

IX-038 - INFLUÊNCIA DE BACIA DE DETENÇÃO E DENSIDADE DE OCUPAÇÃO NO AMORTECIMENTO DE HIDROGRAMAS E POLUTOGRAMAS EM MODELO REDUZIDO

Alexandre Silveira⁽¹⁾

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Paulista (1996), Mestrado (1998) e Doutorado (2014) em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. Atualmente é Professor Associado III da Universidade Federal de Alfenas no Campus Avançado de Poços de Caldas e Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental da UNIFAL-MG.

Eliane Zaparoli Quiles

Possui graduação em Engenharia Ambiental (2016) e Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia (2013) pela Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG). Atualmente está concluindo o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental da UNIFAL-MG, linha de pesquisa: Recursos Hídricos e Meio Ambiente.

Jorge Manuel Guieiro Pereira Isidoro

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

Devido à urbanização mundial, a gestão dos recursos hídricos nas áreas urbanas é uma questão que vem ganhando importância nas últimas décadas. O desenvolvimento da hidrologia tem sido influenciado por aspectos relacionados do uso da água pelo homem, como atendimento da demanda de água e contenção de desastres. Diversos são os impactos ambientais, sociais e econômicos causados pelo planejamento, gestão e manutenção inadequadas e ineficientes das obras de drenagem de águas pluviais. Além de interferir no aspecto quantitativo dos recursos hídricos, a urbanização também interfere no seu aspecto qualitativo, pois, aumenta a variedade e a quantidade de poluentes e nutrientes que atingem os corpos hídricos que drenam as áreas urbanas. O objetivo deste trabalho é estudar a influência da implantação de uma bacia de retenção e da densidade de ocupação no amortecimento de hidrogramas e no transporte de material dissolvido em modelo reduzido. Os testes consistem na aplicação de chuva simulada em uma superfície impermeável de 100m², alterando as variáveis independentes do estudo, que são: a massa de material solúvel aplicada à superfície, representada pelo cloreto de sódio; a posição do material em relação ao ponto exutório; a densidade de ocupação, representada por blocos de poliestireno expandido; e duração da chuva simulada. Um delineamento experimental composto central rotacional foi utilizado para otimizar os experimentos. Foram obtidos hidrogramas, polutogramas e coeficientes que mostraram que a bacia de retenção foi capaz de reduzir a vazão de pico, o transporte de material e retardar o tempo de pico da descarga mássica de material. Algumas variáveis dependentes foram estudadas e relacionadas estatisticamente com as variáveis independentes, sendo elas: a vazão de pico, a descarga mássica de pico, o tempo de pico do polutograma, o tempo final do polutograma e a massa transportada. Pode-se concluir quanto maior a densidade de ocupação e a distância do material dissolvido em relação ao ponto exutório, mais tempo os valores de pico demoraram para serem alcançados e que a bacia de retenção foi capaz de amortecer o pico de vazão em aproximadamente 44%. Além disso, a bacia de retenção reduziu a descarga mássica de pico em uma média de 63%.

PALAVRAS-CHAVE: Recursos Hídricos Urbanos, Bacia de Detenção, Hidrograma, Polutograma, Simulador de Chuva.

INTRODUÇÃO

A Hidrologia, dentro do gerenciamento dos recursos hídricos, é a área do conhecimento que analisa o comportamento físico da ocorrência da água e o seu aproveitamento à escala da bacia hidrográfica. Tal permite, através da quantificação dos recursos hídricos no tempo e no espaço, avaliar o impacto de modificações da bacia sobre os processos hidrológicos, tanto no aspecto quantitativo quanto no qualitativo.

O desenvolvimento da hidrologia tem sido influenciado por aspectos próprios do uso da água, como atendimento da demanda de água e contenção de desastres (TUCCI, 2001). Padrões de vida mais elevados, mudanças demográficas e políticas de uso da terra e água estão aumentando a pressão sobre a demanda da água necessária para irrigação, produção de energia, usos domésticos, usos industriais e meio ambiente. Dessa forma, à medida que as futuras demandas de água se tornam mais incertas, as sociedades se tornam mais vulneráveis a uma ampla gama de riscos associados ao abastecimento inadequado de água em quantidade e/ou qualidade (MMA, 2006).

