

IX-058 - DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR DE CHUVA DE LARGA ESCALA PARA ESTUDOS DE HIDROLOGIA URBANA

Alexandre Silveira⁽¹⁾

Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (2004). Professor Associado do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas, Campus Poços de Caldas.

Bruno Oliveira Lima⁽²⁾

Mestre em Ciência e Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas, Campus Poços de Caldas (2017). Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas (2015).

Jorge Manuel Guieiro Pereira Isidoro⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade do Algarve. Mestre e Doutor em Engenharia Civil, com Especialidade em Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente pela Universidade de Coimbra. Investigador Sênior do Centro de Ciências do Mar e do Ambiente (MARE).

Endereço⁽¹⁾: ICT - Instituto de Ciência e Tecnologia - Rodovia José Aurélio Vilela, 11999 (BR 267 Km 533) - Cidade Universitária - Poços de Caldas/MG - CEP: 37715-400 - Brasil - Tel: +55 (35) 3697-4600 - e-mail: alexandre.silveira@unifal-mg.edu.br.

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um simulador de chuva de larga escala para ser usado em pesquisas de processos de escoamento superficial em bacias urbanas, i.e., fortemente impermeabilizadas. O simulador de chuva utiliza um sistema de água pressurizada que termina em 16 bocais do tipo *full-cone*. Chuvadas artificiais com diferentes intensidades de precipitação podem ser produzidas sobre uma área impermeável de 100m². O aparato está fixado em uma estrutura de acrílico que protege a área impermeabilizada, eliminando a influência do vento e da chuva natural. O escoamento é medido e coletado no exutório da bacia, de onde é bombeado até um tanque que permite o reuso dessa água. Hidrogramas e polutogramas são apresentados como possíveis exemplos de resultados obtidos com este equipamento. O simulador desenvolvido mostrou-se capaz de reproduzir o escoamento superficial originado por precipitação e o transporte de poluentes simulando eventos de chuva com intensidade e uniformidade espacial similar a outros experimentos descritos na literatura.

PALAVRAS-CHAVE: Simulador de chuva, hidrologia urbana, escoamento superficial.

INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico nas cidades, entre outras consequências, leva a mudanças no uso do solo com um aumento da área impermeável, fenômeno particularmente notável em pequenas bacias. A impermeabilização do solo diminui a infiltração e capacidade natural do solo de deter água, aumentando, dessa forma, o escoamento superficial. Tal contribui para alterações no ciclo hidrológico, com consequências como enchentes urbanas (e.g., Avila et al. 2016) e mudanças na qualidade da água (e.g., Hoss et al. 2017). O rápido aumento da população urbana, de 10% em 1900 para mais da metade de toda a população mundial no começo deste século, é uma tendência que continua (Grimm et al. 2008) indicando que mudanças no ciclo hidrológico em áreas urbanas irão se aprofundar com o passar do tempo. Assim, há uma forte necessidade de aprofundar o conhecimento dos processos nos quais a urbanização modifica o ciclo natural da água, e em particular, como as estruturas urbanas influenciam o processo de escoamento superficial.

Simuladores de chuva são ferramentas de pesquisa indispensáveis para a visualização e análise da dinâmica da precipitação-escoamento e seus processos associados (e.g., Iserloh et al. 2013). Simular chuva é uma técnica vastamente utilizada no estudo de solos (e.g., Katuwal et al. 2013), agronomia (e.g., Mardamootoo et al. 2015) e hidrologia (e.g., Silveira et al. 2016).

Em ambientes urbanos, com o forte acréscimo da impermeabilização do terreno, do aumento no número de prédios e da alta intensidade de atividade humana, ocorre uma maior mudança no ciclo natural da água (e.g.,

Hengen et al. 2016), simuladores de chuva tornam-se uma importante ferramenta para lidar com a problemática da hidrologia urbana e seu planejamento. Nos últimos anos, simuladores de chuva têm sido utilizados na procura de obter mais conhecimento sobre como o ambiente edificado e o planejamento urbano interagem com o ciclo da água. Isidoro et al. (2012), Isidoro et al. (2013) e Isidoro e de Lima (2014) usaram um simulador de chuva em laboratório para estudar a influência da concentração de edifícios altos, da conectividade de coberturas e da altura das construções no processo de chuva-vazão em áreas impermeáveis.

