

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

INSERÇÃO DE TRAMA VERDE E AZUL EM
OCUPAÇÕES URBANAS CONSOLIDADAS
ORIENTADA PELA PARTICIPAÇÃO SOCIAL

Camila Yarla Fernandes

Belo Horizonte
2018

**INSERÇÃO DE TRAMA VERDE E AZUL EM
OCUPAÇÕES URBANAS CONSOLIDADAS
ORIENTADA PELA PARTICIPAÇÃO SOCIAL**

Camila Yarla Fernandes

Camila Yarla Fernandes

**INSERÇÃO DE TRAMA VERDE E AZUL EM
OCUPAÇÕES URBANAS CONSOLIDADAS
ORIENTADA PELA PARTICIPAÇÃO SOCIAL**

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 Urbana e Drenagem

Orientador: Nilo de Oliveira Nascimento

Coorientador: Julian Cardoso Eleutério

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2018

F363i

Fernandes, Camila Yarla.

Inserção de trama verde e azul em ocupações urbanas consolidadas orientada pela participação social / Camila Yarla Fernandes. – 2018. xiv, 116 f., enc.: il.

Orientador: Nilo de Oliveira Nascimento.

Coorientador: Julian Cardoso Eleutério.

Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Apêndices: f. 110-116.

Bibliografia: f. 102-109.

1. Engenharia sanitária - Teses. 2. Recursos hídricos - Desenvolvimento - Teses. 3. Participação social - Teses. 4. Hidrologia urbana - Teses. I. Nascimento, Nilo de Oliveira. II. Eleutério, Julian Cardoso. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 628(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Avenida Antônio Carlos, 6627 - 4º andar - 31270-901 - Belo Horizonte – BRASIL

Telefax: 55 (31) 3409-1882 - posgrad@desa.ufmg.br

<http://www.smarh.eng.ufmg.br>

FOLHA DE APROVAÇÃO

“Inserção de Trama Verde e Azul Em Ocupações Urbanas Consolidadas Orientada Pela Participação Social”

CAMILA YARLA FERNANDES

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

Prof. Nilo de Oliveira Nascimento

Prof. JULIAN CARDOSO ELEUTÉRIO

Prof. ANTÔNIO PEREIRA MAGALHÃES JUNIOR

Profa. HELOISA SOARES DE MOURA COSTA

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Prof. Antonio Teixeira de Matos
Coordenador

Versão Final aprovada por

Prof. Nilo de Oliveira Nascimento
Orientador

Belo Horizonte, 30 de agosto de 2018.

AGRADECIMENTOS

A realização desse trabalho só foi possível graças aos incríveis companheiros de estrada, que me deram forças a cada momento.

Alguns são companheiros de longa data, comigo há 27 anos, especialmente a minha família, que me apoia em todos os momentos. Alguns não são tão longos assim, mas quase, como os bons amigos da UnB. Mesmo a distância foram fundamentais para manter a busca dos sonhos de mudar o mundo, que construímos juntos ao longo de anos.

Outros são novos, que me receberam de braços abertos nessa cidade e garantiram que eu tivesse uma casa fora de casa, principalmente dentro da UFMG: amigos, professores, orientador e coorientador. E também os novíssimos, que eu sequer esperava encontrar, mas que conseguiram reabastecer as energias quase esgotadas na reta final.

Existem aqueles que não entendem o que esse caminho significa, mas são importantes pra mim de qualquer forma. E aqueles que começaram a jornada comigo, mas não puderam terminar. Foi muito importante cada momento que passamos juntos para construir o que hoje eu sou.

E há o mais próximo de todos, sem o qual nenhum caminho tem a mesma graça.

Agradeço a CAPES pelos meses concedidos de bolsa. Agradeço também aos participantes da pesquisa e aos órgãos da PBH que se disponibilizaram a participar. Agradeço aos comitês de bacia que me receberam. E agradeço aos participantes que não puderam ser incluídos na pesquisa, mas que foram fundamentais para moldá-la.

Ao fim dessa experiência, reafirmo mais uma vez a lição: o mundo é feito de pessoas.

RESUMO

A ocupação urbana no Brasil tem ocorrido, predominantemente, sem considerar os impactos ambientais causados pelos processos de urbanização, baseados em parcelamentos de lotes e implantação de infraestrutura. Essas ocupações ignoram a hidrologia natural e desfavorecem a presença de corpos d'água e áreas verdes no meio urbano, que é ainda mais grave em áreas de ocupação informal. Resultam, frequentemente, problemas de formação de ilhas de calor, com impactos sobre o conforto térmico e consumo de energia, alterações no ciclo hidrológico e na qualidade dos corpos d'água urbanos. O conceito de trama verde e azul (TVA), desenvolvido sobretudo para criar conectividade entre áreas protegidas, pode contribuir com a redução de impactos ambientais da urbanização. Este trabalho enfoca questões relacionadas ao planejamento de implantação de TVA em espaços consolidados enfatizando, por um lado, a identificação de critérios físicos e urbanísticos que orientem a escolha das técnicas mais adequadas, e por outro, a avaliação dessas escolhas pela população concernida, principalmente em áreas públicas e privadas. É também parte do trabalho a proposição de parâmetros urbanísticos e instrumentos regulamentares que promovam a TVA em espaços urbanos. A metodologia que combina análise física e urbanística do território, mapeamento institucional, modelagem hidrológica e avaliação de alternativas da TVA foi aplicada em um estudo de caso, a bacia do córrego Flor d'Água. Entrevistas semiestruturadas e grupos focais foram os principais métodos relativos ao trabalho com *stakeholders*. Com base nessas informações, foram construídos os cenários comparativos (0) Urbanismo atual, (1) Proposto segundo princípios da TVA e (2) Implantação parcial, com auxílio dos softwares QGIS e SWMM. A aplicação da metodologia demonstrou importantes obstáculos à implantação da TVA, como disputa por espaço em áreas consolidadas, demandas por serviços ainda não estabelecidos pelo setor público e falta de conhecimento. De todo modo, a implantação da TVA por meio de medidas estruturais e não estruturais, ainda que aplicada em escala parcial, pode trazer benefícios significativos para o ambiente urbano, que são potencializados em um cenário de TVA aplicada em conjunto pelos diversos setores.

Palavras-chave: Trama verde e azul; técnicas compensatórias; modelagem hidrológica; participação social.

ABSTRACT

The urban occupation in Brazil has occurred mostly without attention to the environmental impacts caused by the processes of urbanization, which are based in urban parcels and infrastructure implementation. These occupations disregard the natural hydrology and struggle the presence of water bodies and green areas in the urban environment, which is even more severe in areas of informal occupation. They often result in heat island issues, impacting the thermal comfort and energy consumption, changes in the hydrological cycle and in the quality of urban water bodies. The concept of green and blue infrastructure (GBI), conceived especially to create connectivity between protected areas, can contribute to reduce the environmental impacts of urbanization. This study is focused on issues of planning and implementation of GBI in built spaces, highlighting, on one hand, the detection of physical and urban criteria able to guide the choice of the best management practices, and on the other, the assessment of these choices by the concerned population, mainly in public and private spaces. The proposition of urban parameters and regulatory instruments that promote GBI in urban spaces is also part of the study. The methodology that associates physical and urban analysis of the territory, institutional mapping, hydrological modeling and the evaluation of alternatives of GBI was applied in a case study, the Flor d'Água stream basin. The main methods used for working with stakeholders were semi-structured interviews and focal groups. Based on the data achieved with this methodology, the comparative scenarios were constructed: (0) Current urbanism, (1) Suggested according to GBI principles and (2) Partial implementation. These scenarios were constructed and modeled with assistance of QGIS and SWMM software. The application of this methodology exposed important challenges to the GBI implementation, such as limited areas in built environments, requirement for services not yet present in the public sector and lack of knowledge. Nevertheless, the GBI implementation through structural and non-structural solutions, even if applied on a partial scale, can bring benefits to the urban environment that are enhanced in a scenario of GBI applied by several sectors.

Keywords: Green blue infrastructure; hydrologic modeling; social participation.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS.....	XV
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	5
2.1 OBJETIVO GERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
3 REVISÃO DA LITERATURA	6
3.1 DAS SOLUÇÕES TRADICIONAIS À TRAMA VERDE E AZUL	6
3.1.1 <i>A perspectiva convencional de drenagem urbana</i>	8
3.1.2 <i>A perspectiva compensatória da gestão de águas pluviais</i>	10
3.2 A TRAMA VERDE E AZUL	12
3.2.1 <i>Benefícios da trama verde e azul</i>	13
3.2.2 <i>Adaptação de TVA a áreas urbanas consolidadas</i>	15
3.2.3 <i>Técnicas de baixo impacto</i>	16
3.3 MODELAGEM HIDROLÓGICA DE TÉCNICAS DE BAIXO IMPACTO.....	25
3.3.1 <i>Modelos hidrológicos</i>	25
3.3.2 <i>Experiências da aplicação de técnicas LID</i>	30
3.4 ASPECTOS REGULAMENTARES DIRECIONADOS À TVA	31
3.4.1 <i>Medidas não estruturais</i>	31
3.4.2 <i>Parâmetros ambientais e urbanísticos no planejamento urbano</i>	33
3.4.3 <i>Desafios à trama verde e azul e mapeamento institucional</i>	34
3.5 O PROCESSO PARTICIPATIVO NO PLANEJAMENTO URBANO	35
4 METODOLOGIA	38
4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROJETO – ESTUDO DE CASO	38
4.2 DIAGNÓSTICO DA ÁREA DE ESTUDO.....	41
4.2.1 <i>Levantamento de dados e visitas de campo</i>	41
4.2.2 <i>Mapeamento preliminar de stakeholders</i>	42
4.3 MAPEAMENTO INSTITUCIONAL E DE STAKEHOLDERS	43
4.3.1 <i>Entrevista individual e grupos focais com stakeholders</i>	43
4.3.2 <i>Regulamentações e parâmetros urbanísticos</i>	46
4.3.3 <i>Definição de cenários de simulação hidrológica</i>	47
4.4 SIMULAÇÃO DA TVA PELA IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICAS LID.....	48
4.4.1 <i>Parâmetros físicos e ambientais</i>	49

4.4.2	<i>Geoprocessamento e definição de tipologias de áreas homogêneas</i>	49
4.4.3	<i>Modelagem hidrológica</i>	53
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – CENÁRIO 0	58
5.1.1	<i>Ocupação urbana e uso do solo</i>	58
5.1.2	<i>Regulamentações e parâmetros urbanísticos</i>	63
5.2	MAPEAMENTO INSTITUCIONAL E RESULTADOS QUALITATIVOS	70
5.2.1	<i>Entrevistas direcionadas a áreas públicas</i>	73
5.2.2	<i>Entrevistas direcionadas a áreas privadas</i>	78
5.2.3	<i>Parâmetros e instrumentos regulamentares</i>	84
5.3	MODELAGEM HIDROLÓGICA DE CENÁRIOS COMPARATIVOS	86
5.3.1	<i>Parâmetros de modelagem</i>	86
5.3.2	<i>Definição de tipologias</i>	88
5.3.3	<i>Resultados comparativos da modelagem hidrológica</i>	89
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	99
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
	APÊNDICE A – ROTEIRO BASE DE ENTREVISTAS VOLTADAS PARA ÁREAS PRIVADAS	110
	APÊNDICE B – ROTEIRO BASE DE ENTREVISTAS VOLTADAS PARA AS ÁREAS PÚBLICAS	113
	APÊNDICE C – ROTEIRO SIMPLIFICADO UTILIZADO NOS GRUPOS FOCAIS	
	116	

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Planta parcial do centro de Belo Horizonte – 1923 (Fonte: Acervo Público da Cidade de Belo Horizonte *apud* <http://curraldelrei.blogspot.com.br/2013/03/metamorfoses-urbanas-rua-sao-paulo-x.html>) 6
- Figura 2 – Imagem de satélite do centro de Belo Horizonte (Fonte: GOOGLE, 2018)..... 7
- Figura 3 – Esquema simplificado da rede de drenagem urbana (esquerda) e esquema detalhado dos componentes do sistema (direita) (Fonte: adaptado de <https://www.cesan.com.br/noticias/redes-de-esgoto-e-redes-de-drenagem-voce-sabe-a-diferenca-2/> e <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/169/desenvolvimento-urbano-antes-de-emprender-contrutor-necessita-preparar-o-285862-1.aspx>). 8
- Figura 4 – Alterações no ciclo hidrológico com urbanização e com implantação de técnicas compensatórias (Fonte: adaptado de McCann *et al.*, 2016). 10
- Figura 5 – Componentes de um sistema de biorretenção (Fonte: adaptado de Woods Ballard *et al.*, 2015)..... 18
- Figura 6 – Células de biorretenção instaladas no campus da Universidade de Maryland, EUA em 2002 (Fonte: <https://cee.umd.edu/~apdavis/Rain%20Gardens.htm>). 18
- Figura 7 – Calçada com jardim de chuva implantado em Camden, Nova Jersey, EUA (Fonte: <http://nemo.uconn.edu/raingardens/>, Caitrin Higgins, Universidade de Rutgers)..... 19
- Figura 8 – Croqui esquemático da estrutura de um jardim de chuva (Fonte: adaptado de <https://durhamnc.gov/787/Rain-Gardens>). 19
- Figura 9 – Tanque utilizado para armazenamento de água de chuva e posterior uso doméstico (Fonte: <http://cienciacompartilhada.blogspot.com.br/2015/08/coletor-de-agua-de-chuva.html>). 20
- Figura 10 – Esquema de instalação de aproveitamento de água de chuva (Fonte: <http://www.joli.com.br/blog/index.php/2013/03/20/como-reaproveitar-a-agua-da-chuva/>). 21
- Figura 11 – Edifício Matarazzo, sede da Prefeitura da Cidade de São Paulo. (Fonte: http://www.rsdesign.com.br/espaco_arquiteto/telhados-verdes-o-meio-ambiente-agradece-esta-ideia/; crédito: Reprodução Portal da Prefeitura – César Ogata/ SECOM). 22
- Figura 12 – Croqui esquemático das camadas componentes de telhados verdes (Fonte: <http://44arquitetura.com.br/2017/09/telhado-verde-como-construir/>). 22
- Figura 13 – Rua Gonçalo de Carvalho, em Porto Alegre (Fotos: esquerda, Tatiana Lopes; direita, Ricardo Stricher – Fonte: <http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2012/01/rua-mais-bonita-do-mundo-vira-ponto-turistico-em-porto-alegre.html>). 23
- Figura 14 – Como a arborização pode melhorar o ambiente urbano (Fonte: adaptado de Woods Ballard *et al.*, 2015)..... 24
- Figura 15 – Visão conceitual do fenômeno de escoamento superficial em uma sub-bacia no modelo SWMM (Fonte: Adaptado de SWMM, 2012)..... 26

Figura 16 – Técnicas LID incorporadas ao modelo SWMM.	27
Figura 17 – Modelo conceitual de técnicas LID no SWMM (Fonte: SWMM, 2012).	28
Figura 18 – Esquema metodológico da pesquisa.	38
Figura 19 – Localização da área de estudo: bacia do Córrego Ressaca, com destaque para a sub-bacia do córrego Flor d'Água.	39
Figura 20 – Esquema metodológico do projeto trama verde e azul (adaptado de Nascimento <i>et al.</i> 2016).	40
Figura 21 – Cruzamento de camadas no QGIS e definição de tipologias na bacia do córrego Flor d'Água.	50
Figura 22 – Tipologias de vias locais para a escolha de técnicas LID.	51
Figura 23 – Tipologias de vias coletoras para a escolha de técnicas LID.	51
Figura 24 – Tipologias de vias arteriais para a escolha de técnicas LID.	51
Figura 25 – Tipologias de calçadas para a escolha de técnicas LID.	52
Figura 26 – Tipologias de canteiro central e rotatórias para a escolha de técnicas LID.	52
Figura 27 – Tipologias de parcelamentos residenciais para a escolha de técnicas LID.	52
Figura 28 – Tipologias de parcelamentos comerciais para a escolha de técnicas LID.	53
Figura 29 – Ajuste dos parâmetros das sub-bacias devido à inserção de técnicas LID ao modelo (Fonte: SWMM, 2012).	55
Figura 30 - Distribuição temporal da precipitação para diferentes probabilidades de excedência e durações inferiores a 1 hora (Pinheiro e Naghettini, 1998).	57
Figura 31 – Imagem de satélite da bacia do córrego Ressaca e detalhe da imagem na bacia do córrego Flor d'Água (Fonte: Globalgeo, 2015).	58
Figura 32 – Uso do solo atual do córrego Flor d'Água.	59
Figura 33 – Avenida Miguel Perrela, no bairro Castelo, Belo Horizonte (Foto: Camila Yarla, Abril de 2018).	60
Figura 34 – Galpões e estacionamento ao longo da avenida Presidente Tancredo Neves, Belo Horizonte (Foto: Camila Yarla, Março de 2017).	61
Figura 35 – Rua Flor d'Água, no bairro Jardim Alvorada, Belo Horizonte (Foto: Camila Yarla, Abril de 2018).	61
Figura 36 – Trecho inicial de canalização do córrego Flor d'Água, em canal fechado (Foto: Camila Yarla, Março de 2017).	62
Figura 37 – Trecho de canalização do córrego Flor d'Água, em canal aberto (Foto: Camila Yarla, Março de 2017).	62
Figura 38 – Detalhe da confluência dos córregos Ressaca e Flor d'Água.	63

Figura 39 – Zoneamento segundo a Lei 7166/96 e alterações na bacia do córrego Flor d’Água.	64
Figura 40 – Identificação de áreas potencialmente suscetíveis para os córregos Ressaca e Flor d’Água – Regional Pampulha (Fonte: PBH, 2013).	67
Figura 41 – Placa com alerta de inundação na confluência dos córregos Ressaca e Flor d’Água (Foto: Camila Yarla, Março de 2017).	68
Figura 42 – Categorias das ZIMs – ZIMs Ambientais em azul (Fonte: UFMG, 2015).....	69
Figura 43 – Mapeamento institucional de órgãos da PBH relacionados à trama verde e azul.	70
Figura 44 – Mapa da bacia do córrego Ressaca utilizado durante as entrevistas.....	71
Figura 45 – Imagens utilizadas durante as entrevistas para exemplificação da TVA.....	72
Figura 46 – Imagens utilizadas durante as entrevistas para exemplificação da TVA.....	72
Figura 47 – Imagens utilizadas durante as entrevistas para exemplificação da TVA.....	73
Figura 48 – Atuação do setor público nas áreas temáticas relacionadas à trama verde e azul.	73
Figura 49 – Croqui esquemático do funcionamento do instrumento ODC (Fonte: http://urbanidades.arq.br/2008/03/outorga-onerosa-do-direito-de-construir/).	77
Figura 50 – Área verde subutilizada por falta de manutenção em um bairro da bacia do córrego Flor d’Água (Foto: Camila Yarla, Abril de 2018).....	80
Figura 51 – Bairro Conjunto Lagoa: calçadas irregulares e bueiro com ocorrência de refluxo no período chuvoso, segundo indicado pelos habitantes (Foto: Camila Yarla, Abril de 2018).....	81
Figura 52 – Reportagem do Jornal Estado de Minas, de novembro de 2017 (Fonte: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2017/11/24/interna_gerais,919183/com-chuva- corregos-levam-mais-lixo-para-a-lagoa-da-pampulha.shtml ; Foto: Leandro Couri/EM/DA Press).	82
Figura 53 – Alerta no <i>Twitter</i> da Defesa Civil de Belo Horizonte sobre risco de transbordamento do córrego Ressaca, em março de 2018 (Fonte: https://twitter.com/defesacivilbh).	83
Figura 54 – Divisão das sub-bacias utilizadas para modelagem do córrego Flor d’Água.....	86
Figura 55 – Tipologias identificadas para seleção de técnicas LID.....	89
Figura 56 – Vazões registradas no exutório da bacia ao longo do tempo (cenários 0 e 1).	90
Figura 57 – Vazões registradas no exutório da bacia ao longo do tempo (cenários 0 e 2A). ..	91
Figura 58 – Vazões registradas no exutório da bacia ao longo do tempo (cenários 0 e 2B). ..	92
Figura 59 – Percentual de redução das vazões máximas de cada mês no exutório da bacia em relação ao cenário 0.	92
Figura 60 – Vazões identificadas no exutório da bacia ao longo do tempo para todos os cenários.....	93

Figura 61 – Perfil longitudinal do córrego Flor d'Água.	94
Figura 62 – Quantis pluviométricos para eventos de 15 minutos de duração para os períodos de retorno selecionados.	95
Figura 63 – Vazões identificadas no exutório da bacia ao longo do tempo para o evento de 15 minutos de duração e TR 10 anos.....	96
Figura 64 – Vazões identificadas no exutório da bacia ao longo do tempo para o evento de 15 minutos de duração e TR 20 anos.....	96
Figura 65 – Vazões identificadas no exutório da bacia ao longo do tempo para o evento de 15 minutos de duração e TR 50 anos.....	97
Figura 66 – Vazões identificadas no exutório da bacia ao longo do tempo para o evento de 15 minutos de duração e TR 100 anos.....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Entrevistas e grupos focais realizados.....	45
Tabela 2 – Valores de CN para as classes de uso do solo pertencentes ao grupo B (Fonte: Tucci, 2002).....	53
Tabela 3 – Parâmetros de entrada para definição das técnicas LID no SWMM (Nogueira, 2016).....	55
Tabela 4 - Quantis adimensionais $\mu_{T,d}$ correspondentes a probabilidades anuais de Gumbel (Fonte: Pinheiro e Naghettini, 1998).	56
Tabela 5 – Áreas correspondentes a cada tipologia de uso do solo na bacia do córrego Flor d'Água.	60
Tabela 6 – Parâmetros de Ocupação diferenciados para ADE da Bacia da Pampulha – arts. 7, 10, 11, 12, 13, da Lei 9.037/05 (Fonte: PBH, 2011).	66
Tabela 7 – Resultados das entrevistas voltadas para as áreas públicas.	74
Tabela 8 – Resultados qualitativos para as áreas temáticas <i>locomoção, arborização e áreas de lazer e saneamento</i> – TVA em áreas privadas.	78
Tabela 9 – Resultados qualitativos das entrevistas para as áreas temáticas <i>inundações, impressões da TVA e disposição a pagar taxa de drenagem</i> – TVA em áreas privadas. .	79
Tabela 10 – Parâmetros para áreas urbanas aplicáveis à bacia do córrego Flor d'Água.	84
Tabela 11 – Instrumentos para áreas urbanas aplicáveis à bacia do córrego Flor d'Água.	85
Tabela 12 – Valores de CN médio adotados no SWMM para cada sub-bacia do córrego Flor d'Água.	87
Tabela 13 – Variações do parâmetro %IMPERV no SWMM para cada sub-bacia do córrego Flor d'Água.....	87
Tabela 14 – Técnicas LID definidas para cada tipologia.	88
Tabela 15 – Técnicas LID aplicadas aos cenários comparativos.	90
Tabela 16 – Intensidades de precipitação para a RMBH.	94
Tabela 17 – Alturas pluviométricas para a RMBH.	94
Tabela 18 – Resultados comparativos da simulação por eventos para todos os cenários.	98

1 INTRODUÇÃO

A concepção das cidades brasileiras foi influenciada por diversos fatores históricos, econômicos e científicos do final do século XIX e início do século XX, de um ponto de vista geral. Como resultado, são vistas nessas cidades as consequências positivas e negativas dessas escolhas urbanísticas, que repercutiram também nos sistemas de gestão de águas urbanas.

A complexa gestão de águas pluviais é uma das implicações em comum a centros urbanos cujos sistemas de escoamento de águas está atrelado aos princípios convencionais. Em termos gerais, esses princípios consistem em realizar o escoamento por meio de uma série dispositivos que conduzem os volumes de precipitação de áreas impermeabilizadas até sua disposição final em cursos d'água.

A estrutura tradicional de um sistema de drenagem urbana direciona as águas de chuva incidentes sobre áreas construídas e pavimentadas para estruturas de microdrenagem, como sarjetas, bueiros e bocas de lobo. Esses volumes de água são então encaminhados para estruturas de maior porte que formam a infraestrutura de macrodrenagem, como galerias, responsáveis pelo transporte das águas pluviais até seu desague nos corpos hídricos.

Essa forma de manejo buscava atender ao pensamento sanitaria de rápida evacuação das águas do meio urbano e, com isso, à prevenção de doenças de veiculação hídrica. Ao mesmo tempo, essa conduta atendia também ao controle de inundações, muitas vezes resultante da própria expansão urbana e impermeabilização do solo, além de permitir que esse processo de expansão acontecesse em áreas antes ocupadas pelos leitos de rios (Carriço, 2015).

Apesar de vastamente implantado e ainda visto atualmente, esse tipo de configuração deixa a desejar em diversos aspectos urbanísticos e ambientais dentro das cidades. O excesso de escoamento superficial propaga a poluição difusa dos meios urbanos e os poluentes são carregados para lagos e rios que recebem os efluentes da drenagem urbana, aumentando os riscos à qualidade e saúde desses corpos hídricos.

A ineficiência desses sistemas frente às demandas atuais é evidenciada com as frequentes inundações nos períodos de chuva em diversas cidades brasileiras. De acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED, 2013), no estado de Minas Gerais foram registrados 1.052 eventos de inundação excepcional, durante os anos de 1991 a 2012, e 4.691 em todo país, para o mesmo período.

Uma percepção diferente de gestão de águas pluviais mostra que o sistema deve ser planejado desde os geradores do escoamento superficial excedente, por meio de medidas de controle na fonte, e que os problemas não podem ser transferidos para jusante. Na realidade, essa gestão deve considerar multipropósitos segundo as características e funções dos sistemas naturais previamente existentes. Para tanto, as particularidades e objetivos de cada local devem ser os norteadores do projeto, que podem estar relacionados à redução do pico de vazão, melhoria da qualidade da água, criação de espaços abertos, recreação, recarga de aquíferos e valorização econômica do ambiente (ASCE, 1992).

A trama verde e azul (TVA) procura atender a essas demandas ao buscar a proteção do meio ambiente e a promoção da biodiversidade por meio de uma rede interconectada de espaços verdes e azuis, tanto naturais quanto artificiais, dentro de áreas urbanas e entre elas (Nascimento *et al.*, 2016; Oliveira, 2017). A literatura apresenta diversas demonstrações das vantagens da trama verde e azul, principalmente quando comparada às soluções convencionais de drenagem urbana, como os estudos de Gómez-Baggethun e Barton (2012), De Oliveira e Milioli (2013) e Hoang e Fenner (2015).

A concretização desse conceito pode muitas vezes estar associada à implantação de infraestrutura verde e azul nas cidades. O uso desse tipo de infraestrutura se destaca em regiões metropolitanas, onde diversos usos de solo coexistem, mostrando-se relevante para a proteção dos recursos hídricos e para a mitigação de impactos resultantes das atividades urbanas (Nascimento *et al.*, 2016).

No entanto, a mudança de conduta da gestão convencional de águas para a gestão considerando os princípios da TVA pode acarretar em conflitos ambientais e de interesses entre diferentes atores envolvidos, originando barreiras a essa transição. Portanto, o ponto de vista social é de especial relevância para o sucesso de uma gestão urbana mais sustentável.