Para se avaliar a relação entre a precipitação dentro de uma bacia hidrográfica e o correspondente escoamento superficial é corrente o uso de hidrogramas, gráficos que demonstram a variação da vazão numa secção exutória da bacia em resposta à precipitação que é distribuída no tempo e na área de drenagem da bacia (MMA, 2006). De forma análoga aos hidrogramas, podem construir-se gráficos das concentrações de poluentes transportados pela água pluvial em relação ao tempo, pois, assim como as vazões, as quantidades e concentrações de poluentes no escoamento superficial variam ao longo do evento hidrológico. Tais gráficos são chamados de polutogramas (SILVA, 2009).

Geralmente, os problemas de qualidade da água pluvial não são contemplados pelo sistema clássico de drenagem urbana, já que este sistema apenas retira a água pluvial das áreas urbanas, transferindo os problemas de inundação e poluição hídrica de montante para a jusante. Diversos são os impactos ambientais, sociais e econômicos causados pelo planejamento, gestão e manutenção inadequadas e ineficientes das obras de drenagem de águas pluviais. Além de interferir no aspecto quantitativo dos recursos hídricos, a urbanização também interfere no seu aspecto qualitativo, pois, aumenta a variedade e a quantidade de poluentes e nutrientes que atingem os corpos hídricos que drenam as áreas urbanas.

Desde os anos 1970 uma abordagem alternativa vem sendo desenvolvida para minimizar os problemas gerados pelas águas pluviais, as técnicas compensatórias em drenagem urbana. Tais técnicas visam diminuir os impactos da urbanização sobre as etapas do ciclo hidrológico, estimulando a preservação ambiental e melhorias na qualidade de vida da população. Entre as soluções adotadas pelas técnicas alternativas, podem-se citar as bacias (ou reservatórios) de retenção, também conhecidas como bacias de amortecimento de cheias. Tais estruturas permitem a acumulação temporária de águas pluviais, amortecendo as cheias geradas no ambiente urbano; reduzindo o volume do escoamento superficial, no caso das bacias de infiltração; e diminuindo a poluição difusa de origem pluvial e urbana (BAPTISTA et al., 2004).

Para avaliar como o escoamento superficial se comporta dentro de áreas urbanizadas se faz necessário um monitoramento hidrológico para identificação dos impactos quantitativos e qualitativos causados pela ação antrópica. O monitoramento hidrológico em bacias urbanas apresenta algumas dificuldades, como, por exemplo, a não uniformidade da chuva em relação à superfície de estudo; a variação espacial e temporal da precipitação; problemas relacionados à coleta de dados em campo durante os eventos de chuva; procedimentos trabalhosos de concepção e operação de redes de monitoramento; e diferenças na umidade prévia do solo (NASCIMENTO & HELLER, 2005).

Como há uma grande dificuldade na coleta de dados hidrológicos em campo, muitos estudos estão utilizando modelos físicos reduzidos, que são representações simplificadas da realidade em escala reduzida (LIMA, 2017). Trabalhos anteriores (SILVEIRA et al., 2016; FELICE, 2017; LIMA, 2017) mostram que o modelo físico é uma ferramenta eficiente nos estudos de escoamento superficial em áreas urbanas e que eles possibilitam a obtenção de dados quantitativos precisos. Um modelo físico muito utilizado para estudos de escoamento superficial é o simulador de chuva. Este equipamento é uma alternativa que facilita os estudos do comportamento da precipitação e do escoamento superficial na hidrologia urbana, já que os simuladores de chuva permitem um controle das características da chuva, como sua duração, intensidade e distribuição temporal e espacial.

Este estudo tem como objetivo geral estudar a influência de uma bacia de detenção e da densidade de ocupação na redução da vazão de pico e no transporte de material dissolvido em uma superfície impermeável, utilizando chuva simulada. Os objetivos específicos são: averiguar a influência da bacia de detenção na redução da vazão de pico; investigar a diminuição do transporte de material dissolvido devido à implantação da bacia de detenção; observar se a densidade de ocupação interfere no transporte de material dissolvido e no amortecimento de hidrogramas; determinar se o uso do delineamento composto central rotacional se adequa ao tipo de experimento realizado, no sentido de facilitar a realização dos ensaios e a análise dos resultados.

