



## VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DE MEDIDAS NÃO CONVENCIONAIS PARA A REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM MEIO URBANO

**Larissa Scipioni Muniz** – lariscipioni@gmail.com

Universidade de Passo Fundo

Rua Mato Grosso, 195

99072-155 – Passo Fundo – Rio Grande do Sul

**Vinicius Scortegagna** – e-mail: viniciuss@upf.br

Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Engenharia e Arquitetura

**Simone Fiori** – e-mail: sfiori@upf.br

Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Engenharia e Arquitetura

**Vera Maria Cartana Fernandes** - e-mail: cartana@upf.br

Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Engenharia e Arquitetura

**Resumo:** *O Brasil vivencia um processo de urbanização intenso há algumas décadas. Em contrapartida esse processo acelerado trouxe consequências visíveis para os meios urbanos. Com a urbanização, as áreas impermeabilizadas aumentam e o sistema de drenagem é modificado, possibilitando a ocorrência de diversos problemas durante eventos de chuvas intensas e trazendo grandes prejuízos para a população. Em geral, as técnicas tradicionais de drenagem urbana transferem os problemas para a jusante visando apenas o rápido escoamento da água e as tubulações, e não possuem caráter sustentável. Dessa forma, medidas de drenagem não convencionais, que se opõem ao sistema tradicional, mas que trabalham junto com ele, focam nas melhorias da infiltração da água do escoamento superficial no solo e na sua retenção em reservatórios. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi análise da viabilidade da aplicação dessas medidas não convencionais para mitigar problemas na microdrenagem em pontos críticos em bairros previamente selecionados da cidade de Passo Fundo/RS, sendo eles o Bairro Lucas Araújo, Vila Luiza e Vila Schell. Focou-se em duas medidas de controle, as trincheiras de infiltração e os reservatórios de retardo e analisou-se a possibilidade de aplicabilidade das mesmas em três pontos de alagamento determinados nestes bairros. Foram verificados os dimensionamentos dessas medidas e o quanto reduziriam na vazão de escoamento superficial. Concluiu-se que estas representam uma alternativa viável de ser aplicada em critérios de disponibilidade de espaço, redução de vazão e melhoria no sistema de drenagem urbana, porém deve ser feita uma análise mais criteriosa da viabilidade econômica de aplicação.*

**Palavras-chave:** *Urbanização. Drenagem Urbana. Medidas não convencionais. Trincheiras de infiltração. Reservatórios de retardo.*



## VERIFICATION OF THE FEASIBILITY OF IMPLEMENTING UNCONVENTIONAL MEASURES FOR REDUCING SURFACE RUNOFF IN URBAN AREAS

**Abstract:** Brazil is experiencing an intense process of urbanization since decades ago. In contrast this accelerated process brought visible consequences for the urban areas. With urbanization, waterproofed areas increase and the drainage system is modified, allowing the occurrence of several problems during heavy rainfall events and bringing great damage to the population. In general, the traditional techniques of urban drainage transfer problems for downstream only targeting the fast water flowing and pipes, and have no sustainable character. Thus, non-conventional drainage measures, which are opposed to the traditional system, but work with it, focus on runoff water improvements in soil and its retention in reservoirs. Therefore, the aim of this study was to analyze the feasibility of implementing these unconventional measures to mitigate problems in microdrainage at critical points in pre-selected neighborhoods of the city of Passo Fundo/RS, namely Bairro Lucas Araújo, Vila Luíza and Villa Schell. The focus was two control measures, infiltration trenches and delay reservoirs and it was analyzed its possibility of applicability at three determined overflow points in these neighborhoods. It was verified the dimensioning of these measures and how much it would reduce the surface runoff flow. It was concluded that these represent a viable alternative to be applied in space availability criteria, reduced flow and improved urban drainage system, but a more careful analysis of the economic viability of the application must be made.

**Keywords:** Urbanization, Urban drainage, Unconventional measures, Infiltration trenches, Delay reservoirs.

### 1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização acelerado gerou uma ocupação urbana sem infraestrutura adequada, o que modifica o sistema de drenagem já existente. As áreas impermeabilizadas aumentam e junto com elas há um aumento do volume de água escoado na superfície, redução dos tempos de picos de enchentes e redução das vazões de descarga no lençol freático devido à redução da infiltração.

Em relação ao sistema de drenagem, de qualquer forma a água escoará pela superfície, independente do sistema de drenagem existente for adequado ou não. Entretanto, a qualidade desse sistema determinará os benefícios resultantes à população.

Embora a canalização seja a técnica mais tradicional usada a longo tempo, esta não representa uma alternativa sustentável. A concepção de drenagem urbana vem sendo alterada nos últimos anos, sendo necessária uma conscientização da necessidade de se ter todos os setores de infraestrutura urbana se desenvolvendo integradamente. As medidas não convencionais surgem como uma alternativa para controle de deflúvios da drenagem urbana e são assim chamadas pois se diferenciam das estruturas de canalização utilizadas usualmente. Podem também ser chamadas de compensatórias já que servem para compensar os impactos resultantes da impermeabilização. Este trabalho se justifica uma vez que surge a necessidade de se responder: É possível solucionar ou atenuar os problemas de drenagem em áreas urbanas através de medidas não convencionais?

Portanto, tendo em vista todas as consequências que um sistema de drenagem falho pode causar, no presente trabalho objetiva-se por verificar a viabilidade de aplicação de medidas não

convencionais para mitigar os possíveis problemas na microdrenagem nos bairros Lucas Araújo, Vila Luiza e Vila Schell na cidade de Passo Fundo/RS, em meio a eventos de chuvas intensas, os quais prejudicam o tráfego de pedestres e veículos. É evidente que muitas vezes o uso dessas medidas acaba se tornando efetivo apenas se combinado à algumas técnicas convencionais, visando a otimização do sistema como um todo.