Nesse contexto, esse trabalho apresenta uma metodologia para avaliação da percepção dos *stakeholders* (atores envolvidos na região de estudo) frente à implantação da TVA por meio de regulamentações ambientais e urbanísticas existentes e propostas. Para isso, o trabalho teve como pilar a avaliação dos benefícios hidrológicos da implantação da TVA, cujas vantagens alcançam também benefícios ambientais e socioeconômicos, trabalhados junto aos *stakeholders*.

O foco principal do estudo foi o processo participativo, buscando identificar a percepção social das medidas propostas por meio de análise do território, modelagem de cenários e estabelecimento de parâmetros favoráveis à implantação da TVA. Para tanto, foram levantados trabalhos que unem a perspectiva técnica a um mapeamento social voltado para soluções de drenagem alternativas, tanto estruturais quanto não estruturais.

O desenvolvimento dessa metodologia se fez por meio de um estudo de caso, compreendendo a sub-bacia do córrego Flor d'Água, inserida na bacia da Lagoa da Pampulha, na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Essa bacia conta com uma extensa base de dados de trabalhos anteriores (Silva, 2014; Nogueira, 2015; Cândido, 2015; Nascimento *et al.*, 2016), que serviram de base para a construção da modelagem hidrológica da bacia. O presente trabalho dá continuidade a esses estudos, sendo parte de um projeto de pesquisa mais amplo cujo objetivo é avaliar a implementação da trama verde e azul e seus potenciais benefícios hidrológicos, ecológicos e sociais em uma escala metropolitana.

Para tanto, ao longo da revisão de literatura, será apresentada uma perspectiva da mudança de postura frente à gestão de águas pluviais na concepção das cidades, com foco nas áreas urbanas brasileiras. Também serão apresentadas as definições dos sistemas de drenagem convencional e compensatório, de modo a esclarecer o ponto de vista defendido por este trabalho em relação à gestão de águas segundo princípios urbanísticos. A revisão bibliográfica apresenta também o conceito de trama verde e azul, cuja consolidação ainda é recente, dentro da perspectiva de técnicas de baixo impacto e infraestrutura verde e sua implantação em áreas urbanas.

Também será abordada a relevância da modelagem hidrológica para fundamentação da escolha de técnicas de drenagem urbana, que são um importante componente da trama verde e azul. A partir desse quadro, apresenta-se o modelo SWMM, que foi escolhido como ferramenta de trabalho para este estudo.

Após apresentação dos objetivos e revisão da literatura, é apresentada a metodologia construída ao longo do trabalho, baseada no diagnóstico da área de estudo, mapeamento institucional e construção de cenários, permeados pela participação social. As etapas metodológicas construídas procuraram atender aos objetivos propostos no trabalho por meio da aplicação das ferramentas apresentadas na revisão de literatura.

Em sequência, são apresentados e discutidos os resultados qualitativos e quantitativos obtidos por meio da metodologia proposta. Esses resultados incluem a percepção dos participantes levantada a partir da realização de entrevistas e grupos focais sobre as propostas de TVA, os principais parâmetros e instrumentos identificados favoráveis à TVA e a modelagem hidrológica da bacia do córrego Flor d'Água, resultante dos cenários comparativos estabelecidos ao longo do estudo. Por fim, apresentam-se as principais conclusões e recomendações extraídas do trabalho com o intuito de explicitar suas contribuições à implantação efetiva da trama verde e azul na bacia estudada.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi definir técnicas de infraestrutura, assim como parâmetros e instrumentos regulamentares eficientes, do ponto de vista socioambiental, capazes de contribuir para a inserção da trama verde e azul em bacias urbanas já consolidadas, guiados pela participação de *stakeholders*.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a atual situação socioambiental e urbanística da bacia que constitui o sítio de estudo;
- Identificar parâmetros de regulamentação do uso do solo capazes de melhorar os aspectos socioambientais da região de estudo;
- Identificar e propor medidas de infraestrutura que viabilizem a efetiva implantação da trama verde e azul no sistema de drenagem urbana da bacia do córrego Flor d'Água;
- Estabelecer cenários comparativos da implantação hipotética da TVA orientados pela participação social de *stakeholders*.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 *Das soluções tradicionais à trama verde e azul*

As características da urbanização brasileira se devem principalmente às políticas desenvolvimentistas, predominantes no final do século XIX e início do século XX, e à priorização do automóvel individual como meio de transporte. Os pensamentos mais evidentes durante e após esse período se voltavam principalmente para a organização da cidade em ruas, avenidas e praças, favorecendo a locomoção e garantindo a higiene da cidade (Passos, 2016).

A cidade de Belo Horizonte, por exemplo, foi projetada para atender aos princípios urbanísticos desse período. Esses princípios, atrelados às experiências europeias e norte-americanas, representavam a modernização e o desenvolvimento do país. Sendo uma das primeiras cidades planejadas no Brasil, Belo Horizonte foi construída de modo a promover o fluxo livre de habitantes e veículos por suas vias e atender aos conceitos sanitaristas tão ressaltados a essa época (Passos, 2016).

A Figura 1 mostra essa configuração, indicando a canalização e retificação do córrego na rua São Paulo, no centro de Belo Horizonte. A Figura 2, por sua vez, apresenta a cidade como se encontra hoje, evidenciando que os corpos hídricos naturais não fazem parte da paisagem urbana.



Figura 1 – Planta parcial do centro de Belo Horizonte – 1923 (Fonte: Acervo Público da Cidade de Belo Horizonte *apud* <http://curraldelrei.blogspot.com.br/2013/03/metamorfoses-urbanas-rua-sao-paulo-x.html>)



Figura 2 – Imagem de satélite do centro de Belo Horizonte (Fonte: GOOGLE, 2018).

Essas políticas podem ser apontadas como um dos muitos fatores que atraíram pessoas em busca de qualidade de vida e oportunidade nos centros urbanos. O resultado visto atualmente na estrutura das cidades brasileiras, de um modo geral, é a elevada concentração da população em uma composição urbana delimitada pelos parcelamentos de lotes e vias de tráfego (Vasconcelos *et al.*, 2007).

A elevada densidade urbana criou condições para o surgimento de diversos problemas nos centros urbanos, como saneamento básico insuficiente, falta de transporte público, poluição ambiental e problemas sociais. Muitos desses problemas dificilmente estão relacionados a causas locais apenas, mas podem ter suas origens em municípios vizinhos, e também disseminar novos problemas para outros. Em sua maioria, são questões que dificilmente serão solucionadas sem a existência de um planejamento e integração entre as diversas entidades políticas (Vasconcelos *et al.*, 2007).

Os impactos da urbanização no ciclo hidrológico são um exemplo dessas consequências. Em Belém-PA, Targa *et al.* (2012) evidenciaram as implicações das alterações no uso e ocupação do solo ocorridas ao longo de três décadas em uma bacia hidrográfica da região. Com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento, mostraram que a falta de planejamento integrado e o uso de técnicas convencionais de drenagem urbana transferiam a problemática de inundações para as áreas mais a jusante, que eram também as de menor renda.

Alguns desses impactos também foram estudados por Vasconcelos e Zamparoni (2011), em um bairro da cidade de Cuiabá-MT, em relação aos padrões de construção e condições atmosféricas da região, por meio da análise do microclima vinculado ao crescimento urbano da cidade. Para tanto, foram identificadas a presença ou ausência de aspectos físicos e

urbanísticos da cidade como pavimentação, verticalização, vegetação, corpos d'água, além de usos do solo, tráfego e topografia.

O estudo mostrou que as áreas com maior densidade de construção apresentaram maiores valores de temperatura do ar, evidenciando a necessidade de mais áreas verdes para amenizar as elevadas temperaturas. Vasconcelos e Zamparoni (2011) também levantaram a necessidade da mudança de paradigma na construção das cidades e na tomada de decisão rumo à construção de cidades mais sustentáveis.

A ideia de convívio e integração com a água no meio urbano faz parte dessa mudança. No entanto, as cidades consolidadas atualmente são resultado de decisões tomadas há muitas décadas, quando os conceitos de urbanismo e desenvolvimento ainda carregavam perspectivas diferentes. A postura de rápida eliminação das águas, com os sistemas de drenagem convencionais, tem se transformado em um manejo de águas pluviais com diferentes abordagens, como os relacionados à implementação da trama verde e azul.

3.1.1 A perspectiva convencional de drenagem urbana

Em um sistema de drenagem convencional, os componentes hidráulicos são estruturas que transportam águas pluviais da região de origem de produção do escoamento superficial até as instalações de armazenamento e posterior disposição nos corpos hídricos. São sistemas constituídos por dispositivos de microdrenagem – como sarjetas, bocas de lobo e condutos – e macrodrenagem – como canais abertos e galerias (Baptista *et al.*, 2005). A Figura 3 ilustra um esquema simplificado dessas estruturas, que também são chamadas de infraestrutura cinza.

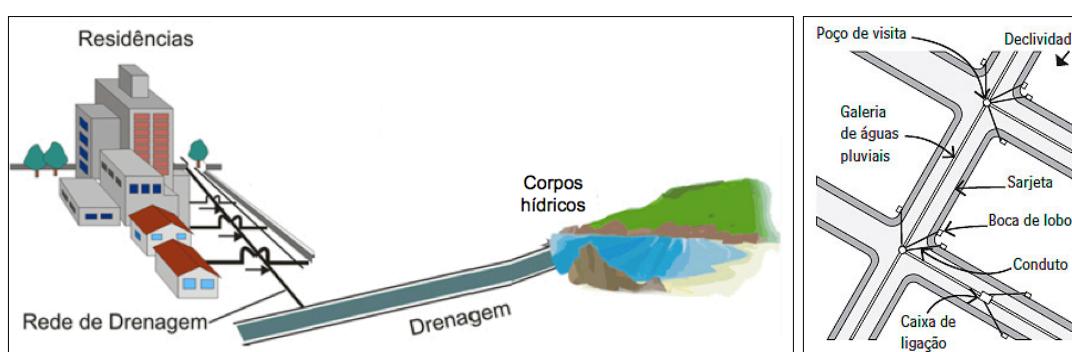


Figura 3 – Esquema simplificado da rede de drenagem urbana (esquerda) e esquema detalhado dos componentes do sistema (direita) (Fonte: adaptado de <https://www.cesan.com.br/noticias/redes-de-esgoto-e-redes-de-drenagem-voce-sabe-a-diferenca-2/> e <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/169/desenvolvimento-urbano-antes-de-empreender-construtor-necessita-preparar-o-285862-1.aspx>).

Esses sistemas se baseiam nos princípios higienistas que priorizavam a rápida evacuação das águas pluviais das áreas urbanas, de modo a eliminar a sua presença e evitar enchentes,

prevenindo a proliferação de doenças de veiculação hídrica. As implicações desse sistema, no entanto, são refletidas à jusante, em áreas que sucessivamente devem se adequar ao aumento do volume de água gerado pela contínua impermeabilização à montante (Baptista *et al.*, 2005).

Nessa abordagem a qualidade da água não é relevada e, com frequência, ocorre a deposição de sedimentos de erosões e de resíduos sólidos devido à falta de integração com outros componentes do saneamento, resultando em sistemas de drenagem ineficientes e muitas vezes subutilizados. Para Gava e Finotti (2013), os canais de drenagem urbana, em países em desenvolvimento, normalmente funcionam como depósitos de lixo fora do período de chuva. Isso acarreta em uma cadeia de consequências: o entupimento dos canais, seguido do aumento da ocorrência de inundações, dispersão de resíduos e poluição dos corpos hídricos.

Outro aspecto negativo desse sistema é a falsa ideia de controle de inundações que a canalização gera na população. Como consequência, áreas de vulnerabilidade, como zonas ribeirinhas, são ocupadas por populações de baixa renda, resultado da falta de integração da drenagem com outros aspectos urbanísticos do planejamento urbano. Além disso, as soluções convencionais limitam outros usos potenciais da água como a integração à paisagem urbana ou a prática de atividades esportivas e lazer (Baptista *et al.*, 2005).

As alterações que têm ocorrido no clima também tornam esses sistemas obsoletos. Kundzewicz *et al.* (2014), baseando-se nos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Field *et al.*, 2012), mostram a probabilidade de aumento de eventos de precipitação intensos ao redor do mundo, que podem acarretar em alterações nas características das inundações. Esse fator, somado à impermeabilização do solo além do planejado, sobrecarregam os sistemas de drenagem convencionais, que não foram projetados para suportar essa demanda excessiva. Como resultado, o acúmulo de águas pluviais no meio urbano acarreta prejuízos sociais e econômicos para as cidades (Hu *et al.*, 2017).

Nesse sentido, as projeções de mudanças nas características das inundações em magnitude e frequência causadas pela variação climática ainda são pouco confiáveis. De todo modo, Kundzewicz *et al.* (2014) afirmam que, ainda que o aumento de precipitações ou outras variações climáticas não influenciem na quantidade de inundações, o risco a esses eventos está relacionado ao aumento da exposição das populações. Dessa forma, as estratégias de adaptação às inundações devem considerar alterações estruturais nas bacias em resposta a inundações, a proteção e oferta de alternativas para pessoas que residem em áreas de risco e

também uma adaptação que acompanhe as mudanças no clima, aspectos de profunda importância para a gestão de riscos e gestão econômica.

A perspectiva que apresenta o conceito de gestão de águas pluviais por meio de tecnologias compensatórias tem ganhado espaço no desenvolvimento das cidades, buscando neutralizar os impactos da urbanização sobre os processos hidrológicos. Surge uma visão holística, que considera a bacia hidrográfica como área de estudo e combina o manejo de águas pluviais ao planejamento urbano (Canholi, 2005).

3.1.2 A perspectiva compensatória da gestão de águas pluviais

A transformação do modelo de desenvolvimento das cidades rumo à gestão e planejamento sustentáveis foi analisada por De Oliveira e Milioli (2013). Os autores levantaram um estudo bibliográfico que fundamenta a postura sistêmica na concepção das cidades e no modo de desenvolvimento, segundo princípios que levam a um metabolismo circular ao invés do tradicional linear observado ainda atualmente. A cidade em funcionamento como um metabolismo linear representa um ecossistema incompleto, que gera resíduos e deixa rastros de degradação. Por outro lado, um metabolismo circular permite a reutilização de recursos e a redução de resíduos, diminuindo os impactos das atividades urbanas (Figura 4).

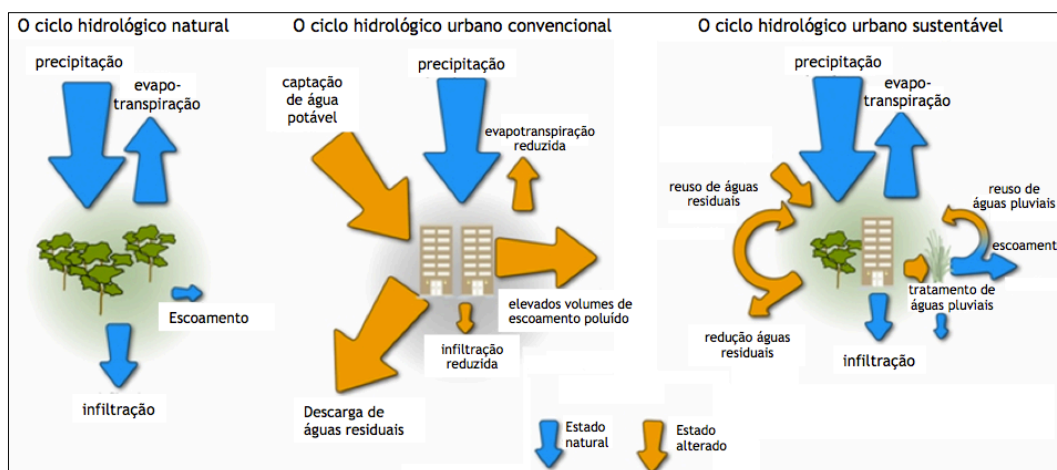


Figura 4 – Alterações no ciclo hidrológico com urbanização e com implantação de técnicas compensatórias (Fonte: adaptado de McCann *et al.*, 2016).

De Oliveira e Milioli (2013) mostraram que a cidade pode funcionar como um sistema ecológico, adaptável aos moldes da natureza, em que a abordagem ecossistêmica permite a melhoria de vida nas cidades. Nesse âmbito, o metabolismo circular requer uma mudança na organização social rumo à descentralização e à gestão comunitária.

A mudança de postura frente à gestão de águas urbanas carrega a tentativa de reaproximação ao sistema natural, existente antes da implantação das atividades urbanas e consequente

impermeabilização do solo. Por essa razão, esses princípios apresentam como um dos objetivos a redução do volume de água desde a fonte, prevenindo a transferência imediata para jusante. Ao armazenar o volume de água advindo das áreas urbanas, as instalações compensatórias promovem a redução da energia cinética do escoamento superficial e, ao mesmo tempo, controlam a disposição dessas águas a jusante. Desse modo, quando o escoamento é recolhido de forma distribuída na bacia, a sua liberação para a jusante pode ser controlada e seus impactos reduzidos (ASCE, 1992).

Essa abordagem mais integrada apresenta multipropósitos e, por essa razão, podem ser encontradas diversas terminologias na literatura que buscam defini-la segundo seus objetivos, abordagens ou benefícios, como infraestrutura verde, SUDS (do inglês *Sustainable urban drainage systems*), LID (do inglês *Low impact development*), WSUD (do inglês *Water sensitive urban design*) ou BMP (do inglês *Best management practices*) (Fletcher *et al.*, 2015). De todo modo, são conceitos que possuem intersecções e contribuem na construção dessa perspectiva.

Comparações entre as medidas de infraestrutura cinza e verde foram realizadas por Hoang e Fenner (2015), principalmente no que se refere à resiliência dos sistemas frente à ocorrência de eventos extremos de precipitação. Os autores mostraram que as medidas SUDS e infraestrutura verde favorecem a utilização de espaços verdes e azuis já existentes dentro das cidades, agregando diversas funções como hidrológica, ecológica e urbana.

Mais ainda, essas medidas são funcionais não somente para um evento de precipitação, como ocorre com as medidas convencionais, mas durante todo o tempo em que estão instaladas. Isso é possível graças à integração que as soluções verdes promovem não somente em relação ao ciclo hidrológico, como também em termos urbanísticos, sociais e econômicos (Hoang e Fenner, 2015).

Esse conceito possibilita ainda o estabelecimento de valores e benefícios ambientais, culturais e sociais, resultantes da multiplicidade de funções e serviços oferecidos pelo ecossistema. No meio urbano, esses serviços estão normalmente associados à presença de água e vegetação no ambiente construído, desde as edificações e ruas até uma escala maior, como bairros e municípios com LID. O então chamado *ecossistema urbano* pode incluir áreas de parques ou lagos na jurisdição municipal assim como jardins privados que independem do planejamento urbano público (Gómez-Baggethun e Barton, 2012).

O uso de técnicas LID, também conhecidas como técnicas de baixo impacto ou ainda infraestrutura verde, apresenta-se como uma ferramenta artificial de conexão entre áreas protegidas e corpos d'água naturais, contribuindo para a construção da *trama verde e azul* (TVA) em um meio urbano. Neste trabalho, os impactos hidrológicos da implantação da TVA, por meio das técnicas LID, foram o principal foco dentre as diversas concepções associadas à trama verde e azul em áreas urbanas.

3.2 A trama verde e azul

O conceito de trama verde e azul surgiu na França, por volta de 2007, a partir de discussões voltadas à proteção do meio ambiente e desenvolvimento sustentável, que resultaram em uma legislação como ferramenta de planejamento territorial. Segundo Allag-Dhuisme *et al.* (2010), tal ferramenta, articulada com as diversas políticas públicas, procura manter ou restaurar a biodiversidade nos territórios, garantindo a continuidade ecológica.

Essa continuidade é garantida por meio de uma rede interconectada de espaços verdes e azuis, tanto naturais quanto artificiais, dentro de áreas urbanas, que procura estabelecer conjuntos naturais de corredores conectivos e o trânsito de espécies de fauna e flora. Para tanto, a TVA contribui para as estratégias de criação de áreas protegidas e planos de ação para espécies ameaçadas, tornando-se significativa para a restauração de áreas fragmentadas, proteção do meio ambiente e a promoção da biodiversidade (Allag-Dhuisme *et al.*, 2010; Nascimento *et al.*, 2016; Oliveira, 2017).

A trama pode ser construída por meio da rede azul estabelecida pelos corpos d'água (lagos, reservatórios, córregos, rios) que, margeados pela vegetação (árvores, canteiros, áreas gramadas), constroem uma complementação aos espaços de parques e áreas verdes distribuídos pelas cidades, tanto de áreas densamente ocupadas quanto de zonas periurbanas. Essa estrutura permite uma continuidade territorial capaz de favorecer uma gestão integrada dos espaços naturais do território (Araújo, 2017).

Os corredores verdes e azuis se intercalam com as diversas atividades urbanas como mobilidade, lazer, cultura e agricultura, atuando como elemento de integração do meio urbano. Dessa forma, a conexão promovida pela trama verde e azul ultrapassa o ponto de vista ecológico, sendo capaz de reconstruir áreas metropolitanas e potencializar usos múltiplos no território. Com isso, a trama verde e azul permite um vínculo entre o ambiente construído e o natural, anteriormente desvalorizado na concepção das cidades, promovendo melhorias

socioambientais dos espaços urbanos, principalmente por meio de ações planejamento e regulações (Costa, 1999).

Do ponto de vista hidrológico, a utilização de técnicas de infraestrutura verde na gestão de águas pluviais pode ser apontada como uma das formas de implantação da TVA em áreas urbanas, principalmente por meio da associação de infraestrutura verde e azul aos sistemas de gestão de águas. A utilização dessas técnicas permite o aproveitamento múltiplo de um mesmo espaço urbano para atividades de lazer e ecológicas, além da função hidrológica restrita aos períodos chuvosos, potencializando seus benefícios.

3.2.1 Benefícios da trama verde e azul

A infraestrutura verde (IV) é um conceito que ultrapassa apenas a gestão de águas pluviais e possui origens tanto na arquitetura quanto na ecologia, com a inserção de uma rede de espaços verdes multifuncionais, corpos d'água e vegetação, de modo a promover uma maior qualidade de vida nas cidades e em suas imediações. Mais ainda, a infraestrutura verde contribui para maximizar os benefícios desses espaços e permite identificar seus serviços ecossistêmicos (Benedict e McMahon, 2012; Fletcher, 2013).

Benefícios como provisão de alimentos, regulação da água, redução do escoamento superficial, redução de ruído, recreação e observação de animais são alguns dos serviços ecossistêmicos que o meio urbano pode fornecer por meio de LID (Gómez-Baggethun e Barton, 2012). O conhecimento desses serviços pode auxiliar a tomada de decisão no direcionamento de recursos e no planejamento do uso do solo, por exemplo.

No âmbito de planejamento urbano, os benefícios da TVA incluem a redução dos riscos de enchentes, redução dos impactos no clima local (ilhas de calor) e promoção de conectividade pela integração de áreas de proteção dentro das cidades (Eleutério *et al.*, 2015). É relevante destacar a contribuição da TVA em regiões metropolitanas para a proteção dos recursos hídricos, redução de impactos resultantes das atividades urbanas, melhoria da qualidade do ar, regulação do clima, redução da poluição e melhor habitabilidade (Nascimento *et al.*, 2016; Oliveira, 2017).

Dessa forma, uso do solo se mostra como o ponto central do desenho urbano, mas também possibilita oportunidades para uma melhor gestão de águas. Ashley *et al.* (2013) mostraram a necessidade de encontrar sinergias entre a gestão de recursos hídricos e o planejamento do uso do solo e de outros sistemas e serviços urbanos. Para os autores, a concretização em curto

prazo da gestão de águas sustentável, no Reino Unido (RU), está associada à garantia de um maior papel da água no processo de planejamento do uso do solo. Ainda que incipiente e longe do ideal, algumas ações recentes no governo do RU mostraram que esse tipo de desenvolvimento tem ganhado reconhecimento e que existe uma postura mais favorável a sua implantação do que usualmente é considerado.

O potencial de resfriamento da infraestrutura verde e azul na redução do efeito de ilha de calor, no ambiente construído em Viena, foi avaliado por Žuvela-Aloise *et al.* (2016). Os autores consideraram características como elevação, tecido urbano não homogêneo e influências das imediações por meio de advecção e influência de massas de ar. Foi identificado que quanto maior o gradiente de temperatura entre a área verde – ou o corpo d’água – e as construções próximas, maior a intensidade e extensão espacial do resfriamento. Além disso, concluiu-se que uma redução significativa da temperatura é alcançada somente por meio de uma extensiva quantidade de vegetação e que esse tipo de medida deve ser aplicada amplamente para reduzir de forma substancial o calor na cidade. Ainda assim, efeitos menores também podem ser percebidos nas imediações das áreas modificadas, principalmente se as medidas estão aplicadas ao longo das vias, como corredores de tráfego.

Para Ristić *et al.* (2013), quando as áreas remanescentes de canais abertos e fragmentos de vegetação, como florestas, parques e arbustos, são conectados com estruturas lineares verdes, como trajetórias de calçadas e ciclovias, são formados os corredores “verde-azul”. Os autores realizaram uma comparação hidrológica entre um cenário de condições atuais e outro com a implantação de corredores verdes e azuis e concluíram que as bacias estudadas estarão menos vulneráveis a eventos extremos, como chuvas de forte intensidade, quando a TVA faz parte do tecido urbano. Outros benefícios levantados no estudo são a proteção e uso racional dos bens naturais e culturais da área, a conectividade dos corredores dentro da bacia e com bacias adjacentes, a mitigação dos efeitos de mudança do clima, a conservação e proteção da biodiversidade, a criação de espaços de lazer e a “re-humanização” do espaço urbano.

Essa infraestrutura atende não somente a serviços de recursos hídricos e gestão de riscos de inundações, mas também a benefícios ambientais e à saúde humana. Gómez-Baggethun e Barton (2012) evidenciaram os impactos positivos dos serviços ecossistêmicos urbanos na qualidade de vida das cidades. Mostraram que a perda de ecossistemas nas cidades pode acarretar em custos em longo prazo e em impactos negativos em seus valores sociais e culturais, como senso de pertencimento, identidade e comunidade, coesão social e percepção ecológica.

Vandermeulen *et al.* (2011) mostraram que o investimento em infraestrutura verde contribui não somente para o meio ambiente como também cria efeitos econômicos positivos, diretos e indiretos, para as regiões de estudo, em termos de cadeia produtiva, por exemplo. Esses efeitos permitem estimar o custo-benefício das técnicas, contribuindo para justificar a escolha da sua implantação pelos tomadores de decisão.

Os autores defendem que a valoração econômica de infraestrutura verde deve considerar benefícios tanto em nível de projeto, na estimativa dos benefícios diretos, quanto em nível de economia regional, avaliando os valores indiretos que a medida pode fornecer, por meio de uma técnica de valoração proposta. A valoração econômica também surge como um forte influenciador no momento da decisão de implantação desse tipo de medida e é importante considerar benefícios menos tangíveis, como melhorias na saúde, na paisagem e segurança.