METODOLOGIA

O aparato experimental é composto por um simulador de chuva de grande escala sobre uma superfície impermeável, como pode ser observado na Figura 1. O simulador de chuva é formado por uma malha quadrada com dezesseis bicos aspersores (Spraying System®, FullJet HH-W 1/4), distanciados de 2.5 m em ambas as direções. A superfície impermeável possui uma área total de 100 m², com 10.0 m de comprimento por 10.0 m de largura, e é formada por uma base de concreto revestida com revestimento epoxídico.

A área é composta por duas vertentes separadas por uma calha metálica, possuindo cada vertente uma inclinação de 2.5% no sentido transversal e 5.0% no sentido longitudinal. O aparato experimental é protegido lateralmente e coberto por uma estrutura de metal e policarbonato, o que evita as interferências externas, como vento e chuva natural.

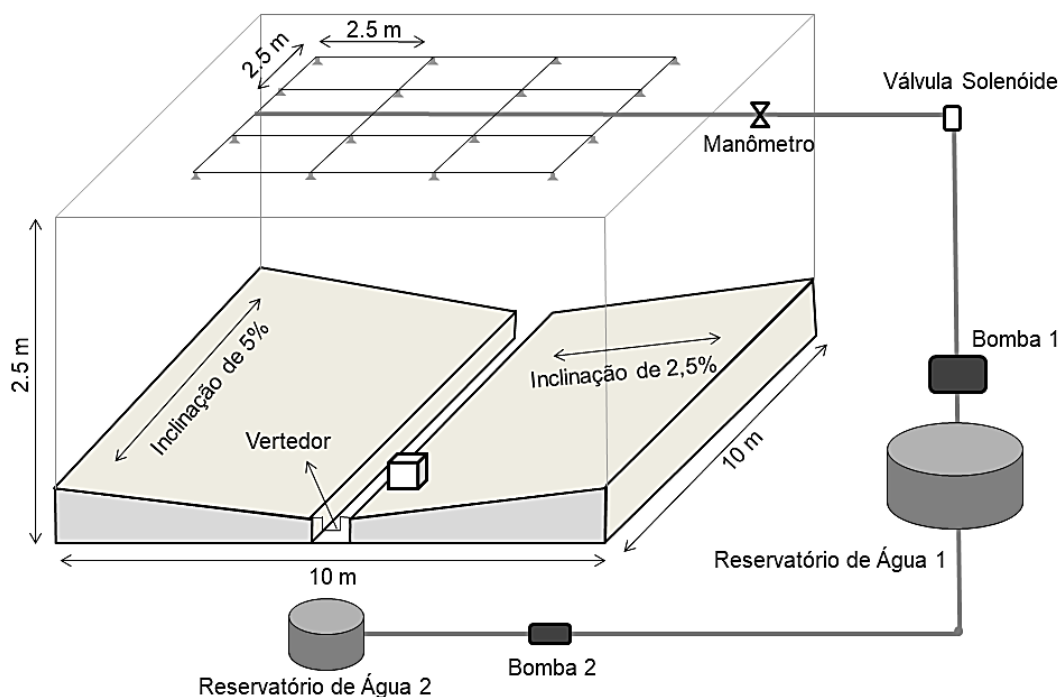


Figura 1. Vista em perspectiva do aparato experimental.

O sistema hidráulico é alimentado pela água proveniente de um reservatório por uma bomba (Bomba 1) da marca Schneider, modelo BC-21R 2, com potência de 5 CV. A água passa da tubulação de diâmetro 1" para uma tubulação com diâmetro de ¾", onde estão instalados os bicos aspersores com sistemas corta-gotas. A água precipitada escoa pela superfície impermeável e é dirigida para a calha metálica presente no centro da superfície. Anterior aos bicos aspersores estão instalados: um registro, para o controle da intensidade de precipitação; um manômetro, para medição da pressão na tubulação; e uma válvula solenóide, para um mais fácil controle do fluxo de água dentro do simulador.

