

IX-007 - PAVIMENTO PERMEÁVEL NO ESPAÇO URBANO: ALTERNATIVA TECNOLÓGICA PARA REDUÇÃO DE VAZÃO DE CHEIAS

Luciano Matos Queiroz⁽¹⁾

Professor Associado de Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA (EPUFBA).

André Henrique Pereira de Freitas Leal

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela EPUFBA.

Endereço⁽¹⁾: Rua Prof. Arisitides Novis, 02, 4º andar, sala 09, Federação, Salvador, Bahia. CEP – 40.210-630.
e-mail: lmqueiroz@ufba.br

RESUMO

Os problemas relacionados à drenagem superficial em meios urbanos associados, principalmente, ao crescimento desordenado das cidades e ao uso e ocupação do solo sem planejamento, requisitam uma série de medidas e práticas para amortizar o pico das vazões de cheia em eventos de precipitação e a ocorrência de enchentes com danos catastróficos. O objetivo deste estudo foi realizar o dimensionamento hidráulico de um sistema de captação de água de chuva por meio de pavimentos permeáveis, analisando-se uma área localizada em parte do estacionamento de uma Instituição de Ensino Superior localizada na cidade de Salvador, Bahia. Constatou-se que não há uma metodologia devidamente padronizada com equações consagradas para o dimensionamento dessa tecnologia. Optou-se por utilizar a metodologia proposta por Acioli (2005) e Silveira e Goldenfum (2007) que utilizaram o Método da Curva Envelope (*rain-envelope method*) para o pré-dimensionamento do volume máximo e altura da camada do reservatório em pavimentos permeáveis. Para uma altura útil do reservatório adotada igual a 26,0 cm e tempo de esvaziamento do reservatório calculado igual a 68,1 horas, reduziu-se a vazão de escoamento máxima de 91 L/s para, apenas, 0,7 L/s. Esse resultado demonstra a efetividade da tecnologia dos pavimentos permeáveis para amortização das vazões de cheias e redução dos riscos de danos decorrentes de enchentes em ambientes urbanos.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem, Pavimento permeável, Vazão de cheias.

INTRODUÇÃO

Segundo o *Virginia Department of Conservation and Recreation* (DCR, 2011), pavimentos permeáveis são alternativas tecnológicas que promovem a penetração das águas originárias do escoamento superficial nos vazios e interstícios existentes no pavimento até um reservatório subjacente, ocasionando armazenamento temporário e/ou infiltração controlada no solo. Usualmente, os pavimentos permeáveis são utilizados em estacionamentos, pátios, calçadas e vias de baixa intensidade de tráfego (HAMMES, 2017). Além disso, os pavimentos permeáveis podem reduzir o escoamento superficial, promovendo a infiltração da água e restando alguns poluentes nas áreas circunvizinhas. Desse modo, esse tipo de pavimento pode funcionar, também, como um dispositivo de controle de poluição na fonte (USEPA, 1999; CASTRO, 2011).

A *United States Environmental Protection Agency*, USEPA (1999) e a *American Society of Civil Engineers*, ASCE (2013), elencam as seguintes vantagens associadas ao uso de pavimentos permeáveis no meio urbano: redução do volume de escoamento e da vazão de pico, aumento da infiltração e da recarga, aumento da qualidade da água com a remoção de poluentes por meio da filtração, redução da temperatura das águas pluviais e do efeito das ilhas de calor causadas pelos pavimentos, redução dos custos com implantação da infraestrutura de drenagem. Por outro lado, as principais limitações relacionadas ao uso dessa tecnologia são: falta de conhecimento técnico científico para a execução desse tipo infraestrutura, colmatação dos interstícios do pavimento, poluição do lençol freático, vulnerabilidade à contaminação por vazamento de combustíveis e produtos químicos tóxicos, aumento dos custos com operação e manutenção do sistema.

Para o bom funcionamento do pavimento permeável, a fase de concepção e projeto não deve ser negligenciada, de modo que se possa elaborar um sistema funcional, de menor custo e sem problemas durante a operação e manutenção. Já a análise da viabilidade permite conhecer se o uso dos pavimentos permeáveis corresponde a

alternativa que mais se adequa ao projeto. Assim, é possível definir o tipo e as características de funcionamento do reservatório, bem como o sistema de entrada e saída de água. Devem ser levados em conta as condições do solo, o nível de água do lençol freático e a carga de finos e poluentes na área em estudo (ACIOLI, 2005).

Neste trabalho, realizou-se o dimensionamento hidráulico de um sistema de captação de água de chuva por meio de pavimentos permeáveis em uma área do estacionamento de uma Instituição de Ensino Superior (IES) na cidade de Salvador, Bahia comparando-se as vazões estimadas de escoamento superficial esperadas após a intervenção com aquelas registrada atualmente de modo a avaliar o impacto da intervenção na redução de cheias.

