

# Simulação do escoamento superficial urbano com sistemas alternativos de drenagem na área Y do Campus Itajubá da UNIFEI

Portugal, Wender Otávio  
UNIFEI, Itajubá, Brasil, [wenderportugal@unifei.edu.br](mailto:wenderportugal@unifei.edu.br)

Guimarães, Adinele Gomes  
UNIFEI, Itajubá, Brasil, [adinele@unifei.edu.br](mailto:adinele@unifei.edu.br)

**RESUMO:** Uma das consequências do crescimento urbano ocorrido nas últimas décadas é a impermeabilização do solo e, conseqüentemente, o aumento de volume do escoamento superficial, causando enchentes. Sistemas de drenagem convencionais buscam, por meio de condutos e canais, permitir o rápido escoamento da água, cuja construção geralmente é dispendiosa. No entanto, sistemas alternativos de drenagem permitem o armazenamento temporário e a infiltração da água no solo, de forma que se assemelhe ao máximo às condições naturais de escoamento. Este trabalho teve como objetivo quantificar por meio de simulações o impacto da urbanização no regime de escoamento superficial da área Y do *campus* da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), bem como propor dispositivos alternativos de drenagem para o controle do escoamento excedente. A área analisada totaliza 50940m<sup>2</sup>, dos quais prevê-se a impermeabilização de 37% devido à construção de edifícios e vias de acesso. Para os eventos de precipitação analisados, o volume total escoado e a vazão de pico pouco mais que dobraram. Posteriormente avaliaram-se os locais adequados para implantação de dispositivos de infiltração e estabeleceu-se a implantação de uma trincheira de infiltração para o controle de uma parcela do terreno, uma vala de 1m de largura por 2m de profundidade e 94m de comprimento preenchida por brita, a qual permite o armazenamento temporário da água durante o evento de precipitação e a sua gradual infiltração. O uso de dispositivos de infiltração apresenta um grande potencial para o controle do escoamento, uma vez que são de fácil implantação e baixo custo, favorecem a infiltração da água e, por conseguinte, a manutenção da disponibilidade hídrica subterrânea, e diminuem o risco de enchentes a jusante. No entanto, seu uso ainda é incipiente no Brasil, sobretudo, pela falta de conhecimento e pesquisas relacionadas ao comportamento geotécnico dos dispositivos de infiltração, inclusive sua influência na estabilidade de taludes e nas fundações próximas, além da manutenção adequada para que evite o acúmulo de sedimentos no interior da trincheira e comprometa o seu funcionamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas alternativos de drenagem. Drenagem urbana. Urbanização.

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento expressivo da população mundial bem como a migração para as cidades trouxe grandes prejuízos para o ambiente natural, sobre o qual houve a urbanização. Conseqüentemente, diversos de seus aspectos outrora em equilíbrio foram severamente prejudicados.

Destes, um dos principais é o ciclo

hidrológico local. Enquanto que no ambiente natural a água proveniente da precipitação em sua maior parcela infiltrava-se no solo ou tinha seu escoamento retardado pela vegetação, a infraestrutura urbana, predominantemente impermeável, impede este processo.

Como consequência, escoamento com grande volume e velocidade é gerado. Para seu controle, o sistema de drenagem urbana

convencional constitui-se basicamente de uma rede de tubulações e canais que tem a função de conduzir a água para fora do espaço urbano com a maior rapidez possível. No entanto, o crescimento e a falta de planejamento urbano fazem com que, em um curto prazo, estes sistemas se tornem incapazes de comportar o volume crescente do escoamento, tornando cada vez mais frequente a ocorrência de alagamentos. (Tucci, 2002)

Outro problema importante associado ao escoamento urbano é a grande quantidade de materiais soltos ou solúveis, incluindo sedimentos, matéria orgânica e poluentes tóxicos, originados do lixo e de resíduos presentes nas ruas, fazendo do ambiente urbano uma fonte difusa de poluição. O escoamento acaba por carregar estes poluentes, que são lançados diretamente em rios e lagos. (Neves, 2006) Assim, o grande volume e velocidade do escoamento superficial introduzido no ambiente provoca o desequilíbrio do ecossistema natural, comprometendo, sobretudo, a qualidade da água a jusante.