Na zona mais a jusante da calha está instalado um vertedor retangular que cria uma área alagada, facilitando as medições de nível de água e condutividade elétrica. A partir do nível de água acumulado no vertedor pode-se

calcular a vazão escoada no ponto exutório. O valor da condutividade elétrica auxilia no cálculo da descarga mássica que atinge o vertedor.

A bacia de detenção é simulada por um reservatório retangular de polimetil-metacrilato. A água é bombeada, a uma vazão de aproximadamente 0.46 l/s, da calha para a bacia de detenção e é liberada, gradativamente, por um pequeno orifício de saída com diâmetro de 0.01 m. Um esquema de funcionamento e uma foto da bacia de detenção estão presentes na Figura 2. As dimensões da bacia de detenção são definidas com base no volume necessário para reduzir a vazão de pico para a vazão de restrição. De acordo com o método proposto por Wycoff e Singh (1976) e Porto (2003), a bacia de detenção para o estudo em questão deve possuir um volume de, no mínimo, 105 litros. Para evitar problemas resultantes de variações nos volumes de água, a bacia de detenção projetada tem forma cúbica com 0.50 m de aresta, totalizando um volume de 125 litros.

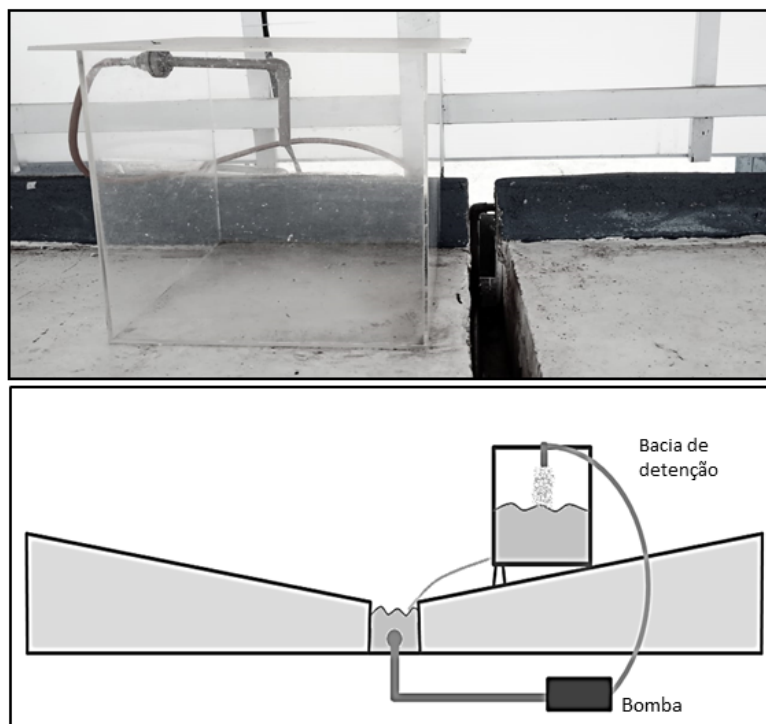


Figura 2. Sistema de sucção da água da calha para a bacia de detenção.

O material utilizado nos ensaios, como indicador de poluente solúvel, é o cloreto de sódio (NaCl), seco em estufa a 100°C por no mínimo 24 horas antes da realização do experimento. A secagem é necessária para a retirada da umidade do material. Para simulação da densidade de ocupação são utilizados blocos de poliestireno expandido, de dimensões 0.40 m × 0.40 m × 0.60 m.