MÉTODOS

O local selecionado para o desenvolvimento do estudo compreendeu uma área de, aproximadamente, 1.500m² e perímetro de 170 metros, medidos com o auxílio de ferramentas do *software* Google Earth®. O local é utilizado majoritariamente por professores e funcionários de uma Instituição de Ensino Superior e, também, é uma área passagem de transeuntes, principalmente estudantes, que utilizam o espaço para acesso ao prédio. O pavimento do estacionamento é construído em placas de concreto armado (2,0 x 2,0 m) com a presença de árvores de grande porte no entorno, conforme pode ser visto na Figura 1.



Figura 1:Área do estacionamento da Instituição de Ensino Superior.

Com os dados topográficos, construiu-se, com o auxílio do *software* AutoCAD Civil 3D®, um modelo digital do terreno representando as curvas de nível da área selecionada, como indicado na Figura 2.



Figura 2: Detalhe do modelo digital do terreno, representando curvas mestras e secundárias do estacionamento.

Os estudos desenvolvidos por Acioli (2005) e Silveira e Goldenfum (2007) utilizaram o Método da Curva Envelope (*rain-envelope method*) para o pré-dimensionamento do volume máximo e altura da camada do reservatório nos pavimentos permeáveis. O método foi desenvolvido por meio da derivação da equação da continuidade concentrada, considerando o volume armazenado pela diferença entre as curvas de entrada e saída do sistema. O valor de armazenamento máximo pode ser determinado pela máxima diferença existente entre essas duas curvas, conforme a Equação (1).

$$V_{max} = \left(\sqrt{\frac{a}{60}} \sqrt{\beta T_r^{\frac{b}{2}}} - \sqrt{\frac{c}{60}} \sqrt{\gamma H} \sqrt{q_s} \right)^2 \quad \text{equação (1)}$$

Sendo a, b e c, os parâmetros da equação de chuvas do tipo Talbot, β é o produto do coeficiente de escoamento (*runoff*) pela razão entre área contribuinte e a área do dispositivo; T_r o período de recorrência, em anos; γ é a razão entre a área de percolação e a área do dispositivo em planta; H é a profundidade média do volume de acumulação do reservatório (mm); e q_s é a vazão da saída constante do reservatório, em mm/h.

Segundo Festi (2007), a equação de intensidade de chuvas para cidade de Salvador, Bahia, Brasil, pode ser estabelecida como indicado na equação (2), sendo i a intensidade da chuva, em mm/h; t é a duração da chuva, em minutos e T_r o período de recorrência, em anos.

$$i = \frac{1065,66 \times T_r^{0,163}}{(t + 10)^{0,743}} \quad \text{equação (2)}$$

Silveira e Goldenfum (2007) indicam que é possível realizar a conversão da equação de chuvas para uma equação de chuvas do tipo Talbot a partir de simulações numéricas. Para o caso da cidade de Salvador, a Equação (3) indica a equação de intensidade de chuvas do tipo Talbot determinada.

$$i = \frac{1737,24 T_r^{0,163}}{t + 20,2} \quad \text{equação (3)}$$

Para Cedergren *apud* Virgillis (2009), para o dimensionamento de dispositivos de estruturas de drenagem subsuperficial, recomenda-se a adoção de tempo de recorrência T_r entre 1 (um) e 2 (dois) anos. Para a determinação do volume e altura do reservatório deste estudo, adotou-se o valor de T_r igual a 2 anos.

A vazão de saída do reservatório foi calculada a partir da equação (4) de uma bacia de detenção com leito permeável e esgotamento por infiltração proposta por Silveira e Goldenfum (2007), sendo α o coeficiente de redução devido a ação da colmatação e K_{sat} a condutividade hidráulica saturada do meio poroso. O valor da condutividade deve ser determinado por meio de ensaios de laboratórios, analisando o material utilizado no meio filtrante. Entretanto, devido à inexistência desses dados para esse estudo, considerou-se o valor de condutividade hidráulica saturada igual à 15 mm/h, conforme proposto por esses autores. Já o fator de redução devido à colmatação foi adotado igual a 0,1, de acordo com as recomendações preconizadas também por Silveira e Goldenfum (2007).

$$q_s = \alpha K_{sat} \quad \text{equação (4)}$$

Devido a inexistência de características do material granulado que irá compor o reservatório, pela necessidade de realização de ensaios de laboratório com amostras, foram utilizados os valores de porosidade efetiva (η) indicados Urbonas e Stahre *apud* MIGUEZ et al. (2015). A altura do reservatório da camada granular que compõe o pavimento permeável pode ser determinada pela equação (5), sendo V_{max} o volume de armazenamento e η a porosidade do material da camada granular.