## 2. MÉTODO DA PESQUISA

O presente trabalho teve seus objetivos concluídos a partir da escolha e análise de três pontos de alagamentos nos bairros em estudo, que estão delimitados na figura 1. O local de estudo foi caracterizado principalmente através do Plano de Saneamento Básico de Passo Fundo/RS (2014) e da Elaboração de Estudos de Concepção de Drenagem Urbana Sustentável das Bacias do Uruguai e do Jacuí (2015). Foi analisada a viabilidade da aplicação de duas medidas não convencionais, as trincheiras de infiltração e os reservatórios de retardo

Figura 1 – Bairros em estudo na cidade de Passo Fundo/RS



### 2.1. Levantamento de campo

A partir dos bairros determinados para estudo de caso deste trabalho, foram identificados alguns pontos que estão mais sujeitos a alagamentos durante chuvas de grande intensidade e que possuem falhas no sistema de drenagem urbana.

Nessa etapa foram feitas visitas em campo, entrevistas com moradores e pesquisas em meios de comunicação que datam a ocorrência de problemas nesses locais durante as chuvas. Foi feita uma análise da topografia do local através de mapas de curvas de nível pertencentes à Bacia do Jacuí, para determinar as áreas de contribuição de cada ponto de alagamento. Além disso, foram identificadas as áreas existentes disponíveis que possuem baixo nível de impermeabilização, ou seja, que não possuem alta urbanização e podem ajudar na aplicação de medidas não convencionais. Essas áreas disponíveis



podem ser determinadas através de imagens de satélite do Google e visitas no local. O mapa de zoneamento do município de Passo Fundo também foi analisado.

## **2.2. Avaliação da possibilidade de aplicação de medidas não convencionais nos bairros**

Após o levantamento de campo, foi analisada a possibilidade de aplicação de medidas não convencionais nos bairros em questão. Para isso foi necessário obter um amplo conhecimento sobre o assunto através de um levantamento bibliográfico extenso. Foram avaliados os espaços disponíveis em campo, as taxas de permeabilidade do solo e outros parâmetros necessários para aplicar as medidas. De fato, uma melhor solução seria integrar e alinhar as medidas não convencionais com as medidas tradicionais, visando a melhor viabilidade técnica e a otimização do sistema. A partir do estudo e pesquisa das medidas, foram selecionadas aquelas possíveis de serem aplicadas e seus critérios de dimensionamento foram analisados. Adicionalmente foram retratados os benefícios que trarão para o sistema de drenagem urbano e para a população residente dessas áreas.

## **2.3 Comparação das soluções convencionais e não convencionais**

Juntamente com as medidas não convencionais foi avaliado quais medidas convencionais poderiam solucionar o problema nos pontos levantados, através de pesquisa bibliográfica e orientações do Manual de Drenagem de Porto Alegre (2005). Essas medidas poderiam ser, por exemplo, o aumento do diâmetro de galerias e do número de bocas de lobo, dentre outras.

Na etapa final foram comparadas as soluções convencionais e as não convencionais propostas. Foram avaliados os benefícios de se adotar cada tipo de solução e a sua possível eficácia, sempre levando em consideração a viabilidade e o caráter ambiental das medidas em questão.

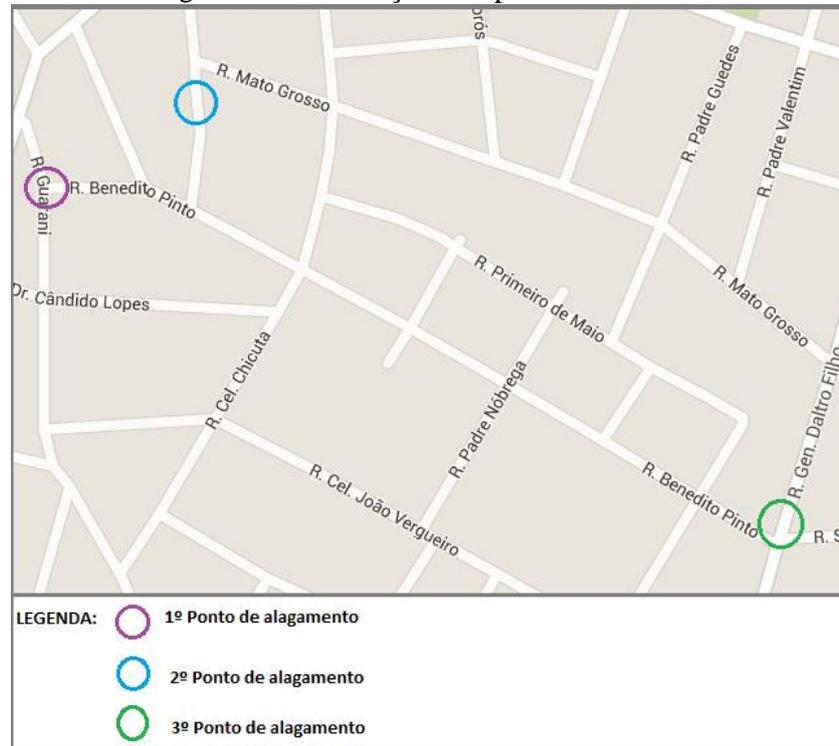
# **3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

## **3.1. Localização dos pontos de alagamento**

A determinação dos pontos de alagamentos nos bairros em questão foi feita através da observação durante um evento de chuva intensa ocorrido no dia 10 de março de 2016 no município de Passo Fundo, que possibilitou verificar *in loco* os problemas ocorridos nessas áreas. Além disso, com pesquisa nos meios de comunicação da cidade, confirmou-se que não foi a única vez que esses locais sofreram durante chuvas de grande intensidade.