Desta forma, o problema da drenagem urbana deve ser tratado de forma abrangente, exigindo tanto medidas estruturais, como a construção de estruturas de drenagem, ou não estruturais, como a conscientização da população acerca da disposição correta do lixo. (Canholi, 2014)

Sistemas alternativos de drenagem, em contrapartida, buscam minimizar as consequências da urbanização ao tentar reproduzir ao máximo as condições naturais de retenção e infiltração da água, reduzindo, assim, o volume e a velocidade do escoamento superficial.

Estes dispositivos podem ser classificados de acordo com sua localização e abrangência, como de controle na fonte, em que são incluídas pequenas áreas de drenagem, como valas de armazenamento nos lotes; técnicas lineares, paralelas ao sistema viário, incluindo trincheiras e valas de infiltração, além de pavimentos permeáveis e, por fim, técnicas de controle centralizado, abrangendo grandes áreas de drenagem, como bacias de retenção e retenção (Figura 1). (Brito, 2006)

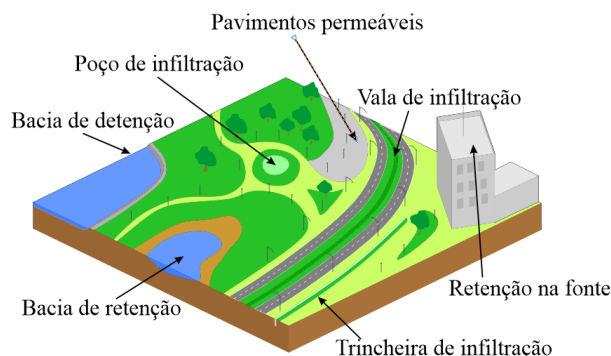


Figura 1 - Principais dispositivos alternativos de drenagem em integração com o espaço urbano. (Elaboração própria)

Dentre os dispositivos mais comuns, incluem-se:

- Bacias de amortecimento: reservatórios para o amortecimento das vazões de pico, subdivididos em bacias de retenção (impermeáveis) e retenção (fundo permeável). (Agra, 2001);
- Pavimentos permeáveis: permitem a infiltração da água através do pavimento (Acioli, 2005);
- Poços de infiltração: escavação revestida com tubo de concreto perfurado e preenchida com brita envolta em material geotêxtil, que permite o armazenamento temporário e infiltração da água (Reis, 2014);
- Valas de infiltração: escavações cobertas por vegetação que recebem o escoamento superficial e promovem sua infiltração (Agra, 2001);
- Trincheira de infiltração: vala revestida com geotêxtil e preenchida com um material poroso para permitir o armazenameto temporário e a infiltração da água da chuva (Field, 2006).

Os principais benefícios decorrentes do uso dos sistemas alternativos de drenagem, além do controle do escoamento superficial, incluem o aumento da qualidade de vida no meio urbano, a recarga hídrica subterrânea e a redução do transpore de sedimentos e poluentes. A natureza destes dispositivos permite uma diversidade de formas e soluções que se adequem às particularidades locais. (Moura. Baptista, Barraud, 2009)

No entanto, apesar de seus evidentes benefícios, os dispositivos de drenagem alternativos são muito pouco difundidos. Por se tratar de uma técnica relativamente nova, ainda não há experiência suficiente para se determinar a forma correta de planejamento, execução e manutenção a fim de se garantir sua eficiência e durabilidade. Estudos nesta área ainda são incipientes no Brasil e em menor quantidade ainda são as aplicações práticas.

Por sua natureza, estes dispositivos dependem das características geotécnicas do local, sobretudo em relação aos parâmetros de infiltração do solo, principalmente a condutividade hidráulica, e da sua posição em relação ao lençol freático. Pelo fato de aumentar a saturação do solo, a presença de estruturas ao redor, como fundações e taludes, pode ser um empecilho para sua colocação, uma vez que as propriedades mecânicas do solo podem ser alteradas, acarretando em eventual perda de estabilidade. Há ainda a possibilidade de acumulação de sedimentos e a ocorrência do fenômeno da colmatação no interior dos dispositivos, o que reduziria a capacidade de infiltração da água no solo e comprometeria sua função.