OBJETIVO

O principal objetivo deste estudo é apresentar o desenvolvimento e a execução de testes de um simulador de chuva de larga escala para estudos de hidrologia urbana. Os autores buscaram na literatura e encontraram apenas um outro simulador maior que este, localizado em Tsukuba, no Japão, construído pelo *National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention* (NIED 2016). O simulador de chuva pode ser utilizado para estudos de gerenciamento de enchentes urbanas, como também no estudo da eficiência de melhores práticas para gerenciamento de projetos urbanos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O simulador de larga escala desenvolvido consiste de um circuito fechado de água pressurizada, que conta com reservatórios, bombas e bocais para produzir precipitação artificial, uma bacia de drenagem impermeável de 10,0m x 10,0m para coletar a chuva, e de um sistema de medição e coleta do escoamento e transporte de sedimentos. Uma estrutura de acrílico foi construída para abrigar o sistema de água pressurizada e a bacia impermeável, a fim de eliminar possíveis influências do vento e da chuva natural.

O sistema de produção de chuva artificial utiliza um reservatório de água de 5,0m³ do qual a água é bombeada por uma bomba de 2.0cv (MCSE-200; Eletroplas) para um sistema de 16 bocais *full-cone* (FullJet® HH-W ¼; Spraying Systems Co.) através de uma tubulação de PVC rígido com 1” e 2” de diâmetro. Um pequeno dreno, controlado manualmente por uma válvula, foi colocado na parte inferior da tubulação para melhorar a uniformidade temporal de cada evento simulado, através da mais rápida estabilização da pressão na rede de abastecimento aos bocais. O escoamento superficial é coletado em um tanque de 2,5m³ no exutório da bacia impermeável, de onde é bombeado, por meio de uma outra bomba de 1.0cv (ICS-110A; Eletroplas) para o tanque de 5,0m³, fechando o ciclo e permitindo o reuso da água. Uma válvula para controlar o fluxo, uma válvula solenóide e um manômetro (DG-10; WIKA) estão instalados no sistema. A válvula de controle do fluxo ajusta a pressão em que o sistema opera (e a intensidade da chuva). A válvula solenóide, controlada remotamente abre e fecha rapidamente o circuito. Um painel elétrico permite controlar as bombas e a válvula solenoide. A Figura 1 apresenta uma sequência de fotos da construção do simulador de chuva.

Uma área impermeável de 10,0m x 10,0m em formato de “V” foi construída para representar uma área urbana hipotética. As inclinações longitudinal e transversal da bacia são de 5,0% e 2,5%, respectivamente, levando o escoamento para uma calha metálica localizada no centro. A base é feita de concreto com sua superfície protegida por uma tinta epóxi, assegurando durabilidade e impermeabilidade.

Para construir o hidrograma do escoamento na saída do modelo, uma sonda de pressão (Levellogger Edge; Solinst) foi colocada em um piezômetro de 1” de diâmetro conectado ao tanque de 2,5m³. Esta sonda foi ligada a um computador para monitorar o nível da água continuamente. Com esta configuração experimental é possível reconstituir o hidrograma de inundação na saída da superfície de 100m².



