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 1, p. 263-273, Jan/Mar. 2013.

FRANÇA, J. L.; VASCONCELLOS, A. C. **Manual para normalização de publicações técnico-científicas**. 7 ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2004, 242 p.

NAGHETTINI, M. D., et.al. **Hidrologia Aplicada** - notas de aula. Belo Horizonte: UFMG,(1997). 240 p.

PINHEIRO, M. M. G.; NAGHETTINI, M. Análise regional de frequência e distribuição temporal das tempestades na Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Belo Horizonte**, v. 3, n. 4, p.73-88, out. 1998. Trimestral.

PINTO, L. L. C. A. **O Desempenho de Pavimentos Permeáveis como Medida Mitigadora da Impermeabilização do Solo Urbano**. 2011. 283 f. Dissertação (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo** – 27 de agosto de 1996.

SCHUELER, T. R. **Controlling Urban Runoff: A practical Manual for Planning and Designing Urban BMP's**. Washington: Washington Metropolitan Water Resources Plannig Board, 1987.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p.5-23, 23 maio 2005. Trimestral.

TOMAZ, P. **Poluição Difusa**. São Paulo: Navegar, 2006.



**Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 14, n. 2, dez. 2021. ISSN 1981-4089**

**VIRGILIIS, A. L. C. Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias.** 2009. São Paulo. 185 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.