

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## AVALIAÇÃO DO USO DE TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO PARA ATENUAÇÃO DE PICOS DE CHEIA NA CIDADE DO CRATO-CE, BRASIL

Francisco Fábio de Sousa Feitosa <sup>1</sup>

\* Paulo Roberto Lacerda Tavares <sup>2</sup>

Marco Aurélio Holanda de Castro <sup>3</sup>

Celme Torres Ferreira da Costa <sup>2</sup>

### EVALUATION OF THE USE OF INFILTRATION TRENCHES FOR REDUCTION OF RUNOFF IN CRATO-CE CITY, BRAZIL

Recibido el 1 de noviembre de 2018; Aceptado el 18 de diciembre de 2019

#### Abstract

*The urbanization process of the last decades worldwide has caused several impacts on the environment, especially in the hydrological cycle, bringing with it an increase in the amount and magnitude of urban floods. The main objective of the present study was to evaluate the impact that the urbanization process of an urban area of the city of Crato-CE has on the surface drainage and to present a proposal for flood reduction through the simulation of infiltration trenches implanted in the public sidewalk receiving waters exclusively from the roofs of buildings. For the simulations, the computer model Storm Water Management Model - SWMM and the computer program UFC8 were used. The results showed that the modeled neighborhood after the total occupation of the buildings and paving of the streets should present problems in the surface runoff of rainwater and that the use of infiltration trenches can considerably reduce the flow peaks. The use of infiltration trenches may have benefits that go far beyond reducing flood problems in the region under study, and may reduce them in other downstream areas and favor the increase of local underground water resources reserves.*

**Keywords:** sustainable urban drainage, surface runoff, SWMM.

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Seguridade Social, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Cariri, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade Federal do Ceará, Brasil.

\* *Autor correspondente:* Centro de Ciências e Tecnologia, Laboratório de Recursos Hídricos, Bloco D, Sala 64, Universidade Federal do Cariri, Av. Tenente Raimundo Rocha S/N, Bairro Cidade Universitária, Juazeiro do Norte, Ceará. CEP 63048-080. E-mail: [paulo.tavares@ufca.edu.br](mailto:paulo.tavares@ufca.edu.br)

## Resumo

O processo de urbanização das últimas décadas em todo mundo têm causados diversos impactos no meio ambiente, principalmente no ciclo hidrológico, trazendo consigo um aumento na quantidade e magnitude de cheias urbanas. O presente estudo teve como objetivo principal avaliar o impacto que o processo de urbanização de uma área urbana do município de Crato-CE, causa na drenagem superficial e apresentar proposta de redução de cheias através da simulação de trincheiras de infiltração implantadas no passeio público recebendo as águas, exclusivamente, dos telhados das edificações. Utilizou-se para as simulações, o modelo computacional Storm Water Management Model – SWMM e o programa computacional UFC8. Os resultados obtidos demonstraram que o bairro modelado após a ocupação total das edificações e pavimentação das ruas deverá apresentar problemas no escoamento superficial de águas da chuva e que o uso de trincheiras de infiltração poderá reduzir consideravelmente os picos de vazão. O uso das trincheiras de infiltração poderá trazer benefícios que vão muito além de reduzir os problemas das cheias na região em estudo, podendo também diminuí-las em outras áreas a jusante e favorecer o incremento das reservas de recursos hídricos subterrâneos local.

**Palavras chave:** drenagem urbana sustentável, escoamento superficial, SWMM.

---

## Introdução

O processo de urbanização das últimas décadas em todo mundo, quer seja em países desenvolvidos ou subdesenvolvidos, vem impactando de forma substancial o meio ambiente, principalmente o ciclo hidrológico, tendo como consequência principal o aumento da quantidade e magnitude de inundações que trazem diversos transtornos para a sociedade, incluindo prejuízos para saúde pública, danos materiais e humanos (Junior e Barbassa, 2006).

Estas inundações são causadas pelo aumento de áreas impermeáveis como telhados, ruas e calçadas, dificultado a infiltração de água no solo com aumento do escoamento superficial e que podem ser agravadas por problemas no planejamento dos sistemas de drenagem e por ocupações dos leitos dos corpos d'água urbanos (Araujo *et al.*, 2000).

O tratamento clássico dado a cheias urbanas é através do rápido escoamento das águas precipitadas para jusante através da execução de galerias pluviais, transferindo assim as vazões e muitas vezes agravando o problema das inundações em outro local, resultando em novas obras de drenagem, com aumento da seção de canais naturais ou substituição de condutos antigos por outros de maior diâmetro.

Segundo Baptista *et al.* (2002), a partir dos anos 1970, novas abordagens vêm sendo tomadas, principalmente na Europa e América do Norte, buscando neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, trazendo benefícios para a qualidade de vida e preservação ambiental. O principal foco destas tecnologias é o aumento da infiltração das águas e o retardo do escoamento, na tentativa de fazer com que o ciclo hidrológico da área se aproxime o máximo possível de suas condições antes da urbanização.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de trincheiras de infiltração na redução do escoamento superficial numa área urbana do município do Crato, Estado do Ceará, Brasil, aplicando a simulação computacional. As trincheiras de infiltração são consideradas técnicas compensatórias na drenagem urbana e incluídas nos sistemas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (*Low Impact Development - LID*) (Souza *et al.*, 2012).