Figura 1 – Fotografias da construção do simulador de chuva: a) local de construção; b) concreto da base impermeável; c) base impermeável; d) exutório da bacia experimental; e) base de metal leve para suportar a estrutura de acrílico; f) construção de acrílico; g) vista parcial da tubulação de PVC e dos bocais; h) vista frontal do simulador de chuva; i) vista interior do simulador de chuva; j) vista externa do simulador de chuva

RESULTADOS OBTIDOS

SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A simulação de um processo de escoamento superficial foi realizada para uma intensidade de 43,9mm/h e uma duração de 240s. O escoamento foi medido por 550s. O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen para um evento de chuva foi de 64,8%. A Figura 2 apresenta um hidrograma adimensional que resultou desta simulação. T^* é a razão entre o tempo (T) e a duração do evento de chuva (T_d). Q^* é a vazão dividida pela intensidade da chuva (I) e pela superfície da área impermeável (A). O pico foi atingido com Q^* de 0,98 e T^* de 0,39.

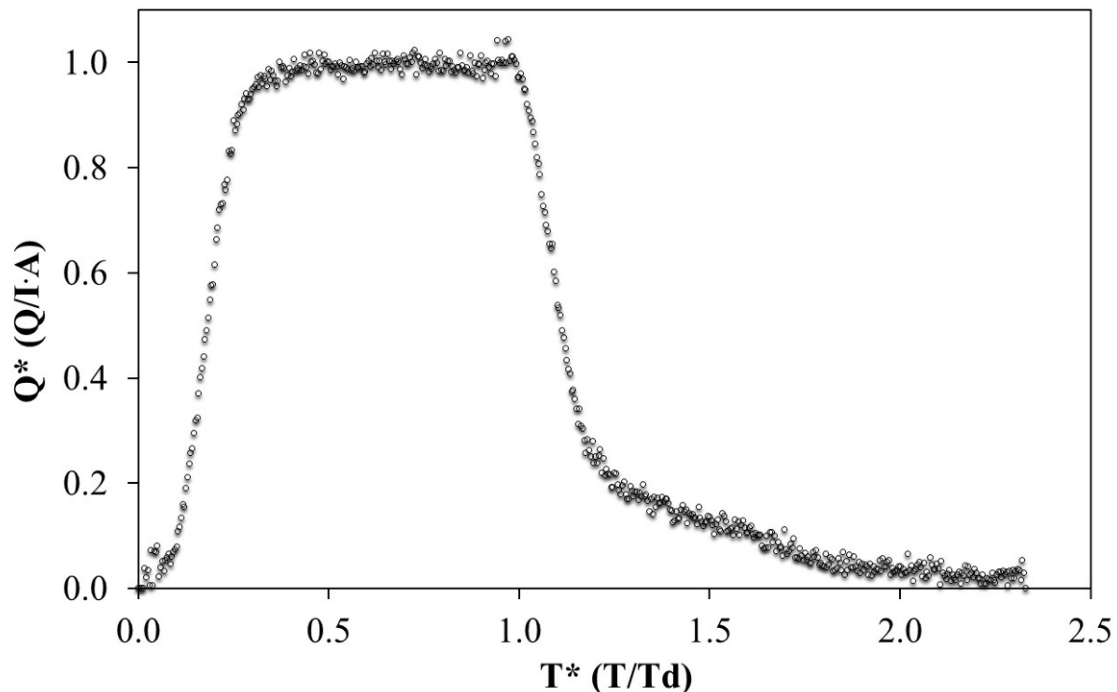


Figura 2 – Exemplo de um hidrograma adimensional obtido no exutório da bacia impermeável

SIMULAÇÃO DE TRANSPORTE DE POLUENTE

Para exemplificar a capacidade de simular processos de transportes de poluentes associados ao escoamento, foi aplicado cloreto de sódio (NaCl) na superfície da área de drenagem simulando um poluente difuso. O NaCl foi utilizado para propósitos similares (e.g., Deng et al. 2005) por conta da medição da sua concentração na água ser muito barata e rápida, através da medição da condutividade elétrica da água. Foram uniformemente espalhados 20,0g de NaCl em 10 círculos de 60mm em uma reta pela bacia impermeável. Após isso, um evento de chuva com intensidade de 43,9mm/h e duração de 240s foi realizado. A vazão e a condutividade foram medidos por 600s, no exutório da bacia experimental. O NaCl foi medido utilizando um condutímetro (CON-BTA; Vernier). A Figura 3 mostra um polutograma adimensional resultado da simulação. T^* é a razão entre o tempo (T) e a duração do evento de chuva (T_d). C^* é a condutividade (C) dividida pela condutividade máxima registrada (C_{max}). O pico foi registrado com C^* de 1,0 em T^* de 0,22.

