

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA  
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MEDIDA COMPENSATÓRIA EM UMA MICROBACIA URBANA DO MUNICÍPIO DE  
BARREIRAS-BA**

**JADER LUIZ DOS SANTOS DE SOUZA**

**BARREIRAS-BA  
OUTUBRO-2017**

**JADER LUIZ DOS SANTOS DE SOUZA**

**MEDIDA COMPENSATÓRIA EM UMA MICROBACIA URBANA DA CIDADE DE BARREIRAS-  
BA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientadora: M.Sc. Samara Fernanda Silva

**BARREIRAS-BA**

**OUTUBRO-2017**

## FICHA CATALOGRÁFICA

---

S729 Souza, Jader Luiz dos Santos de.

Medida compensatória em uma microbacia urbana da cidade de Barreiras Bahia. / Jader Luiz dos Santos de Souza. – 2017.

60 f.; il.

Orientador: Prof. Samara Fernanda da Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso: (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias, Barreiras, BA, 2017.

1. Poços - Infiltração 2. Responsabilidade por danos ambientais. I. Silva, Samara Fernanda da. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia – Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III. Título.

CDD: 628

---

**JADER LUIZ DOS SANTOS DE SOUZA**

**MEDIDA COMPENSATÓRIA EM UMA MICROBACIA URBANA DA CIDADE DE BARREIRAS-  
BA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal  
do Oeste da Bahia, como requisito parcial à obtenção  
do grau de Engenheiro Civil.

Aprovada em 04 de Outubro de 2017.

**Banca Examinadora**

Orientador(a): *Samara Fernanda do filho*  
M.Sc. Samara Fernanda Silva  
Universidade Federal do Oeste da Bahia - UFOB

*Luís Gustavo Henriques do Amaral*  
D.Sc. Luís Gustavo Henriques do Amaral  
Universidade Federal do Oeste da Bahia - UFOB

*Maiara Macedo Silva*  
M.Sc. Maiara Macedo Silva  
Universidade Federal do Oeste da Bahia - UFOB

*Dedico essa obra as melhores mães,  
Archanja Carvalho (in memorian) e Maria de Lourdes.*

## AGRADECIMENTOS

A realização dessa obra representa nada mais que o fim de um ciclo de grandes experiências e conhecimentos. Inicialmente agradeço ao Grande Arquiteto do Universo, a quem nos permite todas as benesses e graças e que pôde proporcionar todas as proteções divinas, lucidez e conhecimentos necessárias ao longo dessa jornada.

De maneira imensurável aos meus pais, Jair Luiz e Maria de Lourdes, que abriram mão de desejos para realizar o sonho dessa graduação, onde destaco minha mãe, que durante todos esses anos, não mediu esforços para que eu pudesse alcançar essa conquista. Ainda em tempo, agradeço aos meus irmãos, Jair e Ludimilla.

Ao longo das inúmeras tardes que passamos juntos, jamais poderia esquecer das palavras de incentivo e das suas ações para que essa jornada se concretizasse. Agradeço pela imensa força e sabedoria, pelos conselhos e principalmente pelos momentos felizes que passamos. À minha avó Archanja Carvalho.

Aos amigos que tornaram essa graduação uma convivência agradável e para a vida se tornaram irmãos. Destaco o grupo Civilizados, dos amigos Aglailson, Clebson, David, Leonardo, Marco Simão, Maurício e Wecslei. Ao grupo de Projeto, nas pessoas de Dayane, Juliana, Gleyson, Lázaro, Érica e Carol, que foram fantásticos na amizade e cumplicidade na reta final do curso. À grande amiga Daniela, que sempre incentivou e tornou vários momentos dessa graduação em alívios.

À Samara Fernanda e Luís Gustavo, que, muito além de orientadores, foram profissionais excepcionais e tornaram esse estudo uma realidade. Aos professores que contribuíram significativamente para meu aprendizado ao longo dessa graduação. Aos colegas que foram fundamentais na coleta dos dados de campo: Karina, Anderson, Marília, Jhames, Miguel, Inaldo e João Victor.

À equipe de trabalho da Solare, Helen, Juliana, Rafael, Henrique, Ícaro, Caio e Thaysa, que de forma direta contribuíram para o meu fortalecimento como profissional.

Aos irmãos do Soldiers João Pedro, Rodrigo Melo, Matheus Normanha, Ney Robson, Felipe Trindade, Adriano Takay, Kainã Polac e Victor Hugo, que mostraram o verdadeiro sentido da fraternidade.

Ao Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias (CCET) da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), por ter proporcionado condições de desenvolver este trabalho.

## RESUMO

A partir do intenso processo de urbanização que se iniciou na década de 1970 e, de forma cada vez mais crescente, atinge atualmente as cidades brasileiras, se tem como consequência a impermeabilização do solo, bem como seu mal uso. As ações voltadas para o manejo e drenagem urbana são conduzidas de forma insatisfatória e ineficaz pelo poder público. Como consequência, as inundações urbanas se tornam cada vez mais presentes, principalmente para as populações ribeirinhas. Visando uma solução alternativa ao sistema convencional de drenagem urbana, esse trabalho tem como objetivo avaliar poços de infiltração como medida compensatória. Assim, procedeu-se ao dimensionamento desses para duas localidades distintas de uma microbacia urbana da cidade de Barreiras - BA. Para tal análise, foram escolhidas chuvas intensas com durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720, 1440 minutos com tempo de retorno 20 anos por apresentar um cenário mais crítico. Para as condições de pré-dimensionamento foram dimensionados dois poços de infiltração que se mostraram eficientes para as dimensões adotadas, gerando aproximadamente um total de 45 a 53 m<sup>3</sup> de volume de armazenamento para uma área de 500 m<sup>2</sup> de contribuição para cada poço.

**Palavras-chave:** drenagem urbana; poços de infiltração; controle na fonte.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>10</b>
2.1 INUNDAÇÕES URBANAS .....	10
2.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA.....	11
2.3 INFILTRAÇÃO .....	13
2.4 DRENAGEM URBANA E MEDIDAS COMPENSATÓRIAS .....	15
<b>2.4.1 MEDIDAS DE CONTROLE ESTRUTURAIS .....</b>	<b>18</b>
2.4.1.1 Poços de Infiltração .....	22
<b>2.4.2 MEDIDAS DE CONTROLE NÃO ESTRUTURAIS.....</b>	<b>24</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	25
<b>3.1.1 CARACTERIZAÇÃO DA CIDADE DE ESTUDO .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1.2 CARACTERIZAÇÃO DA MICROBACIA URBANA .....</b>	<b>28</b>
3.2 DIMENSIONAMENTO DOS POÇOS DE INFILTRAÇÃO .....	31
<b>3.2.1 DETERMINAÇÃO DA TAXA DE ABSORÇÃO DO SOLO .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.2 EQUAÇÃO DE CHUVA MÁXIMA DA ÁREA EM ESTUDO .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.3 DIMENSIONAMENTO DE POÇOS DE INFILTRAÇÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
4.1 DETERMINAÇÃO DA TAXA DE INFILTRAÇÃO DO SOLO .....	39
4.2 DETERMINAÇÃO DA INTENSIDADE DE CHUVA, DIAGRAMAS IDF E PDF.....	42
4.3 DIMENSIONAMENTO DO POÇO DE INFILTRAÇÃO .....	43
<b>4.3.1 DIMENSIONAMENTO PARA A LOCALIDADE 1.....</b>	<b>44</b>
<b>4.3.2 DIMENSIONAMENTO PARA A LOCALIDADE 2.....</b>	<b>47</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>51</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>52</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>56</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades ao longo da história da humanidade tem sido fator determinante quando analisamos os diversos problemas de saneamento básico, de saúde pública e ambiental. Tal processo se intensificou após a revolução industrial, quando as oportunidades nas grandes cidades se tornaram mais interessantes que na zona rural. Contudo, nota-se que as cidades não estavam preparadas para um crescimento demasiadamente rápido. Nessa conjuntura, observa-se que os serviços de saneamento básico para atender a população das cidades eram precários e/ou inexistentes. Uma série de problemas sociais se instaurou nas zonas mais críticas dessa ocupação e o surgimento de práticas de amortecimento desses impactos passaram a ser empregadas no sentido de controlar esses problemas.

No Brasil, o êxodo rural foi fator determinante no crescimento desenfreado das populações urbanas, dificultando principalmente a implantação das obras de saneamento básico devido à ocupação sem controle dos espaços não loteados das cidades. Notavelmente as políticas públicas brasileiras ainda engatinham no sentido de uma maior melhoria do sistema de drenagem urbana, bem como a implantação ou ampliação. A adoção de medidas e práticas descritas nos planos diretores das cidades é uma estratégia para conseguir a obtenção de soluções eficientes (NETO, 2009).

Cerca de 85% da população brasileira é urbana (IBGE, 2010), entretanto a universalização do acesso aos serviços de saneamento básico: distribuição de água potável, esgotamento sanitário, coleta de resíduos sólidos e drenagem urbana ainda não é realidade. Tucci *et al.* (2015) aborda a contribuição dos problemas relacionados a falta de estrutura nas gestões das águas no âmbito urbano, principalmente, pela falta de tratamento do esgoto; redes de drenagem sem um programa de controle e manutenção; ocupação do leito dos rios por populações ribeirinhas, impermeabilização e canalização de rios urbanos e deterioração da qualidade da água.

Canholi (2014) enfatiza que o controle do escoamento superficial nas áreas urbanas brasileiras é abordado como um fato não prioritário quando se trata de solos para uso urbano. Geralmente as técnicas utilizadas para solucionar os problemas de drenagem urbana são, por exemplo, a construção de canais buscando o afastamento das águas

pluviais do meio urbano. Tal solução somente protela o problema, acarretando uma situação crítica a jusante.

Nos últimos anos, as abordagens alternativas ou compensatórias têm ganhado espaço na área da drenagem urbana no intuito de gerir cuidadosamente as águas pluviais oriundas das zonas impermeáveis das cidades (ruas, estacionamentos e até mesmo edifícios) de tal forma que se promova a sua infiltração no solo, ocasionando o reabastecimento dos aquíferos, redução da erosão de zonas críticas e melhoria na qualidade da água (HOLMAN-DODDS *et al.*, 2003).

Nesse processo, as técnicas compensatórias passam a desempenhar papel fundamental no manejo e drenagem das águas urbanas, uma vez que tratamos no âmbito do controle na fonte. Dessa forma, medidas compensatórias tais como poços e valetas de infiltração, telhados ecológicos, reservatórios de lotes, dentre outros, retardam o fluxo das águas pluviais e/ou reduzem a velocidade do seu escoamento superficial.

Canholi (2014) aponta novos conceitos de técnicas sustentáveis de drenagem urbana, visando o aumento da eficiência do sistema hidráulico de tubulações. Dornelles *et al.* (2010) argumentam a viabilidade em estudo no país acerca das iniciativas da utilização de águas pluviais não potáveis, tais como leis e decretos, planos diretores de drenagem urbana e normas técnicas.

Optou-se pela cidade de Barreiras –BA por suas características quanto ao regime de chuvas de alta intensidade e curtas durações, com precipitação superior a 1200 mm/ano concentrada especialmente entre os meses de novembro e fevereiro e por esta possuir aumento de população superior à média do estado da Bahia o que vem acarretando em um processo de urbanização descontrolada do seu perímetro urbano. Conforme Carvalho *et al.* (2016), com base nos dados do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA), o volume de chuva registrado na região do perímetro urbano da cidade de Barreiras em janeiro de 2016 foi de 494,9 mm, chegando a ultrapassar o dobro da média histórica (200 mm).

Os problemas advindos dessa situação estão sendo intensificados à medida que os sistemas de drenagem se mostraram insuficientes e/ou inexistentes para escoar as águas ao corpo receptor, que, por sua vez, teve seu volume aumentado expressivamente. Alguns dos fatores são descritos por Silva *et al.* (2013) que apontam as condições topográficas do município, bem como a má gestão das águas pluviais.

Diante dessa abordagem, pretende-se buscar resposta os seguintes questionamentos: os solos das praças públicas de uma microbacia da cidade de Barreiras-BA apresentam-se com boas condições para implantação de medidas compensatórias de manejo de drenagem urbana que visam a infiltração? Qual a contribuição de poços de infiltração no abatimento do escoamento superficial gerado nesses espaços?

A hipótese a ser validada ou refutada no trabalho é que a implantação de poços de infiltração em espaços públicos da cidade de Barreiras – BA apresenta-se como alternativa para maximização das recargas do aquífero e minimização do escoamento superficial.

Para analisar a hipótese acima, este trabalho teve como objetivo avaliar uma medida compensatória de manejo e drenagem urbana utilizando espaços públicos (praça) em uma microbacia na cidade de Barreiras, por meio de implantação de poços de infiltração.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Inundações Urbanas**

O processo de infiltração, pelo qual a água atravessa a superfície do solo, contribui diretamente para a recarga das águas subterrâneas e manutenção dos rios. Dessa forma, faz-se necessária a abordagem da consequência do processo de urbanização e impermeabilização do solo, impedindo de tal forma o processo de infiltração. Como uma das principais consequências podemos citar as inundações dos leitos dos rios que geram altos riscos de contaminação pública, perda material de bens das populações ribeirinhas.

Para Tucci *et al.* (2015) o desenvolvimento histórico das áreas urbanas ocupadas explica os condicionamentos urbanos atuais, visto que o fenômeno de inundações são datadas anteriormente a existência do homem na Terra. A falta de planejamento do espaço e o conhecimento histórico das áreas de inundações compõem os principais prejuízos quando o assunto se refere aos impactos da drenagem urbana. O crescimento desordenado e acelerado das cidades, além da ocupação das áreas próximas às margens dos rios, constituem o prejuízo humano.

De acordo com Tucci *et. al* (2003) os danos devido as enchentes na zona do leito maior de um rio são mais agravantes por ser a maior área ocupada pela população urbana

e pode ser classificada como inundação ribeirinha. Já as inundações classificadas devido à urbanização é caracterizada como a enchente da qual é ocasionada pela desordem do crescimento das cidades e da inadequada rede de drenagem, que não sofre quaisquer tipos de manutenção ou ampliação. Dessa forma, a cada período chuvoso a frequência e a magnitude da enchente aumentam, da qual se agrava ainda mais com a maneira incoerente de ocupação do solo.

Para Filho *et al.* (2000) a urbanização pode causar diversos problemas ambientais, a se destacar o impacto direto no hidrograma de enchente, pois a urbanização diminui a infiltração e aumenta a velocidade do escoamento das águas pluviais na superfície. Consequência disto são das enchentes urbanas, que podem ser lentas ou rápidas, mas que geralmente se acumulam ao longo dos dias. Quando repentinas, geram elevados prejuízos materiais e podem provocar mortes. As inundações urbanas produzem uma série de situações emergenciais e altera completamente o a estrutura urbana, podendo-se destacar a falta do abastecimento de energia e água, abastecimento de alimentos e de combustíveis, acesso a transportes e aos sistemas de comunicações.

## **2.2 Evolução Histórica**

Os diversos problemas relacionados ao manejo e drenagem das águas pluviais tem seu agravamento explicado pelo contexto histórico do fenômeno de urbanização das cidades e pelo mau uso do solo ao longo dessa ocupação. Estudar essa evolução é fundamental para compreender a magnitude dos atuais problemas relacionados à inundação das cidades e propor as soluções que as integralize com o meio ambiente.

Baptista *et al.* (2011) enfatizam a toda a história da humanidade com uma profunda ligação das cidades com os cursos d'águas, visto a necessidade da disponibilidade das águas e no rejeito de dejetos das suas populações. Tal disponibilidade era tida como necessária também para as atividades agrícolas e artesanais. Na Idade Média, além do uso da água para fins de consumo, outro fator que passou a ser fundamental na ligação das cidades com os cursos d'água foi o papel militar, visto o favorecimento nas defesas dos sítios urbanos. Foi nessa época que têm-se datadas as primeiras obras de drenagem urbana implantadas pelos mesopotâmios, gregos e principalmente os romanos. Foi a partir daí que os problemas passaram a se agravar, pois observava-se o crescimento das inundações urbanas e com o risco de se tornar periódico. Associado a essa problemática ainda conta-

se ao fato de que o crescimento dessas cidades propiciou uma organização urbana de forma a não possuírem sistemas de esgotamento sanitário adequados para o descarte. Desse modo, as áreas das cidades passaram a ser ocupadas de forma estratégica, de modo que a população mais desprovida ocupava as regiões mais baixas e próximas aos leitos dos rios.

Alguns cursos d'água urbanos, já no século XVI, foram então cobertos e esquecidos até a ocorrência de eventos pluviais excepcionais, quando faziam seu reaparecimento, de forma muitas vezes dramáticas (Baptista *et al.* 2011).

É válido notar a importância da revolução industrial no processo de urbanização das cidades. Toda a concentração populacional que era rural convergiu para urbana no passo que se desenvolvia a revolução industrial. Nessas cidades industriais os problemas passaram a se agravar, destacando-se a falta de saneamento básico, ocupação desordenada do solo e o crescimento de endemias.