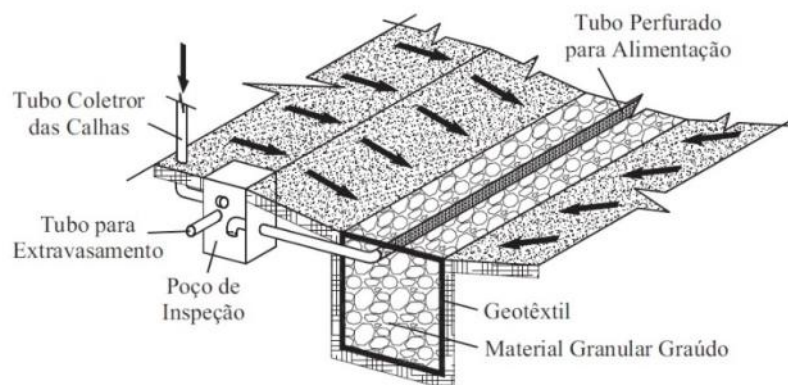
## Metodologia

### Trincheiras de infiltração

Neste estudo, foram avaliados os efeitos do uso de trincheiras de infiltração como técnica compensatória de um sistema de drenagem urbana. Estes dispositivos têm como princípio de funcionamento o armazenamento temporário das águas para serem posteriormente liberadas através da infiltração. Constitui-se, basicamente, em uma vala escavada em solo preenchida com material granular, com porosidade variando de 30% a 50%, geralmente pedra de mão, seixos ou brita, que deve ser envolto em uma membrana geotêxtil para evitar a migração de partículas mais finas para o interior do sistema ou a sua precoce colmatação, além de trabalhar também como filtro anticontaminante.

O uso das mantas geotêxteis são aconselhadas pois estas contribuem para a melhoria de qualidade das águas, uma vez que boa parte dos poluentes difusos de origem pluvial, ficam usualmente retidos na manta, porém como forma de evitar o risco de poluição do lençol recomenda-se que se mantenha uma distância vertical mínima de um metro de profundidade em zona não saturada em relação ao lençol freático (Baptista *et al.*, 2005).

As trincheiras possuem funcionamento bastante simples (Figura 1), em que as águas entram no sistema através de sua superfície, ou através de um sistema de drenagem local.



**Figura 1.** Esquemática de uma trincheira de infiltração. Fonte: Peixoto, 2011.

A drenagem é feita através do processo de infiltração no solo pelas paredes laterais e pelo fundo. Em locais onde o solo possui baixa capacidade de infiltração, a descarga das águas deverá ser feita através da rede de drenagem local onde as águas do seu interior são liberadas para o meio natural a jusante através de uma tubulação perfurada no fundo da mesma.

Especial atenção deve ser dada à declividade do terreno na implantação das trincheiras, pois em caso de declividades altas haverá uma limitação do volume útil de armazenamento, contudo podem ser implantadas barreiras internas ou divisórias que contornam este problema. Uma forma de evitar grandes inclinações em trincheiras é que esta se posicione, preferencialmente, perpendicular ao sentido do escoamento da água sobre a superfície drenada.

O uso de trincheiras de infiltração proporciona diversos benefícios hidrológicos e ambientais, podendo-se citar: (i) alívio no sistema de drenagem, com a redução do escoamento superficial; (ii) rearranjo do hidrograma, melhorando as condições do escoamento a jusante; (iii) redução dos custos dos sistemas de drenagem convencionais podendo inclusive causar a sua total eliminação; (iv) recarga do lençol freático e (v) melhoria da qualidade das águas de origem pluvial.

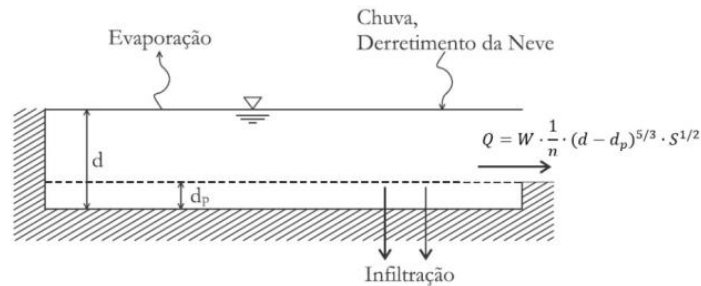
#### Modelagem computacional de drenagem urbana

Para determinar os efeitos do emprego de um sistema de baixo impacto em drenagem urbana, utilizou-se como ferramenta de modelagem computacional os softwares *Storm Water Management* – SWMM versão 5.1 (Rossman, 2010) e Sistema UFC - Módulo UFC8 (Bezerra e Castro, 2009).

O *Storm Water Management Model* – SWMM é um *software* para o desenvolvimento de modelos do tipo chuva-vazão, produzido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*United States Environmental Protection Agency* - USEPA) que simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial. Desde que foi desenvolvido em 1971 por Metcalf & Eddy, pela Universidade da Flórida e pela *Water Resource Engineers* (WRE) com o apoio da EPA, o programa já passou por várias modificações. Hoje encontra-se na quinta versão, funcionando na plataforma Windows®, proporcionando um ambiente integrado que permite a entrada de dados da área de estudo e realiza simulações dos comportamentos hidrológico e hidráulico, além de estimar a qualidade da água e visualizar os devidos resultados em uma variedade de formatos. É amplamente utilizado em todo o mundo para o planejamento, análise e projetos relacionados ao escoamento de águas pluviais e esgotos sanitários.

Para o escoamento superficial, o SWMM considera cada subbacia como sendo um reservatório não linear (Figura 2), que representa as perdas que a água precipitada sofre antes de escoar superficialmente, incluindo as perdas superficiais do armazenamento, umedecimento e interceptação. Caso o total precipitado exceda a capacidade  $d_p$ , haverá então o escoamento superficial  $Q$ . Desta forma pode-se obter a profundidade da água no reservatório  $d$ , para cada

passo de tempo do algoritmo, combinando a equação de Manning com a equação da continuidade e que pode ser escrita conforme Equação (1) (Rossman, 2010).



