

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,**  
**MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO**  
**DE TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO EM**  
**ESPAÇOS COM URBANIZAÇÃO**  
**CONSOLIDADA /**  
**ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE BELO**  
**HORIZONTE - MG**

**Úrsula Kelli Caputo**

**Belo Horizonte**

**2012**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE  
TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO EM ESPAÇOS COM  
URBANIZAÇÃO CONSOLIDADA/  
ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE -  
MG**

**Úrsula Kelli Caputo**

**Úrsula Kelli Caputo**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE  
TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO EM ESPAÇOS COM  
URBANIZAÇÃO CONSOLIDADA/  
ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE -  
MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Hidrologia e Drenagem Urbana

Orientadora: Priscilla Macedo Moura

Coorientador: Nilo de Oliveira Nascimento

Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da UFMG

2012

Página com as assinaturas dos membros da banca examinadora, fornecida pelo Colegiado do Programa

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por me iluminar nesta caminhada.

A minha mãe Maria e ao Dinho pelo carinho e apoio incondicional.

A minha orientadora, professora Priscilla, pelos vários ensinamentos, confiança e dedicação.

Ao meu coorientador, professor Nilo, pelo conhecimento transmitido.

Aos amigos da SUDECAP pela troca de experiência e apoio. À Ilda e André pela confiança que depositaram em mim para continuidade da pesquisa com as trincheiras do projeto SWITCH. Aos companheiros Paulo e Bernardo pela cooperação na manutenção do aparato experimental.

Aos amigos que fiz durante o curso pelo companheirismo e bons momentos proporcionados.

Ao departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos e ao Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos por contribuírem para minha formação acadêmica.

Aos funcionários da estação ecológica da UFMG pelo apoio.

À FAPEMIG pela bolsa de estudo concedida.

## RESUMO

A utilização de técnicas alternativas de drenagem pluvial possui um forte potencial de mitigação dos efeitos da urbanização. A adoção destas técnicas em ambientes consolidados onde o manejo das águas é realizado por dispositivos de drenagem convencionais passa por um estudo de viabilidade complexo, envolvendo a análise de critérios físicos, urbanísticos, de desempenho e custos. O presente trabalho destina-se a avaliar os potenciais e benefícios da implantação de uma destas técnicas de drenagem alternativa, a trincheira de infiltração, tendo como estudo de caso o município de Belo Horizonte. Os potenciais foram avaliados primeiramente pela verificação dos critérios físicos exigidos para utilização de trincheiras e da existência de características no município que restringiriam a utilização destas técnicas. Em seguida fez-se a estimativa dos ganhos hidrológicos proporcionados pela adoção desta técnica, em relação à redução de vazão de pico. Por fim, baseando-se em cenários de diferentes tipos de ocupação urbana, foram averiguadas as possibilidades de adaptação desta técnica ao ambiente urbano consolidado. A partir da análise das características do município foi possível apontar alguns instrumentos para balizar estudos preliminares de viabilidade para a adoção desta técnica, resultando em um mapa das regiões onde as trincheiras são mais viáveis de serem implantadas em Belo Horizonte. Ao mesmo tempo, através de modelagem, verificou-se bons potenciais de amortecimento das vazões de pico, mas foram constadas dificuldades de inserção do dispositivo, sobretudo pela necessidade de se deixar uma distância entre a trincheira e as edificações e divisas. Discorreu-se também, com base nas experiências com dispositivos implantados no município, sobre as dificuldades de limpeza e manutenção do sistema, principalmente pelo grande aporte de sedimentos proveniente da área de drenagem. Além disso, foi possível levantar os custos atuais de implantação destes dispositivos nas vias e lotes. Concluiu-se que não se deve excluir a utilização deste dispositivo, já que em vários cenários foi possível constatar, mesmo que de maneira conceitual, que é possível fazer sua compatibilização no ambiente urbano, proporcionando ganhos para o sistema de drenagem do município em termos de redução de vazão de pico, além das outras vantagens que este dispositivo pode proporcionar, como a recarga do lençol freático e o tratamento das águas pluviais.

## ABSTRACT

The use of alternative techniques of stormwater drainage as a huge potential for mitigating the effects of urbanization. The adoption of these techniques in consolidated environments where water management is done by conventional drainage devices go through a feasibility complex study, involving the analysis of physical criteria, urban planning, performance and costs. The present study aims to evaluate the potential and benefits of implementing these alternative drainage techniques, infiltration trench, having as an example the case of Belo Horizonte. The potential and benefits were evaluated, at first, by checking the physical criteria required for the use of trenches and the city characteristics that would restrict the use of these techniques. In a second time, it has made an estimate of the hydrological gains provided by the adoption of this technique, in order to reduce the peak flow. Also, the study has investigated the possibility of adapting this technique to a consolidated urban environment, based on scenarios of different types of occupation. From the analysis of the characteristics of the municipality was possible to identify some of the instruments to mark the preliminary feasibility studies for the adoption of this technique, what has resulted in a map of the regions where the trenches are more viable to be implemented in Belo Horizonte. At the same time, by the hydrological analysis, it has been observed a good potential for the peak flows attenuation, but were identified difficulties in the insertion of the device, particularly in the need of leaving a distance between the trench and the buildings and boundaries. Based on the experiences with implanted devices in the city, it has been verified some difficulties in cleaning and maintaining the system, mainly because of the large amount of sediment from the drainage area. Furthermore, it was possible to obtain the current costs for the development of these devices on the roads and fields. Finally, the study reach the conclusion that one should not exclude the use of this device since it was established, even conceptually, in various studied settings, that it is possible to make them compatible in the urban environment, providing gains to the drainage system of the municipality in terms of reducing peak flow, in addition to other benefits that this system can provide, such as groundwater recharge and treatment of runoff.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>13</b>
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
3.1 OBJETIVO GERAL .....	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
<b>4 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
4.1 URBANIZAÇÃO E MUDANÇAS NO CICLO HIDROLÓGICO.....	15
4.2 TÉCNICAS ALTERNATIVAS DE DRENAGEM.....	18
4.3 RETROFIT.....	21
4.4 TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO.....	24
4.4.1 <i>Funcionamento Hidráulico.....</i>	<i>24</i>
4.4.2 <i>Dimensionamento das trincheiras de infiltração.....</i>	<i>27</i>
4.4.3 <i>Colmatação.....</i>	<i>28</i>
4.4.4 <i>Experiências na adoção de trincheiras .....</i>	<i>31</i>
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>34</b>
5.1 ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA.....	34
5.2 ESTUDO QUALITATIVO - ESTUDO DO AMBIENTE CONSOLIDADO QUANTO À IMPLANTAÇÃO DE TRINCHEIRAS .....	34
5.2.1 <i>Manejo de águas urbanas de Belo Horizonte.....</i>	<i>35</i>
5.2.2 <i>Aspectos Físicos .....</i>	<i>46</i>
5.2.3 <i>Aspectos urbanos.....</i>	<i>54</i>
5.3 SIMULAÇÕES DO CONTROLE DO ESCOAMENTO - ESTIMATIVA DE GANHOS DA ADOÇÃO DE TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO PARA REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	68
5.4 AVALIAÇÃO DAS POSSIBILIDADES DE IMPLANTAÇÃO DE TRINCHEIRAS NO MUNICÍPIO .....	73
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>75</b>
6.1 EXPERIÊNCIA COM OS DISPOSITIVOS INSTALADOS EM BELO HORIZONTE.....	75
6.2 REPRESENTAÇÃO DAS REGIÕES COM BAIXO POTENCIAL PARA A IMPLANTAÇÃO DE TRINCHEIRAS .....	81
6.3 ESTIMATIVA DE GANHOS NA REDUÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL PELA ADOÇÃO DE TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO.....	91
6.3.1 <i>Potenciais de redução da vazão de pico gerada nos lotes .....</i>	<i>91</i>
6.3.2 <i>Potenciais de redução da vazão de pico gerada nas vias.....</i>	<i>100</i>
6.3.3 <i>Dimensionamento de trincheiras para o controle do escoamento avaliado.....</i>	<i>101</i>
6.3.4 <i>Custo da implantação de trincheiras.....</i>	<i>101</i>
6.4 AVALIAÇÃO DAS POSSIBILIDADES DE IMPLANTAÇÃO DE TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO NO AMBIENTE CONSOLIDADO ESTUDADO .....	103
6.5 CONJUNTO DOS RESULTADOS .....	107
<b>7 CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E PERSPECTIVAS.....</b>	<b>119</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>122</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1–Hidrograma pré e pós urbanização.....	15
Figura 2– Aumento da população vs. Ocorrência de inundação em Belo Horizonte.....	16
Figura 3–Mudança estimada do volume de escoamento para Espaço Central Kennedy e Lago do rio Indiam .....	17
Figura 4–Processo de retrofit.....	23
Figura 5–Trincheira de infiltração .....	24
Figura 6–Esquema do funcionamento hidráulico da trincheira de infiltração.....	25
Figura 7–Determinação do volume da trincheira – Método das chuvas .....	28
Figura 8–Estruturação metodológica da pesquisa .....	34
Figura 9– Hidrografia de Belo Horizonte.....	37
Figura 10–Coeficiente de impermeabilização por bacia hidrográfica elementar –1999 .....	43
Figura 11–Quadra região do Bairro Alípio de Melo - ADE Pampulha.....	44
Figura 12–Pontos de Extravasamento na Macro-Drenagem de Belo Horizonte.....	45
Figura 13–Modelo Geológico RMBH.....	46
Figura 14– Profundidade do lençol freático .....	48
Figura 15–Profundidade do aquífero fraturado .....	50
Figura 16–Declividade de uma área em Belo Horizonte.....	51
Figura 17– Classificação dos Solos de Belo Horizonte.....	53
Figura 18– Divisão do espaço urbano .....	54
Figura 19–Afastamentos do lote.....	63
Figura 20–Seção tipo escolhida para representação de via local - opção 1.....	69
Figura 21–Seção tipo escolhida para representação de via local - opção 2.....	69
Figura 22– Seção tipo escolhida para representação de via coletora .....	69
Figura 23– Seção tipo escolhida para representação de via arterial.....	70
Figura 24– Seção tipo trincheira.....	73
Figura 25–Localização dos sítios experimentais de infiltração no município (1 – Sítio Estação Ecológica UFMG, 2 e 3 – Sítios Parque Lagoa do Nado, 3 Sítio Parque Nossa Senhora da Piedade) .....	75
Figura 26–Sítio 1 – Estação Ecológica UFMG .....	76
Figura 27–Aporte de sedimentos sítio 1 .....	77
Figura 28–Sítio 3 – Parque Lagoa do Nado .....	77
Figura 29– Aporte de sedimentos no sítio 3 .....	78
Figura 30–Sítio 4 - Trincheira implantada pela SUDECAP .....	78
Figura 31– Funcionamento - Sítio 4.....	79
Figura 32–Retirada de material de preenchimento - Sítio 4.....	79
Figura 33– Aporte de sedimentos e comprometimento da estrutura - Sítio 4.....	79
Figura 34– Sítio 2 – Parque Nossa Senhora da Piedade.....	80
Figura 35–Características físicas de Belo Horizonte quanto à implantação de trincheiras de infiltração - Regiões com a profundidade de lençol freático não adequadas .....	82
Figura 36–Características físicas de Belo Horizonte quanto à implantação de trincheiras de infiltração - Regiões com a profundidade do leito rochoso inferiores a 10 metros.....	84
Figura 37–Características físicas de Belo Horizonte quanto à implantação de trincheiras de infiltração - Declividade .....	86
Figura 38–Características físicas de Belo Horizonte quanto à implantação de trincheiras de infiltração - Região com solo tipo D Classificação SCS, com condutividade hidráulica (K) da ordem de $5 \times 10^{-7}$ m/s .....	88
Figura 39–Características físicas de Belo Horizonte quanto à implantação de trincheiras de infiltração - Região com características físicas que limitam a implantação de trincheiras .....	90

Figura 40–Comportamento da trincheira para o evento usado no dimensionamento .....	96
Figura 41– Vazão absorvida pela trincheira para diferentes tempos de retorno. ....	97
Figura 42– Comportamento da trincheira para vazões de período de retorno superiores para o qual ela foi dimensionada .....	98
Figura 43– Locais analisados para implantação de trincheiras .....	103

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1–Ordem de grandeza da condutividade hidráulica de diferentes tipos de solos .....	27
Tabela 2–Condutividade hidráulica do solo recomendada para sistemas de infiltração .....	52
Tabela 3– Zoneamento de Belo Horizonte e considerações a respeito da adoção de técnicas alternativas.....	58
Tabela 4–Distância mínima entre trincheira e as construções e divisas.....	62
Tabela 5–Exceções Afastamento Frontal .....	64
Tabela 6– Padrões de edificações .....	69
Tabela 7– Cenários de implantação de trincheiras nos lotes .....	70
Tabela 8 – Cenários implantação de trincheiras no espaço público .....	71
Tabela 9 – Precipitações totais .....	72
Tabela 10–Redução da vazão de pico com implantação de trincheiras nos lotes .....	91
Tabela 11– Variação do volume infiltrado para diferente eventos.....	99
Tabela 12– Redução da vazão de pico com implantação de trincheiras nas vias.....	100
Tabela 13– Custo por metro linear da implantação de trincheiras nos lotes .....	102
Tabela 14– Custo por metro linear da implantação de trincheiras nas vias. ....	102
Tabela 15– Avaliação das possibilidades de implantação – Edificação P1- 60,00 m <sup>2</sup> .....	104
Tabela 16– Avaliação das possibilidades de implantação – Edificação P2- 110,00 m <sup>2</sup> .....	104
Tabela 17– Avaliação das possibilidades de implantação – Edificação P3- 225,00 m <sup>2</sup> .....	105
Tabela 18– Avaliação das possibilidades de implantação – Edificação P4- 355,00 m <sup>2</sup> .....	106
Tabela 19– Avaliação das possibilidades de implantação – Edificação P5- 520,00 m <sup>2</sup> .....	106
Tabela 20 –Avaliação das possibilidades de implantação – Edificação P6- 670,00 m <sup>2</sup> .....	107
Tabela 21–Possibilidades de implantação – Edificação Padrão 1- 60,00 m <sup>2</sup> .....	108
Tabela 22–Possibilidades de implantação – Edificação Padrão 2- 110,00 m <sup>2</sup> .....	109
Tabela 23–Possibilidades de implantação – Edificação Padrão 3- 225,00 m <sup>2</sup> .....	110
Tabela 24–Possibilidades de implantação – Edificação Padrão 4- 355,00 m <sup>2</sup> .....	111
Tabela 25–Possibilidades de implantação – Edificação Padrão 5 - 520,00 m <sup>2</sup> .....	112
Tabela 26–Possibilidades de implantação – Edificação Padrão 6 - 670,00 m <sup>2</sup> .....	113
Tabela 27– Possibilidades de implantação – Via Local 1 .....	115
Tabela 28–Possibilidades de implantação – Via Local 2 .....	116
Tabela 29–Possibilidades de implantação – Via Coletora .....	117
Tabela 30–Possibilidades de implantação – Via Arterial .....	118

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADE	Área de Diretrizes Especiais
ASCE	<i>American Society of Civil Engineers</i>
BMP	<i>Best Management Practices</i>
BH	Belo Horizonte
CIRIA	<i>Construction Industry Research and Information Association</i>
CUB	Custo Unitário Básico
DPGM	Departamento de Gestão de Manutenção
DVPRS	Divisão de Projetos de Saneamento Integrado
EHR	Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos
EPA	<i>United States Environmental Protection</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade Duração e Frequência
IHE	<i>Institute for Water Education</i>
KSC	Espaço Central Kennedy
IRL	Bacia do Lago do rio Indiam
LID	<i>Low Impact Design</i>
LPUOS	Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo
MG	Minas Gerais
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NEPE-IT	Núcleo de Execução de Projetos Especiais – Instruções Técnicas
NEPE-PDD	Núcleo de Execução de Projetos Especiais – Plano Diretor de Drenagem
PBH	Prefeitura Municipal de Belo Horizonte
PDD-BH	Plano Diretor de Drenagem de Belo Horizonte
PDF	Precipitação Duração e Frequência
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte

SCS *Soil Conservation Service*

SIG Sistemas de Informações Geográficas

SMURBE Secretaria Municipal de Política Urbanas

SNIFFER *Scotland and Northern Ireland Forum for Environmental Research*

SUDECAP Superintendência de Desenvolvimento da Capital

SUDS *Sustainable Urban Drainage Systems*

SWITCH *Sustainable Water Management Improves Tomorrow's Cities' Health*

UFMG Universidade Federal de Minas Gerais

UFRGS Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSCar Universidade Federal de São Carlos

UNESCO Organização das Nações Unidas para Educação, a Ciência e a Cultura

WSUD *Water Sensitive Urban Design*

ZA Zona Adensada

ZAP Zona de Adensamento Preferencial

ZAR Zona de Adensamento Restrito

ZC Zona Central

ZCBA Zona Central do Barreiro

ZCBH Zona Central de Belo Horizonte

ZCVN Zona Central de Venda Nova

ZE Zona de Grandes Equipamentos

ZEIS Zona de Especial Interesse Ambiental

ZHIP Zona Hipercentral

ZP Zona de Proteção

ZPAM Zonas de Preservação Ambiental

$\rho$  Massa específica do fluido

$\nabla\theta$  Gradiente hidráulico

$\mu$	Viscosidade dinâmica do fluido
C	Coefficiente de drenagem superficial
c	Fator de segurança para colmatação
Ci	Coefficiente de impermeabilização
d	distância entre a edificação e a divisa de fundo
D	Duração
de	Distância necessária entre a trincheira e as edificações e divisas
g	Aceleração da gravidade
H	Lâmina d'água na trincheira
h <sub>a</sub>	Entrada de ar da zona vadosa - solo
K	Condutividade hidráulica saturada
k	Permeabilidade do solo
K <sub>c</sub>	Condutividade hidráulica da camada de colmatação
L	Comprimento
l	Largura
L <sub>c</sub>	Espessura da camada de colmatação
L <sub>f</sub>	Profundidade da frente de molhamento
L <sub>t</sub>	Comprimento da trincheira
P	Pressão negativa por efeitos de capilaridade
P1	Padrão de edificação
q <sub>e</sub>	Vazão específica de entrada
q <sub>inf</sub>	Vazão específica infiltrada
q <sub>s</sub>	Vazão específica de saída
R <sub>c</sub>	Resistência hidráulica
T	Tempo de esvaziamento da trincheira
TR	Tempo de retorno

# 1 INTRODUÇÃO

O crescimento da urbanização e as conseqüentes modificações induzidas na bacia hidrográfica produzem alterações significativas nos componentes do ciclo hidrológico, como a diminuição da interceptação, redução da infiltração e o aumento do escoamento superficial. Estas modificações provocam alterações na magnitude das vazões e no transporte de sedimentos, causando a instabilidade da calha do curso d'água, inundações e vários danos ambientais associados.

Em contraposição aos sistemas de drenagem convencional, que têm como mecanismo o rápido transporte das águas para jusante, com a utilização de condutos e a canalização dos cursos d'água, os sistemas de drenagem alternativos (estruturas de armazenamento e infiltração), têm como foco a mitigação dos impactos causados pela urbanização.

A adoção das técnicas compensatórias de drenagem encontra obstáculos como a falta da comprovação das características de desempenho em relação às técnicas convencionais e por consequência a ausência de dados para estimar o potencial de sua implantação em ambientes já consolidados.

Procurando apresentar-se como uma contribuição no tratamento deste desafio, o presente trabalho destina-se a avaliar os potenciais e benefícios da implantação de uma destas técnicas de drenagem alternativa, a trincheira de infiltração, tendo como estudo de caso o município de Belo Horizonte.

O estudo baseou-se em uma primeira etapa estritamente qualitativa, partindo do levantamento de dados bibliográficos, documentais e cartográficos, com a finalidade de verificar os critérios físicos exigidos para utilização de trincheiras e a existência de características no município que restringiriam a utilização destas. Foi realizada a sobreposição destes critérios em mapas, procurando assim facilitar a identificação de locais que, a primeira vista, seriam inviáveis a implantação destes dispositivos.

Numa segunda etapa foi realizada a delimitação de cenários para retratar o ambiente estudado e, através destes, estimar os ganhos hidrológicos, em relação à redução de vazão de pico, que a adoção de trincheiras proporcionaria. Por fim, fez-se o dimensionamento das trincheiras

para o controle de escoamento previsto, o que possibilitou a verificação das possibilidades de adaptação do dispositivo ao ambiente consolidado.

O trabalho está estruturado em 8 capítulos sendo o Capítulo 1 a presente introdução, no Capítulo 2 apresentam-se as justificativas e no Capítulo 3 os objetivos que conduziram o trabalho.

O contexto da pesquisa, com um histórico dos sistemas de drenagem urbana, dos processos atuais de concepção dos sistemas de drenagem urbana com técnicas alternativas, as tendências de readequar os ambiente consolidados com estas técnicas (*retrofit*) e os principais conceitos relacionados à trincheiras de infiltração encontram-se no Capítulo 4.

Os materiais e métodos adotados para desenvolvimento da pesquisa encontram-se no Capítulo 5.

No Capítulo 6 foi abordado o estudo do ambiente consolidado quanto à implantação de trincheiras, focando-se no manejo de águas urbanas, nas características físicas e urbanas do município de Belo Horizonte e também, relatadas as experiências com os dispositivos instalados no município.

No Capítulo 8 apresentou-se a análise e a discussão dos resultados da aplicação da metodologia proposta.

Por fim, as conclusões do presente trabalho, recomendações e as perspectivas para futuros trabalhos são trazidas no Capítulo 9.



## 2 JUSTIFICATIVA

É de conhecimento geral a necessidade de implantação de medidas para atenuação dos efeitos da alta impermeabilização nas áreas de ocupação consolidada. No caso do município de Belo Horizonte apesar de a legislação atual revelar uma preocupação relativa aos impactos das áreas impermeáveis no sistema de drenagem, com a exigência de permeabilidade mínima nos terrenos, segundo a Superintendência de Desenvolvimento da Capital - SUDECAP (2001) as exigências legais não são capazes de restringir a ampliação da vazão gerada pelas superfícies impermeáveis.

As implicações da adoção das técnicas alternativas, principalmente a eficiência e a limitação do restabelecimento das condições naturais do fluxo, ainda são pouco conhecidas e seu estudo vem sendo tema de interesse de várias pesquisas acadêmicas.

Apesar da preocupação do meio técnico na implementação de medidas de controle de inundação, a adoção das técnicas compensatórias de drenagem encontra muitos obstáculos, dentre eles a falta de iniciativas de implantação devido à resistência dos gestores urbanos, sobretudo pela falta da comprovação das características de desempenho em relação às técnicas convencionais já testadas e de funcionamento conhecido, além das dificuldades encontradas para adaptação destas técnicas em ambientes com urbanização consolidada.

Assim, o projeto de pesquisa se justifica pela necessidade de melhoria do conhecimento sobre o manejo de águas pluviais urbanas e aprimoramento das soluções tecnológicas de drenagem urbana através de técnicas alternativas. Metodologias e procedimentos para avaliação dos benefícios da adoção destas técnicas são importantes, tanto para comprovar sua eficiência, como para subsidiar a comparação entre alternativas de projeto.

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 *Objetivo geral***

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar os potenciais, restrições e os benefícios da implantação de trincheiras de infiltração em espaços construídos como complementação do sistema de drenagem convencional.

### **3.2 *Objetivos específicos***

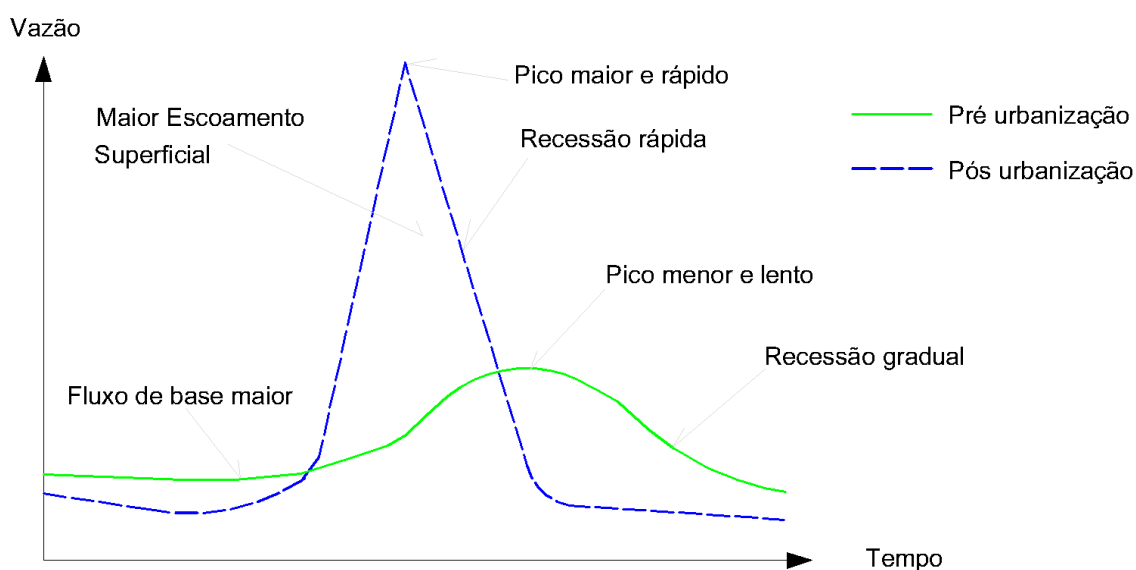
- Avaliar critérios físicos e urbanísticos do município que favoreçam ou limitam a implantação de técnicas de infiltração;
- Analisar os aspectos operacionais (problemas de colmatção, dificuldade de limpeza e manutenção) nas trincheiras de infiltração implantados em Belo Horizonte;
- Estimar a redução da vazão de pico com a adoção de trincheiras de infiltração;
- Elencar as possíveis vantagens da adoção destas técnicas como complementação do sistema de drenagem existente.

## 4 REVISÃO DA LITERATURA

### 4.1 Urbanização e mudanças no ciclo hidrológico

Além da piora na qualidade dos corpos de água receptores em razão do lançamento de efluentes sem tratamento e da poluição difusa, o aumento das aglomerações urbanas também trouxe como consequência alterações nas superfícies das bacias hidrográficas que modificam o ciclo hidrológico em decorrência da retirada de cobertura vegetal, impermeabilização, que reduz a infiltração e altera a rugosidade das superfícies, acelerando o escoamento. A ampliação do volume de escoamento superficial facilita a ocorrência de inundações e a erosão nas calhas fluviais e tem como consequência também o aumento do transporte de sedimentos.

O aumento da vazão de pico, a diminuição do tempo de resposta e o aumento do volume escoado são as principais alterações do hidrograma de cheia de uma bacia, quando comparando o período pré com o pós urbanização, Figura 1.

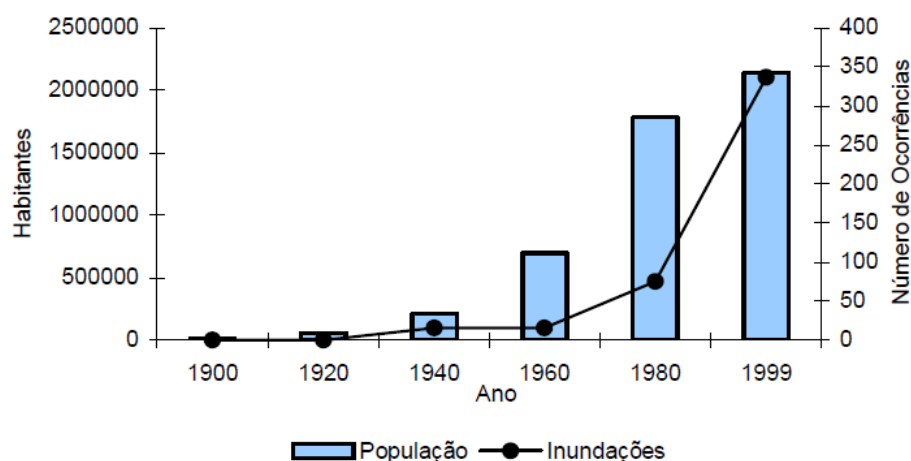


**Figura 1**–Hidrograma pré e pós urbanização  
(Adaptado CIRIA, 2007)

Durante muitas décadas, abordagem conhecida como higienista, a solução para os impactos do crescimento urbano nas águas pluviais eram tratados pelo aumento da condutibilidade hidráulica, ou seja, a transferência rápida das águas pluviais para jusante, através da adoção de sistemas de drenagem constituídos de dispositivos de microdrenagem (sarjetas, bocas de lobo e redes) e macrodrenagem (galerias e canais). Estes sistemas não têm a preocupação com a transferência do risco inundações para outras áreas, e também alteram significativamente as

calhas fluviais sem considerar a interferência na qualidade da água e nos ecossistemas. Com a intensificação da urbanização em proporções muitas vezes não previstas no planejamento urbano, as dimensões dos dispositivos de drenagem tendem a ser insuficientes para conter o aumento do fluxo, aumentando assim a ocorrência de inundações e levando a necessidade de adequações constantes destes dispositivos.

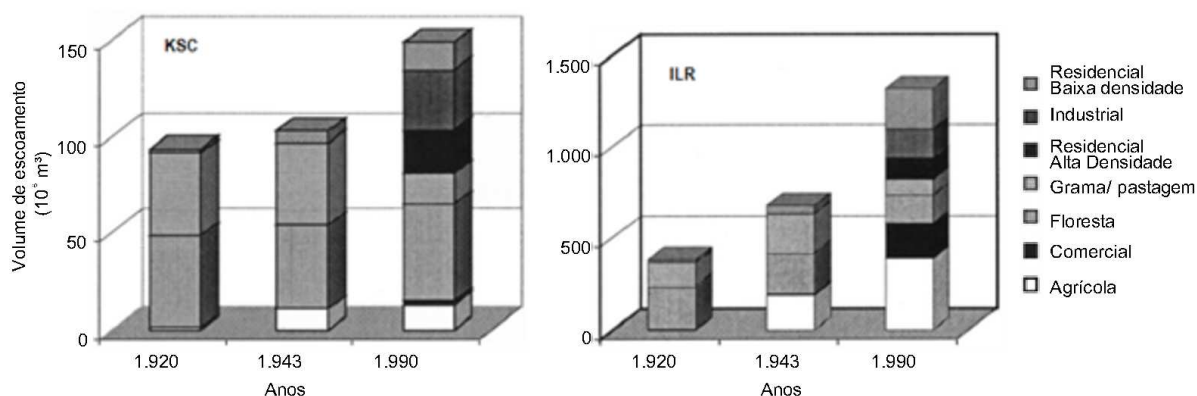
Em relação ao sistema de drenagem de Belo Horizonte, SUDECAP (2001) observa que “com as canalizações e retificações são notórios os estrangulamentos do fluxo, causando transbordamentos e alagamentos das vias da cidade. Assim as ações relacionadas com a drenagem foram, sobretudo, executadas com vistas a solucionar problemas de enchentes localizadas ou a viabilizar outras metas como a implantação de avenidas sanitárias. A conjuntura dada por essa política e pelo processo de crescimento urbano descontrolado resultou em problemas frequentes e graves de inundação urbana, configurando crises de funcionamento do sistema de drenagem.” A Figura 2 ilustra a relação entre o crescimento populacional e o aumento de enchentes no município de Belo Horizonte- MG.



**Figura 2**– Aumento da população vs. Ocorrência de inundação em Belo Horizonte (Fonte: Lima-Queiroz *et al.*, 2003)

Diante da falha da abordagem higienista, pesquisadores (Booth e Jackson, 1997; Homam-Dodds *et al.* 2003; Walsh *et al.*, 2005; Kim *et al.* 2002) tiveram a preocupação de estudar a relação entre o desenvolvimento urbano e alterações do uso e ocupação do solo com as modificações hidrológicas, a piora da qualidade da água e as degradações ambientais observadas nos cursos de água. O intuito principal destes estudos foi a qualificação e quantificação da proporção dos impactos, principalmente para servir como referência na gestão e planejamento do ambiente urbano.

Kim *et al.*(2002) avaliaram os efeitos do uso do solo no volume de escoamento na bacia do Lago do rio Indiam (IRL) e na sua sub-bacia denominada Espaço Central Kennedy (KSC), na Flórida, Estados Unidos. O crescimento da região KCS teve uma histórica ocupação com usos mais naturais, com instalação do Refúgio Nacional da Vida Selvagem e um Espaço de Operação da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), além do estabelecimento da cultura de cítricos. Entre os anos de 1920 e 1990, KSC teve um aumento de 3 para 9 % no uso agrícola e residencial de baixa densidade e 11% no usos comercial, residencial de alta densidade e industrial. No mesmo período, na bacia IRL, a área de florestas decresceu de 72% para 27%, os usos comerciais, residenciais de alta densidade e comerciais tiveram um crescimento equivalente a KSC, mas o uso agrícola e residencial de baixa densidade aumentou de 4,5% para mais de 50%. A Figura 3 apresenta o impacto hidrológico de longo termo, ou seja, o crescimento do volume de escoamento com a mudança do uso e ocupação do solo, obtido por Kim *et al.* (2002) para as regiões estudadas. Os autores concluíram que o grande impacto no volume do escoamento anual devido às modificações no uso do solo deveriam ser considerados no planejamento do uso e adensamento da região.



**Figura 3**—Mudança estimada do volume de escoamento para Espaço Central Kennedy e Lago do rio Indiam (Adaptado de Kim *et al.* 2002)

Booth e Jackson (1997) apontaram as falhas em usar a área impermeável total como indicador representante da magnitude do crescimento urbano. Segundo estes autores, na quantificação desse parâmetro ocorrem equívocos como o de considerar superfícies teoricamente permeáveis, mas que se encontram compactadas suficientemente para não ocorrer distinção de suas características e as das superfícies impermeáveis. O equívoco principal na estimativa deste indicador é fato de que o escoamento superficial originado nas áreas impermeáveis pode estar sendo encaminhado para superfícies permeáveis, não contribuindo, assim, para o aumento de vazão de pico.

Assim, Homam-Dodds *et al.* (2003) elencaram várias pesquisas que reconheceram a influência do grau de conectividade das superfícies impermeáveis sobre os impactos da urbanização e não apenas da quantidade de áreas impermeáveis. Booth e Jackson (1997) disseram que o conceito de área impermeável efetiva, ou seja, a área impermeável que realmente tem conexão hidráulica direta com o sistema de drenagem, é o que realmente captura o significado hidrológico da impermeabilização.

Neste contexto, Walsh *et al.* (2005) apontaram que os esforços de melhorar a situação ecológica dos habitats aquáticos pela restauração nos fundos de vale e planícies de inundação não estão sendo bem sucedidos porque não correspondem à escala real do processo de degradação, principalmente em bacias urbanas onde as ligações entre a bacia e o curso de água são mais pronunciadas. Assim, segundo estes autores, a restauração do fluxo original, ou seja, a restauração orientada para os sistemas de drenagem de águas pluviais ao invés de intervenções no próprio curso d'água, pode ser mais adequada para conter o processo dominante de degradação.

Wash *et al.* (2005) relatam também que o principal efeito hidrológico das técnicas alternativas de drenagem nas superfícies impermeáveis é interceptar a água de chuva em pequenos eventos e permitir a infiltração ou evaporação. Os autores observam ainda que estudos recentes identificaram que vários indicadores de qualidade biológica da água foram fortemente correlacionados com a densidade urbana e a impermeabilidade efetiva. No entanto, não está claro o quanto de retenção ou infiltração são necessárias para que a superfície impermeável seja considerada desconectada em seu lançamento no curso d'água, já que a eficiência desta interceptação diminuiria em eventos maiores.

Deste modo, a redução da impermeabilização efetiva, buscando a restauração do fluxo original, através do redesenho de drenagem de captação pluvial com técnicas alternativas de drenagem, reduzindo a conectividade das áreas impermeáveis, vem sendo trabalhado como um novo conceito no manejo das águas urbanas.

## **4.2 Técnicas alternativas de drenagem**

Para suprir a necessidade de uma nova abordagem para o manejo das águas pluviais, que promova a desconexão das superfícies impermeáveis, desde a década de setenta, vem sendo desenvolvido o conceito das tecnologias alternativas ou compensatórias na drenagem urbana,

também conhecidas nas referências internacionais como SUDS – *Sustainable Urban Drainage Systems*, WSUD – *Water Sensitive Urban Design*, BMP – *Best Management Practices* ou LID – *Low Impact Design*.

Segundo Baptista *et al.* (2005), estas tecnologias são alternativas em relação às soluções clássicas porque consideram os impactos da urbanização de forma global, tomando a bacia hidrográfica como base de estudo. Procura-se assim, compensar sistematicamente a urbanização, pelo controle da produção de excedentes de água decorrentes da impermeabilização e evitando sua transferência rápida para a jusante. Deste modo, as técnicas alternativas ou compensatórias são um conjunto de técnicas e dispositivos que podem atuar separadamente ou em conjunto, baseando-se nos seguintes princípios:

- Armazenamento temporário – Pelo acúmulo de água, amortecendo o fluxo antes da transferência para jusante, diminuindo o pico de vazão e estendendo a duração do escoamento. O armazenamento pode ser realizado em bacias, valas, micro reservatórios e em telhados.
- Armazenamento para reuso – Pela captação e usos da água no local (uso doméstico, irrigação, etc.), diminuindo o volume do escoamento gerado.
- Infiltração – Pela passagem da água para o solo, reduzindo o volume de escoamento drenado, possibilitando a recarga de aquíferos e / ou alimentando o fluxo de base de cursos d'água, possibilitando um processo hidrológico mais natural. Os planos, valas e trincheiras de infiltração, dispositivos de percolação e pavimentos porosos são técnicas que usam este conceito.

Segundo CIRIA (2007), o projeto, construção e manutenção apropriados das técnicas alternativas são mais vantajosos que os métodos de drenagem convencionais, visto que elas podem mitigar muitos efeitos adversos, proporcionando:

- Redução de volumes e frequências do escoamento que tendem a ser maiores com a urbanização e que podem aumentar o risco de inundação e danos na qualidade da água;

- Recarga natural da água subterrânea, minimizando os impactos da impermeabilização em aquíferos e no fluxo de base de cursos d'água;
- Amortecimento de eventuais derramamentos prevenindo descargas com alta concentração de contaminantes nos corpos d'água;
- Melhor comodidade e valor estético de áreas desenvolvidas;
- Reabilitação de habitats para a fauna em áreas urbanas e oportunidades para maior desenvolvimento da biodiversidade.

Além das vantagens listadas, os impactos da poluição difusa no escoamento podem ser controlados por manejo apropriado com as técnicas alternativas. EPA (2004) aponta que o manejo das águas pluviais incluem uma variedade de medidas que envolvem cuidado na aplicação dos princípios de projetos locais com técnicas de construção para prevenir que os sedimentos e outros poluentes contaminem as águas superficiais ou subterrâneas, como controle na fonte e tratamento do escoamento. Conforme os autores, as técnicas alternativas têm sido desenvolvidas e refinadas para mitigar alguns, se não todos, os impactos adversos associados a algum tipo de atividade de desenvolvimento ou redesarvolvimento.

Segundo Baptista *et al.* (2005), o emprego de técnicas compensatórias tem a necessidade absoluta de tratar a questão das águas pluviais juntamente com o ordenamento urbano através de uma abordagem integrada que consiste em vincular a preservação dos riscos (inundação, saúde pública, poluição, etc.) ao projeto territorial, respeitando as restrições impostas e potencializando os aspectos que podem levar a valorização de soluções que atendam simultaneamente aos objetivos do empreendimento urbanístico e aquele de tratamento das águas pluviais.

Baptista *et al.* (2005) afirmam também que o recurso unicamente de adoção de técnicas compensatórias não garante uma boa gestão de risco de inundação, qualquer ação local sobre o ciclo da água tem um impacto global mais ou menos significativo. É necessário igualmente ter consciência de que quando as condições para as quais as técnicas foram concebidas não são mais respeitadas, por exemplo, quando submetidas a eventos mais raros, estas técnicas perdem sua função de regulação do escoamento. Em suma, a adoção das técnicas alternativas envolve uma ainda mais criteriosa gestão de riscos.