3.2.2 Adaptação de TVA a áreas urbanas consolidadas

Alguns dos grandes desafios da inserção da trama verde e azul nas cidades estão relacionados principalmente à disponibilidade de espaço para implantação das técnicas em áreas urbanas consolidadas, em razão dos espaços já construídos e ocupados com prédios, casas e sistema viário, onde normalmente as soluções de drenagem adotadas são as convencionais. Segundo Liao (2014), supõe-se que áreas construídas possuem como única solução para o controle de inundações infraestruturas como canalização, diques e barragens.

No entanto, essas soluções são limitadas e não são capazes de atender à ocorrência de inundações extremas, principalmente em vista do aumento dos riscos frente à mudança do clima. Liao (2014) questiona a dependência desse tipo de medida e propõe uma mudança de paradigma de controle de inundações em direção à *adaptação do ambiente construído* a inundações. Mesmo assim, por serem técnicas de alto custo e grande longevidade, substituí-las por soluções alternativas pode ser complicado e custoso.

Por outro lado, a manutenção de infraestrutura verde depende também do impacto das áreas urbanas adjacentes que podem afetar sua integridade. Desse modo, o planejamento e a gestão das áreas construídas devem ser compatíveis com as estruturas instaladas em suas proximidades. Por isso, a transformação de soluções tradicionais rumo a soluções verdes, assim como a conservação da biodiversidade urbana, dependem profundamente do envolvimento de moradores e tomadores de decisão. Com isso, é importante difundir conhecimento e inovações entre os moradores e planejadores urbanos, a fim de garantir a

manutenção da funcionalidade de corredores e áreas naturais no meio urbano (Hostetler *et al.*, 2011).

3.2.3 Técnicas de baixo impacto

A implantação prática da trama verde e azul nas cidades por meio de técnicas de infraestrutura verde permite uma modernização do clássico sistema higienista, de modo a complementar as medidas convencionais com estruturas compensatórias (Agostinho e Poletto, 2012).

O principal objetivo das medidas de infraestrutura verde é reduzir o impacto da urbanização sobre as variáveis do ciclo hidrológico, buscando retornar às condições hidrológicas existentes pré-urbanização, ou o mais próximo possível que se possa chegar a essas condições. Para tanto, procura-se reduzir tanto volumes quanto vazões excessivas de escoamento superficial decorrentes da impermeabilização do solo, por meio do aumento dos processos de infiltração, interceptação, evapotranspiração e retenção de volumes (Figura 4).

Estruturas de infraestrutura verde que atuam promovendo um aumento da infiltração de águas pluviais, por exemplo, causam principalmente uma redução de volumes, que pode resultar também em uma redução do pico de vazões. Estruturas de armazenamento temporário, por sua vez, atuam reduzindo o pico dos hidrogramas e reaproximando-os dos hidrogramas gerados em bacias naturais. Outros objetivos podem ser concomitantes à implantação das técnicas, como recreação e lazer, além da melhoria da qualidade da água pela remoção de sedimentos (Canholi, 2005).

Isso é possível por meio da decantação que acontece durante o armazenamento da água nas estruturas de detenção, reduzindo volume de cargas pluviais recebido pelos corpos hídricos. Essas podem ser consideradas ações de tratamento das instalações, que contribuem para a redução da poluição das descargas e reduzem a vulnerabilidade dos corpos receptores. As medidas compensatórias podem bem se adaptar ao meio ambiente e ao tecido urbano, o que permite a associação de usos em áreas de estacionamento, lazer, prática esportiva e outros. Mais ainda, um mesmo empreendimento pode combinar diferentes tipos de soluções técnicas de modo a incrementar os efeitos positivos de cada uma, realizando uma proteção em cascata da área (Batista *et al.*, 2005).

Essas técnicas permitem o controle da produção excessiva de escoamento e ainda possibilitam a reutilização das águas pluviais. A implantação é flexível, o que permite que a aplicação das

técnicas acompanhe o desenvolvimento urbano. Além disso, são medidas de baixo custo e que economizam gastos nas redes de drenagem por estarem dispostas de forma difusa na bacia hidrográfica.

Deve-se atentar que as medidas podem ter o seu potencial prejudicado devido a fatores como a ocupação da bacia sem controle, o não cumprimento ao sistema separador absoluto, a ausência de políticas de controle de impactos, a falta de integração entre os diferentes componentes do saneamento, como a coleta de resíduos sólidos (Tucci, 2002).

De todo modo, assim como para qualquer técnica, é necessário realizar a manutenção das instalações, caso contrário, a eficiência do sistema pode ser prejudicada. Usualmente, a responsabilidade de manutenção das técnicas instaladas em espaços públicos recai sobre o poder público. Já em espaços privados, a manutenção seria atribuída aos proprietários. No entanto, essa é uma questão que pode ser discutida entre os usuários e adaptada a cada situação.

Nota-se que são medidas capazes de melhorar substancialmente a qualidade de vida das cidades e favorecer a proteção do meio ambiente (Baptista *et al.*, 2005). São tecnologias que não precisam ser continuamente expandidas para atender ao crescimento urbano, diferentemente de soluções convencionais, que precisam ser ampliadas sempre que novas áreas são impermeabilizadas, ocorrendo um progressivo aumento de custos para evitar novas inundações, como é o caso da canalização de rios.

Os tópicos a seguir apresentam uma descrição de algumas das técnicas de infraestrutura verde: células de biorretenção, jardim de chuva, reservatórios individuais, telhados verdes e arborização.

3.2.3.1 Células de biorretenção

Os sistemas de biorretenção são depressões vegetadas em uma mistura preparada de solo posicionada sobre uma camada filtrante de brita. As camadas das células permitem que o escoamento, armazenado temporariamente na superfície, seja filtrado pela vegetação e pelos solos subsuperficiais e, em seguida, seja coletado ou infiltrado. O excesso de escoamento filtrado pela estrutura pode ainda ser drenado de volta para o sistema de drenagem (Woods Ballard *et al.*, 2015; Olszewski *et al.*, 2013; Narayanan e Pitt, 2006). A Figura 5 ilustra um esquema dos componentes de uma célula de biorretenção.

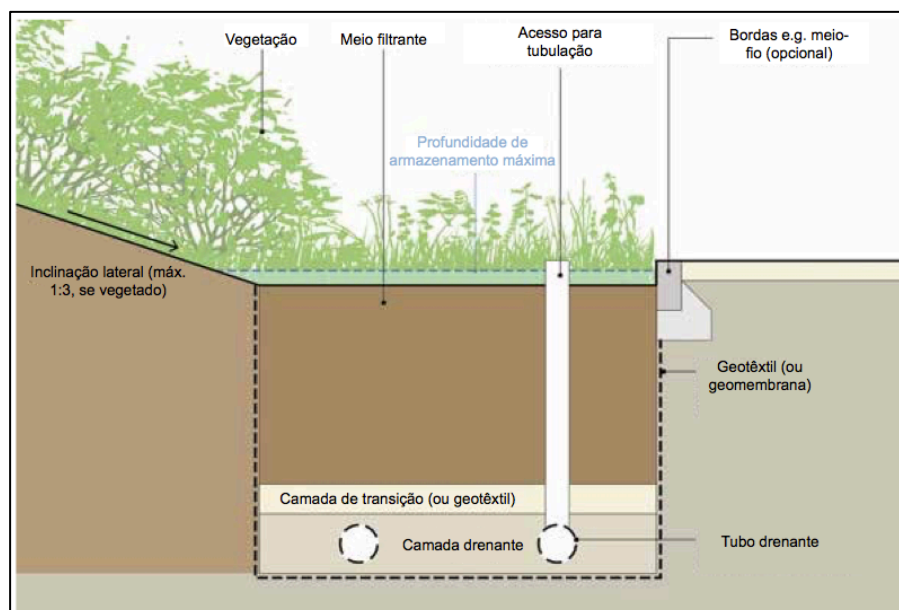


Figura 5 – Componentes de um sistema de biorretenção (Fonte: adaptado de Woods Ballard *et al.*, 2015).

São estruturas que podem auxiliar na redução das taxas de escoamento superficial e amenizar a poluição difusa das bacias, melhorando a qualidade da água. Contribuem também ao promover uma paisagem atrativa, aumento da biodiversidade e resfriamento do microclima graças à evapotranspiração entre os eventos de chuva (Woods Ballard *et al.*, 2015).

Olszewski *et al.* (2013) realizaram uma observação contínua do desempenho de uma célula de biorretenção em Maryland, EUA, por um período de 2 anos. O experimento mostrou uma significativa redução dos volumes de escoamento superficial e amortecimento de vazões da área de contribuição. A Figura 6 apresenta algumas etapas desse experimento.



Figura 6 – Células de biorretenção instaladas no campus da Universidade de Maryland, EUA em 2022 (Fonte: <https://cee.umd.edu/~apdavis/Rain%20Gardens.htm>).

O estudo mostrou ainda que a vazão de saída depende da saturação dos componentes da estrutura e da profundidade da água, fazendo com que o pico de saída seja menor e mais distribuído que as vazões de entrada. Os autores ressaltam também que o projeto de uma

célula de biorretenção para áreas urbanas deve procurar mimetizar o comportamento hidrológico pré-desenvolvimento para que seu amortecimento na bacia seja bem sucedido.

3.2.3.2 Jardim de chuva

Os jardins de chuva são um tipo de célula de biorretenção, mas são sistemas mais simples que não apresentam a camada filtrante. Recebem a água de precipitação em uma estreita camada de armazenamento e podem apresentar diferentes configurações para melhor se ajustarem à área de implantação. Assim como a biorretenção, atuam proporcionando armazenamento, infiltração e evaporação de volumes de precipitação que são escoados para a sua estrutura escavada em solo (Woods Ballard *et al.*, 2015).

A Figura 7 mostra um jardim de chuva implantado e a Figura 8 ilustra os componentes dessa estrutura.



Figura 7 – Calçada com jardim de chuva implantado em Camden, Nova Jersey, EUA (Fonte: <http://nemo.uconn.edu/raingardens/>, Caitrin Higgins, Universidade de Rutgers).

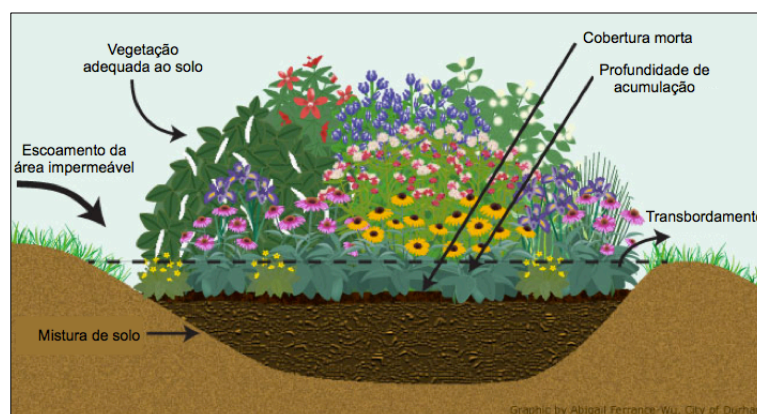


Figura 8 – Croqui esquemático da estrutura de um jardim de chuva (Fonte: adaptado de <https://durhamnc.gov/787/Rain-Gardens>).

Vineyard *et al.* (2015) realizaram uma avaliação de ciclo de vida (LCA do inglês *life cycle assessment*) com o intuito de comparar os impactos ambientais de jardins de chuva

construídos em uma bacia hidrográfica de Cincinnati, Ohio (EUA) com técnicas convencionais. A metodologia LCA utilizada, padronizada internacionalmente, permite avaliar o desempenho de um produto ou serviço por meio dos estágios de seu ciclo de vida, incluindo obtenção de matéria prima, manufatura, uso e descarte.

Os autores também abordaram, de maneira complementar, o custo do ciclo de vida a fim de comparar os custos anuais entre o sistema convencional e os jardins de chuva. O estudo mostrou que os custos de jardins de chuva eram favoráveis tanto financeiramente quanto ambientalmente e, em relação a sistemas tradicionais, a implantação de um jardim de chuva apresenta uma redução de custo e de impactos ambientais em todas as etapas do seu ciclo de vida. Quando comparados os dois sistemas, os jardins de chuva apresentaram uma redução de até 42% de custo e de 62 a 98% de impactos ambientais.

3.2.3.3 Reservatórios individuais

Os reservatórios individuais armazenam o escoamento proveniente de eventos chuvosos de um lote ou edifício. As águas retidas podem ser posteriormente utilizadas para diversos fins, como rega de plantas, descargas sanitárias e lavagem de veículos, ou podem ser liberadas lentamente de volta ao sistema de drenagem após o evento de precipitação. Dessa forma, contribuem para reduzir o escoamento superficial gerado em áreas impermeabilizadas (Tominaga, 2013).

A Figura 9 exemplifica uma possível implantação de reservatório individual e a Figura 10 ilustra um esquema de implantação.



Figura 9 – Tanque utilizado para armazenamento de água de chuva e posterior uso doméstico (Fonte: <http://cienciacompartilhada.blogspot.com.br/2015/08/coletor-de-agua-de-chuva.html>).

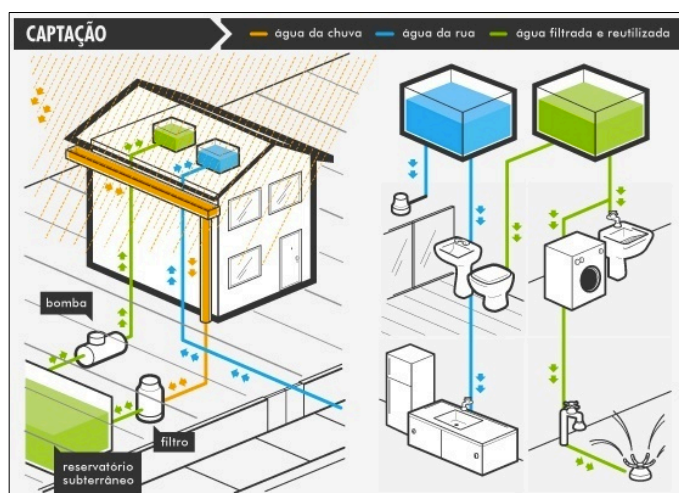


Figura 10 – Esquema de instalação de aproveitamento de água de chuva (Fonte: <http://www.joli.com.br/blog/index.php/2013/03/20/como-reaproveitar-a-agua-da-chuva/>).

Os efeitos do uso de sistemas de aproveitamento de água de chuva na redução de inundações foram verificados no trabalho de Dornelles (2012) para o município de Porto Alegre. Os resultados do trabalho mostraram que a capacidade de retenção dos reservatórios é pequena e limitada à parcela inicial da chuva e não apresentou reduções significativas no pico de vazão da rede de drenagem pluvial.

Deve-se notar que a análise realizada pelo autor limitou-se a uma coleta de águas com o propósito de atender à demanda de água residencial apenas. Para efeitos de redução nos picos de vazão, seria necessário garantir um volume de espera maior no dimensionamento dos reservatórios.

3.2.3.4 Telhados verdes

Os telhados verdes podem ser definidos como a incorporação de vegetação nos telhados de edificações por meio da implantação de uma estrutura de camadas múltiplas. Essas camadas incluem principalmente uma membrana impermeável, um filtro, um sistema de drenagem, um meio para crescimento e a vegetação, variando de acordo com as condições locais. Os benefícios desse tipo de estrutura estão comumente relacionados à restauração do balanço hídrico urbano graças ao amortecimento dos escoamentos gerados pelas águas precipitadas (Cipolla *et al.*, 2016).

Um exemplo de implantação de telhado verde, na cidade de São Paulo, é apresentado na Figura 11. A Figura 12 ilustra os componentes dessa estrutura.



Figura 11 – Edifício Matarazzo, sede da Prefeitura da Cidade de São Paulo. (Fonte: http://www.rsdesign.com.br/espaco_arquiteto/telhados-verdes-o-meio-ambiente-agradece-esta-ideia/; crédito: Reprodução Portal da Prefeitura – César Ogata/ SECOM).

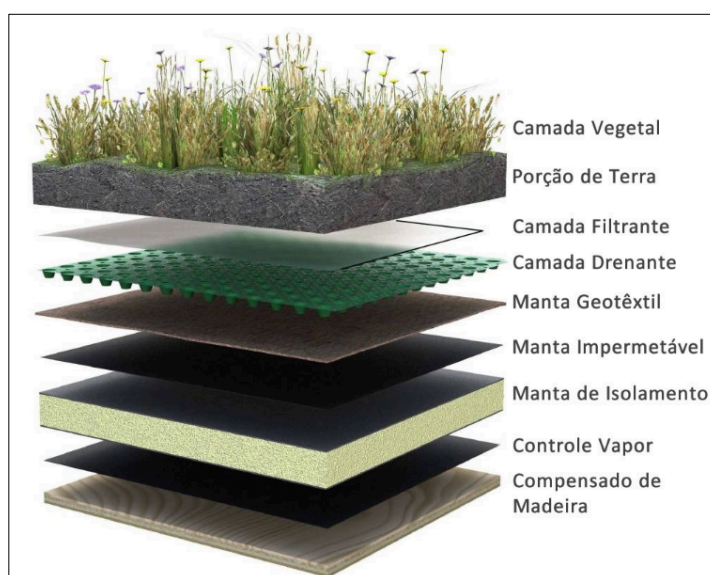


Figura 12 – Croqui esquemático das camadas componentes de telhados verdes (Fonte: <http://44arquitetura.com.br/2017/09/telhado-verde-como-construir/>).

Alguns estudos (Fletcher *et al.*, 2013; Versini *et al.*, 2015) mostram que a utilização de telhados verdes permite aproveitar esse espaço que normalmente é subutilizado no meio urbano. Além disso, melhoram o conforto térmico dos edifícios potencializando uma redução de gastos com energia, devido ao resfriamento causado pela evapotranspiração durante os meses de verão. Também contribuem para reduzir os efeitos de ilhas de calor em áreas urbanas e melhorar a qualidade do ar por meio da captação de particulados atmosféricos, reduzindo a poluição atmosférica, além da redução de ruído e aumento de habitats no meio urbano (Rosseti *et al.*, 2013; Woods Ballard *et al.*, 2015).

Os telhados verdes também têm impactos nos sistemas de águas pluviais. Quando incluem estruturas de armazenamento de água, os volumes armazenados podem ser liberados de forma controlada no sistema de drenagem ou utilizados para outros fins, como irrigação de áreas

adjacentes, resfriamento, usos não potáveis nas edificações ou recreação. Esse tipo de estrutura, que garante o armazenamento em reservatórios ou sob a vegetação implantada, pode ser chamada também de “telhado azul” (Woods Ballard *et al.*, 2015).

Deve-se atentar, no entanto, que a eficiência de telhados verdes está relacionada ao local de implantação, já que sua capacidade de amortecimento de volumes depende do tipo de material utilizado, vegetação e clima ao qual está submetido (Cipolla *et al.*, 2016). Além disso, os custos de implantação de telhados verdes podem ser até 3 vezes superiores aos telhados convencionais. O valor unitário para implantação está estimado em cerca de R\$320,00 por metro quadrado (Rosseti *et al.*, 2013; Tominaga, 2013).

Por outro lado, os custos de manutenção são mínimos e chegam até a apresentar um retorno positivo ao longo do tempo. Segundo Rosseti *et al.* (2013), esse custo pode ser compensado pela redução no consumo energético anual e de pico, além dos demais benefícios térmicos na edificação e na sensação térmica dos usuários e de melhorias socioambientais no ecossistema urbano. Esses benefícios foram sistematizados no estudo por meio de uma compilação de casos de implantação da técnica de telhados verdes em diversas localidades, como Reino Unido, Japão, Estados Unidos e Brasil.

3.2.3.5 Arborização

A arborização das cidades pode ser incluída como uma das medidas conectivas capazes de construir a trama verde e azul. Usualmente são implantadas ao longo das vias de tráfego e calçadas e apresentam inúmeros benefícios ambientais e urbanísticos. A Figura 13 exemplifica a aplicação dessa técnica em uma rua de Porto Alegre.

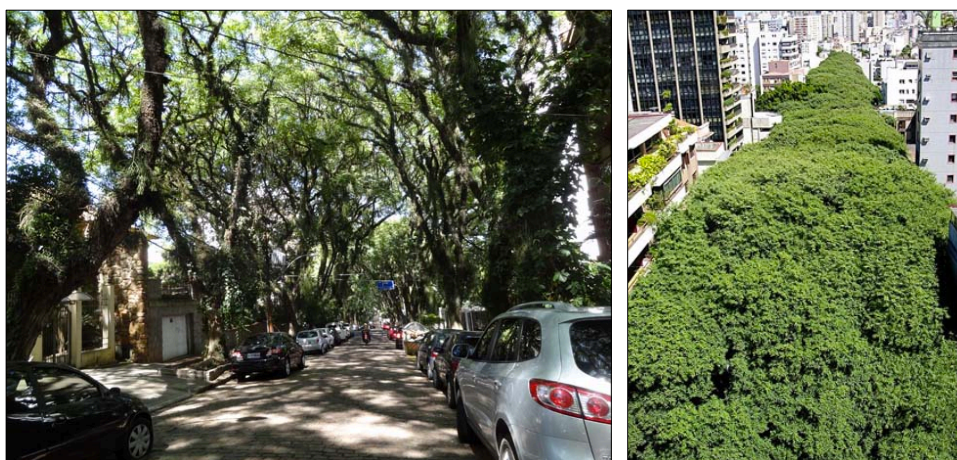


Figura 13 – Rua Gonçalo de Carvalho, em Porto Alegre (Fotos: esquerda, Tatiana Lopes; direita, Ricardo Stricher – Fonte: <http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2012/01/rua-mais-bonita-do-mundo-vira-ponto-turistico-em-porto-alegre.html>).

A presença de árvores no meio urbano pode ajudar a proteger e melhorar o ambiente de diferentes formas como: redução de temperatura e de luz solar incidente sobre pedestres, melhoria da paisagem, melhoria da saúde e bem estar dos habitantes, valorização de imóveis residenciais e comerciais, redução do consumo de energia por meio do equilíbrio térmico, redução de sedimentos transportados pelo escoamento, filtragem de poluentes, redução de particulados na atmosfera, sequestro de dióxido de carbono, redução da poluição sonora, criação de habitats no meio urbano, redução da velocidade de carros (Woods Ballard *et al.*, 2015; Buckeridge, 2015). A Figura 14 ilustra alguns desses benefícios.

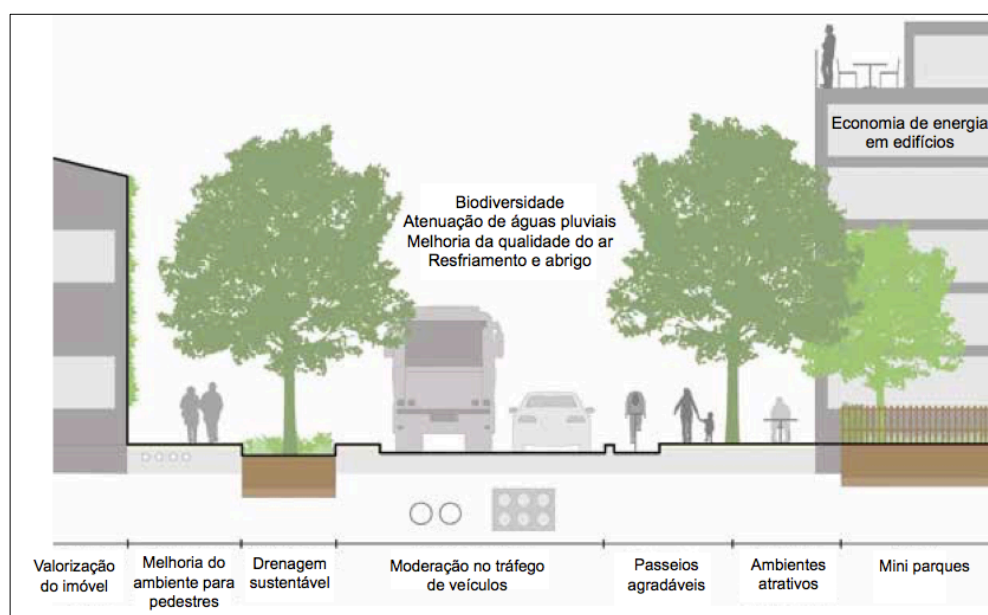


Figura 14 – Como a arborização pode melhorar o ambiente urbano (Fonte: adaptado de Woods Ballard *et al.*, 2015).

Além disso, a vegetação atua como um importante agente no ciclo hidrológico, por meio da retenção de água no solo e evapotranspiração (Buckeridge, 2015). Woods Ballard *et al.*, 2015 mostram que, em relação à gestão de águas pluviais, a presença de árvores contribui por meio de:

- Transpiração: grandes quantidades de água são captadas pelas raízes das árvores e evaporadas por meio dos estômatos das folhas, contribuindo para redução de escoamento superficial;
- Interceptação: folhas, galhos e tronco interceptam a água de chuva, armazenando temporariamente para posterior evaporação. Também absorvem parte do volume, reduzindo a quantidade de água que atinge o solo, provocando atraso e redução de volume escoado;

- Aumento de infiltração: o crescimento e decomposição de raízes aumentam a capacidade e taxa de infiltração do solo, reduzindo os volumes de escoamento superficial;
- Fitorremediação: ao extrair água do solo, as árvores também retiram vestígios de produtos químicos nocivos presentes no solo, como metais, compostos orgânicos, combustíveis e solventes. As árvores são capazes de transformar esses componentes em substâncias menos nocivas, utilizar como nutrientes ou armazenar nas raízes, galhos e folhas.

3.3 Modelagem hidrológica de técnicas de baixo impacto

A modelagem dos componentes do ciclo hidrológico se mostra uma ferramenta que potencializa a gestão dos recursos hídricos urbanos. O uso de modelos hidrológicos pode auxiliar na tomada de decisão por meio da comparação dos efeitos de diferentes cenários de gestão e no estabelecimento de argumentos técnicos para a criação de políticas e diretrizes de caráter sustentável.

3.3.1 Modelos hidrológicos

Atualmente existem diversos modelos que procuram mimetizar o comportamento da água em diferentes escalas temporais e espaciais. Uma revisão dos modelos hidrológicos desenvolvidos entre 1990 e 2015 foi realizada por Peña-Guzmán *et al.* (2017) a fim de exemplificar diversos estudos de caso e aplicações dos diferentes modelos. Os autores mostraram que a utilização desses modelos apresenta, em sua maioria, objetivos voltados para a avaliação e entendimento do balanço hídrico, abastecimento de água e seleção e avaliação de melhores práticas de gestão (do inglês *Best Management Practices*), que são medidas estruturais e não estruturais voltadas para minimizar os impactos da urbanização no ciclo hidrológico natural (Fletcher *et al.*, 2013).

Tendo em vista a relevância da infraestrutura verde na gestão urbana atualmente, Haris *et al.* (2016) realizaram uma comparação detalhada entre dez diferentes modelos hidrológicos capazes de simular as infraestruturas verdes de acordo com três categorias: aqueles capazes de modelar qualidade e quantidade de águas pluviais; aqueles com capacidade de realizar uma análise econômica; e aqueles capazes de realizar ambas as avaliações. Entre esses modelos foi avaliado o modelo SWMM, que se enquadra na primeira categoria.