**Figura 2.** Visão Conceitual do Fenômeno do Escoamento no SWMM. Fonte: James et. al.(2003) adaptado.

$$\frac{dd}{dt} = i - \frac{W}{A \cdot n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2}$$

**Equação (1)**

Em que:  $W$  é a largura representativa da sub-bacia;  $n$  é o coeficiente de rugosidade de Manning;  $A$  é a área da sub-bacia;  $d_p$  é a altura de armazenamento por depressão;  $i$  é precipitação efetiva;  $d$  é profundidade da água no reservatório;  $t$  é o tempo.

Utilizando o mapa de arruamento do local em estudo e suas respectivas curvas de nível, foi aplicado o Sistema UFC8 para delimitação das sub-bacias e cálculo dos parâmetros (área, largura característica e declividade) necessários como entrada no SWMM.

Desenvolvido no Laboratório de Hidráulica Computacional da Universidade Federal do Ceará, o Sistema UFC8 foi escrito quase que totalmente na linguagem AutoLISP do AutoCAD® e VBA (*Visual Basic Applications*) para composição de planilhas de dimensionamento e quantitativos (Bezerra e Castro, 2009). Ao ser instalado, o *software* gera, na área de trabalho do AutoCAD, uma palheta com uma série de botões indicativos dos componentes utilizados para a elaboração de projetos de drenagem urbana, permitindo o desenho técnico da rede e a integração direta com *software* SWMM.

### Área de estudo

O município de Crato encontra-se localizado ao sul do Estado do Ceará, Brasil, a uma distância de 569 km da capital do Estado, possuindo, segundo o IBGE (2018) uma área territorial de 1176 km<sup>2</sup>, para uma população estimada de 131372 pessoas. Escolheu-se o bairro Miradão (Figura 3) pelo reconhecido avanço do processo de urbanização e por encontrar-se distante de outras áreas urbanizadas, minimizando assim as influências do escoamento superficial das localidades a montante deste.

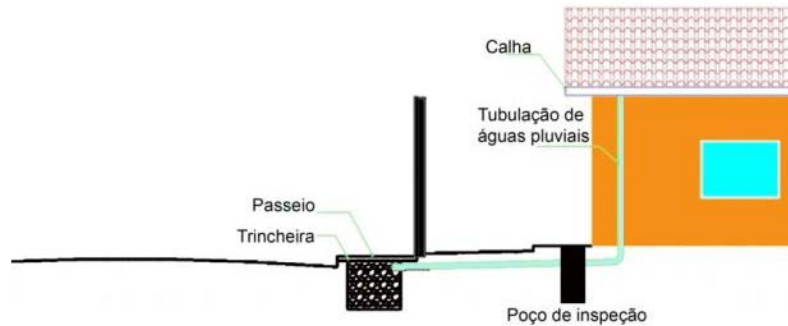




**Figura 3.** Mapa de localização do bairro Mirandão em Crato-CE. Fonte: Google Earth com adaptações.

Neste estudo, foram feitas modelagens do sistema de drenagem, considerando a situação de urbanização do bairro Mirandão com todos os lotes estejam ocupados na forma máxima permitida pela legislação municipal. Foram definidos dois cenários, o cenário 01 – sistema de drenagem sem trincheiras de infiltração e cenário 02 – sistema de drenagem com trincheiras de infiltração.

As trincheiras de infiltração propostas são do tipo fechadas, todas com seção de 1.00m por 1.00m instaladas no passeio público e que poderão receber contribuições provenientes apenas dos telhados das casas de forma indireta (Figura 4). O motivo das trincheiras receberem apenas o escoamento gerado pelos telhados é de recolher águas com a menor quantidade possível de partículas sólidas e poluentes difusos que possam interferir na qualidade da água no lençol freático ou favorecer uma precoce colmatção do sistema.



**Figura 4.** Representação das trincheiras de infiltração no modelo matemático.

Um dos principais fatores limitantes dos métodos de controle de escoamento na fonte é a alocação de espaço para instalação das estruturas de armazenamento. Neste sentido, optou-se por indicar a execução das trincheiras sob o passeio, resultando, em termos práticos, no aproveitamento otimizado dos espaços públicos.

#### Parâmetros utilizados

Para obter a declividade média das bacias foi utilizado o *software* UFC8, calculadas a partir das cotas obtidas das curvas de nível. Na entrada dos dados da precipitação de projeto foi gerada uma série temporal com base na equação de chuva IDF (Equação 2) desenvolvida por Sobrinho (2011) para o município de Crato-CE. O tempo de duração de precipitação foi de 10 minutos que é igual ao tempo de concentração da área de contribuição obtido através da Equação 3, desenvolvida por Kirpich (1940), com boa aplicação para pequenas bacias, de até 0.50km<sup>2</sup> (Tomaz, 2002). Para o período de retorno, adotou-se o valor de três anos, que é o valor mínimo para o qual a equação IDF do município foi desenvolvida e está de acordo com as recomendações indicadas para projetos de microdrenagem em áreas residenciais e comerciais, conforme DAEE-CETESB (1980, *apud* Tucci; Porto; Barros, 1995) e SMDU (2012, *apud* Miguez; Verol; Rezende, 2016).

$$I = \frac{20.24 \cdot (T - 2.98)^{0.0769}}{(t + 5.45)^{0.728}} \quad \text{Equação (2)}$$

Em que I é a intensidade máxima de chuva em mm/min; T é o período de retorno em anos; e t é a duração da chuva em minutos.

$$t_c = \frac{0.019 \cdot L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad \text{Equação (3)}$$

Em que t<sub>c</sub> é o tempo de concentração da bacia em minutos; L é o comprimento do principal curso d'água em metros; e S é a declividade média da bacia em m/m.