CIRIA(2007) aponta que o sucesso na adoção das técnicas compensatórias é conseguido com uso dos dispositivos em sequência, proporcionando incrementos consecutivos na redução de poluição, vazão e volumes. Assim sendo, conforme a posição na sequência, as técnicas se hierarquizam em: de prevenção, como o uso de bons projetos urbanos e de edificações que reduzem o escoamento e a poluição; de controle na fonte, quando o controle do escoamento é realizado na própria área onde é gerado e, conforme a área de drenagem, de controle local ou controle regional.

Baptista e Nascimento (1996) observam que o sucesso da adoção de tecnologias alternativas no Brasil, depende, entre outros fatores, de uma análise aprofundada de sua adaptabilidade às condições locais e do desenvolvimento de ajuda à decisão, incluindo a escolha, o dimensionamento e a possibilidade de simulação de funcionamento dessas soluções alternativas em contexto diferenciado.

Debo e Reese (1995) apontam que cada um dos tipos de estruturas alternativas de drenagem possui pontos fortes e fracos para uma determinada aplicação sendo que suas limitações são geralmente baseadas nas características físicas do local de implantação, risco de contaminação do lençol freático, custo, suporte institucional, clima, hidrologia, dentre outros. Embora as técnicas alternativas possam promover vários benefícios, existem riscos e questões associadas a sua implementação (como a operação e manutenção) que, se não tratados adequadamente, podem significar redução do sucesso no alcance de seus objetivos (McAlister, 2007). A decisão de adoção destes sistemas passa por uma análise global do ordenamento urbano e da infraestrutura já implantada, custos e evidentemente, gestão de riscos, além da avaliação do atendimento dos critérios necessários ao bom funcionamento dos dispositivos.

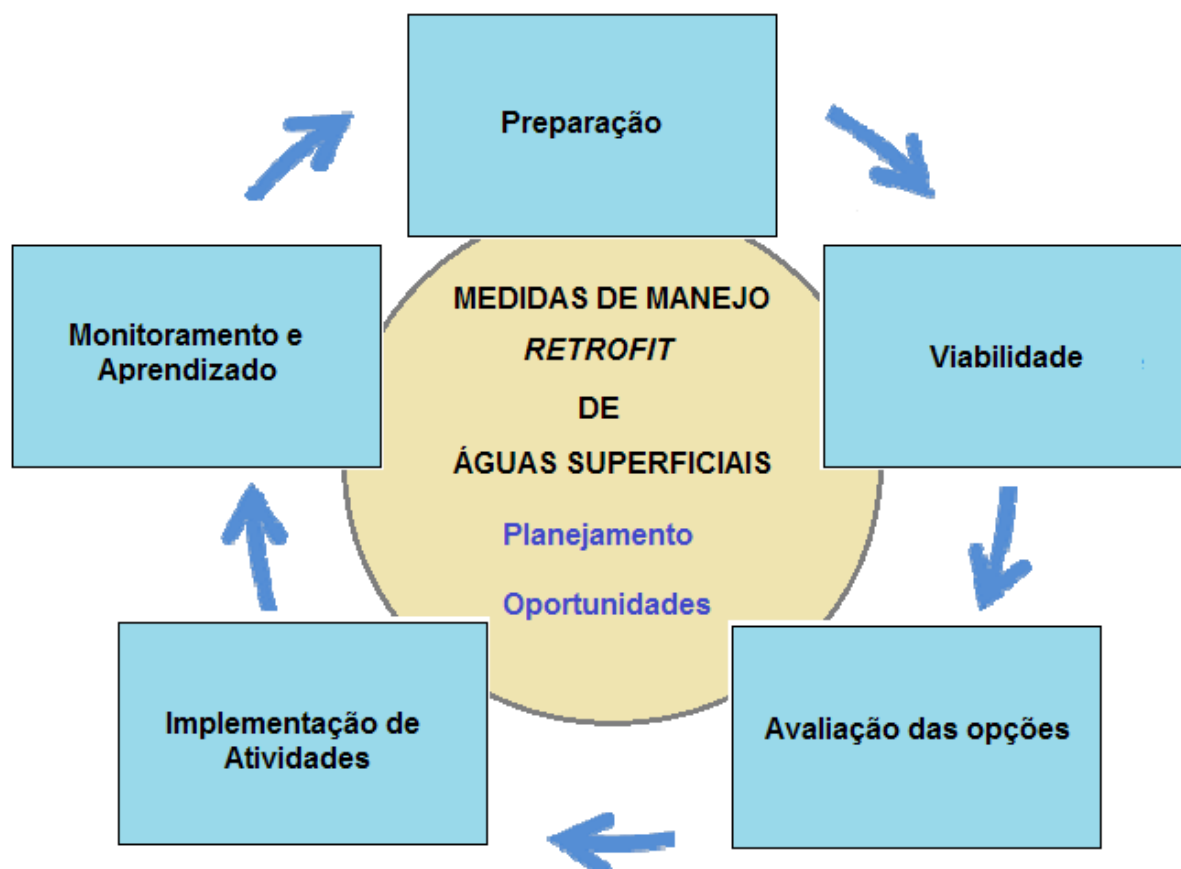
### **4.3 Retrofit**

A adoção do novo conceito do manejo das águas pluviais deve considerar se as técnicas alternativas são realmente atenuadoras das modificações no ciclo hidrológico que foram impostas pela urbanização. Outro ponto importante é a avaliação se a sua implantação, em substituição ou complementação dos sistemas convencionais, garante o funcionamento da estrutura urbana sem prejudicar as atividades no meio já consolidado, uma vez que em muitos casos o estudo da adoção de técnicas alternativas ocorre pela necessidade de complementação do sistema de drenagem existente, visto o comprometimento deste por uma taxa de urbanização superior ao que foi projetado.

Deste modo, no exterior, projetos denominados *Retrofit* estão sendo desenvolvidos para estudar a efetividade da readequação dos sistemas de drenagem com os sistemas alternativos nas áreas construídas visando assegurar o atendimento de performances atuais e de futuras mudanças. É o caso dos projetos conduzidos pelo Fórum de Pesquisa Ambiental da Escócia e Irlanda do Norte (SNIFFER) e o projeto *Urban River Corridors and Sustainable Living Agendas* do Reino Unido.

Segundo SNIFFER (2006) o termo *retrofit* significa a modificação de um sistema de drenagem existente para incluir alguma característica que resulta em alterações no regime hidráulico e/ou melhora a qualidade da água.

Ashley *et al.* (2011) discutiram sobre o debate existente entre o uso das adoção das técnicas alternativas substituindo as técnicas convencionais, afirmando que o debate mais apropriado poderia ser a respeito de uma aproximada mistura destes sistemas: para trazer um sistema que é tão sustentável quando possível. Segundo os autores, deve-se evitar a declaração que muitas publicações fazem, de que as SUDs ou BMPs são (pela própria definição) mais “sustentáveis” que os sistemas em redes, pois a sustentabilidade depende inteiramente das condições locais e mais amplamente do contexto da bacia hidrográfica. Assim não pode ser definido *a priori* que um ou outro sistema é mais ou menos sustentável que outros sem este contexto, especialmente para reabilitação de áreas construídas, cuja análise é invariavelmente mais complicada que nas construções novas. Assim, concluem que com cada vez mais incertezas futuras, como as mudanças climáticas, e recursos financeiros limitados, todo caminho para o melhoramento da área urbana deve ser utilizado para atingir a performance necessária, incluindo a otimização do caminho do *retrofit* que pode ser representado pela Figura 4.



**Figura 4** – Processo de *retrofit*  
(Adaptado de Ashley *et al.*,2011)

Uma ação de *retrofit*, como um novo conceito no sistema de manejo das águas urbanas, passa assim pelas etapas apresentadas na figura 4, primeiramente o estudo de viabilidade, identificação e escolha de opções de intervenção, implementação e monitoramento do funcionamento destas opções e aprendizado para retroalimentação nas próximas ações de *retrofit*. Ashley *et al.* (2001) apresentam dois caminhos para este processo, um pela abordagem planejada e estratégica, onde as ações são previamente pensadas no sistema de gestão das águas urbanas, e o outro pela abordagem oportunista. Deste modo, como na maioria das áreas urbanas existentes, ocorre uma contínua renegociação das propriedades e infraestruturas (substituição ou processos de renovação para melhoramento), o *retrofit* do ambiente urbano com técnicas alternativas de drenagem pode ser visto como uma abordagem oportunista, implementando medidas uma a uma quando estas oportunidades surgem. As oportunidades podem surgir em um nível local ou de vizinhança. Cada *retrofit* traz no mínimo um benefício local, mas ao longo do tempo caminha para um benefício substancial. Tal abordagem pode ter bons custos efetivos, mas o endereçamento imediato pode ser limitado para necessidades como a existência de inundações.

Ashley *et al.* (2001) também apontam o problema do *Retrofit* não ser tão simples como uma nova construção e que alguns profissionais ficam assustados com a tarefa de usar abordagens que eles nunca usaram antes ou que pensam ter maiores riscos que as abordagens tradicionais. Assim, oportunidades podem não ser aproveitadas quando os profissionais querem adotar apenas aquilo com que eles são familiarizados.

A trincheira de infiltração é uma das técnicas que podem ser potencialmente utilizadas nos procedimentos de *retrofit* já que, segundo Novotny (1995) um dos principais benefícios da sua utilização é a facilidade de sua adaptação nas margens, perímetros, e em outros espaços restritos de áreas em desenvolvimento, inclusive sob pavimentos, tendo a possibilidade de ser usada se adaptando também, nos locais já desenvolvidos, onde o espaço é limitado.

## **4.4 Trincheiras de Infiltração**

### **4.4.1 Funcionamento Hidráulico**

Uma trincheira de infiltração, conforme pode ser observado na Figura 5, consiste de uma longa e estreita escavação, preenchida com agregado de pedra para permitir o armazenamento temporário das águas pluviais de um evento nos vazios deste material agregado, volume este que em seguida se infiltra, quer através do fundo ou dos lados da trincheira.



**Figura 5** –Trincheira de infiltração  
(Fonte Baptista *et al.* 2005)

O equacionamento do funcionamento hidráulico da trincheira pode ser representado por um modelo de reservatório (equação 1 e Figura 6), ou seja, o armazenamento da trincheira, dado

pela variação da lâmina d'água, é igual a água que entra no sistema excluindo-se o a porção que é perdida para o solo pelo processo de infiltração e o extravasamento, quando este ocorrer.

$$\frac{dH}{dt} = q_e - q_{inf} - q_s \quad (1)$$

Onde:

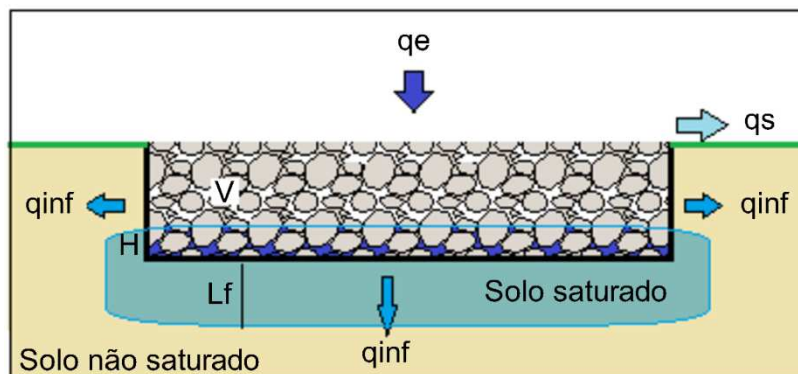
$q_e$  – vazão de entrada por unidade de área de infiltração;

$q_s$  – vazão de saída (extravasada) por unidade de área de infiltração;

$q_{inf}$  – velocidade de Darcy, taxa de infiltração por unidade de área da superfície (m/s), pode ser visualizada como a taxa de declínio da superfície da água na trincheira;

$H$  – lâmina d'água da trincheira;

$L_f$  – profundidade da frente de molhamento.



**Figura 6** – Esquema do funcionamento hidráulico da trincheira de infiltração

Para a porcentagem infiltrada aplica-se a equação de Darcy (equação 2), considerando o solo saturado.

$$q_{inf} = K \nabla \phi \quad (2)$$

Na qual:

$K$  – condutividade hidráulica saturada (m/s);

$\nabla\phi$  - gradiente hidráulico (m/m).

Pela equação de Green-and-Ampt para a infiltração em um solo saturado o gradiente hidráulico é expresso por (Bouwer, 2002):

$$\nabla\phi = \frac{H+L_f+P}{L_f} \quad (3)$$

Onde:

H – lâmina d'água da trincheira;

$L_f$  – profundidade da frente de molhamento.

P – pressão negativa por efeitos da capilaridade na frente de molhamento (m).

Com a hipótese que o solo está saturado, o efeito da capilaridade na frente de molhamento é desconsiderado. A equação (3) mostra que quando o solo é primeiramente encharcado,  $L_f$  é pequeno, o gradiente hidráulico é alto e conseqüentemente a vazão infiltrada também. No entanto, como a frente de molhamento aumenta, movendo-se para baixo e a profundidade da frente de molhamento aumenta, a sua razão na equação (3) se aproxima da unidade, e a taxa de infiltração torna-se numericamente igual a condutividade hidráulica saturada da zona de molhamento.

A condutividade hidráulica depende das propriedades do material poroso e do fluido e pode ser descrita pela equação 4.

$$K = k \frac{\rho \cdot g}{\mu} \quad (4)$$

Onde:

k – permeabilidade do solo, depende da porosidade efetiva, distribuição do tamanho dos poros e arranjo geral dos grãos no meio poroso;

$\rho$  – massa específica do fluido;

$\mu$  – viscosidade dinâmica do fluido, dependente da temperatura;

g – aceleração da gravidade.

#### 4.4.2 Dimensionamento das trincheiras de infiltração

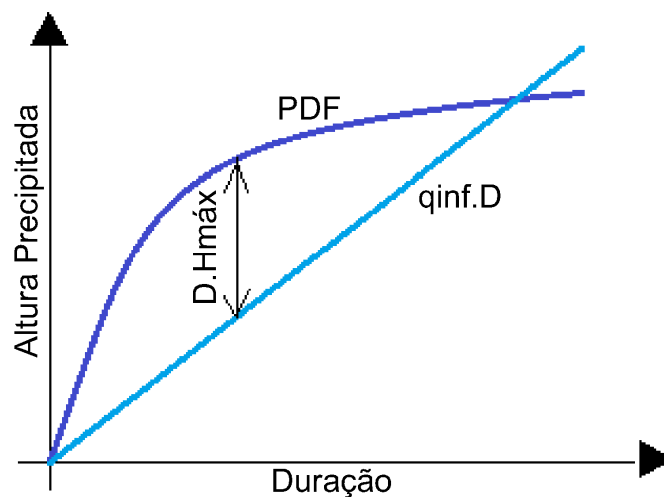
O dimensionamento das trincheiras de infiltração deve ser realizado para um tempo de retorno pré-estabelecido no projeto e a área determinada cujo escoamento se queira controlar. A condutividade hidráulica (K) para dimensionamento é obtida por ensaios de permeabilidade em campo no local de implantação das trincheiras. A Tabela 1, apresenta os intervalos usualmente encontrados em cada tipo de solo.

**Tabela 1** – Ordem de grandeza da condutividade hidráulica de diferentes tipos de solos (Musy&Soutter, 1991 *apud* Batista *et al.*, 2005)

Tipo de Solo	K (m/s)
Seixos sem areia nem elementos finos	$10^{-1}$ - $10^{-3}$
Areia com seixos / areia grossa / areia fina	$10^{-3}$ - $10^{-5}$
Areia muito fina / silte grosso / silte argiloso	$10^{-5}$ - $10^{-8}$
Argila siltosa / argila homogênea	$10^{-8}$ - $10^{-11}$

Alguns países, como França, Dinamarca, Reino Unido, apenas consideram no dimensionamento a infiltração pelas laterais ou apenas a metade das laterais, como um fator de controle à provável colmatagem da trincheira (Baptista *et al.* 2005). Para o dimensionamento de dispositivos de infiltração para controle de águas pluviais pode-se utilizar o método das chuvas ou o método Puls (Baptista *et al.* 2005).

No método das chuvas, a partir de curvas PDF (precipitação, duração e frequência), originadas das curvas IDF (intensidade, duração e frequência), para um tempo de retorno pré estabelecido no projeto, podem ser, então, traçados em conjunto o gráfico da altura precipitada (PDF) e a curva que representa as alturas de água infiltradas em função do tempo (vazão infiltrada no tempo -  $q_{inf}.D$ ) e a diferença máxima entre elas é a estimativa do volume de armazenamento da trincheira, como ilustra a Figura 7.



**Figura 7** – Determinação do volume da trincheira – Método das chuvas

O método de Puls é um modelo centrado em relações de armazenamento, baseado na equação da continuidade, onde a entrada menos a saída de sistema é igual ao volume armazenado no corpo da estrutura, em uma função que descreve o armazenamento e uma equação do controle hidráulico de saída. A solução do sistema requer o emprego de métodos numéricos, porque o hidrograma de entrada pode assumir diferentes formas, dificultando a solução analítica. A aplicação prática do método de Puls é efetuada por meio da solução do sistema composta pela equação da continuidade e pela curva cota-descarga com o tempo de propagação dividido em intervalos discretizados. No caso da trincheira, a aplicação deste método é realizada com base na equação 1, que descreve a relação da entrada, saída e armazenamento do sistema, o controle hidráulico de saída é descrito pela vazão infiltrada, equação 2, e a vazão de entrada é dada pelo hidrograma de projeto.

#### **4.4.3 Colmatação**

O escoamento superficial contém sedimentos provenientes da lavagem da área de drenagem. Na trincheira de infiltração primeiramente ocorre um processo de filtração dos sedimentos existentes no efluente quando este passa através do meio poroso. A presença de partícula promove também a formação de uma camada de colmatação sobre as superfícies de infiltração do sistema (fundo e eventualmente paredes laterais), processo este que contribui para a redução da capacidade de infiltração do sistema.

Bouwer (2002) apresenta os principais processos causadores da colmatação:



- Processos de entupimento físico como o acúmulo de compostos inorgânicos e sólidos orgânicos em suspensão na água de recarga, tais como argila e partículas de silte, células das algas, células e fragmentos de micro-organismos, e flocos de lodo de águas residuais;
- Processos de entupimento biológico incluem o acúmulo de algas e flocos de bactérias na água na superfície de infiltração, o crescimento de microrganismos sobre e no solo formando biofilmes e biomassa que bloqueiam os poros e / ou reduzem o tamanho destes;
- Processos químicos incluem precipitação de carbonato de cálcio, gesso, fosfato e outras substâncias químicas sobre e no solo. Às vezes, essas precipitações são induzidas pelo aumento do pH causado por algas quando removem o CO<sub>2</sub> dissolvido na água para a fotossíntese. As bactérias também produzem gases (nitrogênio, metano) que bloqueiam os poros e se acumulam abaixo da camada de colmatação criando barreiras de vapor para o processo de infiltração.

Bouwer (2002) frisa que as camadas de colmatação são muito menos permeáveis do que o material do solo natural, assim reduzem as taxas de infiltração e se tornam o fator de controle no processo de infiltração. Assim, o autor aponta que quando a taxa de infiltração se torna menor que a condutividade hidráulica do solo abaixo da camada colmatada, este solo se torna não saturado para um teor de água em que a condutividade hidráulica não saturada correspondente é numericamente igual à taxa de infiltração. O fluxo ascendente não saturado resultante é, então, inteiramente devido à gravidade com um gradiente hidráulico de uma unidade.

Segundo o mesmo autor, as camadas colmatadas são a regra e não a exceção, sendo que a espessura destas camadas podem variar de 1 mm ou menos (biofilmes, argila fina e camadas de lodo) a vários centímetros e decímetros ou até mais, para os depósitos de sedimentos mais grossos. Assim, ele apresenta o cálculo da taxa de infiltração pela aplicação da equação de Darcy para o fluxo através da camada colmatada:

$$q_{inf} = K_c \frac{H-h_a}{L_c} \quad (5)$$

Onde:

$K_c$  – condutividade hidráulica da camada de colmatção;

H – lâmina d'água da trincheira;

$h_a$  – valor de entrada de ar da zona vadosa-solo;

$L_c$  - espessura da camada de colmatção.

A espessura real da camada colmatada e a condutividade hidráulica desta são difíceis de determinar, por esta razão,  $K_c$  e  $L_c$  são agrupadas em um único parâmetro  $L_c / K_c$ , com a dimensão de tempo (geralmente em dias), chamada de resistência hidráulica  $R_c$ . Para um determinado sistema,  $R_c$  pode ser calculada com a equação (4) a partir de valores medidos de  $q_{inf}$  e perda de carga através da camada de colmatção, utilizando um tensiômetro para medir  $h_a$ . Como a colmatção envolve a diminuição da vazão infiltrada a zona molhada torna-se cada vez menos saturada, assim a diminuição do conteúdo de água passa produzir condutividades hidráulicas numericamente iguais às taxas de infiltração, já que o ar está deslocando água, neste caso.

Browne (2011) relata que o risco de colmatção é tipicamente administrado com medidas de pré-tratamento e o uso do fator de colmatção ou fator de segurança ( $c$ ) no dimensionamento do sistema, equação 6. Este fator de segurança, porém, não permite a previsão do comportamento da colmatção com o tempo e não considera a expectativa de vida dos sistemas.

$$q_{inf} = cK\nabla\phi \quad (6)$$

Onde:

$K$ –condutividade hidráulica saturada(m/s);

$\nabla\phi$  - gradiente hidráulico (m/m);

$c$  – fator de segurança.

Além do modelo apresentado por Bouwer, outros pesquisadores se dedicam ao estabelecimento de modelos que representem este fenômeno, baseados principalmente em pesquisas experimentais. Browne (2011), por exemplo, está desenvolvendo um modelo usando a massa acumulada do sedimento fino com diâmetro menor que 6  $\mu\text{m}$  armazenado na interface do solo, se baseando no relato de Siriwardene *et al.* (2007) que a colmatção para a maioria de trincheiras de infiltração de águas pluviais depende das partículas de sedimentos com diâmetro menores que esta dimensão. A questão principal então, seria a estimativa da quantidade de sedimento destas dimensões proveniente da área de drenagem, para ser considerada a redução da taxa de infiltração e avaliada a vida útil do sistema.

#### **4.4.4 Experiências na adoção de trincheiras**

Dispositivos de infiltração de águas pluviais são adotados há algum tempo em diferentes países, o que vem permitindo a avaliação do desempenho destas técnicas depois de longos períodos. Bergman *et al.* (2010), por exemplo, avaliaram o funcionamento de duas trincheiras de infiltração instaladas na área central de Copenhague após 15 anos de operação e observaram que os sistemas de infiltração não operaram tão bem como na época de sua instalação. A modelagem dos dados monitorados apresentou que a performance decresce mais rapidamente nos primeiros anos de funcionamento do sistema, e que a taxa de infiltração decaiu a uma taxa inversamente proporcional ao tempo. Estes autores apontam que, algum tipo de manutenção ou outro método, deve ser adotado, para restaurar a capacidade inicial da trincheira de infiltração, além da consideração da colmatção no dimensionamento, são necessários para que estes sistemas continuem a operar e contribuam para o manejo sustentável das águas de chuva no futuro.

Proton e Chocat (2007) simularam o comportamento de longo termo, e sua perda de eficiência hidráulica devido ao fenômeno da colmatção, porém mais rapidamente que levaria numa condição real, através de injeção de água pluvial em uma trincheira experimental localizada na França. De maneira similar ao estudo de Bergman *et al.* (2010), foi observado neste estudo, que a taxa de infiltração decaiu com o tempo, sendo os efeitos da colmatção mais acentuados no início da operação do sistema. Segundo os autores, o modelo de Bouwer foi apropriado para apresentar o comportamento hidráulico de um sistema parcialmente colmatado, sendo que a variação da resistência hidráulica dá uma boa indicação do nível de colmatção.

No Brasil, a experiência com o emprego de sistemas infiltrantes é pequena e presente, sobretudo, em contexto de trabalhos de pesquisa. O trabalho de Souza (2004), por exemplo, constituiu no monitoramento de duas trincheiras de infiltração instaladas na área do IPH-UFRGS, que mostraram eficiência no controle do escoamento superficial não ocorrendo remanescentes para nenhum dos eventos observados, mesmo tendo sido observado um evento de tempo de retorno superior ao de projeto. O autor também sugere, que, o baixo nível d'água e o esvaziamento rápido dos dispositivos durante os eventos monitorados pôde permitir o controle de eventos sucessivos.

Lucas *et al.* (2011) verificaram a influência dos componentes construtivos e do período de funcionamento sobre a necessidade de manutenção e vida útil, através de um sistema composto por Filtro-Vala-Trincheira de infiltração, construído em escala real nas dependências da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). O autores concluíram que durante o período de funcionamento do sistema de infiltração ocorreu lavagem dos agregados e migração de finos das camadas superficiais para as camadas mais profundas, e causaram colmatação parcial do geotêxtil da trincheira, sendo a colmatação formada pela lavagem dos agregados mais prejudicial que a do período de funcionamento monitorado pelos autores.

Graciosa (2008) , também na UFSCar, estudou o tema "trincheiras de infiltração" no aspectos de dimensionamento, propões uma metodologia de dimensionamento para o controle do escoamento superficial no lote, baseando-se no balanço hídrico e realizando calibração por meio de ensaios experimentais realizados em um arenoso e outro argiloso.

Moruzzi e Trindade (2010), propôs estudar alguns dos principais aspectos das trincheiras de infiltração, a fim de subsidiar a implantação dessas estruturas na área urbana de Rio Claro-SP. Assim, foram investigadas localidades na área urbana deste município para implantação desses dispositivos, considerando o tipo de solo, condutividade hidráulica de cada área e tamanho mínimo do lote segundo o Plano Diretor local. Neste estudo a estimativa de da redução de escoamento superficial em lotes urbanos com o uso de trincheiras de infiltração foi da ordem de 60 a 100% para o período de retorno de 2 anos, e de 48 a 100% para o período de retorno de 5 anos.

Belo Horizonte possui experiência no estudo de técnicas alternativas, sobretudo pelo trabalho de Silva (2009), com a implantação e início do monitoramento hidrológico de uma trincheira e de uma vala de retenção que recebem o escoamento superficial de uma via de tráfego

intenso do município. Os principais resultados da pesquisa de Silva (2009) foram relacionados à caracterização qualitativa deste escoamento e à eficiência na remoção de sólidos suspensos e metais pesados por meio da vala de detenção, o autor apontou que apesar do pequeno número de eventos obtidos, os resultados avaliados sugeriram que dispositivos de retenção se mostram como uma possibilidade interessante para gerenciar a carga de poluentes com origem em sistemas viários.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Estruturação da Pesquisa

A metodologia proposta focou-se no tema de readequação da drenagem urbana de um ambiente consolidado, tendo como estudo de caso o município de Belo Horizonte, baseou-se em uma etapa estritamente qualitativa, partindo do levantamento de dados bibliográficos, documentais e cartográficos, identificando pontos relevantes para discussão sobre a viabilidade da adoção de trincheiras de infiltração, e em uma etapa de simulações do controle de escoamento com a adoção deste dispositivo e assim fazer a avaliação de suas possibilidades de implantação. A Figura 8 apresenta a estruturação da pesquisa.



Figura 8 – Estruturação metodológica da pesquisa

### 5.2 Estudo Qualitativo

A etapa qualitativa, cujas principais discussões e considerações estão apresentadas nos próximos sub capítulos, focou na análise da área de estudo sobre os aspectos do manejo existente de águas urbanas, das características físicas e urbanas do município de Belo horizonte.

O manejo existente de águas urbanas foi caracterizado através de dados coletados junto à Prefeitura Municipal de Belo Horizonte e SUDECAP, como a descrição do sistema de drenagem implantado, os critérios utilizados no dimensionamento, normatizações e limitações impostas relativas à drenagem. Com base nos dados levantados sobre o sistema de manejo

também fez-se a identificação de alguns pontos falhos, onde é necessário o estudo de alternativas para otimizar o manejo.

A caracterização do meio físico também foi realizada com base em informações coletadas junto da prefeitura municipal, bases hidrológica / geológicas / geotécnicas do município. Uma pesquisa bibliográfica foi realizada, principalmente em artigos científicos sobre o tema e em manuais internacionais de adoção de técnicas alternativas de drenagem para identificação de consenso da comunidade científica sobre os limites de implantação das trincheiras, principalmente quanto aos critérios permeabilidade do solo, nível do lençol freático, declividade do terreno e profundidade do leito rochoso.

Procurou-se fazer a verificação dos critérios físicos exigidos para utilização de trincheiras e a existência de características no município que restrinjam a utilização destas, foi realizada a sobreposição destes critérios em mapas, procurando assim facilitar a identificação de locais, onde a priori estes dispositivos seriam inviáveis. A maioria das bases utilizadas, como a hidrografia, manhas de inundação e tipo de solo, estavam na plataforma Autocad, o que fez que esta ferramenta fosse escolhida para a realização deste trabalho.

Como resultado obteve-se o mapa com a representação dos locais que possuem características físicas adequadas para a implantação de trincheiras de infiltração.

A estrutura urbana foi retratada pela consulta à legislação municipal, principalmente a legislação de uso, parcelamento e ocupação do solo e o Código de Posturas do município, para a verificação das restrições e limitação que podem vir a dificultar a adoção do dispositivo e reunião de critérios que delimitarão a avaliação de possibilidade de controle de escoamento. Foram consultadas também as normas e critérios de projeto das concessionárias (COPASA, SUDECAP) prestadoras de serviços municipais para indicar, de forma preliminar, as interferências que poderão existir com a implantação do dispositivo. Procurou-se também levantar, nos Manuais de Adoção de Técnicas Alternativas de Drenagem e *Retrofit*, recomendações quanto a adaptação das trincheiras de infiltração ao ambiente já consolidado.

### **5.2.1 Manejo de águas urbanas de Belo Horizonte**

Localizado no centro sul de Minas Gerais, o município de Belo Horizonte, núcleo de uma região metropolitana, RMBH, composta por 24 municípios, corresponde ao centro

administrativo e financeiro do estado. O município ocupa uma área de 335 km<sup>2</sup> quase totalmente urbanizada e já possui um plano de ocupação para a região da bacia do ribeirão Isidoro, sua principal área não parcelada. A população atual, levantada pelo Censo IBGE 2010, equivale a 2.375.444 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de 7.167 hab/km<sup>2</sup>.

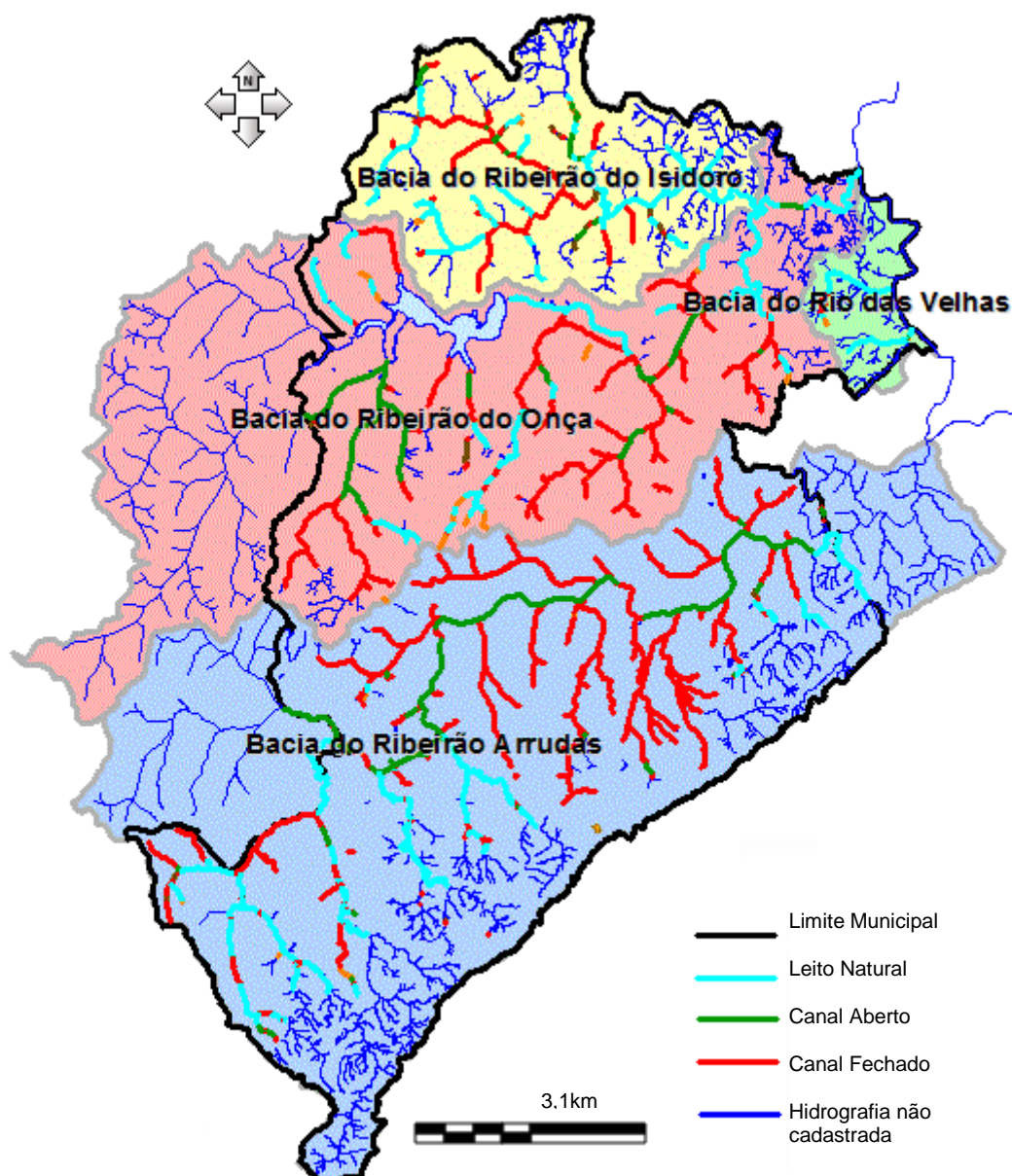
A cidade foi planejada pela Comissão Construtora de Belo Horizonte, coordenada pelo engenheiro Aarão Reis, em uma concepção geométrica do espaço urbano, com ruas em traçado retilíneo e quarteirões quadrados cortados por largas avenidas arborizadas, em contraposição ao traçado proposto por Saturnino de Brito que privilegiava o aspecto sanitário e previa que as avenidas fossem construídas de acordo com o sistema natural de escoamento das bacias urbanas. Além dos limites da região planejada, limitada pela avenida do Contorno, a cidade teve um crescimento de forma acelerada e desordenada. Em muitos casos a malha urbana desenvolveu-se em áreas sujeitas a inundações, nos vales estreitos dos cursos de água e áreas instáveis nas encostas.

Quanto aos aspectos físicos, segundo dados da Prefeitura Municipal (PBH, 2012), o regime pluviométrico de Belo Horizonte é típico de clima subtropical com precipitações intensas no verão e inverno seco. A precipitação média anual é da ordem de 1490 mm concentrada no trimestre de novembro/janeiro. A temperatura média anual varia de 20°C a 22°C. O município atinge altitudes na ordem de 1.100 e 1.500 m. A altitude média é da ordem de 852 metros. Em relação à hidrografia, o município é subdividido nas sub-bacias hidrográficas dos Ribeirões Arrudas, Onça e Isidoro, pertencentes à bacia do rio das Velhas e uma pequena área de contribuição direta ao rio das Velhas.

#### 5.2.1.1 Sistema de Drenagem do Município

A macrodrenagem do município é realizada principalmente através dos ribeirões Onça e Arrudas, cujas cabeceiras situam-se em Contagem, município vizinho, pertencente à Região Metropolitana. Predomina a drenagem por canalizações e retificações dos cursos d'água naturais e segundo SUDECAP (2009) o município possui uma rede de macrodrenagem constituída de aproximadamente 130 km de canais revestidos fechados e 180 km de canais revestidos abertos, apresentados no mapa de hidrografia do município na Figura 9.





**Figura 9** – Hidrografia de Belo Horizonte  
(Fonte: SUDECAP, 2012)

O sistema de microdrenagem do município é composto por sarjetas, bocas de lobo, caixas de passagens e rede de águas pluviais, existindo uma instrução técnica para elaboração de projetos e padronização destes dispositivos pelo Caderno de Encargos da SUDECAP (SUDECAP, 2008). Em algumas áreas do município, como parte dos bairros Padre Eustáquio, Santa Mônica, Dom Bosco, Santa Amélia, Copacabana, o sistema de microdrenagem não foi implantado sendo o escoamento das águas pluviais realizado diretamente pelas ruas até o sistema de macrodrenagem.

Com exceção da região planejada, onde o sistema de drenagem foi concebido em conjunto com a urbanização (segundo SUDECAP, 2001), as ações relacionadas com a drenagem em Belo Horizonte foram, executadas com vistas a solucionar problemas de enchentes localizadas ou a viabilizar outras metas como a implantação de avenidas sanitárias, política esta, que aliada ao crescimento urbano descontrolado, resultou em problemas frequentes e graves de inundação urbana, configurando crises de funcionamento do sistema de drenagem.

Atualmente o manejo de águas pluviais do município está centrado na Superintendência de Desenvolvimento da Capital - SUDECAP, autarquia subordinada à Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura, cuja atribuição principal é a implementação da política governamental para o Plano de Obras do Município em colaboração com a Administração Direta do Poder Executivo. Para tanto, a SUDECAP possui em sua estrutura os principais setores relacionados ao sistema de drenagem do município:

- Divisão de Projetos de Saneamento Integrado (DVPRS) - que gerencia, programa, supervisiona e fiscaliza a elaboração de projetos e estudos complementares de empreendimentos de Saneamento Integrado, dentre eles, os projetos de drenagem.
- Departamento de Gestão de Manutenção (DPGM) – que coordena, planeja e fiscaliza o programa de serviços de conservação, manutenção e restauração de vias públicas e drenagem.
- Núcleo de Execução de Projetos Especiais Informação Técnica (NEPE-IT) - que analisa os empreendimentos com relação aos possíveis impactos gerados no sistema de drenagem pluvial.
- Núcleo de Execução de Projetos Especiais - Plano Diretor de Drenagem (NEPE-PDD) – que gerencia as informações relacionadas à drenagem do município, coordena a coleta de dados hidrológicos e consolida em instrumentos como Plano Diretor de Drenagem e ferramentas como o SIG Drenagem.
- Diretoria de Infraestrutura – DI – responsável pela execução de obras no município, o que inclui obras de drenagem.

Outros órgãos da prefeitura também têm interface no manejo de águas pluviais do município, como a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e a Secretaria Adjunta de Regulação Urbana, que licenciam e aprovam empreendimentos considerando as áreas permeáveis

regulamentadas, e as Administrações Regionais que coordenam medidas de manutenção de caráter corriqueiro no sistema de microdrenagem.

#### 5.2.1.2 Parâmetros e Critérios Normalizados

A SUDECAP padronizou os procedimentos técnicos para a elaboração de estudos e projetos de microdrenagem no Município de Belo Horizonte, que compreendem a parte da drenagem urbana que consiste na coleta, na condução e no lançamento final dos deflúvios superficiais, sendo os principais itens desta padronização listados abaixo:

- Período de retorno (TR) igual a 10 anos;
- Tempo de concentração calculado pela fórmula de Kirpich para áreas de drenagem de até 5,00 km<sup>2</sup> e método cinemático para canais revestidos;
- A duração da chuva de projeto (D) deve ser igual a 10 minutos;
- As intensidades deverão ser calculadas através da equação de chuvas intensas de Guimarães Pinheiro (1997), estabelecida com base nas relações intensidade – duração – frequência e de hietogramas típicos de distribuição temporal, para as precipitações históricas da Região Metropolitana de BH;
- A precipitação média anual a ser adotada nos estudos e projetos de microdrenagem, no município de Belo Horizonte, será de 1.500 mm;
- As vazões de projeto para o sistema de microdrenagem serão calculadas pelo Método Racional;
- O coeficiente de escoamento superficial (C) deverá ser estabelecido com base nas condições de uso e ocupação do solo, conforme a Lei 7166 e suas alterações ou para projetos de drenagem em áreas restritas com uso e/ou ocupação específicos, podem ser utilizados os valores de C indicados pelo estudo *Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais Hidrosistemas / Copasa – 1993*.