Todos os pontos em estudo se localizam em áreas de baixada desses bairros, o que aumenta a possibilidade de alagamento. A localização dos mesmos no mapa está representada na figura 2. O primeiro ponto de alagamento está localizado na Rua Guarani, o segundo na Rua Coronel Chicuta e o terceiro na Rua Daltro Filho.

Figura 2 - Localização dos pontos de estudo



### 3.2 Escolha das medidas não convencionais

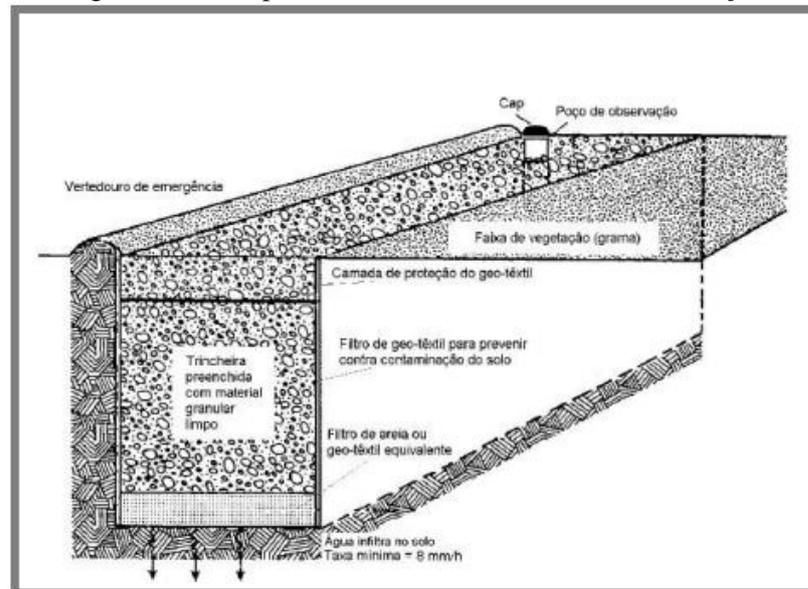
De acordo com a sua praticidade, focou-se em duas medidas não convencionais, as trincheiras de infiltração e os reservatórios de retardo. Cada uma das medidas não convencionais possui seus pontos fortes e fracos para sua possível aplicação, sendo que suas limitações baseiam-se em geral nas características físicas de cada local de implantação, custos, necessidade de manutenção, clima, tipo de solo, características hidrológicas, risco de contaminação do lençol freático, dentre outros. A operação e manutenção devem ser tratadas de forma adequada desde o início, caso contrário, podem levar a insatisfação do sistema, tornando-se um risco. Deve-se ser avaliado também se a implantação dessas medidas não prejudica o sistema convencional já consolidado.

As trincheiras de infiltração são escavações rasas com preenchimento granular de porosidade em torno de 40%, com a finalidade de criar um armazenamento subterrâneo temporário que permita as águas precipitadas infiltrarem no terreno. Em relação a sua forma, possuem largura e profundidade reduzidas quando comparadas ao comprimento, conforme mostra a figura 3. Na sua configuração ideal, recebem o fluxo lateral vindo de uma superfície adjacente impermeável, mas também podem receber entradas de fontes pontuais (BEUX, 2015).

O Governo do Estado do Paraná (2002) define as trincheiras de infiltração como sendo estruturas escavadas no solo e preenchidas com brita uniforme. Gramas ou revestimentos permeáveis podem recobri-las caso se queira. Filtro geotêxtil reveste as paredes, o topo e o fundo da trincheira, para evitar a possível penetração de sedimentos. O fundo da trincheira pode receber uma camada de areia filtrante ao invés da manta geotêxtil, opcionalmente. A água da chuva recolhida infiltra pelas paredes da trincheira e o fundo da mesma exige que o solo tenha uma taxa de infiltração média, não muito baixa para evitar que o tempo de esvaziamento não seja elevado, nem muito alta a ponto de contaminar o lençol freático.

A aplicação das trincheiras não demanda muito espaço e ainda trás um ganho paisagístico ao local, podendo valorizar o espaço urbano. Não há nenhum tipo de dispositivo que faça a água infiltrar e percolar, porém a área é permeável. São alternativas bastante versáteis que podem ser aplicadas em canteiros centrais e passeios, jardins, estacionamentos, áreas verdes ou até mesmo no sistema viário.

Figura 3 – Exemplo da estrutura de trincheira de infiltração

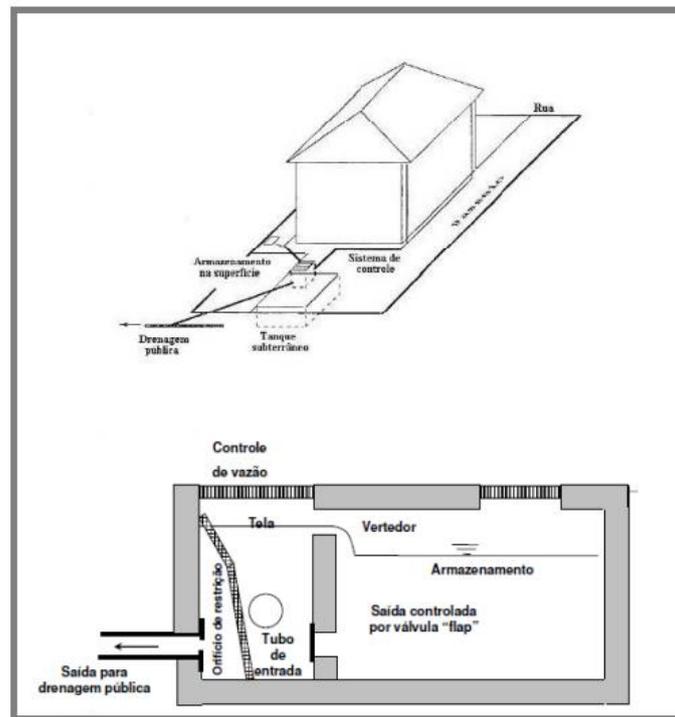


Fonte: Antunes (2010).