O SWMM permite trabalhar com os modelos de infiltração de Green-Ampt, método da Curva Número e Horton. O método utilizado no trabalho foi o de Horton, com parâmetros de entrada sugeridos por Akan (1993), para solo siltoso com areia, silte e húmus, correspondente ao solo característico da área em estudo.

### Composição dos modelos

Tendo como referência o Cenário 01, a discretização do modelo foi feita de forma a criar subáreas formadas por toda superfície que irá receber precipitações, desta forma foram divididas as ruas e quadras da seguinte forma:

- Os lotes de uma quadra, situados em uma mesma rua, foram caracterizados como uma subárea de quadra;
- Cada trecho de uma rua, compreendido entre duas esquinas, foi caracterizado como uma subárea de rua, estando nela incluído o passeio público;
- A rotatória foi caracterizada também como uma subárea de quadra.

Os principais parâmetros físicos para o modelo, como área de cada subárea, declividade e largura característica, foram obtidos através de desenho CAD utilizando a planta oficial de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo da Cidade do Crato e suas respectivas curvas de nível.

A ocupação do solo e o coeficiente de escoamento superficial (C) foram definidos com o auxílio de imagens de satélite da região através do Google Earth e visitas ao local, definindo assim o percentual de área permeável de cada subárea, onde conforme Baptista *et al.* (2005) receberam os seguintes valores:

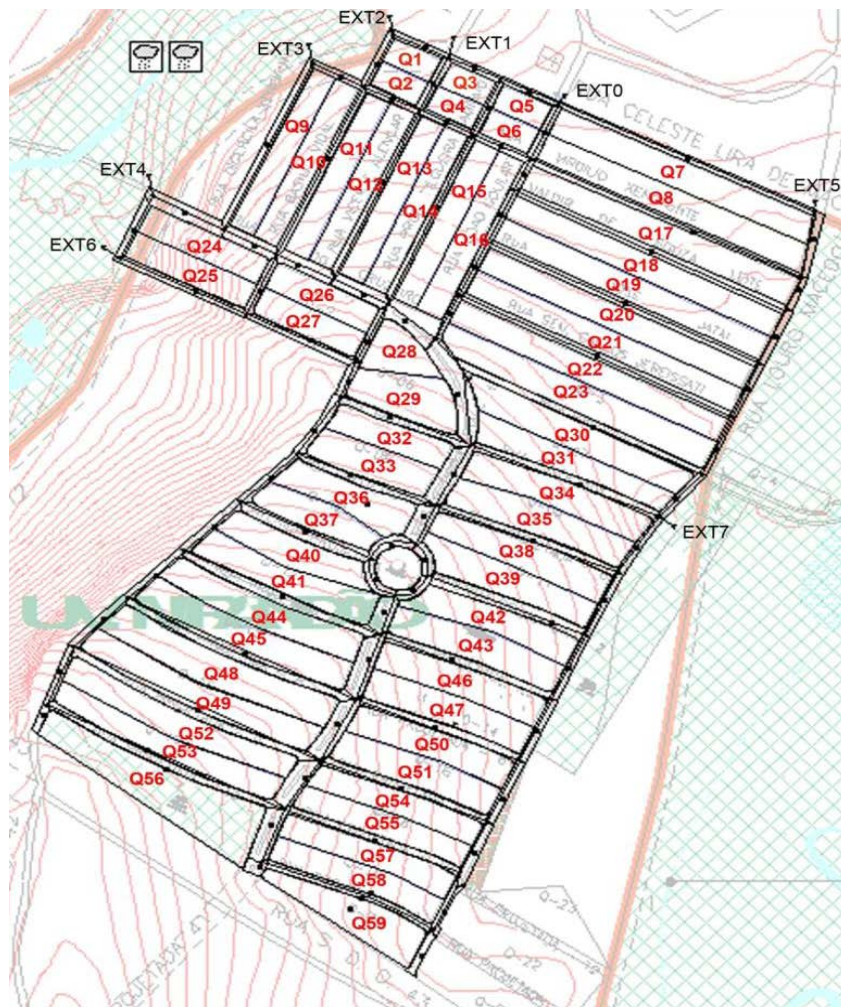
**Tabela 1.** Coeficiente de Escoamento Superficial do modelo

Subáreas	Coeficiente de escoamento Superficial
Áreas verdes	10
Ruas pavimentadas com pedra tosca	85
Rua asfaltadas	95
Quadras Residenciais	30

Uma vez que na região não há outro sistema de drenagem, a condução do escoamento foi realizada através das sarjetas das ruas, representadas no modelo com sendo canais de seção triangular e coeficiente de Manning de 0.016. Os locais dos exutórios do modelo foram definidos de acordo a situação presente existente no bairro, sendo formados pela continuação das sarjetas das ruas nos pontos a jusante do escoamento.

As notações adotadas para a composição do modelo no SWMM encontra-se apresentada na Figura 5, em que a vazão “Q” é da quadra e vazão “EXT” é no exutórios de cada bacia.