A SUDECAP também estabelece, que para o caso de empreendimentos privados, a vazão pluvial de lançamento (resultante interna, acrescida de vazões adjacentes a montante), não deverá ultrapassar o limite de capacidade do sistema público local. Caso o cálculo o

ultrapasse, o projeto deverá contemplar uma solução que possa minimizar o impacto do lançamento na rede pública, com a execução de dispositivos às expensas do empreendedor.

No caso de insuficiência da rede como corpo receptor, poderá ser exigida uma complementação da mesma ou a retenção pluvial na área do empreendimento em análise. Em locais de bacias que apresentem problemas críticos de drenagem e representados na Carta de Inundação de Belo Horizonte (PBH, 2009), contendo a identificação de áreas potencialmente susceptíveis à inundação, deverá ser implantada uma caixa de captação ou drenagem ou outro dispositivo para redução de pico a ser proposto pelo empreendedor.

### 5.2.1.3 Legislação e Planos Pertinentes

De acordo com Secretaria Municipal de Políticas Urbanas - SMURBE (2008), em Belo Horizonte, os maiores avanços situam-se na esfera da integração das políticas públicas de intervenção no espaço urbano, exemplo disto foi o desenvolvimento de processos de planejamento oriundos da trajetória do orçamento participativo, com a geração do Plano Municipal de Drenagem de Belo Horizonte (PDD-BH). O PDD-BH teve como objetivo ser um instrumento de uma nova política de gestão voltada para a redução dos impactos negativos da urbanização no escoamento das águas pluviais. Pretendeu-se estabelecer diretrizes para medidas estruturais mais adequadas ao funcionamento real do sistema e menos danosas ao meio ambiente, e a adoção de medidas não estruturais de caráter corretivo e preventivo a serem incorporadas ao planejamento urbano.

Como resultado, foi elaborado também o Programa DRENURBS, cujo principal objetivo é a preservação das condições naturais dos córregos da cidade, saneando-os e desocupando suas margens e as áreas de inundação, o que pressupõe obras de esgotamento sanitário, drenagem e sistema viário, remoção e reassentamento de população em área de risco e implantação de áreas verdes e de uso público (SMURBE, 2008).

Também, buscando a consolidação de novos conceitos em drenagem urbana, Belo Horizonte, entre os anos de 2006 e 2010, ingressou como parceiro do Projeto SWITCH (*Sustainable Water Management Improves Tomorrow's Cities' Health*), liderado pelo instituto IHE-UNESCO (Instituto de Educação para as Águas), tendo como principal objetivo o desenvolvimento, aplicação e avaliação de soluções tecnológicas e gerenciais voltadas ao manejo de águas urbanas. Além de ser beneficiada com atividades relacionadas ao planejamento e gestão integrada e participativa de águas urbanas, Belo Horizonte pôde aplicar

e avaliar o desempenho de técnicas não convencionais de drenagem urbana de águas pluviais como as trincheiras de infiltração, valas de retenção, coletores de águas pluviais para reuso e *wetlands*.

Outra medida que busca minimizar efeitos negativos na drenagem é a análise e emissão de parecer técnico pelo NEPE-IT SUDECAP sobre a conformidade do sistema de drenagem dos empreendimentos particulares de impacto em processo de licenciamento ambiental. Assim o NEPE-IT avalia os impactos causados por estes empreendimentos na rede pública pluvial e estabelece condições para sua implantação e operação através de orientações e diretrizes constantes em um roteiro para elaboração de projeto de drenagem pluvial predial.

Na Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (LPUOS) de 1996, em contrapartida das legislações anteriores que permitiam a ocupação da totalidade dos terrenos, foi incentivada a maior permeabilidade do solo pelo controle do adensamento na cidade através da Taxa de Permeabilidade, parâmetro urbanístico que define uma área descoberta e permeável do terreno, contribuindo para o alívio do sistema de drenagem urbana e equilíbrio climático proporcionado pela vegetação.

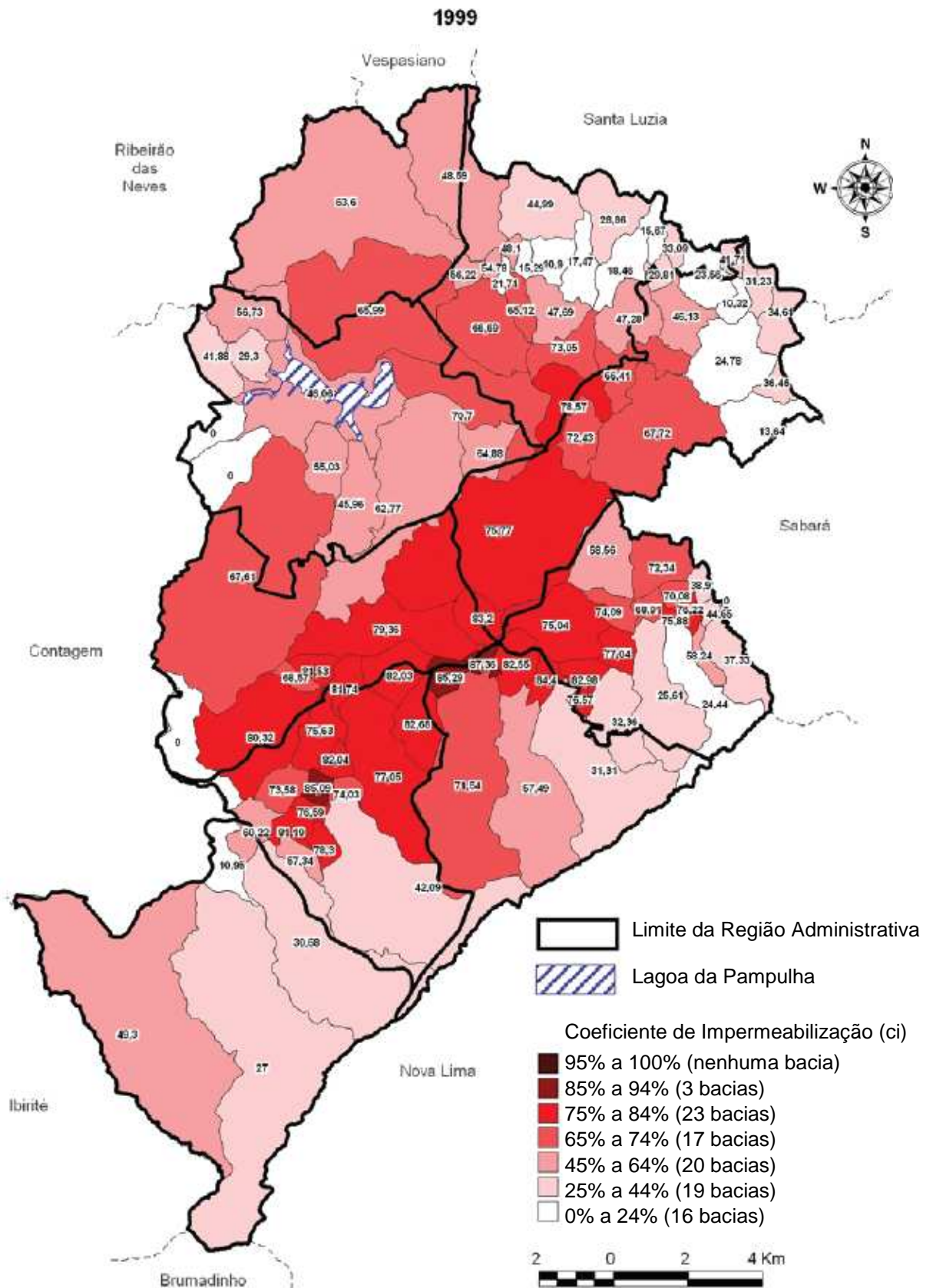
A taxa de permeabilidade mínima, conforme LPUOS vigente (PBH, 2010a), corresponde a 95% para as ZPAM (Zonas de Preservação Ambiental, destinadas a preservação e à recuperação de ecossistemas.), 70% ou 30% para ZP (Zona de Proteção, regiões de proteção ambiental e preservação do patrimônio) dependendo da sua ocupação, 10% para os demais zoneamentos com terrenos com área inferior a 360 m<sup>2</sup> e 20% para terrenos com área superior a 360 m<sup>2</sup>. Para os terrenos situados na ADE Pampulha (Área de Diretrizes Especiais da Bacia Hidrográfica da Pampulha), a taxa de permeabilidade mínima é de 30%, independente do zoneamento.

A lei permite a impermeabilização de até 100% da área do terreno, exceto nas áreas localizadas em ZPAMs e ZPs, desde que nelas haja área descoberta, equivalente à área de permeabilidade mínima, dotada de vegetação que contribua para o equilíbrio climático e que seja construída caixa de captação e drenagem (30 L/m<sup>2</sup> de terreno impermeabilizado que exceda do limite previsto), para o retardo do lançamento das águas pluviais provenientes desta área. Ainda segundo este dispositivo legal, pode ser dispensada a taxa prevista neste artigo por meio de parecer técnico atestando que seja desaconselhável a permeabilidade do terreno.

#### 5.2.1.4 Identificação de Problemas

Um dos estudos do PDD-BH envolveu a determinação do coeficiente de impermeabilização (Ci) para os anos de 1996 e 1999 por meio de sensoriamento remoto. A Figura 10 apresenta o mapa resultante do estudo para o ano de 1999, e mostra que neste ano 43 das 98 bacias elementares possuem coeficiente de impermeabilização superior a 65%. Pela continuidade da elevação da densidade urbana no município, passando de 6.763,86 hab/km<sup>2</sup> em 2000 para 7.167,02 hab/km<sup>2</sup> em 2010, pode-se inferir que a impermeabilização tornou-se mais acentuada nos dias atuais.

Apesar de a legislação atual revelar uma preocupação relativa aos impactos das áreas impermeáveis no sistema de drenagem, segundo SUDECAP (2001) as exigências legais não são capazes de restringir a ampliação da vazão gerada pelas superfícies impermeáveis. A exigência de caixas de retenção restringe-se aos percentuais de área para os quais é exigida a permeabilidade, ou seja, a impermeabilização permitida pela lei (área total do terreno menos a área permeável mínima) não é mitigada. A possibilidade legal de não cumprimento dessa exigência mínima, mediante parecer técnico, tem conduzido à utilização frequente de índices maiores de impermeabilização do solo. Assim SUDECAP (2001) aponta que na prática os resultados alcançados são ainda modestos no que se refere à adequação ao meio ambiente e ao sistema de drenagem em especial, pela própria concretização das propostas da Lei, que não contemplaram diretrizes específicas de drenagem entre os critérios para definição de zoneamento, adensamento, ou mesmo permeabilidade do solo e pelo grau de irregularidade praticado, somado às dificuldades de acompanhamento e monitoramento do processo de ocupação e renovação do espaço urbano.



**Figura 10** – Coeficiente de impermeabilização por bacia hidrográfica elementar –1999  
(Fonte: SUDECAP, 2001)



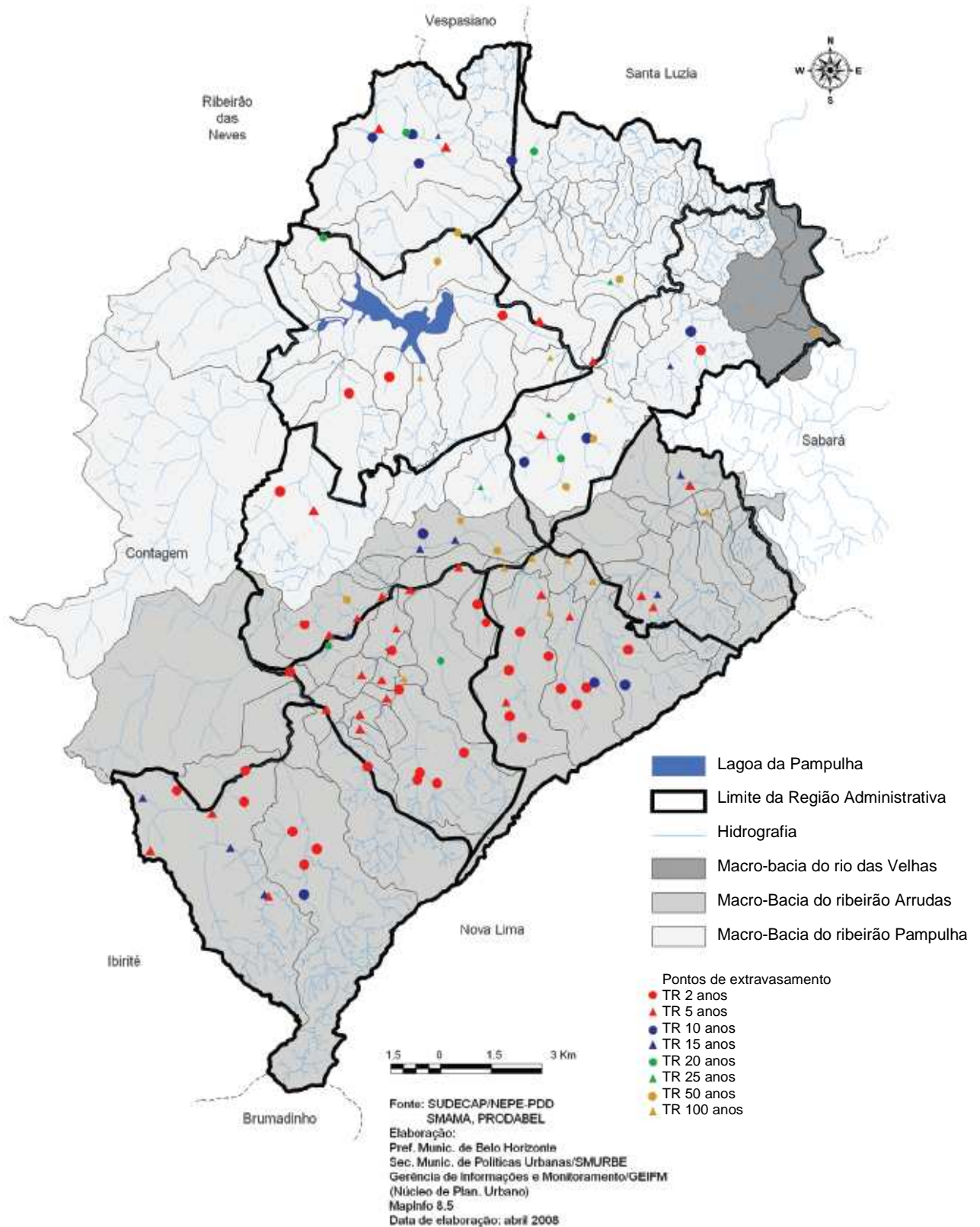
A Figura 11 apresenta um exemplo da irregularidade nas taxas de permeabilidade exigida e real do município, baseada na lei de 1996, especificamente na Bacia da Pampulha onde a taxa de permeabilidade mínima é de 30% e nesta quadra representa apenas 2%.



**Figura 11** – Quadra região do Bairro Alípio de Melo - ADE Pampulha  
Área privada permeável – 2%, Logradouro público permeável – 1,2%  
(Fonte: imagem Google Earth, 2011)

Outro ponto importante, é que as áreas do município destinadas aos logradouros públicos, tais como o sistema viário e calçadas, são praticamente constituídas de pavimentos impermeáveis conectados diretamente ao sistema de drenagem existente, não possuindo critérios específicos para mitigação do escoamento superficial por elas gerado. Assim, a impermeabilização, aliada a uma projeção da evolução da ocupação superestimada no dimensionamento, levou ao mau funcionamento dos canais pluviais em tempos de retorno inferiores aos adotados nos projetos, como pode ser observado nos pontos de extravasamento para seus respectivos tempos de retorno apresentados na Figura 12.





**Figura 12** – Pontos de Extravasamento na Macro drenagem de Belo Horizonte (Fonte: SUDECAP/ NEPE-PDD *apud* SMURBE, 2008)

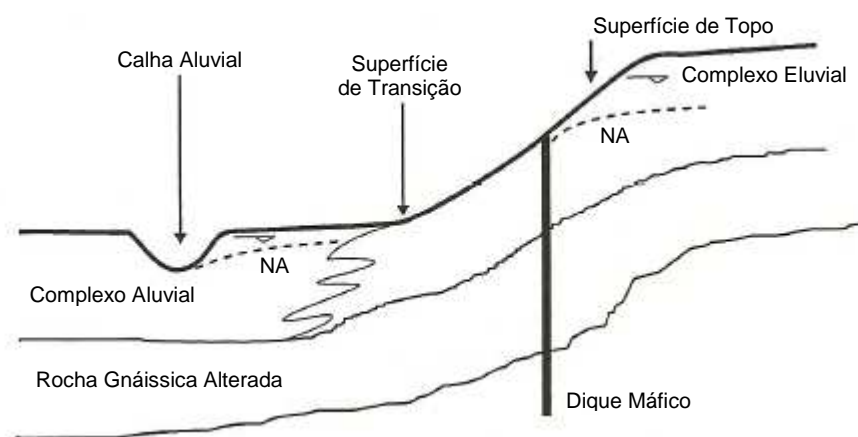
## 5.2.2 Aspectos Físicos

As limitações das técnicas alternativas são geralmente baseadas nas características físicas do local de implantação, risco de contaminação, custo, suporte institucional, clima, hidrologia, dentre outros (Debo e Reese, 1995). Nos itens seguintes discorreu-se sobre as limitações impostas para a implantação de trincheiras de infiltração pelas características físicas de Belo Horizonte.

### 5.2.2.1 Lençol Freático

Segundo Silva *et al.* (1995), no município de Belo Horizonte existem dois sistemas aquíferos principais. O primeiro que tem maior expressão areal, é o aquífero nas rochas do embasamento que constituem o chamado complexo Belo Horizonte, constituído genericamente de gnáisses. O segundo sistema aquífero é o encontrado nas rochas metassedimentares do Super Grupo Minas, que ocorre na porção sul de Belo Horizonte. Assim, tem-se um aquífero granular poroso superior e um fissurado sobreposto, em comunicação hidráulica íntima, constituindo um só sistema aquífero.

Carvalho (1999) estabeleceu os principais elementos do modelo geológico da Região Metropolitana de Belo Horizonte, ver Figura 13, sendo um zoneamento vertical de matérias, determinado por formação aluvial sobre o substrato rochoso e presença também de zoneamento horizontal devido à transição de terrenos aluviais do fundo de vale e os eluviais da alta vertente e ao dique máfico, estabelecendo contraste de permeabilidade com a rocha gnáissica.



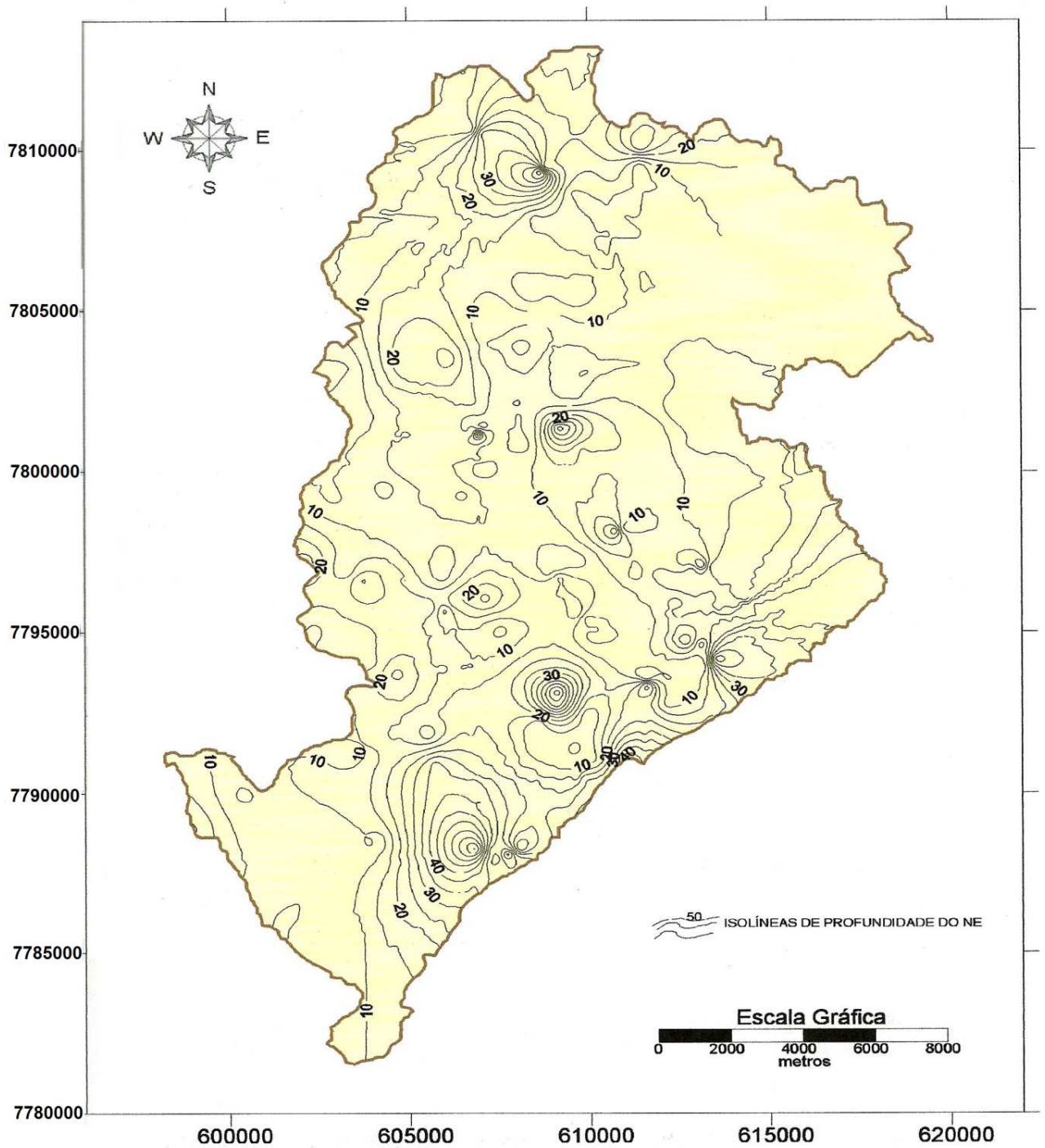
**Figura 13** – Modelo Geológico RMBH  
(Fonte: Carvalho, 1999)

Assim, o autor aponta que a superfície de topo, quando plana ou suavemente ondulada, apresenta salubridade natural dada pela facilidade de drenagem e infiltração, condições naturais de escoamento superficial por fluxo divergente e lençol freático profundo, local este, onde a ocupação pode levar à concentração de fluxo disperso, aumento de caudais com o bloqueio da infiltração natural capaz de provocar erosões.

No conceito de Carvalho (1999), a melhor maneira de combater o impacto erosivo da urbanização e restabelecer o funcionamento do aquífero com a transferência de águas pluviais para o fundo de vale pela subsuperfície é compensar a perda da infiltração pela coleta e uso e infiltração forçada das águas pluviais. O autor ainda argumenta que a infiltração forçada é menos eficaz nas superfícies de transição, visto que o lençol freático é menos profundo e tende a não funcionar na região da calha aluvial onde o lençol é raso, existindo forte inclinação para ascensões capilares e também para inundação.

Deste modo, a localização do lençol freático pode restringir o uso de dispositivos de infiltração. Debo e Reese (1995) apontam a necessidade de no mínimo 0,60 a 1,20 m de diferença entre o lençol e o fundo das trincheiras. Esta profundidade mínima está ligada a vulnerabilidade do aquífero quanto à contaminação. Assim, Costa (2002) argumenta que a zona não saturada pode constituir uma importante defesa natural contra a contaminação da água subterrânea. Deste modo um aquífero onde a espessura da zona vadosa é muito grande e sua constituição predominantemente argilosa possui uma elevada inacessibilidade hidráulica é um aquífero pouco vulnerável à contaminação. A zona não saturada portanto pode constituir uma importante defesa natural contra a contaminação da água subterrânea, atuando como autodepuradora dos contaminantes nela infiltrados.

Costa (2002) apresenta a distribuição dos valores do NE (profundidade do lençol) baseado nos postos de captação subterrânea cadastrados em seu trabalho, Figura 14. Pelo cadastro realizado não foi possível traçar as isolíneas de profundidade para parte das regiões Norte e Nordeste.



**Figura 14** – Profundidade do lençol freático  
(Fonte: Costa, 2002)

#### 5.2.2.2 Captações de água

As áreas de infiltração devem ser instaladas longe de fontes de abastecimento de água, poços ou sistemas sépticos (a distância vai variar de acordo com as condições do local). Cuidados devem ser tomados para evitar mistura com águas pluviais em áreas utilizadas por postos de gasolina ou indústrias sensíveis aos derramamentos de materiais potencialmente perigosos (*American Society of Civil Engineers – ASCE, 1992*). Segundo Debo e Reese (1995), um mínimo de 30 metros de poços de abastecimento de água deve ser mantido quando o escoamento é de fontes industriais ou de áreas comerciais.

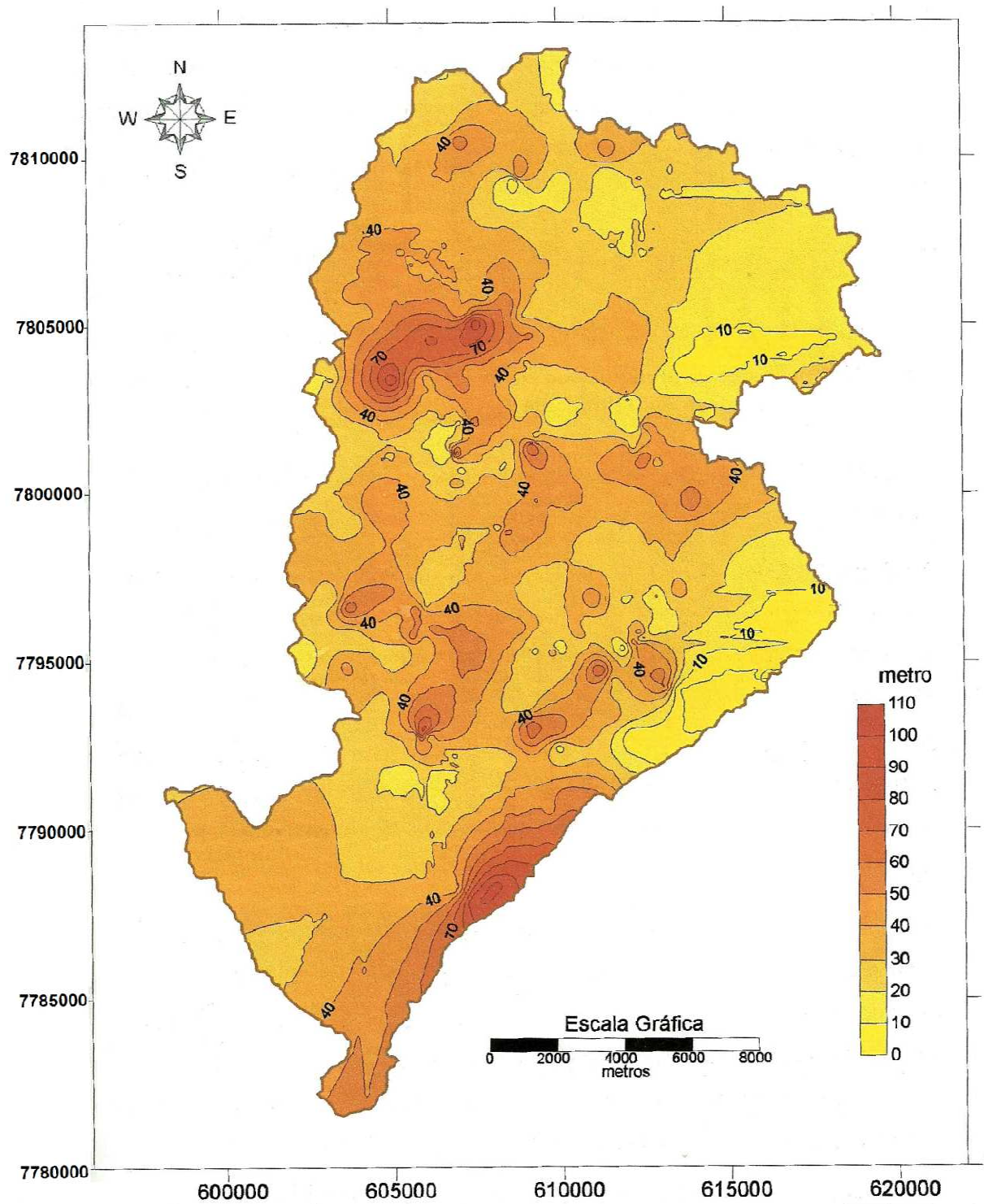
Apesar do abastecimento público de água em Belo Horizonte ser realizado principalmente por captação superficial, sendo que os principais mananciais localizam-se fora dos limites do município, Costa identificou em 2002, junto às empresas perfuradoras, a existência de 258 postos implantados no município. Em seu trabalho, avaliou também aspectos de qualidade, concluindo que, de uma maneira geral, é muito boa a qualidade das águas subterrâneas, principalmente nos aquíferos fissurais, o que facilitaria a sua utilização em qualquer finalidade, sendo este um ponto relevante na necessidade de se proteger a qualidade da água subterrânea durante a implantação de técnicas de infiltração.

#### 5.2.2.3 Leito rochoso

Se as estruturas de manejo de águas pluviais estão perto de camadas de confinamento, tais como rocha ou argila, os sistemas de percolação, podem não funcionar devido às camadas confinantes agindo como uma barreira contra as infiltrações (Novotny, 1995). Segundo Schueler (1987) o leito rochoso perto da superfície pode efetivamente fornecer uma barreira principalmente se ele está localizado dentro de 0,60 a 1,20 m. Outros autores como ASCE (1992) são mais criteriosos indicando que o leito rochoso deve ser pelo menos, cinco metros abaixo do fundo da área de infiltração.

De acordo com Costa (2002), em Belo Horizonte a espessura do aquífero granular é muito variável em todo o município, como consequência das condições topográficas e geológicas locais, podendo estar radicalmente ausente nas áreas em que a rocha aflora, até atingir espessuras da ordem de 100 m. Em seu trabalho este autor apresenta a espessura do aquífero granular e por consequência a profundidade do leito rochoso ou aquífero fraturado, conforme apresentado na Figura 15.





**Figura 15** – Profundidade do aquífero fraturado  
(Fonte: Costa, 2002)

#### 5.2.2.4 Declividade

A declividade pode restringir o uso das técnicas baseadas na infiltração devido à alta velocidade do escoamento, o potencial de erosão ou falta de tempo de contato entre a água pluvial e a superfície de entrada no dispositivo. Segundo Debo e Reese, (1995) dispositivos de infiltração não devem ser utilizados em declives superiores a 20-25%. Baptista *et al.* (2005) relatam que a inclinação do terreno intervém na determinação do sentido do escoamento da água sobre as superfícies drenadas e na avaliação dos volumes úteis de armazenamento na trincheira. Para evitar escavações adicionais das trincheiras, declividades ideais ficariam abaixo de 5%.

Costa (2002) constatou que 87% do município de Belo Horizonte possui declividade fraca a média (inferior a 20%), áreas estas que correspondem à Depressão Sanfranciscana, onde se situam os vales do Arrudas e do Onça, resultantes da dissecação fluvial, onde a infiltração de águas pluviais foi favorecida, contribuindo não apenas pela elevação do nível freático do solo mas também pela formação de solos mais espessos. Nos locais em que predomina a declividade forte a muito forte, que corresponde a Serra do Curral, as condições de escoamento superficial prevalecem em relação as condições de infiltração.

O Sistema de Informações Geográficas - SIG Drenagem elaborado pelo NEPE-PDD possui o cadastro de declividade do município, conforme pode ser observado na Figura 16.



**Figura 16** – Declividade de uma área em Belo Horizonte  
(Fonte: SUDECAP,2012)

### 5.2.2.5 Tipo de Solo

A caracterização dos solos possibilita proceder as primeiras inferências sobre as condições de infiltração das águas pluviais, considerando que cada solo analisado possui características específicas que impliquem em sua maior ou menor permeabilidade, oferecendo, em consequência menor ou maior resistência à infiltração e percolação destas águas (Costa, 2002).

Moura *et al.* (2009) elencaram as recomendações em relação à condutividade hidráulica de sistemas de infiltração (Tabela 2), e apontam que estas ainda são bastante empíricas, fortemente variáveis e dependentes dos órgãos que prescrevem o processo.

**Tabela 2** – Condutividade hidráulica do solo recomendada para sistemas de infiltração  
(Adaptado Moura *et al.*, 2009)

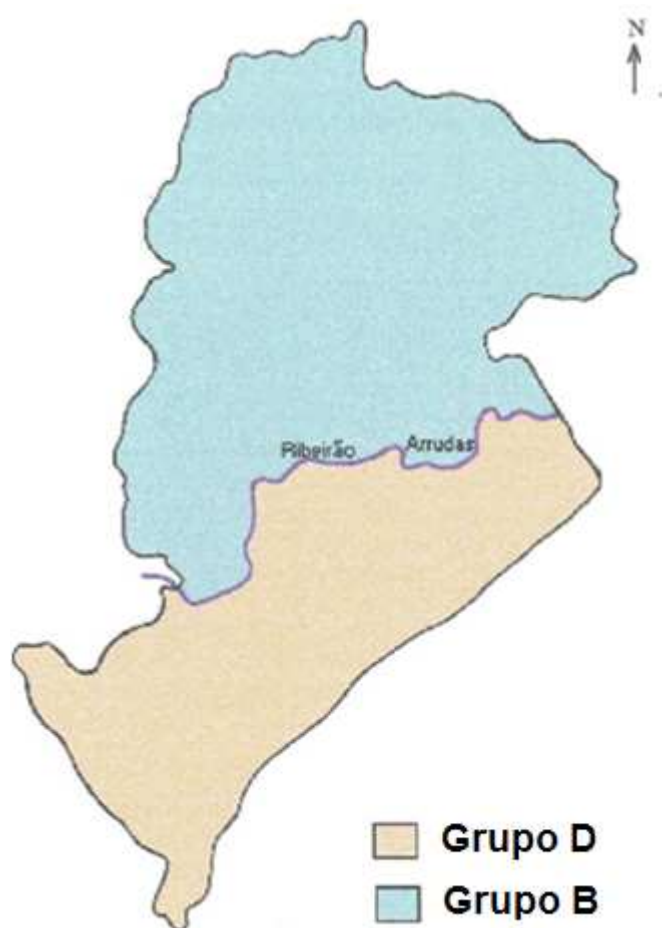
<b>Autor</b>	<b>Recomendação - K (m/s)</b>
Azzout <i>et al.</i> (1994) - França	$>10^{-6}$
Grand Lyon, (2007) - França	$10^{-5}$ a $10^{-2}$
Donovan (2003) - Austrália	$>10^{-8}$
Wong (2006) - Austrália	$10^{-8}$ a $10^{-5}$
Barraud <i>et al.</i> (2006) - França	Para K superior a $10^{-2}$ m/s recomenda medidas para controle de contaminação.

A identificação e caracterização de dois grupos litológicos, classificados por Silva *et al.* (1995), os granito-gnaisses e as rochas metassedimentares, permitiu a classificação dos solos de Belo Horizonte segundo os grupos hidrológicos B e D definidos pelo SCS (*Soil Conservation Service*), conforme pode ser visualizado na Figura 17, como limite foi estabelecido o talvegue do ribeirão Arrudas (Ramos, 1998):

- GRUPO B: Solos residuais dos gnaisses. Predominantemente solos profundos com permeabilidade moderada. Solo silto-arenoso ou areno-argiloso (norte do talvegue). Complementando Costa (2002) classificou o solo desta proporção de aproximadamente 60% do município como Podzólico Vermelho Amarelo – com textura areno-argilosa e uma condutividade hidráulica média de  $1,1 \times 10^{-6}$  m/s.
- GRUPO D: Filitos alterados, formando camadas impermeáveis ou solos muito delgados sobre a rocha intemperizada ou a rocha sã (sul do talvegue). Segundo Costa



(2002), nesta região, cerca de 30% do município, é constituída por Latossolo Vermelho Amarelo, com textura argilosa e uma condutividade hidráulica média de  $5,1 \times 10^{-7}$  m/s. E os 10% restantes de solo Litólico, que se trata de solo muito raso, muitas vezes o horizonte A repousa diretamente sobre a rocha com textura arenosa e uma condutividade hidráulica de  $6,0 \times 10^{-7}$  m/s, relacionado com as litologias mais resistentes formadoras da serra do curral.

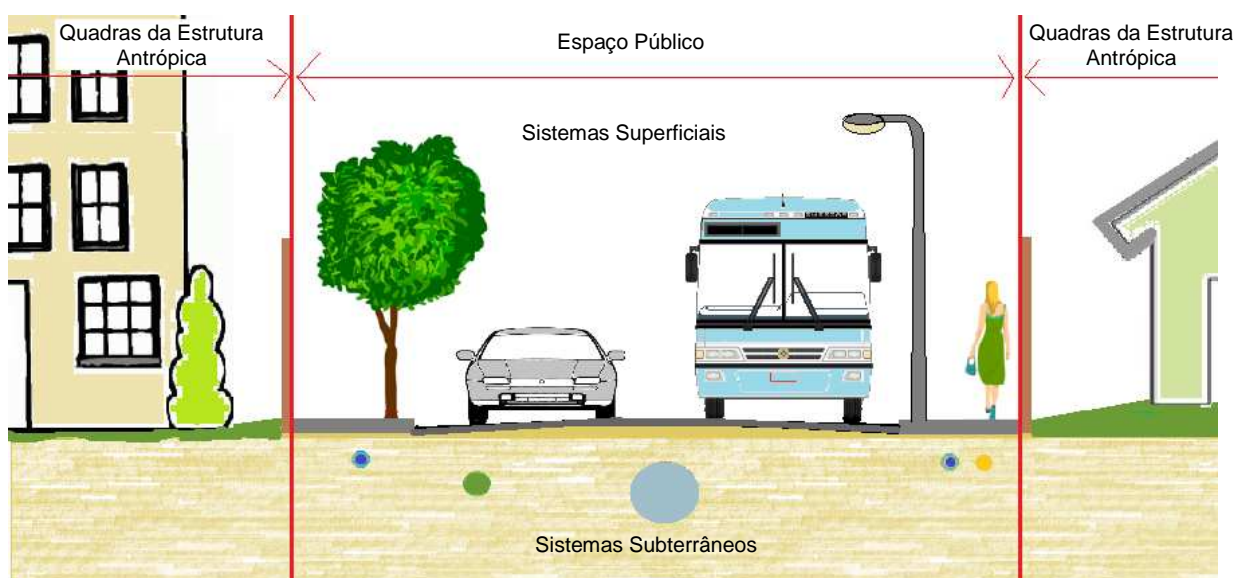


**Figura 17** – Classificação dos Solos de Belo Horizonte  
(Fonte: Ramos, 1998)

Debo e Reese (1995) argumentam que solos com taxa de infiltração inferior  $10^{-6}$  m/s raramente são apropriados para a infiltração e que isso exclui os grupos hidrológicos C e D da classificação SCS para esses tipos de dispositivos de drenagem.

### 5.2.3 Aspectos urbanos

Analisando o desenho urbano de maneira simplificada, pode-se dividir o espaço ocupado pela cidade em dois setores, conforme apresentado na Figura 18: um setor onde estão implantadas as edificações (residenciais, comerciais, industriais ou públicas), formado por quadras e lotes; e outro ocupado pelo espaço público correspondente a base de implantação da infraestrutura urbana.



