

Avaliação do escoamento superficial de águas pluviais em pavimento de blocos de solo-cimento

Assessment of stormwater runoff in pavement of soil-cement blocks

Jorge Luis Zegarra Tarqui^{1*} , Miriam de Fátima Carvalho² ,
Camila Maria Leite dos Santos² , Juliana Evaristo dos Santos² 

RESUMO

Avaliou-se o coeficiente de escoamento (volume escoado/volume precipitado), que define a capacidade de redução do escoamento superficial de um pavimento com blocos de solo-cimento intertravados (20,7 m de comprimento e 3 m de largura) dentro de uma estrutura de vigas de concreto transversais implantada em uma área de declividade de 6% e solo de baixa permeabilidade, e condições similares em áreas de ocupação de populações de baixa renda. Cento e oitenta e quatro eventos (precipitações) foram registrados, mas somente foram considerados eventos com volume precipitado maior que a capacidade máxima de armazenamento do pavimento (≈ 1.500 L) e temperatura menor a 23°C para manter a precisão do sensor de medição. Os valores experimentais do coeficiente C oscilaram na faixa de 0,47 a 0,79, que confirmam que o pavimento de bloco de solo-cimento é semipermeável.

Palavras-chave: pavimento semipermeável; blocos solo-cimento; coeficiente de escoamento superficial.

ABSTRACT

In this article, the authors assessed the runoff coefficient C (drained volume/volume precipitate), which defines the capacity reduction of runoff, of a pavement with soil-cement interlocking blocks (20.7 m long and 3 m wide) within a structure of transverse concrete beams deployed in an area with slope of 6% and low permeability soil, and similar conditions in areas occupied by poor populations. One hundred and eighty-four events (rainfall) were recorded, but only events with a precipitate volume greater than the maximum capacity storage of pavement ($\approx 1,500$ liters) and a temperature less than 23°C, to maintain the accuracy of the measurement sensor, were considered. The experimental values of the coefficient C varied in the range of 0.47 to 0.79, confirming that the soil-cement block pavement is semi permeable.

Keywords: semi permeable pavement; runoff coefficient; urban drainage.

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização no Brasil se caracteriza pela ocupação desordenada e pela mudança acelerada do uso do solo (MACEDO, 2008). Esse processo gera impermeabilização da superfície, mudanças nos cursos naturais de água e sobre exploração das fontes de água superficiais e subterrâneas. Os impactos ao sistema hídrico no meio urbano em razão da urbanização são: aumento das vazões máximas e da sua frequência em razão do aumento do escoamento superficial (difuso ou concentrado); aumento da produção de sedimentos em razão da redução ou da retirada da cobertura natural do solo; deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea em razão da lavagem de ruas, do transporte de material sólido e da contaminação de aquíferos; redução ou extinção das fontes de água superficiais e subterrâneas (O'DRISCOLL *et al.*, 2010; KONRAD, 2014); e geração de ilhas de calor no meio urbano (LI *et al.*, 2014).

A solução dos impactos requer um gerenciamento integrado da infraestrutura urbana, especificamente na gestão das águas urbanas, para a recuperação ou a preservação da dinâmica original do escoamento no espaço ocupado, mediante a redução de escoamento (pico e volume), o aumento de infiltração, a recarga de água subterrânea, a proteção de fluxo e a melhoria da qualidade da água por meio de mecanismos de remoção de poluentes, como filtração, sorção química e processos biológicos. Esse tipo de proposta denomina-se *Low Impact Development* (LID) (U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE, 2004). O LID emprega dispositivos de controle (localizados, distribuídos, em pequena escala e dentro de uma visão sistêmica) denominados *Integrated Management Practices* (IMPs), que podem ser incorporados a edificações e infraestrutura ou projetos de paisagem. A eficiência da aplicação dos diferentes dispositivos propostos nas IMPs é estudada de forma

¹Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte (MG), Brasil.

²Universidade Católica do Salvador - Salvador (BA), Brasil.

*Autor correspondente: jlztarqui@yahoo.com.br

Recebido: 21/08/2015 - Aceito: 27/03/2018 - Reg. ABES: 153148

isolada ou de forma combinada (AHIABLAME; ENGEL; CHAUBEY, 2012). As propostas mais conhecidas dos dispositivos são: telhado verde, trincheira de infiltração (BARRAUD *et al.* 2014), reservatórios de armazenamento de chuva, pavimentos permeáveis, poços de infiltração etc. Na atualidade, existe a necessidade de avaliar os impactos desses dispositivos na escala da bacia urbana (AHIABLAME; ENGEL; CHAUBEY, 2013; AHIABLAME; SHAKYA, 2016; JIA *et al.*, 2016; BHASKAR *et al.*, 2016; KWAK; KIM; HAN, 2016).

O pavimento permeável, semelhante a outras IMPs, reduz o volume do escoamento superficial, filtra poluentes, dispersa o escoamento e recarga as águas subterrâneas (U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE, 2004; HUANG *et al.*, 2016; BRUNETTI; SIMÚNEK; PIRO, 2016; KAMALI *et al.*, 2017). Além disso, reduz a porcentagem de área impermeável. California Department of Transportation (CALTRANS, 2014), Hunt e Collins (2008) e Smith e Hein (2013) descrevem os diferentes tipos de pavimento permeável, incluindo os pavimentos com blocos intertravados, e sugerem os aspectos construtivos deles. No Brasil, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2011) discute o dimensionamento e o procedimento construtivo mediante adaptação da tecnologia proposta por autores estrangeiros para a realidade local, mas no processo de urbanização no Brasil o segmento da sociedade com baixa renda ocupa espaços ou áreas com infraestrutura urbana precária e alocada em espaços de risco e/ou de pouco valor imobiliário, a exemplo a ocupação das partes altas dos morros nas cidades.