Por este motivo, um dos principais obstáculos para a difusão deste tipo de aplicação consiste na elaboração de diretrizes técnicas para sua execução e manutenção. Estas diretrizes dependem, sobretudo, do desenvolvimento de estudos que permitam prever o comportamento do solo, unindo assim conhecimentos geotécnicos e hidrológicos e adequando ao ambiente urbano. Mesmo assim, a utilização destes dispositivos é de fato promissora, sobretudo se usados de forma distribuída pela área urbanizada, a fim de se obter redução considerável do escoamento superficial, minimizando os efeitos adversos da impermeabilização do solo.

## 2 METODOLOGIA

Este trabalho tem o intuito de demonstrar a possibilidade de implantação de dispositivos desta natureza como forma de controle distribuído do escoamento superficial.

A área de estudo (Figura 2) está situada no *campus* José Rodrigues Seabra da Universidade Federal de Itajubá, na cidade de Itajubá, denominada área Y. Trata-se de uma colina com acentuadas declividades em sua face oeste e sul, mas com o topo aplainado. Originalmente a vegetação local compunha-se por arbustos e pequenas árvores. No entanto, pretende-se construir edifícios em sua parte superior, bem como uma via de acesso pavimentada. No total a área de estudo engloba 50940 m<sup>2</sup>. A ocupação prevista, incluindo a área de edifícios, gramado e pavimentos, totaliza 37,9% da área total.

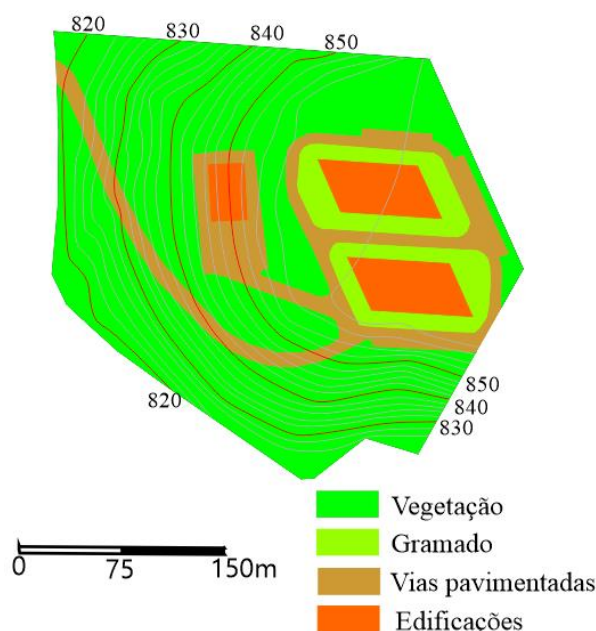


Figura 2 - Área Y do *campus* da Universidade Federal de Itajubá, com a topografia original e plano previsto de ocupação. (Elaboração própria)

Para as simulações hidrológicas, estabeleceu-se a chuva de projeto a partir da equação de intensidade, duração e frequência (Equação 1) para a cidade de Itajubá (Pluvio, 2006)

$$i = \frac{1196,711 \times T^{0,172}}{(t + 11,162)^{0,851}} \quad (1)$$

em que a intensidade média do evento de precipitação ( $i$ ) é dada em função do tempo de retorno  $T$  (em anos), relacionado à frequência com que um evento de chuva intensa acontece, e  $t$  é o tempo de duração da chuva (em minutos).

Para o projeto de sistemas urbanos de microdrenagem, adota-se o tempo de retorno de cinco anos (Toni, 2013). Optou-se pelas simulações da chuva em dois eventos de precipitação distintos, com duração de 30 e 60 minutos.

O hietograma da chuva de projeto, ou seja, a distribuição da chuva ao longo de sua duração, foi obtido através do método dos blocos alternados (Chow *et al.*, 1998). Por este método, a precipitação inicialmente apresenta pequena intensidade, mas que aumenta até um pico em sua meia duração, e gradualmente se torna mais fraca até cessar.

As simulações do escoamento superficial foram feitas com o Stormwater Management Model (SWMM), da U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). Foram introduzidos no software as características do terreno através da divisão em áreas menores (*subcatchments*), para cada um sendo introduzidos os dados relativos à ocupação (através do coeficiente de Manning), declividade e condutividade hidráulica do solo (Ramos, 2014). Os parâmetros de entrada foram inseridos conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de entrada

| Parâmetro                            | Valor                                          |
|--------------------------------------|------------------------------------------------|
| Condutividade hidráulica             | 28,8 mmh                                       |
| Modelo de infiltração                | Green Ampt                                     |
| Coeficiente de escoamento de Manning | 0,24 (vegetação)<br>0,013 (áreas impermeáveis) |

Foram executadas três séries de análise, primeiramente com o terreno natural, em seguida após a implantação das infraestruturas planejadas e por fim com a colocação de dispositivos alternativos de drenagem.