**Figura 18** – Divisão do espaço urbano

O primeiro setor, apesar de submetido, quase sempre, às demandas privadas, deve obedecer a critérios estabelecidos nas legislações da cidade para não impactar ou minimizar impactos transferidos ao ambiente urbano.

O espaço público é constituído de várias estruturas que permitem a manutenção das atividades urbanas da estrutura antrópica, como aquelas destinadas à locomoção (sistema viário e calçadas), ao funcionamento dos serviços de saneamento (dispositivos do sistema de abastecimento, esgotamento sanitário, drenagem urbana, coleta de resíduos), ao transporte, distribuição de energia e iluminação pública, ao conforto térmico e paisagístico (jardins e arborização urbana) e outros. Este ambiente está preferencialmente estabelecido na faixa de logradouro público (conjunto formado pela calçada, ciclovias, vias públicas e eventuais praças).

Para inserção de qualquer dispositivo no meio urbano é necessário o conhecimento das características deste meio e de suas normas de regulamentação, para que se possa fazer uma

avaliação sobre as possibilidades de compatibilização da nova estrutura neste ambiente sem prejudicar o funcionamento das atividades inerentes deste ambiente.

Nos próximos itens procurou-se fazer a leitura dos principais instrumentos que formalizam o município estudado, tais como a lei de uso e ocupação do solo, código de posturas, diretrizes de projeto das concessionárias responsáveis pelos sistemas urbanos, padrões praticados pelas obras e paisagismo do município dentre outros, buscando elencar as principais questões interferentes para a implantação de trincheiras de infiltração.

#### 5.2.3.1 Regulamentações do Espaço Urbano

Segundo Maryland (1999), a incorporação dos conceitos alternativos de drenagem dentro do processo de planejamento urbano induz um número de novas considerações para minimizar os efeitos da hidrologia na área desenvolvida e criar uma hidrologia funcional para o espaço. O processo de planejamento e ordenação de zoneamento providencia uma ferramenta para estabelecer uma relação funcional e visual entre o crescimento e a urbanização. A ordenação do zoneamento prevê o uso e características físicas de uma área geográfica desenvolvida para conhecer metas de projetos, regular a densidade e o desenvolvimento geográfico, especificar larguras de vias e estacionamentos, estabelecer diretrizes de drenagem e definir áreas de proteção de recursos naturais.

Os zoneamentos comuns abordam principalmente os seguintes itens:

- Restrições do uso da terra – Separam usos residencial, comercial e industrial e especifica a porcentagem da mistura dos usos;
- Estabelece diretrizes para o *layout* dos lotes – Propõe igual tamanho ou forma similar aos lotes e promove coerência entre uso residencial e demais usos;
- Separam limites – Promovendo distinção entre zonas residenciais e acessos, etc;
- Fixam espaços livres nos lotes, frontais, de fundo, laterais e locais de jardins – Promovendo distinção e coerência nas zonas residenciais e controla a cobertura das áreas construídas;

- Estabelece diretrizes para o *layout* de vias e calçadas – garantindo segurança veicular e para pedestres, evitando incômodos do público com os caminhos de trânsito rápido, prevendo risco à segurança e providenciando segurança adequada veicular e de pedestres.

Maryland (1999) aponta que as abordagens das técnicas alternativas necessitam do conhecimento das regulamentações do planejamento local, entretanto, as regulamentações típicas dos zoneamentos convencionais são frequentemente inflexíveis e restritivas. As agências locais de planejamento podem considerar a adoção de tecnologias ambientalmente sensíveis tendo opções de zoneamento flexível que facilitam o uso destas tecnologias. A abordagem das técnicas alternativas de drenagem deve vir, assim, com um número de opções flexíveis de zoneamentos que necessitam de objetivos ambientais sem imposições do crescimento urbano como:

- Zoneamento de performance – zoneamento flexível baseado em metas gerais de preservação e função do local;
- Zoneamento de incentivo – incentivando compromissos e adicionais padrões além do zoneamento aplicado ao local, permitindo maior flexibilidade e promovendo proteção ambiental;
- Zoneamento de cobertura impermeabilizada – opções de *layout* que são baseadas nos limites totais de impermeabilização do local;
- Zoneamento baseado na bacia hidrográfica – usando uma combinação de princípios que determina uma capacidade ou meta para a bacia.

Em Belo Horizonte a Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (LPUOS) de 1996 e suas alterações, estabelecem as diretrizes para execução do parcelamento do solo, determinam os parâmetros para a implantação de edificações e localizam os usos e funcionamento de atividades buscando ordenar a estrutura urbana do município, abrangendo assim, as regulamentações listadas acima para zoneamentos comuns. Também, como já levantado neste trabalho, esta legislação em vigor apresentou um avanço em relação às legislações anteriores na consideração de restrições em relação à impermeabilização e adoção de reservatórios de

detenção em loteamentos, todavia, regulamentações como a dos zoneamentos flexíveis apontados por Maryland (1999), ainda estão distantes da realidade do município.

#### 5.2.3.2 Zoneamento em vigor em Belo Horizonte

Na Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (LPUOS) de 1996 e suas alterações as zonas são diferenciadas segundo as possibilidades de adensamento construtivo e populacional e as demandas de preservação e proteção ambiental, histórica, cultural, arqueológica ou paisagística. Na Tabela 3 estão apresentadas as distinções das zonas e algumas observações a respeito da adoção de técnicas alternativas.

Além das zonas, na LPUOS as especificidades e particularidades de algumas regiões são contempladas em sobre-zoneamentos, apresentados no Apêndice 2, como as denominadas de Áreas de Diretrizes Especiais (ADEs) que por suas características específicas e peculiaridades exigem parâmetros urbanísticos diferenciados, mais restritivos, que se sobrepõem e preponderam em relação aos do macro zoneamento e as inseridas em Operações Urbanas que são um conjunto de intervenções e medidas coordenadas pelo poder executivo municipal, com a participação de agentes públicos ou privados, com o objetivo de viabilizar projetos urbanos de interesse público.

Os sobre-zoneamentos, além de estabelecer diretrizes de proteção ambiental e cultural, limitam áreas ao uso residencial, reforçam o caráter comercial em outras, proíbem atividades com potencial poluidor em áreas vulneráveis e impõem diretrizes em áreas de projetos viários futuros.

Em se tratando do uso do solo, SMURBE (2008) aponta que, em Belo Horizonte verifica-se um crescimento maior do que na RMBH no setor dos serviços avançados, assim como no comércio varejista, enfatizando a concentração do setor de informática e que apenas três setores industriais apresentaram maior concentração, sendo estes, a indústria têxtil, os serviços industriais de utilidade pública e a indústria do material de transporte, deixando para as cidades de Contagem e Betim grande parte da dinâmica industrial da região metropolitana.

**Tabela 3 – Zoneamento de Belo Horizonte e considerações a respeito da adoção de técnicas alternativas**

Zona	Descrição	Divisões	Taxa de Permeabilidade mínima (TP)	Necessidade de controle do escoamento gerado	Possibilidade de adoção de técnicas alternativas
ZPAM - Zona de proteção ambiental	Regiões destinadas à preservação e a recuperação de ecossistemas visando: garantir espaço para a manutenção da diversidade das espécies e propiciar refúgio à fauna; proteger as nascentes e as cabeceiras de cursos d'água; evitar riscos geológicos.	-	95% Propriedade pública; Propriedade particular devem respeitar os parâmetros de ZP-1.	<b>Baixa</b> - Em ZPAMs em que o caráter de preservação foi respeitado, as condições de escoamento serão próximas da natural, a adoção de técnicas alternativas seria necessária apenas em situações bastante específicas	<b>Alta</b> - As ZPAMs geralmente possuem espaço livre suficiente para implantação de técnicas desde que não associadas com degradação do ambiente.
ZP – Zona de Proteção	Regiões de proteção ambiental e preservação do patrimônio histórico, cultural, arqueológico ou paisagístico, sujeitas ao controle da ocupação, visando baixa densidade e maior taxa de permeabilização.	ZP-1 - regiões de proteção predominantemente desocupadas, nas quais a ocupação é permitida mediante condições especiais.	70% Vedada a substituição da TP mínima por caixa de captação e drenagem.	<b>Baixa</b> - Em ZP1 desocupadas, as condições de escoamento serão próximas da natural, a adoção de técnicas alternativas seria necessária apenas em situações bastante específicas quando a ocupação foi permitida.	<b>Alta</b> - As ZP1 geralmente possuem espaço livre suficiente para implantação de técnicas desde que não associadas com degradação do ambiente.
		ZP-2 - regiões de proteção predominantemente ocupadas, onde devem ser mantidos baixos índices de densidade demográfica.	30% Vedada a substituição da TP mínima por caixa de captação e drenagem.	<b>Média</b> - Apesar da baixa densidade e permeabilidade de 30% que deve ser mantida, a adoção destas técnicas pode ser interessante para estabelecer um escoamento próximo ao da pré-ocupação.	<b>Média</b> - É necessária a avaliação preliminar dos objetivos que levaram a caracterização da área como zona de proteção, já que a adoção destas técnicas pode ter interferência negativa, como a descaracterização da região protegida.
		ZP-3 - regiões de proteção em processo de ocupação, onde se propõe o controle de adensamento para a proteção ambiental e paisagística.	30% Vedada a substituição da TP mínima por caixa de captação e drenagem.	<b>Média</b> - Apesar da baixa densidade e permeabilidade de 30% que deve ser mantida, a adoção destas técnicas pode ser interessante para estabelecer um escoamento próximo ao da pré-ocupação.	

Zoneamento de Belo Horizonte e considerações a respeito da adoção de técnicas alternativas (continuação)

Zona	Descrição	Divisões	Taxa de Permeabilidade mínima (TP)	Necessidade de controle do escoamento gerado	Possibilidade de adoção de técnicas alternativas
ZAR – Zona de Adensamento Restrito	Regiões em que a ocupação é desestimulada, em razão da ausência ou deficiência de infraestrutura urbana, da precariedade ou saturação da articulação viária, ou da adversidade das condições topográficas	ZAR-1- regiões com articulação viária precária ou saturada, em que se faz necessário manter baixa densidade demográfica.  ZAR-2 - regiões em que as condições de infraestrutura, as topográficas, ou de articulação viária exigem restrição da ocupação.	20% 10% - terrenos com área < 360 m².	<b>Média</b> - Apesar da restrição do adensamento, as áreas já podem estar saturadas sendo necessário assim fazer o controle do escoamento gerado.	<b>Baixa</b> - A deficiência de infraestrutura como as adversidade das condições topográficas devem ser analisadas, já que podem limitar a adoção de algumas técnicas.
ZA – Zona Adensada	Regiões onde o adensamento deve ser contido, por apresentarem alta densidade demográfica e intensa utilização da infraestrutura urbana, de que resultam, sobretudo, problemas de fluidez do tráfego, principalmente nos corredores viários	-	20% 10% - terrenos com área < 360 m².	<b>Alta</b> - A necessidade de adoção de medidas de controle de escoamento pode ser inerente a estas áreas pela sua densidade.	<b>Baixa</b> - A intensa utilização de área pode dificultar a adoção de alguns tipos de técnicas alternativas em ZAs
ZAP – Zona de Adensamento Preferencial	Regiões passíveis de adensamento, em decorrência de condições favoráveis de infraestrutura e de topografia.	-	20% 10% - terrenos com área < 360 m².	<b>Alta</b> - A estimulação do adensamento destas áreas deve vir junto com medidas de controle de escoamento.	<b>Média</b> - As condições favoráveis de topografia podem facilitar a implantação de algumas técnicas como as trincheiras de infiltração. Entretanto a possibilidade de adensamento da região pode levar a valorização econômica do espaço diminuindo sua disponibilidade para implantação de técnicas alternativas.

Zoneamento de Belo Horizonte e considerações a respeito da adoção de técnicas alternativas (continuação)

Zona	Descrição	Divisões	Taxa de Permeabilidade mínima (TP)	Necessidade de controle do escoamento gerado	Possibilidade de adoção de técnicas alternativas
ZC – Zona Central	Regiões de configuração de centro, nas quais é permitido maior adensamento demográfico e maior verticalização das edificações.	ZHIP: Zona Hipercentral, ZCBH: Zona Central de Belo Horizonte, ZCBA: Zona Central do Barreiro, ZCVN: Zona Central de Venda Nova	20% 10% - terrenos com área < 360 m <sup>2</sup> .	<b>Alta</b> - O maior adensamento e sistema viário robusto necessário para garantir a manutenção das atividades das regiões centrais implicam em maior escoamento gerado que deve ser controlado.	<b>Baixa</b> - O alto adensamento aliado à valorização econômica das áreas pode dificultar a adoção de técnicas alternativas nas regiões centrais.
ZEIS – Zonas de Especial Interesse Social	Regiões nas quais há interesse público em ordenar a ocupação, por meio de urbanização e regularização fundiária, ou em implantar ou complementar programas habitacionais de interesse social	ZEIS-1: regiões ocupadas desordenadamente por populações de baixa renda,  ZEIS-2: regiões não edificadas, subutilizadas ou não utilizadas – AEIS (Área de especial interesse social)  ZEIS-3: regiões edificadas onde tenham sido implantados conjuntos habitacionais de interesse social	-	<b>Alta</b> - A desordenação da ocupação nestas áreas pode gerar problemas de drenagem pluvial.  <b>Média</b> - A implantação de conjuntos habitacionais de interesse social pode minimizar os problemas de drenagem pela ordenação da ocupação.	<b>Baixa</b> - A irregularidade da ocupação urbana em ZEIS pode dificultar a adoção de técnicas alternativas.  <b>Alta</b> - Em programas de ordenação da ocupação destas áreas, a adoção destas técnicas pode ser uma solução interessante.



Zoneamento de Belo Horizonte e considerações a respeito da adoção de técnicas alternativas (por fim)

Zona	Descrição	Divisões	Taxa de Permeabilidade mínima (TP)	Necessidade de controle do escoamento gerado	Possibilidade de adoção de técnicas alternativas
ZE – Zona de Grandes Equipamentos	São ZEs as regiões ocupadas ou destinadas a usos de especial relevância na estrutura urbana, como áreas industriais, áreas destinadas às Estações de BHBUS e outros equipamentos, nas quais é vedado o uso residencial.	ZEs Pilar, S. Francisco e Jatobá e as ZEs das Estações VN, Vilarinho, Barreiro, Pampulha, Alípio de Melo, Carlos Luz, J. Cândido da Silveira, Salgado Filho e Diamante	20% Pode ser impermeabilizado 100%, substituindo a TP por caixa de captação (exceção ZE Pilar)	<b>Alta</b> - Como ocorre a possibilidade de impermeabilização total da área o escoamento deve ser controlado.	<b>Média</b> - A implantação de técnicas alternativas em ZE demanda análise de critérios e legislações específicas dos equipamentos instalados nestas zonas.
		ZE Engenho Nogueira	30% Pode ser impermeabilizado 100%, substituindo a TP por caixa de captação e drenagem.		
		Demais ZEs	20% 10% - área < 360 m². Pode ser impermeabilizado 100%, substituindo a TP por caixa de captação e drenagem.		

### 5.2.3.3 Regulamentações no setor de consolidação antrópica - Lotes

As construções nos lotes são regulamentadas para proporcionar organização do espaço urbano, qualidade estética e conforto térmico, evitando conflitos e reduzindo impactos. Alguns dos instrumentos para esta regulamentação são a padronização dos tamanhos dos lotes, a limitação na altimetria das edificações, a utilização de coeficientes de aproveitamento para restringir a área construída, a adoção de taxas de permeabilidade mínima e a exigência de afastamentos entre a edificação e os limites do lote.

Quando analisamos o escoamento gerado no setor antrópico é necessário quantificar as áreas impermeáveis causadas pela edificação e pavimentos, as quais proporcionam um aumento em relação ao fluxo natural de águas pluviais. Em Belo Horizonte, como discorrido anteriormente, a regulamentação que tenta mitigar a ocupação urbana é feita pela exigência de permeabilidade mínima e caixa de retenção em algumas situações.

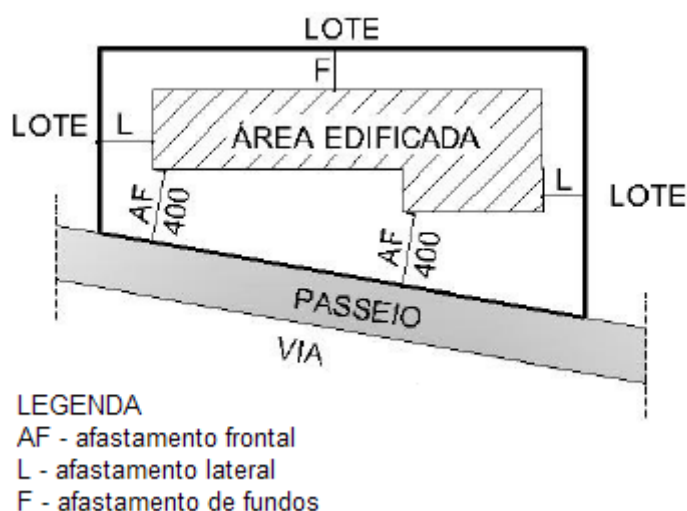
Se a intenção é fazer o controle na fonte deste excesso de volume pluvial gerado pela impermeabilização por uma técnica alternativa como as trincheiras de infiltração, é necessário a avaliação do desenho do lote para compatibilizar o projeto do dispositivo com a geometria e exigências legais do lote, principalmente o tamanho e afastamentos. Estas exigências serão apresentadas de acordo com as regulamentações do município estudado, para posterior avaliação em relação à implantação de trincheiras, pois sistemas de infiltração não devem ser localizados próximos de construções e divisas, pois a influência do solo em constante umedecimento pode comprometer sua integridade estrutural. *Engineers Australia* (2006) recomenda uma distância mínima dos dispositivos entre muros e construções para diferentes condutividades hidráulicas como apresentada na Tabela 4.

**Tabela 4** – Distância mínima entre trincheira e as construções e divisas  
(Adaptado *Engineers Australia* 2006)

Condutividade Hidráulica (m/s)	Distância (m)
$5 \times 10^{-5}$	1,00
$1 \times 10^{-5}$ a $5 \times 10^{-5}$	2,00
$1 \times 10^{-6}$ a $1 \times 10^{-5}$	4,00
$< 1 \times 10^{-6}$	5,00

Quanto ao tamanho do lote, segundo a LPUOS (1996) e suas alterações, os lotes devem ter área mínima de 125 m<sup>2</sup> e máxima de 10.000 m<sup>2</sup>, com, no mínimo, 5,00 m (cinco metros) de frente e relação entre profundidade e testada não superior a 5 (cinco).

Quanto aos afastamentos, Figura 19, o afastamento frontal de uma edificação é definido pela menor distância entre qualquer ponto da edificação e o alinhamento do terreno formado por lote ou conjunto de lotes. O afastamento lateral ou o afastamento de fundos de uma edificação é a distância das diversas faces externas da edificação em relação as divisas laterais e de fundos do terreno, medidas perpendicularmente as divisas.



**Figura 19** – Afastamentos do lote  
(Adaptado Manual de Edificações, 2011)

O afastamento frontal, com algumas exceções para áreas consideradas especiais, Tabela 5, em função da classificação viária da via limdeira à testada do terreno, é definido da seguinte forma:

- 4,00m para vias de ligação regionais e arteriais. Devendo ser tratada de modo a que se obtenha continuidade ao passeio lindeiro ao terreno para o trânsito de pedestres, não sendo permitida a instalação de elementos construtivos, não ser ajardinada, exceto em algumas ADEs e não ser utilizada para estacionamento ou guarda de veículos, exceto em caráter provisório.
- 3,00m para vias coletoras e locais. Devendo esta área ser ou não ajardinada, ser utilizada para área de estacionamento de veículos, ser fechada e estar livre de

elementos construtivos (podendo existir apenas guaritas, escadas e rampas sobre terreno natural, aterro com arrimo para terrenos em aclave, aterro até o nível do passeio para terrenos em declive). Nas ADEs Pampulha e Cidade Jardim o afastamento frontal deve ser obrigatoriamente ajardinado e não poderá ser utilizado para estacionamento de veículos.

**Tabela 5 – Exceções Afastamento Frontal**

<b>Área Especial</b>	<b>Afastamento Frontal (m)</b>
ZCBH	4,00
ZHIP	4,00
ADE Cidade Jardim (esquina)	5,00
ADE Cidade Jardim (demais terrenos)	10,00
ADE Pampulha	5,00
ADE Trevo	5,00
Operação Urbana Vetor Norte (situados na rodovia MG10)	25,00

Pode ser dispensado o afastamento frontal mínimo das edificações em algumas situações como nas áreas destinadas a estacionamento de veículos cuja laje de cobertura se situe em nível inferior à menor cota do passeio.

Nos afastamentos laterais e de fundo são exigidas as medidas mínimas:

- 1,50 metros – para edificações de até 6 metros de altura;
- 2,30 metros – para edificações entre 6 e 12 metros de altura;
- Variável – para edificações maiores que 12 metros, sendo que quanto mais alta a edificação, maiores serão os afastamentos laterais e de fundos mínimos exigidos.
- Facultativos – nas ZHIP

- 3,00 metros no mínimo – nas ADEs Pampulha e Cidade Jardim.

#### 5.2.3.4 Espaço público

Completando a caracterização do ambiente urbano serão tratadas a seguir as especificidades do espaço público do município de Belo Horizonte, composto pelo sistema viário, espaço de circulação de pedestres, praças e parques.

(1) Sistema viário – Conforme o volume de tráfego, função e localização, o sistema viário é composto de vias locais, coletoras, arteriais, mistas, de ligação regional, ciclovias e de pedestres. A padronização dos métodos construtivos da pavimentação das vias é realizada através do Caderno de Encargos (SUDECAP, 2008), onde estão descritos os processos e principais normas a serem seguidas para as camadas constituintes do pavimento flexível (regularização de subleito, sub-base, base e revestimento com concreto betuminoso) e também do revestimento em poliédrico. O Caderno de encargos (SUDECAP, 2008) também estabelece as seções tipos das vias, devendo ter uma largura mínima de 7,00 metros, declividade longitudinal entre 0,5 e 30% e declividade transversal, para facilitar a drenagem, de 3%.

A maioria das vias do município é construída com pavimento asfáltico, salvo em alguns bairros que ainda possuem pavimento poliédrico e vias como Via Expressa e Av. Antônio Carlos que possuem parte de sua extensão em pavimento rígido (concreto). Algumas das vias arteriais do município ainda possuem faixas centrais ou laterais, separadas ou não para a circulação de ônibus, principal meio de transporte público.

A característica da impermeabilidade da maioria dos pavimentos utilizados no município leva a geração de escoamento superficial significativo que é conduzido para o sistema de microdrenagem ou diretamente para canais quando não existe este sistema implantado. As taxas de permeabilidade definidas pela Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo não contemplam as áreas das vias. A implantação de técnicas alternativas como fonte de controle do escoamento das vias pode proporcionar um melhor manejo destas águas, porém não deve restringir o uso da estrutura implantada.

(2) Circulação de pedestre e mobiliário urbano - O Código de Posturas de Belo Horizonte (PBH, 2010b) determina que a construção do passeio deve prever uma faixa reservada ao trânsito de pedestres e sempre que possível uma faixa destinada a mobiliário urbano definido

como o equipamento de uso coletivo instalado em logradouro público com o fim de atender a uma utilidade ou o conforto públicos. Em áreas específicas pode ser obrigatória também a implantação de uma faixa ajardinada nos passeios.

A faixa reservada a trânsito de pedestres deverá ter largura igual ou superior a 1,50 metros ou, no caso de passeio com medida inferior a 2,00 metros, ser 75% da largura desse passeio.

Assim pode-se inferir que a instalação de trincheiras nos passeios não deve atingir a faixa reservada para pedestre, a não ser que as trincheiras implantadas sejam subterrâneas e que o caminho de trânsito sobre elas seja garantido. Também é necessária a compatibilização com mobiliário urbano (lixeiras, postes, telefones públicos, pontos de ônibus) e as entradas de garagem.

#### 5.2.3.5 Sistemas instalados no espaço público

Além do mobiliário urbano localizado junto à faixa de circulação de pedestres, são implantados no espaço público sistemas subterrâneos e aparentes que visam suprir demandas geradas no setor antrópico. A seguir são apresentados alguns destes sistemas.

(1) Arborização e paisagismo - as diretrizes de paisagismo são feitas pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente sendo um dos seus dispositivos as deliberações Normativas, como a DN 69/2010 (PBH, 2010c) que estabelece diretrizes para a arborização urbana.

Este dispositivo legal estabelece as distâncias mínimas entre o ponto de plantio e esquinas, postes, entradas de garagens, bocas de lobo, hidrantes e tubulações subterrâneas. Também define a distância média de 7 metros entre uma árvore e outra, podendo variar de acordo com o porte do indivíduo arbóreo. Restringe o plantio em passeios com largura inferior a 1,50 m, em passeios com a presença de marquise ou outro elemento existente que prejudique o crescimento adequado da árvore e em canteiros centrais de via com largura inferior a 1,00 m.

A implantação de trincheiras deve ser compatibilizada com a arborização urbana, para que as raízes não tenham interferência com a estrutura filtrante da trincheira. A queda de folhas sobre a superfície e carregado para a trincheira pode ser um mecanismo que dificulte o funcionamento do dispositivo e acelere o processo de colmatação.

(2) Sistemas Subterrâneos (Tubulações) - Os serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, energia elétrica e telefonia são feitos por empresas públicas estatais e possuem critérios e padrões pré-estabelecidos. A implantação de trincheiras deve se compatibilizar com estes critérios, não sendo adequada a passagem de tubulações dentro da trincheira.

(3) Dispositivos convencionais de drenagem urbana - A padronização dos dispositivos do sistema de sistema de microdrenagem é realizada através do Caderno de Encargos (SUDECAP, 2008), os principais dispositivos deste sistema são sarjeta, boca de lobo e rede tubular.

A implantação de trincheiras de infiltração em áreas que possuem sistema de microdrenagem deve trabalhar em série com este sistema, ou seja, as águas que ultrapassarem a capacidade da trincheira devem ser direcionadas para a sarjeta ou boca de lobo.

### **5.3 Simulações do controle do escoamento - Estimativa de ganhos da adoção de trincheiras de infiltração para redução do escoamento superficial**

A verificação das possibilidades de controle do escoamentos pluvial no espaço público e nos setores privados (lotes) foi realizada através da definição de cenários do ambiente consolidado e da proposição de trincheiras. Em seguida foi realizado o dimensionamento das trincheiras para estes cenários e avaliada a possibilidade de sua implantação em relação às condições encontradas em Belo Horizonte.

Baseando-se na possibilidade de controle na fonte foram estabelecidos os seguintes setores de implantação:

- Trincheira implantada nos lotes, através da captação e infiltração do escoamento gerado nas coberturas das edificações, devido a maior facilidade de direcionamento do fluxo pelas calhas existentes e por se acreditar que nestas áreas ocorre um menor aporte de sedimentos em relação às demais áreas do lote, já que se situam em parte superior podendo ficar livres de folhas e resíduos;
- Trincheira implantada no espaço público possibilitando uma maior influência por parte do poder público na implantação e manutenção dos sistemas.

Os lotes usados para análise estão dentro das regulamentações impostas pelo município, percorridas de forma complementar no capítulo 6.3. As áreas utilizadas nas análises são 180m<sup>2</sup> correspondente a meio lote padrão, 360m<sup>2</sup> lote padrão, 720m<sup>2</sup>, composta por dois lotes padrão e lote com área de 1.000 m<sup>2</sup>.

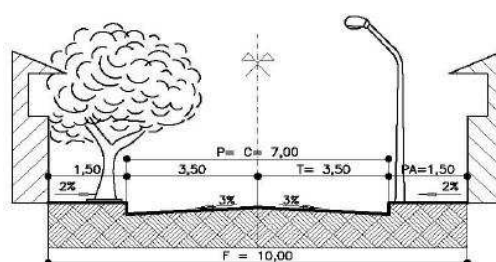
Para caracterização das edificações foram adotados os projetos-padrão residencial estabelecidos pela norma NBR 12721(ABNT, 2006) utilizados para representar os diferentes tipos de edificações e para o cálculo do Custo Unitário Básico (CUB) das edificações, instrumento utilizado para regular o mercado imobiliário (SINDUSCON, 2007). Algumas edificações com áreas de projeção próximas foram reunidas em um mesmo padrão na definição dos cenários deste estudo, conforme apresentado na Tabela 6. No Apêndice 1 está apresentada a tabela com a descrição das edificações consideradas.



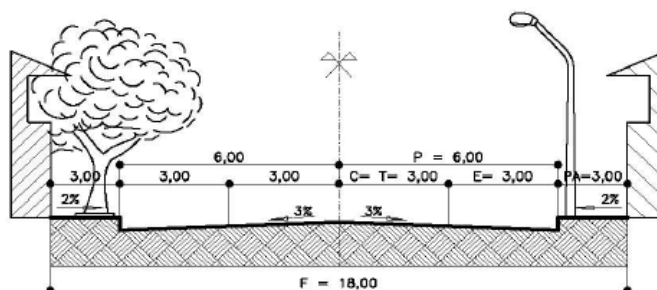
**Tabela 6 – Padrões de edificações**

Padrão edificação	Área de telhado utilizada nos cenários (m <sup>2</sup> )
P1	60
P2	110
P3	225
P4	355
P5	520
P6	670

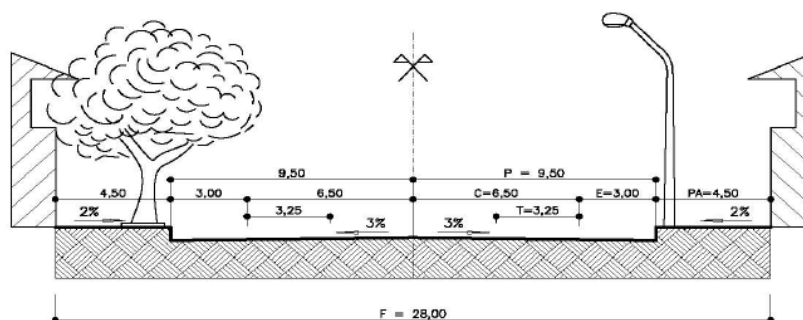
Para caracterização das vias do município foram escolhidas quatro seções tipos (Figura 20, Figura 21, Figura 22 e Figura 23) estabelecidas dentro dos padrões do Caderno de Encargos da SUDECAP.



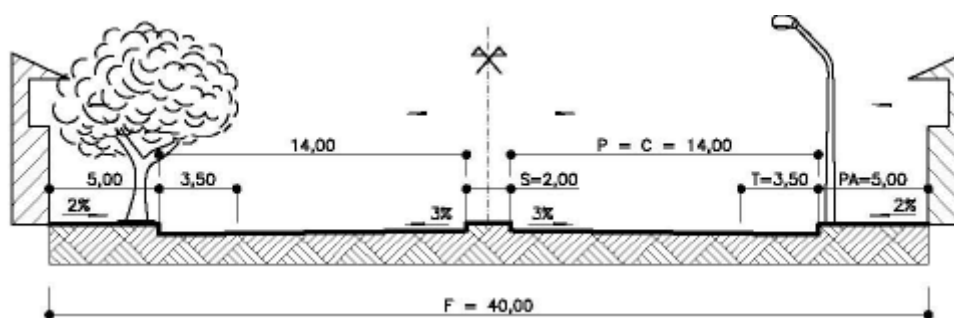
**Figura 20** – Seção tipo escolhida para representação de via local - opção 1 (Fonte SUDECAP, 2008)



**Figura 21** – Seção tipo escolhida para representação de via local - opção 2 (Fonte SUDECAP, 2008)



**Figura 22** – Seção tipo escolhida para representação de via coletora (Fonte SUDECAP, 2008)



**Figura 23** – Seção tipo escolhida para representação de via arterial (Fonte SUDECAP, 2008)

As avaliações da redução das vazões de pico nos loteamentos foram realizadas considerando os 21 cenários apresentados na Tabela 7, que consideraram diferentes tamanhos dos lotes e taxas de permeabilidade impostos pela Lei Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo, como relacionadas anteriormente e considerando também meia seção da via local apresentada na Figura 20.

**Tabela 7** – Cenários de implantação de trincheiras nos lotes

Tamanho do lote	Taxa de permeabilidade	Edificação	Cenários
180,00 m <sup>2</sup>	10%	P1	1
		P2	2
360,00 m <sup>2</sup>	20%	P1	3
		P2	4
		P3	5
360,00 m <sup>2</sup>	30%	P1	6
		P2	7
		P3	8
720,00 m <sup>2</sup>	20%	P3	9
		P4	10
		P5	11
720,00 m <sup>2</sup>	30%	P3	12
		P4	13
1.000,00 m <sup>2</sup>	20%	P3	14
		P4	15
		P5	16
		P6	17
1.000,00 m <sup>2</sup>	30%	P3	18
		P4	19
		P5	20
		P6	21

As avaliações da redução de volumes pluviais nos espaços públicos considerou a implantação de trincheiras para controle do escoamento gerado nas vias e calçadas e também a situação se também existisse trincheira implantada no lote.

Na definição dos cenários apresentados na Tabela 8, foi considerada que a implantação da trincheira ocorreria paralela a via e para representar a área privada foram adotadas as condições de um lote padrão de 360,00 m<sup>2</sup> com taxa de permeabilidade de 20%, com uma edificação do Padrão 2 (110,00 m<sup>2</sup>).

**Tabela 8 – Cenários implantação de trincheiras no espaço público**

Cenário	Tipo	Largura (m)			Área Total (m <sup>2</sup> )
		Via	Canteiro Central	Calçada	
V1	Local	3,50	0,00	2,00	66,00
V2	Local	6,00	0,00	3,00	108,00
V3	Coletora	9,50	0,00	4,50	168,00
V4	Arterial	14,00	1,00	5,00	240,00

As precipitações utilizadas, Tabela 9, foram estabelecidas pela equação de chuvas intensas de Guimarães Pinheiro (1997), conforme critérios utilizados para o município que estão apresentados no capítulo 6. Os tempos de retorno e durações avaliados foram os seguintes:

- Tempo de retorno de 10 anos – mesmo tempo de retorno do dimensionamento dos sistemas de microdrenagem do município, utilizado na avaliação da implantação de trincheiras nas vias;
- Tempo de retorno de 5 anos - mesmo tempo de retorno do dimensionamento de calhas e coletores dos telhados estabelecido pela NBR 10844(ABNT,1989), utilizado na avaliação da implantação de trincheiras nos lotes;
- Tempo de retorno de 2 anos – para verificação da eficiência de controle de eventos mais frequentes, utilizado na avaliação da implantação de trincheiras nos lotes;
- Duração de 10 minutos – mesma duração do dimensionamento dos sistemas de microdrenagem do município de Belo Horizonte, já que o principal foco do trabalho foi avaliar o alívio proporcionado nestes sistemas;

- Duração de 15 minutos – tempo de concentração de algumas pequenas bacias de macrodrenagem do município de Belo Horizonte;

**Tabela 9 – Precipitações totais (mm)**

<b>Duração (minutos)</b>	<b>TR 2 anos</b>	<b>TR 5 anos</b>	<b>TR 10 anos</b>
5	18,82	21,02	23,22
10	23,07	27,80	32,52
15	25,99	31,22	36,49

A transformação Chuva x Vazão e cálculo do hidrograma foi estabelecido pela utilização do Hidrograma Unitário Triangular, adotando o tempo de concentração de 10 minutos, mesmo adotado no dimensionamento dos sistemas de microdrenagem do município de Belo Horizonte e pela multiplicação da área de contribuição pelo coeficiente de escoamento, como proposto pelo Método Racional. Para os coeficientes de escoamento que correspondem à razão entre a chuva bruta e a chuva efetiva foram utilizados os seguintes valores:

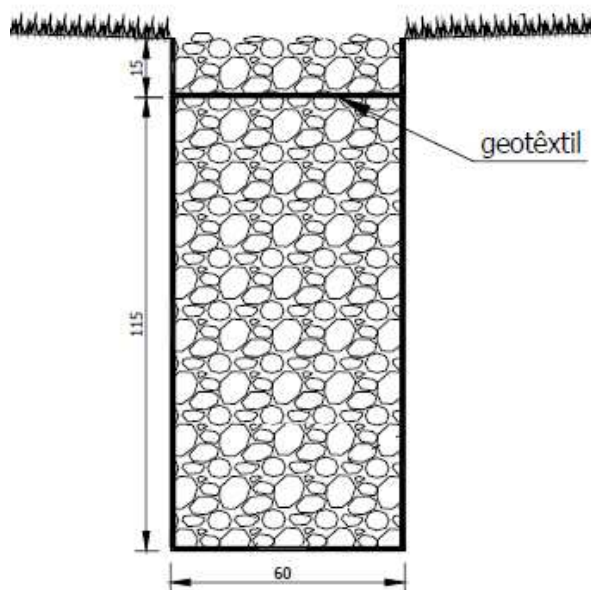
- 0,90 – Para áreas impermeáveis como telhados e pavimentos;
- 0,30 – Para áreas permeáveis e condições de pré-ocupação (natural). Coeficiente este dentro da faixa de coeficientes utilizado no município para as Zonas de Proteção Ambiental, conforme sugerido por Ramos (1998).

Pelas dificuldades de incorporação dos efeitos de capilaridade do sistema, foi adotada a hipótese de funcionamento na condição saturada fazendo o gradiente hidráulico igual a 1, tendo-se assim, a taxa de infiltração numericamente igual à condutividade hidráulica saturada.

No dimensionamento das trincheiras foi adotado o método de Puls pois proporciona a avaliação do tempo de esvaziamento do dispositivo. As precipitações utilizadas foram as mesmas indicadas anteriormente na Tabela 9, discretizadas em um ou dois minutos pela curva do método de Huff adaptada a Belo Horizonte também por Guimarães Pinheiro (1997) para 50% de probabilidade de excedência.

Foi considerada uma seção padrão para trincheira como estabelecido no trabalho de Moura (2004), Figura 24, por permitir o envelopamento da trincheira sem necessidade de cortes ou

acrécimos no geotêxtil. O cálculo do volume foi realizado considerando uma porosidade efetiva do material de enchimento de 30%.



**Figura 24** – Seção tipo trincheira (Moura, 2004).

Nos cálculos foi desconsiderada a infiltração que ocorre no fundo da trincheira, visto que está sujeito a colmatção mais rápida, oferecendo assim um fator de segurança ao dispositivo. As simulações foram realizadas por iterações variando o comprimento da trincheira de 0,50 em 0,50 m até o estabelecimento do comprimento mínimo para que não ocorra extravasamento, retirando do ambiente, deste modo, todo o volume gerado pela área de contribuição para os eventos de projeto e inferiores a ele.

As condutividades hidráulicas utilizadas no dimensionamento variaram de  $10^{-6}$  m/s, pois verificou-se que para valores inferiores o tempo de esvaziamento foi muito alto, a  $10^{-2}$  m/s, limite superior recomendado para se evitar contaminação do lençol freático.

#### **5.4 Avaliação das possibilidades de implantação de trincheiras no município**

Para a avaliação final das possibilidades de utilização de trincheiras de infiltração, foi confrontada a geometria necessária para o controle de escoamento nos cenários delimitados pela pesquisa com o ambiente caracterizado no estudo qualitativo, procurando-se assim identificar as principais dificuldades, como a limitação do espaço, que podem ser encontradas na implantação do dispositivo.

Para proporcionar uma avaliação de custos, ainda que simplificada, foram levantados os quantitativos de serviços e fornecimentos de material para a implantação por metro linear da trincheira padrão, e levantado o custo usando os itens, tais como escavação, fornecimento de material de preenchimento e geotêxtil da Tabela de Preço de Construção (SUDECAP, 2012).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo mostra os resultados e discussões das vertentes do trabalho, com a representação das regiões adequadas para implantação de trincheiras e a estimativa de ganhos de sua implantação para redução do escoamento superficial. Por fim apresenta a avaliação das possibilidades de implantação das trincheiras no ambiente consolidado estudado.