Nesse contexto, este artigo objetivou o desenvolvimento de um pavimento semipermeável feito de solo-cimento dentro de uma estrutura de vigas de concreto transversais, para trânsito de pessoas, de baixo custo e que possa ser aplicado em áreas de forte declividade e em solo de baixa permeabilidade, condições presentes em áreas de ocupação de populações de baixa renda. Assim, avaliaram-se as propriedades mecânicas (durabilidade, absorção de água e resistência à compressão) de blocos de solo-cimento com diferentes dosagens de cimento em massa (nas proporções de 8, 10, 12 e 20%) e adotaram-se blocos com 20% de cimento em massa para a construção do pavimento por apresentarem melhores resultados (CARVALHO *et al.*, 2016).

Posteriormente, Zegarra-Tarqui, Santos-de-Brito e Carvalho (2015) determinaram o coeficiente de escoamento (C) superficial (volume de água escoado pela superfície/volume de água precipitado) para um pavimento piloto construído com os blocos de solo-cimento com dimensões 50 cm × 50 cm. Com auxílio de um simulador de chuvas, determinaram-se os coeficientes de escoamento do pavimento piloto para as declividades de 1, 3 e 5% e as precipitações com intensidade de 76,9 e 117,7 mm/h, valores próximos das intensidades calculadas pela curva intensidade-duração-frequência (i-d-f) da cidade de Salvador, Bahia, Brasil, para tempo de retorno (Tr) de 2 e 5 anos, respectivamente, e tempo de duração de 10 minutos. Os resultados demonstraram que o coeficiente é quase independente da declividade, com valores de C na faixa de $<0,74$ a $0,89$ — estes, em média,

encontram-se perto do C de pavimento de bloco de cimento ($C = 0,78$) e inferior ao do pavimento de concreto ($C = 0,95$), classificando o pavimento de blocos de solo-cimento na categoria semipermeável. Em razão das dimensões do pavimento piloto (50 × 50 cm), não é possível avaliar outros fatores que reduzem o C, como tempo de deslocamento do escoamento sobre a superfície, depressões na superfície, evaporação, rugosidade do pavimento, capacidade de armazenamento etc. Então, com a finalidade de calcular o verdadeiro valor do C, para pavimento de solo-cimento em dimensões reais, foi construído um pavimento de quase 60 m² e foram realizadas medições de campo do coeficiente.

MATERIAIS E MÉTODOS

O pavimento semipermeável de blocos solo-cimento foi instalado no estacionamento do Campus de Pituaçu da Universidade Católica do Salvador (UCSal), cidade de Salvador, Brasil. A cidade apresenta clima tropical, temperatura média de 25,2°C. A pluviosidade média anual é de 1.781 mm. Até mesmo o mês mais seco do ano, setembro, apresenta pluviosidade de 74 mm. A área de estudo consta dos seguintes dispositivos: uma estação meteorológica (com pluviômetro digital); um pavimento intertravado de solo-cimento, com declividade de 6%; um medidor de vazão composto por um vertedor triangular de 90°; e uma trincheira de infiltração (Figura 1).

A estação meteorológica possui um sensor de temperatura (°C) e um pluviômetro digital basculante que permite monitorar a lâmina de água precipitada (mm) em intervalos de tempo predefinidos (30 ou 10 minutos). A estação foi posicionada a uma distância de 1 m do pavimento, distante das árvores, e instalada em um poste a 2 m de altura.

O pavimento tem comprimento de 20,70 m e largura de 3 m, com declividade do terreno de 6%, valor superior ao máximo (5%) recomendado por Marchioni e Silva (2011). Estudos geotécnicos a partir de duas amostras coletadas em furos de sondagem a trado até a profundidade de 3 m mostraram que o solo local é classificado como um solo argiloso com vestígio de pedregulho e com coeficiente de permeabilidade relativamente baixo (10^{-5} cm.s⁻¹, obtido por meio de ensaio Guelph). A elevada declividade da área e o baixo coeficiente de permeabilidade em razão da compactação coincidem com as características dos solos das áreas ocupadas pela população de baixa renda na cidade de Salvador.

Na Figura 2A, observa-se que os blocos intertravados foram confinados lateralmente por meio de meio-fios, mas também internamente por meio de vigas de concreto (de 15 cm de largura e 15 cm de espessura) colocadas de forma transversal e afastadas a cada 3 m, aproximadamente, com a finalidade de evitar o deslizamento dos blocos em razão da declividade (MARCHIONI e SILVA, 2011).

Smith e Hein (2013) afirmam que o pavimento de blocos de concreto permeável para pedestre é composto de: blocos; material de rejunte com distribuição granulométrica n° 8, 89 ou 9, conforme a American

Society for Testing Materials (ASTM) ou como sugere ABCP (2011), com agregado com 80 a 90% do material na faixa de 2,36 a 4,75 mm; uma camada de assentamento de 50 mm de espessura, com agregados ASTM nº 8; e uma camada base de 100 mm de espessura composta de agregado anguloso ASTM 57, com diâmetro oscilando na faixa de 25 a 13 mm, e porosidade mínima de 45%.

Na pesquisa, os blocos foram assentados na forma de trama sobre uma camada de areia de 5,3 cm de espessura (Figura 2B). A camada base não foi colocada, como sugerem Smith e Hein (2013), pois a ideia é utilizar o pavimento em condições mínimas de armazenamento. Os blocos foram rejuntados com areia fina, e não na faixa sugerida por Smith e Hein (2013) ou ABCP (2011).