**Figura 3.** Representação do Bairro Mirandão no SWMM.

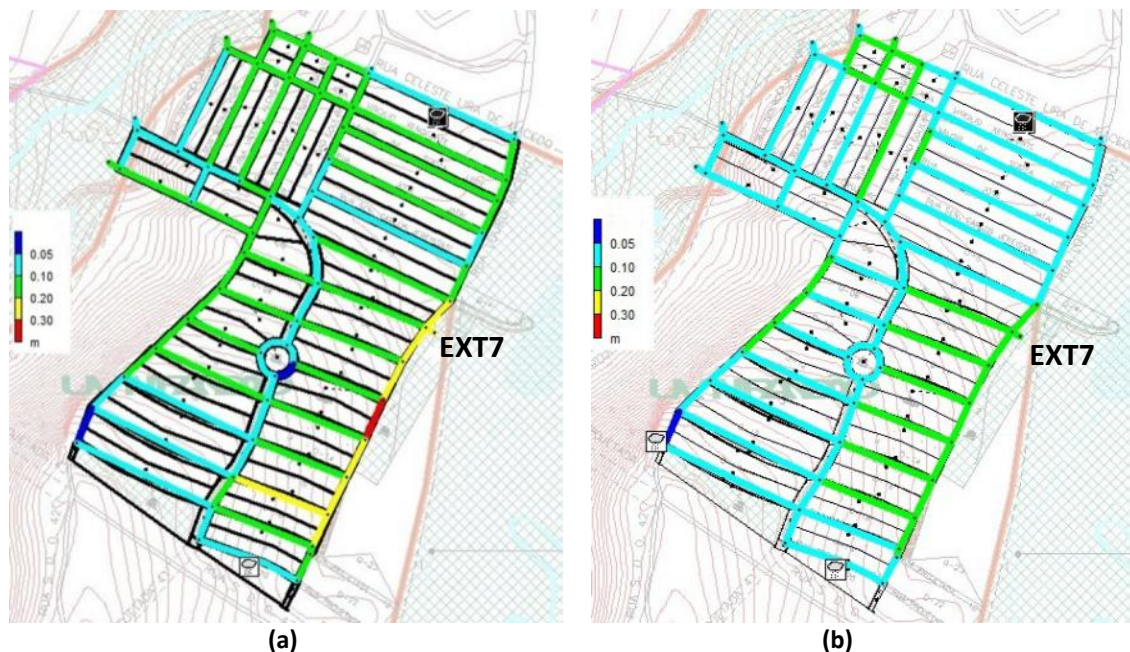
Na modelagem do Cenário 02, em que foi feita a inclusão das trincheiras de infiltração, situadas no passeio, foram criadas novas subáreas permeáveis nas ruas, correspondentes às áreas de cada passeio. As inclinações de cada uma dessas subáreas seguiram as mesmas utilizadas na rua em que estavam instaladas até o valor máximo de 5%. Para as grandes inclinações, adotou-se o valor máximo e o uso de divisórias entre as trincheiras, de forma a individualizá-la em lotes, a fim de ampliar a capacidade de armazenamento.

Para simular a vala da trincheira preenchida com material granular no SWMM, utilizou-se o parâmetro de armazenamento em áreas permeáveis com um preenchimento de cascalho de porosidade de 30%, resultando em uma profundidade eficaz de armazenamento de 30cm em cada uma das valas. Os demais elementos do modelo permaneceram os mesmos do Cenário 01.

## Resultados e discussões

A simulação do Cenário 01, sem as trincheiras de infiltração, indicou a situação mais crítica, com uma lâmina de água escoando com 30 cm, ocorrendo após 12 minutos do início da precipitação. Para visualizar as alturas da água em toda área, foi elaborado o mapa de cheias com período de retorno de 3 anos, Figura 6a. Observa-se que as águas superficiais tendem a se acumular nas áreas próximas ao exutório 7, com a situação de maior altura do escoamento a leste da rotatória.

Houve um aumento substancial da lâmina de água escoada, chegando a 36cm e 37 cm de altura, quando estas simulações foram realizadas para períodos de retorno maiores de 5 e 10 anos, respectivamente. Estas duas últimas simulações, quando comparadas entre si não apresentaram diferenças significativas.



**Figura 4.** Mapa de elevação do nível de água nas ruas para  $Tr=3$  anos, (a) Sem trincheiras de infiltração (b) com trincheiras de infiltração.

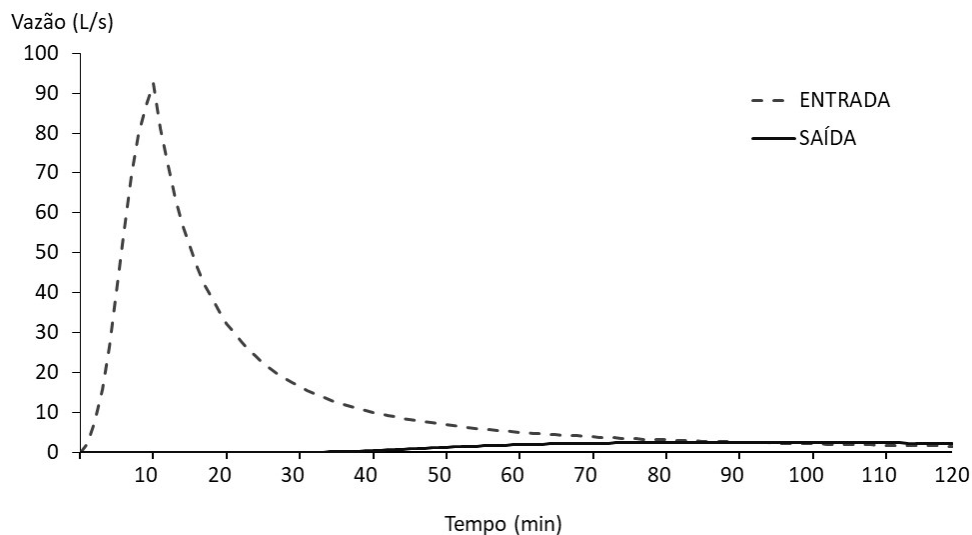
Na análise das velocidades do escoamento superficial, constatou-se que os trechos entre as laterais das quadras Q34 e Q39, e proximidades da quadra Q25, apresentaram velocidades superiores a 3m/s que podem provocar o carreamento de sedimentos e outros materiais obstruindo os sistemas de drenagem a jusante.