Os reservatórios de retardo levam em consideração o armazenamento e retardamento da entrada dos escoamentos no sistema de drenagem para minimizar os efeitos das precipitações intensas e são as medidas compensatórias mais utilizadas (CANHOLI, 2005). Os reservatórios de retardamento da água devem ser resistentes e resistir a esforços mecânicos, facilitar o acesso para manutenção, inspeção e limpeza, garantir o esgotamento total da água e possuir extravasor e orifício destinado para a descarga do volume de água. Um esquema de reservatório de detenção é apresentado na figura 4.

Para evitar problemas é essencial levar em consideração alguns parâmetros. É recomendado que as áreas onde as obras de detenção venham a ser aplicadas estejam consolidadas em termos de ocupação urbana. É também recomendado que essas áreas possuam um eficiente sistema de coleta de lixo e limpeza, reduzindo os detritos carregados pelo sistema de drenagem. A população dessas áreas deveria estar educada quanto ao fato do lixo ser lançado diretamente no sistema de drenagem. E por fim, o projeto dos reservatórios de detenção, de modo geral, deve prever condições de acesso que possibilitem e facilitem a limpeza e remoção dos detritos (PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 1999).

Figura 4 – Exemplo de reservatório de retardo



Fonte: Antunes (2010).

### 3.3. Determinação da área de contribuição da bacia para cada ponto de alagamento

Para delimitação das áreas contribuintes para cada ponto foi utilizado o Mapa Topográfico da cidade de Passo Fundo. As áreas de drenagem são delimitadas de acordo com o sentido em que a água escoa e as quadras funcionam como se fossem telhados, dirigindo as águas para as ruas. Foram verificadas as cotas topográficas em todas as esquinas próximas aos pontos de alagamento para verificar o sentido que a água escoa e então, conseguir delimitar a área de influência. É muito difícil a delimitação desta forma refletir realmente na medida real das áreas que influenciam esses pontos de alagamento, portanto trabalhou-se com valores bastante aproximados. O mais recomendado seria a utilização de softwares para delimitação das áreas, como por exemplo, o software QGIS 2.4.0.

As áreas contribuintes para cada ponto foram as seguintes:

- Rua Guarani: 47163 m<sup>2</sup> ≈ 4,7 ha;
- Rua Coronel Chicuta: 110693 m<sup>2</sup> ≈ 11 ha;
- Rua Daltro Filho: 278524 m<sup>2</sup> ≈ 28 ha.

### 3.4. Dimensionamento das trincheiras de infiltração

O método de dimensionamento das trincheiras de infiltração a ser utilizado, como descrito no decorrer do trabalho, foi o “Rain-envelope-method” e seu cálculo inicia-se pelo volume afluente acumulado através da fórmula a seguir.

$$V_e = 1,25 \times [3600 \times C \times \left(\frac{It}{100}\right) \times t \times A] \quad (1)$$



Onde:

$V_e$  = Volume total escoado no tempo  $t$  para uma precipitação de  $T$  anos de retorno ( $m^3$ );

$C$  = Coeficiente de escoamento (entre 0,85 e 0,95);

$I_t$  = Intensidade da precipitação em  $T$  anos de retorno ( $l/s/ha$ );

$t$  = Duração da precipitação (h);

$A$  = Área da bacia de contribuição (ha).

Então, estima-se as dimensões iniciais da trincheira e se determina o volume da trincheira ( $V_t$ ) com essas dimensões.

$$V_t = L \times h \times b \quad (2)$$

Onde:

$V_t$  = Volume da trincheira ( $m^3$ );

$L$  = Comprimento da trincheira (m);

$h$  = Altura da trincheira (m);

$b$  = Largura da trincheira.

A curva de volumes acumulados de saída ( $V_s$ ) pode ser calculada com base na condutividade hidráulica saturada do solo e nas dimensões atuais.

$$V_s = k \times \left( \frac{A_{perc}}{2} \right) \times 3600 \times t \quad (3)$$

Onde:

$V_s$  = Volume acumulado de saída para diversas durações  $t$ ;

$k$  = Condutividade hidráulica saturada;

$A_{perc}$  = Área de infiltração ou percolação;

$t$  = Duração da precipitação (h).

Devido ao processo de colmatação do solo, é recomendado que a condutividade hidráulica seja reduzida a um fator de segurança, de valor mínimo 2, de acordo com o local onde está inserida a estrutura de infiltração/percolação.

Já a área de percolação ( $A_{perc}$ ) corresponde à área das paredes laterais da superfície de infiltração, podendo ser determinada por:

$$A_{perc} = 2h \times (b + L) \quad (4)$$

Onde  $b$ ,  $h$  e  $L$  são as características das dimensões da trincheira.

Então, identifica-se o ponto de máxima diferença entre as curvas de volume afluente ( $V_e$ ) e de volume de saída da trincheira ( $V_s$ ). Essa máxima diferença vai corresponder ao volume ( $V$ ) da trincheira.

$$V = \max(V_e - V_s) \quad (5)$$

De acordo com a porosidade do material ( $\phi$ ) que esta sendo usado para armazenamento, determina-se o volume necessário para o armazenamento ( $V_{dim}$ ).

$$V_{dim} = V/\phi \quad (6)$$

Por fim, se compara o volume a trincheira ( $V_t$ ) com o volume de dimensionamento ( $V_{dim}$ ):

- Se  $V_t$  for muito maior que  $V_{dim}$ , reduzem-se as dimensões da trincheira;



- Se  $V_t$  for menor que  $V_{dim}$ , aumentam-se as dimensões da trincheira;
- Se  $V_t$  for igual ou pouco maior que  $V_{dim}$ , o processo de dimensionamento chega ao fim.