A areia usada foi classificada, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como areia média a fina com pouca areia grossa e vestígios de pedregulho. A distribuição granulométrica foi: pedregulho (< 2 mm) 1%; areia grossa (2 – 0,6 mm) 7%; areia média (0,6 – 0,2 mm) 49%; areia fina (0,2 – 0,075 mm) 40%; e silte/argila (< 0,075 mm) 3%. A porosidade é de 46%, o que permite volume de armazenamento de água de 1.500 L, aproximadamente.

O dispositivo de medição de vazão (Figura 3A) é composto de uma caixa de tranquilização do escoamento (proveniente do pavimento), seguida por um vertedor triangular de 90° de parede delgada,

recomendado para medir vazões abaixo dos 30 L.s⁻¹. Um tubo de PVC é ligado via vaso comunicante com o reservatório da caixa de tranquilização (Figura 3B) e uma sonda de pressão é inserida e presa no interior do tubo, o que permite medir de forma direta o nível da água. A informação é armazenada no data *logger* localizado, em resguardo, em uma casinha ao lado do pavimento (Figura 4A).

A trincheira — com 8 m de comprimento, 2 m de profundidade e 1,5 m de largura — foi revestida com uma manta geotêxtil para impedir a sua colmatação e reduzir a contaminação do solo. Depois, foi preenchida com pedra de mão (Figura 4B).

O volume de água precipitado no pavimento (V_i) para um intervalo de tempo (i) é definido pela Equação 1:

$$V_i = h_i A_H \quad (1)$$

Em que:

h_i = lâmina precipitada (pluviômetro basculante) para determinado intervalo de tempo (i) de coleta. No início, o intervalo foi de 30 minutos, mas posteriormente foi adotado um intervalo de 10 minutos;

A_H = projeção horizontal da área do pavimento — $A_H = A \cos \alpha$; em que α é o ângulo de inclinação (3,43°) para declividade de 6%; e A é a área do pavimento (62,1 m²).

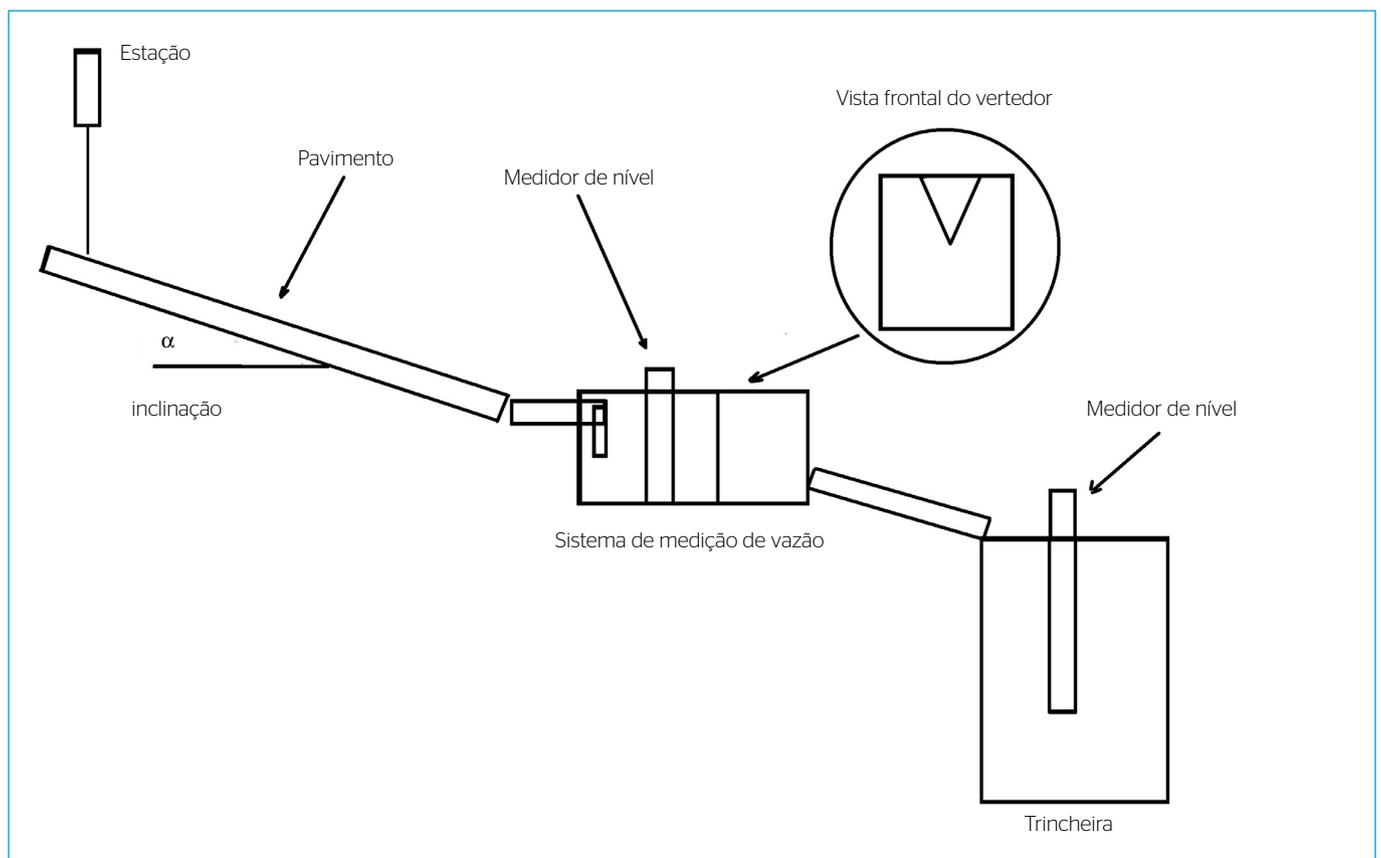


Figura 1 - Esquema da distribuição dos dispositivos no campo do conjunto pavimento semipermeável de blocos de solo-cimento.