A partir da simulação realizada para o Cenário 02, utilizando as trincheiras de infiltração, foi construído um outro mapa de cheias (Figura 6b). Nesta simulação, a solução proposta demonstrou

redução da altura da lâmina de escoamento superficial nas ruas, ficando em sua situação de maior pico, após 12 minutos do início da precipitação, com altura máxima de 18 cm.

Tratou-se de analisar a eficiência das trincheiras, quadra a quadra, verificando possíveis distorções e se alguma delas encontrava-se com dimensões capazes de absorver um volume superior ao gerado pela quadra.

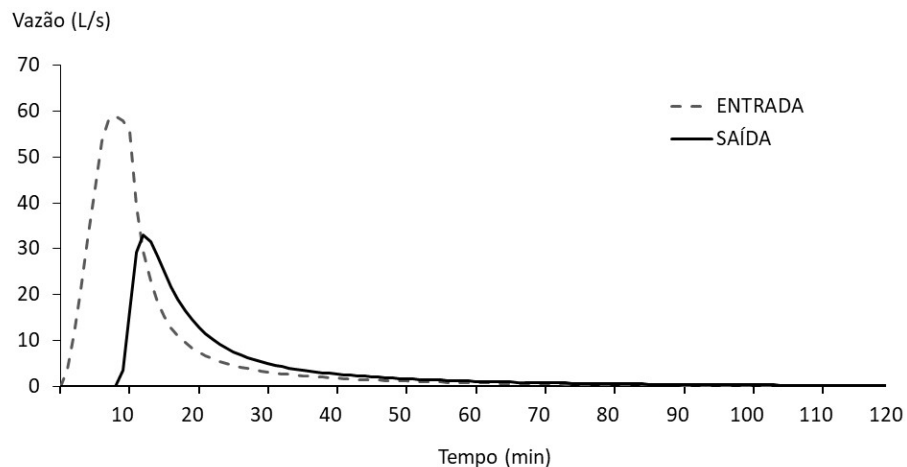
A quadra que apresentou melhor eficiência em redução do pico de vazão foi a quadra Q21. Pode-se observar, a partir do hidrograma de saída (Figura 7) que para o período de retorno de 3 anos, absorveu, durante 18 minutos, todo o escoamento gerado, passando em seguida a drenar o excedente para sarjeta. A vazão de pico foi reduzida de 92.39 L/s para 1.81 L/s, representando um decréscimo de 98.04%. Moruzzi (2011) apresentou uma estimativa da redução de escoamento superficial em lotes urbanos com o uso de trincheiras de infiltração obtendo estimativa de redução de escoamento entre 48% a 74% para um tempo de retorno de 5 anos e de 85% a 100% para um tempo de retorno de 2 anos.



**Figura 7.** Hidrogramas de entrada e saída na trincheira da subárea Q21.

Apenas a subárea correspondente a Quadra Q24 (exutório 4) apresentou eficiência inferior a 70% na redução do valor máximo de escoamento. Para as quadras, a mínima redução ocorreu na Quadra Q28 (Figura 8), em que houve uma redução de 44.15%, motivada pelo reduzido tamanho permitido para esta subárea, com o decréscimo da vazão de pico de 59.01 L/s para 32.96 L/s. Neste caso, o escoamento na saída da trincheira começou a ocorrer após 9 minutos do início da precipitação.