$$H = \frac{V_{max}}{\eta} \quad \text{equação (5)}$$

Schueler (1987) recomenda que o tempo de permanência da água infiltrada no reservatório não seja maior que 72 (setenta e duas) horas, uma vez que a secagem do leito e a manutenção das condições aeróbias devem ser preconizadas. O tempo de esvaziamento do reservatório foi determinado por meio da equação (6).

$$t_{esv} = \frac{H}{q_s} \quad \text{equação (6)}$$

Segundo Cedergren *apud* Virgillis (2009), para o dimensionamento de dispositivos de estruturas de drenagem subsuperficial, recomenda-se a adoção do tempo de concentração de 1 hora. Desse modo, para a determinação do volume e altura do reservatório deste estudo, adotou-se que o tempo de duração da precipitação é igual ao tempo de concentração preconizado. A determinação da vazão máxima de escoamento foi realizada por meio da aplicação do Método Racional, por tratar-se de uma pequena bacia. O coeficiente de escoamento superficial foi calculado a partir dos valores proposto por Tucci (2000).

O dimensionamento das calhas de drenagem do escoamento superficial foi determinado a partir da Equação de Manning-Strickler, conhecendo-se a vazão máxima. Os drenos extravasores foram dimensionados segundo formulação proposta por Accioli (2005), indicado na equação (7), sendo C o coeficiente de escoamento superficial, i a equação de intensidade de chuvas e A_t a área total da bacia.

$$Q_{extr} = 0,9 \times 0,278 C \times i \times A_t \quad \text{equação (7)}$$

A equação utilizada para a determinação do diâmetro dos drenos de fundo foi a indicada por Deniculi et al. (2003), e está representada na equação (8), sendo D o diâmetro do tubo de drenagem, y o coeficiente de Bazin e ε a inclinação do canal de drenagem.

$$Q_{fundo} = 59,1 \times \frac{D^3}{2y + D^{0,5}} \times \varepsilon^{0,5} \quad \text{equação (8)}$$

A concepção do projeto seguiu as seguintes premissas: a camada superficial foi composta por blocos de concreto vazado, assentados como blocos intertravados convencionais, com uma camada de areia com a função de revestimento; o reservatório foi composto por uma camada de brita, conforme Acioli (2005); na interface entre as camadas, propõe-se a instalação de um filtro geotêxtil a fim de conter o material fino presente da camada de revestimento; Para a camada impermeabilizante de fundo deve-se instalar uma camada de material geotêxtil rebocado com material betuminoso, que promoverá a estanqueidade do reservatório.

As calhas para o escoamento serão de PVC rígido, assentadas no pavimento com inclinação de 1%. Os tubos de drenagem utilizados serão do tipo corrugados de PEAD rígido e perfurados de modo que permitam a saída da água pluvial do reservatório até entrada no reservatório coletor. Os drenos serão instalados em uma vala específica, impermeável, no ponto mais baixo do reservatório, de modo que a água escoe até o reservatório coletor. A declividade desse canal adotada é de 2%. Os tubos extravasores utilizados serão de PVC rígido de modo que permitam o escoamento da água acumulada além da capacidade de armazenamento do reservatório, com a instalação de registros para controle do fluxo em casos de chuvas intensas.

Embora o dimensionamento do reservatório coletor da água armazenada no pavimento permeável não esteja incluso no escopo deste estudo, faz-se necessário a locação do mesmo a fim de estabelecer a composição do sistema de drenagem superficial e subsuperficial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros de cálculo determinados para o dimensionamento hidráulico do reservatório estão elencados na Tabela 1. Observa-se uma drástica redução da vazão de escoamento superficial, da ordem de 99,3% para os cenários de antes e depois da implantação dos pavimentos permeáveis. Dentre as principais vantagens dessa situação, destaca a redução dos valores de pico para as vazões de escoamento e redução da probabilidade de inundações.

A água proveniente de uma precipitação infiltra nos interstícios do pavimento permeável e é armazenada no seu reservatório. Através das estruturas de drenagem instaladas no sistema, a água é escoada até um reservatório de armazenamento próximo do estacionamento para posterior aproveitamento da água, considerando os fins não potáveis que pode ser utilizada.

Tabela 1: Resumo dos parâmetros de dimensionamento calculados e adotados.