Então, para um dado evento registrado em n intervalos de tempo, o volume total precipitado é definido pela Equação 2:

$$V_{\text{total precipitado}} = \sum_{i=1}^n V_i \quad (2)$$

Iniciado o escoamento superficial, o medidor de nível do vertedor registrará os níveis de água (H_i) sobre a soleira do vertedor para cada tempo t_i . Calcula-se a vazão Q_i para cada H_i mediante a equação do vertedor (Equação 3), obtida em campo por Carneiro (2012).



Figura 2 - (A) Processo de colocação dos meios-fios e das vigas transversais e assentamento dos blocos na camada de areia; (B) detalhe da trama do intertravamento.

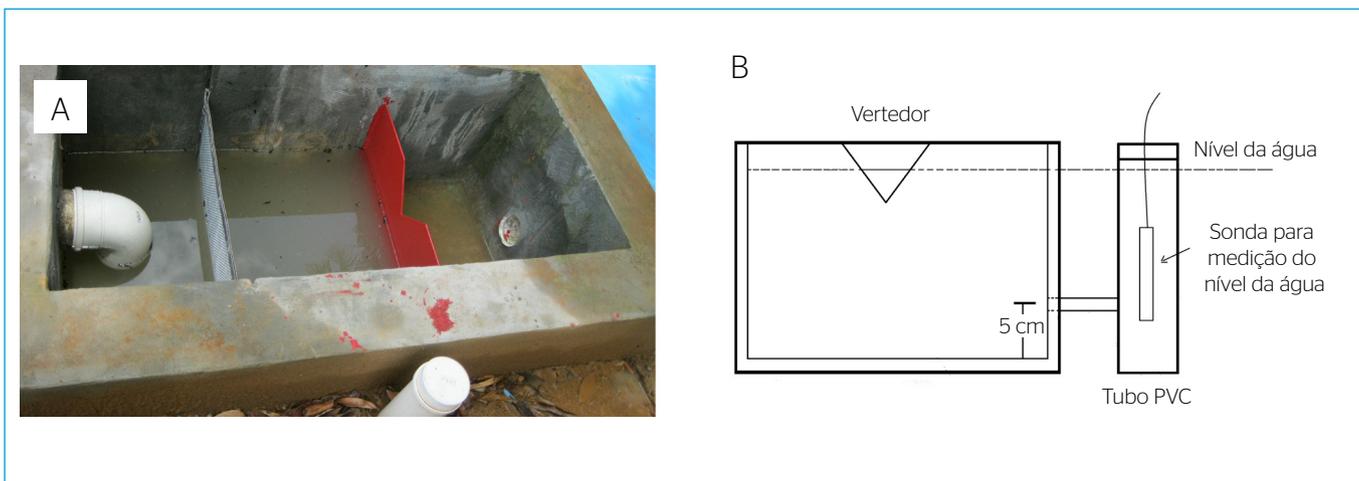


Figura 3 - (A) Detalhe do dispositivo de medição de vazão; (B) desenho da ligação entre a caixa de tranquilização e do tubo de policloreto de vinila (PVC) com a sonda de pressão.



Figura 4 - (A) Localização dos sensores de pressão, destinados à medição do nível da água no vertedor e na trincheira, e detalhes da casa de resguardo dos data logger; (B) detalhe da construção da trincheira de infiltração.

$$Q = 1,57H^{2,42} \quad (3)$$

Em que H é medido em centímetros e a vazão, em L.s⁻¹.

Assim, o volume escoado no intervalo de tempo ($\Delta t = t_j - t_{j-1} = 5 \text{ min}$) sobre o vertedor é representado pela Equação 4:

$$V_e = \frac{(Q_j + Q_{j-1})\Delta t}{2} \quad (4)$$

Em que as vazões Q_j e Q_{j-1} se referem aos níveis H_j e H_{j-1} , respectivamente. O volume total escoado ($V_{\text{total escoado}}$) será igual à somatória dos volumes escoados em cada intervalo de tempo (Equação 5):

$$V_{\text{total escoado}} = \sum_{e=1}^n V_e \quad (5)$$

Logo, o C é (Equação 6):

$$C = \frac{V_{\text{total escoado}}}{V_{\text{total precipitado}}} \quad (6)$$

RESULTADOS

Foram registrados 183 eventos entre abril e setembro de 2013 e um evento de outubro de 2014. Na Tabela 1, são apresentados os valores máximos e mínimos para as variáveis duração (min ou h), precipitação (mm), volume total precipitado (litros), volume total escoado (litros), C e intensidade (mm.h⁻¹).

No gráfico da Figura 5 referente à relação entre o C e a precipitação, com todos os eventos, observa-se que existe uma forte aglomeração dos valores de C para a esquerda do gráfico, para precipitações menores de 10 mm, aproximadamente, e que acima de precipitações de 20 mm existe uma tendência do acréscimo do C com o aumento da precipitação.

No gráfico entre o C e a intensidade (Figura 6), pode-se observar uma dispersão dos resultados, e não é possível estabelecer correlação entre ambos.