### 3 RESULTADOS E ANÁLISE

#### 3.1 Comparação do escoamento antes e após a ocupação

As simulações realizadas com o SWMM forneceram o escoamento total que deixa a área

em estudo em termos da vazão ao longo do tempo. Os resultados são apresentados na Tabela 2 e na Figura 3. Percebe-se que há um substancial aumento do volume do escoamento ao longo do tempo, sobretudo em relação à vazão de pico.

Tabela 2 – Comparação do escoamento antes e após a ocupação

| Evento de precipitação |                    | 30 minutos             | 60 minutos             |
|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| Vazão de pico          | Terreno natural    | 0,9 m <sup>3</sup> /s  | 0,9 m <sup>3</sup> /s  |
|                        | Terreno ocupado    | 1,9 m <sup>3</sup> /s  | 2,2 m <sup>3</sup> /s  |
|                        | Aumento percentual | 111%                   | 144%                   |
| Volume escoado         | Terreno natural    | 703,3 m <sup>3</sup>   | 691,17 m <sup>3</sup>  |
|                        | Terreno ocupado    | 1468,65 m <sup>3</sup> | 1638,52 m <sup>3</sup> |
|                        | Aumento percentual | 109 %                  | 137 %                  |

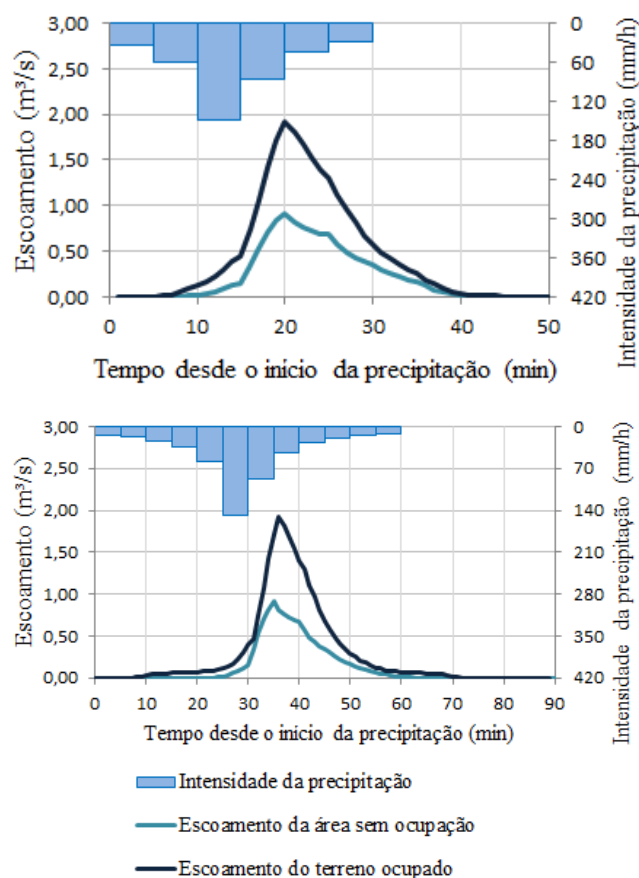


Figura 3 - Escoamento superficial gerado na área de estudo antes e após a ocupação (acima: evento de precipitação de 30min e abaixo evento de precipitação de 60min).

### 3.2 Dimensionamento do dispositivo de controle do escoamento

Com base nas aplicações de cada dispositivo, concluiu-se que o mais adequado para a área de estudo é uma trincheira de infiltração, constituída por uma vala preenchida com brita e forrada internamente com tecido geotêxtil. Este dispositivo possibilita o armazenamento temporário da água e a sua infiltração no solo.

O dimensionamento da trincheira foi feito com base no volume que se pretende armazenar em seu interior, de acordo com a área de drenagem correspondente.

Sua localização foi determinada fundamentalmente pelas características do terreno. De acordo com as recomendações de Field (2006), é necessária a manutenção de certa distância de outras estruturas para se garantir a segurança, como descrito na Tabela 3.