Em termos de simulação de técnicas de IV, os autores avaliaram a capacidade do modelo em simular o escoamento superficial, apresentando o SWMM como um modelo complexo e de

diversos atributos, adequado para associar as estruturas de IV com o sistema de drenagem. O SWMM é um modelo de acesso livre, que se mostrou funcional e eficiente para a simulação hidrológica, apesar de simplório quando comparado a modelos comerciais, como a sua versão XP-SWMM.

3.3.1.1 O modelo SWMM

O modelo SWMM é amplamente usado em bacias urbanas, a fim de simular o comportamento hidrológico dessas bacias. É um modelo dinâmico de chuva-vazão, que realiza a simulação do escoamento superficial em quantidade e qualidade, capaz de representar um único evento de chuva ou uma simulação contínua de longo prazo.

É um programa versátil com diversas aplicações na análise de sistemas de drenagem de águas pluviais para áreas urbanas e também não urbanas. Foi inicialmente desenvolvido em 1971 e, desde então, tem sido aprimorado para atender as demandas de simulação hidráulica e hidrológica e apresentação de resultados em diferentes formas (SWMM, 2012).

Em relação ao escoamento superficial, o SWMM considera a área de estudo como um conjunto de sub-bacias hidrográficas que recebem vazões de entrada – como precipitação e contribuições de áreas a montante – e geram saídas – como infiltração, evaporação e escoamento superficial. Cada sub-bacia é tratada como um reservatório não linear fictício. O método utilizado, do reservatório não linear, considera que cada uma das sub-bacias é um reservatório muito raso que irá gerar um escoamento superficial, cuja vazão é uma função não-linear da profundidade de água no reservatório (Figura 15). A partir dessa abordagem, o SWMM é capaz de computar o hidrograma de escoamento superficial (SWMM, 2012).

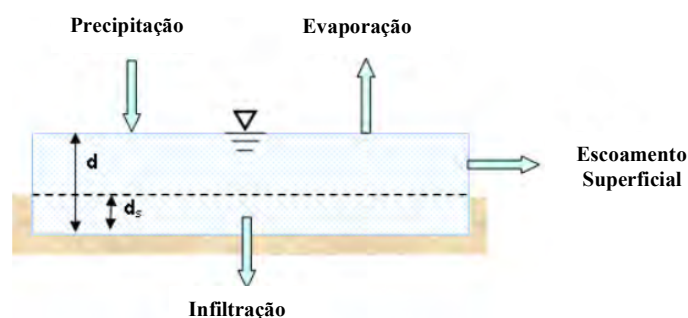


Figura 15 – Visão conceitual do fenômeno de escoamento superficial em uma sub-bacia no modelo SWMM (Fonte: Adaptado de SWMM, 2012).

O *software* SWMM também é capaz de simular a rede de drenagem por meio de elementos de transporte, como canais e tubulações. Esses elementos direcionam o fluxo de entrada, que pode ser o escoamento superficial, para nós exutórios indicados no sistema. O modelo de

transporte hidráulico considerado nos condutos é regido pelas equações de conservação de massa e de quantidade de movimento (equações de Saint Venant). A resolução dessas equações pode assumir diferentes níveis de precisão de acordo com o interesse da análise e do usuário (SWMM, 2012).

Adicionalmente, a qualidade da água também pode ser simulada pelo programa. Agentes poluentes são associados ao escoamento em função do uso do solo definido, permitindo um estudo de poluição difusa na bacia de estudo.

3.3.1.2 Simulação de técnicas LID com o uso do SWMM

O estabelecimento da trama verde e azul, por meio de infraestrutura verde, inclui a instalação de técnicas de baixo impacto, conhecidas como LID. As técnicas LID, como jardins de chuva, telhados verdes, trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis, estão contidas no SWMM, onde seu desempenho hidrológico pode ser simulado (Figura 16).

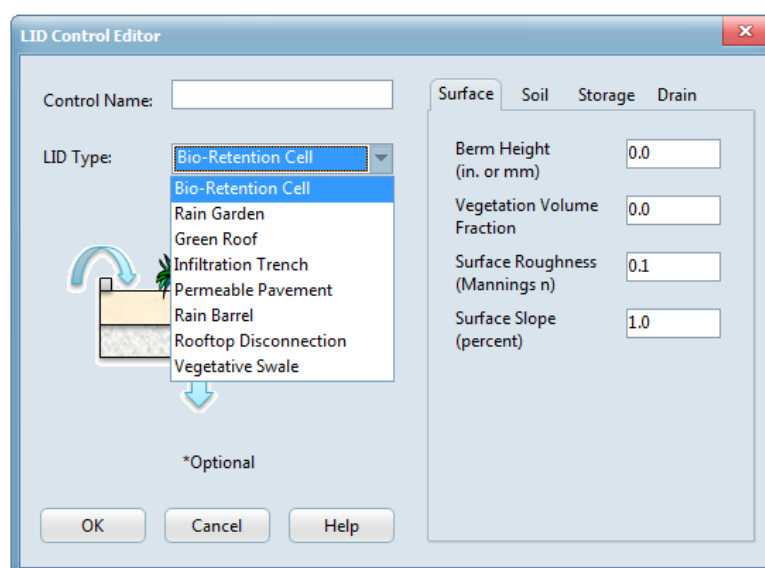


Figura 16 – Técnicas LID incorporadas ao modelo SWMM.

Esses sistemas são representados por meio de uma combinação de camadas cujas propriedades (espessura, volume de vazios, condutividade hidráulica e capacidade de drenagem) são definidas em uma base de unidade por área e podem ser atribuídas às sub-bacias por meio da definição da área de cobertura correspondente (Palla e Gnecco, 2015).

Durante a simulação, o programa realiza um balanço hídrico que define os volumes de armazenamento em cada camada (SWMM, 2012). A Figura 17 exemplifica o modelo conceitual de uma célula de biorretenção no SWMM e o comportamento da água entre as camadas.

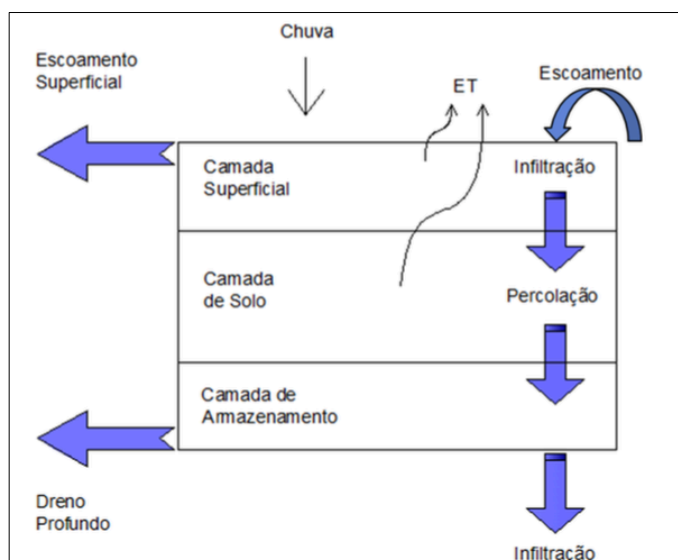


Figura 17 – Modelo conceitual de técnicas LID no SWMM (Fonte: SWMM, 2012).

Palla e Gnecco (2015) modelaram telhados verdes e pavimentos permeáveis como soluções para reduzir o impacto da impermeabilização urbana e avaliar a sua efetividade como medidas de controle na fonte, em escala de bacia hidrográfica, por meio da simulação de eventos de diferentes tempos de retorno em diferentes cenários de uso do solo. Para essa escala de estudo, as autoras confirmaram a importância das medidas LID na restauração de componentes cruciais do regime hidrológico natural, como a redução da vazão de pico e redução do volume e atraso do hidrograma, para chuvas de projeto de 10 anos de tempo de retorno. Elas concluem que o uso do SWMM é adequado para avaliar o desempenho LID e consequentemente embasar sua implementação em bacias urbanas.

Do mesmo modo, Versini *et al.* (2015) compararam diferentes cenários com telhados verdes em uma bacia urbana, desde nenhuma instalação até o máximo de área que poderia ser ocupada por telhados verdes na bacia, por meio do SWMM, tanto em escala de bacia quanto em escala individual. Os resultados mostraram que, para ambos os casos, os telhados verdes se mostraram significativos para a redução do escoamento superficial em termos de descarga de pico e de volume. Ressaltam ainda que a melhor contribuição dos telhados verdes para reduzir a quantidade de escoamento em eventos de precipitação é quando associados a outras formas de controle na fonte ou infraestruturas de retenção.

A eficiência das técnicas aplicadas em conjunto também foi apresentada por Nunes *et al.*, 2017. Os autores realizaram um estudo de caso em um loteamento residencial em Jacarepaguá, Rio de Janeiro, para avaliar a capacidade de técnicas compensatórias na redução dos escoamentos superficiais e de enchentes urbanas, por meio de cenários comparativos. O estudo mostrou que a eficiência das técnicas é maior quando se considera a implantação de

trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis associados, ao invés das trincheiras de infiltração somente.

Em relação à integração de medidas estruturais e não estruturais na redução de impactos da urbanização, Zanandrea (2016) realizou um estudo na bacia urbana Mãe d'Água, na região de Porto Alegre (RS). Essa bacia, de predominante ocupação de baixa renda em áreas de risco, possui parâmetros urbanísticos pouco restritivos à impermeabilização. A autora avaliou os impactos hidrológicos dessa dinâmica urbana por meio de comparação de cenários com auxílio do *software* SWMM. Com isso, comprovou uma redução de volume escoado em até 14% graças à contribuição das técnicas LID, que podem ser uma importante alternativa para áreas consolidadas.

A autora mostrou ainda, por meio da simulação hidrológica, que o uso de técnicas LID, contribuiu para a redução de volume nos hidrogramas, principalmente em chuvas de menor intensidade. No entanto, alterações no uso do solo com redução da ocupação urbana e aumento da permeabilidade apresentaram reduções mais significativas, revelando a importância do planejamento adequado e manejo do uso do solo para gestão de águas pluviais.

3.3.1.3 Uso de sistemas de informação geográfica para análise de técnicas LID

Uma importante ferramenta que facilita a representação do espaço e o entendimento das relações que nele acontecem, como em meios urbanos, são os sistemas de informação geográfica (SIG). Programas de SIG potencializam o alcance de estudos ambientais por meio de técnicas de informação espacial e geoprocessamento.

Jha *et al.* (2014) apresentaram uma metodologia para avaliar a capacidade de armazenamento de águas pluviais por meio de sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica e análise multicritério na identificação de locais favoráveis em uma área de estudo na Índia. Concluíram que a integração dessas técnicas resulta em uma poderosa ferramenta para o planejamento de coleta, armazenamento, distribuição e uso de águas pluviais.

Os sistemas de informação geográfica também têm sido amplamente utilizados no planejamento urbano e na construção de bases cartográficas. Por meio do uso de uma ferramenta SIG, Sales e Cardoso (2012) obtiveram para o município de Belo Horizonte um melhor entendimento dos diferentes tipos de ocupação que cobrem a cidade, assim como sua associação com os aspectos socioeconômicos dos habitantes e dos bairros.

Os autores afirmam a importância de conhecer as características físico-territoriais dos centros urbanos, de modo que seja possível reconstruir o território das cidades, frequentemente marcado por problemas associados à gestão urbana. No estudo, o uso de ferramentas SIG permitiu acompanhar o dinamismo de processos urbanos e evidenciar a necessidade premente de novas formas de planejamento e políticas urbanas mais adequadas.

3.3.2 Experiências da aplicação de técnicas LID

A eficiência das técnicas LID na reaproximação do ciclo hidrológico ao sistema natural e na preservação da biodiversidade foi apresentada em diversos estudos em escala prática.

Cipolla *et al.* (2016) calibraram e validaram o modelo SWMM para utilização na simulação da resposta hidrológica de duas superfícies experimentais de mesmo tamanho, uma com telhado impermeável convencional e a outra com telhado verde. Os resultados da modelagem comprovaram a eficiência do telhado verde na redução do volume de escoamento anual. A comparação do resultado do telhado experimental com a simulação no SWMM mostrou que o modelo possui uma robustez satisfatória na simulação do hidrograma de escoamento superficial para análises contínuas.

O sistema viário é um dos elementos urbanos responsáveis pelo aumento do escoamento superficial e pela poluição difusa. Hu *et al.* (2017) buscaram comparar a eficiência de LID por meio de um estudo de caso que envolveu o projeto, a reconstrução e a implementação de técnicas LID no sistema de drenagem de uma avenida no noroeste da China, complementado pela análise quantitativa por meio do SWMM. Os resultados das simulações para a bacia de estudo, após a implantação de pavimentos permeáveis, jardins de chuva e valas de infiltração, indicou a redução do volume de escoamento superficial anual em 87% e redução do pico do escoamento, resultante da precipitação de tempo de retorno de 50 anos e duração de 24 horas, em 15,2%. As taxas de poluição, por sua vez, foram testadas em campo por meio da análise de sólidos suspensos totais, demanda química de oxigênio, fósforo total e amônia, indicando reduções de 49% a 89% dos poluentes.

Com isso, o estudo de Hu *et al.* (2017) comprovou a eficiência das medidas no controle de poluentes e na redução dos riscos de contaminação dos corpos d'água. Foi demonstrado ainda que o acúmulo de água nas vias para pequenas e médias precipitações foi evitado e o sistema de drenagem convencional existente teve sua capacidade potencializada.

As vantagens de considerar técnicas LID no planejamento foram determinadas por Son *et al.* (2017) por meio de uma quantificação de seus benefícios em relação às soluções convencionais. Os autores obtiveram resultados para uma aplicação prática em que a implantação dessas técnicas apresentou uma redução de poluição difusa, redução do escoamento superficial e melhores taxas de conservação de áreas naturais em uma região de teste na Coreia do Sul.

O estudo também revelou que as medidas não estruturais se mostraram ainda mais importantes do que as medidas estruturais para o alcance de objetivos. Alguns deles, como a redução do escoamento superficial e redução de poluição difusa, sequer poderiam ser alcançados somente com a aplicação de técnicas estruturais, mas dependiam das medidas não estruturais para funcionar efetivamente. Mais ainda, a aplicação de medidas não estruturais pode minimizar a necessidade de técnicas estruturais, melhorar a qualidade ambiental e viabilizar projetos (Son *et al.*, 2017).

3.4 Aspectos regulamentares direcionados à TVA

De acordo com Son *et al.* (2017), o uso de LID permite a reintegração das funções hidrológicas e ecológicas que foram alteradas pela forma convencional de instauração das cidades. Além disso, contribui para aumentar a infiltração de água no solo assim como reequilibrar o ciclo hidrológico alterado pela rápida urbanização de bacias hidrográficas urbanas. Por outro lado, os autores mostram que o conceito de *low impact development* não se restringe a técnicas estruturais, mas medidas não estruturais são também de grande relevância para o planejamento urbano e atendimento de demandas ecológicas.

Medidas como instrumentos de financiamento e reformas institucionais, podem contribuir para o melhor funcionamento das medidas de adaptação e devem também ser consideradas na escolha da melhor estratégia de adaptação para determinado local (Voskamp e Van de Ven, 2015). Essas medidas também integram os conceitos relacionados à implementação de TVA e serão detalhadas nos itens seguintes.

3.4.1 Medidas não estruturais

As medidas não estruturais se referem a soluções que, ao invés de estruturas construídas, fazem uso de conhecimento, prática ou entendimento com o intuito de reduzir riscos e impactos, principalmente por meio de legislações, treinamentos e campanhas educativas. São soluções que se baseiam em regulamentos e programas, como a adequação de uso e ocupação

do solo, sistemas de alerta ou realocação de populações vulneráveis (Sun *et al.*, 2012; Canholi, 2005).

Medidas como planejamento territorial, zoneamento, proteção ambiental e instrumentos de comando e controle foram necessárias para a preservação dos recursos naturais ameaçados pela expansão urbana de alguns municípios estudados por Rezende e Araújo (2015), nos estados de Mato Grosso e Goiás. Os autores evidenciaram que medidas não estruturais, como regras para aumento de áreas permeáveis, são soluções viáveis e que favorecem a contenção de águas pluviais nas bacias estudadas, contribuindo para garantir a manutenção dos recursos naturais junto ao desenvolvimento das cidades.

Estimar a vulnerabilidade para análise de riscos naturais também pode ser considerada como uma importante medida não estrutural, como ressaltado por Goerl *et al.* (2011). O estudo construiu um índice de vulnerabilidade aplicado ao município de Rio Negrinho, em Santa Catarina, identificando setores censitários de baixa, média e alta vulnerabilidade. Os autores reconheceram a importância do índice de vulnerabilidade como ferramenta para o gerenciamento de riscos, que permite orientar políticas públicas e direcionar investimentos, mostrando que essa é uma metodologia de baixo custo e pode ser aplicada de forma ampla.

A experiência chinesa de Sun *et al.* (2012), por sua vez, procurou investir em projetos piloto de prevenção de desastres de inundações com foco em medidas não estruturais, como instalações de monitoramento e alerta, planos de evacuação e treinamentos. Além disso, os registros históricos de ocorrências de desastres orientaram a gestão de risco e delimitação de áreas de risco nos territórios estudados.

Os benefícios que medidas estruturais e não estruturais poderiam fornecer, em termos ambientais, foram apresentados nos resultados de Son *et al.* (2017), como redução do escoamento superficial, redução de poluição difusa, conservação ambiental, além de benefícios econômicos e sociais. Seus resultados serviram como guia para a elaboração de projetos para a sua região, mostrando a importância de um processo integrado que considere a relação entre a aplicação de LID e o planejamento urbano.

Os autores verificaram que medidas não estruturais podem trazer ainda mais benefícios do que medidas estruturais, já que normalmente fazem parte de uma etapa de planejamento de uso do solo, preliminarmente à ocupação, e também reduzem a necessidade de implantação de

técnicas estruturais. Foi verificada também a potencialidade da associação “LID-planejamento” em reduzir conflitos entre as instituições governamentais.

Percebe-se, portanto, que as medidas não estruturais devem ser consideradas no manejo de águas pluviais urbanas tanto quanto as medidas estruturais, tendo em vista que os resultados dessas medidas são capazes de gerar repercussões positivas em toda a bacia. A definição de parâmetros ambientais e urbanísticos, por exemplo, apresenta um caráter não estrutural que pode contribuir para o manejo de águas pluviais de áreas urbanas.

3.4.2 Parâmetros ambientais e urbanísticos no planejamento urbano

A aplicação de parâmetros, instrumentos e políticas pode contribuir para alcançar uma gestão de águas pluviais voltada para a redução de riscos e melhoria das cidades. Alguns incentivos podem incluir de aumento de arborização de ruas, praças e espaços privados, vazões de restrição para áreas privadas, gestão de risco para áreas de inundação e deslizamento e redução de impactos de atividades industriais, como consumo de água e dispersão de poluentes.

Esses parâmetros devem complementar a legislação ambiental e as regulamentações urbanísticas das cidades, procurando atender a objetivos regionais de proteção do meio ambiente e redução de riscos. A associação desses parâmetros a instrumentos econômicos, como taxas de permeabilidade e de drenagem, pode também potencializar sua implantação efetiva e o alcance dos objetivos propostos.

É necessário, no entanto, que as possíveis propostas sejam discutidas pelos tomadores de decisão junto à população e demais setores de interesse. A adequada gestão de águas pluviais requer diferentes especialistas e uma interface entre áreas como hidrologia, proteção de recursos naturais, gestão de risco, segurança, administração municipal, economia e uso do solo (Kovár *et al.*, 2014).

No Brasil, a lei 10.257/2001, o Estatuto da Cidade, estabelece diretrizes de política urbana e define a elaboração do Plano Diretor como instrumento de planejamento municipal. A construção dos planos diretores, de forma participativa pela sociedade, permite o melhor aproveitamento do território de modo a atender às necessidades dos habitantes. Para tanto, a integração das questões ambientais e sociais na tomada de decisão é de extrema relevância na construção do plano (Lei nº 10.257/2001; Martins e Leite, 2013).

A integração entre as partes interessadas é muitas vezes apontada como um dos principais fatores que permite a consolidação desses objetivos, de acordo com experiências internacionais. Martins e Leite (2013) mostraram que, apesar do intenso processo de urbanização chinesa desde a década de 1980, as boas condições de moradia da população se devem a um planejamento urbano realizado de forma integrada entre os diversos agentes, como setor público, população afetada e corpo técnico.

Por outro lado, os autores mostram que no Brasil a legislação não apoia o Estado na construção de uma política urbana eficiente, por ser insuficiente ou, em outros casos, por não ser cumprida. Os autores associam essas falhas à falta de planejamento de longo prazo e de definições de uso e ocupação, assim como a uma gestão do solo feita de forma especulativa e irregular. Tais fatores acabam perpetuando a ocupação em áreas de risco, como encostas e áreas sujeitas a inundações.

Além desses, alguns aspectos serão apresentados a seguir como dificuldades à implantação de medidas não estruturais favoráveis à construção da trama verde e azul nas áreas urbanas.

3.4.3 Desafios à trama verde e azul e mapeamento institucional

Diversos autores mostraram as barreiras organizacionais frente a efetiva adoção de medidas de infraestrutura verde. Hoang e Fenner (2015) identificaram essas barreiras como físicas, de percepção ou informação e organizacionais. As dificuldades organizacionais, especialmente relacionadas à divisão de responsabilidades e partes interessadas (grupos de *stakeholders*), existem principalmente porque as organizações estão segmentadas em setores, com diferentes funções e prioridades.

No entanto, a otimização da TVA requer um envolvimento integrado e multissetorial. Por meio de entrevistas semiestruturadas, O'Donnell *et al.* (2017) perceberam que, para os *stakeholders*, as barreiras sociopolíticas são mais inviabilizadoras à difusão das técnicas de infraestrutura verde do que as barreiras físicas. Mostraram ainda que as barreiras são interdependentes e as estratégias para superá-las também devem ser, envolvendo tomadores de decisão, profissionais, especialistas e comunidades.

A incorporação de técnicas de baixo impacto no planejamento e desenvolvimento das cidades requer o reconhecimento de seus benefícios pelos gestores. Para isso, é necessário associar as funções que os espaços verdes podem oferecer de uma maneira clara e que possa ser reproduzida facilmente, apresentando as contribuições dessas estruturas aos *stakeholders*.

Desse modo, o mapeamento institucional se mostra necessário para esclarecer as estruturas governamentais e, com isso, melhorar a coordenação entre as instituições, de modo que se alcance uma gestão de águas mais integrada entre os diferentes órgãos. Para tanto, podem ser necessárias novas ferramentas e modelos de planejamento e gestão ainda não utilizados, assim como o aprimoramento de subsetores ou de funções tradicionalmente separadas entre governo e sociedade. Isso pode significar que as instituições precisarão modificar sua forma de trabalhar e de ver umas as outras (Da Silva *et al.*, 2008).

Segundo Da Silva *et al.* (2008), o mapeamento de atribuições e de influência (formal e informal) das instituições é um elemento chave para a mudança, por meio da identificação de *stakeholders*. Um mapa institucional pode identificar quais instituições têm o poder de fornecer, financiar ou influenciar o estabelecimento efetivo de medidas para a gestão de águas sustentável, focando em atores chave, suas interações, onde o poder se encontra, quem tem a capacidade de influenciar decisões e quem toma as decisões. Para tanto, o mapeamento institucional se baseia nos seguintes princípios:

- Informação balanceada: levantamento de estudos existentes e documentações oficiais;
- Entendimento cultural e participação de *stakeholders* locais e de diferentes órgãos.
- Identificação de regras formais (leis e regulamentações) e informais (expressões de normas sociais, por exemplo), que não são notadas explicitamente e podem ser ainda mais importantes que as formais.

3.5 O processo participativo no planejamento urbano

O envolvimento da população e dos gestores é de fundamental importância para o sucesso da implantação da infraestrutura verde e sua harmonização com as demais estruturas urbanas. Narayanan e Pitt (2006) apresentaram, além de um levantamento comparativo de técnicas de infraestrutura verde, uma estimativa de custo de diversas medidas não estruturais para a gestão de águas pluviais e programas de conservação de recursos hídricos. Para os autores, os programas educativos, que são uma parte importante da efetividade de medidas estruturais, estão relacionados ao envolvimento público na restauração de rios, programas de monitoramento e conscientização dos recursos hídricos de um modo geral.

A experiência de Monte-Mor *et al.* (2016), na Região Metropolitana de Belo Horizonte, mostrou a importância de considerar o processo participativo no planejamento urbano, que deve ocorrer de forma contínua e propiciar alternativas para as mudanças necessárias no

espaço construído. Do mesmo modo, é apresentada a relevância da dimensão ambiental na reestruturação urbana, incluindo água, áreas verdes e a própria cultura local.

O estudo mostra que o caráter do planejamento não se restringe ao viés técnico, mas também deve estar vinculado às ações políticas de diversos atores, a fim de identificar diferentes formas de realizar o planejamento metropolitano. Para que isso seja possível, o estudo mostrou a necessidade de uma abordagem transdisciplinar e crítica, que foi obtida pela ação dos membros universitários e da população, por meio de discussões e propostas em um processo participativo.

A percepção social sobre os riscos de inundação foi avaliada por Cavalcante e Aloufa (2014) em um bairro de caráter informal, em Natal-RN, por meio de entrevistas, e os moradores dessa região associaram, em geral, a responsabilidade das inundações à esfera pública. De todo o modo, a falta de alternativas de moradia levou a população a permanecer na área e conviver com os riscos de inundação existentes. Os autores concluíram que a avaliação da percepção é um importante instrumento na análise de riscos ambientais, por esclarecer a relação dos habitantes com o meio e sua interpretação do ambiente em que vivem. Isso permite orientar o planejamento e gestão urbana na aplicação de soluções para a redução desses riscos.

Para tanto, entrevistas individuais e grupos focais se mostram como importantes ferramentas para a pesquisa qualitativa. Esse tipo de pesquisa permite constatar fatos e identificar seu significado para os indivíduos, além de reconhecer possíveis condutas, pensamentos e sentimentos das pessoas e os fatores que os influenciam (Lakatos e Marconi, 2010).

Entrevistas individuais são uma forma valiosa de identificar valores compartilhados, inclusive negativos, e entender divergências existentes entre *stakeholders*, de acordo com Kati e Jari (2015). Os autores estudaram o conflito ambiental relacionado ao plano de manejo de águas pluviais de um córrego urbano, na Finlândia, e mostraram a importância de mapear os valores socioculturais de infraestrutura verde e azul de diferentes *stakeholders* para melhor definir um planejamento sustentável que atendesse a suas demandas.

As entrevistas semiestruturadas, uma categoria específica de entrevista, são constituídas principalmente por perguntas abertas, que podem ser permeadas por perguntas fechadas, mas que permite ao entrevistado discursar com liberdade sobre o assunto tratado (Minayo, 2008). Podem ser conduzidas como uma conversa informal, por meio de um roteiro previamente

definido, mas flexível. A discussão pode ser direcionada para o assunto de interesse por meio de perguntas adicionais, que podem contribuir para evitar digressões (Boni e Quaresma, 2005).