Visando uma posterior análise estatística mais completa e uma redução no número de ensaios, optou-se pela utilização do método estatístico Delineamento Central Composto Rotacional (DCCR) para o planejamento dos experimentos a serem realizados. Neste estudo, adotaram-se quatro variáveis independentes, sendo elas: a massa de material dissolvido aplicada na superfície, a posição desse material em relação ao ponto exutório, a densidade de ocupação e a duração da chuva simulada. De acordo com o método do DCCR, foi possível elaborar um roteiro de ensaios, com variação das variáveis independentes do estudo. Os ensaios consistem na aplicação da chuva simulada sobre a superfície impermeável, alterando-se as variáveis independentes do estudo, de acordo com o roteiro proposto no delineamento experimental. Este roteiro foi executado para dois cenários: o cenário com o funcionamento da bacia de detenção e o cenário com a ausência desta bacia. Assim é possível mensurar o efeito da bacia nos experimentos, permitindo a posterior análise da sua influência no amortecimento dos hidrogramas e polutogramas.

Para os ensaios realizados com a bacia de retenção, parte da água escoada para a calha é coletada por uma tubulação de 3/4" que suga essa água, através de uma bomba de 2 CV e a leva até a bacia de retenção através de uma mangueira flexível. A sucção da bomba está instalada em uma posição anterior à saída da bacia de retenção e possui uma vazão de aproximadamente 0.46 l/s. O tempo que a bomba de sucção permanece ligada durante o ensaio varia de acordo com a duração da precipitação, pois quanto maior o tempo de precipitação, maior é o volume de água escoado e, portanto, maior é o volume de água que deve ser enviado para a bacia de retenção.

O material dissolvido é aplicado, com o auxílio de uma peneira, nas posições estabelecidas (1m, 3m, 5m, 7m, 9m, em relação ao ponto exutório) em faixas de 20 centímetros ao redor das posições. Os blocos que simulam a densidade de ocupação são distribuídos de forma regular pela superfície. Após o posicionamento dos blocos e do material dissolvido, de acordo com os valores estabelecidos no delineamento experimental, um condutivímetro (marca Vernier, modelo CON-BTA) e um sensor de nível (sonda levellogger da marca Solinst, modelo 3001) são posicionados próximos ao ponto exutório. O vertedor instalado no final da calha permite que um certo volume de água fique acumulado, facilitando as medições de nível e condutividade elétrica. Essas medições são necessárias para a elaboração de hidrogramas e polutogramas.

Após isto, o simulador é ligado e a condutividade elétrica e a variação no nível de água são medidas com intervalo de 2.0 s. Os dados são coletados durante o tempo de precipitação e ao tempo referente ao restante escoamento superficial e esvaziamento da bacia de retenção, pelo que os tempos referentes à duração total de medição variam de acordo com a duração de precipitação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O roteiro de ensaios foi realizado para os cenários com e sem bacia de retenção. As Figuras 1 e 2 mostram os hidrogramas obtidos para quatro dos ensaios, com variação apenas da posição do material solúvel. As configurações dos ensaios foram:

- Ensaio A: Posição 3.0 m, 40 blocos, 30.0 g de NaCl e 2.0 min de chuva.
- Ensaio B: Posição 7.0 m, 40 blocos, 30.0 g de NaCl e 2.0 min de chuva.
- Ensaio C: Posição 3.0 m, 120 blocos, 30.0 g de NaCl e 2.0 min de chuva.
- Ensaio D: Posição 7.0 m, 120 blocos, 30.0 g de NaCl e 2.0 min de chuva.