Então, foi necessário estabelecer certos critérios de escolha dos dados mais representativos:

- A capacidade de armazenamento do pavimento é composta da absorção da água por parte dos blocos de solo-cimento e da camada de areia que serve como base para o assentamento dos blocos. O pavimento tem

Tabela 1 - Valores máximos e mínimos das diferentes variáveis analisadas.

Valores	Duração (min)	Duração (h)	Precipitação (mm)	V _{total precipitado} (litros)	V _{total escoado} (litros)	C	Intensidade (mm.h ⁻¹)
Máximo	370	6,17	124,2	7699,0	6087,2	0,9	21,9
Mínimo	10	0,17	0,4	24,8	0,4	0,02	0,2

V: volume; C: coeficiente de escoamento.

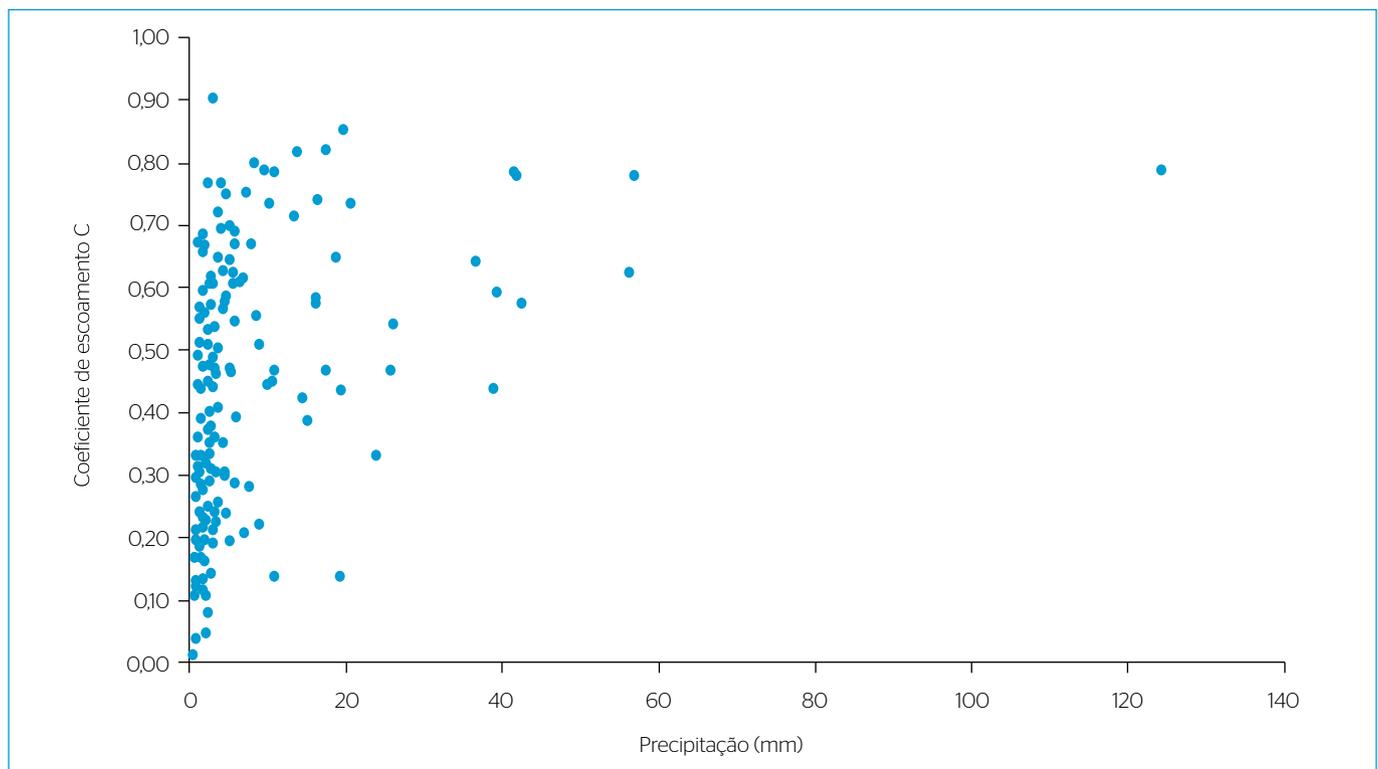


Figura 5 - Relação entre o coeficiente de escoamento (C) e a precipitação.

- comprimento de 20,7 m, largura de 3 m e profundidade da camada de areia de 5,26 cm; logo, o volume teórico de armazenamento é de 3.266,46 L, mas como a porosidade experimental da areia é 45,9%, então o volume real para armazenamento é de $V_{armazenamento} = 1.499,3 L$, aproximadamente;
- O pavimento é separado por vigas colocadas a cada 3 m a fim de impedir o deslocamento dos blocos, como mostra a Figura 3. Essa estrutura divide o pavimento em quatro reservatórios contínuos acoplados e não permite ou restringe fortemente o escoamento subsuperficial (por meio da areia) ao longo de todo o pavimento;
 - Considera-se que, teoricamente, o escoamento superficial acontecerá quando a máxima capacidade de armazenamento for atingida, isto é, a saturação total da camada de assentamento de areia. Então, só são considerados os eventos em que o volume precipitado ($V_{precipitado}$) é maior ou igual ao $V_{armazenamento}$;

- As precipitações com $V_{precipitado}$ menor que $V_{armazenamento}$ tendem a formar um escoamento superficial com baixas vazões que geram pequenas alturas de lâmina (H_s) sobre a soleira do vertedor triangular, de difícil registro por parte da sonda de medição de nível (com mínima precisão de leitura ± 2 mm), o que pode gerar erros de medição;
- O equipamento perde precisão a temperaturas superiores a 21°C. No registro de todos os eventos, as temperaturas foram superiores a essa. Logo, escolhem-se eventos com precipitações menores de 23°C a fim de reduzir o efeito da temperatura nas leituras.