Esse tipo de entrevista se mostra vantajoso por ser acessível àqueles que têm dificuldade em responder questionários escritos, permitir esclarecimentos imediatos e possibilitar a discussão de assuntos delicados, visto que suscita uma aproximação entre entrevistador e entrevistado. Outra vantagem, levantada por Selltiz *et al.* (1987), é a possibilidade de utilizar recursos visuais, como fotografias, que podem contribuir para o entrevistado lembrar-se de questões relevantes ao assunto.

Os grupos focais, por sua vez, consistem em estimular e analisar a interação entre participantes a um questionamento por meio de uma discussão em grupo, ao invés de perguntar a mesma questão a cada um individualmente (Barbour, 2009). Para Dias (2000), os grupos focais devem consistir de 6 a 10 pessoas, de modo a garantir uma discussão produtiva em que todos se sintam à vontade e tenham tempo hábil para participar.

A escolha dos participantes deve considerar a construção de um grupo que apresente ideias e opiniões relevantes para a pesquisa. As reuniões devem contar com a presença de um moderador que direcione a discussão para o debate das questões de interesse. A utilização de grupos focais pode muitas vezes complementar a entrevista individual e até mesmo a perspectiva dos participantes (Boni e Quaresma, 2005).

4 METODOLOGIA

A metodologia realizada baseou-se na construção de diferentes cenários para a gestão territorial da bacia em termos de integração da TVA e sua avaliação social. Para tanto foram realizadas etapas que incluem o processo participativo junto aos *stakeholders*, voltado para questões ambientais, urbanísticas e de gestão de eventos; a caracterização física da bacia de estudo; o mapeamento institucional; e a comparação de cenários de simulação hidrológica para a implantação da TVA.

Desse modo, a análise realizada apresenta um foco qualitativo, resultante do mapeamento institucional e definição de regulamentações, e um foco quantitativo, pela determinação de variáveis hidrológicas simuladas (escoamento superficial, infiltração, evapotranspiração).

A Figura 18 mostra o esquema metodológico das etapas da pesquisa, que serão detalhadas nos itens a seguir.

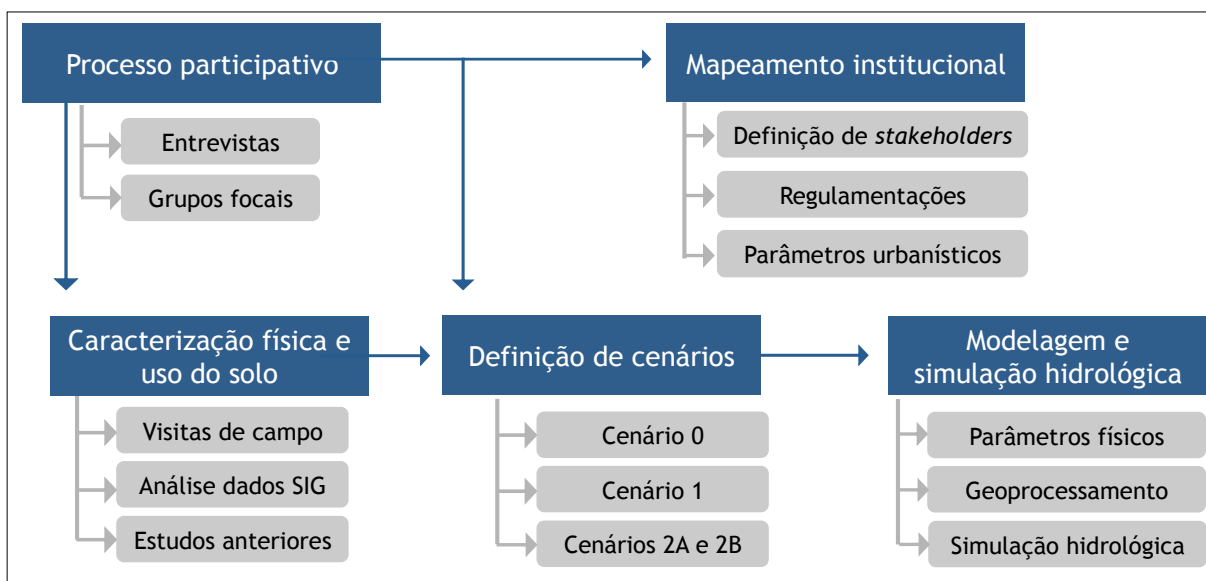


Figura 18 – Esquema metodológico da pesquisa.

4.1 Contextualização do projeto – estudo de caso

O desenvolvimento da metodologia se fez por meio de um estudo de caso, compreendendo a bacia do córrego Flor d'Água, que é uma sub-bacia do córrego Ressaca, por sua vez pertencente à bacia da Lagoa da Pampulha, na Região Metropolitana de Belo Horizonte (Figura 19).

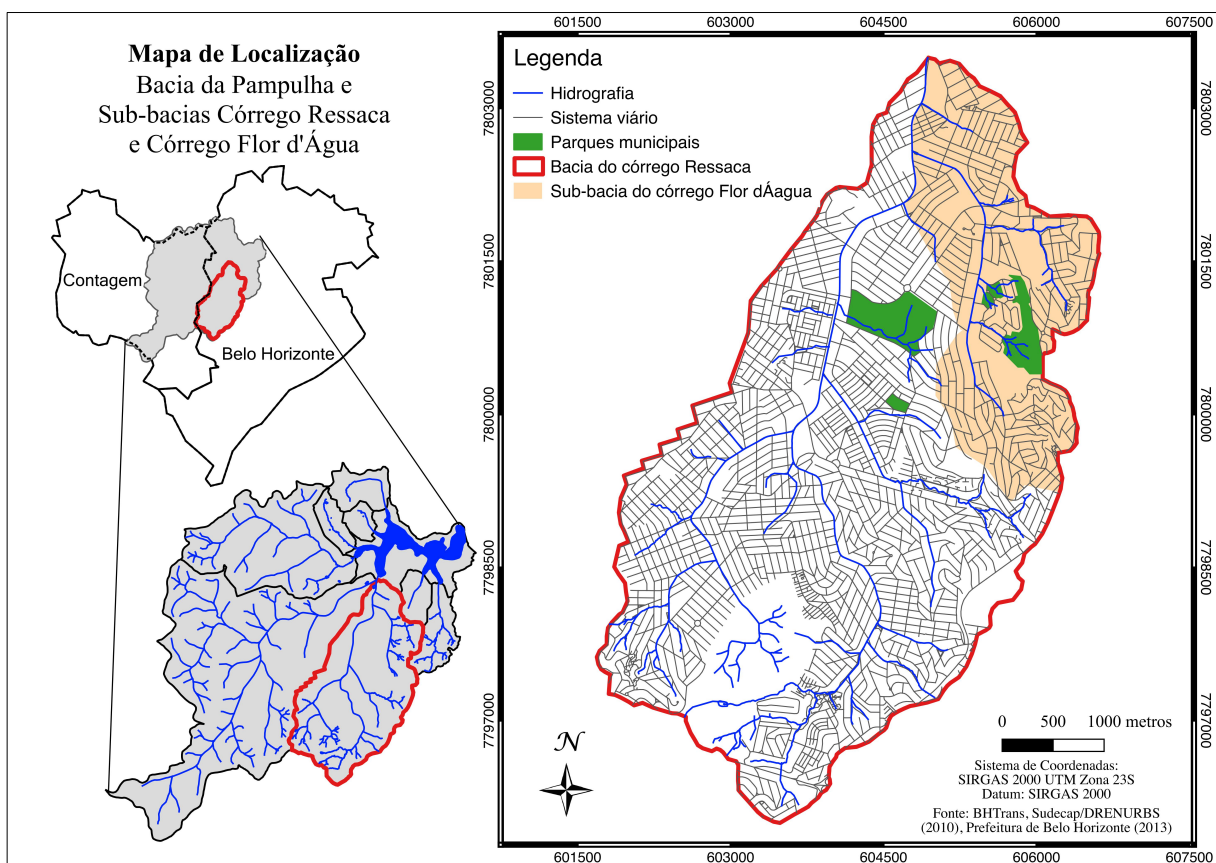


Figura 19 – Localização da área de estudo: bacia do Córrego Ressaca, com destaque para a sub-bacia do córrego Flor d'Água.

Essa área de estudo conta com uma extensa base de dados de trabalhos anteriores (Silva, 2014; Nogueira, 2015; Cândido, 2015; Nascimento *et al.*, 2016). O presente estudo dá continuidade a esses trabalhos, sendo parte de um projeto de pesquisa mais amplo cujo objetivo é avaliar a implementação da trama verde e azul e seus potenciais benefícios hidrológicos, ecológicos e sociais em uma escala metropolitana (Figura 20).

A Lagoa da Pampulha é de relevante importância histórica e urbanística para a cidade de Belo Horizonte. No entanto, é um corpo hídrico cuja qualidade é ameaçada devido às elevadas quantidades de assoreamento e poluição. Desse modo, o estudo do comportamento hidrológico da bacia do córrego Flor d'Água, como parte da bacia da Lagoa da Pampulha, assim como dos aspectos regulamentares aos quais está submetida, se mostra interessante na busca de sua recuperação e preservação.

Para o presente estudo, a definição de uso do solo e a modelagem hidrológica se restringiram à bacia córrego Flor d'Água, limitando a simulação das técnicas LID a essa região. A avaliação dos parâmetros urbanísticos, por sua vez, foi mais abrangente, englobando o córrego Ressaca, devido à atuação dos *stakeholders* entrevistados. Por vezes, o objeto de

estudo qualitativo foi também a bacia da Lagoa da Pampulha, cuja supervisão ultrapassa os limites municipais entre Belo Horizonte e Contagem.

A Figura 20 apresenta, dentre os componentes metodológicos, a análise por meio de sistemas de informação geográfica (SIG) nos quadros em vermelho. O uso de SIG é uma importante ferramenta que permite avaliar padrões de desenvolvimento urbano, caracterização de uso do solo e na definição de bacias hidrográficas, sendo assim de grande auxílio na construção da base da modelagem hidrológica.

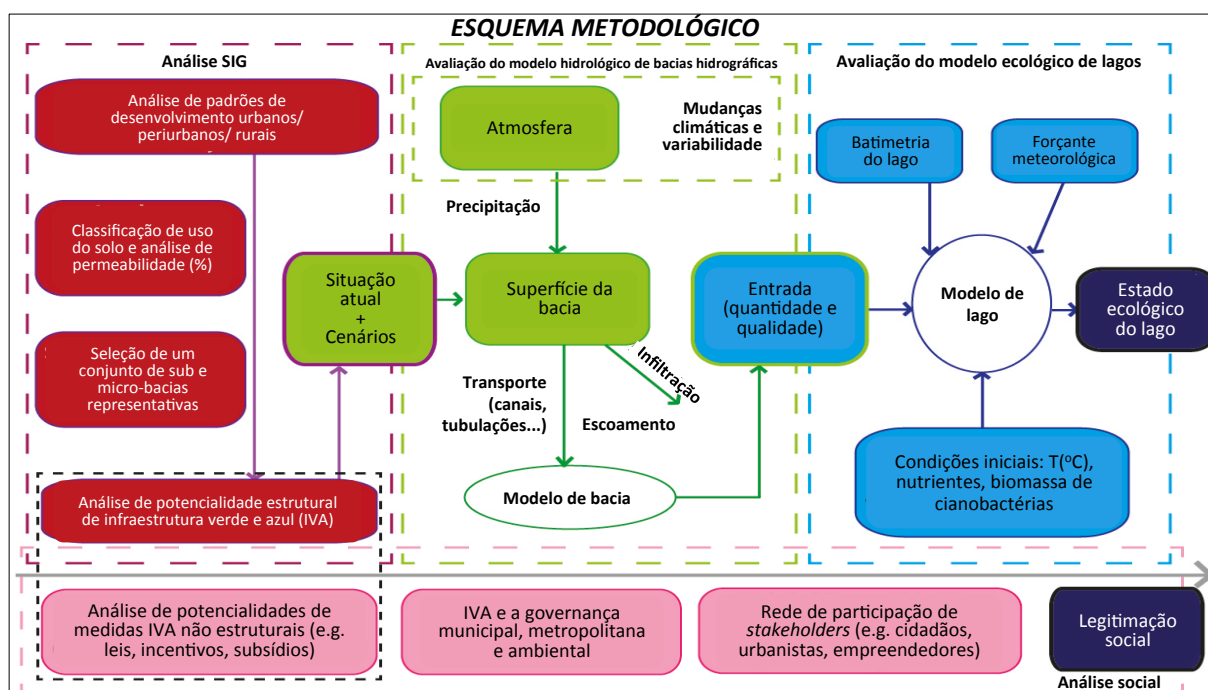


Figura 20 – Esquema metodológico do projeto trama verde e azul (adaptado de Nascimento *et al.* 2016).

Essa base de informações permite a comparação de cenários a serem avaliados do ponto de vista hidrológico, como apresentado nos quadros em verde (Figura 20). Essa análise leva em consideração os componentes do ciclo hidrológico, que frequentemente são afetados pelos processos de urbanização e cujas causas podem se relacionar a mudanças no uso do solo, mas também a fatores de maior escala, como mudanças climáticas e alterações nos padrões de precipitação, por exemplo. A avaliação do modelo ecológico de lagos (quadros azuis) é também uma vertente que pode ser explorada a partir do modelo de bacias, mas não foi objeto do presente estudo.

Por fim, nos quadros em rosa da Figura 20, são apresentados os componentes metodológicos voltados para a análise social, que permeiam todos os demais componentes do projeto. Com isso, o envolvimento de *stakeholders* na construção de cenários procura construir um

entendimento da trama verde e azul por meio da identificação de potencialidades, instrumentos e processos que atendam a legitimação social dessa proposta.

Nos tópicos a seguir serão apresentadas duas etapas metodológicas do presente trabalho que ocorreram simultaneamente: o diagnóstico da área de estudo e o mapeamento institucional. Em seguida será apresentada a metodologia realizada para a simulação hidrológica da TVA na bacia do córrego Flor d'Água.

4.2 Diagnóstico da área de estudo

A etapa de diagnóstico procurou determinar a situação atual da bacia do córrego Flor d'Água. Para tanto, consistiu em uma abordagem focada nas questões físicas e urbanísticas da bacia, identificando os aspectos de ocupação urbana e uso do solo, tipos de problemas ambientais enfrentados na região e determinação de áreas mais vulneráveis, principalmente em relação às áreas de risco de inundações, cuja ocorrência é frequente na região. Com isso, foi possível identificar os principais indicadores ambientais e urbanísticos, orientando a construção de tipologias na área de estudo.

Essa etapa envolveu o levantamento de dados de estudos anteriores e também da PBH, complementados pelas visitas de campo. A partir dessas informações foi realizado também um mapeamento preliminar de *stakeholders* que precedeu as demais etapas metodológicas.

4.2.1 Levantamento de dados e visitas de campo

As principais fontes consultadas para a caracterização da região foram literatura técnica e científica, coleta de dados de trabalhos anteriores e aquisição de novos dados relativos à caracterização urbanística da bacia, como o zoneamento da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Trabalhos anteriores na região da bacia do córrego Ressaca serviram de base principalmente para a modelagem hidrológica, como o trabalho de Cândido (2015) que utilizou o SWMM para modelagem hidrológica dessa bacia. A partir das sub-bacias definidas pela autora relativas ao córrego Ressaca, foram selecionadas aquelas contribuintes do córrego Flor d'Água somente, que é um de seus afluentes e objeto de estudo desse trabalho. O modelo, já calibrado e validado pela autora, foi simplificado para atender à simulação apenas desse talvegue, utilizando os mesmos parâmetros de largura, área, declividade, coeficiente de Manning, profundidade de armazenamento e tempo seco de cada sub-bacia definidos pela autora.

A imagem de satélite da região, em escala 1:2000 (Globalgeo, 2015), foi adquirida no âmbito da tese de doutoramento de Lorena Gutierrez no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG. A análise dessa imagem e outras bases de informação permitiram produzir vários mapas temáticos sobre a bacia do córrego Ressaca, como mapa de declividades, sistema viário, áreas vegetadas, tamanho de lotes e definição de áreas públicas e privadas com potencial para o emprego de soluções do tipo infraestrutura verde e azul, em sua maioria em formato *shapefile* (Nascimento *et al.*, 2016). A partir da página na internet da Prefeitura de Belo Horizonte (PBH), foram coletados o limite das divisões regionais, a divisão administrativa dos bairros e o zoneamento da cidade segundo o Plano Diretor de 2015.

As visitas de campo foram realizadas para acrescentar informações e contribuir com a familiarização e ambientação da pesquisadora à área de estudo, com foco na caracterização da bacia do córrego Flor d'Água. Essas visitas permitiram o melhor reconhecimento da área e aquisição de documentação fotográfica dos padrões viários, tipos de edificações, estado dos cursos d'água, parques e praças, arborização de vias e outros, com o intuito de caracterizar as condições dos corpos hídricos, áreas verdes e construções, principalmente em relação aos aspectos urbanísticos e ambientais.

Simultaneamente ao levantamento de dados, buscou-se a construção do mapeamento institucional e a identificação dos principais *stakeholders* da bacia do córrego Flor d'Água, procurando levantar, dentro da atual estrutura organizacional, as interfaces de atuação dos órgãos e suas potencialidades frente a questões de uma possível implantação da TVA.

4.2.2 Mapeamento preliminar de *stakeholders*

Foi realizada a princípio uma investigação da estrutura de governo da Prefeitura de Belo Horizonte, principalmente por meio de documentos e publicações presentes na página da internet da PBH, como o organograma que define a estrutura hierárquica dos diferentes órgãos (PBH, 2017). Conjuntamente, foram identificadas as principais competências desses órgãos e se estes poderiam estar relacionados às eventuais demandas da inserção de trama verde e azul, segundo seus aspectos regulamentares, de concepção e projeto, de financiamento, de implantação e manutenção.

Buscou-se distinguir os órgãos cujas competências eram de abrangência municipal, ou seja, que atuam em todo o município de Belo Horizonte, ou regional, restritos à área de interesse inserida na regional Pampulha. Com isso foram identificados os órgãos e seus respectivos

representantes-chave que poderiam contribuir com o trabalho. Esse levantamento permitiu o início dos contatos com membros do setor público, que em sequência foi refinado para gestores mais atuantes na região da bacia do córrego Flor d'Água por meio de sugestões dos próprios participantes, metodologia também conhecida como “bola de neve”.

Essa metodologia se utiliza de um primeiro conjunto de participantes para obter a indicação de novos potenciais entrevistados e, por essa razão, apresenta riscos inerentes que devem ser observados. As indicações dos participantes para entrevistas subsequentes podem estar conectadas a pessoas com linhas de pensamento similares, levando a respostas convergentes e, com isso, reduzindo a possibilidade de obter pontos de vistas mais diversificados. Dessa forma, foi dada atenção às indicações de entrevistas e procurou-se incluir participantes com diferentes atuações na bacia. Esses participantes foram incluídos na avaliação da implantação de técnicas LID em áreas públicas.

Também foram obtidas indicações de representantes da sociedade civil que atuam com frequência nas diversas questões sociais da área de estudo, que foram incluídos na avaliação da implantação de técnicas LID em áreas privadas. Os demais participantes incluídos nessa avaliação foram selecionados durante as visitas de campo, cuja metodologia será detalhada no próximo item.

Esses *stakeholders* foram convidados a participar da pesquisa por meio de entrevistas e compartilhar sua perspectiva em relação à implantação da trama verde e azul.

4.3 Mapeamento institucional e de stakeholders

Paralelamente à etapa de diagnóstico, foi realizado o mapeamento institucional, procurando descrever as características regulamentares às quais a região de estudo está submetida, por meio de consulta a normas e legislações pertinentes. Esse mapeamento ocorreu de forma interativa, simultaneamente à primeira etapa metodológica, com o apoio de *stakeholders* selecionados que alimentaram a definição do mapeamento durante as entrevistas e grupos focais, que serão detalhados a seguir.

4.3.1 Entrevista individual e grupos focais com *stakeholders*

O primeiro contato com os *stakeholders* foi realizado por meio de entrevistas individuais semiestruturadas. Essas entrevistas tiveram como propósito agregar informações a respeito da caracterização da região e dos problemas ambientais mais evidentes, conhecer os pontos de vista individuais de diferentes *stakeholders* sobre as questões ambientais e urbanísticas da

área e descrever as interações organizacionais existentes entre eles. Procurou-se ainda identificar quais os tipos de limitações e barreiras organizacionais que dificultariam a implantação da TVA.

Essa etapa procurou contribuir também para a aproximação da pesquisadora junto aos participantes, na construção da confiança entre o entrevistador e entrevistados. Foram realizadas dois tipos de entrevistas com diferentes focos:

- Uma voltada para a implantação de LID em áreas privadas; foi realizada com moradores da região, com foco na caracterização física e urbanística da área e em suas experiências pessoais; também foram abordadas as impressões a respeito da proposta da TVA. O roteiro para essa entrevista está apresentado no Apêndice A;
- A segunda voltada para a implantação de LID em áreas públicas; essa entrevista teve como foco o mapeamento institucional e a identificação das atuais competências das instituições relativas à trama verde e azul; foram entrevistados membros de equipes técnicas de instituições do setor público. O roteiro para essa entrevista está apresentado no Apêndice B.

Deve-se atentar que, por serem entrevistas semi-estruturadas, as perguntas apresentadas nos roteiros serviram de base para a entrevistadora, mas a ordem dos temas poderia sofrer alterações de acordo com a conversa e os entrevistados poderiam se expressar livremente em suas próprias palavras cada uma das questões que julgassem mais importantes (Kati e Jari, 2015).

A inspiração para as perguntas sugeridas possui diversas fontes, como o diagnóstico do Plano de Reabilitação do Hipercentro de Belo Horizonte (PBH, 2007), os estudos de Kati e Jari (2015), O'Donnell *et al.* (2017), Raymond *et al.* (2016) e Shvasberg (2015). Os objetivos de cada grupo de perguntas estão detalhados nos Apêndices A e B.

As entrevistas foram gravadas para posterior compilação e avaliação pela pesquisadora, por meio de análise de conteúdo, da qual foram extraídos os resultados dessa etapa metodológica.

Quando possível, as entrevistas voltadas para as áreas privadas foram substituídas por grupos focais, em que as perguntas foram direcionadas para diversos participantes a fim de obter uma maior variedade de informações por meio de um processo único. Como os grupos focais foram realizados após as entrevistas individuais, as perguntas foram mais objetivas, com o

intuito de obter a discussão voltada para as questões da TVA sem dispersão dos participantes. O roteiro utilizado nos grupos focais está apresentado no Apêndice C.

A Tabela 1 detalha as entrevistas e grupos focais realizados para cada setor.

Tabela 1 – Entrevistas e grupos focais realizados.

Área	Metodologia	Instituições
Pública	Entrevistas individuais	SUDECAP (1)
		PROPAM (1)
		COPASA (1)
Área	Metodologia	Número de participantes
Privada	Entrevistas individuais	6
	Grupo focal 1	3
	Grupo focal 2	6

A seleção dos participantes relacionados a áreas públicas ocorreu durante o mapeamento institucional, como descrito no item anterior. Já a definição dos participantes relacionados a áreas privadas ocorreu durante as visitas de campo. Essas visitas foram norteadas principalmente a partir da carta de inundação de Belo Horizonte, em que foram identificadas áreas de risco à inundações, como os bairros Conjunto Lagoa e Ouro Preto.

Por outro lado, buscou-se também conversar com moradores fora das áreas de risco de inundações, tendo sido selecionados moradores dos bairros Castelo e Vila Jardim Alvorada. A seleção de participantes moradores desses bairros teve como intuito obter respostas diversificadas em relação à caracterização urbanística e ambiental que foi realizada concomitantemente.

Nesses encontros, procurou-se analisar os obstáculos à implantação da TVA e foram discutidas possíveis barreiras existentes, além da proposição de ideias dos participantes para superá-las. Com isso, foram registradas as percepções dos diferentes *stakeholders* sobre a aceitabilidade TVA e levantados subsídios para a construção de cenários.

Em um primeiro momento das entrevistas e grupos focais, os registros fotográficos obtidos nas visitas de campo e mapas da região foram apresentados com o intuito de ilustrar a caracterização atual da bacia do córrego Flor d'Água. Em seguida, foram apresentados os

conceitos da TVA e as propostas de implementação para a bacia do córrego Flor d'Água, incluindo as técnicas SuDS/IV e alguns dos parâmetros ambientais identificados.

Os registros fotográficos realizados por Nascimento *et al.* (2016) e alterados com o auxílio do *software* ADOBE Photoshop®, ilustram possíveis soluções urbanísticas de implantação TVA em diversas áreas da bacia e foram utilizadas nos encontros com os *stakeholders* para exemplificação visual.

Como esta é uma pesquisa que envolve entrevistas e grupos focais com membros de instituições e da sociedade civil, o projeto de pesquisa foi submetido à avaliação do Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG (COEP).

4.3.2 Regulamentações e parâmetros urbanísticos

A fim de identificar a base regulamentar à qual a região de estudo está submetida foi realizada uma consulta a legislações e regulamentações existentes, incluindo:

- o Plano Diretor de Belo Horizonte (Lei nº 7165/96) por meio da identificação dos aspectos gerais que abordam toda a RMBH, assim como daqueles específicos à área de estudo, inserida na bacia da Pampulha, incluindo questões como arborização, áreas de proteção e recuperação, impermeabilização do solo, saneamento, drenagem, entre outros;
- a Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo (Lei no 7166/96) e alterações (Lei no 8137/2000; Lei 9959/2010), a fim de identificar, entre outros aspectos, o zoneamento correspondente à bacia do córrego Ressaca e as respectivas diretrizes que a lei estabelece para cada uma dessas zonas, assim como a determinação de áreas de preservação;
- a Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem Urbana do Município de Belo Horizonte (PBH, 2004), para determinação dos parâmetros hidrológicos que devem ser atendidos pelos sistemas de drenagem;
- O Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da RMBH (UFMG, 2011), principalmente no Eixo Sustentabilidade, que se refere às interações institucionais relativas à gestão de recursos hídricos na RMBH, proteção dos cursos d'água, saneamento e conservação ambiental;
- Outras diretrizes e documentos que englobam os critérios referentes às questões ambientais e urbanísticas dentro da região da bacia do córrego Ressaca, como o

Código de Posturas do Município de Belo Horizonte (Lei no 8616/03) e o Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte (PBH, 2015).

Algumas publicações da PBH também serviram de auxílio na caracterização da bacia do córrego Flor d'Água. Importantes instrumentos de consulta foram a carta de inundação de Belo Horizonte, cuja última atualização encontrada refere-se ao ano de 2013, o Macrozoneamento da Região Metropolitana de Belo Horizonte e o relatório da IV Conferência Municipal de Política Urbana, que altera a legislação de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo.