### 6.1 *Experiência com os dispositivos instalados em Belo Horizonte*

No município de Belo Horizonte existem quatro trincheiras de infiltração experimentais, instaladas através de uma parceria entre a Universidade Federal de Minas Gerais, a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte e o projeto SWITCH (*Sustainable Water Management Improves Tomorrow's Cities' Health*). A localização dos sítios pode ser visualizada na Figura 25.



**Figura 25** – Localização dos sítios experimentais de infiltração no município (1 – Sítio Estação Ecológica UFMG, 2 e 3 – Sítios Parque Lagoa do Nado, 3 Sítio Parque Nossa Senhora da Piedade)

Os sítios experimentais compõem-se de uma trincheira de infiltração, dispositivo para captação do escoamento da área da drenagem e direcionamento para a trincheira, caixa de passagem para direcionamento, inspeção e, em alguns casos medição de vazão, pluviógrafo e aparato para fixação de medidores de nível (sensores de pressão).

O funcionamento geral dos sistemas, consiste no direcionamento do fluxo originado na área de drenagem durante um evento de precipitação para trincheira de infiltração, nos sítios 1, 2 e 4, este sistema foi realizado com aproveitamento e adaptação dos dispositivos de drenagem convencionais existentes na área de drenagem (sarjetas e bocas de lobo) e no sítio 3 o escoamento tem entrada direta na trincheira. A distribuição da água na trincheira do sítio 1 é realizada por tubo perfurado superficial, no sítio 2 por vertimento em uma caixa de passagem, no sítio 3 a água entra diretamente pela superfície da trincheira e no sítio 4 por tubo perfurado sub-superficial.

O sítio 1, Figura 26, localiza-se na Estação Ecológica da UFMG, foi monitorado por Silva (2009) e Viera *et al.* (2009). A área de drenagem é constituída por trecho de 3.880,00 m<sup>2</sup> da via Carlos Luz e os ensaios com permeâmetro indicaram uma condutividade hidráulica de  $5,21 \times 10^{-5}$  m/s.



**Figura 26** – Sítio 1 – Estação Ecológica UFMG  
(da esquerda para a direita: área de drenagem, trincheira de infiltração, medidor de vazão de entrada, data-logger)

A avaliação do funcionamento do sítio 1 foi iniciada por Vieira (2009) sendo analisados alguns eventos de novembro de 2008 a janeiro de 2009. Em novembro de 2010, tentou-se o estabelecer novas rotinas de monitoramento, fez-se uma limpeza geral nas instalações, já que os dispositivos de entrada estavam preenchidos com sedimentos impedindo a entrada de água no dispositivo de infiltração, e de janeiro a março de 2011 fez-se a coleta de dados de alguns eventos, porém verificou-se muitas inconsistências nos dados coletados, sendo necessária a troca de alguns equipamentos e adequação das instalações.

Neste novo período de funcionamento do sítio 1, pôde ser verificada que a área de drenagem, provavelmente por má conservação de seu pavimento verificada em campo, proporcionou um grande aporte de sedimentos para dentro da trincheira, como pode ser verificado na Figura 27, sendo necessária a instalação de uma grade para proporcionar a retenção de parte dos



sedimentos. Com a instalação da grade, a boca de lobo de entrada ficava totalmente preenchida com sedimentos, o que demandava uma limpeza para quase todo evento de precipitação.



**Figura 27** – Aporte de sedimentos sítio 1

(da esquerda para a direita; caixa de passagem, tubo de distribuição e leito filtrante)

O sítio 2, Figura 28, localiza-se sob a calçada do Parque Lagoa do Nado e foi projetado para drenar 5.326,00 m<sup>2</sup>, constituído de vias e residências, e a condutividade hidráulica de projeto foi de  $6,37 \times 10^{-4}$  m/s.



**Figura 28** – Sítio 3 – Parque Lagoa do Nado

(da esquerda para a direita: área de drenagem delimitada pela linha amarela, trincheira em construção, caixa distribuição de vazão, trincheira de infiltração).

Este sítio, implantado em maio de 2010, ainda não possui os aparatos necessários para efetuar coleta de dados, mas já verifica-se, conforme apresentado na Figura 29, aporte de sedimentos finos, pela textura e odor, provavelmente de origem orgânica. Está programada uma rotina de manutenção e limpeza dos dispositivos para que sejam também implantados os equipamentos de coleta de dados, onde será verificado se o aporte de sedimentos ultrapassou a camada do geotêxtil instalado no topo.



**Figura 29**– Aporte de sedimentos no sítio 3

O sítio 3, Figura 30, foi projetado para complementar o controle de escoamento do sítio 2, sendo adotada no seu dimensionamento a mesma condutividade hidráulica. Este sítio está instalado na calçada do Parque Lagoa do Nado e sua área de drenagem é composta por vias locais e residências.



**Figura 30**–Sítio 4 - Trincheira implantada pela SUDECAP

Neste sítio, já no primeiro período de funcionamento, ocorreu além do grande aporte de sedimentos, a retirada do material de preenchimento da trincheira e rompimento do geotêxtil e comprometimento da estrutura lateral. Estes problemas foram causados pela grande velocidade em que a água chega da área de drenagem ao dispositivo, devido à declividade existente à montante da trincheira, Figura 31, Figura 32 e Figura 33. O material de preenchimento foi direcionado aos dispositivos do sistema de drenagem convencional e para dentro da área do parque Lagoa do Nado.





**Figura 31** – Funcionamento - Sítio 4



**Figura 32** – Retirada de material de preenchimento - Sítio 4



**Figura 33** – Aporte de sedimentos e comprometimento da estrutura - Sítio 4

O sítio 4, Figura 34, possui uma condutividade hidráulica da ordem de  $1,65 \times 10^{-5}$ , localiza-se no Parque Nossa Senhora da Piedade e drena 200,00 m<sup>2</sup> de uma via local.



**Figura 34** – Sítio 2 – Parque Nossa Senhora da Piedade  
(da esquerda para a direita: área de drenagem delimitada pela linha vermelha, tubo distribuição de vazão, trincheira de infiltração, pluviógrafo)

Os aparatos de monitoramento estão implantados e fazendo o registro no sítio 4 desde novembro de 2008. Os dados não foram trabalhados por que a lâmina d'água na caixa de passagem onde é medido o nível de entrada, não afogou o orifício, impossibilitando assim o cálculo da vazão. A hipótese considerada para este fato, está na configuração da área de contribuição, que tem inclinação significativa, e talvez não esteja permitindo a coleta de todo o fluxo considerado no dimensionamento pela boca de lobo de entrada.

As questões levantadas a respeito do funcionamento dos sítios existentes são relevantes para o presente estudo, já que indicam a necessidade de prevenção e proteção contra o aporte de sedimentos ou até mesmo o estabelecimento de rotinas de pré-tratamento e limpeza dos dispositivos que direcionam o fluxo para a trincheira de infiltração quando estes existem, principalmente quando a área de drenagem pode proporcionar grande aporte destes sedimentos.

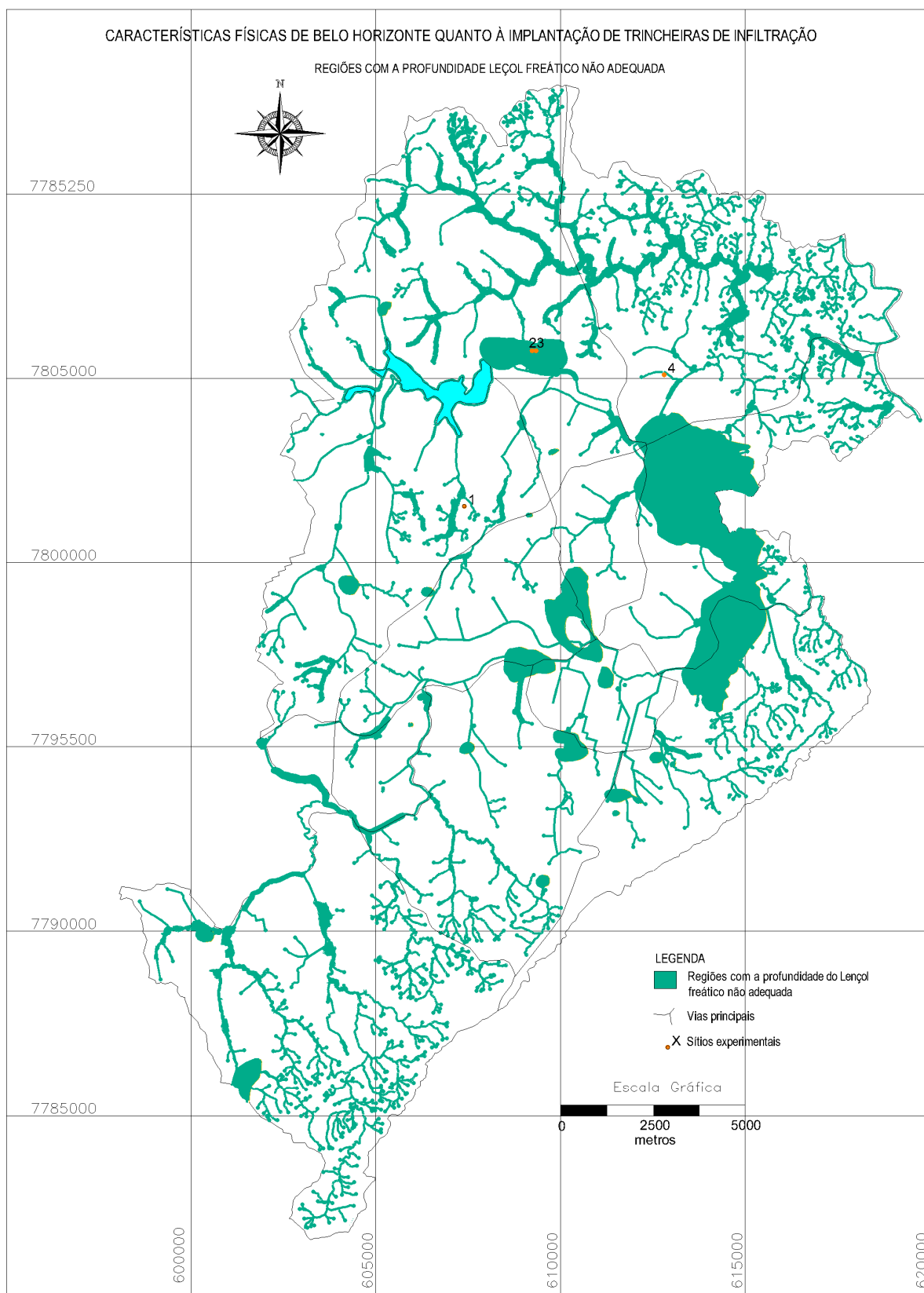
Verificou-se também que durante a concepção e o dimensionamento destes sistemas é necessário a verificação da configuração da área de drenagem para permitir direcionamento de fluxo para dentro do dispositivo, como não está ocorrendo no sítio 4 e para que se evite a chegada de água em grandes velocidades ou se adapte algum dispositivo para que não ocorra a retirada de material de preenchimento evitando os problemas ocorridos no sítio 3.

## **6.2 Representação das regiões com baixo potencial para a implantação de trincheiras**

A partir da análise das características do município, diante dos critérios físicos necessários para implantação de trincheiras de infiltração foi possível apontar alguns instrumentos para balizar estudos preliminares de viabilidade para a adoção desta técnica, como a profundidade do lençol freático discutida por Costa (2002) e Carvalho (1999), a profundidade do leito rochoso apresentada no trabalho de Costa (2002), o tipo de solo indicado por Silva *et al.* (1995), Ramos (1998) e Costa (2002) e o cadastro de declividade existente no SIG Drenagem da SUDECAP.

A indicação da região onde um dos critérios limitantes seria a pouca profundidade do lençol freático foi estabelecida com base nas regiões indicadas por Costa (2002) onde foram encontradas profundidades dos poços cadastrados inferiores a 5 metros e também nas regiões próximas as calhas fluviais, possuindo lençol pouco profundo como argumentado por Carvalho (1999). Estabeleceu-se assim, como apresentado na Figura 35, uma faixa de 60 metros ao longo das calhas fluviais do município, ou a área das manchas de inundação (PBH, 2009) quando esta área é superior à faixa de 60 metros, e um contorno de raio de 50 metros nas regiões de nascentes, regiões onde o lençol é aflorante.

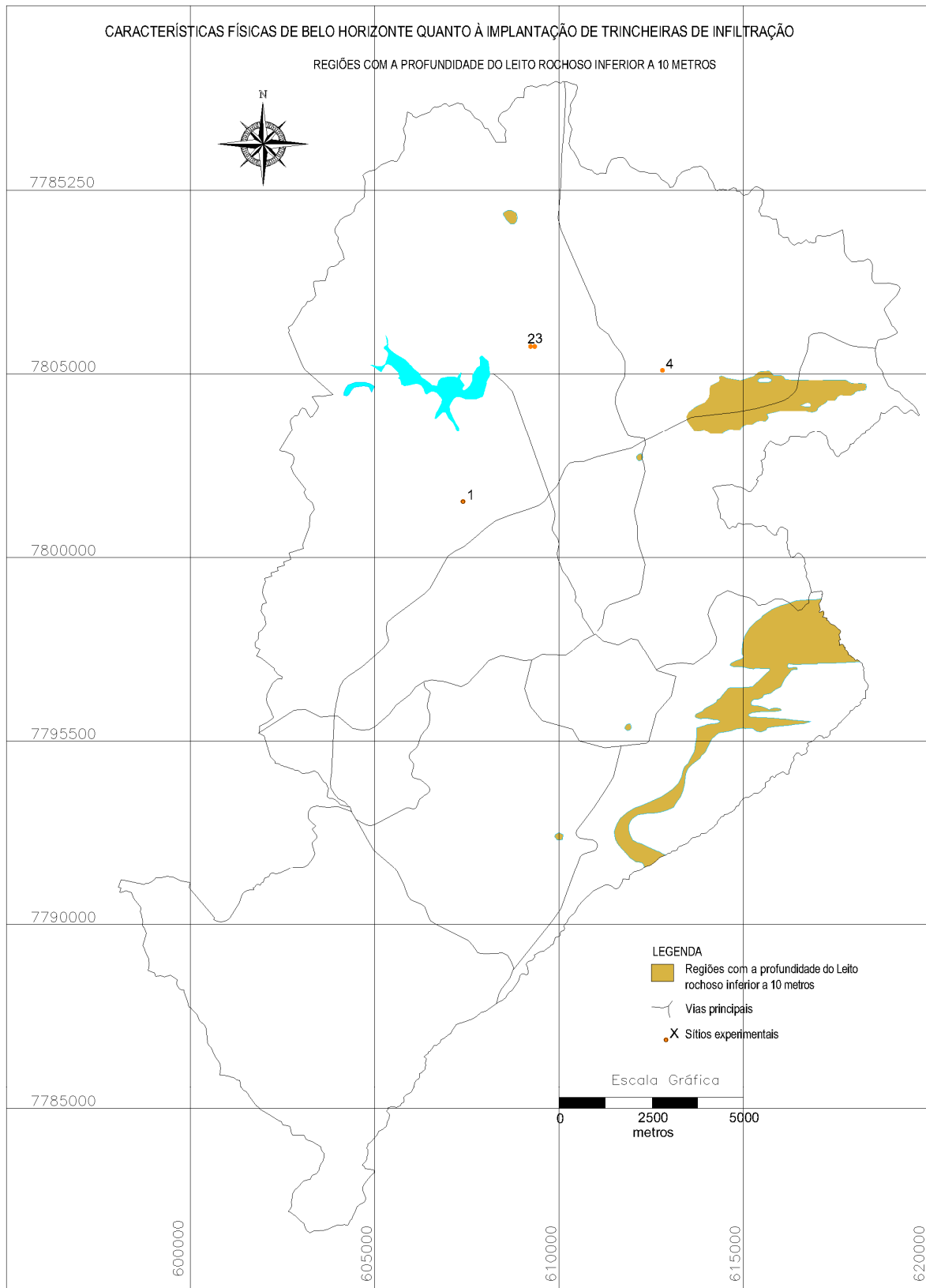
Este critério demarcou como não adequadas para dispositivos de infiltração, parte das regiões Nordeste e Leste e, pela extensa rede hidrográfica, faixas ao longo de todo o município.



**Figura 35** – Características físicas de Belo Horizonte quanto à implantação de trincheiras de infiltração - Regiões com a profundidade de lençol freático não adequadas

As regiões onde se deve ter maior atenção quanto ao critério profundidade limitante do leito rochoso, Figura 36, foram estabelecidas pelo mapeamento de Costa (2002) onde a profundidade deste é inferior a 10 metros.

Assim principalmente as regiões adjacentes ao Parque das Mangabeiras e parte da regional Nordeste nas proximidades do Anel Rodoviário e a BR-262 são regiões onde se deve agir com prudência quanto a pouca profundidade da zona vadosa.

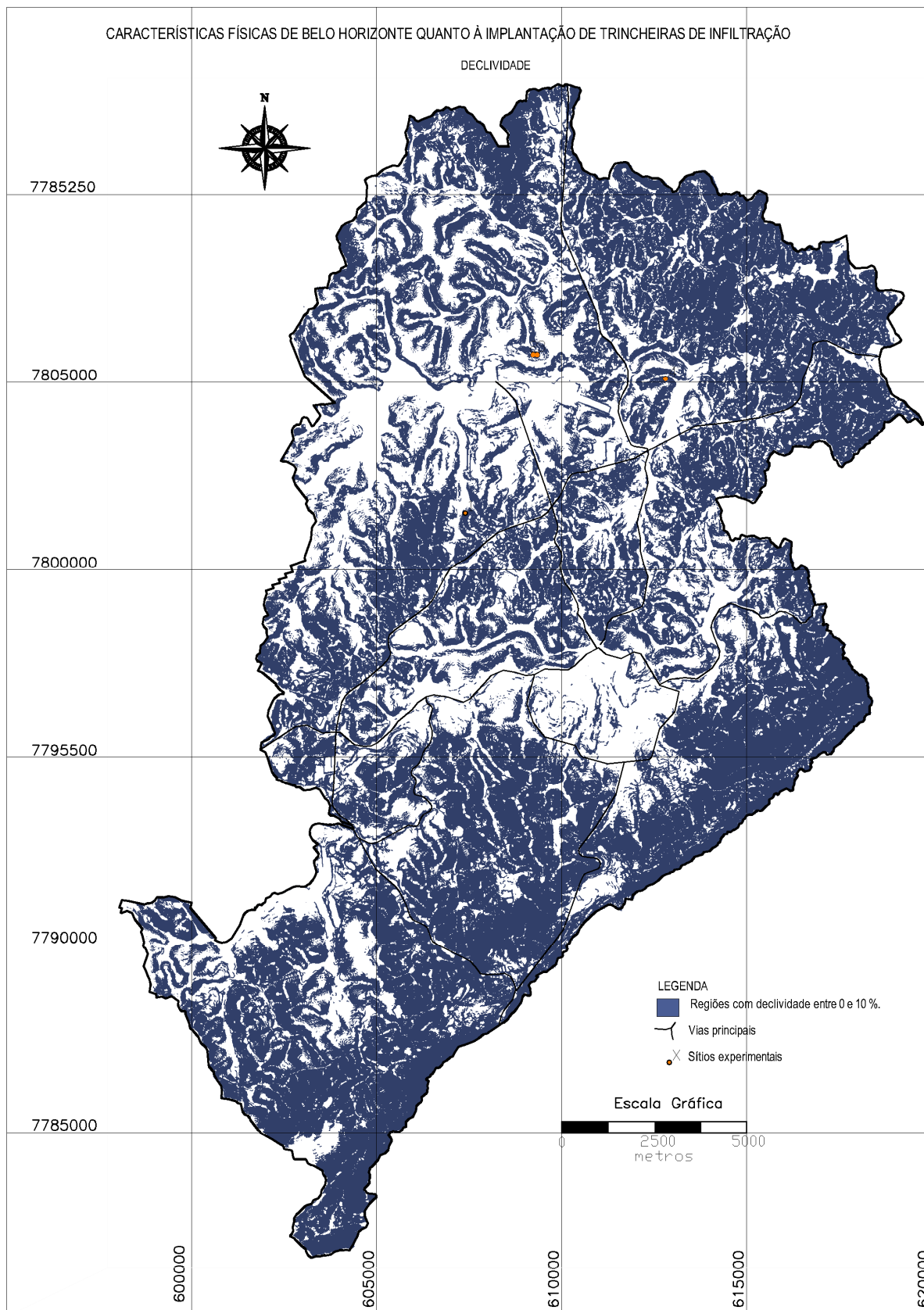


**Figura 36** – Características físicas de Belo Horizonte quanto à implantação de trincheiras de infiltração - Regiões com a profundidade do leito rochoso inferiores a 10 metros



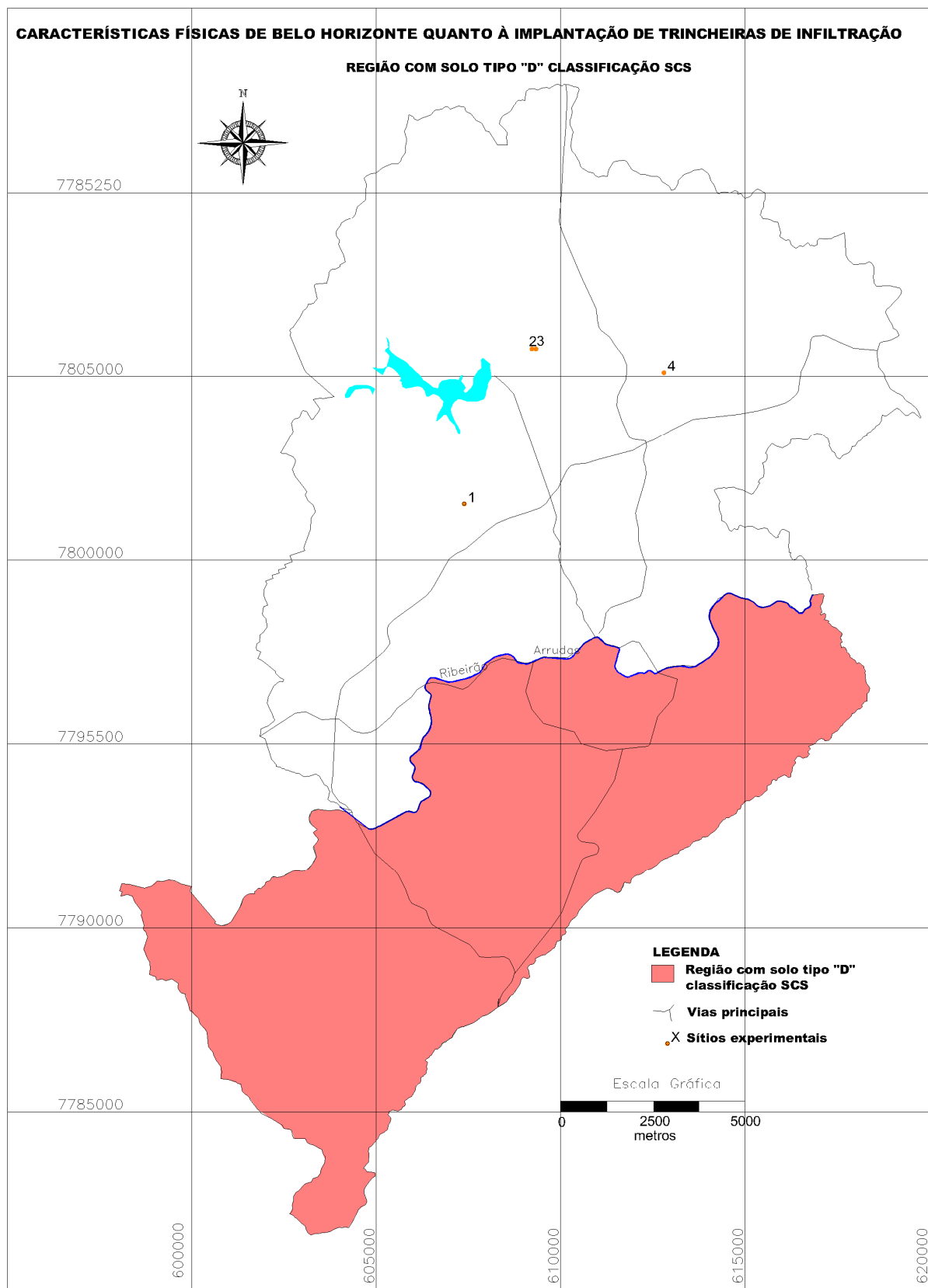
A Declividade adequada para a implantação de trincheiras, faixa inferior a 10%, pode ser verificada na base do Sistema de Informações Geográficas SIG-Drenagem como apresentado na Figura 37. A base das faixas de declividade utilizada no SIG-Drenagem foi desenvolvida através do cadastro aerofotogramétrico de Belo Horizonte.

As faixas de declividade são muito variáveis ao longo de todo o município, mas pode ser observado que as regiões ao longo da calha do ribeirão Arrudas e nas regionais Pampulha e Venda Nova as declividades são mais amenas.



**Figura 37** – Características físicas de Belo Horizonte quanto à implantação de trincheiras de infiltração - Declividade

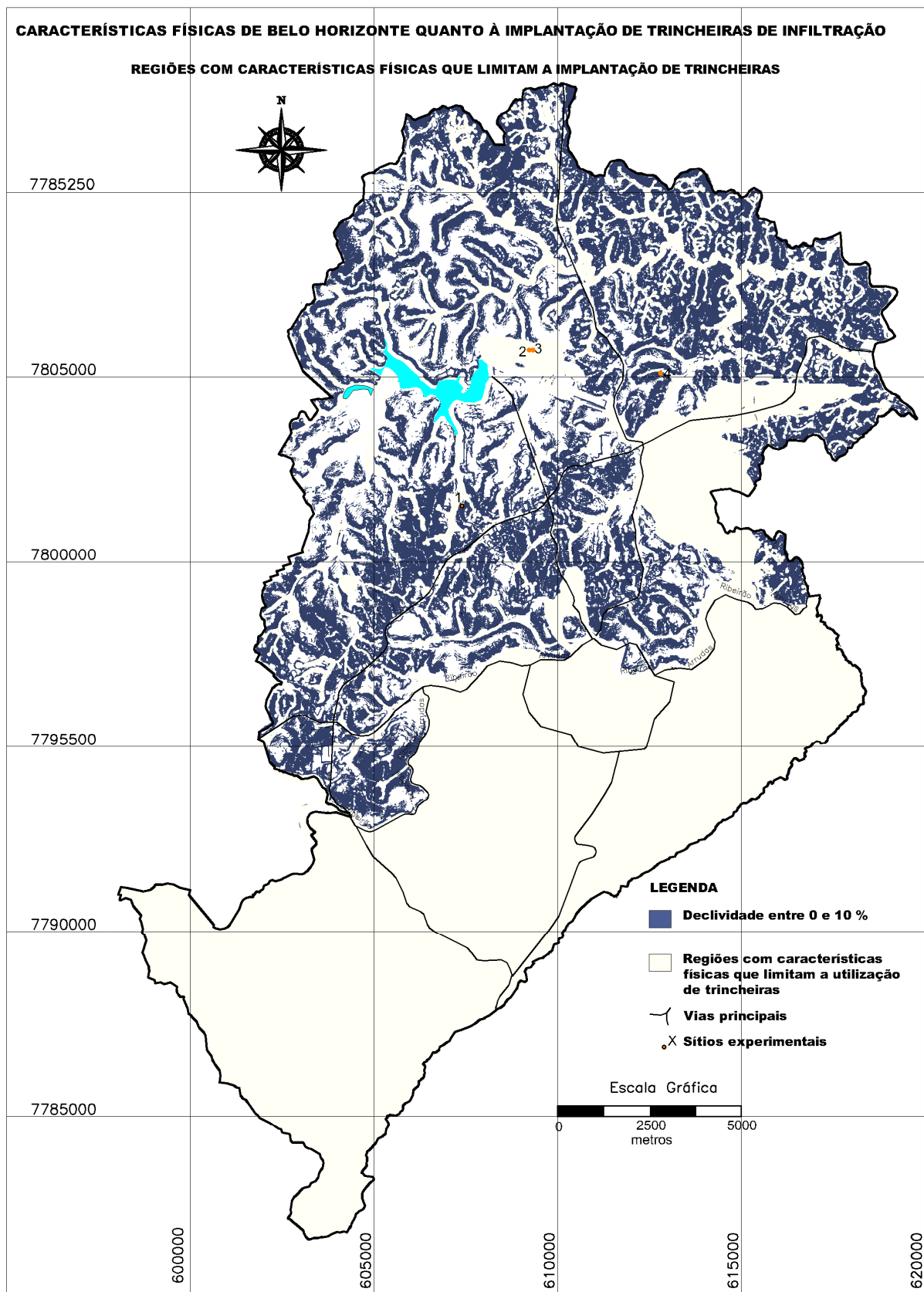
Em relação ao critério tipo de solo, indicado pela classificação dos solos pelo do SCS (Ramos, 1998) e pelas tipologias levantadas por Costa (2002) a porção do município localizada ao sul da calha do ribeirão Arrudas (regionais Barreiro, Oeste, Centro Sul e Leste), como apresentada na Figura 38, corresponde a uma área onde o solo tem capacidade de infiltração muito baixa, que apesar de ainda estarem nas faixas apropriadas para dispositivos de infiltração segundo a literatura, os dimensionamentos realizados neste trabalho apontaram tempos de esvaziamento das trincheira muito altos, limitando assim a utilização desta técnica.



**Figura 38** – Características físicas de Belo Horizonte quanto à implantação de trincheiras de infiltração - Região com solo tipo D Classificação SCS, com condutividade hidráulica (K) da ordem de  $5 \times 10^{-7}$  m/s

Os critérios analisados apontaram que em uma grande região do município, área hachurada da Figura 39, a utilização de trincheiras deve ser vista com muito critério e que talvez outras técnicas alternativas de drenagem possam ser mais adequadas. A Figura 39 foi obtida com a sobreposição bases da profundidade do leito rochoso e lençol freático, a declividade e a classificação do tipo de solo apresentadas anteriormente. No apêndice 3 está apresentado o mapa da Figura 39 com a inserção do arruamento.

O estudo apontou que na parte da região ao norte da calha do ribeirão Arrudas as trincheiras de infiltração devem ser uma das alternativas avaliadas em estudos de viabilidade. Cabe enfatizar que os instrumentos apontados e os mapas resultantes deste trabalho podem nortear estudos preliminares de adoção de trincheiras, mas não excluem a verificação local da declividade e os ensaios de campo para levantamento das demais características necessárias à implantação de trincheiras.



**Figura 39** – Características físicas de Belo Horizonte quanto à implantação de trincheiras de infiltração - Região com características físicas que limitam a implantação de trincheiras

## 6.3 Estimativa de ganhos na redução de escoamento superficial pela adoção de trincheiras de infiltração

### 6.3.1 Potenciais de redução da vazão de pico gerada nos lotes

Os cenários de implantação de trincheiras nos lotes, apresentados no capítulo 5, foram avaliados em relação à redução da vazão de pico, comparando as seguintes condições: natural (antes da ocupação), considerando o espaço já edificado (hidrograma de entrada) e na condição já edificada com implantação de trincheira (hidrograma de saída) que absorva o escoamento gerado pelo telhado das edificações nos eventos de tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos e durações de 10 e 15 minutos, critérios estes que estão relacionados às especificações de projeto e que podem proporcionar alívio nos sistemas de microdrenagem. Os resultados estão apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10** – Redução da vazão de pico com implantação de trincheiras nos lotes, onde TP – Taxa de permeabilidade e TR – Tempo de retorno

Cenário	Terreno	Edificação	TP	Dimensionamento				Vazão de Pico (L/s)			Amortecimento da Vazão de Pico
				Trincheira		Evento		Natural	Entrada	Saída	
				TR (anos)	duração (min)	TR (anos)	duração (min)				
1	180,00	P1	10%	2	10	2	10	2,93	8,30	5,82	30%
				2	10	5	10	3,53	10,00	7,02	
				2	10	10	10	4,13	11,70	8,20	
				5	10	5	10	3,53	10,00	7,02	
				5	10	10	10	4,13	11,70	8,20	
				2	15	2	15	3,35	9,36	6,57	
				2	15	5	15	3,97	11,24	7,89	
				2	15	10	15	4,46	13,14	9,22	
				5	15	5	15	3,97	11,24	7,89	
				5	15	10	15	4,46	13,14	9,22	
2	180,00	P2	20%	2	10	2	10	2,93	8,30	3,76	55%
				2	10	5	10	3,53	10,00	5,47	
				2	10	10	10	4,13	11,70	5,30	
				5	10	5	10	3,53	10,00	5,47	
				5	10	10	10	4,13	11,70	5,30	
				2	15	2	15	3,31	9,36	4,24	
				2	15	5	15	3,97	11,24	5,09	
				2	15	10	15	4,64	13,14	5,95	
				5	15	5	15	3,97	11,24	5,09	
				5	15	10	15	4,64	13,14	5,95	
3	360,00	P1	20%	2	10	2	10	5,86	15,60	13,13	16%
				2	10	5	10	7,06	18,80	15,82	
				2	10	10	10	8,26	22,00	18,50	
				5	10	5	10	7,06	18,80	15,82	
				5	10	10	10	8,26	22,00	18,50	
				2	15	2	15	6,61	17,60	14,81	
				2	15	5	15	7,94	21,14	17,79	
				2	15	10	15	9,28	24,71	20,79	
				5	15	5	15	7,94	21,14	17,79	
				5	15	10	15	9,28	24,71	20,79	

Redução da vazão de pico com implantação de trincheiras nos lotes, onde TP – Taxa de permeabilidade e TR – Tempo de retorno (continuação)

Cenário	Terreno	Edificação	TP	Dimensionamento				Vazão de Pico (L/s)			Amortecimento da Vazão de Pico
				Trincheira		Evento		Natural	Entrada	Saída	
				TR (anos)	duração (min)	TR (anos)	duração (min)				
4	360,00	P2	20%	2	10	2	10	5,86	15,60	11,06	29%
				2	10	5	10	7,06	18,80	13,33	
				2	10	10	10	8,26	22,00	15,60	
				5	10	5	10	7,06	18,80	13,33	
				5	10	10	10	8,26	22,00	15,60	
				2	15	2	15	6,61	17,60	12,48	
				2	15	5	15	7,94	21,14	14,99	
				2	15	10	15	9,28	24,71	17,52	
				5	15	5	15	7,94	21,14	14,99	
				5	15	10	15	9,28	24,71	17,52	
5	360,00	P3	20%	2	10	2	10	5,86	15,60	6,32	60%
				2	10	5	10	7,06	18,80	7,61	
				2	10	10	10	8,26	22,00	8,90	
				5	10	5	10	7,06	18,80	7,61	
				5	10	10	10	8,26	22,00	8,90	
				2	15	2	15	6,61	17,60	7,12	
				2	15	5	15	7,94	21,14	8,56	
				2	15	10	15	9,28	24,71	10,00	
				5	15	5	15	7,94	21,14	8,56	
				5	15	10	15	9,28	24,71	10,00	
6	360,00	P1	30%	2	10	2	10	5,86	14,61	12,14	17%
				2	10	5	10	7,06	17,61	14,62	
				2	10	10	10	8,26	20,60	17,11	
				5	10	5	10	7,06	17,61	14,62	
				5	10	10	10	8,26	20,60	17,11	
				2	15	2	15	6,61	16,48	13,69	
				2	15	5	15	7,94	19,80	16,44	
				2	15	10	15	9,28	23,14	19,22	
				5	15	5	15	7,94	19,80	16,44	
				5	15	10	15	9,28	23,14	19,22	
7	360,00	P2	30%	2	10	2	10	5,86	14,61	10,07	31%
				2	10	5	10	7,06	17,61	12,14	
				2	10	10	10	8,26	20,60	14,20	
				5	10	5	10	7,06	17,61	12,14	
				5	10	10	10	8,26	20,60	14,20	
				2	15	2	15	6,61	16,48	11,36	
				2	15	5	15	7,94	19,80	13,65	
				2	15	10	15	9,28	23,14	15,95	
				5	15	5	15	7,94	19,80	13,65	
				5	15	10	15	9,28	23,14	15,95	



Redução da vazão de pico com implantação de trincheiras nos lotes, onde TP – Taxa de permeabilidade e TR – Tempo de retorno (continuação)

Cenário	Terreno	Edificação	TP	Dimensionamento				Vazão de Pico (L/s)			Amortecimento da Vazão de Pico
				Trincheira		Evento		Natural	Entrada	Saída	
				TR (anos)	duração (min)	TR (anos)	duração (min)				
8	360,00	P3	30%	2	10	2	10	5,86	14,61	5,33	64%
				2	10	5	10	7,06	17,61	6,42	
				2	10	10	10	8,26	20,60	7,51	
				5	10	5	10	7,06	17,61	6,42	
				5	10	10	10	8,26	20,60	7,51	
				2	15	2	15	6,61	16,48	6,01	
				2	15	5	15	7,94	19,80	7,22	
				2	15	10	15	9,28	23,14	8,43	
				5	15	5	15	7,94	19,80	7,22	
				5	15	10	15	9,28	23,14	8,43	
9	720,00	P3	20%	2	10	2	10	11,72	31,21	21,92	30%
				2	10	5	10	14,12	37,60	26,41	
				2	10	10	10	16,53	43,99	30,90	
				5	10	5	10	14,12	37,60	26,41	
				5	10	10	10	16,53	43,99	30,90	
				2	15	2	15	13,22	35,20	24,73	
				2	15	5	15	15,89	42,29	29,70	
				2	15	10	15	18,57	49,43	34,72	
				5	15	5	15	15,89	42,29	29,70	
				5	15	10	15	18,57	49,43	34,72	
10	720,00	P4	20%	2	10	2	10	11,72	31,21	16,55	47%
				2	10	5	10	14,12	37,60	19,94	
				2	10	10	10	16,53	43,99	23,33	
				5	10	5	10	14,12	37,60	19,94	
				5	10	10	10	16,53	43,99	23,33	
				2	15	2	15	13,22	35,20	18,67	
				2	15	5	15	15,89	42,29	22,43	
				2	15	10	15	18,57	49,43	26,22	
				5	15	5	15	15,89	42,29	22,43	
				5	15	10	15	18,57	49,43	26,22	
11	720,00	P5	20%	2	10	2	10	11,72	31,21	9,74	69%
				2	10	5	10	14,12	37,60	11,74	
				2	10	10	10	16,53	43,99	13,73	
				5	10	5	10	14,12	37,60	11,74	
				5	10	10	10	16,53	43,99	13,73	
				2	15	2	15	13,22	35,20	10,99	
				2	15	5	15	15,89	42,29	13,20	
				2	15	10	15	18,57	49,43	15,43	
				5	15	5	15	15,89	42,29	13,20	
				5	15	10	15	18,57	49,43	15,43	

Redução da vazão de pico com implantação de trincheiras nos lotes, onde TP – Taxa de permeabilidade e TR – Tempo de retorno (continuação)

Cenário	Terreno	Edificação	TP	Dimensionamento				Vazão de Pico (L/s)			Amortecimento da Vazão de Pico
				Trincheira		Evento		Natural	Entrada	Saída	
				TR (anos)	duração (min)	TR (anos)	duração (min)				
12	720,00	P3	30%	2	10	2	10	11,72	29,23	19,94	32%
				2	10	5	10	14,12	35,21	24,02	
				2	10	10	10	16,53	41,20	28,11	
				5	10	5	10	14,12	35,21	24,02	
				5	10	10	10	16,53	41,20	28,11	
				2	15	2	15	13,22	32,97	22,49	
				2	15	5	15	15,89	39,60	27,02	
				2	15	10	15	18,57	46,29	31,58	
				5	15	5	15	15,89	39,60	27,02	
				5	15	10	15	18,57	46,29	31,58	
13	720,00	P4	30%	2	10	2	10	11,72	29,23	14,57	50%
				2	10	5	10	14,12	35,21	17,56	
				2	10	10	10	16,53	41,20	20,54	
				5	10	5	10	14,12	35,21	17,56	
				5	10	10	10	16,53	41,20	20,54	
				2	15	2	15	13,22	32,97	22,49	
				2	15	5	15	15,89	39,60	27,02	
				2	15	10	15	18,57	46,29	31,58	
				5	15	5	15	15,89	39,60	27,02	
				5	15	10	15	18,57	46,29	31,58	
14	1000,00	P3	20%	2	10	2	10	16,28	43,34	34,06	21%
				2	10	5	10	19,62	52,22	41,03	
				2	10	10	10	22,95	61,10	48,01	
				5	10	5	10	19,62	52,22	41,03	
				5	10	10	10	22,95	61,10	48,01	
				2	15	2	15	18,37	48,89	38,42	
				2	15	5	15	22,06	58,73	46,15	
				2	15	10	15	25,79	68,65	53,94	
				5	15	5	15	22,06	58,73	46,15	
				5	15	10	15	25,79	68,65	53,94	
15	1000,00	P4	20%	2	10	2	10	16,28	43,34	28,69	34%
				2	10	5	10	19,62	52,22	34,57	
				2	10	10	10	22,95	61,10	40,44	
				5	10	5	10	19,62	52,22	34,57	
				5	10	10	10	22,95	61,10	40,44	
				2	15	2	15	18,37	48,89	32,36	
				2	15	5	15	22,06	58,73	38,87	
				2	15	10	15	25,79	68,65	45,44	
				5	15	5	15	22,06	58,73	38,87	
				5	15	10	15	25,79	68,65	45,44	

Redução da vazão de pico com implantação de trincheiras nos lotes, onde TP – Taxa de permeabilidade e TR – Tempo de retorno (continuação)

Cenário	Terreno	Edificação	TP	Dimensionamento				Vazão de Pico (L/s)			Amortecimento da Vazão de Pico
				Trincheira		Evento		Natural	Entrada	Saída	
				TR (anos)	duração (min)	TR (anos)	duração (min)				
16	1000,00	P5	20%	2	10	2	10	16,28	43,34	21,88	50%
				2	10	5	10	19,62	52,22	26,36	
				2	10	10	10	22,95	61,10	30,84	
				5	10	5	10	19,62	52,22	26,36	
				5	10	10	10	22,95	61,10	30,84	
				2	15	2	15	18,37	48,89	24,68	
				2	15	5	15	22,06	58,73	29,65	
				2	15	10	15	25,79	68,65	34,65	
				5	15	5	15	22,06	58,73	29,65	
				5	15	10	15	25,79	68,65	34,65	
17	1000,00	P6	20%	2	10	2	10	16,28	43,34	15,69	64%
				2	10	5	10	19,62	52,22	18,90	
				2	10	10	10	22,95	61,10	22,11	
				5	10	5	10	19,62	52,22	18,90	
				5	10	10	10	22,95	61,10	22,11	
				2	15	2	15	18,37	48,89	17,69	
				2	15	5	15	22,06	58,73	21,26	
				2	15	10	15	25,79	68,65	24,84	
				5	15	5	15	22,06	58,73	21,26	
				5	15	10	15	25,79	68,65	24,84	
18	1000,00	P3	30%	2	10	2	10	16,28	40,59	31,30	23%
				2	10	5	10	19,62	48,91	37,72	
				2	10	10	10	22,95	57,22	44,13	
				5	10	5	10	19,62	48,91	37,72	
				5	10	10	10	22,95	57,22	44,13	
				2	15	2	15	18,37	45,79	35,31	
				2	15	5	15	22,06	55,00	42,42	
				2	15	10	15	25,79	64,29	49,58	
				5	15	5	15	22,06	55,00	42,42	
				5	15	10	15	25,79	64,29	49,58	
19	1000,00	P4	30%	2	10	2	10	16,28	40,59	25,94	36%
				2	10	5	10	19,62	48,91	31,25	
				2	10	10	10	22,95	57,22	36,56	
				5	10	5	10	19,62	48,91	31,25	
				5	10	10	10	22,95	57,22	36,56	
				2	15	2	15	18,37	45,79	29,26	
				2	15	5	15	22,06	55,00	35,15	
				2	15	10	15	25,79	64,29	41,08	
				5	15	5	15	22,06	55,00	35,15	
				5	15	10	15	25,79	64,29	41,08	

Redução da vazão de pico com implantação de trincheiras nos lotes, onde TP – Taxa de permeabilidade e TR – Tempo de retorno (por fim)

Cenário	Terreno	Edificação	TP	Dimensionamento				Vazão de Pico (L/s)			Amortecimento da Vazão de Pico
				Trincheira		Evento		Natural	Entrada	Saída	
				TR (anos)	duração (min)	TR (anos)	duração (min)				
20	1000,00	P5	30%	2	10	2	10	16,28	40,59	19,13	53%
				2	10	5	10	19,62	48,91	23,04	
				2	10	10	10	22,95	57,22	26,96	
				5	10	5	10	19,62	48,91	23,04	
				5	10	10	10	22,95	57,22	26,96	
				2	15	2	15	18,37	45,79	21,58	
				2	15	5	15	22,06	55,00	25,92	
				2	15	10	15	25,79	64,29	30,29	
				5	15	5	15	22,06	55,00	25,92	
				5	15	10	15	25,79	64,29	30,29	
21	1000,00	P6	30%	2	10	2	10	16,28	40,59	12,93	68%
				2	10	5	10	19,62	48,91	15,58	
				2	10	10	10	22,95	57,22	18,23	
				5	10	5	10	19,62	48,91	15,58	
				5	10	10	10	22,95	57,22	18,23	
				2	15	2	15	18,37	45,79	14,59	
				2	15	5	15	22,06	55,00	17,53	
				2	15	10	15	25,79	64,29	20,48	
				5	15	5	15	22,06	55,00	17,53	
				5	15	10	15	25,79	64,29	20,48	

Analisando o evento para o qual a trincheira foi dimensionada, como exemplo o de tempo de retorno de 2 anos e duração 10 minutos, o comportamento do hidrograma para o lote é como o apresentado na Figura 40, ocorrendo o amortecimento das vazões durante todo o evento de cheia, pelo volume absorvido pela trincheira (linha verde contínua do gráfico).