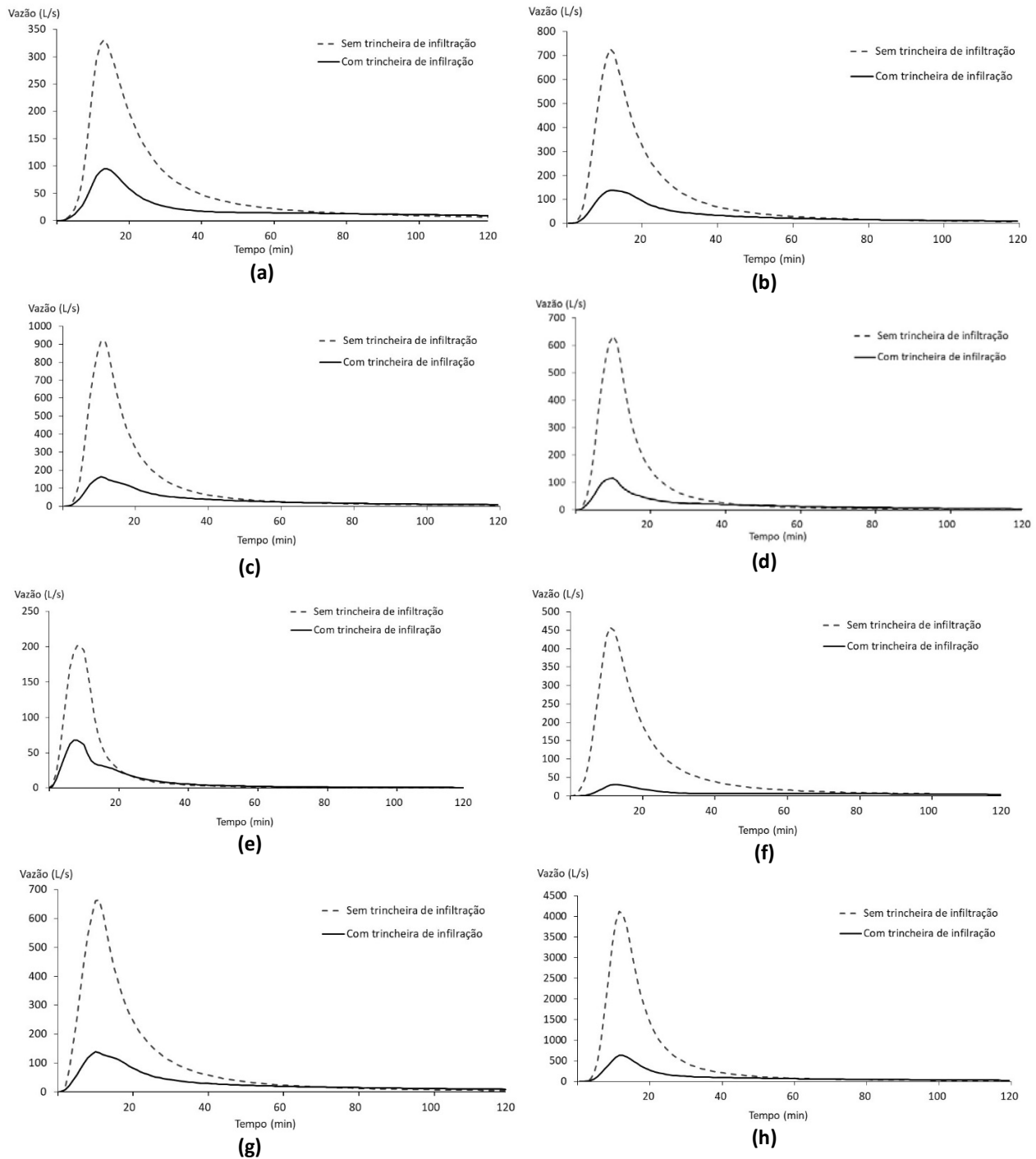
**Figura 8.** Hidrogramas de entrada e saída na trincheira da subárea Q28.

Analisando os exutórios e comparando os hidrogramas de saída de cada um deles nos dois cenários (Figuras 9a, 9b, 9c, 9d, 9e, 9f, 9g, 9h), é possível observar que existe uma considerável diminuição dos picos de vazão, devido ao volume retido no interior das trincheiras, contudo não houve diferenças significativas no instante em que ocorreu cada um destes picos. Apenas em dois casos (exutórios 0 e 7) ocorre um retardo de 1 minuto com o uso das trincheiras.

Esta situação pode ser explicada através do comparativo entre o hidrograma do exutório 7 utilizando as trincheiras e simulação do modelo apenas com o escoamento das ruas (Figura 10). Vê-se que nos primeiros minutos, durante o período em que as águas são apenas retidas na trincheira, os dois hidrogramas se confundem, sofrendo alterações a partir do momento em que elas começam a extravasar o excedente das águas.

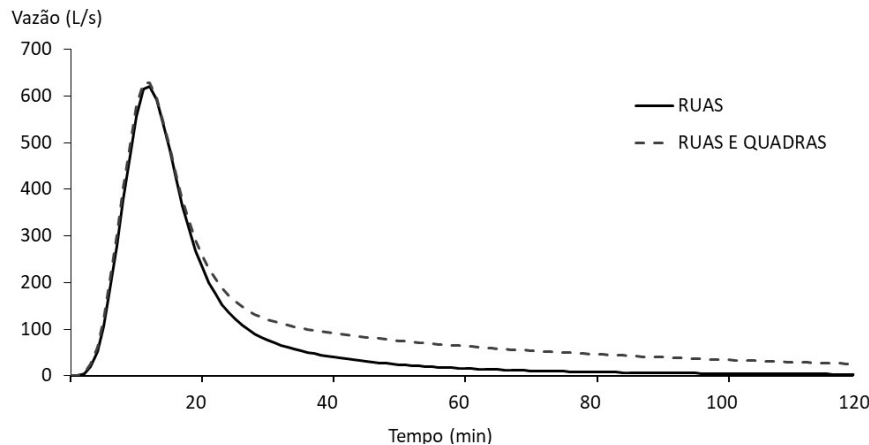
O sistema de trincheiras de infiltração também se apresentou eficiente quanto à redução das velocidades do escoamento, com apenas um trecho, entre as quadras Q34 e Q35, com velocidade de 3.09 m/s. Nos demais trechos as velocidades ficaram abaixo dos 3m/s recomendados pela literatura.

Vários autores (Peiter, 2012; Gutierrez, 2010; Moruzzi, 2011), têm estudado esse tipo de sistema sustentável para aplicação em bacias hidrográficas urbanas, com intuito de esgotar as principais possibilidades de materiais disponíveis e gerar bases simplificadas de sua aplicação, ou seja, indicar as vantagens do comportamento de trincheiras de infiltração, analisando a sua eficácia no controle do escoamento superficial.



**Figura 5** Hidrogramas de saída para: (a) Exutório 0, (b) Exutório 1, (c) Exutório 2, (d) Exutório 3, (e) Exutório 4, (f) Exutório 5, (g) Exutório 6, (h) Exutório 7.