Para Filho *et al.* (2000) enchente não significa necessariamente catástrofe. O regime natural dos leitos dos rios passa pelo fenômeno de enchente e suas áreas vizinhas estão passíveis de alagamentos. Somente passam a ser um problema para a população quando o homem passa a ocupar as áreas alagadas dos rios e interferir diretamente em seu ciclo natural. Tais autores afirmam ainda que as ideias de canalização das águas pluviais surgiram no século XIX com utilização de sistemas que usavam a força da gravidade para direcionar essas águas para o leito mais próximo. Acrescentam que já no século XX o conceito de canalizar fora melhorado e passaram a ser empregados os modelos matemáticos, hidrológicos e hidráulicos para equacionar tais condutos. A partir daí surgiram as primeiras canalizações que separavam as águas pluviais dos esgotos domésticos. É com a intensa urbanização que surgiu a partir dos anos 50 que observa-se uma crise nos sistemas de drenagem devido à falta de manutenção e ampliação. Somente a partir dos anos 70 que surgem os primeiros projetos de medidas compensatórias para a drenagem urbana, principalmente na Europa e na América do Norte.

Nesse cenário que Filho *et al.* (2000) aborda a década de 1970 como o marco da abordagem tradicional de canalizações dos sistemas de drenagem atrelada ao uso de medidas sustentáveis, visto que as cidades passaram a não mais comportar somente a ampliação da malha de condutos. Segundo tais autores, a infraestrutura da época apresentava-se sobrecarregada e o foco deveria sair da rede de canais, onde aportava a

consequência do processo de urbanização, ou seja, o aumento da geração do escoamento. Daí surgem os primeiros trabalhos de controle na fonte, pensando-se principalmente na abordagem de técnicas que garantissem a infiltração da água pluvial no solo.

Tucci *et al.* (2015) associam o crescimento dos sistemas de drenagem diretamente com o crescimento populacional urbano, de tal modo que cerca de 50% da população mundial passe a ser urbana ao final deste século. No Brasil, ao longo das últimas décadas, teve um crescimento significativo da sua população urbana, principalmente a partir da década de 60, gerando cidades sem e/ou com infraestrutura precária. Os efeitos desse processo descontrolado de urbanização das cidades agravaram substancialmente as condições de atendimento do saneamento básico e os problemas sociais decorrentes. Nessas condições, destacam-se as enchentes urbanas e seus impactos sobre a sociedade, das quais ocorrem principalmente pelas cheias naturais dos leitos dos rios ou pela urbanização.

Canholi (2014) enfatiza as medidas tomadas pelos países desenvolvidos com ênfase na qualidade da água e sua utilização e em práticas de controles de inundações avançadas, ao passo que o Brasil ainda se encontra em processo de implantação dos sistemas de controle de enchentes. O fato de inexistir uma visão global da integração do sistema com o gerenciamento e o planejamento urbano acarreta no sucateamento das estruturas já existentes e no agravamento das doenças e seus vetores.

Segundo dados da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), somente a partir do século XX a drenagem de águas pluviais passa a ser obrigatória nos projetos de urbanização. Tucci *et al.* (2015) afirmam que em sua maioria, os municípios brasileiros não dispõem em seus Planos Diretores regras de ocupação dos terrenos urbanos, principalmente quando se trata de loteamentos e zoneamentos.

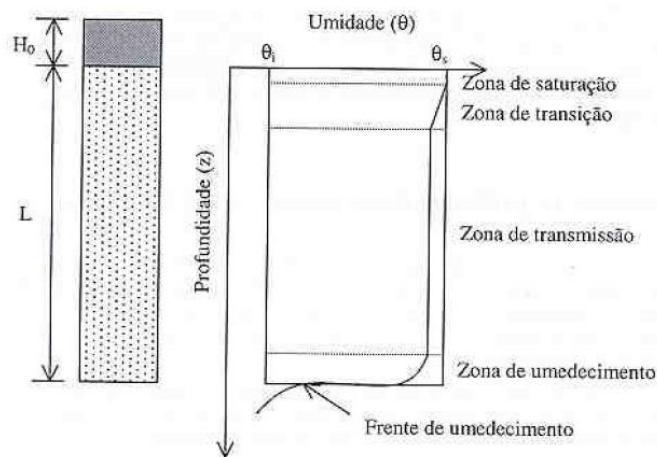
Canholi (2014) ressalta o avanço do Estado de São Paulo no controle das inundações a partir de medidas não convencionais na retenção das águas pluviais, a destacar os piscinões e bacias de retenção, ações de restauração dos leitos dos rios urbanos, além da ampliação dos sistemas de coleta de esgoto e de micro e macro drenagem.

### **2.3 Infiltração**

O processo de infiltração é tido como um dos mais importante processo quando se trata de medidas que visam amortecer os impactos da urbanização por meio da drenagem

urbana. Contudo, deve-se saber que naturalmente o solo tende a saturar devido a sua capacidade de percolação da água infiltrada. Segundo Brandão *et al.* (2012) à medida que a água infiltra no solo, as camadas superiores do perfil vão se umedecendo de cima para baixo, de forma a alterar gradativamente a umidade do solo. A zona mais próxima a superfície é a primeira a tornar-se saturada, uma vez que a taxa de infiltração tende a diminuir com relação a profundidade, conforme apresenta a Figura 01.

Figura 1 – Perfil de umidade do solo ao longo da infiltração.



Fonte: Brandão (2012).

Pode-se observar (Figura 1) que a zona de infiltração é a camada superficial com cerca de até 1,5 cm e é nesta camada que o solo costuma atingir rapidamente seu teor de umidade de saturação. A zona de transição é a camada de até 5 cm abaixo da zona de saturação e nela o teor de umidade decresce rapidamente com a profundidade. Já a zona de transmissão é caracterizada por uma pequena variação da umidade em relação ao tempo e ao espaço. A zona de umedecimento possui a característica de ter uma grande redução no teor de umidade com o aumento da profundidade. A frente de umedecimento possui um gradiente hidráulico relativamente menor e nessa camada a umidade sofre uma variação abrupta e representa o limite visível da movimentação de água no solo (Carvalho *et al.* 2006).

Carvalho *et al.* (2006) descrevem o processo inicial de infiltração como acelerada, principalmente quando o solo está bastante seco, e tende a decrescer ao longo do tempo, aproximando assintoticamente de um valor constante. Porém, quando o solo está previamente úmido, essa característica tende a não se prevalecer, uma vez que a infiltração se tornará lenta. Isso se dá pelo fato do gradiente hidráulico do solo ser menor (diferença

no potencial matricial da água no solo ser menor). Tais autores ainda comentam sobre os diversos fatores que influenciam no processo de infiltração; a saber:

- Condição da superfície – a natureza da superfície. Áreas urbanas costumam possuir menores velocidades de infiltração enquanto zonas rurais e agrícolas apresentam maiores velocidades;
- Tipo de solo - textura e estrutura são propriedades que influenciam expressivamente no processo;
- Umidade inicial do solo – o teor de umidade do solo vai influenciar diretamente na velocidade do processo;
- Carga hidráulica – espessura da lamina d'água sobre o solo, da qual quanto maior for, maior será a infiltração no solo;
- Temperatura – fator que influencia na viscosidade da água.

#### **2.4 Drenagem Urbana e Medidas compensatórias**

Sabemos que crescimento urbano acelerado e de forma desordenada, com a menor consciência ambiental acerca dos fatores que influenciam diretamente nas cheias, tem como resultado graves problemas para a população, iniciando uma crescente busca de soluções de tais problemas por meio da engenharia. Conforme Canholi (2014), o desenvolvimento urbano gerou a necessidade de uma integração na fase inicial dos projetos de drenagem, de forma que a geração de falhas na compatibilização acaba gerando projetos dispendiosos e sem viabilidade técnica-econômica.

Para Gonçalves *et al.* (2016), o aumento da ocupação das terras urbanizadas, que resultaram em ampliação de áreas impermeabilizadas, o destino das águas das chuvas sofreu significativas alterações, causando mudanças no ciclo hidrológico. Como forma de conter esse impacto, tem-se aplicado nas cidades o manejo sustentável das águas pluviais. Seu princípio é reduzir os danos promovidos pela impermeabilização do solo, diminuir a velocidade de escoamento superficial, diminuir as vazões máximas e a reduzir o seu tempo de concentração. Assim, o planejamento urbano precisa estar atrelado as técnicas sustentáveis de drenagem urbana, devendo, dessa forma, estimular a permanência de áreas com cobertura vegetal e a compensação das áreas construídas de modo a possibilitar escoamento natural das águas e a infiltração das mesmas no solo, reestabelecendo seu papel natural de recarga dos aquíferos.

Ainda segundo Canholi (2014) historicamente as obras propostas pelos engenheiros responsáveis pelos sistemas de drenagem eram estabelecidas por meio de estruturas civis de canalização dos escoamentos, criando aumento significativo na velocidade do escoamento superficial. Dessa forma, é possível notar que o problema da canalização somente transferia o problema das cheias para a jusante do leito receptor. Com tal situação há a necessidade de implantação de técnicas que possam compensar o agravamento do problema da urbaniza, podendo estas se restringir à diminuição dos espaços naturais.

Contudo, tem-se a necessidade do conhecimento específico da drenagem urbana, seus princípios e quais as formas de aplicação dentro do contexto urbano. Para Neto (2009) a drenagem pode ser compreendida como as instalações designadas a escoar o excedente das águas pluviais, seja na zona rural quanto na zona urbana. Uma vez na zona urbana, os sistemas de drenagem são definidos como o conjunto de medidas a serem tomadas que visem atenuar os prejuízos, ou riscos, decorrentes de inundações que a sociedade esteja inserida. De maneira geral, todas as águas provenientes das chuvas são lançadas nos cursos naturais d'água, que convergem por meio da ação da gravidade, seja com auxílio das medidas estruturais ou não.

Segundo o Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre (2005), alguns princípios devem ser praticados para que se tenha um melhor desenvolvimento do sistema de drenagem urbana no momento da elaboração do plano de ações, a se destacar:

1. A drenagem faz parte da infraestrutura urbana, portanto, deve ser planejada em conjunto com os outros sistemas, principalmente o plano de controle ambiental, esgotamento sanitário, disposição de material sólido e tráfego;
2. O escoamento durante os eventos chuvosos não pode ser ampliado pela ocupação da bacia, tanto num simples loteamento, como nas obras de macrodrenagem existentes no ambiente urbano;
3. Nas áreas ribeirinhas, o controle de inundações é realizado através de medidas estruturais e não-estruturais, que dificilmente estão dissociadas;
4. O controle deve ser realizado considerando a bacia como um todo e não em trechos isolados;
5. O controle de enchentes é um processo permanente;
6. É essencial uma gestão eficiente na manutenção de drenagem e na fiscalização da regulamentação.

Ainda de acordo com o Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre (2005) esses princípios são importantes no estudo da drenagem urbana porque o impacto da urbanização é transferido para jusante, onde quem produz o impacto geralmente não é o mesmo que sofre com o mesmo. Dessa forma, para um disciplinamento do problema, faz-se necessária a interferência da ação pública por meio da regulamentação e do planejamento.

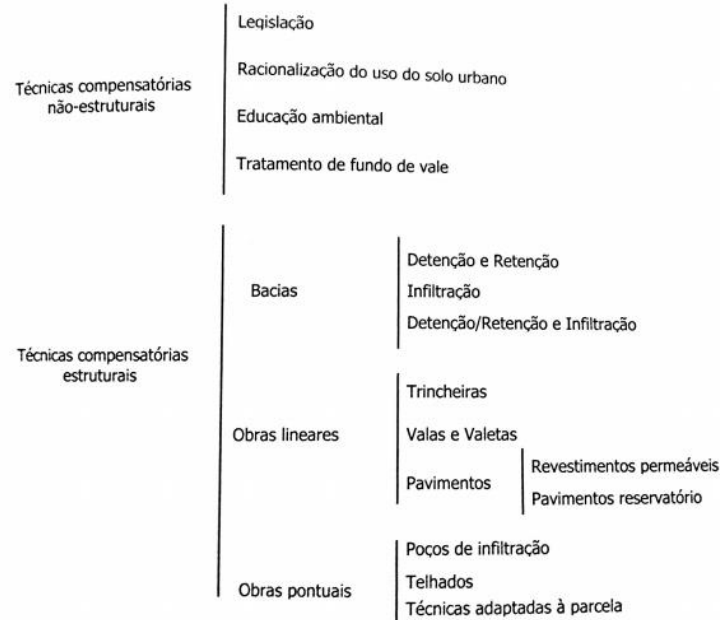
A idealização das técnicas compensatórias nos sistemas estruturais de drenagem surgem para atenuar o custo e o impacto ambiental das obras civis. Conforme Baptista *et al.* (2011) as medidas compensatórias baseiam-se principalmente na retenção e na infiltração das águas precipitadas visando o rearranjo temporal e/ou espacial das vazões provenientes das águas pluviais. Visa ainda integrar o sistema ao meio ambiente e ao tecido urbano, permitindo que seus usos resultem na combinação de diferentes tipos de soluções técnicas possibilitando a potencialização dos seus efeitos benéficos.

Para Baptista *et al.* (2011) nos primeiros dez minutos de chuva as águas carregam principalmente uma elevada carga de poluição, visto que essa água vai “lavar” a cidade. Partindo desse princípio, as técnicas compensatórias visam controlar a quantidade de água escoada superficialmente pelas galerias e leitos, de forma a empregar medidas de detenção ou infiltração para influenciar diretamente na velocidade do escoamento e favorecer a evapotranspiração, possibilitando a proteção da quantidade de água. São técnicas que podem ser consideradas alternativas por considerarem o impacto da urbanização de proporção global, por tomar o estudo de uma bacia hidrográfica inteira, buscando compensar de forma sistemática os efeitos da urbanização. Normalmente as técnicas compensatórias são implantadas por meio do controle na fonte (em lotes) da produção de excedente de água de forma a evitar a rápida transferência para as áreas a jusante e minimizando o problema da inundação das áreas ribeirinhas.

Dessa forma, podemos compreender as medidas estruturais convencionais e as técnicas compensatórias como as duas grandes vertentes do dimensionamento dos sistemas de drenagem urbana. Uma outra abordagem pode ser descrita ao passo que vão além das obras de engenharia. Neste caso, fala-se muito nas medidas não estruturais de controle, das quais as leis e legislação, ensino ambiental, racionalização do uso e ocupação do solo, além da fiscalização governamental, contribuem para o enriquecimento do sistema

global. A Figura 2 representa um esquema dos diversos tipos de técnicas compensatórias, segundos os diversos aspectos até então citados.

Figura 2 – Esquema dos diferentes tipos de medidas compensatórias.



Fonte: Baptista (2011).

#### 2.4.1 Medidas de controle estruturais

As medidas de controle estruturais compõem o sistema de drenagem possuindo uma série de elementos que se integram e proporcionam sua eficiência. Para o controle das águas pluviais nas grandes cidades, tem-se a necessidade de uma estrutura civil para que essas águas sejam direcionadas para o leito dos rios e evitar catástrofes de danos materiais humanos. Nesse sentido observa-se a importância desse sistema como fundamental, contudo, não necessariamente único para implantação de uma rede coletora.

Os sistemas estruturais de medidas de controle estruturais estão divididos em microdrenagem e macrodrenagem, sendo esta a classificação devido ao seu uso. O Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre (2005) define a microdrenagem como a rede primária do sistema de drenagem urbana sendo composta por condutos pluviais e estruturas de captação das águas e as conduzem ao sistema de macrodrenagem. Na elaboração de projeto das redes de microdrenagem, tem-se a necessidade do uso de mapas, conhecimento topográfico e da urbanização da localidade. Fazem parte dessa rede as bocas

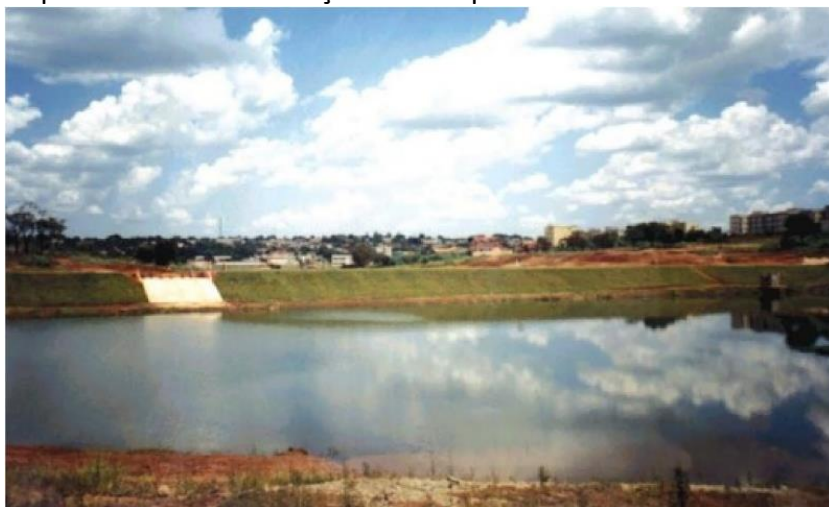
de lobo, os poços de visita e as tubulações de interligação (galerias). Já nos sistemas de macrodrenagem encontramos os canais.

O Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de Porto Alegre (2012) especifica a microdrenagem como sendo a estrutura de entrada no sistema de drenagem das bacias urbanas, sendo responsável pela captação e condução das águas pluviais que chegam aos elementos viários como ruas, praças e avenidas, além da captação proveniente das edificações e lotes lindeiros.