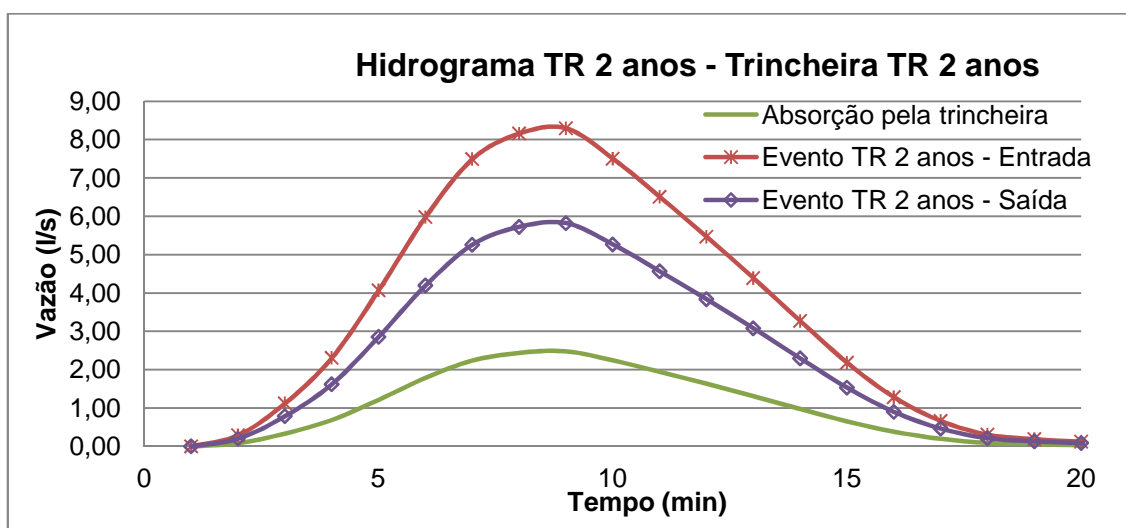
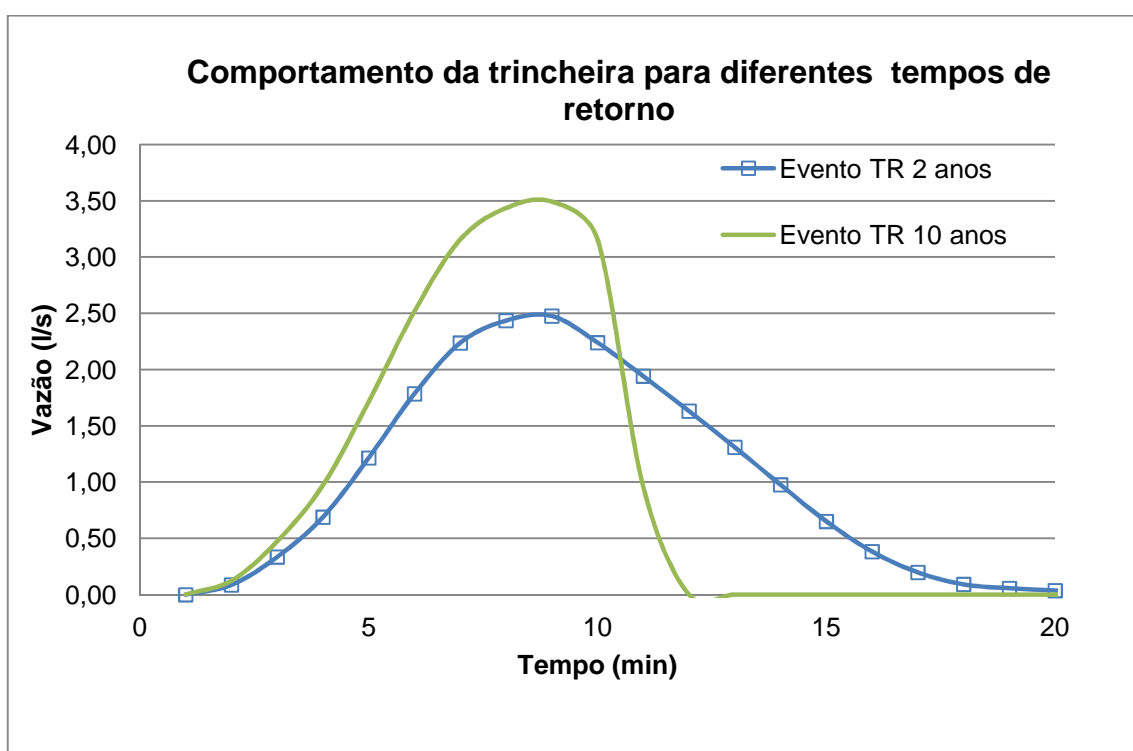


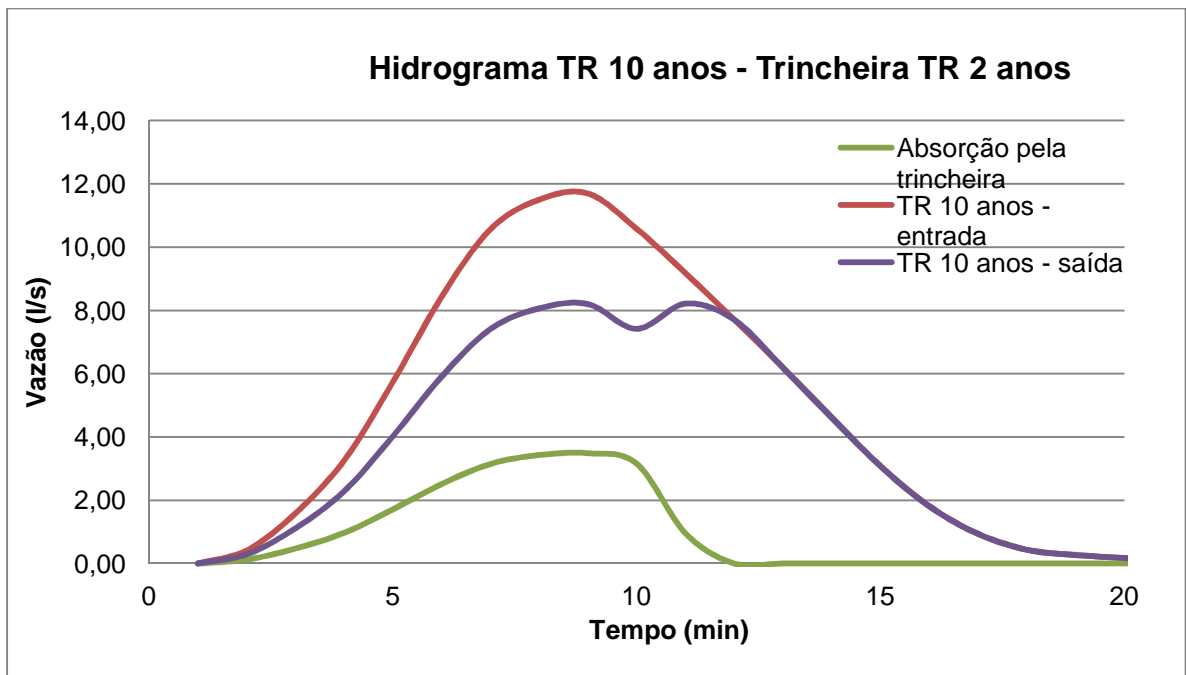
Figura 40 – Comportamento da trincheira para o evento usado no dimensionamento

Para complementar a verificação dos potenciais de amortecimento, decidiu-se avaliar a significância da implantação de trincheiras em eventos mais extremos que aquele para qual o dispositivo foi projetado, no caso adotou-se o tempo de retorno de 10 anos que é utilizado no dimensionamento dos sistemas convencionais de microdrenagem. Verifica-se, conforme apresentado na Figura 41, que para tempos de retorno superiores, a trincheira passa a receber maior contribuição no início do evento, completando o volume disponível e atingindo sua capacidade máxima de infiltração. Em condutividades hidráulicas baixas, como é o caso das encontradas no município de Belo Horizonte, a vazão máxima de infiltração é muito inferior a vazão de entrada na trincheira e o sistema passa quase a atuar apenas como uma caixa de passagem, não conseguindo absorver todo o volume gerado na área de drenagem.



**Figura 41**– Vazão absorvida pela trincheira para diferentes tempos de retorno.

Assim, em condutividades hidráulicas baixas, para eventos com tempo de retorno superiores ao que a trincheira foi projetada, o sistema não é capaz de amortecer todo o volume gerado no telhado e o hidrograma de saída passa a ser praticamente coincidente ao hidrograma de entrada a partir de um certo momento, conforme pode ser verificado na Figura 42.



**Figura 42** – Comportamento da trincheira para vazões de período de retorno superiores para o qual ela foi dimensionada

Para exemplificar o funcionamento do sistema nesta condição, a Tabela 11 seguinte apresenta a variação do volume infiltrado, conforme variação das condutividades hidráulicas mais prováveis de Belo Horizonte, em relação ao volume gerado no telhado e ao volume útil da trincheira.

**Tabela 11** – Variação do volume infiltrado para diferente eventos

<b>Padrão de Edificação</b>	<b>Trincheira</b>	<b>Volume útil da Trincheira (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume escoamento do telhado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume infiltrado (m<sup>3</sup>)</b>
P1	Dimensionamento TR2-d10 Evento TR2-d10	0,23 a 1,28	1,24	1,24
	Dimensionamento TR2-d10 Evento TR10-d10	0,23 a 1,28	1,75	1,28 - 1,69
P2	Dimensionamento TR2-d10 Evento TR2-d10	0,47 - 2,34	2,28	2,34
	Dimensionamento TR2-d10 Evento TR10-d10	0,47 - 2,34	3,22	2,34 - 2,89
P3	Dimensionamento TR2-d10 Evento TR2-d10	1,05 - 4,68	4,67	4,67
	Dimensionamento TR2-d10 Evento TR10-d10	1,05 - 4,68	6,58	4,68 - 5,79
P4	Dimensionamento TR2-d10 Evento TR2-d10	1,63 - 7,37	7,37	7,37
	Dimensionamento TR2-d10 Evento TR10-d10	1,63 - 7,37	10,39	7,37 - 8,90
P5	Dimensionamento TR2-d10 Evento TR2-d10	2,46 - 10,80	10,8	10,8
	Dimensionamento TR2-d10 Evento TR10-d10	2,46 - 10,80	15,22	10,80 - 13,02
P6	Dimensionamento TR2-d10 Evento TR2-d10	3,16 - 13,80	13,80	13,80
	Dimensionamento TR2-d10 Evento TR10-d10	3,16 - 13,80	19,61	13,80 - 16,69

Em todos os eventos analisados a trincheira foi capaz de reduzir a vazão de pico. Foi verificada que a trincheira pode amortecer, dependendo do cenário analisado, entre 21 e 68% da vazão de pico gerada no lote. Também, como a simulação considerou o projeto da trincheira para absorver todo o volume do telhado, observou-se que nos cenários 8, 17 e 21, cenários onde a edificação ocupa uma área maior no lote, a vazão de pico inferior foi inferior à que seria gerada na condição natural.

### 6.3.2 Potenciais de redução da vazão de pico gerada nas vias

Os cenários de implantação de trincheiras nas vias foram avaliados em relação a redução de vazão de pico, comparando as seguintes condições: natural (antes da ocupação), considerando o espaço já edificado, na condição já edificada com implantação de trincheira que absorva o efluente gerado na faixa da via e na condição que considera também a existência das trincheiras implantadas nos lotes. Os resultados são apresentados na Tabela 12.

**Tabela 12** – Redução da vazão de pico com implantação de trincheiras nas vias

Cenário	Via	Evento		Trincheira	Vazão de Pico (L/s)			Amortecimento
		TR (anos)	duração (min)		Natural	Entrada	Saída	
1	Local 1	10	10	V	8,26	22,00	19,44	12%
		10	10	V + L p/ TR5	8,26	22,00	13,03	41%
		10	15	V	9,28	24,71	21,84	12%
		10	15	V + L p/ TR5	9,28	24,71	14,64	41%
2	Local 2	10	10	V	9,08	24,44	20,25	17%
		10	10	V + L p/ TR5	9,08	24,44	13,85	43%
		10	15	V	10,20	27,46	22,75	17%
		10	15	V + L p/ TR5	10,20	27,46	15,56	43%
3	Coletora	10	10	V	10,24	27,93	21,41	23%
		10	10	V + L p/ TR5	10,24	27,93	15,01	46%
		10	15	V	11,51	31,38	24,06	23%
		10	15	V + L p/ TR5	11,51	31,38	16,87	46%
4	Arterial	10	10	V	11,64	31,12	22,81	27%
		10	10	V + L p/ TR5	11,64	31,12	16,41	47%
		10	15	V	13,08	36,09	25,63	29%
		10	15	V + L p/ TR5	13,08	36,09	18,44	49%

Legenda:

V - Via

L - lote

TR - tempo de retorno (anos)

Considerando apenas o controle do efluente gerado na via a relação de amortecimento ficou entre 12 e 29% dependendo do padrão de via adotado, o que mostra a significância do controle da impermeabilização do espaço público.

Considerando o lote de 360 m<sup>2</sup> e padrão de edificação 2 (110 m<sup>2</sup>) para análise do ganho hidrológico da implantação de um controle conjunto nos dois ambientes, este ganho passou para faixa entre 41 a 49% de redução de vazão de pico, podendo ser superior com a adoção de outros padrões de edificações, sinalizando a importância de controle do escoamento para os dois espaços: público e privado.



### **6.3.3 Dimensionamento de trincheiras para o controle do escoamento avaliado**

Adotando a seção da trincheira de (1,30 x 0,60) m<sup>2</sup>, conforme indicado por Moura, 2004, chegou-se ao comprimento necessário para controle dos eventos com duração de 10 e 15 minutos e tempo de retorno 2 e 5 anos, para implantação nos lotes e de 10 anos para implantação nas vias, estes resultados encontram-se nas Tabelas 20 a 29, apresentadas no final deste capítulo.

Para a implantação nos lotes, dependendo do tamanho da edificação o comprimento da trincheira variou entre 1,00 a 79,50 metros.

Nas vias, além do dimensionamento para controle de escoamento na via, também foi avaliada a situação em que a implantação controle o escoamento da estrutura antrópica (lote) quando esta não possui dispositivo de infiltração e a situação onde controle-se além das vias e calçadas o restante do escoamento do lote, quando nestes existem dispositivos de infiltração para o volume gerado pelo telhado. Para isto considerou como padrão o lote de 360 m<sup>2</sup> e uma edificação de 110 m<sup>2</sup> (P2).

Os comprimentos resultantes para implantação nas vias variaram entre 1,00 e 42,50 metros, para controle da faixa de 12 metros da via.

### **6.3.4 Custo da implantação de trincheiras**

O custo de implantação levantado por metro linear da trincheira, considerando preços de abril de 2012, sem BDI (Bonificação e despesas indiretas), está apresentado nas Tabela 13 e 14. Pelas dificuldades para entrada de equipamentos no interior do lote a escavação da trincheira foi considerada como manual.

Para a implantação nas vias foi considerado um acréscimo de 30 cm na escavação e transporte do material, sendo este referente a espessura das camadas de pavimentação, onde não é recomendado que ocorra entrada de água, sendo assim, não deve ser contada como área de infiltração. Devido a variabilidade dos cenários envolvidos, não foram avaliados os custos dos dispositivos de direcionamento do fluxo para dentro da trincheira.

**Tabela 13** – Custo por metro linear da implantação de trincheiras nos lotes.

Descrição	Unidade	Quant.	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/m)
Escavação manual de valas H <= 1,5 m	m <sup>3</sup>	0,78	25,80	20,12
Carga de material de qualquer natureza sobre caminhão Manual	m <sup>3</sup>	0,78	10,38	8,10
Transporte de material demolido em carrinho de mão DMT <= 50,00 m	m <sup>3</sup>	0,78	12,90	10,06
Transporte de material de qualquer natureza DMT > 5 km	m <sup>3</sup> km	11,70	0,78	9,13
Fornecimento e lançamento de material drenante Brita	m <sup>3</sup>	0,78	80,87	63,08
Manta drenante geotextil Manta geotextil - 180 g/m <sup>2</sup> - res.tracão >= 9 kN/m	m <sup>2</sup>	3,80	2,83	10,75
<b>TOTAL</b>				<b>R\$/m 121,24</b>

**Tabela 14** – Custo por metro linear da implantação de trincheiras nas vias.

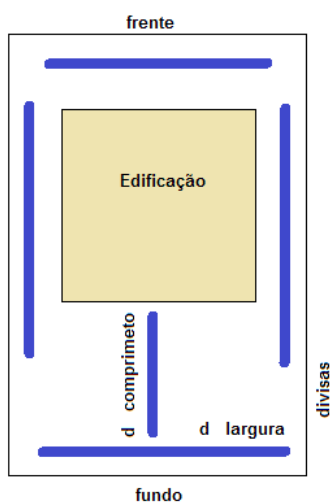
Descrição	Unidade	Quant.	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/m)
Escavação mecânica inclusive transporte ate 50 m Em material de 1ª categoria	m <sup>3</sup>	0,96	2,72	2,61
Carga de material de qualquer natureza sobre caminhão Manual	m <sup>3</sup>	0,96	10,38	9,96
Transporte de material de qualquer natureza DMT > 5 km	m <sup>3</sup> km	14,40	0,78	11,23
Fornecimento e lançamento de material drenante Brita	m <sup>3</sup>	0,96	80,87	77,64
Camada de regularização (cimento/areia) Argamassa traço 1:3, espessura media = 3,0 cm	m <sup>2</sup>	0,6	23,23	13,94
Manta drenante geotextil Manta geotextil - 180 g/m <sup>2</sup> - res.tracão >= 9 kN/m	m <sup>2</sup>	3,80	2,83	10,75
<b>TOTAL</b>				<b>R\$/m 126,14</b>

#### 6.4 Avaliação das possibilidades de Implantação de trincheiras de infiltração no ambiente consolidado estudado

A geometria levantada na etapa de dimensionamento para os cenários estudados foi avaliada primeiramente quanto às condutividades dos solos, levando em conta o trabalho de Costa (2002) e ensaios de campo realizados para implantação dos sítios experimentais no município, verificou-se que condutividades hidráulicas inferiores à  $1 \times 10^{-3}$  m/s seriam mais prováveis de ocorrência no município.

No dimensionamento realizado foi observado que o tempo de esvaziamento da trincheira para algumas condutividades hidráulicas baixas foi significativo, ficando o dispositivo comprometido para controle de eventos consecutivos. Assim, considerou-se neste trabalho que dispositivos que tenham períodos de esvaziamento superiores a 24 horas não são muito apropriados para a situação que se deseja o controle de escoamento.

A adaptação do dispositivo dimensionado aos padrões de loteamentos considerados nos cenários foram verificados através dos afastamentos regulamentados, apresentado no capítulo anterior, e da distância recomendada entre a trincheira, edificações e divisas. Foi avaliada a possibilidade de implantação no afastamento frontal, nos afastamentos laterais e no fundo, como apresentado na Figura 43. O afastamento frontal utilizado na análise foi de 3,00 m. Como em alguns casos, as edificações agrupadas em um mesmo padrão possuem alturas diferentes e por consequência afastamentos, laterais e de fundo, também diferentes, foi considerado o caso da maior dimensão exigida.



**Figura 43** – Locais analisados para implantação de trincheiras

As Tabelas 15 a 20 apresentam a avaliação das possibilidades da implantação nos locais da Figura 43, com a indicação dos locais onde o espaço é insuficiente e o comprimento máximo possível da trincheira para as edificações dos padrões considerados.

**Tabela 15 – Avaliação das possibilidades de implantação – Edificação P1- 60,00 m<sup>2</sup>**

Dimensões do Lote			Afastamentos			Edificação		
Área	C	L	Frontal	Lateral	Fundo	C	L	d
180,00	6,00	30,00	3,00	1,50	1,50	4,50	13,33	13,67
360,00	12,00	30,00	3,00	1,50	1,50	9,00	6,67	20,33

Avaliação da Implantação de Trincheiras				
Lote	afast. frontal	afast. Lateral	d comprimento	d largura
180,00	de = 4m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de=1m - Lt<= 5m.	insuficiente	de = 4m - insuficiente; de = 2m - Lt<=9m; de=1m - Lt<= 11m.	de = 4m - insuficiente; de = 2m - Lt<=4m; de=1m - Lt<= 5m.
360,00	de = 4m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de=1m - Lt<= 10m.	insuficiente	de=4m - Lt <= 12m; de = 2m - Lt<=16m; de=1m - Lt<= 18m.	de=4m - Lt <= 4m; de = 2m - Lt<=8m; de = 1m - Lt<= 10m

Legenda: C - largura, L - comprimento, d - distância entre a edificação e a divisa de fundo, de - distância necessária entre a trincheira e a edificação, Lt - comprimento da trincheira.

Nota-se que para a edificação padrão 1, as trincheiras não podem ser implantadas nos afastamentos pois a área existente é insuficiente para deixar a distância recomendada entre trincheiras e as edificações e divisas.

**Tabela 16 – Avaliação das possibilidades de implantação – Edificação P2- 110,00 m<sup>2</sup>**

Dimensões do Lote			Afastamentos			Edificação		
Área	C	L	Frontal	Lateral	Fundo	C	L	d
180,00	6,00	30,00	3,00	1,50	1,50	4,50	24,44	2,56
360,00	12,00	30,00	3,00	1,50	1,50	9,00	12,22	14,78

Avaliação da Implantação de Trincheiras				
Lote	afast. frontal	afast. Lateral	d comprimento	d largura
180,00	de = 4m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de=1m - Lt<= 5m.	insuficiente	insuficiente	de = 4m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de=1m - Lt<= 4m.
360,00	de = 4m -insuficiente; de = 2m - insuficiente; de=1m - Lt<= 10m.	insuficiente	de=4m - Lt <= 7m; de = 2m - Lt<=11m; de=1m - Lt<= 13m.	de=4m - Lt <= 4m; de = 2m - Lt<=8m; de = 1m - Lt<= 10m

Legenda: C - largura, L - comprimento, d - distância entre a edificação e a divisa de fundo, de - distância necessária entre a trincheira e a edificação, Lt - comprimento da trincheira.

As trincheiras encontram maior dificuldade de implantação nos lotes de 180,00 m<sup>2</sup> para a edificação de padrão 2, sendo apenas viáveis onde a distância entre trincheiras e as edificações e divisas deve ser igual a um metro.

**Tabela 17 – Avaliação das possibilidades de implantação – Edificação P3- 225,00 m<sup>2</sup>**

Área	Dimensões do Lote		Afastamentos			Edificação		
	C	L	Frontal	Lateral	Fundo	C	L	d
360,00	12,00	30,00	3,00	1,50	1,50	9,00	25,00	2,00
720,00	24,00	30,00	3,00	2,30	1,50	19,40	11,60	15,40
1000,00	33,00	30,00	3,00	2,30	1,50	28,40	7,92	19,08

Avaliação da Implantação de Trincheiras				
Lote	afast. frontal	afast. Lateral	d comprimento	d largura
360,00	de=4 m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de=1 m Lt<=10 m	insuficiente	insuficiente	insuficiente
720,00	de=4 m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de=1m - Lt<= 22m.	insuficiente	de=4m - Lt <= 7m; de = 2m - Lt<=11m; de=1m - Lt<= 13m.	de=4m - Lt <= 16m; de = 2m - Lt<=20m; de =1m - Lt<= 22m
1000,00	de=4 m - insuficiente; de = 2m -insuficiente; de=1m - Lt<= 31m.	insuficiente	de=4m - Lt <= 11m; de = 2m - Lt<=15m; de=1m Lt<= 17m	de= 4m - Lt <= 25m; de = 2m - Lt<=29m; de=1m - Lt<= 31m

Legenda: C - largura, L - comprimento, d - distância entre a edificação e a divisa de fundo, de - distância necessária entre a trincheira e a edificação, Lt - comprimento da trincheira.

Observa-se que as trincheiras são mais facilmente adaptáveis nas edificação padrão 4 para os lotes de 720,00 e 1.000 m<sup>2</sup>.

**Tabela 18 – Avaliação das possibilidades de implantação – Edificação P4- 355,00 m<sup>2</sup>**

Dimensões do Lote			Afastamentos			Edificação		
Área	C	L	Frontal	Lateral	Fundo	C	L	d
720,00	24,00	30,00	3,00	3,80	3,80	16,40	21,65	5,35
1000,00	33,00	30,00	3,00	3,80	3,80	25,40	13,98	13,02

Avaliação da Implantação de Trincheiras				
Lote	afast. frontal	afast. Lateral	d comprimento	d largura
720,00	de=4 m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de=1m - Lt<= 22m.	de=4 m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de=1m - Lt<= 28m.	de=4m - insuficiente; de = 2m - Lt<=1m; de=1m - Lt<= 3m.	de=4m - insuficiente; de = 2m - Lt<=20m; de =1m - Lt<= 22m
1000,00	de=4 m - insuficiente; de = 2m -insuficiente; de=1m - Lt<= 31m.	de=4 m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de=1m - Lt<= 28m.	de=4m - Lt <= 5m; de = 2m - Lt<=9m; de=1m Lt<= 11m	de=4m - Lt<=25m; de = 2m - Lt<=29m; de =1m - Lt<= 31m

Legenda: C - largura, L - comprimento, d - distância entre a edificação e a divisa de fundo, de - distância necessária entre a trincheira e a edificação, Lt - comprimento da trincheira.

Na análise realizada para a edificação padrão 4 observou-se maior dificuldade de adaptação das trincheiras no afastamento frontal e lateral.

**Tabela 19– Avaliação das possibilidades de implantação – Edificação P5- 520,00 m<sup>2</sup>**

Dimensões do Lote			Afastamentos			Edificação		
Área	C	L	Frontal	Lateral	Fundo	C	L	d
720,00	24,00	30,00	3,00	2,68	2,68	18,64	27,90	2,68
1000,00	33,00	30,00	3,00	2,68	2,68	27,64	18,81	8,19

Avaliação da Implantação de Trincheiras				
Lote	afast. frontal	afast. Lateral	d comprimento	d largura
720,00	de=4 m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de=1m - Lt<= 22m.	de=4 m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de=1m - Lt<= 28m.	de=4m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de=1m - insuficiente.	de=4m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de =1m - Lt<= 22m
1000,00	de=4 m - insuficiente; de = 2m -insuficiente; de=1m - Lt<= 31m.	de=4 m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de=1m - Lt<= 28m.	de=4m - insuficiente; de = 2m - Lt<=4m; de=1m Lt<= 6m	de=4m - insuficiente; de = 2m - Lt<=29m; de =1m - Lt<= 31m

Legenda: C - largura, L - comprimento, d - distância entre a edificação e a divisa de fundo, de - distância necessária entre a trincheira e a edificação, Lt - comprimento da trincheira.

Na edificação padrão 5, por sua área significativa a compatibilização das trincheiras no lote de 720,00 m<sup>2</sup> é dificultada.

**Tabela 20 – Avaliação das possibilidades de implantação – Edificação P6- 670,00 m<sup>2</sup>**

Dimensões do Lote			Afastamentos			Edificação		
Área	C	L	frontal	Lateral	Fundo	C	L	d
720,00	24,00	30,00	3,00	3,80	3,80	16,40	23,20	3,80
1000,00	33,00	30,00	3,00	3,80	3,80	25,40	23,20	3,80

Lote	Avaliação da Implantação de Trincheiras			
	afast. frontal	afast. Lateral	d comprimento	d largura
720,00	de=4 m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de=1m - Lt<= 22m.	de=4 m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de=1m - Lt<= 28m.	de=4m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de=1m - insuficiente.	de=4m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de = 1m - Lt<= 22m
1000,00	de=4 m - insuficiente; de = 2m -insuficiente; de=1m - Lt<= 31m.	de=4 m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de=1m - Lt<= 28m.	de=4m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de=1m Lt<= 1,8m	de=4m - insuficiente; de = 2m - insuficiente; de = 1m - Lt<= 31m

Legenda: C - largura, L - comprimento, d - distância entre a edificação e a divisa de fundo, de - distância necessária entre a trincheira e a edificação, Lt - comprimento da trincheira.

Na edificação padrão 6, por sua área significativa em relação aos lotes analisados a compatibilização das trincheiras é dificultada.

A distância necessária entre a trincheira e as edificações e divisas tornam muitas vezes o espaço existente insuficiente para implantação das trincheiras, principalmente para padrões de edificações que deixam pouca área livre nos lotes e quando esta distância deve ser igual a 4 metros.

O aumento do afastamento lateral exigido pela lei, quando a edificação ultrapassa 6,00 metros de altura facilita a implantação de trincheiras neste espaço quando a distância entre a trincheira e as edificações e divisas recomendada é de 1,00 metro.

## 6.5 Conjunto dos Resultados

As tabelas seguintes, Tabela 21 a 26, mostram a avaliação final das possibilidades de implantação de trincheiras considerado os cenários de edificação, as condutividades hidráulicas e os custos de implantação.

**Tabela 21**–Possibilidades de implantação – Edificação Padrão 1- 60,00 m² (TR – Tempo de retorno; d – duração da precipitação)

Padrão 1 Área 60,00 m²	TR	2,00	anos	TR	2,00	anos	TR	5,00	anos	TR	5,00	anos
	d	10,00	minutos	d	15,00	minutos	d	10,00	minutos	d	15,00	minutos
K	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)
1x10-6 m/s	5,50	73,90	666,82	6,00	75,30	727,44	7,00	74,23	848,68	7,50	75,75	909,30
2x10-6 m/s	5,50	37,00	666,82	6,00	37,70	727,44	6,50	37,77	788,06	7,50	37,95	909,30
4x10-6 m/s	5,50	18,53	666,82	6,00	18,90	727,44	6,50	18,93	788,06	7,00	19,35	848,68
6x10-6 m/s	5,50	12,40	666,82	6,00	12,65	727,44	6,50	12,63	788,06	7,00	12,95	848,68
8x10-6 m/s	5,50	9,30	666,82	6,00	9,50	727,44	6,50	9,50	788,06	7,00	9,75	848,68
1x10-5 m/s	5,00	7,60	606,20	5,50	7,80	666,82	6,50	7,63	788,06	7,00	7,80	848,68
2x10-5 m/s	5,00	3,87	606,20	5,50	3,95	666,82	6,50	3,87	788,06	6,50	4,05	788,06
4x10-5 m/s	4,50	2,00	545,58	5,00	2,10	606,20	5,50	2,03	666,82	6,00	2,10	727,44
6x10-5 m/s	4,50	1,37	545,58	4,50	1,45	545,58	5,00	1,40	606,20	5,50	1,50	666,82
8x10-5 m/s	4,00	1,07	484,96	4,00	1,15	484,96	5,00	1,07	606,20	5,00	1,15	606,20
1x10-4 m/s	4,00	0,87	484,96	3,50	0,95	424,34	4,50	0,90	545,58	5,50	0,95	666,82
2x10-4 m/s	3,00	0,50	363,72	3,00	0,55	363,72	3,50	0,50	424,34	3,50	0,55	424,34
4x10-4 m/s	2,00	0,30	242,48	1,50	0,40	181,86	2,50	0,30	303,10	2,00	0,40	242,48
6x10-4 m/s	1,50	0,23	181,86	1,50	0,35	181,86	2,00	0,27	242,48	1,50	0,35	181,86
8x10-4 m/s	1,50	0,23	181,86	1,00	0,30	121,24	1,50	0,23	181,86	1,50	0,30	181,86
1x10-3 m/s	1,00	0,20	121,24	1,00	0,30	121,24	1,50	0,20	181,86	1,00	0,30	121,24
2x10-3 m/s	1,00	0,20	121,24	1,00	0,30	121,24	1,00	0,20	121,24	1,00	0,30	121,24
4x10-3 m/s	1,00	0,20	121,24	1,00	0,30	121,24	1,00	0,20	121,24	1,00	0,30	121,24
6x10-3 m/s	1,00	0,20	121,24	1,00	0,25	121,24	1,00	0,20	121,24	1,00	0,30	121,24
8x10-3 m/s	1,00	0,17	121,24	1,00	0,25	121,24	1,00	0,20	121,24	1,00	0,25	121,24
1x10-2 m/s	1,00	0,17	121,24	1,00	0,25	121,24	1,00	0,17	121,24	1,00	0,25	121,24

xxx,xx Faixa na qual o tempo de esvaziamento da trincheira ultrapassa 1 dia

xxx,xx Faixa cuja implantação no lote de 180,00 m² é dificultada pela distância necessária às edificações e divisas

Faixa de condutividades hidráulicas mais prováveis em Belo Horizonte.