**Figura10.** Hidrogramas de saída no Exutório 7 com e sem escoamento das quadras.

### Conclusão

A análise da bacia plenamente urbanizada e o emprego de um sistema convencional de drenagem urbana, baseado apenas na condução da água para regiões de jusante (Cenário 1), indica ineficiência das medidas estruturais existentes para transportar os escoamentos, não sendo os equipamentos de drenagem convencionais suficientes para evitar problemas de inundação decorrentes da urbanização.

Avaliando o Cenário 02, que inclui trincheiras de infiltração como técnica compensatória em drenagem urbana, os resultados mostraram redução da velocidade do escoamento de 10%, diminuição dos picos de cheia em até 98% em alguns trechos e lâminas d'água inferiores a 0.10 m em aproximadamente 80% da área de estudo, indicando, portanto, controle da inundação no bairro modelado.

A solução proposta neste estudo, com a implantação de trincheiras de infiltração no passeio público, está em consonância e reforça a prática moderna de aplicação dos sistemas de drenagem urbana, baseada no conceito de infraestrutura verde, em que se busca manter ou retornar o ciclo da água nas bacias hidrográficas urbanas à condição original, anteriores aos processos de urbanização, por meio de equipamentos estruturais, projetados para retomar a funcionalidade dos processos de armazenamento e infiltração, e com o desafio de serem alocados sem prejuízos ao uso e ocupação do solo.

Para ampliar a representatividade do modelo, sugere-se realizar a calibração, partindo de uma investigação detalhada quanto ao solo da região, materiais de construção das trincheiras e precipitações do local, incluindo estudos que analisem outras técnicas LID separadamente ou em conjunto com a apresentada.

## Referências bibliográficas

- Akan, A. O. (1993) *Urban Stormwater Hydrology: a guide to engineering calculations*. Lancaster, Pennsylvania: Technomic, 403 pp.
- Araújo, P. R, Tucci, C, Goldenfum, J. A. (2000) Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **5**(3), 21-29.
- Baptista, M, Nascimento, N, Barraud, S. (2005) *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*. 2ª edição, Porto Alegre: ABRH, 407pp.
- Bezerra, A. A, Castro, M. A. H. (2009) Software para Elaboração de Projetos de Drenagem Urbana Envolvendo AutoCAD e SWMM, *XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*.
- Prefeitura Municipal do Crato. (2009) *Lei Nº 2.590, de 22 de dezembro de 2009. Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo da Cidade do Crato/CE*
- Gironás, J., Roesner, L. A., Davis, J., Rossman, L. A., & Supply, W. (2009) *Storm water management model applications manual*. Cincinnati, OH: National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency.
- Gutierrez, L. A, Lucas, A. H, Angelini Sobrinha, I, Barbassa, A. P, Moruzzi, R. B, Teixeira, B. A. D. N. (2010) Problemas construtivos em um sistema vala-trincheira de infiltração. *Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 14.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018) *Projeções da população: Brasil e unidades da federação - revisão 2018*. Acesso em 25 de setembro de 2018, disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/crato/panorama>
- James, W, Huber, W. C, Dickinson, R. E, Pitt, R. E, James, W. R. C, Rosener, L. A, Aldrich, J. A. (2003) *User's Guide to SWMM*. CHI, Guelph, Ontario, Canada.
- Junior, L. M. C, Barbassa, A. P. (2006) Parâmetros de projeto de microrreservatório, de pavimentos permeáveis e de previsão de enchentes urbanas. *Engenharia Sanitária e ambiental*, **11** (1), 46-54.
- Lucas, A. H, Sobrinha, L. A, Moruzzi, R. B, Barbassa, A. P.(2015) Avaliação da construção e operação de técnicas compensatórias de drenagem urbana: o transporte de finos, a capacidade de infiltração, a taxa de infiltração real do solo e a permeabilidade da manta geotêxtil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **20**(1), 17-28.
- Miguez, M. G, Verol, A. P, Rezende, O. M. (2016) *Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade*. Rio de Janeiro: Elsevier, Brasil.
- Moruzzi, R. B, Trindade, S. G, Junior, C. (2011) Subsídios para implantação de trincheiras de infiltração na área urbana de Rio Claro-São Paulo. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, **8**(2)
- Peiter, Thiago Veronez; POLETO, Cristiano (2012) Estudos dos efeitos de trincheiras de infiltração sobre o escoamento superficial. *Revista de Estudos Ambientais*, **14**(2), 56-66.
- Peixoto, V. C. (2011) *Análise Paramétrica e Dimensionamento de Poços de Infiltração para Fins de Drenagem Urbana*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Rossman, L. A. (2010) *Storm Water Management Model User's Manual Version 5*. U.S.EPA. Cincinnati, OH, 295 pp.
- Sobrinho, V. F. (2011) *Aplicação do método das isozonas na obtenção das equações IDF de chuvas intensas dos municípios de Juazeiro do Norte, Barbalha e Crato – CE*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Juazeiro do Norte.
- Souza, Christopher Freire; CRUZ, Marcus Aurélio Soares; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. (2012) Desenvolvimento urbano de 440 baixo impacto: planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **17**(2), 9-18.
- Tomaz, P. (2002) Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais. São Paulo: *Navegar*, 17- 32.
- Tucci, C. E, Porto, R, Barros, M. T. (1995) *Drenagem Urbana: Coleção ABRH de Recursos Hídrico*. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 5.
- Urbonas, B, Stahre, P. (1993) *Stormwater: Best management practices and detention for water quality, drainage, and CSO management*.