Quanto ao sistema de macrodrenagem, são compreendidas as estruturas de condução principais das bacias. Seu papel fundamental é concentrar o volume oriundo da microdrenagem e conduzi-lo ao leito receptor. Dentro desse sistema constitui-se como elementos integrantes os canais naturais ou construídos, reservatórios de retenção e detenção, além das galerias de grande porte. Nos dimensionamentos dos canais e dos condutos livres são utilizados os conhecimentos da hidráulica.

No que tange aos reservatórios de detenção e retenção, faz-se necessário a compreensão de que estes podem ser instalados para controle na fonte ou controle a jusante. Uma vez instalados na fonte, sendo estes de pequeno porte, permitem a utilização eficiente da drenagem a jusante, contudo, requer uma maior quantidade de unidades instaladas. Quando instalados os dispositivos de retenção ou detenção (Figura 3) no controle a jusante, envolvem uma menor quantidade de unidades e possuem uma maior capacidade de armazenamento do volume das águas pluviais. (Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais, 2005).

Figura 3 – Exemplo de bacia de detenção: Município de Uberaba.



Fonte: Canholi (2014).

Com uma forte tendência no uso de técnicas construtiva sustentáveis, com origem a partir da década de 1970, as técnicas compensatórias são medidas estruturais que surgem no âmbito da drenagem urbana para minimizar os impactos ambientais das medidas estruturais e contribuindo para a eficácia do sistema. Anteriormente foi discriminado acerca das medidas de controle na fonte, que agrega o conceito de infiltrar ou retardar as águas pluviais nos momentos iniciais do escoamento superficial. Essa abordagem tem sido fortemente desenvolvida com soluções ambientais que permitem um menor dano ambiental causado pelo efeito da impermeabilização do solo, principalmente.

Canholi (2014) aborda algumas soluções ecológicas como controle na fonte, ressaltando que estas medidas desempenham papel fundamental no controle da poluição difusa. São tidas como complementares àquelas de controle a jusante, garantindo o correto manejo dos eventos de altas e baixas frequências e promovendo o controle global da quantidade e da qualidade. Nos últimos anos ganharam espaços as soluções de drenagem urbana de baixo impacto, tidas como sustentáveis e ecológicas, consolidadas principalmente nos Estados Unidos, Reino Unido e Austrália. Destas medidas sustentáveis, pode-se citar os telhados verdes (Figura 4), pavimentos porosos permeáveis, poços e trincheiras de infiltração, sendo esses agentes do retardo do escoamento.

Figura 4 – Telhados verdes ecológicos, composto por jardins.



Fonte: Canholi (2014).

Figura 5 – Utilização de pavimentos porosos combinados com gramas, usados em espaços públicos.



Fonte: Canholi (2014).

Segundo Baptista *et al.* (2011) as técnicas compensatórias estruturais podem ser implantadas nos sistemas viários (ruas, praças, pátios, estacionamentos e arruamentos) com uma ampla gama de porte de áreas de drenagem associadas. Dentro dessas alternativas pode-se citar as trincheiras de infiltração, valas de retenção ou infiltração, dentre outros. Os autores ainda abordam dois aspectos importantes, sendo esses a viabilidade técnica e os critérios de seleção. Ao se tratar da viabilidade técnica, são concebidas propostas que visam enxugar as soluções até se chegar num grupo restrito de possíveis técnicas viáveis para aplicação na área a ser implantada. Com relação ao segundo aspecto, são levantadas questões pertinentes ao uso, finalidade, restrições de manutenção, custo admissível e aspecto urbanístico. Os autores ainda discriminam alguns aspectos físicos, a saber:

- Topografia do Local – análise da declividade do local de implantação para que existam condições de uma futura instalação de tubulações;
- Exultório Permanente – importante aspecto, uma vez que, haja a necessidade de uma evacuação das águas excedentes, não ocorram possíveis danos estruturais e materiais;
- Capacidade de infiltração e estabilidade do solo – análise da capacidade de infiltração do solo para dimensionamento das soluções compensatórias e o risco de dissolução do solo de forma a inviabilizar o processo de infiltração, bem como

visar possíveis problemas de estabilidade das obras de engenharia que possam requerer;

- Nível das águas subterrâneas – conhecer o nível do lençol freático influencia diretamente na capacidade de saturação do solo e sua infiltração.

#### 2.4.1.1 Poços de Infiltração

Os poços de infiltração são estruturas peculiares por se tratarem de dispositivos pontuais, concebidos para evacuar as águas pluviais diretamente ao subsolo por meio da infiltração, passando-se despercebidos nos ambientes onde são implantados. Suas superfícies drenantes podem variar de acordo com seu porte e também das condições locais, podendo variar de alguns metros quadrados a milhares de metros quadrados. As vantagens do uso desse tipo de técnica compensatória estão nas contribuições causadas pela infiltração, como por exemplo a alimentação da vegetação circundante à área de implantação e a recarga do lençol freático (Baptista *et al*, 2011). Os autores ainda argumentam sobre a capacidade dos poços, assim como as demais técnicas compensatórias fundamentadas na infiltração, reduzirem as vazões de pico e diminuir os volumes de água que vão para a rede estrutural convencional de drenagem. O modo de funcionamento dessa medida é bastante simples: as águas pluviais introduzidas na estrutura, pelo escoamento superficial ou pelo sistema de drenagem, infiltram diretamente no solo por meio da sua composição estrutural, conforme Figura 6. O armazenamento temporário das águas se faz em um poço vazio ou preenchido com materiais porosos, sendo na maioria das vezes de capacidade de armazenamento não tão grande, uma vez que em áreas maiores, essas estruturas acabam sendo utilizadas de maneira complementar a outras obras de armazenamento, com finalidade de exutório.

Figura 6 – Modos de introdução da água nos poços: pelo escoamento direto (esquerda) e pela rede de condutos do sistema (direita).

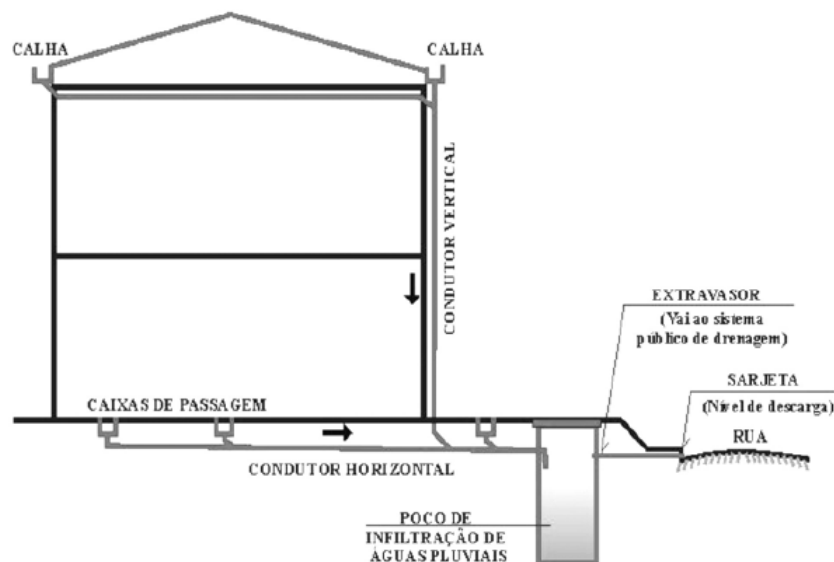


Fonte: Baptista *et al.* (2011).

Acerca dos aspectos construtivos dos poços, Reis *et al.* (2008) comenta sobre a colocação de um extravasor que direcione as águas em excesso para o sistema de drenagem novamente, ou quando o mesmo é utilizado diretamente na fonte, como mostrado na Figura 7. Essa recomendação está estritamente ligada quando os poços são instalados em subsolos, dos quais existem tampas de concreto, ou argamassada, sob uma camada de aterro.

Baptista *et al.* (2011) sugere ainda que os poços que recebam as águas diretamente das calhas dos telhados sejam com tampa aparente e de fácil localização para os usuários, uma vez que essas águas podem conter diversos rejeitos e acabem impedindo o pleno funcionamento da estrutura. Os poços devem receber manutenção periódica para evitar ainda outros problemas que impossibilitem sua plena operação, tais como a colmatção. Um outro fator a ser levado em consideração é a natureza da água a ser introduzida para infiltração, uma vez que o risco de contaminação do lençol. O conhecimento da composição dessas águas é primordial, ao passo de saber qual a origem, natureza da superfície drenada, dentre outros.

Figura 7 – Drenagem na fonte por poço de infiltração no subsolo.



Fonte: Reis *et al.* (2008).

Para a concepção dos poços, Baptista *et al.* (2011) sugerem que sejam realizados estudos de viabilidade e estudos de informações prévias. Ao se atentar no quesito da viabilidade, antes de qualquer dimensionamento prévio, se deve assegurar de que o

projeto esteja em conformidade com as medidas locais de proteção ao lençol freático; são desfavoráveis as regiões que se tenha uma rápida infiltração da água no solo por oferecer um alto risco de poluição do lençol freático. Em relação ao estudo de informações prévias, se deve conhecer e listar um conjunto de recomendações importantes para a implantação dos poços, tais como a presença de fundações de edificações próximas; presença de árvores, visto que a presença de folhas contribui para o fenômeno de colmatação; não instalar os poços próximos a encostas ou das redes do sistema de esgoto e drenagem urbana.

Uma informação prévia que deve se ter em mãos é a capacidade de absorção do subsolo. Baptista *et al.* (2011) indica o método adotado na Grã-Bretanha, que permite a determinação dos valores de capacidade de absorção para uma situação extrema. Essa capacidade de absorção do solo ser também determinada por outros métodos, como o infiltrômetro de anéis e o simulador de chuvas. A diferença entre os métodos está na capacidade de aferir o subsolo para a determinação das taxas.

#### **2.4.2** Medidas de controle não estruturais

As medidas não estruturais de controle de inundações e drenagem estão ligadas diretamente a legislação dos municípios para evitar tais problemas e aumentar a eficiência dos sistemas de drenagem urbana. Geralmente os municípios dispõem cartilhas ou até mesmo planos diretores específicos de drenagem urbana. No município de Barreiras, cidade da qual faz parte fundamental deste estudo, seu plano diretor urbano contempla orientações e disposições quanto a aprovação de novos projetos de caráter residencial ou comercial.

Nessas disposições a ocupação do solo de lotes não construídos deve obedecer uma porcentagem mínima exigida para permeabilidade da água no solo, controlando na fonte parte das águas pluviais. Algumas outras disposições podem ser utilizadas nos planos diretores, como o uso de uma faixa permeável nas zonas de serviços dos passeios públicos.

Um exemplo que Reis *et al.* (2008) cita é o da Lei nº 13.276 de janeiro de 2012, da cidade de São Paulo, onde estabelece a criação de pequenos reservatórios privados na fonte. Dessa forma, novas construções são obrigadas a amortecer as águas pluviais em seus terrenos de forma a retardar o escoamento total para os canais de macro. Isso se deu após os diversos episódios de alagamento que todos os anos a cidade de São Paulo passa. Essa

Lei, chamada de Lei das Piscininhas, já é realidade também em outras cidades, como Curitiba, Campinas, Campina Grande e Rio de Janeiro, dentre outras.

Outra medida é o investimento na educação ambiental, seja ela para crianças, jovens ou adultos. Nos períodos que antecedem as precipitações rotineiras das cidades, o lixo presente nas bocas de lobo, bueiros e nos canais de macrodrenagem acabam contribuindo para o entupimento do sistema e intensificando os alagamentos, transmissão de doenças e proliferação dos vetores. Outro fator associado à educação ambiental é o uso do solo consciente. Apesar da falta de fiscalização dos órgãos públicos, as pessoas ao ocupar o solo, deve ter consciência dos fatores associados ao mal uso do solo e à impermeabilização total do terreno.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Área de estudo**

##### **3.1.1 Caracterização da cidade de estudo**

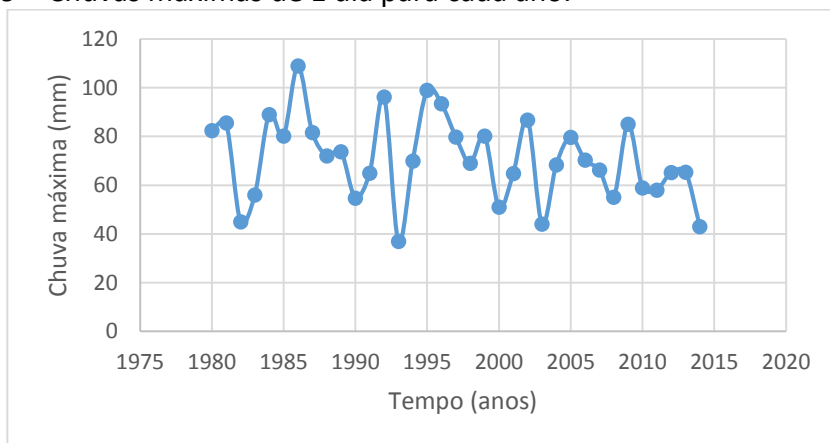
Dentro do contexto da expansão das cidades de forma desordenada a partir da década de 1970, o município de Barreiras, Bahia, é situada numa das regiões mais promissoras do agronegócio do estado, além de apresentar forte atividade comercial. Historicamente, conhecida como distrito do município de Angical e denominado de São João, teve seu rápido crescimento fundamentado no comércio trazido pelas embarcações que passavam pelo Rio Grande. Dentro de poucos anos sua população cresceu e em seguida foi emancipada e passou a se chamar Barreiras. A partir de então, é possível notar que a consolidação da cidade foi dada nas margens do Rio Grande e fundamentada num comércio que se fortalecia exclusivamente da rota fluvial.

Sua economia está fundamentada na forte atividade comercial e no agronegócio, além do crescimento da indústria da construção civil. Na educação o município tornou-se um polo universitário, com a presença de três instituições públicas de ensino superior e outras privadas. Nos tempos atuais, o resultado do crescimento da população e dos espaços urbanos de maneira desordenada tem causado diversos danos relacionados à



gráfico, os picos acima dos 80 mm de precipitação costumam a ocorrer em breves períodos de tempo, o que remete a ideia de que o município de Barreiras apresenta chuvas intensas com frequência.

Figura 9 – Chuvas máximas de 1 dia para cada ano.



Fonte: Autor.

No mês de janeiro de 2016, Barreiras sofreu um período de chuvas irregulares, que evidenciou a deficiência do seu sistema de drenagem. Diversos pontos da cidade sofreram alagamentos e toda a comunidade ribeirinha tornou-se vítimas da enchente do Rio Grande. Segundo um levantamento da COMDEC (2016) *apud* Carvalho *et al.* (2016) cerca de 32 pessoas desocuparam seus domicílios devido aos alagamentos. Os principais bairros atingidos pelos alagamentos foram: Cascalheira, Vila Brasil, Recanto dos Pássaros, Santa Luzia e Loteamento São Paulo (Figura 10).

Figura 10 – Ponto de alagamento no bairro Loteamento São Paulo em janeiro de 2016.



Fonte: Carvalho et al. (2016).

Os autores ainda citam os diversos problemas acusados pela COMDEC (2016) que levaram o município à condição de estado de emergência, tais como:

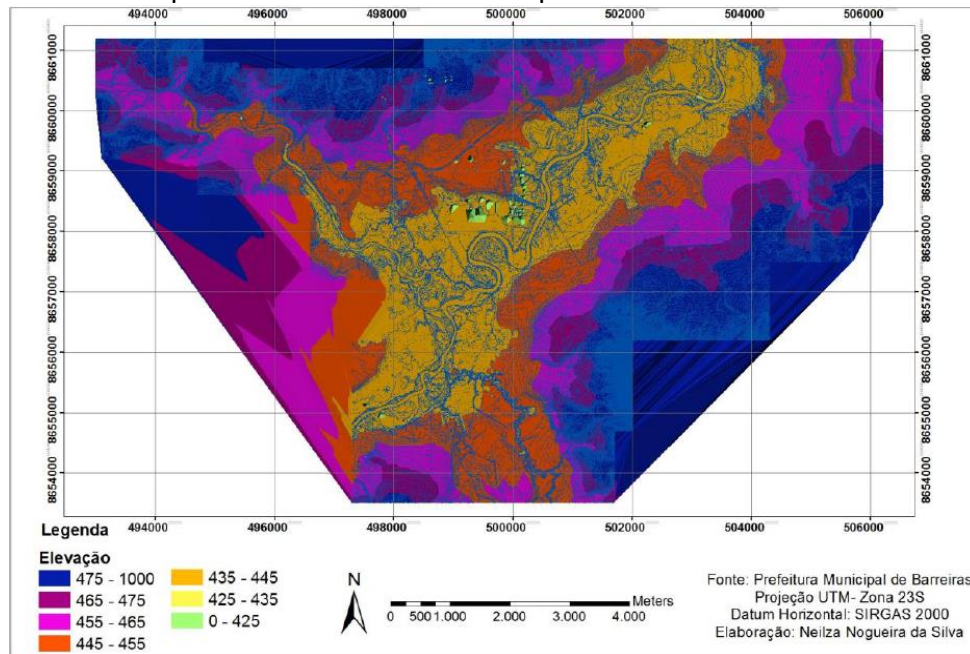
- Danos das vias urbanas e estradas vicinais, inviabilizando o transporte escolar, acesso das comunidades rurais ao centro urbano;
- Danos materiais das vítimas dos alagamentos;
- Risco de proliferação do mosquito aedes aegypt;
- Unidades habitacionais inutilizadas pelas inundações.