Tabela 3 – Recomendações para a locação de dispositivos de infiltração (Adaptado de Field, 2006)

|                                                   |                                   |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Taxa de infiltração local                         | Entre 13 e 210mm/h                |
| Distância de poços de água potável                | Maior que 30m                     |
| Distância de fundações                            | 6m morro abaixo e 30m morro acima |
| Distância de taludes com inclinação maior que 15% | 15m                               |
| Utilização em aterros                             | Não recomendada                   |

Assim, com base nestes critérios, foram estabelecidos os locais onde a implantação destes dispositivos é adequada, conforme apresentado na Figura 4.

De fato, devido à topografia do local, a maior parte do terreno caracterizou-se como inadequada para o uso de dispositivos de infiltração. No entanto, ainda existem áreas em que estes dispositivos podem ser implantados.

O dimensionamento da trincheira foi feito de acordo com as dimensões iniciais atribuídas (Tabela 4) e a condutividade hidráulica do solo disponível (Tabela 1). Definiu-se, ainda, a área de drenagem para o dispositivo e a sua localização.

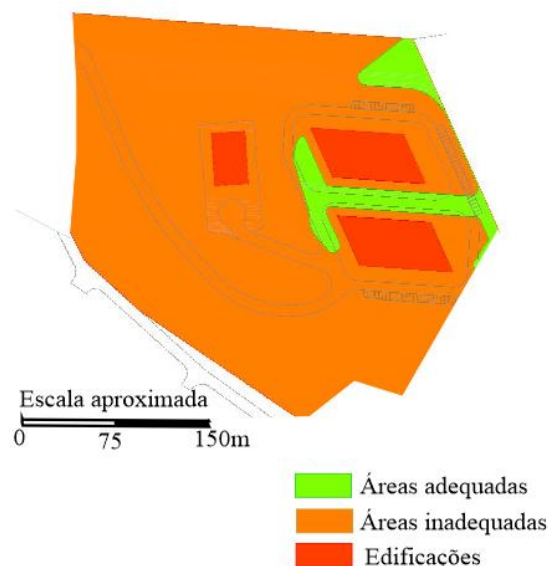


Figura 4 - Áreas adequadas para a implantação de dispositivos de infiltração, de acordo com os critérios de Field (2006).

Tabela 4 – Parâmetros para o dimensionamento da trincheira de infiltração

| Dimensões                |                                                                |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Largura                  | 1m                                                             |
| Profundidade             | 2m                                                             |
| Materia de preenchimento | Cascalho de granulometria uniforme (porosidade efetiva de 40%) |

A partir das condições do local, o dimensionamento para a obtenção do comprimento da trincheira foi feito. O volume que a trincheira deve comportar foi estabelecido como sendo todo o escoamento de um dos prédios. No entanto, a área de drenagem é maior, englobando o gramado ao seu redor, conforme Figura 5 e Tabela 5.

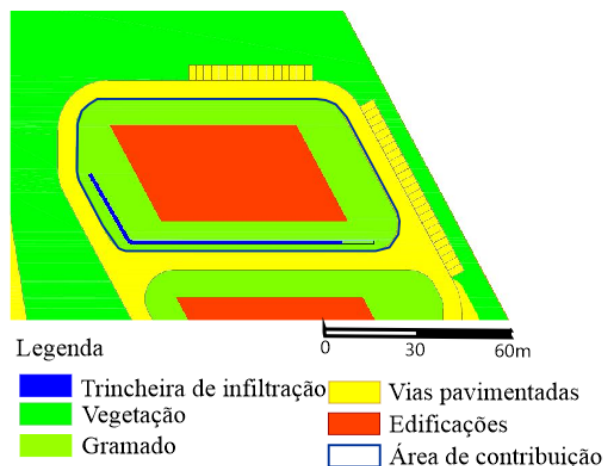


Figura 5 - Ocupação da área de drenagem da trincheira de infiltração e localização proposta.