Para aplicação do Rain-envelope-method alguns parâmetros tiveram de ser previamente determinados. A porosidade do material empregado na trincheira influi diretamente no cálculo do volume de entrada, sendo o material escolhido para ser utilizado, a pedra britada com porosidade de 30 %. Para o coeficiente de escoamento superficial, que também influencia no cálculo do volume de entrada da trincheira, utilizou-se o valor de 0,85 utilizado no Manual de Drenagem de Porto Alegre.

Laudos geotécnicos do município indicam o valor da condutividade hidráulica do solo saturado como sendo 60 l/m<sup>2</sup>dia, o que equivale a 2,5 mm/h. Entretanto, para fins de cálculo adotou-se valores tabelados no Manual de Drenagem de Porto Alegre, considerando o solo sendo areno lemoso e tendo coeficiente de infiltração de 0,01 mm/h. Esse valor foi adotado visto que ocorrem variações da taxa de infiltração em diferentes locais, e por se tratar da ocupação urbana já consolidada, o solo sofre compactação o que reduz de fato a sua porosidade. Da mesma forma, o solo tem tendência de sofrer o processo colmatção durante a vida útil das trincheiras.

A intensidade da precipitação foi calculada em diferentes tempos, iniciando-se a partir de 5 minutos, até 30 minutos, lembrando que esse tempo deve ser utilizado na fórmula da intensidade da precipitação em minutos. O uso desses diferentes tempos é testado para se chegar a máxima diferença entre os volumes afluente e volume de saída da trincheira, que corresponderá ao volume final da mesma. O período de retorno empregado foi o de 10 anos, o qual é comumente utilizado para obras de microdrenagem em áreas urbanas. Para sistemas prediais o período de retorno utilizado é menor, mas aqui se optou por usar 10 anos de modo a cobrir eventos extremos de precipitação.

A equação da intensidade da chuva para o município de Passo Fundo que foi utilizada para os cálculos em diferentes tempos esta descrita a seguir, fornecendo o resultado em mm/h. Como o manual descreve o método de dimensionamento utilizando valores de intensidade da chuva em l/s/ha, foi utilizado um fator de correção dividindo por 0,36 o valor obtido em mm/h.

$$I = \frac{670,74 T^{0,21}}{(t + 7,9)^{0,74}} \quad (7)$$

Os dimensionamentos para os três pontos de alagamento foram feitos através de tabelas do Excel e optou-se por focar nos valores de dimensões das trincheiras utilizando os coeficientes de segurança, visto que o solo pode ter problemas de colmatção, como já mencionado anteriormente. O resumo das dimensões necessárias para as trincheiras em cada ponto de alagamento estão descritos na tabela 1.

Tabela 1- Dimensões necessárias para as trincheiras de infiltração

Pontos de alagamento	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)
1° Ponto de alagamento - Rua Guarani	250,00	1,00	1,50
2° Ponto de alagamento - Rua Coronel Chicuta	587,00	1,00	1,50
3° Ponto de alagamento - Rua Daltro Filho	1495,00	1,00	1,50

Então, foi feita a análise de cada local através de visitas e imagens do Google Street View, para ver em que pontos as trincheiras poderiam ser aplicadas e qual seria a sua dimensão. Foi verificada a existência das árvores e postes que podem interferir na sua aplicabilidade, assim como calçadas em condições ruins ou com pouca largura disponível, vegetação e presença de entulhos/lixos.



Ao fim da análise dos locais, chegou-se a conclusão que existe espaço disponível para a aplicação de trincheiras que totalizam essas dimensões.

### 3.5. Determinação do tempo de escoamento superficial de cada área

A análise do tempo de escoamento superficial (ou tempo de concentração) para cada ponto de alagamento e de sua área de contribuição foi realizada para o posterior cálculo da vazão de cada área. Para isso é necessário determinar o ponto mais distante de alagamento que contribui para a área e verificar a declividade a partir da diferença de cotas e distância entre eles. O valor do coeficiente  $n$  utilizado em todos os casos será de 0,017. A equação de Kerby está descrita abaixo. Na tabela 2 vê-se os resultados obtidos para cada ponto.

$$t_s = 1,44 \times \left( \frac{n \times L}{\sqrt{I}} \right)^{0,45} \quad (8)$$

Tabela 2 - Tempos de escoamento superficial de cada área

Pontos	Tempo (min)
1º Ponto de alagamento	6,34
2º Ponto de alagamento	8,24
3º Ponto de alagamento	10,35

### 3.6. Determinação da vazão de cada área

Após o cálculo dos tempos de concentração das três áreas, a vazão que influi para cada uma delas será calculada, inicialmente para o tempo de concentração encontrado e em seguida para o tempo de concentração mais o tempo de enchimento das trincheiras. Na verdade, o tempo de concentração influi diretamente no cálculo da intensidade pluviométrica utilizada na fórmula da vazão. As vazões encontradas para cada ponto de alagamento estão descritas na tabela 3.

Tabela 3 – Vazões de cada ponto de alagamento

Pontos	Vazão (m³/s)
1º Ponto de alagamento	1,69
2º Ponto de alagamento	3,63
3º Ponto de alagamento	8,34

Os tempos de enchimento das trincheiras são determinados de maneira bastante simples, apenas dividindo o volume pela vazão de cada ponto. Assim, os tempos de enchimentos são mostrados na tabela 4, e estes serão utilizados para calcular o quanto as vazões podem diminuir com as trincheiras.