### **3.1.2** Caracterização da microbacia urbana

O estudo foi baseado tendo como base uma microbacia urbana no município de Barreiras, na região oeste do estado da Bahia. A delimitação de microbacias urbanas facilitam a análise dos componentes urbanísticos que estão diretamente ligados aos diversos usos de técnicas para dimensionamento e implantação dos sistemas de microdrenagem e macrodrenagem. Neste trabalho analisou-se a microbacia urbana de Barreiras, que foi delimitada por Silva (2016) em ambiente SIG, por meio do ArcGIS 10.4 (ESRI, 2014), a partir dos dados topográficos do perímetro urbano da cidade, com curvas de nível equidistantes a 1 m. Estes dados acima citados foram disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Barreiras.

A Figura 11 mostra o Modelo Digital de Elevação (MDE) de toda a área do perímetro urbano de Barreiras. Para tal representação, foram necessárias algumas correções nas curvas de nível com relação às suas cotas, por possuírem algumas inconsistências e suas isolinhas estarem descontínuas. Neste caso o Datum padrão adotado foi o SIRGAS 2000, Zona 23S. Dessa maneira, foi possível determinar uma microbacia definindo-se seus divisores de água a partir do MDE apresentado na Figura 10. Silva (2016) classificou a microbacia conforme a sua ocupação: terrenos baldios, lotes construídos, praças, arruamentos e área rural.

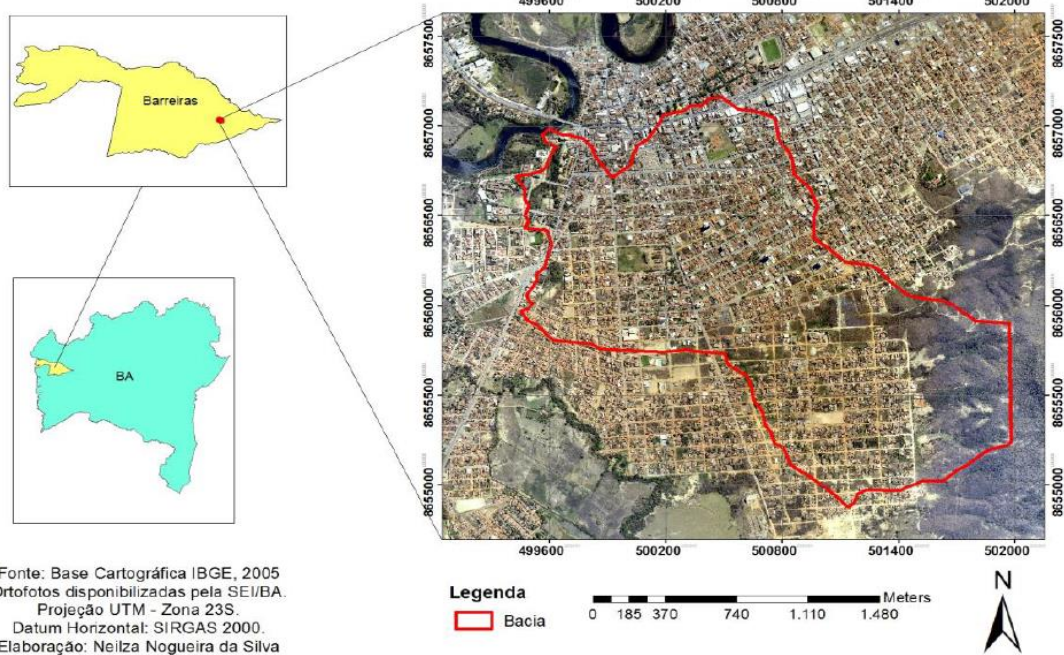
Figura 11 – MDE do perímetro urbano do município de Barreiras.



Fonte: Silva (2016).

A quantificação dessas áreas foi realizada por meio de polígonos e a área dos arruamentos foi determinada por meio da diferença entre a área total da bacia pelo somatório das demais áreas. Na Figura 12, apresenta-se a delimitação da microbacia e, na Figura 13, a divisão das áreas classificadas.

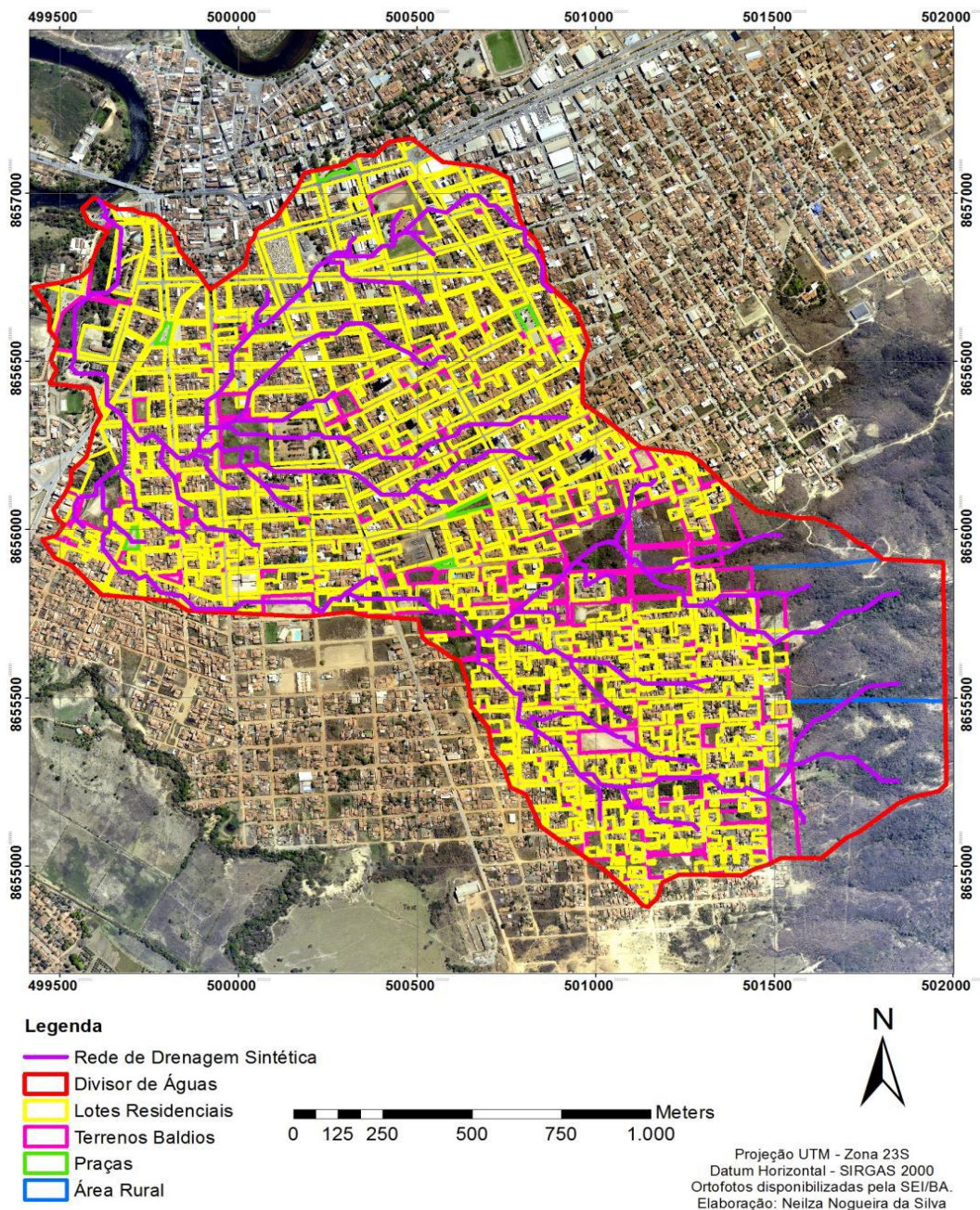
Figura 12 – Delimitação da microbacia estudada.



Fonte: Silva (2016).

Conforme Silva (2016), a área total da microbacia é de 298,1 ha, dos quais 144,3 ha (48,40%) são terrenos construídos, 51,8 ha (17,39%) são terrenos baldios, 1,24 ha (0,42%) são praças públicas, 40,00 ha (13,44%) são áreas rurais e 60,70 ha (20,36%) são áreas de arruamentos (Figura 13). Dessa maneira, pode-se observar que a microbacia é densamente ocupada, sendo que os lotes construídos ocupam a maior parte da área de drenagem das águas pluviais.

Figura 13 – Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia urbana de estudo.



Fonte: Silva (2016).

Historicamente o que se observa no município de Barreiras é a má ocupação do solo para a construção de edificações. Em seu Plano Diretor (PDDU), a área urbana do município está subdividida em zonas de ocupação. Cada zona é regida por parâmetros de ocupação, dos quais o índice mínimo de permeabilidade dos lotes deve ser da ordem de 10% a 20%. (Lei 1039/2013 – Barreiras-BA). É possível observar uma falta de fiscalização do poder público e a falta de consciência da população ao longo da urbanização da cidade, onde inúmeras residências não atendem aos parâmetros pré-estabelecidos no Plano Diretor.

### **3.2 Dimensionamento dos poços de infiltração**

#### **3.2.1 Determinação da taxa de absorção do solo**

Para a determinação da capacidade de absorção do solo foram realizados testes de infiltração conforme especificado por Brandão *et al.* (2012). A escolha pelo método do infiltrômetro de anéis metálicos (Figura 14) se deu pelo fato de ser o único conjunto de aparelhos disponíveis pelo laboratório de hidráulica da Universidade Federal do Oeste da Bahia.

Figura 14 – Anéis metálicos - Infiltrômetro.

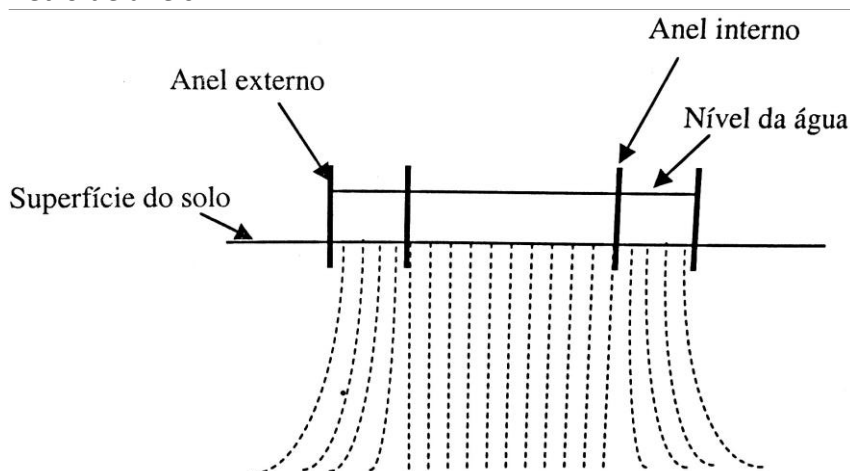


Fonte: Autor.

O equipamento utilizado que é composto por um anel metálico biselado com diâmetro de 500mm, com altura de 250mm; um anel metálico biselado com diâmetro de 250mm com altura de 250mm; um reservatório de alimentação do anel interno com régua, piezômetro e torneira de boia interligado por uma mangueira de PVC; um reservatório de alimentação do anel externo com torneira de boia interligado por uma mangueira de PVC; cronômetro digital.

O objetivo do anel externo é reduzir o efeito da dispersão lateral da água infiltrada do anel interno. Dessa forma, a água que infiltra no anel interno segue na direção vertical de forma predominante, conforme mostra a Figura 15. Na Figura é possível ainda observar que o nível da lâmina do anel exterior é mantida para garantir que a infiltração da água do anel interno permaneça na direção vertical.

Figura 15 – Esquema representativo da infiltração de água no solo por meio do infiltrômetro de anéis.



Fonte: Brandão *et al.* (2012).

A fase inicial do ensaio aconteceu por meio da cravação dos anéis no solo, de forma manual com marretas e um tronco de madeira para apoio (Figura 16), até ser atingida da profundidade de 150mm. O posicionamento dos anéis, após cravados no solo, deve ser mais centralizado possível, para minimizar incoerências no resultado.

Realizada a cravação dos anéis no solo, os reservatórios, acoplando as torneiras de boia, uma para cada anel. O reservatório com régua milimetrada abasteceu a lamina de água do anel inferior, para que fossem coletados os dados referentes à taxa de infiltração. O reservatório comum, também equipado com uma torneira de boia, manteve constante a lamina do anel externo, deixando o ensaio pronto para o início das leituras.

Figura 16 – Anéis metálicos do Infiltrômetro em posição para cravação no solo.



Fonte: Autor.

Brandão *et al.* (2012) descrevem que, com o decorrer do ensaio, deve se manter uma lâmina de 30 mm a 50 mm no cilindro interno. Uma vez utilizados reservatórios equipados com um dispositivo de boia (Figura 17), como este do presente trabalho, a realização do ensaio pode não precisar de uma recarga do volume de água que manterá a lâmina exigida. Quando desta forma, segue-se a leitura normal do decaimento do volume de água em relação ao tempo. Quando não se dispõe de reservatórios, à medida que se adiciona água no sistema, deve-se anotar a leitura na régua.

Figura 17 – Dispositivos de boias que controlam o nível de água dos anéis.



Fonte: Autor.

A duração do ensaio foi estabelecida conforme a taxa e infiltração permaneça constante com o tempo. Geralmente a taxa de infiltração é considerada constante quando as três últimas leituras da taxa de infiltração se repetem.

Vale salientar que o ensaio a partir do infiltrômetro de anel apresenta taxas de infiltração superestimadas, uma vez que não há a simulação do impacto das gotas de chuva no solo (efeito de encrostamento do solo). Outro fator que contribui para essa taxa de infiltração superestimada é a existência de uma lâmina de água sobre a superfície do solo, que foi deformada pela cravação dos anéis. Isso gera um aumento do gradiente hidráulico e na condutividade da água no solo.

Os simuladores de chuva podem também ser utilizados para se mensurar a taxa de infiltração de água no solo e tem capacidade de simular mais adequadamente as chuvas naturais. Entretanto, cada equipamento possui sua desvantagem e, neste caso, tem-se um aparelho de alto valor de aquisição, com manutenção mais complexa e variados modelos disponíveis no mercado. Tendo em vista o que foi exposto, optou-se pela escolha do infiltrômetro de anéis.

Para o presente trabalho foram escolhidas duas localidades para a realização de três ensaios de infiltração do solo, dentro da microbacia de estudo. Na Figura 18 apresenta-se as localizações das áreas dos ensaios dentro dos limites da microbacia. Os ensaios 1 e 2 foram realizados numa área mais próxima ao Rio Grande, no campus Administrativo (Reitoria) da Universidade Federal do Oeste da Bahia. Dentro do Campus (Localidade 1), foi escolhida a área de mata ao lado do estacionamento, que apresentou uma camada superficial de folhas das árvores locais, algumas raízes e vestígios de entulho, também na camada mais superficial do terreno. Na segunda Localidade foi escolhida no ponto médio da bacia, foi realizado em um fosso a 1,30 m de profundidade, dentro do canteiro de obras do empreendimento Santorini, da Solare Construtora (Localidade 2). O solo já apresentava sinais de umidade, levando a conclusão do quão elevado é o nível do lençol freático na região.

Figura 18 – Identificação dos locais de realização do ensaio de Infiltração.



Fonte: Autor.

Para efeito de classificação do solo quanto a sua velocidade de infiltração básica (VIB), por meio dos resultados obtidos nos ensaios com o auxílio da Figura 19.

Tabela 1 – Classificação do solo a partir da velocidade de infiltração básica (VIB).

<b>Tipos de Solo</b>	<b>VIB (cm/h)</b>
Solo de VIB muito alta	> 3,0
Solo de VIB alta	1,5 – 3,0
Solo de VIB média	0,5 – 1,5
Solo de VIB baixa	< 0,5

Fonte: Adaptado de Bernardo *et al.* (2006) *apud* Fagundes *et al.* (2012).

### 3.2.2 Equação de chuva máxima da área em estudo

Para realização da estimativa das chuvas intensas na cidade de Barreiras, foram adotadas as premissas descritas por Silva *et al.* (2002), da qual especifica a intensidade de

chuva por meio da Equação 1. Para tal determinação, foram estimadas as durações de 10, 20, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720 e 1440 minutos. Dessa forma, neste trabalho também foi adotado o mesmo intervalo de duração, com períodos de retorno de 2, 5, 10 e 20 anos. A Equação 1 permite a determinação da curva de IDF para um período de retorno superior (50 e 100 anos). Contudo, optou-se por considerar no dimensionamento dos poços somente para um valor intermediário, considerando que dentro desse período sejam revistas as condições de sua eficiência.

$$i = \frac{1525,758 \times T^{0,178}}{(t + 19,457)^{0,820}} \quad (1)$$

Em que:

i = Precipitação máxima média, em mm/h;

T = Período de retorno, em anos;

t = duração do evento, em minutos.