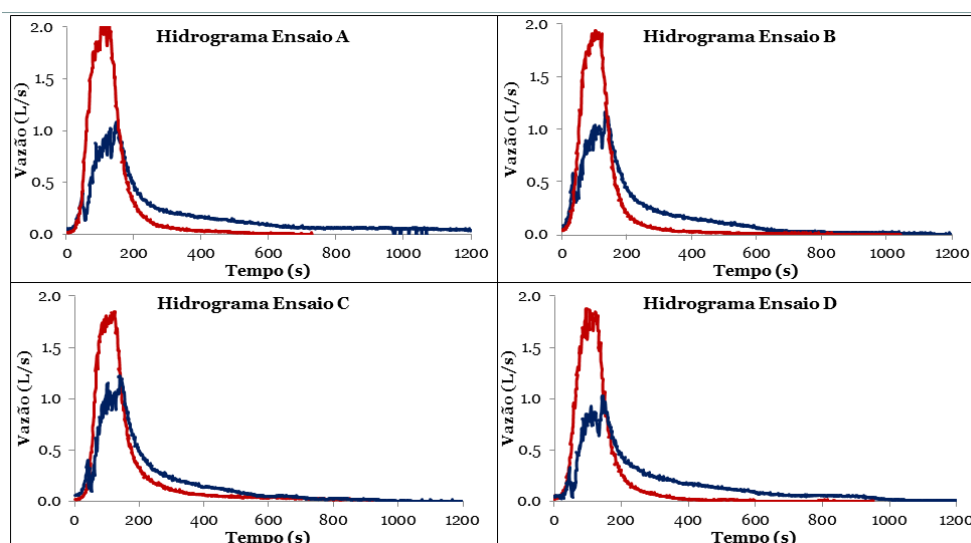


Figura 1. Hidrogramas dos ensaios A, B, C e D. As linhas vermelhas representam os cenários sem bacia de retenção e as linhas azuis representam os cenários com bacia de retenção

Através do cálculo das áreas abaixo dos hidrogramas, nota-se que o volume de água escoado é o mesmo, já que o tempo de precipitação nos quatro ensaios é o mesmo, 2 minutos. O que muda é a forma como a vazão é distribuída no tempo, pois no cenário com bacia, ocorre o amortecimento do hidrograma, diminuindo também o

pico da vazão. Os resultados mostram uma vazão de pico máxima de aproximadamente 2 l/s e de 1 l/s, respectivamente para os ensaios sem e com bacia de detenção.

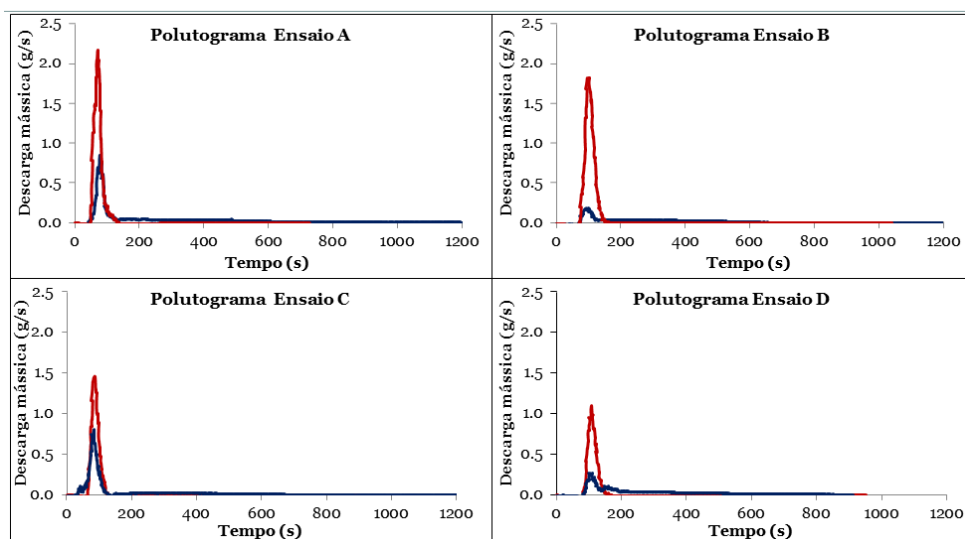


Figura 2. Polutogramas dos ensaios A, B, C e D. As linhas vermelhas representam os cenários sem bacia de detenção e as linhas azuis representam os cenários com bacia de detenção.

Na análise dos polutogramas, nota-se que o formato dos gráficos se alteram quando a posição do material dissolvido e a densidade de ocupação são distintas. Para os ensaios onde foram utilizados 120 blocos o valor de pico da descarga mássica é menor se comparados aos ensaios utilizando 80 blocos. A posição do material dissolvido também interfere no tempo de início do pico de transporte de material dissolvido.

As Figuras 3 e 4 mostram os hidrogramas e polutogramas obtidos para duas configurações com tempos de chuvas distintos (1 e 5 minutos). As configurações dos ensaios foram:

- Ensaio E: Posição 5.0 m, 80 blocos, 50.0 g de NaCl e 1.0 min de chuva.
- Ensaio F: Posição 5.0 m, 80 blocos, 50.0 g de NaCl e 5.0 min de chuva.