Parâmetro	Valor	Unidade
Intensidade da chuva de projeto (i)	24,3	mm/h
Vazão de saída do reservatório (q_s)	1,5	mm/h
β	1,2	-
Volume máximo do reservatório (V_{\max})	30,6	mm
Porosidade (η)	30	%
Altura do reservatório (H)	102,1	mm
Altura do reservatório ajustada (H')	252,1	mm
Altura do reservatório adotada	260	mm
Tempo de esvaziamento do reservatório (t_{esv})	68,1	h
Coefficiente de escoamento superficial antes da construção do pavimento (C)	0,90	-
Coefficiente de escoamento superficial após a construção do pavimento (C')	0,07	-
Vazão de escoamento máxima antes da construção do pavimento permeável	91	L/s
Vazão de escoamento máxima após a construção do pavimento permeável	0,7	L/s
Diâmetro nominal das calhas de escoamento superficial	130x75	mm
Vazão dos extravasores	0,61	L/s
Vazão dos drenos de fundos	0,63	L/s
Diâmetro dos drenos de fundo calculado	695	mm
Diâmetro nominal dos drenos de fundo adotado	750	mm

A Figura 3 mostra as camadas que compõem o pavimento permeável, com a indicação do reservatório, camadas de assentamento e base do piso intertravado e as membranas a serem instaladas. A Figura 4 mostra um esquema da concepção adotada para a drenagem subsuperficial, com a localização dos drenos subsuperficiais, reservatório e inclinação de fundo do reservatório e ilustra o esquema da drenagem superficial, com indicação das calhas, caixas de passagem, caixas de reunião, tubos e reservatório. De acordo com os resultados obtidos, é possível afirmar que o dimensionamento de pavimentos permeáveis para aproveitamento da água captada precisa de maiores investigações a fim de estabelecer uma metodologia de dimensionamento mais complexa e detalhada, embora apresente grande potencial para implementação da prática como novas alternativas para os problemas de escassez de água nos centros urbanos.

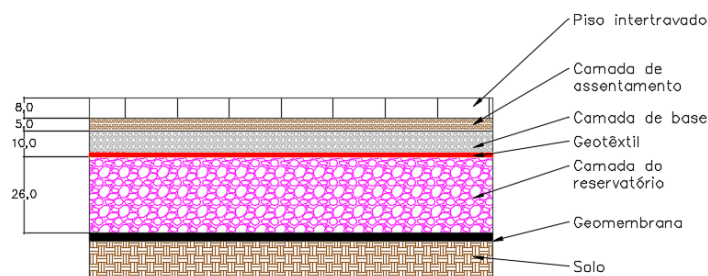


Figura 2: Perfil das camadas do pavimento permeável



Figura 3: Representação da drenagem subsuperficial, com indicação do reservatório, drenos de fundo e inclinações, e drenagem superficial com indicação do reservatório, calhas, caixas e tubos.

CONCLUSÕES

Os resultados permitiram concluir que:

- A redução da vazão de escoamento superficial com a instalação de pavimentos permeáveis é muito representativa, uma vez que se observou uma redução de 99,3%, e reflete a importância da adoção de medidas de controle na fonte.
- A inexistência de dados empíricos, como a constante de condutividade hidráulica e porosidade, por exemplo, podem afetar o dimensionamento do sistema, uma vez que as características variam de acordo com o material utilizado na execução do projeto.
- Estudos relacionados à qualidade da água captada e armazenada focando na presença de finos e poluentes devem ser realizados visando o aproveitamento desse recurso *in situ*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACIOLI, L.A. Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte. Porto Alegre, 2005. Dissertação de mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
2. AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE). *Permeable Pavements: Recommended Design Guidelines*, 2013.
3. CASTRO, A.S. Uso de Pavimentos Permeáveis e Coberturas Verdes no Controle Quali Quantitativo do Escoamento Superficial Urbano. Porto Alegre, 2011. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
4. DENICULI, W.; MARTINEZ, M.A.; SILVA, D.D. *Dimensionamento hidráulico de drenos subterrâneos: proposta de equação geral*. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, v. 7, n. 2, p. 197-200, 2003.
5. FESTI, A.V. Coletânea das equações de chuva do Brasil. 2007. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais. São Paulo, 2007.
6. HAMMES, G. Aproveitamento de água pluvial captada a partir de pavimentos permeáveis para uso não potável. 2017. Trabalho de conclusão de curso de Graduação. Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.
7. MIGUEZ, M.G. (org.) *Drenagem Urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade*. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 366p.
8. SCHUELER, T. *Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs*. 1987.
9. SILVEIRA, A.L.L. Pré-dimensionamento hidrológico de pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração. 2003. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XV, 2003, Curitiba.
10. SILVEIRA, A.L.L. da; GOLDENFUM, J.A. *Metodologia generalizada para pré-dimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, p.157-168, 2007.

11. USEPA. *Storm Water Technology Fact Sheet: Porous Pavement*. 1999.
12. TUCCI, C.E.M. *Coefficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.5, n. 1, p. 61-68, 2000.
13. VIRGILIIS, A.L.C. Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias. 2009. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
14. VIRGINIA DEPARTMENT OF CONSERVATION AND RECREATION (DCR). Virginia DEQ Stormwater Design Specification N° 7. Version 1.8, 2011.