Para que Silva *et al.* (2002) descrevesse a Equação 1, os autores inicialmente partiram da premissa da Equação 2 e fizeram as adaptações necessárias a partir dos dados das estações meteorológicas de determinadas cidades baianas.

$$i = \frac{kT^a}{(t + b)^c} \quad (2)$$

Em que:

K, a, b, c = parâmetros empíricos que dependem da estação pluviométrica;

i = Intensidade, em mm/h;

T = Período de retorno, em anos;

t = Duração do evento, em min.

### 3.2.3 Dimensionamento

Para o dimensionamento dos poços, o procedimento adotado está descrito por Baptista *et al.* (2011), que especificam todas as etapas necessárias.

- a. Determinação das dimensões iniciais: a determinação do diâmetro inicial do dimensionamento se faz importante na etapa inicial do dimensionamento pelo fato de se ter, em algumas ocasiões, fatores que delimitem as medidas do poço. Já a profundidade é imposta pelos horizontes impermeáveis do solo. Geralmente, por razões de custos, não se deve adotar profundidades maiores do que 20 m;
- b. Determinação da Vazão de Descarga: a vazão de saída é determinada pela Equação 3, e, para a determinação da área de infiltração, faz-se necessária a consideração da natureza das águas pluviais, a presença de dispositivos de depuração e a realização de manutenção regular, conforme mostra a Figura 19;

$$Q = q_{as} \times A_{inf} \quad (3)$$

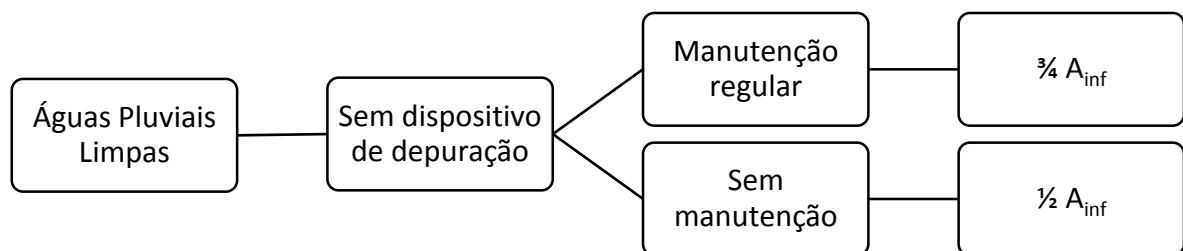
Em que:

Q = Vazão de descarga;

$A_{inf}$  = Área de infiltração a ser considerada, em  $m^2$ ;

$q_{as}$  = Capacidade de absorção por unidade de superfície infiltrante, em  $m^3/s/m^2$ ;

Figura 19 – Fluxograma de determinação da Área de infiltração.



Fonte: Adaptado de Azzout *et al.* (1994).

- c. Determinação do volume de água a armazenar: dimensionamento hidráulico que permite determinar o volume de água a armazenar no poço. Nessa etapa, se tem a necessidade de conhecer a curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência) e PDF (Profundidade-Duração-Frequência) da

localidade, bem como o período de retorno de projeto, conforme as Equações 4 e 5.

$$q_s = Q / A_a \quad (4)$$

Em que:

$A_a$  = Área de drenagem efetiva, dada pelo produto do coeficiente de escoamento e pela área total de contribuição, em  $m^2$ .

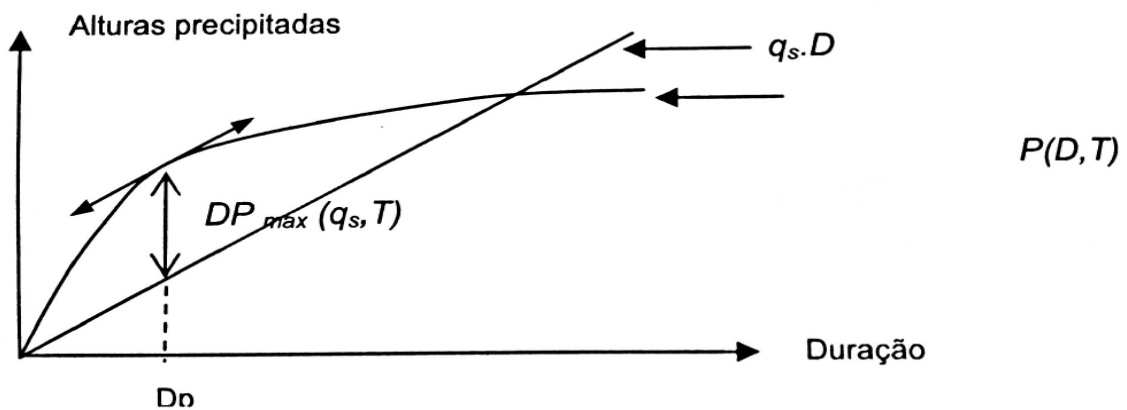
$$S_{\max} = DP_{\max} \times A_a \quad (5)$$

Em que:

$S_{\max}$  = Volume total a armazenar;

$DP_{\max}$  = Diferença da altura entre as curvas de PDF e  $q_s D$ , correspondendo às alturas a armazenar para diferentes durações (Figura 20).

Figura 20 – Determinação do valor de DP por meio da superposição da curva PDF e da curva  $q_s D$ .



Fonte: Baptista *et al.* (2011).

Inicialmente, para o dimensionamento do poço de infiltração, alguns fatores foram considerados. Assim, foi dimensionado um poço para cada localidade que foi aferida a taxa de absorção do solo. Por se tratar de uma medida compensatória localizada, a área de contribuição da drenagem foi de  $500 m^2$  para cada situação. Uma vez que a microbacia possui a característica de drenagem por vias asfaltadas, o coeficiente de escoamento adotado será de  $C = 0,70$ , conforme especificam Baptista *et al.* (2011). Devido a colmatação e a manutenção periódica do poço, optou-se estudar o dimensionamento para um período de retorno intermediário de 20 anos.

Serão propostos o diâmetro de 2,0 m, 3,0 m, 3,5 m e 4,0 m com uma profundidade de 4 metros, sendo a profundidade útil de 2 metros.

Assim, se obtém o valor da superfície efetiva sendo  $A_a = 500\text{m}^2$ .  $0,7 = 350 \text{ m}^2$ .

A área de infiltração tem uma relação direta com o diâmetro, conforme a Equação

6.

$$A_{\text{inf}} = \pi \times D \quad (6)$$

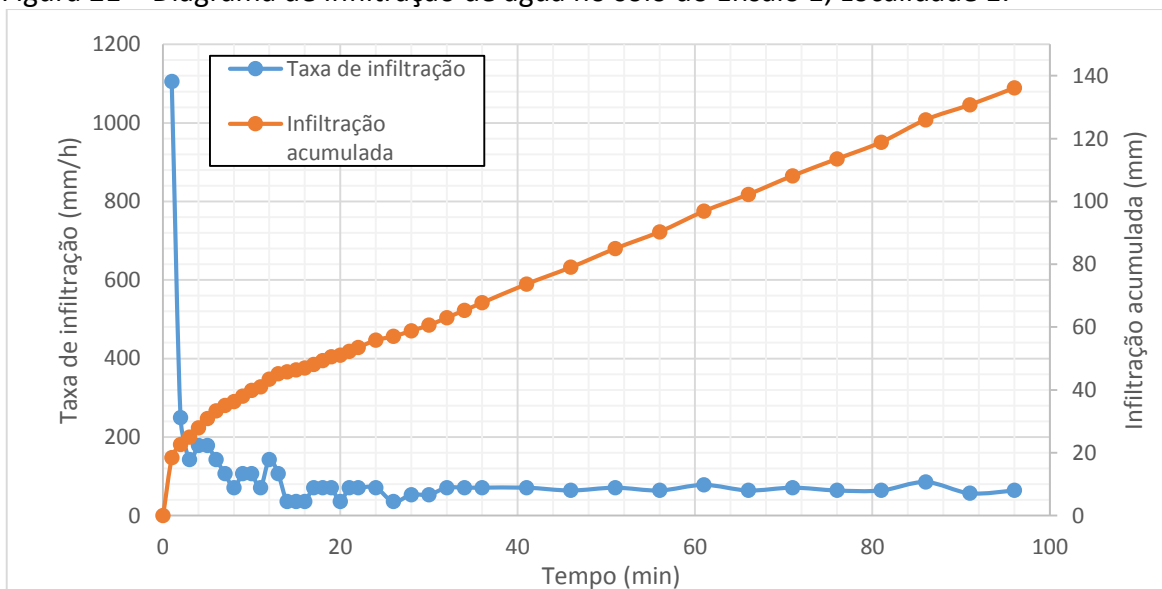
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Determinação da capacidade de absorção do solo

Com a determinação das localidades 1 e 2, por meio do ensaio do infiltrômetro de anéis metálicos, foi possível mensurar as taxas de infiltração, conforme são apresentadas nas Tabelas 1A, 2A e 3A (APÊNDICE A).

Na Figura 21 é possível observar a característica assintótica na infiltração acumulada nos primeiros 15 minutos de ensaio, ao passo que a infiltração cai drasticamente no mesmo intervalo de tempo. A partir desse intervalo já é possível notar que a curva passa a ter comportamento linear, contendo ainda algumas variações.

Figura 21 – Diagrama de Infiltração de água no solo do Ensaio 1, Localidade 1.

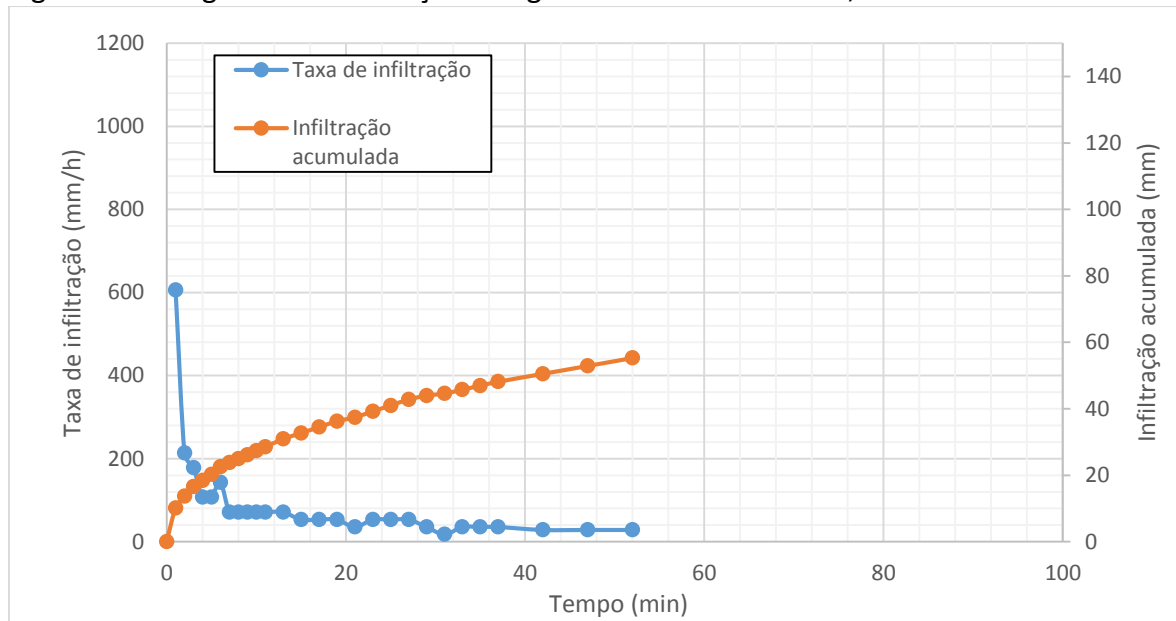


Fonte: Autor.

No segundo ensaio foi notável a diferença na taxa de infiltração inicial, comparado com o primeiro ensaio, tanto nas taxas de infiltração iniciais como nas finais. A curva da infiltração acumulada já apresenta, na Figura 22, uma certa regularidade na característica

assintótica, mostrando uma certa regularidade nos últimos pontos da curva. Conforme é possível notar na curva da taxa de infiltração, os últimos resultados se deram de forma constante, considerando-se então como a taxa de infiltração estável como parâmetro a ser utilizado para o dimensionamento dos poços de infiltração.

Figura 22 – Diagrama de Infiltração de água no solo do Ensaio 02, Localidade 1.



Fonte: Autor.

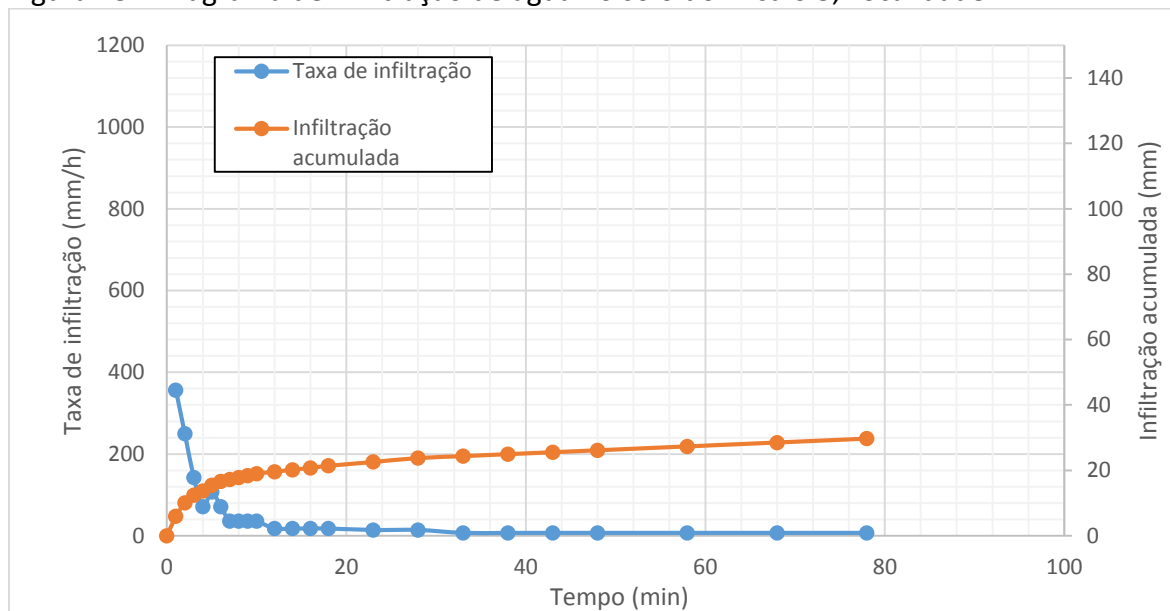
A distância entre dois equipamentos da localidade 1 foram de aproximadamente 10 metros e a característica observada do solo se mantém similar para ambos os ensaios. A taxa de infiltração entre os ensaios observada nas figuras anteriores possuem uma certa diferença que pode ser explicada pela hipótese da presença de vegetação mais densa no ensaio 1.

Quanto ao ensaio realizado na Localização 2, com uma variação da topografia do terreno e na condição do ensaio em profundidade de 1,30m de profundidade, a taxa de infiltração, quando comparado ao ensaio 2 da Localidade 1, bem como seu comportamento ao longo do tempo, conforme apresenta na Figura 23.

Na figura 23, pode-se nota que a taxa de infiltração bastante inferior, quando comparado este ensaio com os anteriores. Na curva de infiltração acumulada é possível notar a uma certa regularidade em sua assíntota, caracterizando uma taxa de infiltração

mais regular. Tal fato pode ser explicado pela presença de umidade no solo, constatada no momento da realização do ensaio.

Figura 23 – Diagrama de Infiltração de água no solo do Ensaio 3, Localidade 2.



Fonte: Autor.

Para efeito de cálculo, na primeira localidade, onde foram realizados os ensaios 1 e 2, foi utilizada a média do resultado dos primeiros ensaios, obtendo-se assim valor de 46,40 mm/h (Tabelas 1A e 2A, APÊNDICE A). Para os valores de infiltração da localidade 2 do ensaio 3 a taxa de infiltração a ser considerada no dimensionamento do poço foi o de 7,1 mm/h (Tabela 3A, APÊNDICE A).