A análise desses documentos procurou esclarecer quais aspectos já são abordados nas regulamentações e o que ainda pode ser proposto. Também permitiu avaliar possíveis dificuldades e barreiras, formais e informais, à trama verde e azul na bacia do córrego Flor d'Água, assim como os parâmetros urbanísticos que podem contribuir para a implantação da TVA de forma efetiva. Juntamente com a colaboração dos *stakeholders*, procurou-se delinear ferramentas e ações a fim de superar essas barreiras.

4.3.3 Definição de cenários de simulação hidrológica

A avaliação da trama verde e azul na bacia do córrego Flor d'Água foi realizada por meio da comparação de cenários, construídos de acordo com a análise física e urbanística do território, aspectos regulamentares e parâmetros ambientais identificados.

Em relação aos parâmetros e instrumentos urbanísticos, foram identificados aqueles já existentes na área de estudo que poderiam contribuir para a construção da TVA ou foram propostos novos que se mostraram relevantes. Por outro lado, do ponto de vista hidrológico, os cenários foram diferenciados por meio de variações no uso do solo e associações de técnicas LID em diferentes níveis de acordo com o proposto em cada um dos cenários.

4.3.3.1 Cenário 0 - Urbanismo atual

Esse cenário correspondente à situação atual da bacia do córrego Flor d'Água, resultante da realização do diagnóstico e levantamento do uso do solo atual.

A modelagem hidrológica do cenário 0 apresenta os impactos da urbanização no ciclo hidrológico por meio da avaliação do escoamento superficial resultante no exutório da bacia simulada no SWMM, de acordo com os usos do solo identificados para esse cenário.

4.3.3.2 Cenário 1 – Proposto segundo princípios da TVA

O *cenário 1, Proposto segundo princípios da TVA*, apresenta um cenário hipotético, contemplando a implantação da TVA na bacia do córrego Flor d'Água.

Para este cenário, a inserção de técnicas LID foi prevista com 100% de aplicação para as áreas identificadas em cada tipologia, com exceção de ruas e estradas que devido a condições locais de permeabilidade do solo não foram associadas a nenhuma técnica.

Esse é um cenário teórico que não considerou descontinuidades dos usos ou condições físicas limitantes para a implantação das técnicas, mas apenas avaliou os benefícios caso todas as áreas disponíveis fossem associadas a medidas de baixo impacto, por meio da associação de áreas correspondentes em cada sub-bacia.

4.3.3.3 Cenário 2 – Implantação parcial da TVA

O *cenário 2, implantação parcial da TVA*, também se baseia em circunstâncias hipotéticas, considerando a implantação em áreas públicas ou privadas com o intuito de quantificar isoladamente os benefícios da implantação da TVA nessas duas esferas por meio de técnicas LID. O cenário foi dividido em: áreas privadas (2A) e áreas públicas (2B).

O cenário 2A consistiu na construção da modelagem hidrológica simulando a implantação de técnicas somente nas áreas privadas e residenciais, com as técnicas de reservatórios individuais, telhados verdes e jardins de chuva. O cenário 2B, por sua vez, considerou a implantação de técnicas somente em áreas públicas (cenário 2B), por meio da implantação das técnicas de arborização e células de biorretenção. A escolha dessas técnicas para ambos os cenários seguiu os critérios recomendados por Nascimento *et al.* (2016).

Da mesma forma que simulado para o cenário 1, a inserção de técnicas LID não considerou descontinuidades dos usos ou condições físicas limitantes para a implantação das técnicas, focando apenas nos benefícios hidrológicos da associação das áreas a técnicas de baixo impacto.

4.4 Simulação da TVA pela implantação de técnicas LID

A avaliação dos benefícios da trama verde e azul sob a perspectiva hidrológica foi realizada por meio de simulação hidrológica da bacia do córrego Flor d'Água e sua eficiência foi avaliada por meio da comparação de três cenários. Os itens a seguir descrevem as etapas metodológicas que permitiram a simulação desses cenários.

O uso do solo e parâmetros físicos da bacia foram processados com o auxílio do software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) Quantum GIS (QGIS versão 2.16.3–Nødebo) que foi utilizado para a construção de tipologias de áreas homogêneas por meio da sobreposição das camadas: uso do solo, sistema viário, tamanho de lotes, declividade, lotes públicos/privados. A modelagem hidrológica foi realizada por meio do software SWMM (*Storm Water Management Model*), versão 5.1.011, da *Environmental Protection Agency* (EPA-USA), para cada um dos cenários, a fim de quantificar os benefícios da implantação da TVA pela determinação de variáveis hidrológicas simuladas (escoamento superficial, infiltração, evapotranspiração).

4.4.1 Parâmetros físicos e ambientais

Após a realização do diagnóstico, na primeira etapa metodológica, buscou-se determinar quais dos parâmetros expostos são concernentes com a região de estudo. Inicialmente, aqueles já existentes na região foram selecionados e avaliados. Quando pertinente, procurou-se identificar quais as barreiras à sua efetivação e correspondente proposição de soluções para superá-las.

Foram levantados alguns parâmetros ainda não aplicados, mas com potencial para serem implantados na região de estudo. Espera-se que com a proposição desses parâmetros, possam ser alcançados objetivos específicos voltados para a concretização da trama verde e azul, como aumento da arborização da cidade, tanto de áreas privadas quanto públicas, redução dos impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico, em quantidade e qualidade de água, redução de riscos de inundações e seus impactos econômicos e sociais.

Nessa avaliação procurou-se observar a adequação das áreas a parâmetros sugeridos e regulamentações pré-estabelecidas, que buscam melhorar a qualidade ambiental e de vida da bacia. Com isso, pretendeu-se definir uma TVA capaz de trazer melhorias ambientais e urbanísticas à região do córrego Flor d'Água.

4.4.2 Geoprocessamento e definição de tipologias de áreas homogêneas

As informações levantadas serviram de base para a construção do uso do solo na bacia do córrego Flor d'Água correspondente aos usos de cada cenário. Para tanto, a imagem de satélite (Globalgeo, 2015) e visualizações do Google Earth foram utilizadas como base para validação dos tipos de uso e serão apresentadas junto aos resultados. Uma vez definido, o uso do solo juntamente com os demais arquivos em formato *shapefile*, foram adicionados ao

software QGIS, onde são representados por camadas individuais com os seus respectivos dados incorporados.

Essas camadas foram cruzadas de modo a obter uma camada única, que carrega as informações de interesse para avaliação ambiental e urbanística da área estudo. Cada uma das informações cruzadas representa parâmetros critérios necessários para a escolha das diferentes técnicas, como área de lotes e de telhados, tipologias de telhados e de vias, parques e praças, vegetação em áreas públicas e outros, conforme realizado por Romnée *et al.* (2015).

Essa intersecção, ilustrada na Figura 21, permitiu a sobreposição de informações geograficamente, levando à definição das tipologias em cada área e à escolha das técnicas mais adequadas segundo os critérios propostos por Nascimento *et al* (2016).

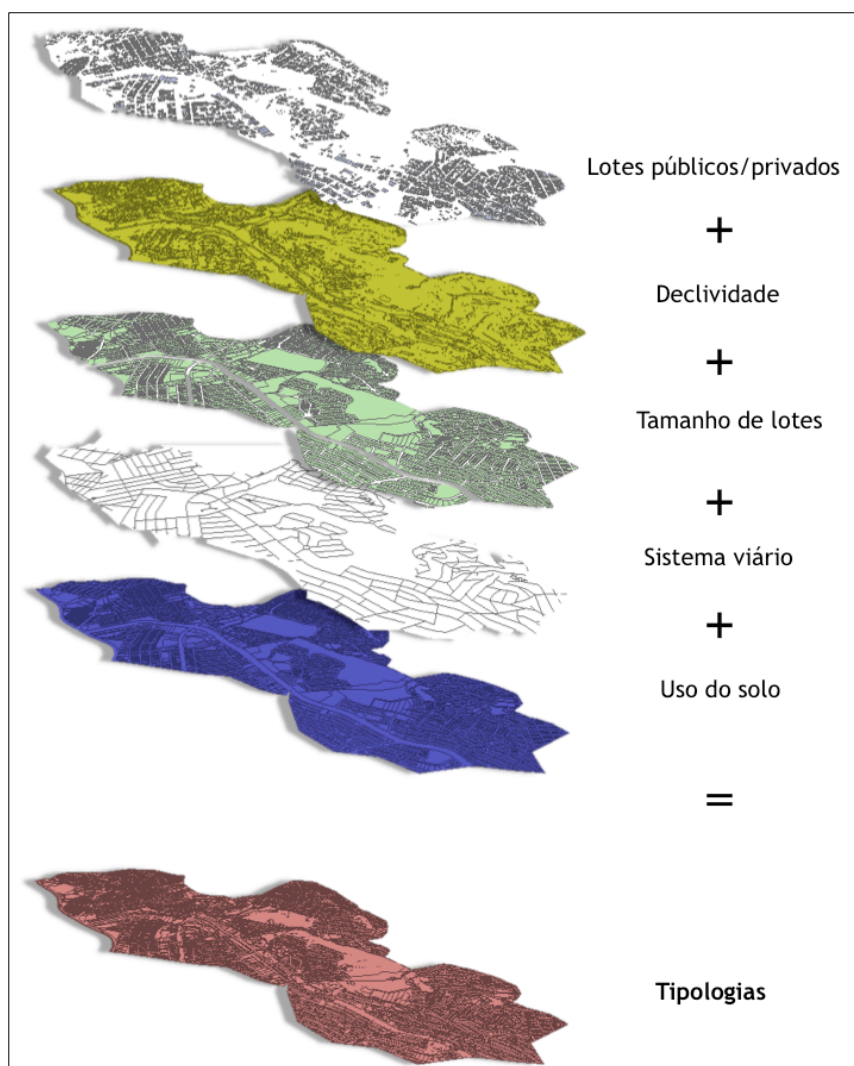


Figura 21 – Cruzamento de camadas no QGIS e definição de tipologias na bacia do córrego Flor d'Água.

Esses critérios estão apresentados nas Figuras de 22 a 26 para áreas públicas, e nas Figuras 27 e 28 para áreas privadas. São apresentadas tipologias para vias locais, coletoras, arteriais, calçadas, canteiros centrais e rotatórias, parcelamentos residenciais e comerciais, de acordo com as características físicas das possíveis áreas de implantação. Respectivamente são apresentadas as técnicas LID mais adequadas para cada tipologia, de acordo com Nascimento *et al.* (2016).

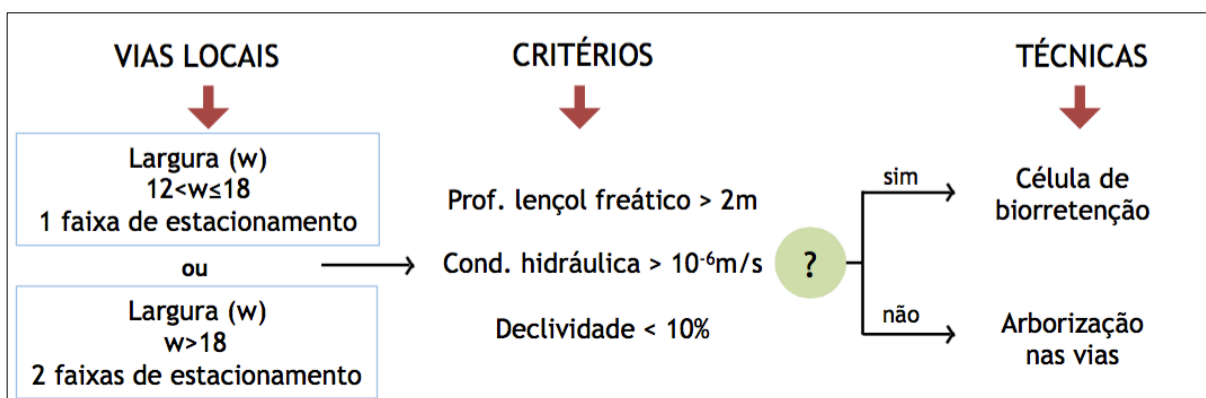


Figura 22 – Tipologias de vias locais para a escolha de técnicas LID.

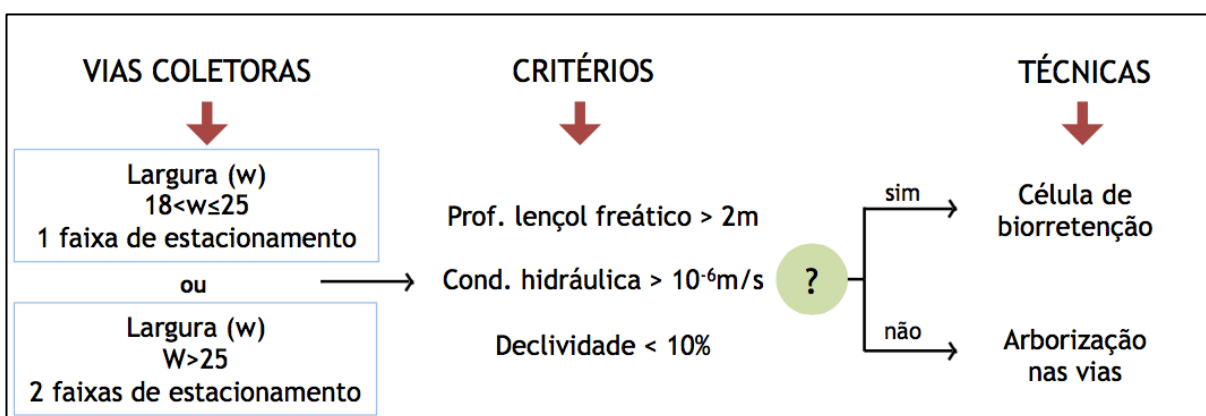


Figura 23 – Tipologias de vias coletoras para a escolha de técnicas LID

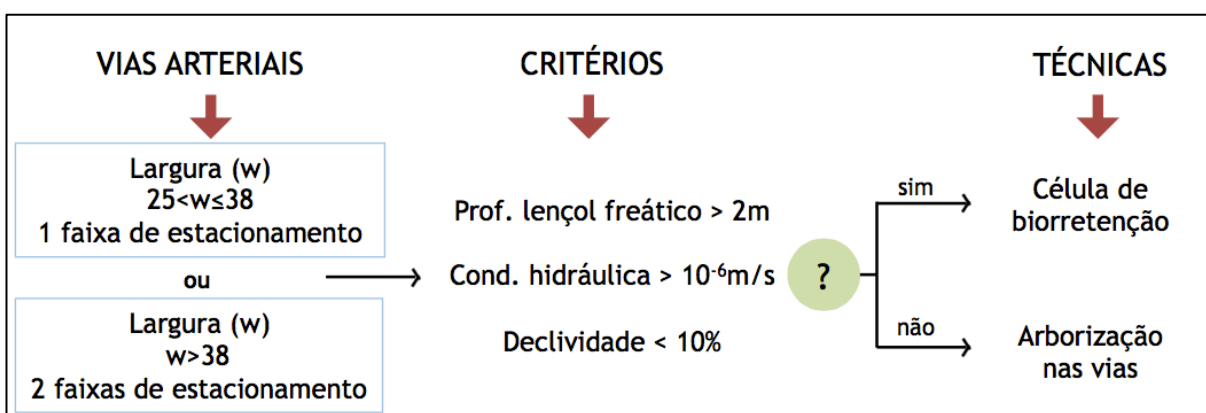


Figura 24 – Tipologias de vias arteriais para a escolha de técnicas LID.

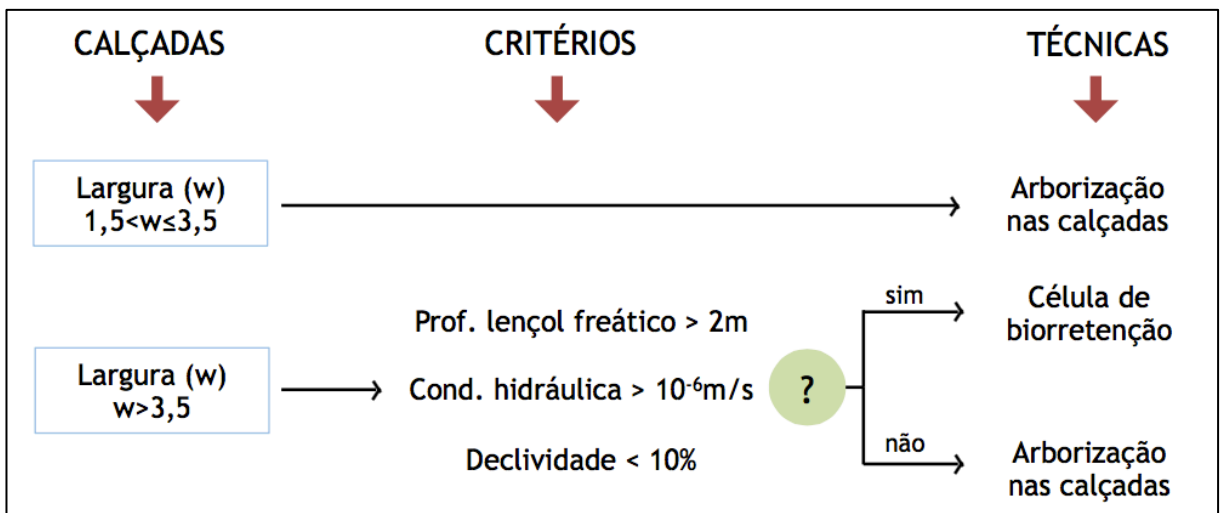


Figura 25 – Tipologias de calçadas para a escolha de técnicas LID.

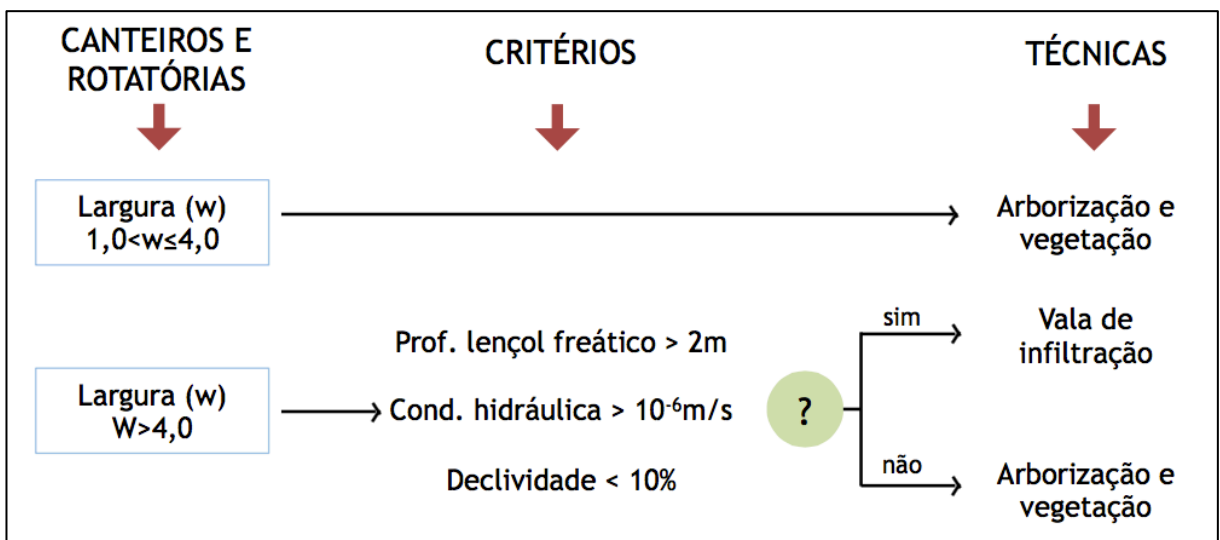


Figura 26 – Tipologias de canteiro central e rotatórias para a escolha de técnicas LID.

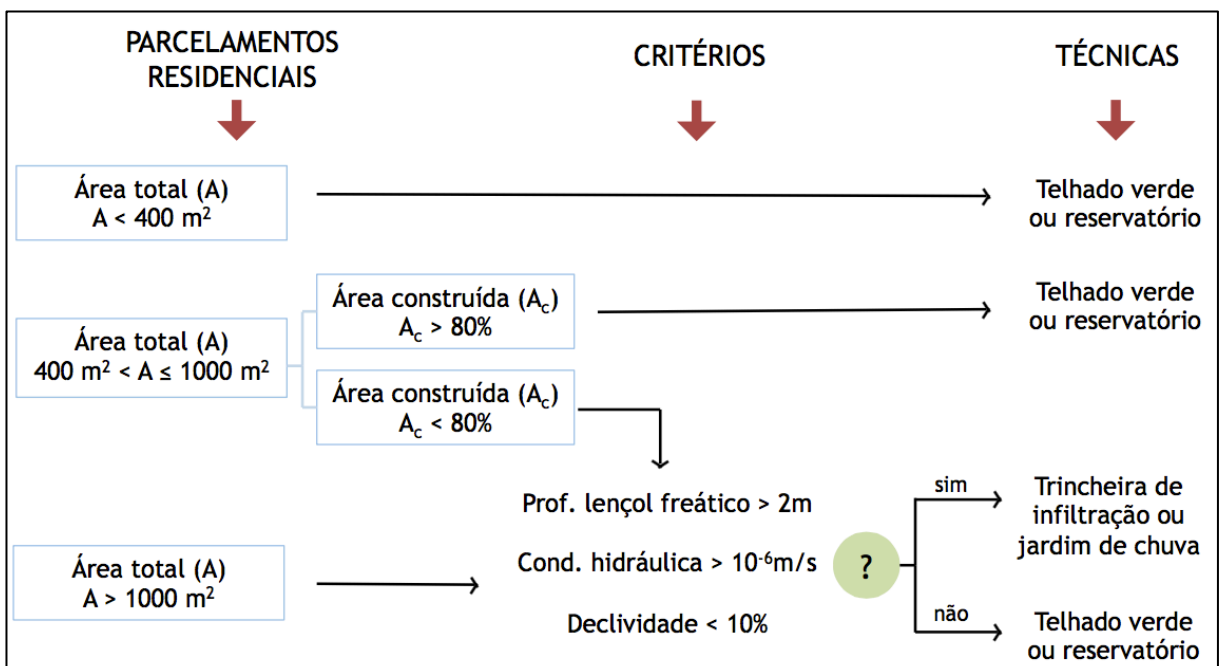


Figura 27 – Tipologias de parcelamentos residenciais para a escolha de técnicas LID.

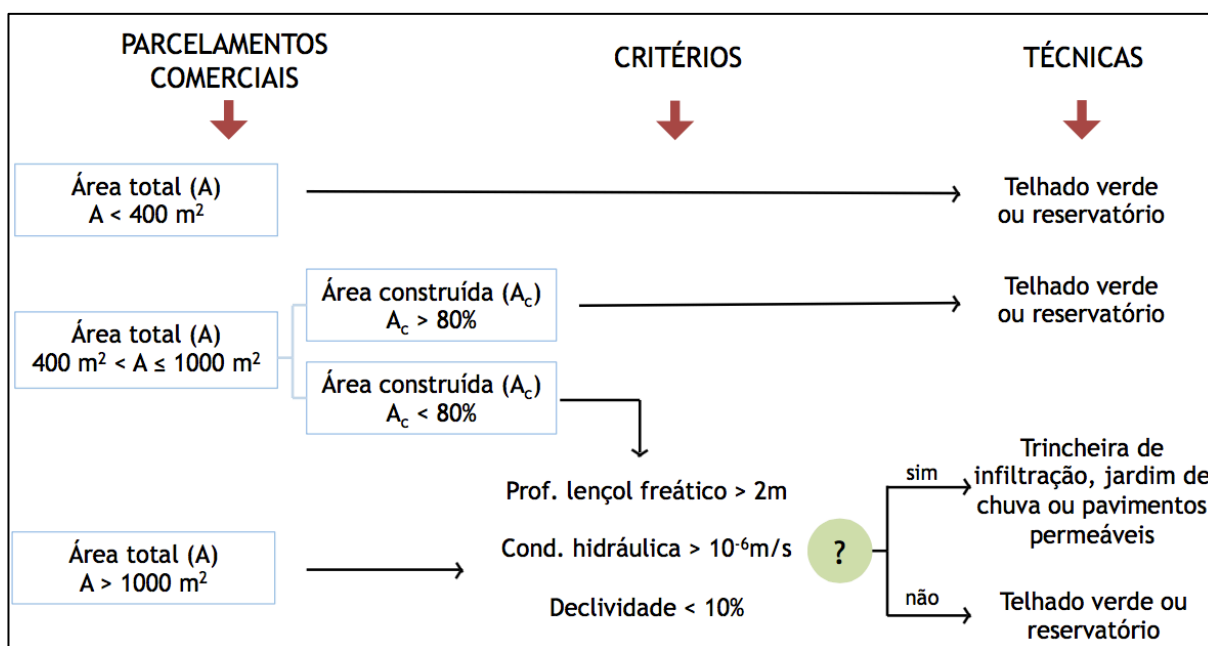


Figura 28 – Tipologias de parcelamentos comerciais para a escolha de técnicas LID.

Nesse procedimento, apenas os parques e áreas verdes identificados no uso do solo não foram considerados para a implantação de LID na área das sub-bacias por meio do SWMM, por se entender que sua preservação é de maior contribuição à trama verde e azul do que possíveis intervenções com técnicas de baixo impacto.

4.4.3 Modelagem hidrológica

Uma vez definido o uso do solo, foi estimado para cada tipo de uso o parâmetro do *curve number* (CN), do *Natural Resources Conservation Service* (NRCS), que é uma das entradas da simulação hidrológica no *software* SWMM para o cálculo da chuva efetiva. Essa metodologia, que estima o excesso de precipitação a partir da altura de chuva, é largamente utilizada em hidrologia (Woodward *et al.*, 2002).

Os valores de CN escolhidos, apresentados na Tabela 2, tomaram como base a classificação de Tucci (2002), para solos tipo B, grupo de solo correspondente à região da bacia do córrego Flor d'Água, de acordo com Ramos (1998). Estes são solos arenosos pouco profundos e com baixo teor de argila total, inferior a 15% que indicam uma permeabilidade superior à média.

Tabela 2 – Valores de CN para as classes de uso do solo pertencentes ao grupo B (Fonte: Tucci, 2002).

Classes de uso do solo	CN
Campo	58
Floresta densidade baixa	55
Espaços abertos, gramados, parques, cemitérios, grama $> 75\%$	61
Distritos industriais	88

Classes de uso do solo	CN
Telhado (Residencial) acima 1000 m ²	70
Telhado (Residencial) 1000 a 400 m ²	75
Telhado (Residencial) abaixo 400 m ²	85
Ruas e estradas	98

O QGIS foi utilizado para atribuição dos valores de CN para cada classe de uso do solo e obtenção das áreas correspondentes a cada classe. Como o SWMM utiliza um valor único de CN por sub-bacia, foi necessário realizar uma ponderação dos usos existentes em cada uma para inserção no modelo como parâmetro de entrada.

4.4.3.1 Simulação contínua

Para este trabalho, a base da modelagem hidrológica foi construída por Cândido (2015) a partir do software SWMM. A autora realizou a delimitação das sub-bacias de contribuição da bacia do córrego Ressaca e inserção do cadastro da rede de macrodrenagem da região, por meio da alocação de nós e condutos no software. Essas informações são fundamentais para simulação de cenários e inserção de técnicas IV a partir de um cenário inicial, já calibrado.