Na Tabela 2 são apresentados os eventos com volumes precipitados superiores ou iguais à capacidade de armazenamento e temperaturas inferiores a 23°C. As precipitações selecionadas possuem durações superiores a duas horas; empregada a equação de i-d-f da cidade

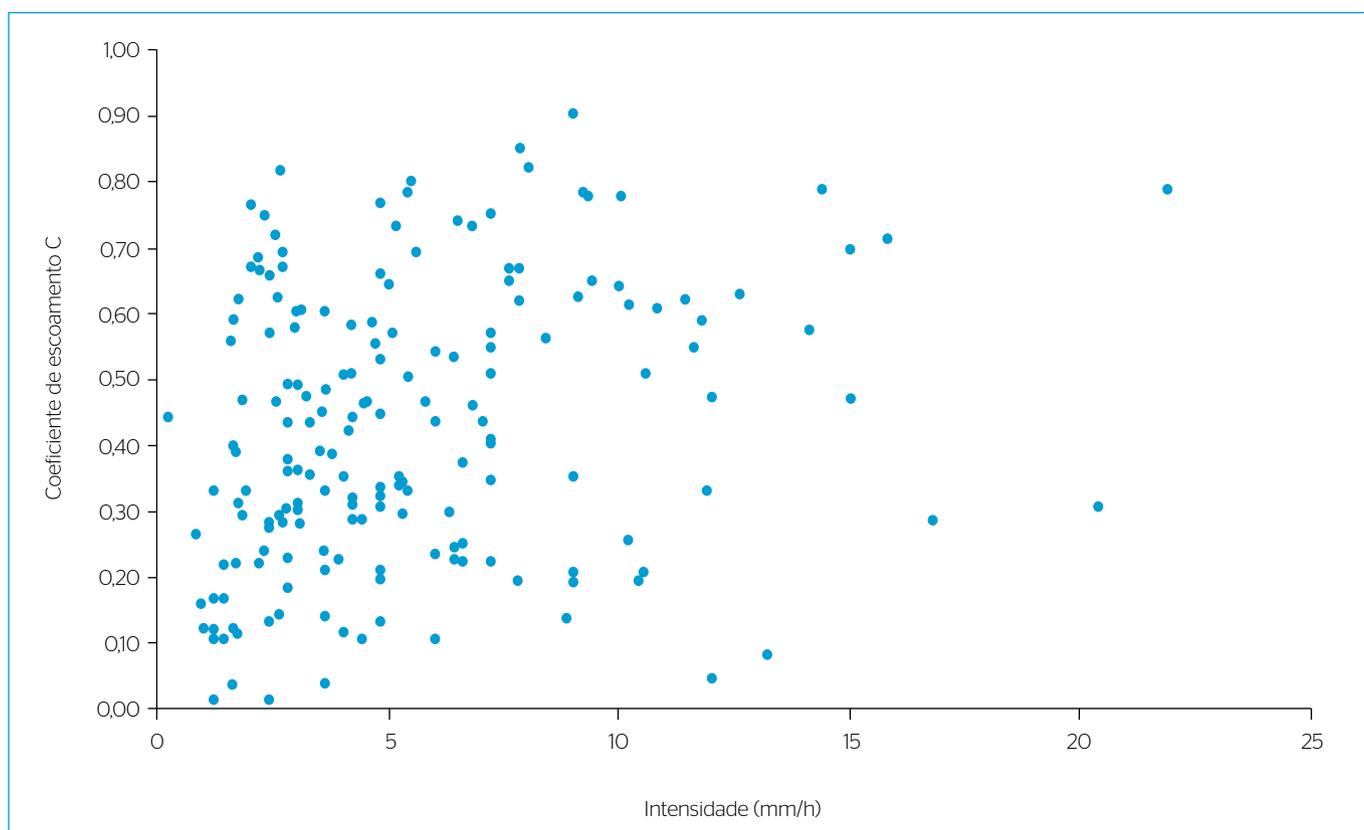


Figura 6 - Relação entre o coeficiente de escoamento (C) e a intensidade.

Tabela 2 - Eventos selecionados com o critério de $V_{precipitado}/V_{armazenado} \geq 1$.

Temperatura (°C)	Duração (h)	Precipitação (mm)	C	Intensidade (mm/h)	$V_{precipitado}/V_{armazenado}$	Intensidade (mm.h ⁻¹) Tr 2 anos	Intensidade (mm.h ⁻¹) Tr 5 anos	Intensidade (mm.h ⁻¹) Tr 10 anos	Intensidade (mm.h ⁻¹) Tr 20 anos
22	5,67	124,2	0,79	21,9	5,1	8,4	12,5	16,8	22,6
22,7	5,67	56,8	0,78	10,0	2,3	8,4	12,5	16,8	22,6
22,1	6,17	56,2	0,63	9,1	2,3	7,8	11,7	15,7	21,1
22,2	4,33	26	0,54	6,0	1,1	10,6	15,6	20,9	27,9
21,7	5,67	25,6	0,47	4,5	1,1	8,4	12,5	16,8	22,6

V: volume; C: coeficiente de escoamento; Tr: tempo de retorno.