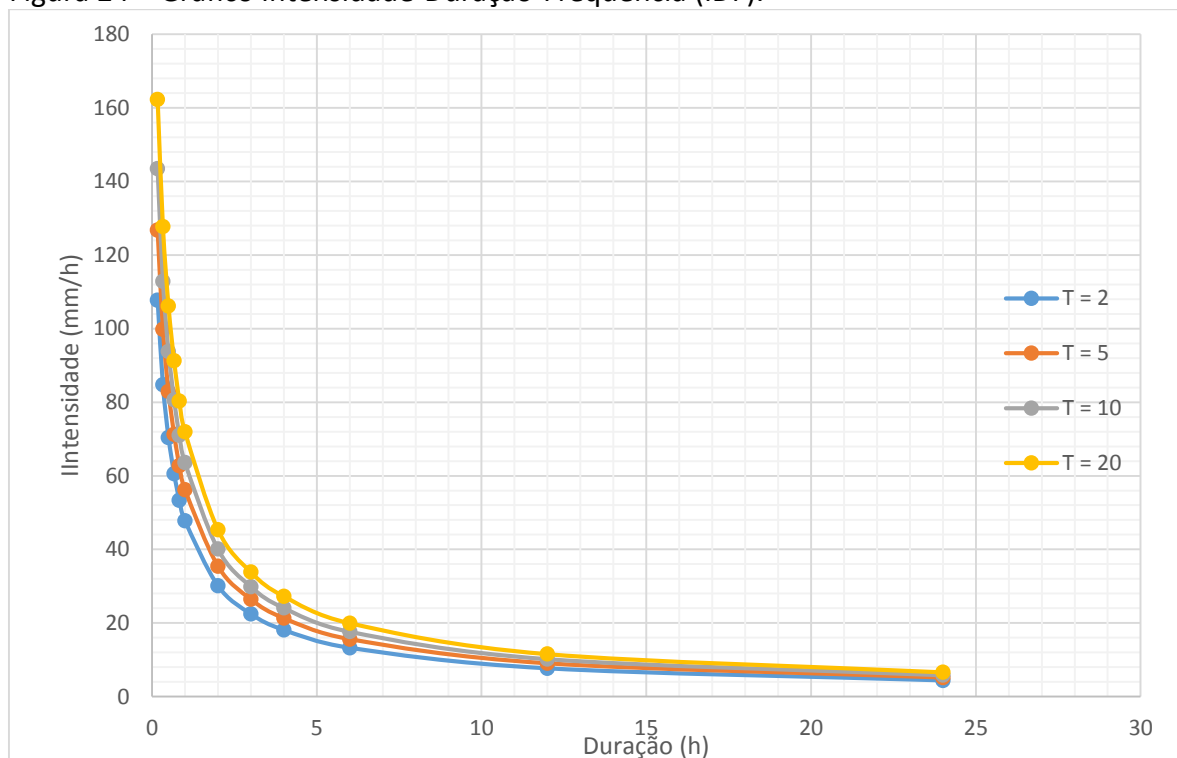
Fazendo a conversão adequada da taxa de absorção, obtemos  $q_{as} = 1,29 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$  para o solo mais próximo ao leito receptor (**Localidade 1**) e  $q_{as} = 1,97 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$  para o ponto médio da microbacia (**Localidade 2**).

A partir dos resultados obtidos, foi possível classificar o solo de acordo com as definições apresentadas na Tabela 1. Para a **Localidade 1**, conforme os resultados obtidos nos ensaios 1 e 2, o solo pode ser considerado como de **velocidade de infiltração básica muito alta**, ao passo que o solo da **Localidade 2**, de acordo com o resultado do ensaio 3, pode ser classificado como de **velocidade de infiltração básica média**.

## 4.2 Determinação da intensidade de chuva, diagramas IDF e PDF

Na Figura 24 se pode apresentar os valores de projeto para as intensidades nos períodos de retorno de 2, 5, 10 e 20 anos e durações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 240, 360, 720, 1440 minutos. Dessa maneira, a Tabela 4A (APÊNDICE A) apresenta os resultados das intensidades necessárias para a elaboração do diagrama IDF, Figura 24. Assim, é possível notar que, conforme o período de retorno é maior, a intensidade também será maior, atenuando, nesse caso, a curva para o período de retorno com 20 anos.

Figura 24 – Gráfico Intensidade-Duração-Frequência (IDF).

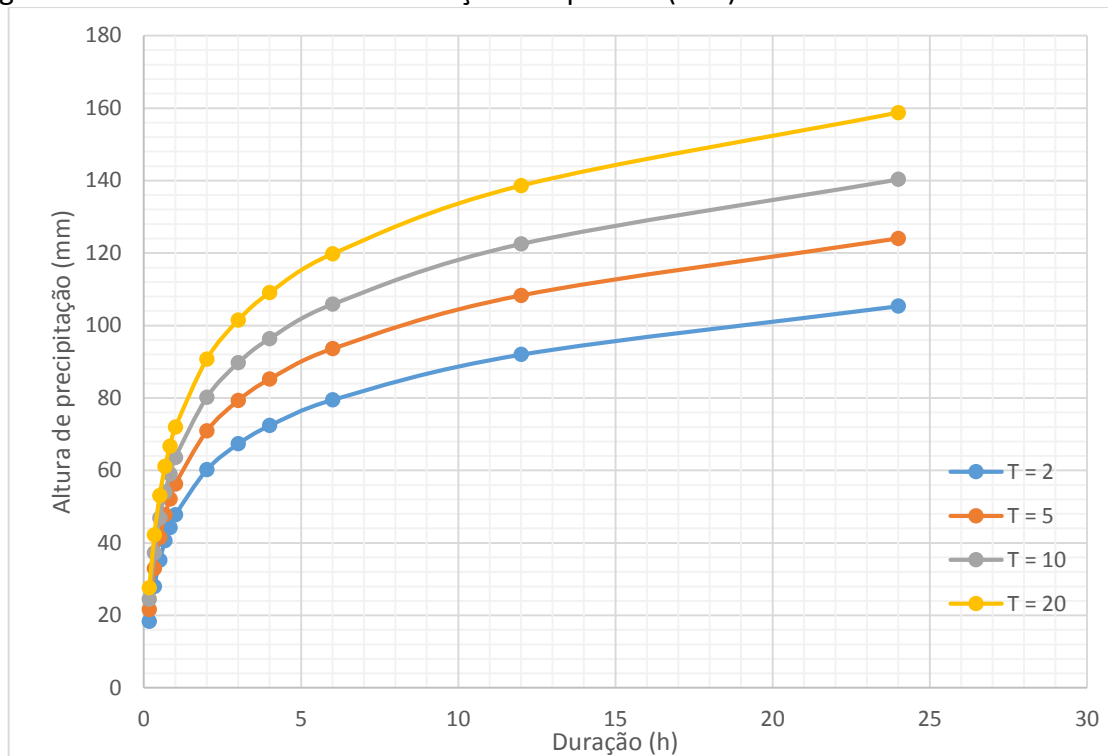


Fonte: Autor.

Como foi dito anteriormente, o produto da intensidade pela duração do fenômeno da chuva intensa nos gera os valores da altura da lâmina de precipitação para o mesmo valor da duração, conforme se nota na Tabela 5A (APÊNDICE A). O resultado é a curva PDF é apresentado na Figura 25. O que se nota é que quanto maior o período de retorno, maior são os valores críticos da altura da lâmina d'água, bem como a intensidade das chuvas. A equação de Silva *et al.* (2002) leva em consideração os períodos de retorno de 50 e 100 anos. Pelo fato de não se ter localizado na literatura a vida útil de um poço de infiltração,

adotou-se o período de retorno máximo de 20 anos, que será também o período a ser utilizado para o dimensionamento.

Figura 25 – Curva Profundidade-Duração-Frequência (PDF).



Fonte: Autor.

Na figura 25 é possível perceber que a tendência do gráfico IDF permanece quando passamos a analisar a altura da lâmina de precipitação. Tal tendência evidencia que nas primeiras horas a intensidade é maior, ocasionando um rápido crescimento da lâmina de precipitação. Como nos períodos de retorno mais longos se tem intensidades maiores, logo, estes ocasionam maiores lâminas principalmente nas primeiras horas de chuva.

### 4.3 Dimensionamento do Poço de Infiltração

### 4.3.1 Dimensionamento para a Localidade 1

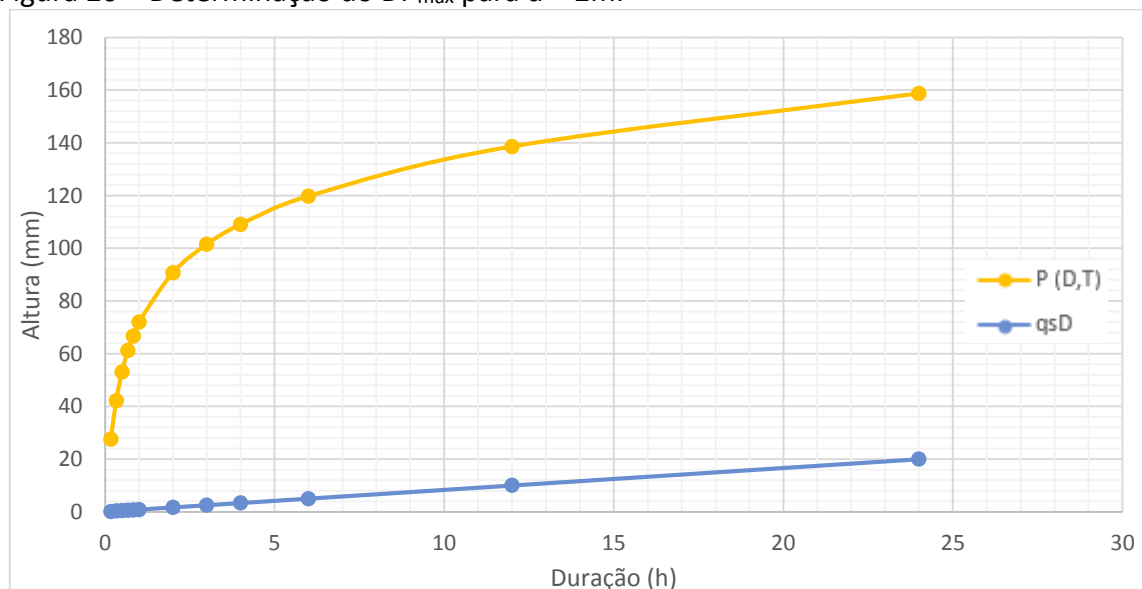
Com a determinação dos parâmetros das Equações 4 e 5, na Tabela 2 são apresentados os valores parciais para o desenvolvimento do dimensionamento.

Tabela 2 – Determinação da vazão específica  $q_s$ .

Diâmetro (m)	$A_{inf}$ (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	$q_s$ (mm/min)
2	6,28	0,0000810	0,01389
3	9,42	0,0001215	0,02083
3,5	10,99	0,0001418	0,02430
4	12,56	0,0001620	0,02778

A partir dos dados acima, chegamos aos gráficos da curva  $q_s D$ , do qual se pode determinar a diferença para a altura da lâmina de precipitação. Para tal elaboração, se faz necessária a determinação dos valores de  $q_s D$ , conforme são apresentados na Tabela 6A (APÊNDICE A). Também são apresentados os gráficos para cada diâmetro pré-estabelecido, tornando perceptível a diferença da altura de precipitação em relação à vazão específica.

Figura 26 – Determinação do  $DP_{max}$  para  $d = 2m$ .



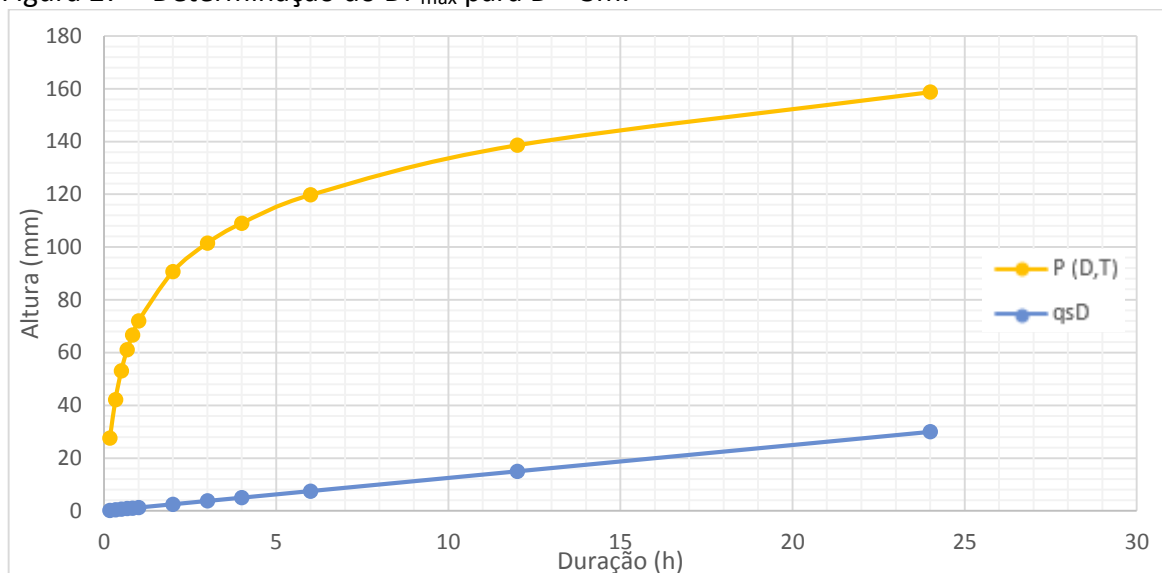
Fonte: Autor.

Na Figura 26 é possível notar que, para o intervalo de um dia de chuva, a altura da lâmina de precipitação tende a aumentar de forma mais acentuada do que a vazão

específica. Para o diâmetro de 2 metros a maior diferença está localizada no último ponto do período (24 horas), do qual representa o valor de  $DP_{max}$ .

Já na Figura 27 é possível notar um crescimento significativo na variação da vazão específica, tornando a curva levemente mais íngreme, diminuindo a diferença entre ela e a curva da altura de precipitação. Dessa forma, o valor de  $DP_{max}$  passa a ser menor do que valor encontrado para o diâmetro anterior.

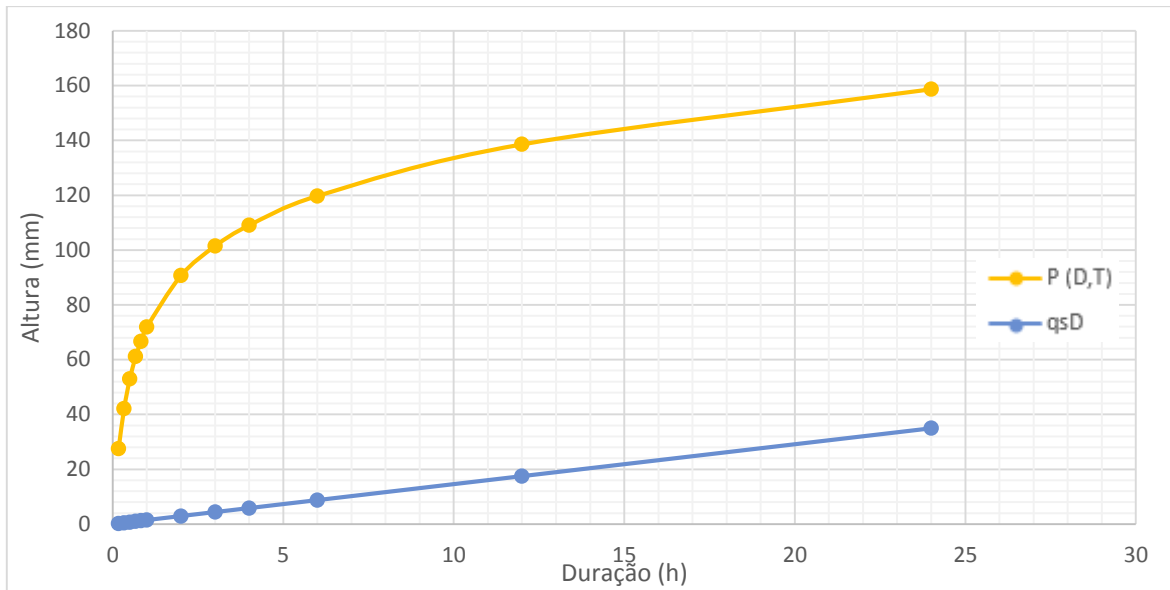
Figura 27 – Determinação do  $DP_{max}$  para  $D = 3m$ .



Fonte: Autor.

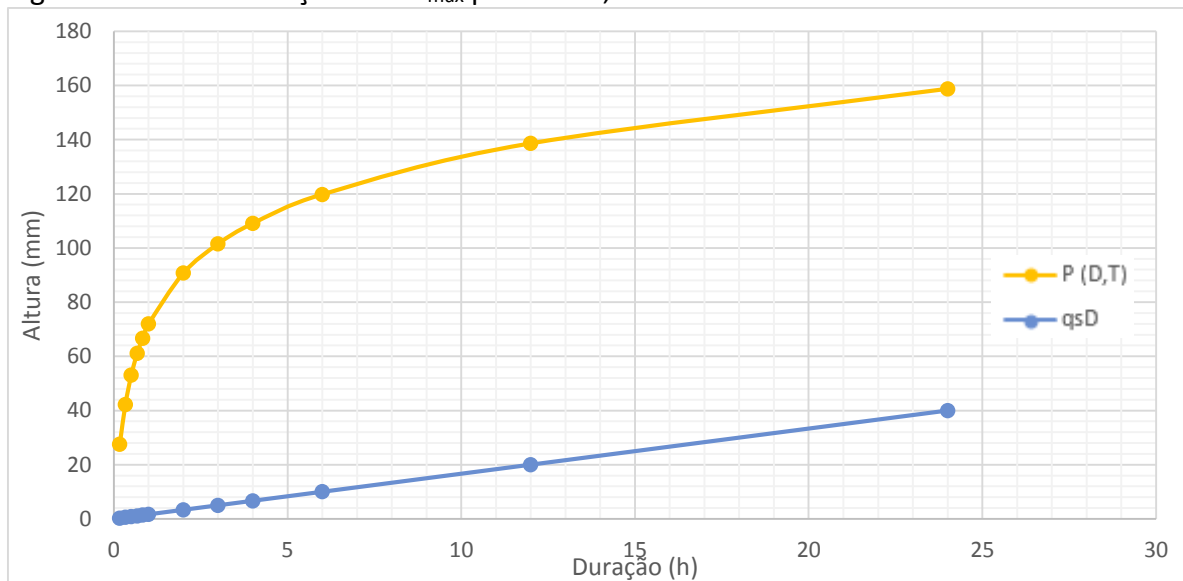
Ao analisar o gráfico da Figura 28 e o da Figura 29 é possível constatar que, à medida que se aumenta o diâmetro no pré-dimensionamento dos poços, a vazão específica aumenta, devido a sua relação direta com o diâmetro (conforme a Equação 3), e o valor de  $DP_{max}$  decai, uma vez que se tem o aumento da inclinação da curva de  $qsD$ .