**Tabela 22**–Possibilidades de implantação – Edificação Padrão 2- 110,00 m<sup>2</sup> (TR – Tempo de retorno; d – duração da precipitação)

Padrão 2 - Área 110,00 m <sup>2</sup>	TR d	2,00 10,00	anos minutos	TR d	2,00 15,00	anos minutos	TR d	5,00 10,00	anos minutos	TR d	5,00 15,00	anos minutos
K	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)
1x10-6 m/s	10,00	77,50	1212,40	11,00	78,55	1333,64	12,00	78,33	1454,88	13,50	78,75	1636,74
2x10-6 m/s	10,00	38,80	1212,40	11,00	39,35	1333,64	12,00	39,20	1454,88	13,00	39,85	1576,12
4x10-6 m/s	9,50	19,70	1151,78	11,00	19,75	1333,64	11,50	19,87	1394,26	13,00	20,00	1576,12
6x10-6 m/s	9,50	13,17	1151,78	10,50	13,35	1273,02	11,50	13,27	1394,26	12,50	13,50	1515,50
8x10-6 m/s	9,50	9,87	1151,78	10,50	10,05	1273,02	11,50	9,97	1394,26	12,50	10,15	1515,50
1x10-5 m/s	9,50	7,93	1151,78	10,50	8,05	1273,02	11,50	8,00	1394,26	12,50	8,15	1515,50
2x10-5 m/s	9,00	4,07	1091,16	10,00	4,15	1212,40	11,00	4,10	1333,64	11,50	4,25	1394,26
4x10-5 m/s	8,50	2,10	1030,54	8,50	2,20	1030,54	10,00	2,13	1212,40	10,50	2,25	1273,02
6x10-5 m/s	8,00	1,47	969,92	8,00	1,55	969,92	9,50	1,47	1151,78	9,50	1,55	1151,78
8x10-5 m/s	7,50	1,13	909,30	7,50	1,20	909,30	9,00	1,13	1091,16	9,00	1,20	1091,16
1x10-4 m/s	7,00	0,93	848,68	7,00	1,00	848,68	8,50	0,93	1030,54	8,00	1,00	969,92
2x10-4 m/s	5,50	0,53	666,82	5,00	0,60	606,20	6,50	0,53	788,06	6,50	0,60	788,06
4x10-4 m/s	4,00	0,33	484,96	3,50	0,40	424,34	5,00	0,33	606,20	4,00	0,40	484,96
6x10-4 m/s	3,00	0,27	363,72	2,50	0,35	303,10	3,50	0,27	424,34	3,00	0,35	363,72
8x10-4 m/s	2,50	0,23	303,10	2,00	0,30	242,48	3,00	0,23	363,72	2,50	0,35	303,10
1x10-3 m/s	2,00	0,23	242,48	2,00	0,30	242,48	2,50	0,23	303,10	2,00	0,35	242,48
2x10-3 m/s	1,50	0,20	181,86	1,00	0,30	121,24	1,50	0,20	181,86	1,50	0,30	181,86
4x10-3 m/s	1,00	0,20	121,24	1,00	0,30	121,24	1,00	0,20	121,24	1,00	0,30	121,24
6x10-3 m/s	1,00	0,20	121,24	1,00	0,30	121,24	1,00	0,20	121,24	1,00	0,30	121,24
8x10-3 m/s	1,00	0,20	121,24	1,00	0,30	121,24	1,00	0,20	121,24	1,00	0,30	121,24
1x10-2 m/s	1,00	0,20	121,24	1,00	0,25	121,24	1,00	0,20	121,24	1,00	0,30	121,24

**xxx,xx** Faixa na qual o tempo de esvaziamento da trincheira ultrapassa 1 dia

**xxx,xx** Faixa cuja implantação no lote de 180,00 m<sup>2</sup> é dificultada pela distância necessária às edificações e divisas

**xxx,xx** Faixa cuja implantação no lote de 180,00 m<sup>2</sup> é dificultada pela distância necessária às edificações e divisas e cuja a implantação no lote de 360,00 m<sup>2</sup> provavelmente demandará a implantação de mais de uma trincheira

**xxx,xx** Faixa cuja implantação nos lotes de 360,00 e 180,00m<sup>2</sup> é dificultada pela distância necessária às edificações e divisas

Faixa de condutividades hidráulicas mais prováveis em Belo Horizonte.

**Tabela 23**–Possibilidades de implantação – Edificação Padrão 3- 225,00 m<sup>2</sup> (TR – Tempo de retorno; d – duração da precipitação)

Padrão 3 - Área 225,00 m <sup>2</sup>	TR 2,00 anos			TR 5,00 anos			TR 10,00 anos			TR 15,00 anos		
	d	10,00	minutos	d	15,00	minutos	d	10,00	minutos	d	15,00	minutos
K	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)
1x10-6 m/s	20,00	80,30	2424,80	22,50	80,65	2727,90	24,00	80,80	2909,76	27,00	81,00	3273,48
2x10-6 m/s	20,00	40,20	2424,80	22,50	40,40	2727,90	24,00	40,43	2909,76	26,50	40,80	3212,86
4x10-6 m/s	19,50	20,27	2364,18	22,00	20,40	2667,28	23,50	20,40	2849,14	26,50	20,45	3212,86
6x10-6 m/s	19,50	13,57	2364,18	21,50	13,75	2606,66	23,50	13,63	2849,14	26,00	13,75	3152,24
8x10-6 m/s	19,50	10,20	2364,18	21,50	10,30	2606,66	23,00	10,30	2788,52	25,50	10,40	3091,62
1x10-5 m/s	19,00	8,23	2303,56	21,00	8,35	2546,04	23,00	8,27	2788,52	25,00	8,40	3031,00
2x10-5 m/s	18,50	4,17	2242,94	20,00	4,30	2424,80	22,00	4,23	2667,28	24,00	4,30	2909,76
4x10-5 m/s	17,00	2,17	2061,08	18,00	2,25	2182,32	20,50	2,20	2485,42	21,50	2,30	2606,66
6x10-5 m/s	16,00	1,50	1939,84	16,50	1,60	2000,46	19,00	1,53	2303,56	19,50	1,60	2364,18
8x10-5 m/s	15,00	1,17	1818,60	15,00	1,25	1818,60	18,00	1,17	2182,32	18,00	1,25	2182,32
1x10-4 m/s	14,00	0,97	1697,36	14,00	1,05	1697,36	17,00	0,97	2061,08	17,00	1,05	2061,08
2x10-4 m/s	11,00	0,57	1333,64	10,50	0,60	1273,02	13,50	0,57	1636,74	13,00	0,65	1576,12
4x10-4 m/s	8,00	0,33	969,92	7,00	0,40	848,68	10,00	0,33	1212,40	8,50	0,40	1030,54
6x10-4 m/s	6,00	0,27	727,44	5,50	0,35	666,82	7,50	0,27	909,30	6,50	0,35	788,06
8x10-4 m/s	5,00	0,23	606,20	4,50	0,35	545,58	6,00	0,23	727,44	5,00	0,35	606,20
1x10-3 m/s	4,50	0,23	545,58	4,00	0,30	484,96	5,50	0,23	666,82	4,50	0,35	545,58
2x10-3 m/s	3,00	0,20	363,72	2,50	0,30	303,10	3,50	0,20	424,34	3,00	0,30	363,72
4x10-3 m/s	1,50	0,23	181,86	1,50	0,30	181,86	2,00	0,20	242,48	1,50	0,30	181,86
6x10-3 m/s	1,00	0,20	121,24	1,00	0,30	121,24	1,00	0,23	121,24	1,00	0,30	121,24
8x10-3 m/s	1,00	0,20	121,24	1,00	0,30	121,24	1,00	0,20	121,24	1,00	0,30	121,24
1x10-2 m/s	1,00	0,20	121,24	1,00	0,30	121,24	1,00	0,20	121,24	1,00	0,30	121,24

- xxx,xx Faixa na qual o tempo de esvaziamento da trincheira ultrapassa 1 dia
- xxx,xx Faixa cuja implantação no lote de 360,00 m<sup>2</sup> é dificultada pela distância necessária às edificações e divisas
- xxx,xx Faixa cuja implantação no lote de 360,00 m<sup>2</sup> é dificultada pela distância necessária às edificações e divisas e cuja a implantação no lote de 720,00 m<sup>2</sup> provavelmente demandará a implantação de mais de uma trincheira
- xxx,xx Faixa cuja implantação nos lotes de 360,00 e 720,00m<sup>2</sup> é dificultada pela distância necessária às edificações e divisas
- xxx,xx Faixa cuja implantação nos lotes de 360,00 e 720,00 é dificultada pela distância necessária às edificações e divisas e cuja a implantação no lote de 1.000,00 m<sup>2</sup> provavelmente demandará a implantação de mais de uma trincheira
- Faixa de condutividades hidráulicas mais prováveis em Belo Horizonte.

**Tabela 24**–Possibilidades de implantação – Edificação Padrão 4- 355,00 m<sup>2</sup> (TR – Tempo de retorno; d – duração da precipitação)

Padrão 4 - Área 355,00 m <sup>2</sup>	TR 2,00 anos			TR 2,00 anos			TR 5,00 anos			TR 5,00 anos		
	d	10,00	minutos	d	15,00	minutos	d	10,00	minutos	d	15,00	minutos
K	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)
1x10-6 m/s	31,50	81,20	3819,06	35,50	81,40	4304,02	38,00	81,43	4607,12	42,50	81,75	5152,70
2x10-6 m/s	31,50	40,67	3819,06	35,00	40,95	4243,40	37,50	40,93	4546,50	42,00	41,05	5092,08
4x10-6 m/s	31,00	20,47	3758,44	34,50	20,65	4182,78	37,00	20,60	4485,88	41,50	20,65	5031,46
6x10-6 m/s	30,50	13,73	3697,82	34,00	13,85	4122,16	37,00	13,77	4485,88	40,50	13,95	4910,22
8x10-6 m/s	30,50	10,33	3697,82	33,50	10,45	4061,54	36,50	10,37	4425,26	40,00	10,50	4849,60
1x10-5 m/s	30,00	8,30	3637,20	33,00	8,40	4000,92	36,00	8,37	4364,64	39,50	8,45	4788,98
2x10-5 m/s	29,00	4,23	3515,96	31,00	4,35	3758,44	34,50	4,27	4182,78	37,50	4,35	4546,50
4x10-5 m/s	26,50	2,20	3212,86	28,00	2,30	3394,72	32,00	2,23	3879,68	33,50	2,30	4061,54
6x10-5 m/s	25,00	1,53	3031,00	26,00	1,60	3152,24	30,00	1,53	3637,20	31,00	1,60	3758,44
8x10-5 m/s	23,50	1,20	2849,14	24,00	1,25	2909,76	28,50	1,20	3455,34	28,50	1,30	3455,34
1x10-4 m/s	22,50	0,97	2727,90	22,00	1,05	2667,28	27,00	0,97	3273,48	26,50	1,05	3212,86
2x10-4 m/s	17,50	0,57	2121,70	17,00	0,65	2061,08	21,00	0,57	2546,04	20,50	0,65	2485,42
4x10-4 m/s	13,00	0,33	1576,12	11,00	0,40	1333,64	15,50	0,37	1879,22	13,50	0,40	1636,74
6x10-4 m/s	10,00	0,27	1212,40	8,50	0,35	1030,54	12,00	0,27	1454,88	10,00	0,35	1212,40
8x10-4 m/s	8,00	0,23	969,92	7,00	0,35	848,68	9,50	0,23	1151,78	8,50	0,35	1030,54
1x10-3 m/s	7,00	0,23	848,68	6,00	0,35	727,44	8,50	0,23	1030,54	7,00	0,35	848,68
2x10-3 m/s	4,50	0,23	545,58	4,00	0,30	484,96	5,50	0,20	666,82	4,50	0,35	545,58
4x10-3 m/s	2,50	0,23	303,10	2,00	0,35	242,48	3,50	0,20	424,34	2,50	0,35	303,10
6x10-3 m/s	2,00	0,20	242,48	1,50	0,30	181,86	2,50	0,20	303,10	2,00	0,30	242,48
8x10-3 m/s	1,50	0,20	181,86	1,00	0,30	121,24	2,00	0,20	242,48	1,50	0,30	181,86
1x10-2 m/s	1,00	0,20	121,24	1,00	0,30	121,24	1,50	0,20	181,86	1,00	0,30	121,24

**XXX,XX** Faixa na qual o tempo de esvaziamento da trincheira ultrapassa 1 dia

**XXX,XX** Faixa cuja implantação no lote de 720,00 e 1.000 m<sup>2</sup> é dificultada pela distância necessária às edificações e divisas

**XXX,XX** Cujas implantações no lote de 720,00 m<sup>2</sup> provavelmente demandará a implantação de mais de uma trincheira

**XXX,XX** Faixa cuja implantação nos lotes de 720,00 é dificultada pela distância necessária às edificações e divisas e cuja a implantação no lote de 1.000,00 m<sup>2</sup> provavelmente demandará a implantação de mais de uma trincheira.

**XXX,XX** Faixa de condutividades hidráulicas mais prováveis em Belo Horizonte.

**Tabela 25**–Possibilidades de implantação – Edificação Padrão 5 - 520,00 m<sup>2</sup> (TR – Tempo de retorno; d – duração da precipitação)

Área 520,00 m <sup>2</sup>	TR 2,00 anos			TR 2,00 anos			TR 5,00 anos			TR 5,00 anos		
	d	10,00	minutos	d	15,00	minutos	d	10,00	minutos	d	15,00	minutos
K	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)
1x10-6 m/s	46,00	81,77	5577,04	51,50	82,10	6243,86	55,50	81,93	6728,82	62,00	82,20	7516,88
2x10-6 m/s	45,50	41,07	5516,42	51,00	41,20	6183,24	55,00	41,10	6668,20	61,50	41,25	7456,26
4x10-6 m/s	45,00	20,63	5455,80	50,50	20,75	6122,62	55,00	20,60	6668,20	60,50	20,80	7335,02
6x10-6 m/s	45,00	13,80	5455,80	49,50	13,95	6001,38	54,00	13,83	6546,96	59,50	13,95	7213,78
8x10-6 m/s	44,50	10,40	5395,18	49,00	10,50	5940,76	54,00	10,40	6546,96	58,50	10,55	7092,54
1x10-5 m/s	44,00	8,37	5334,56	48,50	8,45	5880,14	53,00	8,37	6425,72	58,00	8,50	7031,92
2x10-5 m/s	42,00	4,27	5092,08	45,50	4,40	5516,42	50,50	4,30	6122,62	55,00	4,40	6668,20
4x10-5 m/s	39,00	2,23	4728,36	41,00	2,30	4970,84	47,00	2,23	5698,28	49,00	2,35	5940,76
6x10-5 m/s	36,50	1,53	4425,26	38,00	1,60	4607,12	44,00	1,53	5334,56	45,50	1,60	5516,42
8x10-5 m/s	34,50	1,20	4182,78	35,00	1,30	4243,40	41,50	1,20	5031,46	42,00	1,30	5092,08
1x10-4 m/s	32,50	1,00	3940,30	32,50	1,05	3940,30	39,50	1,00	4788,98	39,00	1,05	4728,36
2x10-4 m/s	26,00	0,57	3152,24	25,00	0,65	3031,00	31,00	0,57	3758,44	30,00	0,65	3637,20
4x10-4 m/s	19,00	0,37	2303,56	16,50	0,40	2000,46	23,00	0,37	2788,52	20,00	0,40	2424,80
6x10-4 m/s	14,50	0,30	1757,98	12,50	0,35	1515,50	17,50	0,30	2121,70	15,00	0,35	1818,60
8x10-4 m/s	11,50	0,23	1394,26	10,50	0,35	1273,02	14,00	0,27	1697,36	12,50	0,35	1515,50
1x10-3 m/s	10,50	0,23	1273,02	9,00	0,35	1091,16	12,50	0,23	1515,50	10,50	0,35	1273,02
2x10-3 m/s	6,50	0,23	788,06	6,00	0,30	727,44	8,00	0,23	969,92	7,00	0,35	848,68
4x10-3 m/s	4,00	0,23	484,96	3,50	0,30	424,34	5,00	0,23	606,20	4,00	0,35	484,96
6x10-3 m/s	3,00	0,20	363,72	2,50	0,30	303,10	3,50	0,23	424,34	3,00	0,30	363,72
8x10-3 m/s	2,00	0,23	242,48	1,50	0,35	181,86	2,50	0,23	303,10	2,00	0,30	242,48
1x10-2 m/s	2,00	0,20	242,48	1,50	0,30	181,86	2,00	0,23	242,48	1,50	0,30	181,86

- xxx,xx Faixa na qual o tempo de esvaziamento da trincheira ultrapassa 1 dia
- xxx,xx Faixa cuja implantação no lote de 720,00 e 1.000 m<sup>2</sup> é dificultada pela distância necessária às edificações e divisas
- xxx,xx Cujas implantações nos lotes de 720,00 e 1.000,00 m<sup>2</sup> provavelmente demandará a implantação de mais de uma trincheira
- xxx,xx Cujas implantações nos lotes de 720,00 m<sup>2</sup> provavelmente demandará a implantação de mais de uma trincheira
- Faixa de condutividades hidráulicas mais prováveis em Belo Horizonte.

**Tabela 26**–Possibilidades de implantação – Edificação Padrão 6 - 670,00 m<sup>2</sup> (TR – Tempo de retorno; d – duração da precipitação)

Padrão 6 Área 670,00 m <sup>2</sup>		TR d	2,00 10,00	anos minutos	TR d	2,00 15,00	anos minutos	TR d	5,00 10,00	anos minutos	TR d	5,00 15,00	anos minutos
K	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	
1x10-6 m/s	59,00	82,13	7153,16	66,50	82,25	8062,46	71,00	82,30	8608,04	79,50	82,50	9638,58	
2x10-6 m/s	59,00	41,10	7153,16	66,00	41,30	8001,84	71,00	41,20	8608,04	79,00	41,40	9577,96	
4x10-6 m/s	58,00	20,70	7031,92	65,00	20,80	7880,60	70,00	20,73	8486,80	78,00	20,85	9456,72	
6x10-6 m/s	57,50	13,87	6971,30	64,00	13,95	7759,36	69,50	13,87	8426,18	76,60	14,00	9286,98	
8x10-6 m/s	57,00	10,43	6910,68	63,00	10,55	7638,12	68,50	10,47	8304,94	75,50	10,60	9153,62	
1x10-5 m/s	56,50	8,40	6850,06	62,50	8,50	7577,50	68,00	8,40	8244,32	75,00	8,50	9093,00	
2x10-5 m/s	54,00	4,30	6546,96	59,00	4,40	7153,16	65,50	4,30	7941,22	70,50	4,40	8547,42	
4x10-5 m/s	50,00	2,23	6062,00	52,50	2,35	6365,10	60,50	2,23	7335,02	63,50	2,35	7698,74	
6x10-5 m/s	47,00	1,53	5698,28	48,50	1,65	5880,14	56,50	1,57	6850,06	58,50	1,60	7092,54	
8x10-5 m/s	44,50	1,20	5395,18	45,00	1,30	5455,80	53,50	1,20	6486,34	54,00	1,30	6546,96	
1x10-4 m/s	42,50	1,00	5152,70	42,00	1,05	5092,08	51,00	1,00	6183,24	50,00	1,05	6062,00	
2x10-4 m/s	33,00	0,57	4000,92	32,00	0,65	3879,68	40,00	0,57	4849,60	38,50	0,65	4667,74	
4x10-4 m/s	24,50	0,37	2970,38	22,00	0,40	2667,28	29,50	0,37	3576,58	25,50	0,45	3091,62	
6x10-4 m/s	19,00	0,27	2303,56	16,00	0,35	1939,84	23,00	0,30	2788,52	19,00	0,35	2303,56	
8x10-4 m/s	15,00	0,27	1818,60	13,50	0,35	1636,74	18,50	0,23	2242,94	16,00	0,35	1939,84	
1x10-3 m/s	13,50	0,23	1636,74	11,50	0,35	1394,26	16,00	0,23	1939,84	13,50	0,35	1636,74	
2x10-3 m/s	8,50	0,23	1030,54	7,50	0,35	909,30	10,50	0,23	1273,02	9,00	0,35	1091,16	
4x10-3 m/s	5,50	0,20	666,82	4,50	0,30	545,58	6,50	0,23	788,06	5,50	0,30	666,82	
6x10-3 m/s	4,00	0,20	484,96	3,00	0,30	363,72	4,50	0,23	545,58	3,50	0,35	424,34	
8x10-3 m/s	3,00	0,20	363,72	2,50	0,30	303,10	3,50	0,23	424,34	3,00	0,30	363,72	
1x10-2 m/s	2,50	0,20	303,10	2,00	0,30	242,48	3,00	0,20	363,72	2,00	0,35	242,48	

- xxx,xx Faixa na qual o tempo de esvaziamento da trincheira ultrapassa 1 dia
- xxx,xx Faixa cuja implantação no lote de 720,00 e 1.000 m<sup>2</sup> é dificultada pela distância necessária às edificações e divisas
- xxx,xx Cujas implantações nos lotes de 720,00 e 1.000,00 m<sup>2</sup> provavelmente demandará a implantação de mais de uma trincheira
- Faixa de condutividades hidráulicas mais prováveis em Belo Horizonte.

Legenda: TR – Tempo de retorno; d – duração; k – condutividade hidráulica; Lt – comprimento da trincheira; T – tempo de esvaziamento.

Nota-se nas tabelas anteriores que nas condutividades hidráulicas de  $1 \times 10^{-6}$  e  $2 \times 10^{-6}$  m/s o tempo de esvaziamento da trincheira ultrapassou 1 dia, restringindo o controle do escoamento em eventos consecutivos. O comprimento dimensionado para as condutividades mais prováveis de Belo Horizonte ( $10^{-6}$  a  $10^{-3}$  m/s) variou de 1,50a 79,50 m e o custo entre R\$209,15 a R\$11.084,69, verificou-se que os maiores custos são para edificações multifamiliares. Com o aumento da área da edificação também ocorre o aumento do comprimento necessário dificultando sua adaptação no lote, sendo necessário em alguns casos a implantação de mais de uma trincheira, como apresentado nas Tabela 22 a 26e até mesmo impossibilitar a adoção deste dispositivo em regiões com condutividade hidráulica baixa, como é o caso da edificação de padrão 6, mostrado na Tabela 26.

Na avaliação da implantação nas vias, considerou-se não viáveis trincheiras que o comprimento ultrapassasse 12,00, ou seja, a faixa padrão do lote considerada nos cálculos. As seguintes tabelas, Tabela 27 a 30, apresentam os resultados para as vias analisadas. Verifica-se, que em grande parte das condutividades hidráulicas avaliadas, a adoção da trincheira é adequada apenas para controle do escoamento da própria via, quando utilizada para controle também do lote, mesmo que este possua também uma trincheira, o comprimento demandado é superior à largura considerada.

Nas vias coletoras e arteriais por sua área significativa, em praticamente metade das condutividades analisadas, o comprimento ultrapassou os 12,00 metros disponíveis, verificando que o dispositivo não conseguiria fazer o controle total dos eventos analisados.

**Tabela 27**– Possibilidades de implantação – Via Local 1 (TR – Tempo de retorno; d – duração da precipitação)

Cenários	Via - Área 46,00 m <sup>2</sup>						Via e lote sem controle com trincheira - Área 248,00 m <sup>2</sup>						Via e lote com trincheira - Área 182,00 m <sup>2</sup>					
	TR	10,00	anos	TR	10,00	anos	TR	10,00	anos	TR	10,00	anos	TR	10,00	anos	TR	10,00	anos
Via Local 1	d	10,00	minutos	d	15,00	minutos	d	10,00	minutos	d	15,00	minutos	d	10,00	minutos	d	15,00	minutos
K	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)
1x10-6 m/s	6,00	74,30	756,84	6,50	75,65	819,91	31,00	81,20	3910,34	34,50	81,60	4351,83	23,00	80,40	2901,22	25,50	80,95	3216,57
2x10-6 m/s	6,00	37,20	756,84	6,50	37,90	819,91	31,00	40,63	3910,34	34,50	40,85	4351,83	22,50	40,50	2838,15	25,00	40,75	3153,50
4x10-6 m/s	6,00	18,63	756,84	6,50	19,00	819,91	30,50	20,47	3847,27	34,00	20,60	4288,76	22,50	20,30	2838,15	25,00	20,45	3153,50
6x10-6 m/s	6,00	12,47	756,84	6,50	12,70	819,91	30,00	13,73	3784,20	33,50	13,80	4225,69	22,00	13,63	2775,08	24,50	13,75	3090,43
8x10-6 m/s	5,50	9,53	693,77	6,00	9,75	756,84	30,00	10,33	3784,20	33,00	10,45	4162,62	22,00	10,27	2775,08	24,00	10,40	3027,36
1x10-5 m/s	5,50	7,63	693,77	6,00	7,80	756,84	29,50	8,30	3721,13	32,50	8,40	4099,55	21,50	8,27	2712,01	24,00	8,35	3027,36
2x10-5 m/s	5,50	3,87	693,77	6,00	4,00	756,84	28,50	4,23	3594,99	30,50	4,35	3847,27	21,00	4,20	2648,94	22,50	4,30	2838,15
4x10-5 m/s	5,00	2,03	630,70	5,00	2,15	630,70	26,50	2,20	3342,71	27,50	2,30	3468,85	19,50	2,20	2459,73	20,00	2,30	2522,80
6x10-5 m/s	4,50	1,40	567,63	5,00	1,45	630,70	24,50	1,53	3090,43	26,00	1,60	3279,64	18,00	1,50	2270,52	18,50	1,60	2333,59
8x10-5 m/s	4,50	1,07	567,63	4,50	1,15	567,63	23,00	1,20	2901,22	23,50	1,25	2964,29	17,00	1,17	2144,38	17,00	1,25	2144,38
1x10-4 m/s	4,00	0,90	504,56	4,00	0,95	504,56	22,00	0,97	2775,08	21,50	1,05	2712,01	16,00	0,97	2018,24	16,00	1,05	2018,24
2x10-4 m/s	3,00	0,50	378,42	3,00	0,55	378,42	17,50	0,57	2207,45	16,50	0,65	2081,31	12,50	0,57	1576,75	12,00	0,60	1513,68
4x10-4 m/s	2,50	0,30	315,35	2,00	0,40	252,28	13,00	0,33	1639,82	11,00	0,40	1387,54	9,50	0,33	1198,33	8,00	0,40	1009,12
6x10-4 m/s	1,50	0,23	189,21	1,50	0,35	189,21	10,00	0,27	1261,40	8,00	0,35	1009,12	7,00	0,27	882,98	6,00	0,35	756,84
8x10-4 m/s	1,50	0,23	189,21	1,00	0,35	126,14	8,00	0,23	1009,12	7,00	0,35	882,98	5,50	0,23	693,77	5,00	0,35	630,70
1x10-3 m/s	1,00	0,20	126,14	1,00	0,30	126,14	7,00	0,23	882,98	6,00	0,30	756,84	5,00	0,23	630,70	4,50	0,30	567,63
2x10-3 m/s	1,00	0,20	126,14	1,00	0,30	126,14	4,50	0,20	567,63	4,00	0,30	504,56	3,00	0,23	378,42	2,50	0,35	315,35
4x10-3 m/s	1,00	0,20	126,14	1,00	0,30	126,14	2,50	0,23	315,35	2,00	0,35	252,28	2,00	0,20	252,28	1,50	0,30	189,21
6x10-3 m/s	1,00	0,20	126,14	1,00	0,25	126,14	2,00	0,20	252,28	1,50	0,30	189,21	1,50	0,20	189,21	1,00	0,30	126,14
8x10-3 m/s	1,00	0,17	126,14	1,00	0,25	126,14	1,50	0,20	189,21	1,00	0,30	126,14	1,00	0,20	126,14	1,00	0,30	126,14
1x10-2 m/s	1,00	0,17	126,14	1,00	0,25	126,14	1,00	0,20	126,14	1,00	0,30	126,14	1,00	0,20	126,14	1,00	0,30	126,14

xxx,xx Faixa de condutividades nas quais o esvaziamento da trincheira ultrapassa 1 dia

xxx,xx Faixa em que o comprimento da trincheira ultrapassa a largura do lote

Faixa de condutividades hidráulicas mais prováveis em Belo Horizonte

**Tabela 28**–Possibilidades de implantação – Via Local 2 (TR – Tempo de retorno; d – duração da precipitação)

Cenários	Via - Área 46,00 m <sup>2</sup>						Via e lote sem controle com trincheira - Área 248,00 m <sup>2</sup>						Via e lote com trincheira - Área 182,00 m <sup>2</sup>					
	TR	10,00	anos	TR	10,00	anos	TR	10,00	anos	TR	10,00	anos	TR	10,00	anos	TR	10,00	anos
Via Local 2	d	10,00	minutos	d	15,00	minutos	d	10,00	minutos	d	15,00	minutos	d	10,00	minutos	d	15,00	minutos
K	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)
1x10-6 m/s	9,50	77,87	1198,33	10,50	78,70	1324,47	34,50	81,47	4351,83	38,50	81,75	4856,39	26,50	80,83	3342,71	29,50	81,25	3721,13
2x10-6 m/s	9,50	38,97	1198,33	10,50	39,40	1324,47	34,50	40,77	4351,83	38,50	40,95	4856,39	26,00	40,67	3279,64	29,00	40,90	3658,06
4x10-6 m/s	9,50	19,53	1198,33	10,50	19,75	1324,47	34,00	20,50	4288,76	37,50	20,70	4730,25	26,00	20,37	3279,64	29,00	20,50	3658,06
6x10-6 m/s	9,50	13,07	1198,33	10,50	13,25	1324,47	33,50	13,77	4225,69	37,00	13,90	4667,18	25,50	13,70	3216,57	28,50	13,80	3594,99
8x10-6 m/s	9,50	9,80	1198,33	10,00	10,05	1261,40	33,50	10,33	4225,69	36,50	10,50	4604,11	25,50	10,30	3216,57	28,00	10,40	3531,92
1x10-5 m/s	9,00	7,97	1135,26	10,00	8,05	1261,40	33,00	8,33	4162,62	36,00	8,45	4541,04	25,00	8,30	3153,50	27,50	8,40	3468,85
2x10-5 m/s	9,00	4,03	1135,26	9,50	4,15	1198,33	31,50	4,27	3973,41	34,00	4,35	4288,76	24,00	4,23	3027,36	26,00	4,35	3279,64
4x10-5 m/s	8,00	2,10	1009,12	8,50	2,20	1072,19	29,50	2,20	3721,13	30,50	2,30	3847,27	22,50	2,20	2838,15	23,50	2,30	2964,29
6x10-5 m/s	7,50	1,47	946,05	8,00	1,55	1009,12	27,50	1,53	3468,85	28,50	1,60	3594,99	21,00	1,53	2648,94	21,50	1,60	2712,01
8x10-5 m/s	7,00	1,13	882,98	7,00	1,20	882,98	26,00	1,20	3279,64	26,00	1,25	3279,64	20,00	1,17	2522,80	20,00	1,25	2522,80
1x10-4 m/s	7,00	0,93	882,98	6,50	1,00	819,91	24,50	0,97	3090,43	24,00	1,05	3027,36	19,00	0,97	2396,66	18,50	1,05	2333,59
2x10-4 m/s	5,50	0,53	693,77	5,00	0,60	630,70	19,50	0,57	2459,73	18,50	0,65	2333,59	15,00	0,57	1892,10	14,00	0,65	1765,96
4x10-4 m/s	4,00	0,33	504,56	3,00	0,40	378,42	14,50	0,33	1829,03	12,50	0,40	1576,75	11,50	0,33	1450,61	9,50	0,40	1198,33
6x10-4 m/s	3,00	0,27	378,42	2,50	0,35	315,35	11,00	0,27	1387,54	9,00	0,35	1135,26	8,50	0,27	1072,19	7,00	0,35	882,98
8x10-4 m/s	2,50	0,23	315,35	2,00	0,30	252,28	9,00	0,23	1135,26	7,50	0,35	946,05	6,50	0,23	819,91	6,00	0,35	756,84
1x10-3 m/s	2,00	0,23	252,28	2,00	0,30	252,28	7,50	0,23	946,05	6,50	0,35	819,91	6,00	0,23	756,84	5,00	0,35	630,70
2x10-3 m/s	1,50	0,20	189,21	1,00	0,30	126,14	5,00	0,20	630,70	4,50	0,30	567,63	4,00	0,20	504,56	3,00	0,35	378,42
4x10-3 m/s	1,00	0,20	126,14	1,00	0,30	126,14	3,00	0,20	378,42	2,50	0,30	315,35	2,50	0,20	315,35	2,00	0,30	252,28
6x10-3 m/s	1,00	0,20	126,14	1,00	0,30	126,14	2,00	0,23	252,28	1,50	0,30	189,21	1,50	0,20	189,21	1,00	0,35	126,14
8x10-3 m/s	1,00	0,20	126,14	1,00	0,30	126,14	1,50	0,20	189,21	1,00	0,35	126,14	1,00	0,20	126,14	1,00	0,30	126,14
1x10-2 m/s	1,00	0,20	126,14	1,00	0,25	126,14	1,50	0,20	189,21	1,00	0,30	126,14	1,00	0,20	126,14	1,00	0,30	126,14

xxx,xx Faixa de condutividades nas quais o esvaziamento da trincheira ultrapassa 1 dia

xxx,xx Faixa em que o comprimento da trincheira ultrapassa a largura do lote

Faixa de condutividades hidráulicas mais prováveis em Belo Horizonte



**Tabela 29**–Possibilidades de implantação – Via Coletora (TR – Tempo de retorno; d – duração da precipitação)

Cenários Coletora K	Via - Área 46,00 m <sup>2</sup>						Via e lote sem controle com trincheira - Área 248,00 m <sup>2</sup>						Via e lote com trincheira - Área 182,00 m <sup>2</sup>					
	TR	10,00	anos	TR	10,00	anos	TR	10,00	anos	TR	10,00	anos	TR	10,00	anos	TR	10,00	anos
	d	10,00	minutos	d	15,00	minutos	d	10,00	minutos	d	15,00	minutos	d	10,00	minutos	d	15,00	minutos
	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)
1x10-6 m/s	15,00	79,20	1892,10	16,50	80,00	2081,31	40,00	81,47	5045,60	44,50	81,85	5613,23	31,50	81,33	3973,41	35,50	81,45	4477,97
2x10-6 m/s	15,00	39,63	1892,10	16,50	40,05	2081,31	39,50	40,93	4982,53	44,00	41,15	5550,16	31,50	40,70	3973,41	35,00	40,95	4414,90
4x10-6 m/s	14,50	20,03	1829,03	16,00	20,25	2018,24	39,00	20,60	4919,46	43,50	20,70	5487,09	31,00	20,50	3910,34	34,50	20,65	4351,83
6x10-6 m/s	14,50	13,40	1829,03	16,00	13,55	2018,24	38,50	13,80	4856,39	43,00	13,90	5424,02	31,00	13,70	3910,34	34,00	13,85	4288,76
8x10-6 m/s	14,50	10,07	1829,03	15,50	10,30	1955,17	38,50	10,37	4856,39	42,00	10,50	5297,88	30,50	10,33	3847,27	33,50	10,45	4225,69
1x10-5 m/s	14,00	8,13	1765,96	15,50	8,25	1955,17	38,00	8,33	4793,32	41,50	8,45	5234,81	30,00	8,33	3784,20	33,00	8,45	4162,62
2x10-5 m/s	13,50	4,13	1702,89	14,50	4,25	1829,03	36,50	4,27	4604,11	39,50	4,35	4982,53	29,00	4,23	3658,06	31,00	4,35	3910,34
4x10-5 m/s	12,50	2,17	1576,75	13,00	2,25	1639,82	34,00	2,23	4288,76	35,50	2,30	4477,97	27,00	2,20	3405,78	28,00	2,30	3531,92
6x10-5 m/s	11,50	1,50	1450,61	12,00	1,55	1513,68	31,50	1,53	3973,41	32,50	1,60	4099,55	25,00	1,53	3153,50	26,00	1,60	3279,64
8x10-5 m/s	11,00	1,17	1387,54	11,00	1,25	1387,54	30,00	1,20	3784,20	30,00	1,25	3784,20	23,50	1,20	2964,29	24,00	1,25	3027,36
1x10-4 m/s	10,50	0,97	1324,47	10,50	1,05	1324,47	28,50	1,00	3594,99	28,00	1,05	3531,92	22,50	0,97	2838,15	22,00	1,05	2775,08
2x10-4 m/s	8,50	0,53	1072,19	8,00	0,60	1009,12	22,50	0,57	2838,15	21,50	0,65	2712,01	17,50	0,57	2207,45	17,00	0,65	2144,38
4x10-4 m/s	6,00	0,33	756,84	5,00	0,40	630,70	16,50	0,33	2081,31	14,00	0,40	1765,96	13,00	0,33	1639,82	11,00	0,40	1387,54
6x10-4 m/s	4,50	0,27	567,63	4,00	0,35	504,56	12,50	0,27	1576,75	10,50	0,35	1324,47	10,00	0,27	1261,40	8,50	0,35	1072,19
8x10-4 m/s	3,50	0,23	441,49	3,00	0,35	378,42	10,00	0,23	1261,40	9,00	0,35	1135,26	8,00	0,23	1009,12	7,00	0,35	882,98
1x10-3 m/s	3,00	0,23	378,42	3,00	0,30	378,42	9,00	0,23	1135,26	7,50	0,35	946,05	7,00	0,23	882,98	6,00	0,35	756,84
2x10-3 m/s	2,00	0,20	252,28	1,50	0,35	189,21	5,50	0,23	693,77	5,00	0,30	630,70	4,50	0,23	567,63	4,00	0,30	504,56
4x10-3 m/s	1,00	0,23	126,14	1,00	0,30	126,14	3,50	0,20	441,49	3,00	0,30	378,42	3,00	0,20	378,42	2,00	0,35	252,28
6x10-3 m/s	1,00	0,20	126,14	1,00	0,30	126,14	2,50	0,20	315,35	2,00	0,30	252,28	2,00	0,20	252,28	1,50	0,30	189,21
8x10-3 m/s	1,00	0,20	126,14	1,00	0,30	126,14	2,00	0,20	252,28	1,50	0,30	189,21	1,50	0,20	189,21	1,00	0,30	126,14
1x10-2 m/s	1,00	0,20	126,14	1,00	0,30	126,14	1,50	0,20	189,21	1,00	0,30	126,14	1,00	0,20	126,14	1,00	0,30	126,14

xxx,xx Faixa de condutividades nas quais o esvaziamento da trincheira ultrapassa 1 dia

xxx,xx Faixa em que o comprimento da trincheira ultrapassa a largura do lote

Faixa de condutividades hidráulicas mais prováveis em Belo Horizonte

**Tabela 30**–Possibilidades de implantação – Via Arterial (TR – Tempo de retorno; d – duração da precipitação)

Cenários	Via - Área 46,00 m <sup>2</sup>						Via e lote sem controle com trincheira - Área 248,00 m <sup>2</sup>						Via e lote com trincheira - Área 182,00 m <sup>2</sup>					
	TR 10,00 anos		TR 10,00 anos		TR 10,00 anos		TR 10,00 anos		TR 10,00 anos		TR 10,00 anos		TR 10,00 anos		TR 10,00 anos		TR 10,00 anos	
	d	10,00 minutos	d	15,00 minutos	d	10,00 minutos	d	10,00 minutos	d	15,00 minutos	d	10,00 minutos	d	10,00 minutos	d	15,00 minutos	d	15,00 minutos
K	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)	Lt (m)	T(h)	Custo (R\$)
1x10-6 m/s	21,00	80,47	2648,94	23,50	80,85	2964,29	46,00	81,87	5802,44	51,50	82,05	6496,21	38,00	169,93	4793,32	42,50	81,75	5360,95
2x10-6 m/s	21,00	40,27	2648,94	23,50	40,50	2964,29	46,00	40,97	5802,44	51,00	41,20	6433,14	37,50	40,93	4730,25	42,00	41,10	5297,88
4x10-6 m/s	21,50	20,07	2712,01	23,00	20,45	2901,22	45,50	20,60	5739,37	50,50	20,75	6370,07	37,50	20,50	4730,25	41,50	20,70	5234,81
6x10-6 m/s	20,50	13,57	2585,87	22,50	13,75	2838,15	45,00	13,80	5676,30	49,50	13,95	6243,93	37,00	13,77	4667,18	41,00	13,90	5171,74
8x10-6 m/s	20,50	10,20	2585,87	22,50	10,35	2838,15	44,50	10,40	5613,23	49,00	10,50	6180,86	36,50	10,37	4604,11	40,00	10,50	5045,60
1x10-5 m/s	14,00	3,87	1765,96	22,00	8,35	2775,08	44,00	8,37	5550,16	48,50	8,45	6117,79	36,00	8,37	4541,04	39,50	8,45	4982,53
2x10-5 m/s	19,50	4,20	2459,73	21,00	4,30	2648,94	42,50	4,27	5360,95	45,50	4,40	5739,37	34,50	4,27	4351,83	37,50	4,35	4730,25
4x10-5 m/s	18,00	2,17	2270,52	18,50	2,30	2333,59	39,00	2,23	4919,46	41,00	2,30	5171,74	32,00	2,23	4036,48	33,50	2,30	4225,69
6x10-5 m/s	16,50	1,53	2081,31	17,00	1,60	2144,38	36,50	1,53	4604,11	38,00	1,60	4793,32	30,00	1,53	3784,20	31,00	1,60	3910,34
8x10-5 m/s	16,00	1,17	2018,24	16,00	1,25	2018,24	34,50	1,20	4351,83	35,00	1,30	4414,90	28,50	1,20	3594,99	28,50	1,30	3594,99
1x10-4 m/s	15,00	0,97	1892,10	14,50	1,05	1829,03	33,00	1,00	4162,62	32,50	1,05	4099,55	27,00	1,00	3405,78	26,50	1,05	3342,71
2x10-4 m/s	12,00	0,57	1513,68	11,00	0,60	1387,54	26,00	0,57	3279,64	25,00	0,65	3153,50	21,00	0,57	2648,94	20,50	0,65	2585,87
4x10-4 m/s	8,50	0,33	1072,19	7,50	0,40	946,05	19,00	0,37	2396,66	16,50	0,40	2081,31	15,50	0,37	1955,17	13,50	0,40	1702,89
6x10-4 m/s	6,50	0,27	819,91	5,50	0,35	693,77	14,50	0,30	1829,03	12,50	0,35	1576,75	12,00	0,27	1513,68	10,00	0,35	1261,40
8x10-4 m/s	5,50	0,23	693,77	4,50	0,35	567,63	12,00	0,23	1513,68	10,00	0,35	1261,40	9,50	0,23	1198,33	8,50	0,35	1072,19
1x10-3 m/s	4,50	0,23	567,63	4,00	0,30	504,56	10,50	0,23	1324,47	9,00	0,35	1135,26	8,50	0,23	1072,19	7,00	0,35	882,98
2x10-3 m/s	3,00	0,20	378,42	2,50	0,30	315,35	6,50	0,23	819,91	6,00	0,30	756,84	5,50	0,23	693,77	4,50	0,35	567,63
4x10-3 m/s	2,00	0,20	252,28	1,50	0,30	189,21	4,00	0,23	504,56	3,50	0,30	441,49	3,50	0,20	441,49	2,50	0,35	315,35
6x10-3 m/s	1,00	0,23	126,14	1,00	0,30	126,14	3,00	0,20	378,42	2,50	0,30	315,35	2,50	0,20	315,35	2,00	0,30	252,28
8x10-3 m/s	1,00	0,20	126,14	1,00	0,30	126,14	2,00	0,23	252,28	1,50	0,35	189,21	2,00	0,20	252,28	1,50	0,30	189,21
1x10-2 m/s	1,00	0,20	126,14	1,00	0,30	126,14	2,00	0,20	252,28	1,50	0,30	189,21	1,50	0,20	189,21	1,00	0,30	126,14

xxx,xx Faixa de condutividades nas quais o esvaziamento da trincheira ultrapassa 1 dia

xxx,xx Faixa em que o comprimento da trincheira ultrapassa a largura do lote

Faixa de condutividades hidráulicas mais prováveis em Belo Horizonte

Legenda: TR – Tempo de retorno; d – duração; k – condutividade hidráulica; Lt – comprimento da trincheira; T – tempo de esvaziamento.