A simulação contínua foi realizada a partir da entrada de dados de chuva diária para o período de janeiro a junho de 2013. A precipitação utilizada foi obtida por Cândido (2015), elaborada a partir da estação linimétrica de número 17, que faz parte do Programa de Monitoramento Hidrológico e Alerta Contra Inundações do Município de Belo Horizonte (PBH, 2014). Essa estação se localiza a jusante da confluência dos córregos Ressaca e Flor d'Água, em uma área que frequentemente sofre inundações.

A simulação das técnicas LID no SWMM foi realizada com a inserção de várias técnicas por sub-bacia. Essa metodologia considera o funcionamento das técnicas em paralelo e de maneira independente umas das outras. Para tanto, de acordo com o Manual (SWMM, 2012), é necessário realizar um ajuste nas propriedades da bacia em relação ao percentual de área impermeável que será ocupado pelas técnicas em cada sub-bacia (Figura 29). Essa alteração foi realizada por meio da variação do parâmetro %IMPERV, característico de cada sub-bacia.

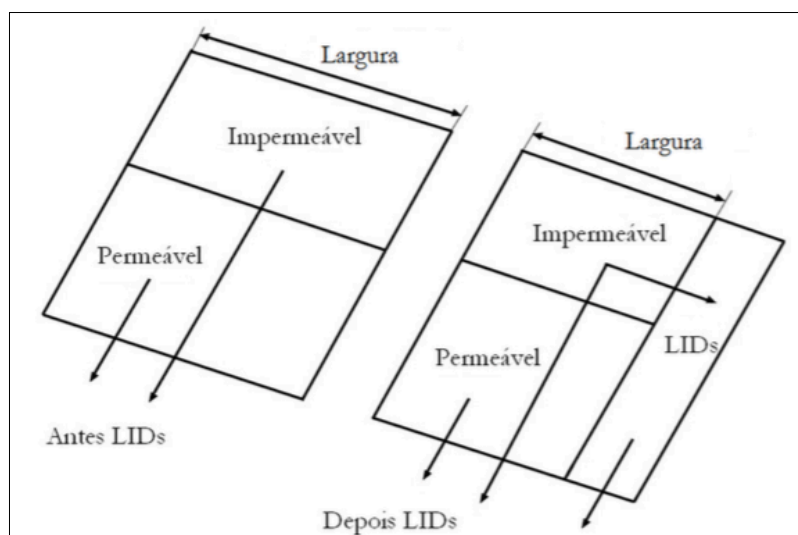


Figura 29 – Ajuste dos parâmetros das sub-bacias devido à inserção de técnicas LID ao modelo (Fonte: SWMM, 2012).

Os parâmetros das técnicas no SWMM foram definidos segundo o levantamento realizado por Nogueira (2016)¹. O *software* associa informações como profundidade de armazenamento, rugosidade superficial, declividade e infiltração para cada uma das técnicas LID presentes no modelo. Essas informações, apresentadas na Tabela 3, foram associadas somente para os cenários 1 e 2, tendo em vista que o cenário 0 não prevê técnicas LID na bacia de estudo.

Tabela 3 – Parâmetros de entrada para definição das técnicas LID no SWMM (Nogueira, 2016).

Parâmetros		Técnicas LID			
Componentes	Variável	Célula de biorretenção (Bio-Retention Cell)	Reservatório individual (Rain Barrel)	Jardim de chuva (Rain Garden)	Telhado verde (Green Roof)
Camada superficial	Profundidade de Armazenamento (mm)	150		150	100
	Fração do Volume Vegetado	0,2		0,2	0,2
	Rugosidade Superficial (Manning n)	0		0	0,4
	Declividade Superficial (%)	0		1	1
Camada de solo	Espessura (mm)	600		600	100
	Porosidade	0,4		0,4	0,4
	Capacidade de Campo	0,244		0,244	0,244
	Ponto de Murcha	0,136		0,136	0,136
	Condutividade (mm/h)	1,5		1,5	1,5
	Inclinação da condutividade	10		10	10
	Carga de Sucção	218,5		218,5	218,5
Camada de armazen-	Espessura/Altura do Reservatório (mm)	400	1000		

¹ Nogueira, M.M. (Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos – Escola de Engenharia, UFMG. Comunicação Pessoal, 2016).

² O questionário pode sofrer alterações ao longo da etapa de entrevistas, de acordo com a participação no Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG

Parâmetros			Técnicas LID	
mento	Taxa de Vazios	0,6	-	
	Taxa de Infiltração (mm/h)	1,5	-	
	Fator de Colmatação	36	-	
Sistema de drenagem	Coef. e Expoente de drenagem	0,6	0,6	
	Posição do dreno a partir do fundo (mm)	50	0	
	Tempo de retardo	-	12	
Colchão drenante	Espessura (mm)			3
	Fração de Vazios			0,5
	Rugosidade			0,1

Para o caso da implantação de arborização em vias públicas, como esta técnica não é simulada pelo SWMM, a contribuição hidrológica foi considerada considerando um acréscimo na permeabilidade da bacia por meio da alteração do parâmetro CN das áreas que receberiam essa intervenção.

4.4.3.2 Simulação por eventos

Para realização da modelagem por eventos, foi utilizada a metodologia apresentada por Pinheiro e Naghettini (1998) aplicada à Região Metropolitana de Belo Horizonte. Os autores apresentaram os quantis adimensionais regionais para diversas durações e períodos de retorno, apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Quantis adimensionais $\mu_{T,d}$ correspondentes a probabilidades anuais de Gumbel (Fonte: Pinheiro e Naghettini, 1998).

DURAÇÃO (horas)	Tempo de retorno (anos)							
	1,05	1,25	2	10	20	50	100	200
0,167	0,691	0,828	1,013	1,428	1,586	1,791	1,945	2,098
0,25	0,695	0,83	1,013	1,422	1,578	1,78	1,932	2,083
0,5	0,707	0,836	1,013	1,406	1,557	1,751	1,897	2,043
0,75	0,69	0,827	1,013	1,430	1,589	1,795	1,949	2,103
1	0,679	0,821	1,014	1,445	1,610	1,823	1,983	2,143
2	0,683	0,823	1,014	1,439	1,602	1,813	1,97	2,128
3	0,679	0,821	1,014	1,445	1,610	1,823	1,983	2,143
4	0,688	0,826	1,013	1,432	1,591	1,798	1,953	2,108
8	0,674	0,818	1,014	1,451	1,618	1,834	1,996	2,157
14	0,636	0,797	1,016	1,503	1,690	1,931	2,112	2,292
24	0,603	0,779	1,017	1,550	1,754	2,017	2,215	2,412

Os valores da Tabela 4 foram utilizados para obter as intensidades de precipitação associadas a cada duração e período de retorno a partir da Equação 1, válida para a RMBH (Pinheiro e Naghettini, 1998).

$$\hat{I}_{T,d,j} = 0,76542 \cdot d^{-0,7059} \cdot P_j^{0,5360} \cdot \mu_{T,d} \quad \text{Equação 1}$$

Em que $I_{T,i}$ é a intensidade de chuva, em mm/h, associada ao período de retorno T , em anos e à duração de chuva d , em horas, e p é a precipitação média anual adotada de 1.500mm (PBH, 2004). A partir dessa equação foram geradas as intensidades para diversas durações e períodos de retorno, assim como as alturas pluviométricas correspondentes.

O tempo de concentração definido para a bacia do córrego Flor d'Água foi determinado a partir do método cinemático, considerando o perfil longitudinal do córrego, como indicado pela PBH (2004).

$$t_c = 16,67 \cdot \sum \left(\frac{L}{V} \right) \quad \text{Equação 2}$$

A partir da definição do tempo de concentração, foram definidos os hidrogramas de projeto dos eventos de precipitação a partir da distribuição temporal para a RMBH indicada por Pinheiro e Naghettini (1998) para durações inferiores a 1 hora e com 50% de probabilidade de ocorrência (Figura 30), de acordo com a metodologia de Huff (1967).

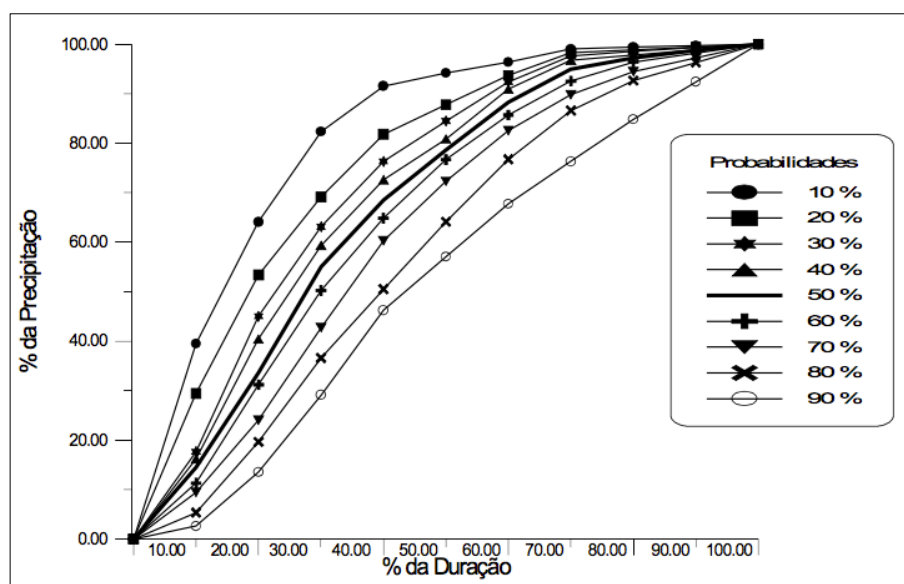


Figura 30 - Distribuição temporal da precipitação para diferentes probabilidades de excedência e durações inferiores a 1 hora (Pinheiro e Naghettini, 1998).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos tópicos a seguir serão apresentados os resultados obtidos a partir das etapas metodológicas descritas anteriormente, com foco na caracterização física da bacia, técnicas LID escolhidas e parâmetros ambientais de relevância para a região de estudo (item 5.1). Também serão apresentados os resultados dos diálogos estabelecidos com os *stakeholders* e do mapeamento institucional (item 5.2), assim como das simulações hidrológicas para os 4 cenários abordados (item 5.3).

5.1 Caracterização da área de estudo – Cenário 0

Para caracterizar a bacia do córrego Flor d'Água, segundo aspectos ambientais e urbanísticos, foi realizado um mapeamento de uso e ocupação do solo atual. A seguir serão apresentados os resultados desse levantamento assim como uma descrição das principais regulamentações identificadas de relevância para a área de estudo.

5.1.1 Ocupação urbana e uso do solo

A partir da imagem de satélite Globalgeo (2015), obtida para o córrego Ressaca, foi construído mapa com o uso do solo atual da região do córrego Flor d'Água (Figura 31).

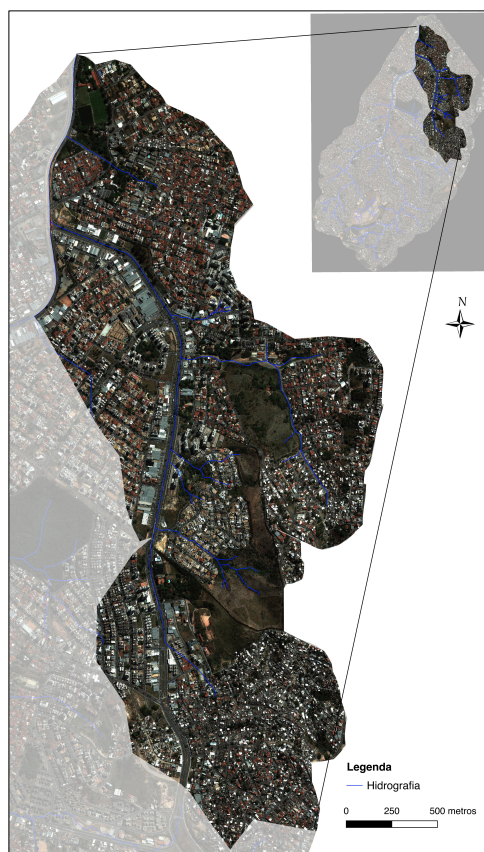


Figura 31 – Imagem de satélite da bacia do córrego Ressaca e detalhe da imagem na bacia do córrego Flor d'Água (Fonte: Globalgeo, 2015).

A definição dos tipos de uso foi possível com auxílio do software QGIS e complementado pelas visitas de campo e por análises de imagem do Google Earth e Google Street View. Os tipos de uso e os tamanhos de lotes foram definidos manualmente, com a imagem em resolução máxima, escala 1:2000. O resultado é apresentado na Figura 32.

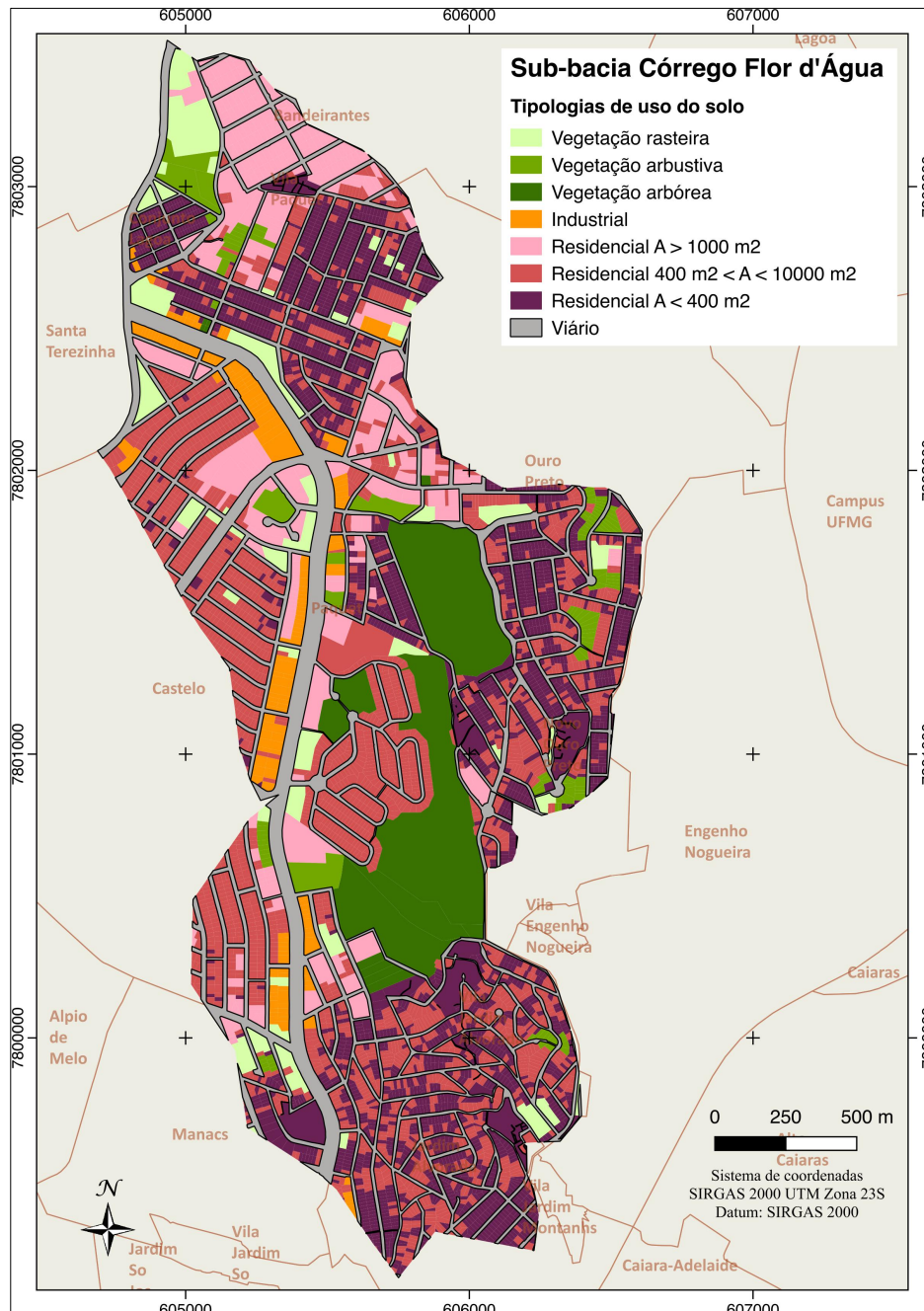


Figura 32 – Uso do solo atual do córrego Flor d'Água

A partir da Figura 32, observa-se que a bacia do córrego Flor d'Água é ocupada predominantemente por usos residenciais, com diferentes tamanhos de lotes e conjuntos habitacionais, que são permeados pelo sistema viário em toda a bacia. Percebe-se também a presença de alguns parques e áreas ociosas, em sua maioria ocupadas por vegetação rasteira.

A Tabela 5 apresenta as áreas indicadas na Figura 32 e sua porcentagem em relação à área total da bacia estudada, correspondente a 4,697 km² (469,7 ha).

Tabela 5 – Áreas correspondentes a cada tipologia de uso do solo na bacia do córrego Flor d'Água.

Tipologias de uso do solo	CN	Área (km ²)	Área (ha)	(%)
Campo	58	0,225	22,5	4,8%
Floresta	55	0,153	15,3	3,3%
Vegetação rasteira	61	0,475	47,5	10,1%
Distritos industriais	88	0,167	16,7	3,6%
Residenciais A < 400m ²	70	0,510	51,0	10,9%
Residenciais 400m ² < A < 1000m ²	75	1,187	118,7	25,3%
Residenciais A > 1000m ²	85	0,924	92,4	19,7%
Ruas	98	1,055	105,5	22,5%
Área total		4,697	469,7	

Os lotes localizados nas porções norte e oeste da bacia são, no geral, de maior tamanho e possuem vias mais largas e bem definidas, em sua maioria paralelas. Além disso, algumas avenidas apresentam vias largas, com intensa presença de árvores nas calçadas, como é o caso do bairro Castelo (Figura 33).



Figura 33 – Avenida Miguel Perrela, no bairro Castelo, Belo Horizonte (Foto: Camila Yarla, Abril de 2018).

É observada também a presença de alguns galpões comerciais ao longo das vias arteriais, principalmente ao longo da avenida Presidente Tancredo Neves, pela qual passa o córrego

Flor d'Água. Nessa avenida, foram observadas calçadas largas e estacionamentos de grande capacidade, alguns inclusive com pisos intertravados (Figura 34).



Figura 34 – Galpões e estacionamento ao longo da avenida Presidente Tancredo Neves, Belo Horizonte (Foto: Camila Yarla, Março de 2017).

Por outro lado, as residências nas porções leste e sul apresentam lotes de menor tamanho e com parcelamentos irregulares. Os usos residencial e comercial se misturam nas ruas principais, com ruas estreitas que funcionam para passagem de carros particulares, ônibus e ainda são utilizadas como estacionamentos nas imediações das calçadas. Os passeios de pedestres também apresentam irregularidades e descontinuidades em muitos pontos, além de serem mais estreitos que os observados em outros pontos da bacia (Figura 35).



Figura 35 – Rua Flor d'Água, no bairro Jardim Alvorada, Belo Horizonte (Foto: Camila Yarla, Abril de 2018).

Em relação aos córregos, nos trechos iniciais do córrego Flor d'Água a canalização é fechada e observa-se a presença de um largo canteiro central com considerável vegetação rasteira e arbustiva (Figura 36). Esse perfil se altera no sentido de jusante do córrego, em que é observado o alargamento do canal e redução significativa de vegetação (Figura 37). Na maior parte de seu leito, o córrego se encontra em canalização aberta até o encontro com o córrego Ressaca, na junção das avenidas Tancredo Neves e Heráclito Mourão de Miranda (Figura 38).



Figura 36 – Trecho inicial de canalização do córrego Flor d'Água, em canal fechado (Foto: Camila Yarla, Março de 2017).



Figura 37 – Trecho de canalização do córrego Flor d'Água, em canal aberto (Foto: Camila Yarla, Março de 2017).

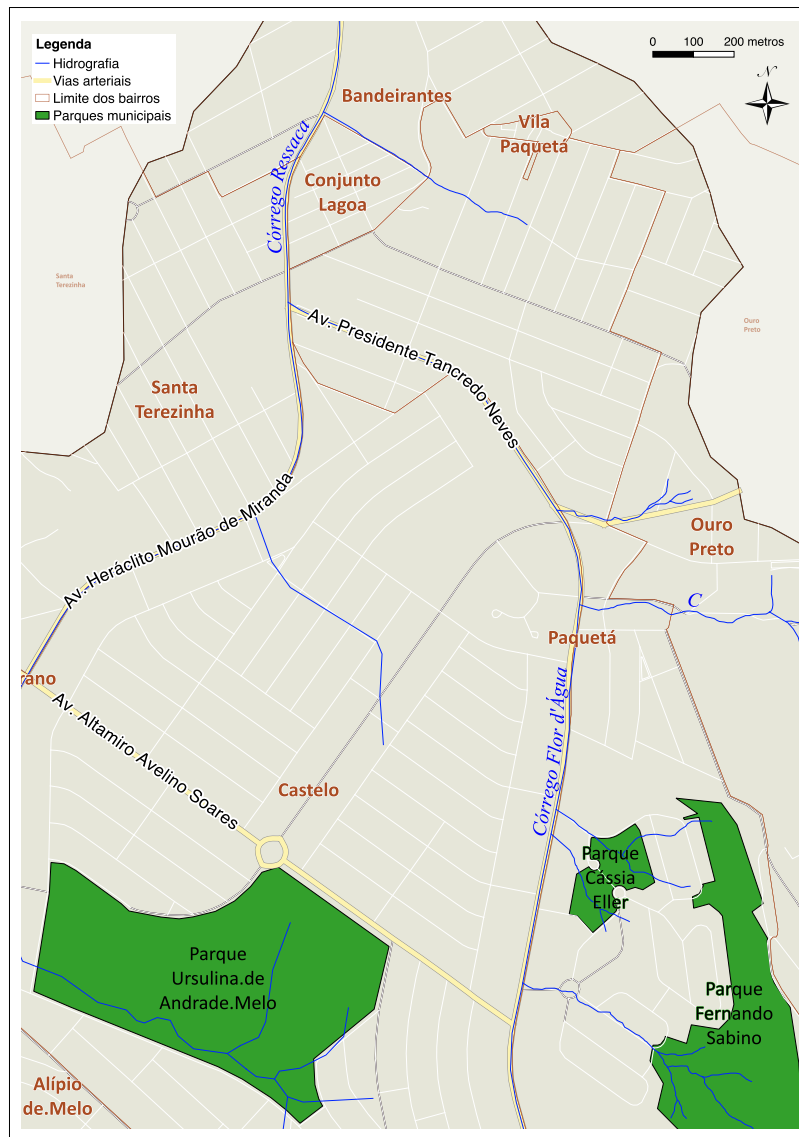


Figura 38 – Detalhe da confluência dos córregos Ressaca e Flor d'Água.

A bacia apresenta, de um modo geral, uma significativa presença de áreas verdes, com os parques Cássia Eller e Fernando Sabino e diversos pontos de vegetação em lotes e áreas públicas ociosas. No entanto, nota-se que esses parques estão concentrados em uma região da bacia.

5.1.2 Regulamentações e parâmetros urbanísticos

A bacia do córrego Flor d'Água está localizada integralmente na regional Pampulha da região metropolitana de Belo Horizonte. Por essa razão, está submetida às regulamentações e parâmetros urbanísticos definidos para essa regional, que serão detalhados a diante.

5.1.2.1 Zoneamento do Município de Belo Horizonte – Lei nº 7.166/1996

O Mapa consolidado da Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo foi obtido da página na internet da Prefeitura de Belo Horizonte (PBH, 2017). A Figura 39 apresenta os principais aspectos do zoneamento estabelecidos pela Lei 7.166/96 e alterações (Belo Horizonte, 1996).

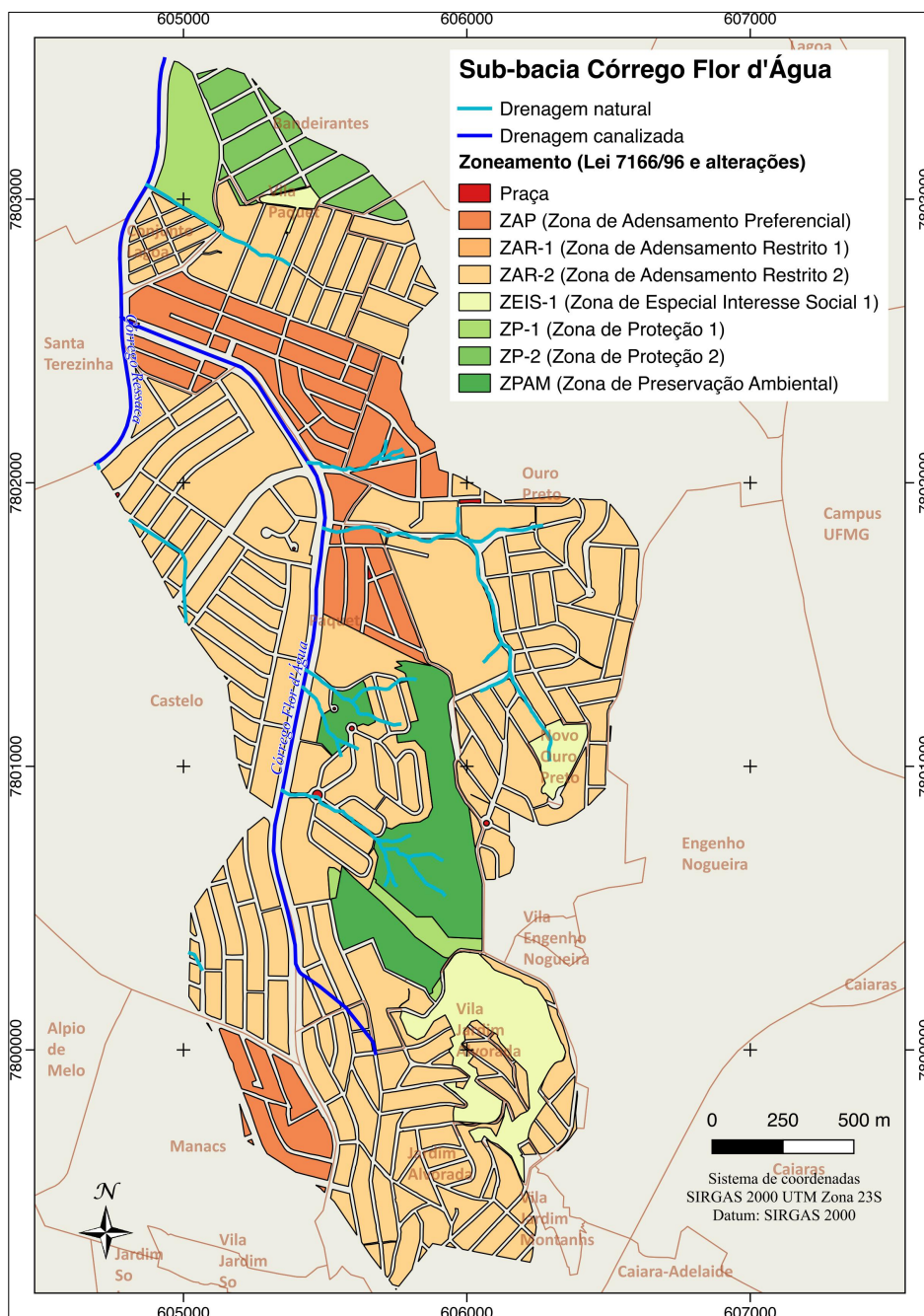


Figura 39 – Zoneamento segundo a Lei 7166/96 e alterações na bacia do córrego Flor d'Água.