Tabela 4 – Tempo de enchimento das trincheiras

Pontos	Tempo (min)
1º Ponto de alagamento	3,70
2º Ponto de alagamento	4,04
3º Ponto de alagamento	10,30

Somando-se os tempos de concentração de cada ponto com os tempos de enchimento das trincheiras desses pontos, chegou-se as vazões descritas a seguir, conforme a tabela 5.

Tabela 5 – Vazões com as trincheiras de infiltração

Pontos	Vazão (m³/s)
1º Ponto de alagamento	1,43
2º Ponto de alagamento	3,07
3º Ponto de alagamento	5,98

### 3.7. Dimensionamento dos reservatórios de retardo

Para o cálculo dos reservatórios de retardo, optou-se por utilizar o método descrito pela “Lei das Piscininhas” da cidade de São Paulo. A fórmula é bastante simples, e todas as variáveis que devem ser utilizadas já são previamente determinadas, menos a área impermeável do terreno. O valor adotado para a precipitação deve ser de 0,06 m/h e o tempo de duração da chuva de 1 h. A fórmula é descrita conforme segue.

$$V_{res} = 0,15 \times A_i \times P \times t \quad (9)$$

Os reservatórios foram dimensionados para um lote padrão, de 12 x 30 m, o que corresponde a uma área de 360 m². Como todos os 3 pontos de alagamento em estudo neste trabalho estão localizados na ZOC1 (zona de ocupação controlada 1), de acordo com o Plano Diretor do Município de Passo Fundo, a taxa de ocupação dessas áreas é de 40 %, reduzindo as mesmas para fins de cálculo a 144 m². O volume necessário encontrado para os reservatórios de retardo foi igual a 1,296 m³.

### 3.9. Determinação das vazões com o uso dos reservatórios de retardo

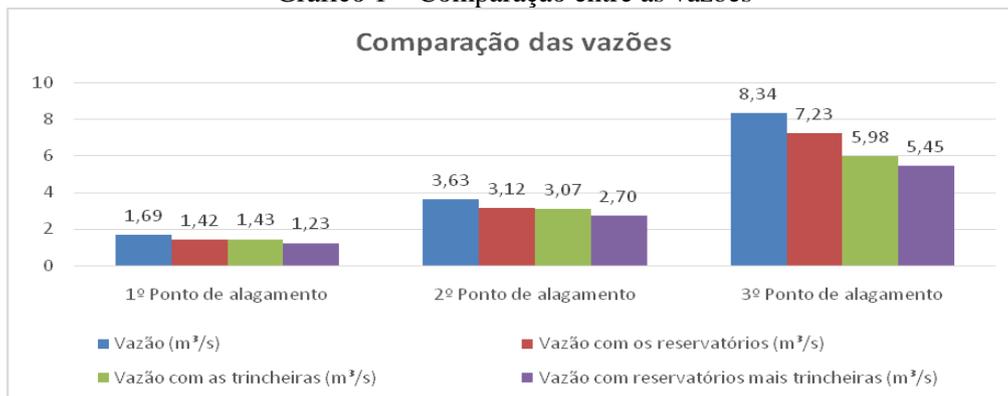
O tempo de enchimento dos reservatórios foi encontrado através da determinação da vazão e dividindo o volume dos mesmos por esse valor. Chegou-se ao tempo de enchimento de 3,87 minutos. Esse tempo foi somado ao tempo de concentração de cada área, e com isso, as vazões foram recalculadas encontrando-se os valores a seguir.

Tabela 6 – Vazões com o tempo de enchimento dos reservatórios

Pontos	Vazão (m³/s)
1º Ponto de alagamento	1,42
2º Ponto de alagamento	3,12
3º Ponto de alagamento	7,23

Foram calculadas também as vazões utilizando ambas as medidas não convencionais e chegou-se a valores ainda mais reduzidos de vazão. O comparativo das vazões encontradas está descrito no gráficos a seguir.

Gráfico 1 – Comparação entre as vazões



Conforme o gráfico acima ficou notável as reduções das vazões com a aplicação das medidas não convencionais. Percebe-se que nos dois primeiros pontos de alagamento houve uma redução de cerca de 15 % das vazões tanto com a aplicação das trincheiras de infiltração como com a aplicação dos reservatórios de retardo. Em contrapartida, a redução no terceiro ponto de alagamento foi de 13 % com os reservatórios de retardo e cerca de 27 % com as trincheiras de infiltração, apresentando melhores resultados para essa medida do que os outros pontos.

Combinando-se as medidas de infiltração e retardo evidentemente a redução das vazões é maior. Nota-se uma redução de cerca de 26 % para os dois primeiros pontos de alagamento, e para o terceiro ponto, 35 %. Esses resultados mostram que são notáveis os benefícios que esses sistemas apresentam quando combinados ao sistema de drenagem convencional.

### 3.10.10. Análise do diâmetro das galerias

Após a determinação das vazões para as 3 áreas de contribuição, foi analisado o resultado do diâmetro das galerias para parâmetros de declividade hipotético uma vez que não foi possível verificar a declividade real das galerias implantadas no local. A equação de Manning, descrita a seguir, leva em consideração o coeficiente n de 0,0135, a vazão de cada ponto e a declividade I. Foram utilizadas três declividades diferentes, de 1 %, 2 % e 4 % e verificadas as diferenças resultantes de diâmetro.

$$D = 1,55 \times \left( \frac{Q \times n}{I} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (10)$$

Os cálculos foram realizados por planilhas do Excel e foram feitos para as vazões normais, as vazões com o uso do reservatório de retardo, com o uso das trincheiras de infiltração e com o uso de ambos os dispositivos. Os gráficos a seguir mostram os diferentes diâmetros encontrados para cada declividade em cada ponto de alagamento.