Tabela 5 – Características da área de drenagem da trincheira

| Ocupação     | Área                |
|--------------|---------------------|
| Edifício     | 1850 m <sup>2</sup> |
| Área gramada | 2750 m <sup>2</sup> |
| Total        | 4420 m <sup>2</sup> |

Utilizando o *rain envelope method* (Souza, 2002), foi feito um processo iterativo que levou em conta o volume de escoamento que chega à trincheira e a infiltração nas paredes internas. Assim, o comprimento obtido para a trincheira foi de 94m, a qual foi situada ao longo da calçada, paralelo a uma das vias de circulação planejadas.

As novas condições foram, então, introduzidas no SWMM de forma a se avaliar o efeito da colocação da trincheira sobre o controle do escoamento, sob as mesmas condições de precipitação.

Os dados de vazão fornecidos pelo software indicaram a redução considerável do escoamento superficial, sendo que quase todo o volume da área de drenagem considerada foi retido no interior da trincheira. Percebe-se que há escoamento somente após o enchimento completo do dispositivo, que ocorre devido à área adicional gramada ao redor do edifício, cujo escoamento é também dirigido para a trincheira. (Figura 6)

Desta forma, a trincheira de infiltração se mostra efetiva para redução da vazão de pico e controle do volume do escoamento (Tabela 6).

Tabela 6 - Comparação do escoamento da área de drenagem da trincheira antes e após sua colocação.

| Evento de precipitação                     | 30 minutos             | 60 minutos             |
|--------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Deflúvio pluvial                           | 147,6 m <sup>3</sup>   | 184,8 m <sup>3</sup>   |
| Volume do escoamento anterior à trincheira | 92,8 m <sup>3</sup>    | 120,7 m <sup>3</sup>   |
| Volume do escoamento com a trincheira      | 15,1 m <sup>3</sup>    | 42,3 m <sup>3</sup>    |
| Redução percentual                         | 83,7 %                 | 64,9 %                 |
| Vazão de pico anterior à trincheira        | 0,13 m <sup>3</sup> /s | 0,14 m <sup>3</sup> /s |
| Vazão de pico após a trincheira            | 0,04 m <sup>3</sup> /s | 0,09 m <sup>3</sup> /s |
| Redução percentual                         | 69,2 %                 | 35,7 %                 |

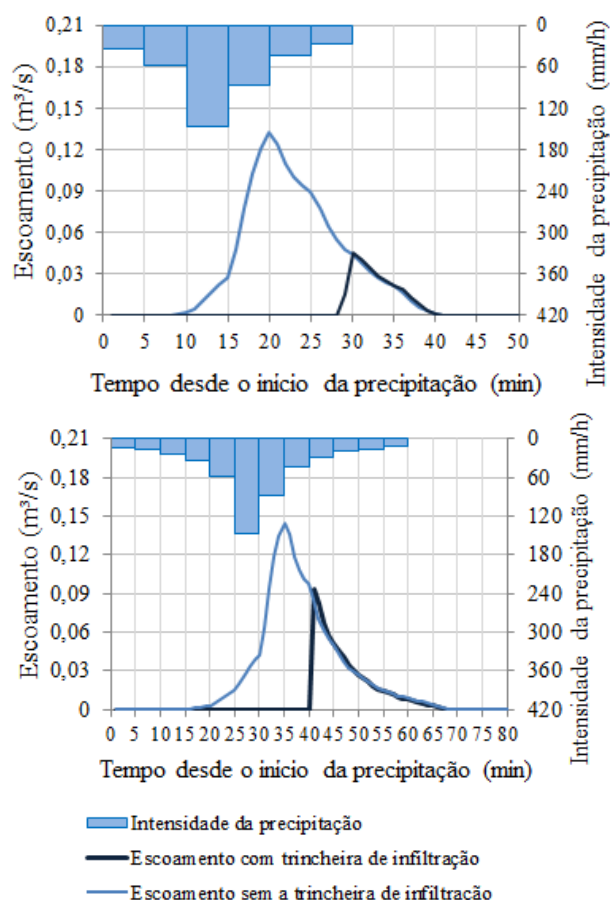


Figura 6 - Escoamento da área de drenagem da trincheira de infiltração antes e após a colocação do dispositivo (acima: evento de 30min; abaixo: evento de 60min).

## 4 CONCLUSÃO

Este trabalho teve por finalidade analisar os principais aspectos referentes ao impacto da urbanização no escoamento superficial e possíveis alternativas para minimizá-lo. Desta forma, buscou-se uma opção de controle a partir da utilização de dispositivos de drenagem alternativos, a fim de conter o escoamento excedente causado pela impermeabilização do solo.