Figura 28 – Determinação do  $DP_{max}$  para  $D = 3,5m$ .



Fonte: Autor

Figura 29 – Determinação do  $DP_{max}$  para  $D = 4,0m$ .



Fonte: Autor.

Na Tabela 3, especifica-se o dimensionamento final do poço para as características pré-estabelecidas. Podemos notar que o volume de água do poço que suporta o volume a ser infiltrado passa a ser válido somente quando o diâmetro utilizado é o de 4m, uma vez que apenas neste caso o volume geométrico foi superior ao volume armazenado. Dessa forma, no caso da Localidade 1, as dimensões de projeto que se adequam para a proposta é a de diâmetro de 4,0 metros, com capacidade de reservação / infiltração de  $41,55 \text{ m}^3$

para um período de retorno de 20 anos, considerando seu pico máximo e uma área de contribuição de 500m<sup>2</sup>.

Tabela 3 – Determinação do volume útil para o dimensionamento do poço de infiltração da Localidade 1.

Diâmetro (m)	A <sub>inf</sub> (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	q <sub>s</sub> (mm/min)	DP <sub>max</sub> (mm)	Volume a armazenar (m <sup>3</sup> )	Volume geométrico (m <sup>3</sup> )
2	6,28	0,0000810	0,013	148,720	52,052	12,56
3	9,42	0,0001215	0,020	128,726	45,054	28,26
3,5	10,99	0,0001418	0,024	123,726	43,304	38,46
4	<b>12,56</b>	<b>0,0001620</b>	<b>0,027</b>	<b>118,727</b>	<b>41,554</b>	<b>50,24</b>

#### 4.3.2 Dimensionamento para a Localidade 2

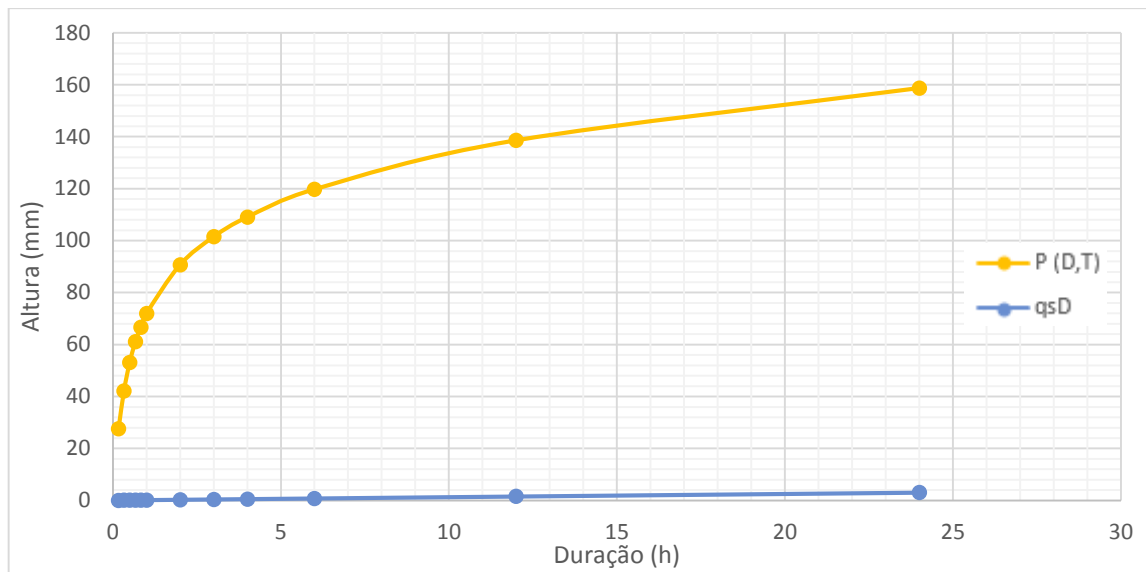
Para a Localidade 2, situada no ponto médio da microbacia, foram determinados os parâmetros a partir das Equações 4 e 5. Na Tabela 4 apresenta-se os valores parciais para o desenvolvimento do dimensionamento. Nessa situação, houve a alteração dos valores do diâmetro, visto que a taxa de absorção do solo é menor e exigirá uma maior superfície de infiltração.

Tabela 4 - Determinação da vazão específica q<sub>s</sub>.

Diâmetro (m)	A <sub>inf</sub> (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>2</sup> /s)	q <sub>s</sub> (mm/min)
2	6,28	0,0000124	0,002
3	9,42	0,0000186	0,003
4	12,56	0,0000247	0,004
4,5	14,13	0,0000278	0,004

A partir dos dados da Tabela 4, chegam-se aos gráficos da curva q<sub>s</sub>D, do qual se pode determinar a diferença para a altura da lâmina de precipitação. Para tal elaboração, se faz necessária a determinação dos valores de q<sub>s</sub>D, conforme são apresentados na Tabela 7A (APÊNDICE A). Também são apresentados os gráficos para cada diâmetro pré-estabelecido.

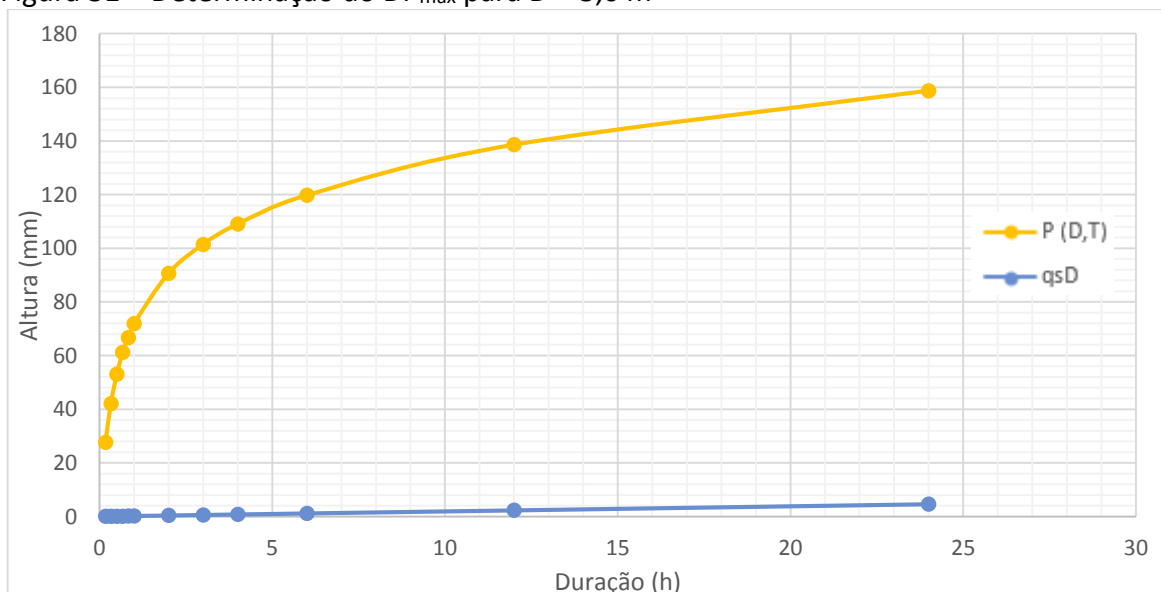
Figura 30 – Determinação do DP<sub>max</sub> para D = 2,0 m



Fonte: Autor.

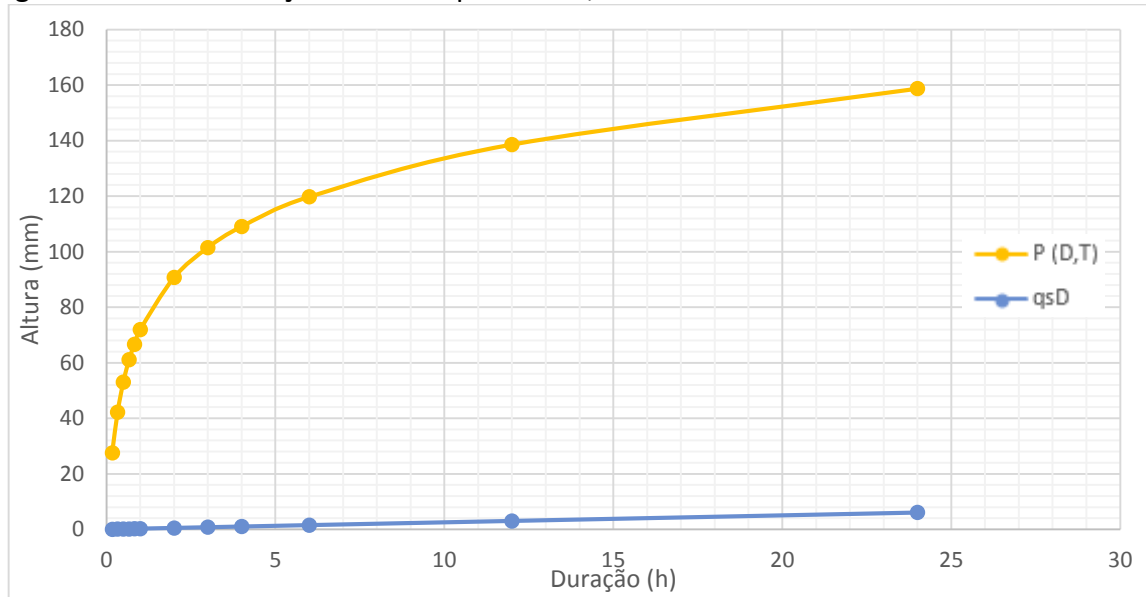
Na Figura 30 o que se pode observar é que a vazão específica tem um crescimento discreto ao longo do tempo ao passo que o crescimento da lâmina de precipitação aumenta de forma expressiva. A diferença entre essas alturas ( $DP_{max}$ ) foi determinado no último ponto conhecido do período de duração, por ter sido de uma ordem maior. Conforme foi verificado nos gráficos da situação da Localidade 1, aqui foi possível continuar no pensamento de que quanto maior é o diâmetro, menor será o valor do  $DP_{max}$ . Essa premissa pode ser verificada por meio dos gráficos apresentados abaixo, conforme Figura 31, Figura 33 e Figura 34.

Figura 31 – Determinação do  $DP_{max}$  para  $D = 3,0$  m



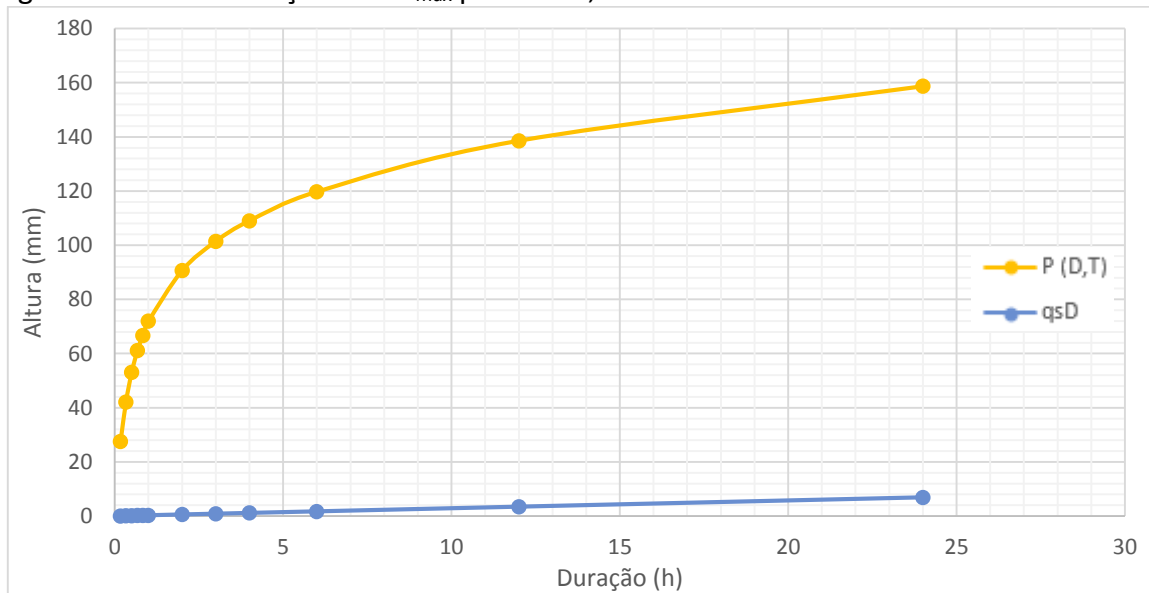
Fonte: Autor.

Figura 32 – Determinação do  $DP_{max}$  para  $D = 4,0$  m



Fonte: Autor.

Figura 33 – Determinação do  $DP_{max}$  para  $d = 4,5$  m



Fonte: Autor.

Tabela 5 - Determinação do volume útil para o dimensionamento do poço de infiltração da Localidade 2.

Diâmetro (m)	A <sub>inf</sub> (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	q <sub>s</sub> (mm/min)	DP <sub>max</sub> (mm)	Volume a armazenar (m <sup>3</sup> )	Volume geométrico (m <sup>3</sup> )
2	6,28	0,0000124	0,002	155,670	54,484	12,56
3	9,42	0,0000186	0,003	154,143	53,950	28,26
4	12,56	0,0000247	0,004	152,616	53,415	50,24
<b>4,5</b>	<b>14,13</b>	<b>0,0000278</b>	<b>0,004</b>	<b>151,852</b>	<b>53,148</b>	<b>63,58</b>

A partir dos diagramas acima apresentados, detiveram-se os valores das diferenças de alturas das curvas características, DP<sub>max</sub>, do qual se pode concluir o dimensionamento e determinar o diâmetro mais adequado para a situação da Localidade 2. Na tabela 5 apresenta os valores finais, onde se destaca o diâmetro de 4,5 metros, com os valores de volume a ser reservado compatível com o volume geométrico do poço, de maneira a suportar a reserva para a infiltração. Assim, para a Localidade 2, foi dimensionado o poço de infiltração com volume a armazenar para a infiltração na ordem de 53,15 m<sup>3</sup>, profundidade útil de 2,0 m, profundidade total de 4,0 m e diâmetro de 4,5 m, sendo o tempo de retorno de 20 anos e a área de contribuição de 500 m<sup>2</sup> dentro da microbacia.

Na localidade 1 da microbacia, na região mais próxima ao principal corpo receptor, um poço de infiltração nas dimensões de diâmetro igual a 4 metros, profundidade útil de 2 metros e profundidade total de 4 metros tem a capacidade de armazenar 41,55 m<sup>3</sup> nas situações mais críticas, num período de retorno de 20 anos.

Quando a localidade muda para uma área mais elevada da microbacia, Localidade 2, foi obtido uma taxa de absorção significativamente menor do que a da Localidade 1. Neste caso, um poço de infiltração se mostra eficiente para a mesma área de contribuição, sendo necessário um diâmetro de 4,5 metros, profundidade útil de 2 metros e uma profundidade total de 4 metros, obtendo-se, dessa maneira, uma capacidade de armazenar um volume de 50,15 m<sup>3</sup> aproximadamente. Ressalta a importância de avaliar a qualidade da água a ser infiltrada.

Com base nos valores obtidos no dimensionamento dos poços de infiltração da microbacia em estudo, a situação considerada a mais crítica pode ser observada na localidade 2, onde se tem a necessidade de um diâmetro maior para atender o volume da área de contribuição determinada (500m<sup>2</sup>) nas definições do pré-dimensionamento.

Silva (2016) determinou, em seu estudo na mesma microbacia, um volume total gerado pela precipitação urbana de 60.642,0 m<sup>3</sup> para toda a microbacia, considerando o

tempo de retorno de 20 anos e duração de 60 minutos, e avaliou a compensação deste por meio de reservatórios nos lotes, definindo esse volume nos lotes de 12,0 m<sup>3</sup>. Ao comparar os dados daquele trabalho com o do presente, verificou-se que os poços de infiltração poderiam amortecer, considerando a situação mais crítica (Localidade 2) e tempo de retorno também de 20 anos, cerca de 0,1% do volume excedente. No caso do trabalho de Silva (2016) foi observado dimensões inapropriadas de reservatórios quando considerado o espaço útil para implantação desta técnica a nível de lote.