## 7 CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E PERSPECTIVAS

Procurando apresentar-se como uma contribuição aos obstáculos encontrados para adoção de técnicas alternativas de drenagem urbana em ambientes com urbanização consolidada, o presente trabalho, a partir do método proposto, discorreu sobre as possibilidades de implantação das trincheiras de infiltração no município de Belo Horizonte, procurando elencar as limitações e vantagens da utilização desta técnica.

Primeiramente, com a avaliação do sistema de manejo de águas urbanas do município foi possível inferir que estudos para adoção de técnicas alternativas no município de Belo Horizonte, mais especificamente de trincheiras de infiltração, diante de sua geometria adaptável em ambientes construídos, são importantes diante das seguintes possibilidades:

- Implantação em áreas em que não exista sistema de microdrenagem.
- Implantação em pontos onde a microdrenagem não trabalha satisfatoriamente.
- Alívio no sistema de microdrenagem como posterior alívio do sistema de macrodrenagem.
- Mitigação da impermeabilização de áreas privadas.
- Mitigação da impermeabilização de área pública como o sistema viário.

Em seguida, com base no estudo das características físicas do município foi possível fazer o mapeamento de uma grande região do município onde a utilização de trincheiras é limitada pela existência de baixa condutividade hidráulica, pouca profundidade do lençol freático e leito rochoso e alta declividade. Nestas regiões a implantação de trincheiras deve ser vista com muito critério e talvez outras técnicas alternativas sejam mais apropriadas. Restringindo a apenas parte da região ao norte da calha do ribeirão Arrudas como adequada à adoção desta técnica de drenagem.

A utilização do mapa “Características físicas de Belo Horizonte quanto à implantação de trincheiras de infiltração”, resultante deste trabalho, pode facilitar estudos de viabilidade entre técnicas alternativas, mas, pela heterogeneidade do ambiente, não excluem as vistorias locais e ensaios de campo.

Também foi possível, através de definições de cenários encontrados no ambiente ocupado, estimar os ganhos hidrológicos da adoção de trincheiras em termos de redução de vazão de pico, chegando-se a valores na ordem de 21 a 68% com a implantação nos lotes e de 12 a 29% com a implantação nas vias. Sendo estes bons potenciais de amortecimento das vazões de pico, para os tempos de retorno avaliados (2, 5 e 10 anos), porém verifica-se que para eventos mais extremos o tempo de pico pode ser muito superior ao de enchimento da trincheira, fazendo com que o sistema perca a capacidade de amortecimento de vazões.

Fez-se o dimensionamento do dispositivo necessário para controle do escoamento previsto, a ser implantado na via e lotes, para em seguida avaliar a viabilidade de adaptação da trincheira às condições locais. Os comprimentos das trincheiras variaram entre 1,00 e 79,50 metros dependendo do cenário avaliado e da condutividade hidráulica local.

Procurou-se ressaltar, na compatibilização das trincheiras ao ambiente construído, a importância do estudo das normas e padrões que regulamentam as estruturas urbanas existentes. Assim, o comprimento requerido para o dispositivo foi confrontado com as restrições urbanas, com este procedimento constatou-se dificuldades de inserção das trincheiras em alguns dos cenários estudados para os lotes, sobretudo pela necessidade de se deixar uma distância entre a trincheira, edificações e divisas.

Apesar da limitação de áreas em Belo Horizonte adequadas para utilização desta técnica de infiltração, como foi averiguado pelo estudo das características físicas do município, e das dificuldades verificadas para compatibilização das trincheiras neste ambiente de ocupação consolidada, não se deve excluir a utilização deste dispositivo já que em vários cenários foi possível constatar, mesmo que de maneira conceitual, que é possível fazer sua compatibilização no ambiente urbano, proporcionando ganhos para o sistema de drenagem do município em termos de redução de vazão de pico, além das outras vantagens que este dispositivo pode proporcionar, como a recarga do lençol freático e o tratamento das águas pluviais.

O trabalho pretendeu fazer uma avaliação global da possibilidade de implantação de trincheiras no ambiente urbano de Belo Horizonte, podendo ser utilizado como ferramenta para estudos de concepção e avaliação entre técnicas alternativas de drenagem. Assim, para efetiva adoção do dispositivo, deve-se fazer uma avaliação caso a caso, considerando as condições físicas e urbanas locais e no caso de implantação do dispositivo nas vias, também

levar em conta as dificuldades, como o grande aporte de sedimentos e alta velocidade do fluxo, verificadas nos dispositivos implantados no município.

Alguns dos comprimentos das trincheiras dimensionadas foram superiores à área de implantação existente, inviabilizando a adoção do dispositivo. O dimensionamento foi realizado considerando o funcionamento do dispositivo na condição saturada, ou seja, com condutividade hidráulica constante. Pode-se inferir que a metodologia adotada para dimensionamento pode estar a favor da segurança, já que na literatura, observou-se que taxas de infiltração monitoradas foram sempre superiores à condutividade hidráulica saturada, concluindo assim, que o solo não chegou a atingir o estado de saturação.

Assim, verifica-se a necessidade de monitoramento de sítios experimentais, para verificar se realmente os dispositivos dimensionados podem estar a favor da segurança e para auxiliar na estimativa da vida útil dos dispositivos em decorrência da perda de eficiência pela colmatção. Para isto seria necessária também a implantação de novos sítios experimentais considerando o controle do escoamento gerado nos telhados, uma das premissas adotadas no presente trabalho.

Os trabalhos de experimentação são importantes igualmente para o estabelecimento das rotinas e intervalos de manutenção, como também parateses de dispositivos e rotinas de pré-tratamento, que evitem o carreamento de sedimentos para dentro dos dispositivos, proporcionando controle maior da colmatção.

Os custos levantados no presente trabalho incluíram apenas a implantação de trincheiras, assim é importante análise completa de custo com a incorporação do custo de manutenção e custos de pré-tratamento e a comparação do custos envolvidos para o caso de substituição ou de complementação dos dispositivos de drenagem convencional.

Pelos inúmeros benefícios das técnicas alternativas de drenagem urbana, como a redução de volume de escoamento e amortecimento de fluxo antes da transferência para jusante, e em vista das dificuldades encontradas para adoção destas técnicas nos ambientes urbanizados, faz-se necessária a realização de estudos que avaliem as possibilidades e estabeleçam diretrizes para estimular a adoção destas técnicas em compatibilização ao sistema de drenagem existente. Assim, seguindo a linha do trabalho apresentado, estudos comparativos entre as trincheiras de infiltração e outras técnicas alternativas, e de avaliação dos sistemas trabalhando em conjunto são muito importantes.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS – ASCE. *Design And Construction of Urban Stormwater Management Systems: Asce Manuals And Reports on Engineering Practice No. 77* Urban Water Resources Research Council of the American Society of Civil Engineers. 1992. 725p.

ASHLEY, R. M.; DIGMAN, C.; STOVIN, V. R.; BALMFORTH, D.; GLERUM, J.; SHAFFER, P. Retrofitting surface water management measures: Delivering multiple value. 12<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE. Porto Alegre – Brazil, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: ABNT, 1989. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 12721: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação mobiliária e outras disposições para condomínios edilícios - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 91p.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. Sustainable development and urban stormwater management en the context of tropical developing countries. CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL. México, 1996.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2005. 266p.

BERGMAN, M.; HEDEGAARD, M.R.; PETERSEN, M.F; BINNING, P.; MARK, O.; MIKKELSEN, P.S. Evaluation of two stormwater infiltration trenches in central Copenhagen after 15 years of operation. 7<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE TECHNIQUES AND STRATEGIES IN URBAN WATER MANAGEMENT NOVATECH. Lyon France, 2010.

BOOTH, D.B.; JACKSON, C.R. Urbanization of Aquatic Systems: Degradation Theresholds, Stormwater detection, and the limits of mitigation. *Journal of the American Water Resources Association - American Water Resources Association*, v.33, n. 1997.96163 105, p.1077-1090.

BROWNE, D., DELETIC, A., FLETCHER, T.D., MUDD, G.; Modeling the development and consequences of clogging for stormwater infiltration trenches. 12<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE. Porto Alegre – Brazil, 2011.

CARVALHO, E. T. *Geologia urbana para todos: uma visão de Belo Horizonte*. Belo Horizonte, 1999. 175p.

CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION - CIRIA. *The Suds manual C697*. London: CIRIA, 2007.

COSTA, W. D. *Caracterização das condições de uso e preservação das águas subterrâneas do município de Belo Horizonte*. Tese Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002.

DEBO T.N.; REESE, A.J. *Municipal Storm Water Management*. Lewis Publishers, Florida, 1995. 756p.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL RESOURCES - MARYLAND. *Low-impact development design strategies an integrated design approach*. Maryland, 1999.

ENGINEERS AUSTRALIA. *Australian runoff quality: A guide to water sensitive urban desing*. Australia: ENGINEERS AUSTRALIA, 2006.

- GRACIOSA, M. C.P. Metodologia para o dimensionamento de trincheiras de infiltração para controle de escoamento superficial na origem. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.13, n.2, p. 207-214, 2008.
- GUIMARÃES PINHEIRO, M. M.; NAGHETTINI, M. Análise regional de frequência e distribuição temporal das tempestades na região metropolitana de Belo Horizonte - RMBH. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.3, n.4, p. 73-88, 1998.
- HOMAN-DODDS, J.; BRADLEY, A.A.; POTTER, K.W. Evaluation of hydrologic benefits of infiltration. *Journal of the American Water Resources Association*, v.39, n.1, p. 205- 215, 2003.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA – IBGE. Cidades. Disponível <[www.ibge.gov.br/cidades](http://www.ibge.gov.br/cidades)>. Acesso em: 20 mar 2011.
- KIM, Y., ENGEL, B.A., LIM, K.J, LARSON, V., DUCAN, B. Runoff Impacts of Land-Use Change in Indian River Lagoon Watershed. *Journal of Hydrologic Engineering*, v.7, n.3, p. 245-251, 2002.
- LIMA-QUEIROZ, J.C.; BALABRAM, P. R.; BAPTISTA, M. B. A urbanização e alguns de seus impactos na cidade de Belo Horizonte.XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS – ABRH. Curitiba, 2003.
- LUCAS, A.H.; GUTIERREZ, L. A. R.; BARBASSA, A. P. Efeito da construção e operação de um sistema filtro-vala-trincheira de infiltração sobre alguns componente.XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS – ABRH. Maceió, 2011.
- McALISTER, T. *National guide lines for evaluating water sensitive urban design (WSUD)*. Australia, 2007.
- MORUZZI, R. B.; TRINDADE, S, G.Subsídios para a implantação de trincheiras de infiltração na área urbana de Rio Claro – SP.*Revista Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal*, v.8, n.2, p. 148-170, 2011.
- MOURA, P.M.; BARRAUD, S.; BAPTISTA, M.B. O funcionamento dos sistemas de infiltração de águas pluviais urbanas. XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS – ABRH. Campo Grande, 2009.
- MOURA, Priscilla Macedo. *Contribuição para avaliação global de sistema de drenagem urbana*. 146f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2004.
- NOVOTNY, V. *Water Quality Management Library – Volume 9 - Nonpoint pollution and urban stormwater*. Technomic Publishers Company, Pennsylvania, 1995. 434p.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE - PBH. *Carta de inundação de Belo Horizonte – Identificação de Áreas Potencialmente Susceptíveis*. Belo Horizonte: Prefeitura Municipal, 2009.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE - PBH. *Deliberação normativa n. 69, de 30 de agosto de 2010 - Estabelece normas para o plantio de árvores em logradouros públicos, em substituição à Deliberação Normativa nº 09, de 08 de julho de 1992*. Belo Horizonte: Conselho Municipal de Meio Ambiente, Prefeitura Municipal, 2010c.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE - PBH. Estatística e Indicadores. Disponível <[www.pbh.gov.br](http://www.pbh.gov.br)>. Acesso em: 20 mar 2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE - PBH. *Lei Municipal n. 9.959, de 20 de julho de 2010. Altera as leis n° 7.165/96 - que institui o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte - e n° 7.166/96 - que estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no Município.* Belo Horizonte: Prefeitura Municipal, 2010a.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE - PBH. *Lei Municipal n. 9.845, de 8 de julho de 2010. Altera as leis n° 8.845/03 - que contém o Código de Posturas do Município de Belo Horizonte, e dá outras providências.* Belo Horizonte: Prefeitura Municipal, 2010b.

PROTON, A.; CHOCATI, B. Experimental study of detention/infiltration trenches. 10<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE. Copenhagen-Denmark, 2005.

RAMOS, Maria Helena Domingues. *Drenagem Urbana: Aspectos urbanísticos, legais e metodológicos em Belo Horizonte.* Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 1998.

SCHUELER, T. *Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs.* Metropolitan Washington Council of Governments, Washington, DC. 1987. 457 p.

SCOTLAND AND NORTHERN IRELAND FORUM FOR ENVIRONMENTAL RESEARCH - SNIFFER. *Retrofitting sustainable urban water solution.* Scotland: SNIFFER, 2006.

SECRETARIA MUNICIPAL DE POLÍTICAS URBANA - SMURBE. *Estudos urbanos: Belo Horizonte 2008 – Transformações recentes na estrutura urbana.* Prefeitura Municipal. Belo Horizonte, 2008. Xp.

SILVA, A. B.; CARVALHO, E. T.; FANTINEL, L. M.; ROMANO, A. W.; VIANA, C.S. *Estudos geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos e geoambientais integrados no município de Belo Horizonte: Projeto estudos técnicos para o levantamento da carta geológica do município de Belo Horizonte; Relatório final.* FUNDEP/UFMG-IGC Belo Horizonte. 1995, 234p.

SILVA, André Henrique Carmo Luiz da. *Controle da poluição difusa de origem pluvial em uma via de tráfego intenso por meio de trincheira de infiltração e vala de retenção.* 169 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2009.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS - SINDUSCON-MG. *Custo Unitário Básico (CUB/m<sup>2</sup>): princípios e aspectos.* Belo Horizonte: SINDUSCON-MG, 2007.

SIRIWARDENE, N., DELETIC, A., FLETCHER, T. D. Preliminary studies of development of clogging prediction method for stormwater infiltration systems. 7<sup>TH</sup> UDM & 4<sup>TH</sup> WSUD. Melbourne, Australia, 2006.

SOUZA, V.C.B., GOLDENFUM, J.A.; *Critical analysis of data from two infiltration trenches under subtropical climate conditions.* 7<sup>TH</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE TECHNIQUES AND STRATEGIES IN URBAN WATER MANAGEMENT NOVATECH. Session 1.8. Lyon France, 2004.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL - SUDECAP. *Caderno de Encargos.* 3° Edição. Prefeitura Municipal, Belo Horizonte: SUDECAP, 2008.



SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL - SUDECAP. SIG-Drenagem: Sistemas e Informações Geográfica de Drenagem. Disponível <[www.virtualcad.com.br/ProjetoInterno.html](http://www.virtualcad.com.br/ProjetoInterno.html)>. Acesso em: 20 mar 2012.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL - SUDECAP. *Tabela de Preço de Construção - Mês de Abril de 2012. Construção.xls*. Belo Horizonte, 2012. Microsoft Excel 2003.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL - SUDECAP., MAGNA ENGENHARIA LTDA. *Plano Diretor de Drenagem de Belo Horizonte – primeira etapa. Análise Integrada do Sistema de Drenagem. v. 1.*, Belo Horizonte: SUDECAP, 2001.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL - SUDECAP; *Plano de inspeção em galerias*. Prefeitura Municipal. Belo Horizonte: SUDECAP, 2009.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION – EPA. *The Use of Best Management Practices (BMPs) in Urban Watersheds*. Ohio: EPA, 2004.

VIEIRA, L., SILVA, A., NASCIMENTO, N. O. Avaliação da eficiência hidráulica de duas técnicas alternativas de drenagem urbana – Estudo de caso de um trecho da Bacia do Megulhão Pampulha. XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS – ABRH. Campo Grande, 2009.

WALSH, C.J., FLETCHER, T., LADSON, A.R.; Stream restoration in urban catchments through redesigning storm water systems: looking to the catchment to save the stream. *The North American Benthological Society*. v.24, n.3, p. 690- 705, 2005.

### Apêndice 1 - Padrões de edificações

Código CUB	Padrão	Tipo	Descrição	Área Total (m <sup>2</sup> )	Área Projeção (m <sup>2</sup> )	Área Unidade (m <sup>2</sup> )	Área utilizada nos cenários de trincheira (m <sup>2</sup> )	Área do Terreno Aproximado (m <sup>2</sup> )	Padrão
RP1Q	Popular	Unifamiliar	Residência de 1 pavimento, 1 dormitório, sala, banheiro e cozinha.	39,56	39,56	39,56		125,00	
R1-B	Baixo	Unifamiliar	Residência de 1 pavimento, com 2 dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área para tanque.	58,64	58,64	58,64	60,00	125,00	1
R1-N	Normal	Unifamiliar	Residência de 1 pavimento, 3 dormitórios, sendo um suíte, banheiro social, sala, circulação, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda (abrigo para automóvel).	106,44	106,44	106,44	110,00	360,00	2
PIS	Projeto de interesse social	Multifamiliar	Residência com térreo e 4 pavimentos/tipo. Pavimento-tipo: Hall, escada e 4 apartamentos por andar, com 2 dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área de serviço.	991,45	198,29	49,57		360,00	
R1-A	Alto	Unifamiliar	Residência de 1 pavimento, 4 dormitórios, sendo um suíte c/ closet, outro com banheiro, banheiro social, sala de estar, sala de jantar e sala íntima, circulação, cozinha, área de serviço completa e varanda (abrigo para automóvel).	224,82	224,82	224,82	225,00	360,00	3
R8-B	Padrão baixo	Multifamiliar	Residência com Pavimento térreo e 7 pavimentos-tipo. Pavimento-tipo: Hall de circulação, escada e 4 apartamentos por andar, com 2 dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área para tanque.	2.801,64	350,21	87,55		720,00	
PP-B	Prédio popular - Padrão Baixo	Multifamiliar	Residência com térreo e 3 pavimentos-tipo. Pavimento-tipo: Hall de circulação, escada e 4 apartamentos por andar, com 2 dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área de serviço.	1.415,07	353,77	88,44	355,00	720,00	4

Padrões de edificações (por fim)

Código CUB	Padrão	Tipo	Descrição	Área Total (m <sup>2</sup> )	Área Projeção (m <sup>2</sup> )	Área Unidade (m <sup>2</sup> )	Área utilizada nos cenários de trincheira (m <sup>2</sup> )	Área do Terreno Aproximado (m <sup>2</sup> )	Padrão
PP-A	Prédio popular - Padrão normal	Multifamiliar	Residência com Pilotis e 4 pavimentos-tipo. Pavimento-tipo: Hall de circulação, escada, elevadores e quatro apartamentos por andar, com três dormitórios, sendo um suíte, sala de estar/jantar, banheiro social, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda.	2.590,35	518,07	129,52	520,00	1.000,00	5
R16-A	Padrão Alto	Multifamiliar	Residência com Garagem, pilotis e 16 pavimentos-tipo. Pavimento-tipo: Halls de circulação, escada, elevadores e 2 apartamentos por andar, com 4 dormitórios, sendo um suíte com banheiro e closet, outro com banheiro, banheiro social, sala de estar, sala de jantar e sala íntima, circulação, cozinha, área de serviço completa e varanda.	10.461,85	615,40	307,70		1.000,00	
R16-N	Padrão Normal	Multifamiliar	Residência com garagem, pilotis e 16 pavimentos-tipo. Pavimento-tipo: Hall de circulação, escada, elevadores e quatro apartamentos por andar, com três dormitórios, sendo um suíte, sala de estar/jantar, banheiro social, cozinha e área de serviço com banheiro e varanda.	10.562,02	621,30	155,32		1.000,00	
R8-A	Padrão Alto	Multifamiliar	Residência com garagem, pilotis e oito pavimentos-tipo. Pavimento-tipo: Halls de circulação, escada, elevadores e 2 apartamentos por andar, com 4 dormitórios, sendo um suíte com banheiro e closet, outro com banheiro, banheiro social, sala de estar, sala de jantar e sala íntima, circulação, cozinha, área de serviço completa e varanda.	5.917,79	657,53	328,77	670,00	1.000,00	6
R8-N	Padrão normal	Multifamiliar	Residência com garagem, pilotis e oito pavimentos-tipo. Pavimento-tipo: Hall de circulação, escada, elevadores e quatro apartamentos por andar, com três dormitórios, sendo um suíte, sala estar/jantar, banheiro social, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda.	5.998,73	666,53	166,63		1.000,00	

## Apêndice 2-Sobre-Zoneamentos de Belo Horizonte

Área	Descrição	Divisões	Taxa de Permeabilidade Mínima (TP)	Observações
ADE de Interesse Ambiental	Áreas nas quais existe interesse público na preservação ambiental, a ser incentivada pela aplicação de mecanismos compensatórios, por apresentarem: presença de cobertura vegetal relevante; presença de nascentes, curso d'água, lagoas e represas; existência de áreas cujo lençol freático seja sub-aflorante, configurando ecossistema de brejo; existência de expressivo contingente de quintais arborizados; existência de terrenos com declividade superior a 47%, vegetados ou não; existência de áreas degradadas, ainda não ocupadas, em processo de erosão ativa e/ou cuja vegetação tenha sido suprimida ou submetida a degradação.	-	30% ou à do zoneamento quando mais restritiva. Vedada a substituição da TP mínima por caixa de captação. É recomendada a instalação concomitante da caixa de captação.	-
ADE de Interesse Ambiental do Isidoro	O parcelamento do solo somente se dará na modalidade "Parcelamento Vinculado", em que ocorre aprovação simultânea do parcelamento e da edificação em função da necessidade de análise e estudos detalhados da repercussão do empreendimento sobre o meio urbano.	-	30% ou à do zoneamento quando mais restritiva. É obrigatória a instalação de caixa de captação e drenagem juntamente com o atendimento à Taxa de Permeabilidade - TP exigida.	-
ADE Estoril	Destinada ao uso residencial unifamiliar, permitido as atividades não residenciais em edificações horizontais	-	do Zoneamento	-
ADE 1º de Maio	Tem o objetivo de preservar os traços da ambiência original dos espaços públicos e a tipologia da ocupação e do uso.	-	do Zoneamento	-
ADEs do Mangabeiras, do Belvedere, do São Bento e de Santa Lúcia	Áreas destinadas exclusivamente ao uso residencial unifamiliar.	-	do Zoneamento	-

Sobre-Zoneamentos de Belo Horizonte (continuação)

Área	Descrição	Divisões	Taxa de Permeabilidade Mínima (TP)	Observações
ADE Área Hospitalar	Demanda a adoção de medidas para inibir a crescente especialização de atividades ligadas à área da saúde, a adequação das já existentes e a promoção de melhoria da qualidade ambiental da área	-	do Zoneamento	-
ADE Belvedere III	Em função da proximidade dos bairros Belvedere I e II, somente é permitido o uso residencial, sendo admitida a instalação de atividades não residenciais apenas em situação especiais.	-	do Zoneamento	-
ADE da Serra	Área correspondente a parte do Bairro Serra, destinada à preservação da tipologia horizontal das edificações.	-	do Zoneamento	-
ADE Santa Tereza	Área que, em função das características ambientais e da ocupação histórico-cultural, demanda a adoção de parâmetros de ocupação diferenciados e de medidas especiais para proteger e manter o uso predominantemente residencial.	-	20% independente da área ou à do zoneamento e ADE. Vedada a substituição da TP mínima por caixa de captação.	-
ADE da Lagoinha	Destinada à proteção do patrimônio cultural e paisagístico, requalificação de áreas degradadas ou estagnadas e ao incremento ao desenvolvimento econômico.	-	do Zoneamento	-
ADE Venda Nova	Tem o objetivo de compatibilizar a proteção do patrimônio cultural com o desenvolvimento das atividades econômicas e a permanência do uso residencial, mediante a adoção de políticas que, considerando a reestruturação urbana e econômica do Vetor Norte da região Metropolitana de Belo Horizonte.	-	do Zoneamento	-
ADE Savassi	Em função de suas características e do alto potencial para desenvolvimento econômico e cultural, demanda a adoção de incentivos e normas especiais, visando à sua requalificação urbana.	-	do Zoneamento	-

Sobre-Zoneamentos de Belo Horizonte (continuação)

Área	Descrição	Divisões	Taxa de Permeabilidade Mínima (TP)	Observações
ADE Cidade Jardim	Sujeita a políticas específicas de preservação paisagística, cultural e histórica que visam a reforçar sua identidade e sua referência histórica - arquitetônica no Município.	-	30% ou à do zoneamento quando mais restritiva. Vedada a substituição da TP mínima por caixa de captação.	-
ADE Quilombo de Mangueiras	Delimitação coincide com os limites do território quilombola, definida pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA.	-	-	-
ADE do Mirante	Tem o objetivo de incentivar os usos que garantam o incremento das atividades turísticas, culturais, de entretenimento e lazer, e a consequente sustentabilidade ambiental.	-	do Zoneamento	-
ADE Rua da Bahia Viva	Em virtude de sua importância histórico-cultural associada à sua vocação de lazer e cultura, demanda adoção de medidas para o incremento de seu potencial.	-	do Zoneamento	-
ADE Polo da Moda	Em virtude do potencial existente relacionado aos setores têxtil, de design e produção de moda, demanda a adoção de medidas para incremento da geração de empregos para o Município.	-	do Zoneamento	-
ADE Buritis	Devido à precariedade de articulação viária da região com o restante da cidade, demanda medidas para inibir o crescente adensamento	-	do Zoneamento	-
ADE Residencial Central	Área destinada ao controle especial de uso, sendo garantida, em parte da Zona Central de Belo Horizonte – ZCBH - a predominância do uso residencial e a preservação das edificações e de traços de ambiência local.	-	do Zoneamento	-

Sobre-Zoneamentos de Belo Horizonte (continuação)

Área	Descrição	Divisões	Taxa de Permeabilidade Mínima (TP)	Observações
		Áreas de Controle Especial de Uso do Solo – em função da vulnerabilidade à contaminação de águas subterrâneas e superficiais	30% ou à do zoneamento quando mais restritiva.	Vedadas as atividades capazes de contaminar o lençol freático e as águas superficiais. Algumas atividades são sujeitas ao licenciamento ambiental do órgão competente.
ADE Trevo	Área destinada a estabelecer condições especiais de ocupação e uso, de forma a garantir e a preservar a paisagem das proximidades da Lagoa da Pampulha, criando alternativa de ocupação, mantendo a predominância do uso residencial na região.	Grau de proteção 1 - para preservação permanente de nascentes, de cursos d'água e de cobertura vegetal.	95% ou a de ZP-1 para terrenos de propriedade particular. Vedada a substituição da TP mínima por caixa de captação.	Permitida apenas a instalação de serviços de apoio à manutenção da vegetação, de nascentes e cursos d'água em terrenos de propriedade pública. Algumas atividades são sujeitas ao licenciamento ambiental do órgão competente.
		Grau de proteção 2 - para o controle de ocupação e do uso em áreas de nascentes, de cursos d'água e de cobertura vegetal.	70% - Vedada a substituição da TP mínima por caixa de captação.	Algumas atividades são sujeitas ao licenciamento ambiental do órgão competente.
		Demais áreas	30% ou à do zoneamento quando mais restritiva. Vedada a substituição da TP mínima por caixa de captação.	-

Sobre-Zoneamentos de Belo Horizonte (continuação)

Área	Descrição	Divisões	Taxa de Permeabilidade Mínima (TP)	Observações
		Áreas de Controle Especial de Uso do Solo – em função da vulnerabilidade à contaminação de águas subterrâneas e superficiais.	30% ou à do zoneamento quando mais restritiva.	Vedadas as atividades capazes de contaminar o lençol freático e as águas superficiais. Algumas atividades são sujeitas ao licenciamento ambiental do órgão competente.
ADE Bacia da Pampulha	Compreende a área da bacia hidrográfica da lagoa da Pampulha situada no Município, estando sujeita, em função da preservação ambiental da lagoa, a diretrizes especiais de parcelamento, ocupação e uso, de movimentação de terra e de recuperação de áreas erodidas, degradadas ou desprovidas de cobertura vegetal.	Grau de proteção 1 - para preservação permanente de nascentes, de cursos d'água e de cobertura vegetal.	95% ou a de ZP-1 para terrenos de propriedade particular. Vedada a substituição da TP mínima por caixa de captação.	Permitida apenas a instalação de serviços de apoio à manutenção da vegetação, de nascentes e cursos d'água em terrenos de propriedade pública. Algumas atividades são sujeitas ao licenciamento ambiental do órgão competente.
		Grau de proteção 2 - para o controle de ocupação e do uso em áreas de nascentes, de cursos d'água e de cobertura vegetal.	70% . Vedada a substituição da TP mínima por caixa de captação.	Algumas atividades são sujeitas ao licenciamento ambiental do órgão competente.
		Demais áreas	30% ou à do zoneamento quando mais restritiva. Vedada a substituição da TP mínima por caixa de captação.	-



Sobre-Zoneamentos de Belo Horizonte (continuação)

Área	Descrição	Divisões	Taxa de Permeabilidade Mínima (TP)	Observações
ADE Pampulha	Visa assegurar as condições de recuperação e de preservação ambiental da represa da Pampulha, a proteção e a valorização do patrimônio arquitetônico, cultural e paisagístico e o fomento ao potencial turístico da área.	Áreas de Controle Especial de Uso do Solo – em função da vulnerabilidade à contaminação de águas subterrâneas e superficiais.	30% ou à do zoneamento quando mais restritiva.	Vedadas as atividades capazes de contaminar o lençol freático e as águas superficiais. Algumas atividades são sujeitas ao licenciamento ambiental do órgão competente.
		Grau de proteção 1 - para preservação permanente de nascentes, de cursos d'água e de cobertura vegetal.	95% ou a de ZP-1 para terrenos de propriedade particular. Vedada a substituição da TP mínima por caixa de captação.	Permitida apenas a instalação de serviços de apoio à manutenção da vegetação, de nascentes e cursos d'água em terrenos de propriedade pública. Algumas atividades são sujeitas ao licenciamento ambiental do órgão competente.
		Grau de proteção 2 - para o controle de ocupação e do uso em áreas de nascentes, de cursos d'água e de cobertura vegetal.	70% Vedada a substituição da TP mínima por caixa de captação.	Algumas atividades são sujeitas ao licenciamento ambiental do órgão competente.
		Demais áreas	30% ou à do zoneamento quando mais restritiva. Vedada a substituição da TP mínima por caixa de captação.	-

Sobre-Zoneamentos de Belo Horizonte (continuação)

Área	Descrição	Divisões	Taxa de Permeabilidade Mínima (TP)	Observações
ADE Vale do Arrudas	Área que, em função de sua localização estratégica, de sua importância como eixo simbólico, histórico e de articulação viária ao longo do curso d'água mais importante do Município e de suas condições de degradação ou subutilização, demanda projetos de reurbanização e requalificação urbana.	-	do Zoneamento	-
ADE Serra do Curral	Corresponde à área de Proteção da Serra do Curral, intervenções na ADE Serra do Curral estão sujeitas a critérios e a diretrizes especiais de ocupação, podendo ser flexibilizados mediante análise do Conselho Deliberativo do Patrimônio Cultural do Município - CDPCM- BH. APa - áreas de ocupação urbana, situadas na vizinhança da área polarizadora sujeita a parâmetros específicos que impeçam interferências prejudiciais ao bem cultural tombado, definidas na Carta de Grau de Proteção.	APa1	30% superior ao do zoneamento	-
		APa2	30% superior ao do zoneamento	-
		APa3	20% superior ao do zoneamento	-
Operação Urbana Reestruturação do Vetor Norte	Tem como um dos objetivos a estruturação de nova centralidade no entorno da Cidade Administrativa do Estado de Minas Gerais. A área foi subdividida em 04 subáreas, cada uma com seus parâmetros de parcelamento, ocupação e uso do solo específicos.	Setor 1	95%	-
		Setor 2,3 e 4	Zoneamento	-
Operação Urbana - Áreas Centrais indicadas como preferenciais para o Plano de Reabilitação do Hipercentro	Visa implantação de equipamentos estratégicos para o desenvolvimento urbano; otimização de áreas envolvidas em intervenções urbanísticas de porte e reciclagem de áreas subutilizadas; implantação de Programas de Habitação de Interesse Social; implantação de espaços públicos; valorização e criação de patrimônio ambiental, histórico, arquitetônico, cultural e paisagístico; dinamização de áreas, visando à geração de empregos.	-	Zoneamento	-

Sobre-Zoneamentos de Belo Horizonte (continuação)

Área	Descrição	Divisões	Taxa de Permeabilidade Mínima (TP)	Observações
		Grau de proteção 1 - áreas de proteção máxima, destinadas à preservação permanente de nascentes, cursos d'água e grandes áreas contínuas de cobertura vegetal de relevância ambiental.	95% - Vedada a substituição da TP mínima por caixa de captação.	-
Operação Urbana do Isidoro	Compreende um conjunto integrado de intervenções como o objetivo de promover a proteção e a recuperação da Região do Isidoro, por meio de processo de ocupação ordenado e sustentável, que proporcione a preservação de áreas de grande relevância ambiental e paisagística, em especial, das nascentes e dos cursos d'água e de áreas de vegetação expressiva e de cerrado.	Grau de proteção 2 - áreas de proteção elevada devido às condições topográficas, presença expressiva de cursos d'água e de manchas isoladas de cobertura vegetal significativa, nas quais a ocupação, o adensamento e a impermeabilização do solo poderão ocorrer com restrições.	50% ou 30% em glebas com mais de 35% em ADE de interesse ambiental	-
		Grau de proteção 3 - áreas de proteção moderada nas quais, em virtude das condições locais topográficas de drenagem mais favoráveis e da menor concentração de cobertura vegetal relevante, a ocupação e o adensamento poderão ser menos restritivos.	30%	-

Sobre-Zoneamentos de Belo Horizonte (continuação)

Área	Descrição	Divisões	Taxa de Permeabilidade Mínima (TP)	Observações
Operação Urbana Corredores Viários Prioritários / Corredores de Transporte Coletivo Prioritários /Estações de Transporte Coletivo	Visa permitir a implantação de equipamentos estratégicos para o desenvolvimento urbano; implantar novos espaços públicos; ampliar e melhorar a rede viária estrutural; otimizar áreas envolvidas em intervenções urbanísticas de porte e a reciclagem de áreas subutilizadas	-	Zoneamento	-
Operação Urbana Bosque das Braúnas	Objetivo a preservação de área de Interesse Ambiental, localizada no Bairro Braúnas, área definida como Zona de Proteção 2- ZP-2.	-	Zoneamento	-
Operação Urbana da Avenida Barão Homem de Melo	Tem como objetivo viabilizar o alargamento da referida avenida e sua área de abrangência corresponde aos lotes lindeiros à Avenida Barão Homem de Melo, no trecho entre avenidas Silva Lobo e Raja Gabaglia.	-	Zoneamento	-
Operação Urbana da Assembléia Legislativa do Estado de Minas Gerais	Tem como objetivo proporcionar o incremento da qualidade de atendimento prestado por esse órgão à população do estado, por meio de viabilização de melhorias em sua estrutura e sua área de influência.	-	Zoneamento	-
Operação Urbana da Savassi	Tem como objetivos, propiciar a melhoria dos espaços públicos na região da Savassi, por meio de intervenções viárias e urbanísticas e minimizar a situação de conflito entre veículo e pedestre existente na área.	-	Zoneamento	-

Sobre-Zoneamentos de Belo Horizonte (por fim)

Área	Descrição	Divisões	Taxa de Permeabilidade Mínima (TP)	Observações
Áreas Integrantes da Bacia da Barragem Santa Lúcia	Considerando a necessidade de recuperação, preservação e proteção das características ambientais e paisagísticas da região em questão, especialmente, a preservação da Barragem da Santa Lúcia, responsável, entre outras funções, pelo controle da vazão da rede de drenagem pluvial do Córrego do Leitão (Av. Prudente de Moraes), o Conselho Municipal do Meio Ambiente – COMAM -, pela DN 41/02, deliberou critérios especiais para ocupação da referida área.	-	Zoneamento	Os projetos relativos à implantação ou à ampliação de edificações e outras formas de ocupação ou intervenção em áreas públicas ou privadas, não sujeitas ao licenciamento ambiental, deverão ser objeto de prévia análise e avaliação da Secretaria Municipal do Meio Ambiente – SMMA
Áreas com diretrizes de proteção do Patrimônio Cultural	Algumas áreas de Belo Horizonte encontram-se sujeitas à análise da Diretoria de Patrimônio Cultural de Belo Horizonte – DIPC – da Fundação Municipal de Cultura – FMC, cujas autorizações para demolição e aprovação de projetos de edificações devem ser precedidas da apresentação da Carta de Grau de Proteção emitida por esta diretoria.	-	Zoneamento	-
AEIS	Áreas, edificadas ou não, destinadas à implantação de programas e empreendimentos de Interesse Social vinculados ao uso habitacional, conforme diretrizes da Política Municipal de Habitação	AEIS 1 - áreas destinadas à produção de moradias, compostas de áreas vazias, edificações existentes e edificações subutilizadas ou não utilizadas AEIS 2 - áreas destinadas à regularização fundiária e à legalização urbana, composta de loteamentos precários irregulares ocupados, predominantemente, por população de baixa renda	20% 10% - terrenos com área < 360 m².	-

**Apêndice 3** -Características físicas de Belo Horizonte quanto à implantação de trincheiras de infiltração