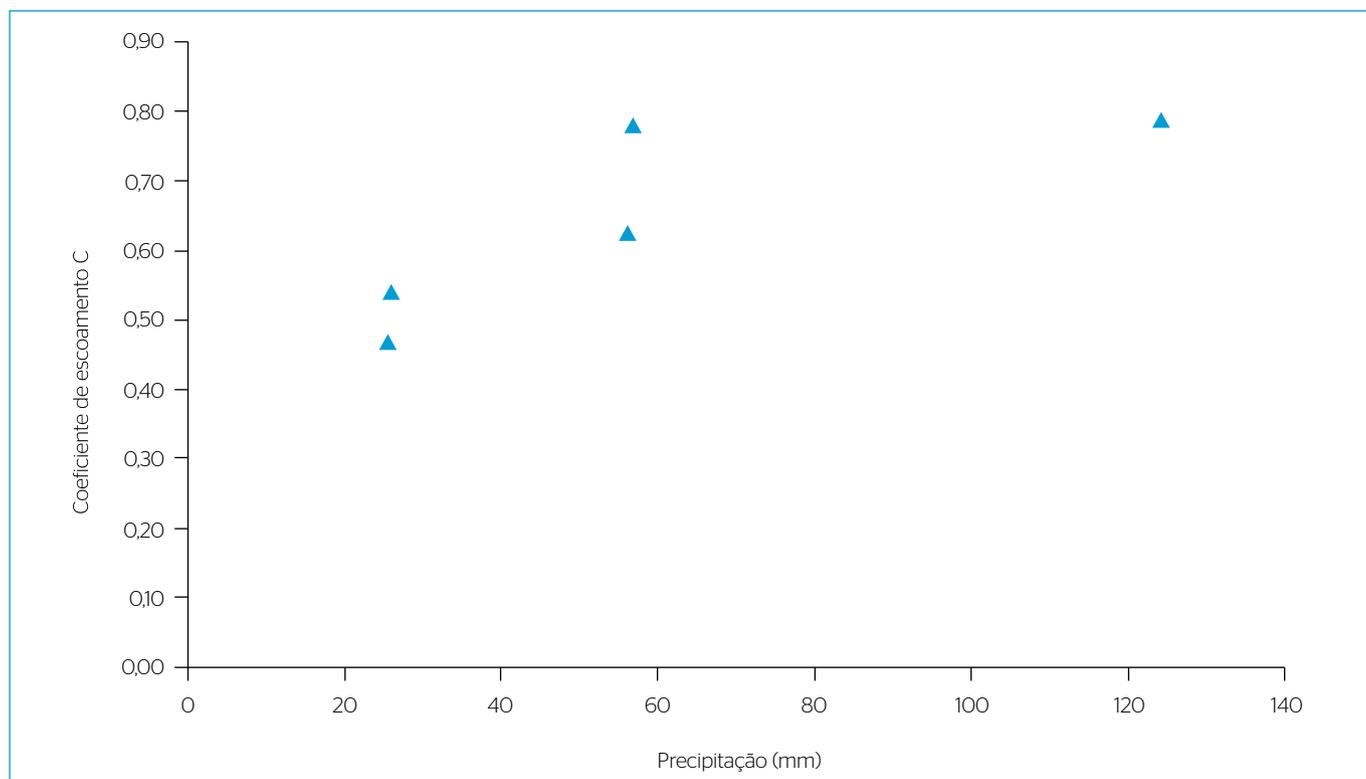


Figura 7 - Relação entre o coeficiente de escoamento (C) e a precipitação.

de Salvador, são determinadas as intensidades, com duração similar às registradas, associadas a tempos de retorno de 2, 5, 10 e 20 anos.

Na Figura 7, o coeficiente do escoamento C aumenta com o acréscimo da precipitação, mas não ultrapassa o valor de 0,8.

Na Tabela 2, observa-se que os três primeiros eventos possuem intensidades (21,9; 10,0 e 9,1 mm.h⁻¹) superiores às intensidades referentes ao Tr de dois anos. No caso da intensidade (21,9 mm.h⁻¹), é um pouco menor do que a intensidade com Tr de 20 anos, mas apresenta coeficiente C = 0,79, confirmando que o pavimento é semipermeável.

CONCLUSÕES

- A estrutura composta de vigas transversais colocadas a cada 3 m, aproximadamente, deu estabilidade ao pavimento, impedindo o deslizamento dos blocos intertravados, apesar de reduzir ou impedir o escoamento subsuperficial por meio da camada de areia de assentamento dos blocos ao longo do pavimento;

- A seleção de eventos cujos volumes precipitados superam a capacidade de armazenamento da camada de assentamento de areia permitiu analisar de forma adequada o verdadeiro valor do C;
- Os valores de C não ultrapassaram o valor de 0,8, mantendo o pavimento dentro da categoria semipermeável;
- O aumento da espessura da camada de assentamento de areia aumentará a capacidade de armazenamento, permitindo suportar eventos com maior Tr, mas pode aumentar os custos com a estrutura de estabilidade composta das vigas transversais;
- O emprego desse tipo de pavimento para áreas de pouco tráfego e de declividades acentuadas é possível.