Por outro lado, embora a capacidade de infiltração dos poços seja considerada boa, há na microbacia pouca área pública de praças disponível para tal finalidade. Contudo, torna-se importante frisar que a inclusão de diversas medidas compensatórias, mesmo que isoladamente e de baixa capacidade de maximização, são potencializadas quando inseridas conjuntamente. No caso da microbacia em estudo, por exemplo, a inclusão de poços de infiltração nas praças públicas, associada à implantação de trincheiras de infiltração ao longo dos passeios, podem reduzir a capacidade dos reservatórios nos lotes e, assim, ter viabilidade construtiva, econômica e ambiental.

## **5. CONCLUSÕES**

De acordo com os dados obtidos é possível concluir que a instalação de poços nas praças públicas da cidade de Barreiras, Bahia, para acumulação de águas pluviais com a finalidade de infiltrar no solo, reduzindo o escoamento superficial nos sistemas de microdrenagem e macrodrenagem, além de contribuir para o reabastecimento do aquífero, se mostrou viável e eficiente para o controle na fonte das inundações urbanas. Tal viabilidade se mostra eficiente quando analisamos uma pequena área de contribuição dentro da microbacia analisada.

O solo da microbacia em estudo, tendo como base os ensaios de infiltração de água, apresenta condições favoráveis para a implantação de medidas compensatórias que visam a infiltração das águas pluviais. Portanto, a hipótese do presente trabalho foi validada. Na localidade mais próxima ao leito do Rio Grande o solo pôde ser classificado como de alta infiltração, apresentando uma taxa de absorção acima dos 5 cm.h<sup>-1</sup>. No ponto médio da

microbacia, que possui uma topografia mais elevada, foi possível classificar o solo como de velocidade de infiltração média.

Técnicas de infiltração no contexto de áreas urbana quanto também das áreas de produção de grãos, especialmente na bacia do Rio Grande, pode ser uma imprescindível medida compensatória para minimização das vazões, especialmente aquelas de tempo seco dos rios, uma vez que esta bacia vem enfrentado redução das precipitações médias anuais, aumento das outorgas concedidas (superficiais e subterrâneas), principalmente para produção de grãos. Assim, sugere para trabalhos futuros:

- ✓ Avaliação de diversas alternativas de medidas compensatórias conjuntamente na microbacia em estudo, especialmente, trincheiras de infiltração, poços de infiltração e reservatórios nos lotes.
- ✓ Avaliação da capacidade de infiltração em áreas de produção de grãos;
- ✓ Avaliar o tempo de esvaziamento e funcionamento dos poços;
- ✓ Avaliar a qualidade da água de chuva para fins de recarga;

## 6. REFERÊNCIAS

AZZOUT, Y.; BARRAUD, S.; CRES, F. N.; ALFAKIH, E. **Techniques alternatives en assainissement pluvial**. Paris: Technique et Documentation – Lavoisier. 372 p. 1994.

BAPTISTA, M.; BARRAUD, S.; NASCIMENTO, N. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2ª edição. Porto Alegre: ABRH, 2011. Cap. 1, 2, 4 e 7.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIOM R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração da Água no Solo**. 3ª Edição. Viçosa: ed. UFV, 2012.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2ª Edição. São Paulo. Oficina de Textos, 2014.

CARVALHO, J. L. V.; SILVA, F. S. **Efeitos das precipitações ocorridas em janeiro de 2016 no município de Barreiras-Ba.** VI Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Cruz das Almas, Bahia. 2016.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Hidrologia.** Agosto de 2006. Cap. 3 e 5.

CETESB – Companhia Ambiental do Governo de São Paulo.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais.** Porto Alegre: ABRH, 2013. 366.p.

DORNELLES, F.; TASSI, R.; GOLDENFUM, J. A. (2010) Avaliação das técnicas de dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água de chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 15 (2), pp. 59-68.

FAGUNDES, E. A. A.; KOETZ, M.; RUDEL, N.; SANTOS, T. S.; PORTO, R. **Determinação da infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT.** ENCICLOPÉDIA BIOFESRA, Centro Científico Conhecer. Goiânia, 2012. V.8, N.14, p.369.

FILHO, A. G. A.; SZELIGA, M. R.; ENOMOTO, C. F. **Estudo de medidas não-estruturais para controle de inundações urbanas.** UEPG, 2000.

GONÇALVES, L. M.; BAPTISTA, L. F. S.; RIBEIRO, R. A.; **O uso de técnicas compensatórias de drenagem para controle de impactos da urbanização.** Periódico Eletrônico Fórum Ambiental do Alto Paulista. V. 12, n. 01, 2016, p. 92-106.

HOLMAN-DODDS, J. K.; BRADLEY, A. A.; POTTER, K. W. **Evaluation of Hydrologic Benefits of Infiltration Based Urban Storm Water Management.** JOURNAL OF THE AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION, Fevereiro 2003.

IBGE. **Censo Demográfico 2010.** Características da população e domicílios.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações Convencionais – Gráficos**. Acessado em 14 de setembro de 2017, disponível em:

[http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede\\_estacoes\\_conv\\_graf](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_conv_graf).

PREFEITURA MUNICIPAL DE BARREIRAS. **Lei 1039/2013 – “Definições do traçado do Perímetro Urbano do Município de Barreiras, e alterações do Anexo II da Lei nº647/2004.”** Diário Oficial, Ed. 1587, 21 de setembro de 2013. Ano 7. Barreiras, Ba.

NETO, A. C. **Introdução à Drenagem Urbana** - Sistemas Urbanos de Drenagem. Agência Nacional de Águas. 2009. Produções acadêmicas.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais – Aspectos tecnológicos: Diretrizes para projeto**. São Paulo. Volume III. 2012.

REIS, R. P. A.; OLIVEIRA, L. H.; SALES, M. M. **Sistemas de Drenagem na Fonte por Poços de Infiltração de Águas Pluviais**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre, 2008. V. 8, n. 2, p. 99-117.

SILVA, M. P.; COSTA, L. H. M.; CASTRO, M. A. H. **Aplicação do modelo de gestão de drenagem urbana SWMM no controle de alagamentos em barreiras-BA**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH. Bento Gonçalves, RS. 2013.

SILVA, D. D. da; FILHO, R. R. G.; PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F. Chuvas Intensas no Estado da Bahia. **REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**, V.6, N.2, p.362-367, 2002. Campina Grande, PB.

SILVA, N. N. **DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE LOTE PARA REDUÇÃO DO VOLUME DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM UMA MICROBACIA URBANA NO MUNICÍPIO DE BARREIRAS, BA**. Universidade Federal do Oeste da Bahia, 2016. Barreiras-Ba.

UFRGS. **Manual de drenagem urbana** – Porto Alegre/RS. UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. VI Edição. 2005.

TUCCI, C. E. M. & BERTONI, J.C., **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre, ABRH, 2003.

TUCCI, C. E. M.; BARROS, M. T. L.; PORTO, R. L. L. **Drenagem Urbana**. 1ª Edição. Volume 5. Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH. 2015.

## APÊNDICE A

Tabela 1A – Taxa de infiltração do Ensaio 1.

<b>Tempo (min)</b>	<b>h reserv. (mm)</b>	<b><math>\Delta h</math> reserv. (mm)</b>	<b><math>\Delta h</math> anel int. (mm)</b>	<b>Infil. acum. (mm)</b>	<b>Taxa de infil. (mm/min)</b>	<b>Taxa de infil. (mm/h)</b>
0	45	-	-	-	-	-
1	76	31	18,4	18,4	18,4	1105,7
2	83	7	4,2	22,6	4,2	249,7
3	87	4	2,4	25,0	2,4	142,7
4	92	5	3,0	27,9	3,0	178,3
5	97	5	3,0	30,9	3,0	178,3
6	101	4	2,4	33,3	2,4	142,7
7	104	3	1,8	35,1	1,8	107,0
8	106	2	1,2	36,3	1,2	71,3
9	109	3	1,8	38,0	1,8	107,0
10	112	3	1,8	39,8	1,8	107,0
11	114	2	1,2	41,0	1,2	71,3
12	118	4	2,4	43,4	2,4	142,7
13	121	3	1,8	45,2	1,8	107,0
14	122	1	0,6	45,8	0,6	35,7
15	123	1	0,6	46,4	0,6	35,7
16	124	1	0,6	47,0	0,6	35,7
17	126	2	1,2	48,1	1,2	71,3
18	128	2	1,2	49,3	1,2	71,3
19	130	2	1,2	50,5	1,2	71,3
20	131	1	0,6	51,1	0,6	35,7
21	133	2	1,2	52,3	1,2	71,3
22	135	2	1,2	53,5	1,2	71,3
24	139	4	2,4	55,9	1,2	71,3
26	141	2	1,2	57,1	0,6	35,7
28	144	3	1,8	58,8	0,9	53,5
30	147	3	1,8	60,6	0,9	53,5
32	151	4	2,4	63,0	1,2	71,3
34	155	4	2,4	65,4	1,2	71,3
36	159	4	2,4	67,8	1,2	71,3
41	169	10	5,9	73,7	1,2	71,3
46	178	9	5,3	79,1	1,1	64,2
51	188	10	5,9	85,0	1,2	71,3
56	197	9	5,3	90,4	1,1	64,2
61	208	11	6,5	96,9	1,3	78,5
66	217	9	5,3	102,2	1,1	64,2
71	227	10	5,9	108,2	1,2	71,3
76	236	9	5,3	113,5	1,1	64,2
81	245	9	5,3	118,9	1,1	64,2
86	257	12	7,1	126,0	1,4	85,6
91	265	8	4,8	130,8	1,0	57,1

96	274	9	5,3	136,1	1,1	64,2
----	-----	---	-----	-------	-----	------

Tabela 2A – Taxa de infiltração do Ensaio 2.

<b>Tempo (min)</b>	<b>h reserv. (mm)</b>	<b><math>\Delta h</math> reserv. (mm)</b>	<b><math>\Delta h</math> anel int. (mm)</b>	<b>Infilt. acum. (mm)</b>	<b>Taxa de infil. (mm/min)</b>	<b>Taxa de infil. (mm/h)</b>
<b>0</b>	134	-	-	-	-	-
<b>1</b>	151	17	10,1	10,1	10,1	606,3
<b>2</b>	157	6	3,6	13,7	3,6	214,0
<b>3</b>	162	5	3,0	16,6	3,0	178,3
<b>4</b>	165	3	1,8	18,4	1,8	107,0
<b>5</b>	168	3	1,8	20,2	1,8	107,0
<b>6</b>	172	4	2,4	22,6	2,4	142,7
<b>7</b>	174	2	1,2	23,8	1,2	71,3
<b>8</b>	176	2	1,2	25,0	1,2	71,3
<b>9</b>	178	2	1,2	26,2	1,2	71,3
<b>10</b>	180	2	1,2	27,3	1,2	71,3
<b>11</b>	182	2	1,2	28,5	1,2	71,3
<b>13</b>	186	4	2,4	30,9	1,2	71,3
<b>15</b>	189	3	1,8	32,7	0,9	53,5
<b>17</b>	192	3	1,8	34,5	0,9	53,5
<b>19</b>	195	3	1,8	36,3	0,9	53,5
<b>21</b>	197	2	1,2	37,4	0,6	35,7
<b>23</b>	200	3	1,8	39,2	0,9	53,5
<b>25</b>	203	3	1,8	41,0	0,9	53,5
<b>27</b>	206	3	1,8	42,8	0,9	53,5
<b>29</b>	208	2	1,2	44,0	0,6	35,7
<b>31</b>	209	1	0,6	44,6	0,3	17,8
<b>33</b>	211	2	1,2	45,8	0,6	35,7
<b>35</b>	213	2	1,2	47,0	0,6	35,7
<b>37</b>	215	2	1,2	48,1	0,6	35,7
<b>42</b>	219	4	2,4	50,5	0,5	28,5
<b>47</b>	223	4	2,4	52,9	0,5	28,5
<b>52</b>	227	4	2,4	55,3	0,5	28,5

Tabela 3A – Taxa de infiltração do Ensaio 3.

<b>Tempo (min)</b>	<b>h reserv. (mm)</b>	<b><math>\Delta h</math> reserv. (mm)</b>	<b><math>\Delta h</math> anel int. (mm)</b>	<b>Infilt. acum. (mm)</b>	<b>Taxa de infil. (mm/min)</b>	<b>Taxa de infil. (mm/h)</b>
<b>0</b>	85	-	-	-	-	-
<b>1</b>	95	10	5,9	5,9	5,9	356,7
<b>2</b>	102	7	4,2	10,1	4,2	249,7
<b>3</b>	106	4	2,4	12,5	2,4	142,7
<b>4</b>	108	2	1,2	13,7	1,2	71,3
<b>5</b>	111	3	1,8	15,5	1,8	107,0
<b>6</b>	113	2	1,2	16,6	1,2	71,3
<b>7</b>	114	1	0,6	17,2	0,6	35,7
<b>8</b>	115	1	0,6	17,8	0,6	35,7
<b>9</b>	116	1	0,6	18,4	0,6	35,7
<b>10</b>	117	1	0,6	19,0	0,6	35,7
<b>12</b>	118	1	0,6	19,6	0,3	17,8
<b>14</b>	119	1	0,6	20,2	0,3	17,8
<b>16</b>	120	1	0,6	20,8	0,3	17,8
<b>18</b>	121	1	0,6	21,4	0,3	17,8
<b>23</b>	123	2	1,2	22,6	0,2	14,3
<b>28</b>	125	2	1,2	23,8	0,2	14,3
<b>33</b>	126	1	0,6	24,4	0,1	7,1
<b>38</b>	127	1	0,6	25,0	0,1	7,1
<b>43</b>	128	1	0,6	25,6	0,1	7,1
<b>48</b>	129	1	0,6	26,2	0,1	7,1
<b>58</b>	131	2	1,2	27,3	0,1	7,1
<b>68</b>	133	2	1,2	28,5	0,1	7,1
<b>78</b>	135	2	1,2	29,7	0,1	7,1

Tabela 4A – Determinação da Intensidade (mm/h) para o tempo de retorno de 2, 5, 10 e 20 anos.

<b>Duração (min)</b>	<b>Período de Retorno</b>			
	<b>T = 2</b>	<b>T = 5</b>	<b>T = 10</b>	<b>T = 20</b>
10	107,72	126,81	143,46	162,30
20	84,77	99,78	112,89	127,71
30	70,43	82,91	93,80	106,12
40	60,56	71,29	80,65	91,24
50	53,31	62,76	71,00	80,32
60	47,74	56,20	63,58	71,93
120	30,10	35,43	40,09	45,35
180	22,44	26,42	29,89	33,82
240	18,09	21,29	24,09	27,26
360	13,24	15,59	17,64	19,96
720	7,66	9,02	10,20	11,54
1440	4,39	5,16	5,84	6,61

Tabela 5A – Determinação da Altura de precipitação (mm).

Duração (h)	Período de Retorno (anos)			
	T = 2	T = 5	T = 10	T = 20
0,17	18,314	21,558	24,389	27,592
0,33	27,974	32,930	37,254	42,146
0,5	35,219	41,458	46,902	53,061
0,67	40,579	47,767	54,040	61,136
0,83	44,253	52,092	58,933	66,671
1	47,749	56,207	63,588	71,938
2	60,209	70,875	80,182	90,711
3	67,346	79,277	89,687	101,464
4	72,376	85,198	96,386	109,042
6	79,489	93,571	105,858	119,759
12	91,990	108,287	122,506	138,593
24	105,352	124,016	140,301	158,724

Tabela 6A – Determinação dos valores da vazão específica para cada duração.

Duração (min)	d = 2 m	d = 3 m	d = 3,5 m	d = 4 m
<b>10</b>	0,134	0,208	0,243	0,277
<b>20</b>	0,277	0,416	0,486	0,555
<b>30</b>	0,416	0,624	0,729	0,833
<b>40</b>	0,555	0,833	0,972	1,111
<b>50</b>	0,694	1,041	1,211	1,388
<b>60</b>	0,833	1,249	1,458	1,666
<b>120</b>	1,666	2,499	2,916	3,333
<b>180</b>	2,499	3,749	4,374	4,999
<b>240</b>	3,333	4,999	5,832	6,666
<b>360</b>	4,999	7,4993	8,749	9,999
<b>720</b>	9,999	14,998	17,498	19,998
<b>1440</b>	19,999	29,997	34,997	39,996

Tabela 7A – Determinação dos valores da vazão específica para cada duração.

<b>Duração (min)</b>	<b>d = 2 m</b>	<b>d = 3 m</b>	<b>d = 4 m</b>	<b>d = 4,5 m</b>
<b>10</b>	0,021	0,031	0,042	0,047
<b>20</b>	0,042	0,063	0,084	0,095
<b>30</b>	0,063	0,095	0,127	0,143
<b>40</b>	0,084	0,127	0,169	0,190
<b>50</b>	0,106	0,159	0,212	0,238
<b>60</b>	0,127	0,190	0,254	0,286
<b>120</b>	0,254	0,381	0,509	0,572
<b>180</b>	0,381	0,572	0,763	0,858
<b>240</b>	0,509	0,763	1,018	1,145
<b>360</b>	0,763	1,145	1,527	1,717
<b>720</b>	1,527	2,290	3,054	3,435
<b>1440</b>	3,054	4,581	6,108	6,871