Determinou-se, então, que a trincheira de infiltração seria a melhor opção para o controle do escoamento, devido a sua característica de armazenamento temporário e infiltração e dadas as condições do local de estudo. Sendo assim, dimensionou-se este dispositivo de forma que este fosse capaz de conter todo o escoamento produzido em um edifício. Em sua área de drenagem, a trincheira de infiltração diminuiu substancialmente a vazão de pico e o volume

total escoado. Mesmo apesar das condições desfavoráveis em relação à topografia da área de estudo, foi possível o dimensionamento de um dispositivo de infiltração adequado para o local.

Esta análise pode ser facilmente replicada em qualquer local, de forma que se possa escolher a melhor alternativa de acordo com os elementos do terreno. O Stormwater Management Model, pela sua capacidade de análise destes dispositivos, fornece estimativas adequadas dos possíveis benefícios advindos de sua implantação. Por este motivo, simulações como esta podem ser facilmente realizadas por agentes responsáveis pelo planejamento urbano, de forma que se tenha um controle do escoamento que seja sustentável, ao visar não somente seu controle, mas também a qualidade da água.

Embora em países em desenvolvimento, como no Brasil, a urbanização tenha acontecido de forma desordenada, é possível a adoção de medidas inteligentes de controle do escoamento utilizando sistemas alternativos de drenagem. Isto se dará através da difusão de metodologias simples para a colocação e dimensionamento destes dispositivos, através de cartilhas e manuais técnicos.

O sucesso da implantação de dispositivos alternativos de drenagem depende principalmente da escolha dos materiais e dimensionamento correto, uma vez que sua eficiência depende de vários fatores como a carga de sedimentos e as condições do solo. Por este motivo, a tomada de decisão depende da análise de diversos aspectos. O uso destes dispositivos é quase inexistente nas cidades brasileiras, mas os avanços dos estudos e difusão da informação tende a contribuir para que esta nova alternativa sustentável seja aplicada com maior frequência.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à professora Adinele Gomes Guimarães pela orientação no desenvolvimento deste trabalho e ao CNPq pelo financiamento recebido para o desenvolvimento da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ACIOLI, L. A. *Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle de escoamento superficial na fonte*. 2005. Dissertação (mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- AGRA, S. G. *Estudo experimental de microrreservatórios para controle de escoamento superficial*. 104 f. 2001. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.
- BRITO, D. S. *Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem*. 2006. Dissertação (mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- CANHOLI, A. P. *Drenagem urbana e controle de enchentes*. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- CHOW, V. T. et al. *Applied Hydrology*. [S.l.]: McGraw-Hill, 1998.
- FIELD, R. et al. *The use of Best Management Practices (BMPs) in urban watersheds*. [S.l.]: DEStech Publications, 2006.
- MOURA, P. M.; BAPTISTA, M. B.; BARRAUD, S.. Avaliação multicritério de sistemas de drenagem urbana. *REGA*, v.6, n.1, p.31,42, 2009.
- NEVES, M. G. F. P. *Quantificação de resíduos sólidos na drenagem urbana*. 2006. Tese (Doutorado em recursos hídricos e saneamento ambiental). Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- PLUVIO 2.1: software livre. Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos. Viçosa: UFV, 2006.
- RAMOS, V. F. *Determinação da condutividade hidráulica de solos do Campus José Rodrigues Seabra da UNIFEI em Itajubá-MG por meio de técnicas in situ e em laboratório*. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, novembro de 2014.
- REIS, R. P. . *Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água da chuva: poço de infiltração e jardim de chuva*. Ambiente Construído, v.14, n.2. Porto Alegre, abr./jun. 2014.
- SOUZA, V. C. B. *Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial*. Tese (doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- STORMWATER MANAGEMENT MODEL 5.1: software livre. [S.l.]: US Environmental Protection Agency, 2010.
- TONI, P. A. W. *Dimensionamento de drenagem pluvial: impacto do arranjo de micro-reservatórios no controle do escoamento*. Trabalho de conclusão de curso. UFRGS, Porto Alegre, julho de 2013.
- TUCCI, C. E. M. *Gerenciamento da drenagem urbana*. Revista brasileira de recursos hídricos, Porto Alegre, v. 7. n. 1, jan./mar. 2002