FONTES DE FINANCIAMENTO

Fundação de Amparo de Pesquisa da Bahia (FAPESB); Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq); Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

REFERÊNCIAS

AHIABLAME, L.; SHAKYA, R. (2016) Modeling flood reduction effects of low impact development at a watershed scale. *Journal of Environmental Management*, v. 171, p. 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.036>

AHIABLAME, L.M.; ENGEL, B.A.; CHAUBEY, I. (2012) Effectiveness of Low Impact Development Practices: Literature Review and Suggestions for Future Research. *Water Air Soil Pollution*, v. 223, n. 7, p. 4253-4273. <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1189-2>

- AHIABLAME, L.M.; ENGEL, B.A.; CHAUBEY, I. (2013) Effectiveness of low impact development practices in two urbanized watersheds: Retrofitting with rain barrel/cistern and porous pavement. *Journal of Environmental Management*, v. 119, p. 151-161. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.019>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). (2011) Projeto técnico: pavimento permeável. Programa Soluções para Cidades. São Paulo: ABCP. Disponível em: <www.solucoeparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF_Pav%20Permeavel_web.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2014.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 6502: Rochas e Solos. Terminologia. Rio de Janeiro, 1995. 18p.
- BARRAUD, S.; GONZALEZ-MERCHAN, C.; NASCIMENTO, N.; MOURA, P.; SILVA, A. (2014) Evolution of clogging assessment applied to Pampulha Campus infiltration system (Brazil). *Water Science and Technology*, v. 69, p. 1241-1248.
- BHASKAR, A.S.; HOGAN, D.M.; ARCHFIELD, S.A. (2016) Urban base flow with low impact development. *Hydrological Processes*, v. 30, n. 18, p. 3156-3171. <http://doi.org/10.1002/hyp.10808>
- BRUNETTI, G.; SIMÚNEK, J.; PIRO, P. (2016) A comprehensive numerical analysis of the hydraulic behavior of a permeable pavement. *Journal of Hydrology*, v. 540, p. 1146-1161. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.07.030>
- CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (CALTRANS). (2014) *Pervious Pavement Design Guidance*. Sacramento: CALTRANS. Disponível em: <<http://www.dot.ca.gov/hq/oppd/stormwtr/>>. Acesso em: 12 mar. 2015.
- CARNEIRO, R.B.O. (2012). *Estudo de caso: determinação da equação do vertedor e eficiência de trincheira de infiltração*. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Católica do Salvador, Salvador.
- CARVALHO, M.; RAMOS, F.; ZEGARRA, J.; PEREIRA, C. (2016) Evaluation over time of the mechanical properties of soil-cement blocks used in semi-permeable pavements. *Revista de Ingeniería de Construcción*, v. 31 n. 1. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732016000100006>
- HUANG, J.; HE, J.; VALEO, C.; CHU, A. (2016) Temporal evolution modeling of hydraulic and water quality performance of permeable pavements. *Journal of Hydrology*, v. 533, p. 15-27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.11.042>
- HUNT, W.F.; COLLINS, K.A. (2008) *Permeable Pavement: Research Update and Design Implications*. Raleigh: North Carolina Cooperative Extension Service. 12 p. Disponível em: <https://nacto.org/docs/usdg/urban_waterways_permeable_pavement_hunt.pdf>. Acesso em: 10 maio 2014.
- JIA, Z.; TANG, S.; LUO, W.; LI, S.; ZHOU, M. (2016) Small scale green infrastructure design to meet different urban hydrological criteria. *Journal of Environmental Management*, v. 171, p. 92-100. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.016>
- KAMALI, M.; DELKASH, M.; TAJRISHY, M. (2017) Evaluation of permeable pavement responses to urban surface runoff. *Journal of Environmental Management*. v. 187, p. 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.027>
- KONRAD, C.P. (2014) *Effects of Urban Development on Floods*. Fact Sheet O76e03. U.S. Geological Survey. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/fs/fs07603/>>. Acesso em: 15 jun. 2016.
- KWAK, D.; KIM, H.; HAN, M. (2016) Runoff Control Potential for Design types of Low Impact Development in Small Developing Area Using XPSWMM. *Procedia Engineering*, v. 154, p. 1324-1332. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.483>
- LI, H.; HARVEY, J.; ZHESHENG, G. (2014) Experimental investigation on evaporation rate for enhancing evaporative cooling effect of permeable pavement materials. *Construction and Building Materials*, v. 65, p. 367-375. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.004>
- MACEDO, J. (2008) Urban land policy and new land tenure paradigms: Legitimacy vs. legality in Brazilian cities. *Land Use Policy*, v. 25, n. 2, p. 259-270. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2007.08.001>
- MARCHIONI, M.; SILVA, C.O. (2011) *Pavimento Intertravado Permeável: Melhores Práticas*. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).
- O'DRISCOLL, M.; CLINTON, S.; JEFFERSON, A.; MANDA, A.; MCMILLAN, S. (2010) Urbanization Effects on Watershed Hydrology and In-Stream Processes in the Southern United States. *Water*, v. 2, n. 3, p. 605-648. <https://doi.org/10.3390/w2030605>
- SMITH, D.R.; HEIN, D.K. (2013) Development of a National ASCE standard for permeable interlocking concrete pavement. *In: CONFERENCE OF GREEN STREETS, HIGHWAYS, AND DEVELOPMENT*, 2., 2013, Texas. ASCE, p. 89-105. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784413197.008>>. Acesso em: 06 fev. 2017. <https://doi.org/10.1061/9780784413197.008>
- U.S. DEPARTMENT of DEFENSE. (2004) *Design: Low Impact Development Manual, Unified Facilities Criteria (UFC)*. Washington, D.C.: U.S. Department of Defense. 96 p. Disponível em: <https://www.wbdg.org/FFC/DOD/UFC/ARCHIVES/ufc_3_210_10_2004.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2015.
- ZEGARRA-TARQUI, J.L.; SANTOS-DE-BRITO, J.; CARVALHO, M.F. (2015) Escurrimiento en pavimentos de bloques de suelo-cemento: um abordagem experimental. *Revista de Ingeniería, Investigación y Tecnología*, v. 16, n. 1, p. 35-47.