Gráfico 2- Comparação entre os diâmetros - 1º Ponto de Alagamento

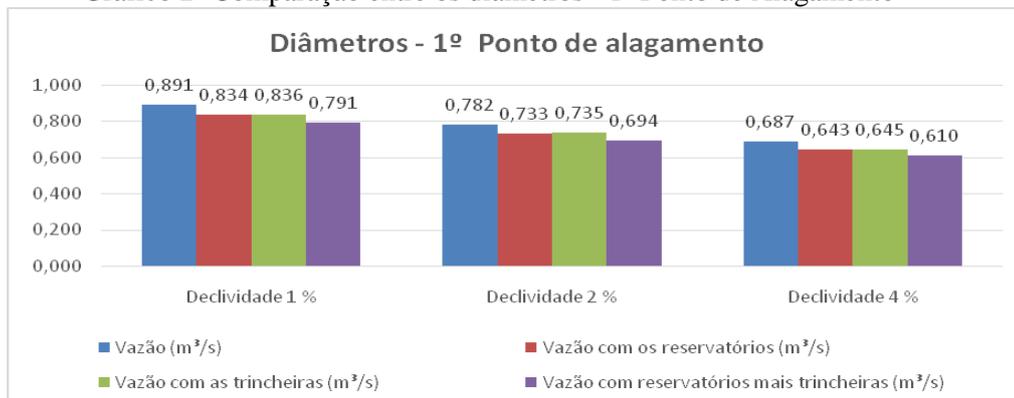


Gráfico 3 - Comparação entre os diâmetros - 2º Ponto de Alagamento

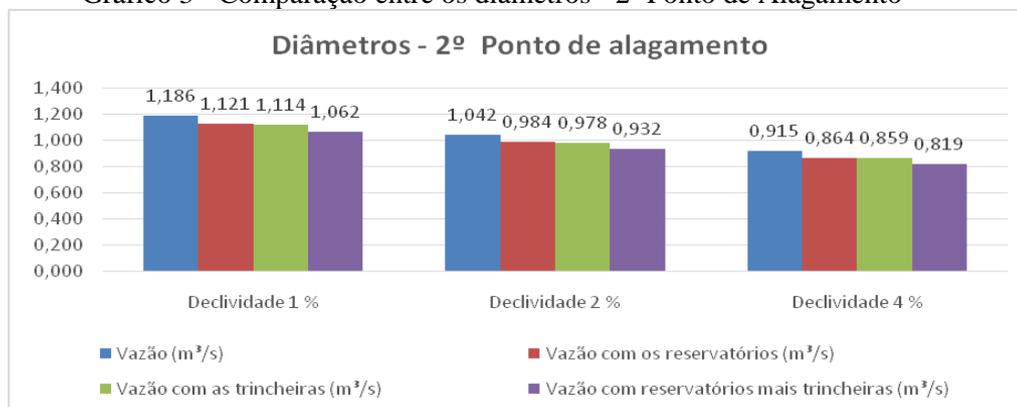
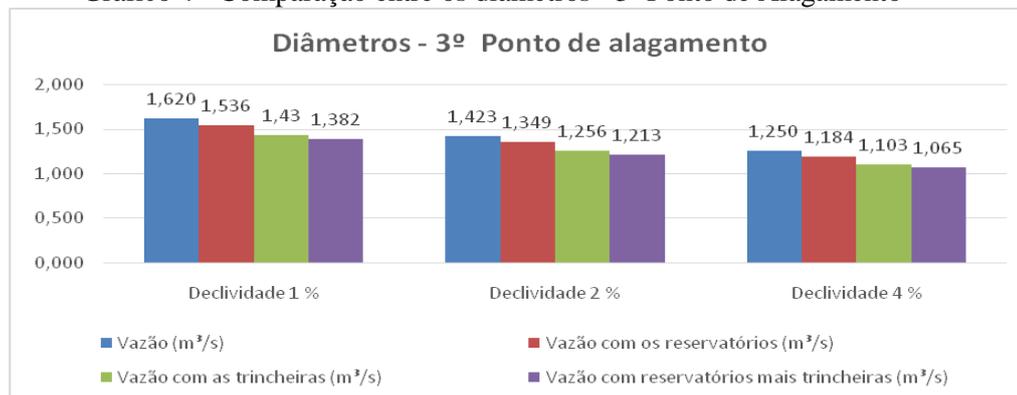


Gráfico 4 - Comparação entre os diâmetros - 3º Ponto de Alagamento



Os valores que resultaram são bastante elevados, porque hipoteticamente está se considerando como se toda a água da bacia fosse para esses pontos, o que supõe-se não ocorrer. Da mesma forma, vários trechos podem encaminhar as águas para outros lados.

Percebeu-se que esses diâmetros diminuem à medida que as vazões diminuem, ou seja, os dispositivos de infiltração e retardo aplicados fazem com que seja necessário um diâmetro menor para as galerias pluviais. Verificou-se também que quanto maior a declividade, menor são os diâmetros necessários. Nos gráficos 3,4,5 nota-se essa diferença entre os diâmetros.



#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A principal causa dos alagamentos nas cidades deve-se a ocupação desordenada do espaço urbano, que acaba por impermeabilizar o solo e devido à concepção de drenagem, transfere os problemas para a jusante, sem maiores preocupações com a quantidade do volume escoado. O controle em nível da microdrenagem surge como uma alternativa para esse problema, através das técnicas de infiltração e reservação.