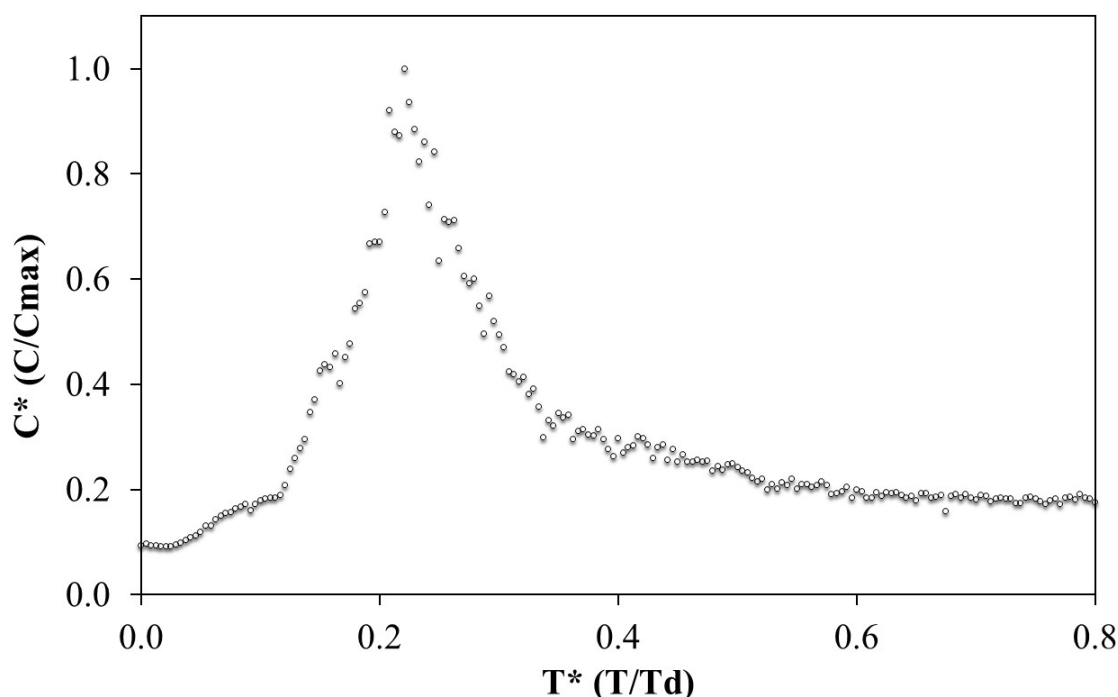


Figura 3 – Exemplo de um polutograma adimensional obtido no exutório da bacia impermeável

CONCLUSÕES

A maior e mais rápida resposta hidrológica de uma área urbanizada comparada com áreas naturais é um dos principais problemas da urbanização. Buscando aumentar o entendimento dos processos hidrológicos em áreas urbanas, um simulador de chuva de larga escala foi projetado, desenvolvido e testado. O simulador mostrou ser um equipamento eficiente para simular o escoamento superficial e o transporte de poluentes associado. As seguintes conclusões podem ser identificadas:

- O simulador permite a simulação de chuva sobre uma área de 100m², com uma intensidade de precipitação que pode variar entre 40 e 80mm/h;
- A coleta contínua de dados no exutório da bacia de drenagem é possível com alta resolução temporal;
- Hidrogramas e polutogramas completos podem ser constituídos com alta repetibilidade e reprodutibilidade;
- Processos de transportes associados ao fluxo superficial podem ser simulados, como a poluição, o transporte de partículas e sedimentos, entre outros;
- O simulador de larga escala pode ser uma ferramenta útil para a estudos de hidrologia e ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AVILA, H., AVILA, L., e SISA, A. (2016). “Dispersed Storage as Stormwater Runoff Control in Consolidated Urban Watersheds with Flash Flood Risk.” J. Water Resour. Plan. Manag., 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000702, 04016056.
2. DENG, Z. Q., DE LIMA, J. L. M. P., e SINGH, V. P. (2005). “Transport rate-based model for overland flow and solute transport: Parameter estimation and process simulation.” J. Hydrol., 315(1–4), 220–235.
3. GRIMM, N. B., FAETH, S. H., GOLUBIEWSKI, N. E., REDMAN, C. L., WU, J., BAI, X., e BRIGGS, J. M. (2008). “Global Change and the Ecology of Cities.” Sci., 319(5864), 756–760.

4. HENGGEN, T. J., SIEVERDING, H. L., e STONE, J. J. (2016). "Lifecycle Assessment Analysis of Engineered Stormwater Control Methods Common to Urban Watersheds." *J. Water Resour. Plan. Manag.*, 142(7), 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000647, 04016016.
5. HOSS, F., FISCHBACH J., e MOLINA-PEREZ, E. (2017). "Effectiveness of Best Management Practices for Stormwater Treatment as a Function of Runoff Volume." *J. Water Resour. Plan. Manag.*, 142(11), 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000684, 05016009.
6. ISERLOH, T., RIES, J., ARNÁEZ, J., BOIX-FAYOS, C., BUTZEN, V., CERDÀ, A., ECHEVERRÍA, M., FERNÁNDEZ-GÁLVEZ, J., FISTER, W., GEIBLER, C., GÓMEZ, J., GÓMEZ-MACPHERSON, H., KUHN, N., "European small portable rainfall simulators: A comparison of rainfall characteristics." *CATENA*, 110, 100–112.
7. ISIDORO, J. M. G. P., e DE LIMA, J. L. M. P. (2014). "Laboratory simulation of the influence of building height and storm movement on the rainfall run-off process in impervious areas." *J. Flood Risk Manag.*, 7(2), 176–181.
8. ISIDORO, J. M. G. P., DE LIMA, J. L. M. P., e LEANDRO, J. (2012). "Influence of wind-driven rain on the rainfall-runoff process for urban areas: Scale model of high-rise buildings." *Urban Water J.*, 9(3), 199–210.
9. ISIDORO, J. M. G. P., DE LIMA, J. L. M. P., e LEANDRO, J. (2013). "The study of rooftop connectivity on the rainfall-runoff process by means of a rainfall simulator and a physical model." *Z. Geomorphol.*, 57(1), 177–191.
10. KATUWAL, S., VERMANG, J., CORNELIS, W. M., GABRIELS, D., MOLDRUP, P., e DE JONGE, L. W. (2013). "Effect of Root Density on Erosion and Erodibility of a Loamy Soil Under Simulated Rain." *Soil Sci.*, 178(1), 29–36.
11. MARDAMOOTOO, T., DU PREEZ, C. C., e SHARPLEY, A. N. (2015). "Phosphorus mobilization from sugarcane soils in the tropical environment of Mauritius under simulated rainfall." *Nutr. Cycl. Agroecosys.*, 103(1), 29–43.
12. NIED (2016). "Large-Scale Rainfall Simulator – The globe's No. 1 scale and capability" (<http://www.bosai.go.jp/sougou/sogobousai-e/shisetsu/rain-e.pdf>) (May 11, 2017).
13. SILVEIRA, A., ABRANTES, J. R. C. B., DE LIMA, J. L. M. P., e LIRA, L. C. (2016). "Modelling runoff on ceramic tile roofs using the kinematic wave equations." *Water Sci. Tech.*, 73(11), 2824–2831.