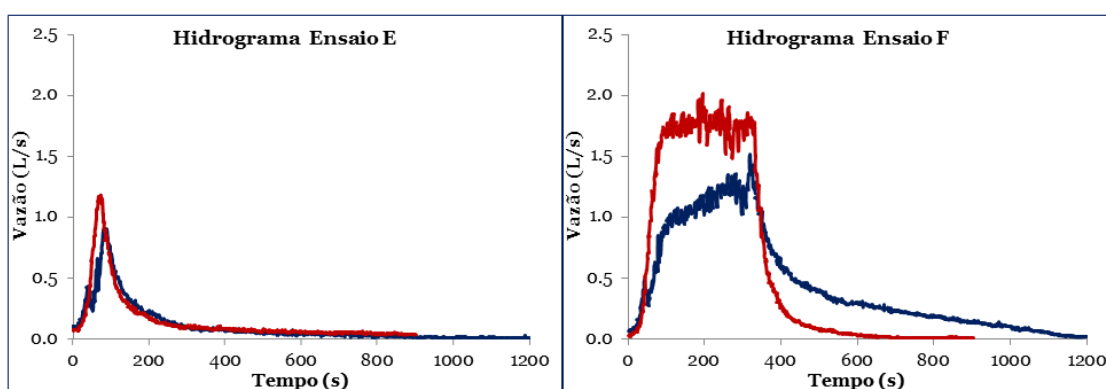


Figura 3. Hidrogramas dos ensaios E e F. As linhas vermelhas representam os cenários sem bacia de detenção e as linhas azuis representam os cenários com bacia de detenção.

Percebe-se que o valor de pico do hidrograma do 27º ensaio é menor, já que o tempo que a vazão leva para alcançar seu valor máximo é maior que o tempo de precipitação (1.0 minuto), isto é, não atinge o tempo de concentração da bacia de coleta. No caso do ensaio de 5 minutos, nota-se que o hidrograma forma um patamar próximo ao valor de vazão máxima.

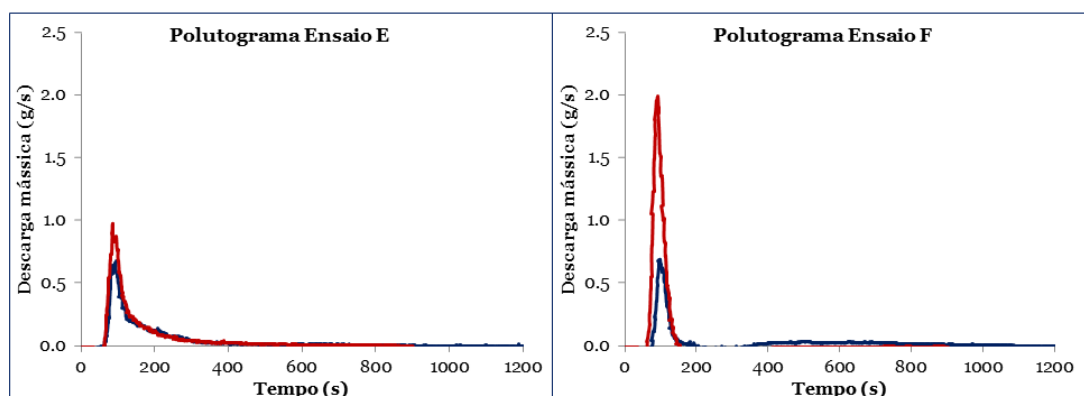


Figura 4. Polutogramas dos ensaios E e F. As linhas vermelhas representam os cenários sem bacia de detenção e as linhas azuis representam os cenários com bacia de detenção.

Os polutogramas mostram que apesar da posição e da massa do material dissolvido serem a mesma, o gráfico pode tomar formas distintas, de acordo com o tempo da precipitação. Em ambos os ensaios é visível a influência da bacia de detenção no amortecimento da vazão e da descarga mássica de poluente, sendo estas mais visíveis no 28º ensaio.