Como já foi mencionado no decorrer do trabalho, infiltrar localmente as águas decorrentes das precipitações no solo em vez de simplesmente descarregá-las na rede convencional de drenagem urbana, vem sendo cada vez mais considerado como uma maneira de controlar o escoamento das águas pluviais, reduzindo os picos de escoamento e os volumes, possibilitando com que a água siga seu ciclo natural.

O uso das técnicas de infiltração e de reservação já é descrito nos manuais de drenagem de vários municípios, os quais foram analisados no decorrer do trabalho. Optou-se por retirar a maior parte das técnicas de dimensionamento do Manual de Drenagem de Porto Alegre, visto que representa uma fonte mais confiável.

Dentre a grande variedade das técnicas de infiltração, optou-se por testar a viabilidade da aplicabilidade das trincheiras de infiltração nas áreas de cada ponto de alagamento estudado. Essa escolha ocorreu em função da maior facilidade de aplicação desse dispositivo visto que pode ser adaptado com maior flexibilidade nos locais. Entretanto, assim como a maior parte dos dispositivos de infiltração da água pluvial, não apresenta ainda uma alternativa muito usada no território brasileiro.

A primeira dificuldade encontrada para o desenvolvimento deste trabalho foi determinar as áreas de contribuição de cada ponto de alagamento. Como não foi utilizado nenhum software para isso, as áreas foram determinadas de acordo com a análise das cotas topográficas através do Mapa Topográfico do Município de Passo Fundo. Verificou-se que algumas cotas do mapa não condizem com a realidade, até mesmo algumas ruas que aparecem no mesmo não existem. Portanto, os valores encontrados para as áreas em estudo foram bastante aproximados.

As calçadas passeios das áreas que foram analisadas para possível aplicação das trincheiras possuíam grandes partes em condições ruins, com vegetação de mato presente, dimensões reduzidas ou de fato precisando de reformas. Além disso, as sarjetas eram praticamente inexistentes. Mas mesmo assim, verificou-se que existe bastante espaço disponível possível de ter esses dispositivos de infiltração instalados.

Através da análise das vazões, chegou-se a conclusão que as trincheiras reduzem cerca de 15 % das vazões iniciais, e para o terceiro ponto de alagamento que possui uma área muito maior que os outros, essa redução foi de 28 %. Ressalta-se que esta análise foi realizada para um tempo de retorno elevado, ou seja, considerando eventos extremos de precipitação, e que para períodos menores, onde as precipitações resultantes também o seriam, as reduções da aplicação das trincheiras seria maiores.

Da mesma forma, com a aplicação das medidas os tempos de concentração apresentaram um aumento de cerca de 37 % para o primeiro ponto de alagamento, tanto com a aplicação das trincheiras como com a aplicação dos reservatórios e 33 % para o segundo ponto de alagamento. Já no terceiro ponto de alagamento os aumentos foram maiores, cerca de 50% com as trincheiras e 27 % com os reservatórios de retardo. Com a aplicação de ambas as medidas, os aumentos foram mais consideráveis ainda, o que contribui enormemente com o sistema, uma vez que gera hidrogramas de escoamento com picos de vazão menores

Em relação aos reservatórios de retardo, várias cidades brasileiras já adotam dessa técnica para reduzir o escoamento superficial e algumas já possuem lei que obriga a sua aplicabilidade. Como foi verificado durante o trabalho estes reservatórios aumentam o tempo de concentração, reduzindo a vazão, da mesma forma que as trincheiras de infiltração. Os reservatórios foram dimensionados para um lote padrão, de 360 m<sup>2</sup> e apresentaram redução de vazão de cerca de 15 %, com exceção do terceiro ponto de alagamento que teve redução de vazão de 27 %.



Observou-se que os dois dispositivos apresentaram quase as mesmas reduções de vazão. O uso de ambos os dispositivos, tanto de infiltração como de retardo, diminuem ainda mais as vazões. Porém se for analisar a questão do que seria mais viável técnica e economicamente de se implantar, com certeza se optaria pelos reservatórios de retardo. É importante ressaltar também que estes precisam de manutenção regular, para que o sistema tenha bom funcionamento e eficiência.

A conscientização da população em relação à importância dessas técnicas acaba sendo uma necessidade, visto que a proposta por alternativas sustentáveis, para amenizar todos os impactos causados pela urbanização, beneficia diretamente a pessoa que programa e implementa essas ações e, também, toda a população no entorno.

Recomenda-se o uso das medidas de controle não convencionais nos sistemas de microdrenagem, para reduzir o escoamento superficial em meio urbano, porém deve ser feita uma análise dos custos da aplicação dos sistemas e feita a análise mais criteriosa de cada área. Essas técnicas além de reduzirem as vazões de escoamento, apresentam uma alternativa mais conveniente para o meio ambiente urbano.

#### 4. REFERÊNCIAS

BEUX, F.C.; OTTONI, A.B. **Métodos alternativos de drenagem a partir da retenção e infiltração das águas de chuva no solo, visando a redução das enchentes urbanas.** Revista Nacional de Gerenciamento das Cidades. Rio de Janeiro, 2015.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes.** 2 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2005.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba.** Versão 1.0. Dezembro, 2002. Disponível em: [http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/volume6/mdu\\_versao01.pdf](http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/volume6/mdu_versao01.pdf). Acesso em 13 mar. 2016.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo.** São Paulo.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PASSO FUNDO. Secretaria do Planejamento - SEPLAN. **Elaboração de Estudos de Concepção de Drenagem Urbana Sustentável das Bacias do Uruguai e Jacuí, no Município de Passo Fundo/RS.** Engeplus. Setembro, 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE- DEPARTAMENTO DE ESGOTOS PLUVIAIS. **Plano Diretor de Drenagem Urbana: Manual de Drenagem Urbana.** Volume VI. Porto Alegre, 2005.