Através dos valores obtidos nos ensaios para a vazão de pico, tempo de pico e final dos polutogramas, descarga mássica de pico e massa transportada foi possível a obtenção de coeficientes que relacionam os cenários com bacia e sem bacia de detenção, demonstrando o efeito de amortecimento ou retardamento da bacia de detenção. Dividindo-se os valores encontrados nos ensaios sem bacia de detenção com os valores dos ensaios com bacia de detenção e fazendo as médias desses valores, foram obtidos os coeficientes mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Coeficientes relacionando os cenários com e sem bacia de detenção e as respectivas conclusões do efeito da bacia

COEFICIENTE	VALOR	CONCLUSÃO
Vazão de Pico	0.66	Amortecimento
Descarga Mássica de Pico	0.37	Amortecimento
Tempo de Pico do Polutograma	1.19	Retardamento
Tempo Final do Polutograma	6.87	Retardamento
Massa Transportada	0.89	Amortecimento

Através das médias dos coeficientes obtidos nota-se que em média, a redução da vazão de pico foi de 44%, a redução da descarga mássica de pico foi de 63%, o retardamento do tempo de pico do polutograma foi de 19% e a diminuição da massa transportada foi de 11%. Nota-se também que houve um aumento do tempo final do polutograma de 6 vezes, o que indica que a presença da bacia de detenção atrasou o tempo de transporte do material solúvel.

CONCLUSÕES

Notou-se que em todos ensaios realizados, os hidrogramas e os polutogramas foram amortecidos, isto é, os picos de vazão e descarga mássica sofreram uma diminuição significativa. Observou-se também que o tempo de pico e o tempo final do polutograma sofreram um retardamento devido à implantação da bacia de detenção. Além disso, quanto maior a densidade de ocupação e a distância do material dissolvido em relação ao ponto exutório, mais tempo os valores de pico demoram para serem alcançados. Neste trabalho, foram analisados aspectos do transporte de poluente em áreas impermeáveis e a influência da implantação de bacia de detenção e da densidade de ocupação em uma área urbana com o objetivo de ganhar conhecimento sobre o processo chuva-vazão, associado a problemas ambientais contemporâneos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAPTISTA, M.B.; NASCIMENTO, N.O.; BARRAUD, S. Técnicas compensatórias em Drenagem Urbana. Belo Horizonte, 2004.
2. FELICE, J. G. Transporte de material em suspensão e dissolvido em modelo físico com superfície impermeável utilizando chuva simulada. Dissertação - Universidade Federal de Alfenas, 2017. Poços de Caldas-MG.
3. LIMA, B.O. Influência da densidade da ocupação urbana no transporte de poluentes dissolvidos pelo escoamento superficial produzido por um simulador de chuva sobre uma superfície impermeável. Dissertação - Universidade Federal de Alfenas, 2017. Poços de Caldas-MG
4. MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. Brasília, 2006, 302 p.
5. NASCIMENTO, N. D. O. N. & HELLER, L. Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento. Eng. Sanit. Ambient., 2005, 10(1), 36–48.
6. PORTO, R.M. Metodologia de Cálculo para o Planejamento de Bacias de Detenção. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 8, n.3, Jul/Set 2003, 135-149
7. SILVEIRA, A. et al.. Modelling runoff on ceramic tile roofs using the kinematic wave equations. Water Science and Technology, 2016. Doi: 10.2166/wst.2016.148
8. SILVA, A.H.C.L. Controle da poluição difusa de origem pluvial em uma via de tráfego intenso por meio de trincheira de infiltração e vala de detenção. 2009. 169 p. Dissertação - Universidade Federal De Minas Gerais. Belo Horizonte.
9. TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. UFRGS: ABRH, 2001.
10. UNITED NATIONS (2015). World Urbanization Prospects 2014. World Urbanization Prospects (Vol. 2014 revisão).
11. WYCOFF, R.L. & SINGH, U.P. Preliminary hydrologic design of small flood detention reservoirs. Water Resources Bulletin. Volume 12, n.2, Abril, 1976.