A partir da imagem percebe-se que a bacia do córrego Flor d'Água é em sua porção mais significativa de zona de adensamento restrito (ZAR), em cerca de 65% do território. De acordo com a legislação, essas são regiões que demandam uma baixa densidade demográfica,

devido às condições de infraestrutura ou topográficas. Incluem os bairros Castelo, Paquetá, Conjunto Lagoa, Ouro Preto e Jardim Alvorada.

As zonas de adensamento preferencial (ZAP) correspondem a cerca de 13,4% da área da bacia, indicando as regiões que apresentam boas condições de infraestrutura e de topografia para ocupação. Referem-se principalmente aos bairros Paquetá, Manacás e Ouro Preto.

Cerca de 8% da bacia do córrego Flor d'Água está em zona de preservação ambiental (ZPAM). As ZPAMs são zonas destinadas à preservação e à recuperação de ecossistemas, incluindo os parques identificados. De acordo com a Lei 7.166/96, essas regiões contribuem para manutenção de diversidade de espécies, proteção de nascentes e prevenção de riscos geológicos. Referem-se aos parques localizados no bairro Paquetá.

As áreas mais ao norte da bacia, próximas à Lagoa da Pampulha, fazem parte das zonas de proteção (ZP), que possuem critérios de parcelamento, ocupação e uso do solo de baixa densidade e maior taxa de permeabilidade, visando a proteção ambiental e preservação de patrimônio histórico, cultural, arqueológico ou paisagístico (Belo Horizonte, 1996). Essas áreas incluem principalmente os bairros Bandeirantes e Paquetá.

A bacia apresenta ainda uma parcela de zona especial de interesse social (ZEIS). As ZEIS são regiões de conjuntos habitacionais ou de ocupação espontânea, que recebem assistência pública a programas habitacionais. No caso da bacia do córrego Flor d'Água essas zonas incluem os bairros Vila Paquetá, Novo Ouro Preto e Vila Jardim Alvorada.

5.1.2.2 Área de Diretrizes Especiais da Bacia da Pampulha – Lei nº 9.037/2005

A Lei no 7.166/1996 e alterações estabelece Área de Diretrizes Especiais da Bacia da Pampulha em Belo Horizonte. A legislação define que a ADE Pampulha compreende a área da bacia hidrográfica da Lagoa da Pampulha, submetida a diretrizes especiais de parcelamento, ocupação e uso do solo, a fim de garantir a preservação ambiental da Lagoa.

A Lei no 9.037/2005, que institui o PROPAM (Programa de Recuperação e Desenvolvimento Ambiental da Bacia da Pampulha) e regulamenta a ADE Pampulha, estabelece parâmetros diferenciados para a região, que se sobrepõem àqueles definidos pelo zoneamento. Os parâmetros urbanísticos definidos para a ADE Pampulha são descritos na Tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetros de Ocupação diferenciados para ADE da Bacia da Pampulha – arts. 7, 10, 11, 12, 13, da Lei 9.037/05 (Fonte: PBH, 2011).

Áreas	Coef. Aproveit. Básico	Coef. Aproveit. Máximo	Quota de terreno por unidade habitacional mínima	Taxa de permeabilidade mínima	Taxa de ocupação máxima
Controle Especial de Uso do Solo	Zoneamento	Zoneamento	Zoneamento	95% em ZPAM 70% em ZP-1 30% nas demais situações	Zoneamento
Área de proteção máxima – Grau 1	0,05	0,05	-	95%	2%
Área de proteção moderada – Grau 2	0,6	0,6	120m ² /un.	70%	20%
Demais áreas	Zoneamento	Zoneamento	Zoneamento	70% em ZP-1 95% em ZPAM 30% nas demais situações	Zoneamento

Percebe-se que a taxa mínima de permeabilidade da região é de 30%, com exceção de áreas mais restritivas, como de proteção ambiental (ZPAM). A legislação aponta ainda que a área permeável obrigatória não pode ser substituída por caixa de captação e drenagem.

A análise da legislação da bacia da Pampulha, e dos parâmetros que dela procedem, justifica uma expressiva presença de áreas verdes e de restritivas taxas de impermeabilidade nessa área, quando comparada com outras unidades regionais de Belo Horizonte. No entanto, essas áreas verdes não estão distribuídas em toda a região da bacia, mas se concentram em poucos bairros.

5.1.2.3 Carta de Inundações de Belo Horizonte

A Carta de Inundações de Belo Horizonte é um instrumento que permite a identificação de trechos críticos ou sujeitos a ocorrências de inundações em bacias hidrográficas da cidade. A elaboração da carta é realizada por meio de estudos de modelagem hidrológica e hidráulica e apresenta as manchas de inundação distribuídas pelo território do Município (PBH, 2014).

No caso dos córregos Ressaca e Flor d'Água, inseridos na bacia da Pampulha, a carta de inundações apresenta as manchas com indicação dos bairros e avenidas propensos à ocorrência de inundações. Na Figura 40 notam-se como áreas críticas as ruas do Conjunto Lagoa, principalmente após a confluência dos córregos Ressaca e Flor d'Água e no bairro Ouro Preto, na Rua Valdiano Martins Inácio.



Figura 40 – Identificação de áreas potencialmente suscetíveis para os córregos Ressaca e Flor d'Água – Regional Pampulha (Fonte: PBH, 2013).

A área de confluência dos córregos Ressaca e Flor d'Água é apresentada com uma significativa área de impacto no caso da ocorrência de inundações. As visitas de campo indicaram que essa é uma região de particular atenção da Prefeitura, com placas de sinalização e alerta em caso de chuvas intensas (Figura 41).



Figura 41 – Placa com alerta de inundação na confluência dos córregos Ressaca e Flor d'Água (Foto: Camila Yarla, Março de 2017).

5.1.2.4 A trama verde e azul no Macrozoneamento de Belo Horizonte

O conceito de trama verde e azul é um dos conceitos centrais de planejamento territorial adotado no processo de macrozoneamento da Região Metropolitana de Belo Horizonte. No Produto 05 do macrozoneamento, encontram-se as definições dos parâmetros urbanísticos e de diretrizes específicas de estruturação e desenvolvimento para as zonas de interesse metropolitano, trazendo elementos de regulação do uso do solo que contribuem para o estabelecimento da trama verde e azul (UFMG, 2015).

O documento apresenta a trama como “uma rede de cursos d’água e áreas de preservação e recuperação ambiental, existentes e propostas, conectadas entre si como importante elemento de estruturação e integração, assim como o sistema viário proposto, do território metropolitano” (UFMG, 2015, p.12).

A ideia da trama é aplicável a toda à RMBH e foi aplicada no macrozoneamento nas zonas de interesse metropolitano (ZIM) com o propósito de proteger as áreas internas assim como as imediações dessas zonas. As ZIMs ambientais apresentam os conceitos da TVA ainda mais evidentes e foram criadas para a proteção de áreas ambientais, em especial áreas de mananciais estratégicos para o abastecimento da RMBH (UFMG, 2015). Dentre estas estão incluídas como ZIMs as áreas das bacias do Serra Azul, Manso, Vargem das Flores, Jaboticatubas, Taquaraçu e do complexo do Gandarela, apresentadas na Figura 42.

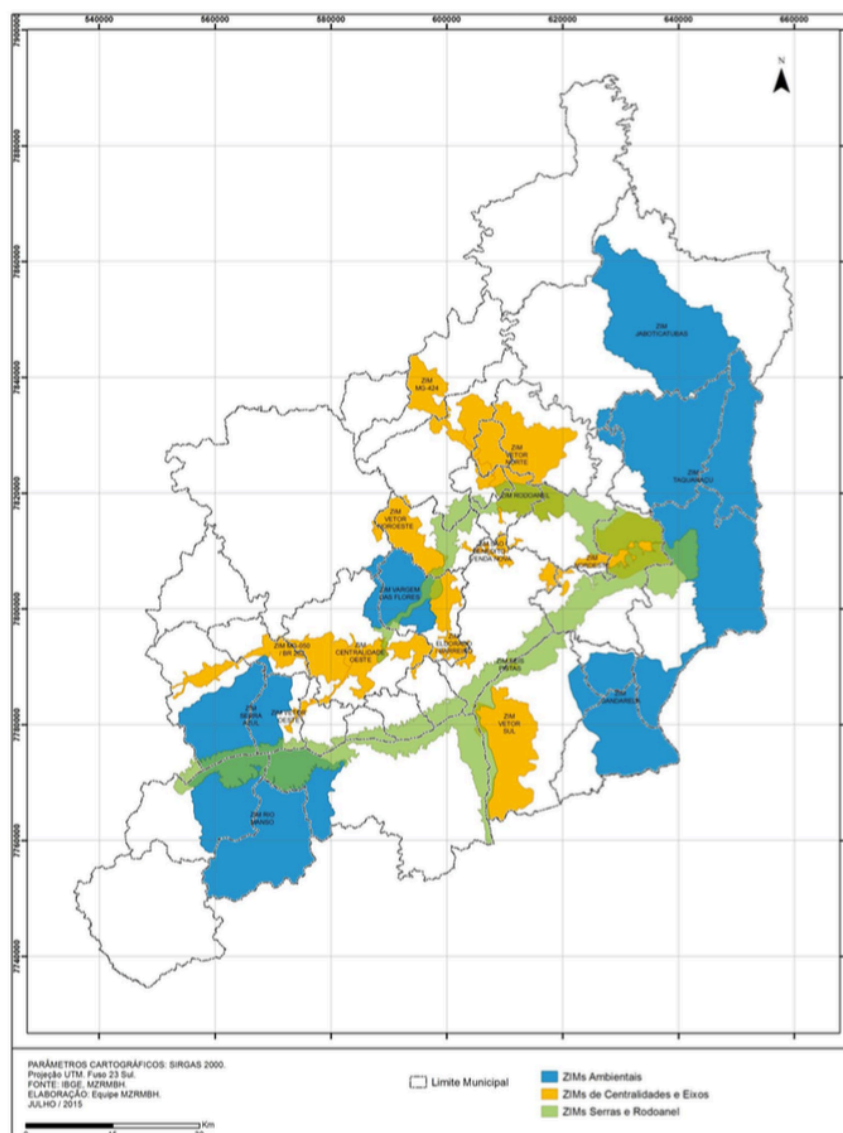


Figura 42 – Categorias das ZIMs – ZIMs Ambientais em azul (Fonte: UFMG, 2015).

Além destas, as ZIMs especiais (Serras e Rodoanel, em verde na Figura 42) também apresentam um viés direcionado à implantação da TVA na Região Metropolitana de Belo Horizonte.

A ZIM Serras pode ser também considerada uma ZIM ambiental e é integralmente parte da trama verde e azul. Propõe uma conexão de eixos passando por diversos municípios nas imediações de Belo Horizonte. A ZIM Rodoanel, por sua vez, é um projeto rodoviário cujos parâmetros, como coeficiente de aproveitamento e taxa de permeabilidade, baseiam-se na implantação da TVA (UFMG, 2015).

Ao estabelecer essas zonas, o macrozoneamento procurou garantir uma continuidade na delimitação das ZIMs e na definição de parâmetros urbanísticos propostos. Esses parâmetros, estabelecidos pela trama verde e azul, superpõem aqueles definidos no zoneamento, e seu

detalhamento deve ser baseado em estudos específicos segundo as características particulares de cada local.

Desse modo, o macrozoneamento considera a trama verde e azul por meio de uma estrutura urbana que incorpora conexões ecológicas, como cursos d'água, vias, remanescentes florestais, eixos viários e áreas de interesse social, em diferentes escalas espaciais. A TVA apresentada no MZBH, a partir dos parâmetros definidos para as ZIMs, permite concluir que a trama ultrapassa os limites dessas zonas e arrecada benefícios para todo o território da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

5.2 Mapeamento institucional e resultados qualitativos

A definição do mapeamento institucional relacionado à implantação da trama verde e azul ocorreu por meio de duas etapas principais. A primeira foi um levantamento da estrutura organizacional da Prefeitura de Belo Horizonte, a fim de detectar os órgãos cuja atuação poderia estar relacionada à TVA. A segunda foi a complementação e ratificação desse levantamento a partir das informações fornecidas por representantes de alguns desses órgãos, por meio das entrevistas. O principal intuito desse mapeamento foi descrever as responsabilidades e identificar as potencialidades de cada órgão na construção da TVA.

A Figura 43 apresenta o levantamento realizado pelos organogramas disponíveis na página na internet da Prefeitura de Belo Horizonte (PBH, 2017) somado às contribuições dos entrevistados. Os órgãos das secretarias municipais atuam em toda a cidade, incluindo a área de estudo do córrego Flor d'Água. Na figura, estão os órgãos relacionados a áreas de interesse da trama verde e azul como ambiental, sanitária, urbanística e de gestão de eventos.

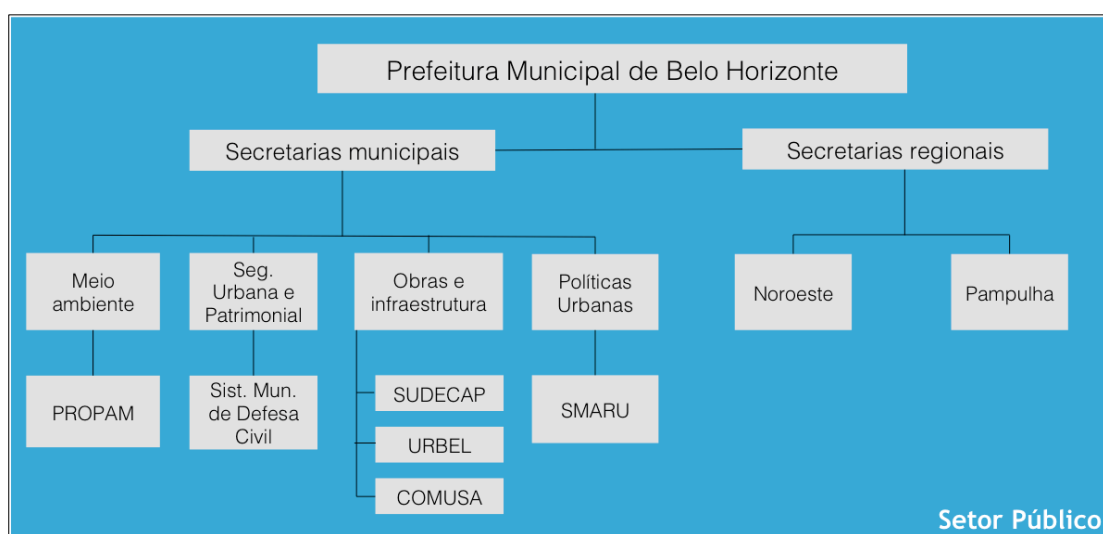


Figura 43 – Mapeamento institucional de órgãos da PBH relacionados à trama verde e azul.

As figuras a seguir apresentam alguns dos elementos utilizados nesses encontros como o mapa da região de estudo (Figura 44) e as simulações de implantação de técnicas LID na bacia (Figura 45 a Figura 47). Essas imagens contribuirão para alimentar a discussão durante as entrevistas e grupos focais, permitindo ilustrar aos participantes as propostas de TVA em questão e sua aplicação na área de estudo.

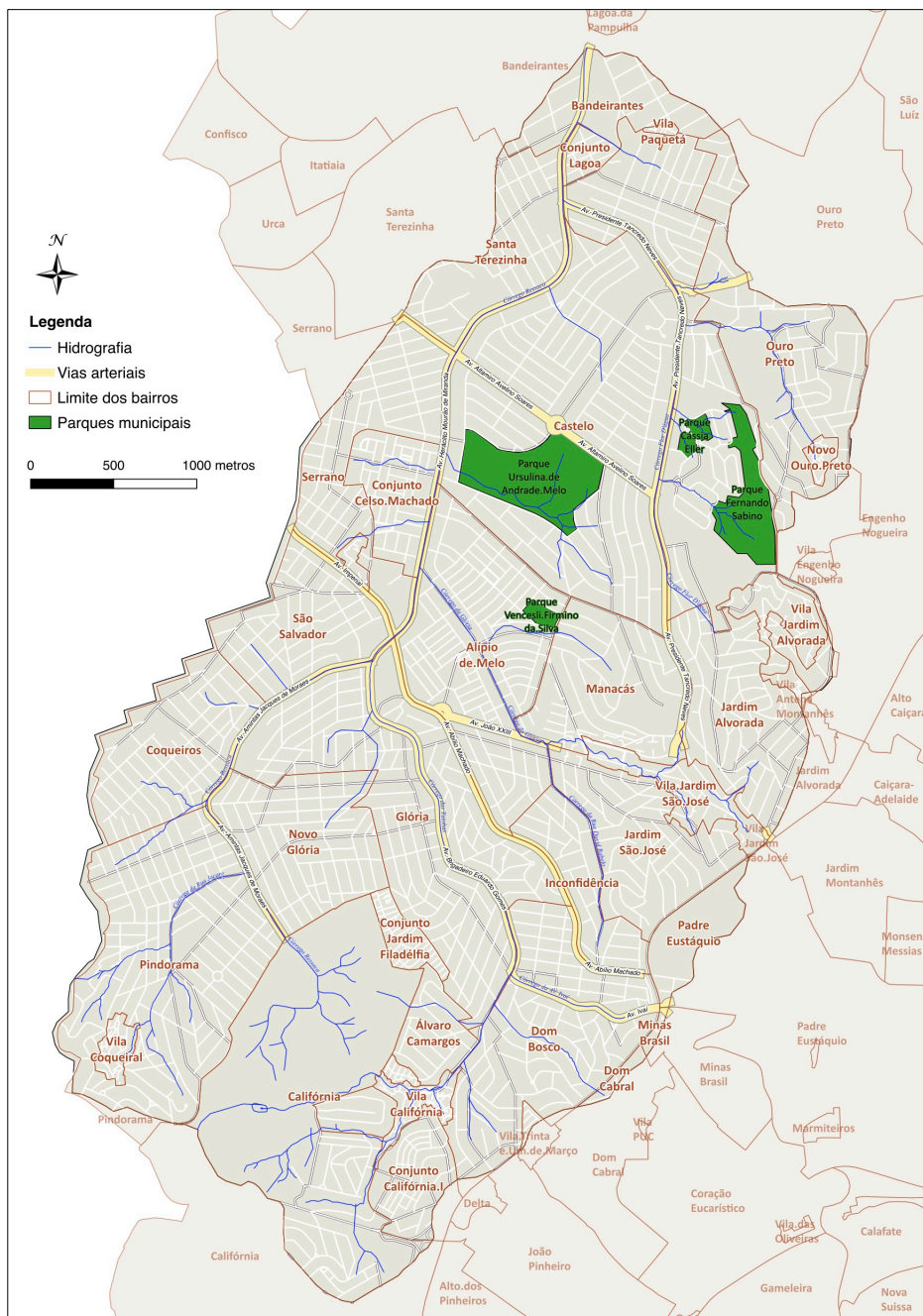


Figura 44 – Mapa da bacia do córrego Ressaca utilizado durante as entrevistas.



Figura 45 – Imagens utilizadas durante as entrevistas para exemplificação da TVA.

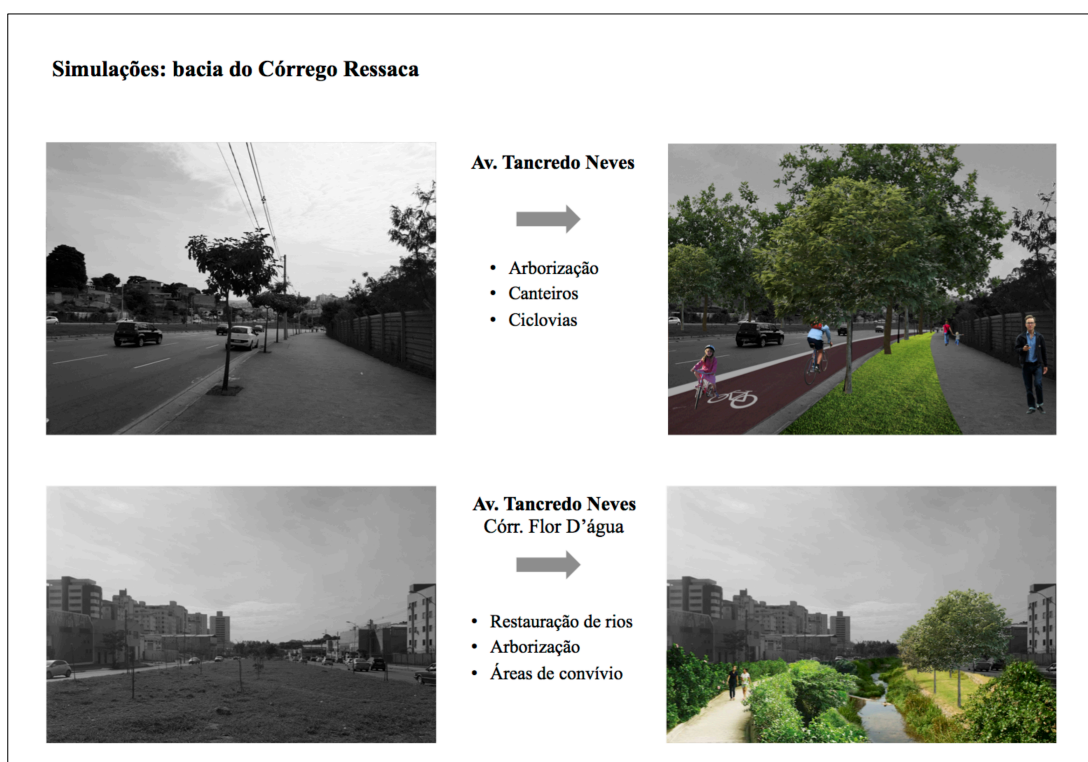


Figura 46 – Imagens utilizadas durante as entrevistas para exemplificação da TVA.



Figura 47 – Imagens utilizadas durante as entrevistas para exemplificação da TVA.

5.2.1 Entrevistas direcionadas a áreas públicas

A Figura 48 mostra uma estrutura de órgãos e entidades cujas responsabilidades foram relacionadas a aspectos da TVA, resultado das discussões voltadas para áreas públicas. Os aspectos de fiscalização, planejamento e projeto são mais abrangentes e permeiam todas as áreas específicas. Estas muitas vezes apresentam demandas que ultrapassam as competências de um órgão apenas, mas foram apresentadas de acordo com uma perspectiva geral e segundo as experiências práticas de diversos setores. Além das divisões apresentadas na figura, a Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP) se mostra atuante na maior parte das esferas e é promotora de conexões entre os diversos órgãos.

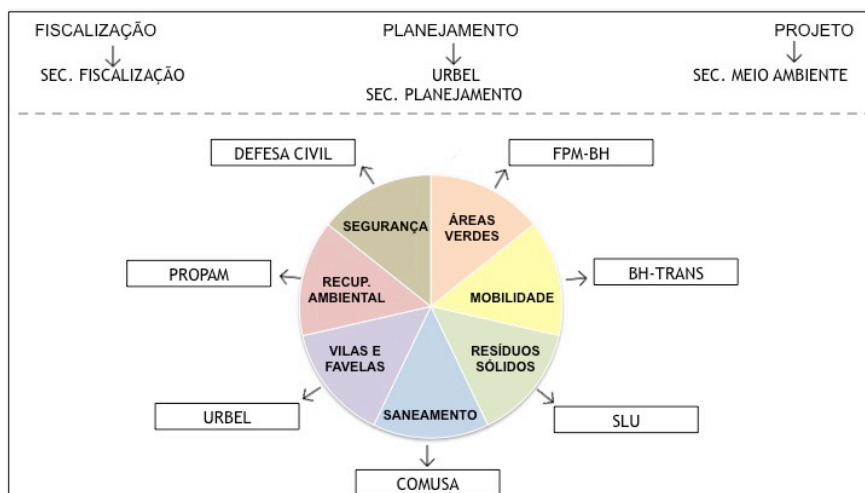


Figura 48 – Atuação do setor público nas áreas temáticas relacionadas à trama verde e azul.

A Tabela 7 apresenta os resultados das entrevistas voltadas para as áreas públicas. As informações geradas em cada entrevista foram compiladas nesse formato à medida que as transcrições foram realizadas e o conteúdo interpretado. Esse formato foi possível graças à convergência de respostas dadas pelos participantes em relação a cada um dos assuntos incorporados à tabela, que se mostraram mais relevantes à pesquisa. Alguns aspectos foram apontados somente pelo PROPAM e estão destacados na tabela.

Tabela 7 – Resultados das entrevistas voltadas para as áreas públicas.

Assunto	Respostas obtidas	
Comunicação	Boa entre os órgãos públicos Boa articulação institucional Boa participação dos órgãos públicos Projetos interligados Participação popular valorizada PROPAM: Promove a comunicação entre setor público e sociedade civil PROPAM: Comunicação entre os municípios de Belo Horizonte e Contagem	
Instrumentos	Legislação urbanística (2014) (não aprovada) Certificação ambiental Planejamento estratégico 2030 PROPAM: Catalogação de nascentes (preservação de áreas)	
Fontes de financiamento	Recursos privados Fundo municipal de saneamento Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID Fundos para mudanças climáticas	
Dificuldades	Priorização do tráfego Ausência transporte público de massa Orçamentos limitados Prioridades emergenciais Dificuldades de fiscalização Falhas na legislação Falta de incentivos financeiros	Áreas já ocupadas Impermeabilização do solo Desconexão entre áreas verdes Parâmetros não regulamentados Depredação pública Desconhecimento e insegurança Muito discurso e pouca ação, tanto pública quanto privada
Particularidades da Pampulha	ADE Pampulha Lei nº 9.037/2005	

	Parâmetros de ocupação diferenciados Elevado índice de área verde/hab
Perspectivas e outros aspectos	Políticas tendem a ser mais tradicionais Restrições ambientais deslocam empreendimentos para áreas menos exigentes Sistema viário melhor alternativa de implantação de medidas Importância da redução na fonte e gestão territorial Gestão do governo é preponderante para a efetivação da TVA

A Tabela 7, ao apresentar algumas das perspectivas do setor público, revela que a comunicação institucional é eficiente e favorável à implantação de regulamentações voltadas à TVA, de um modo geral. A partir das entrevistas, a comunicação entre os órgãos foi apresentada como eficiente e participativa, por meio de fóruns e com boa participação de representantes da sociedade, como apresentado pelo participante P01:

Está tudo muito articulado institucionalmente e de participação [...]. Existem hiatos de tempo, problemas de cronograma ou até de prioridades que saem fora do planejamento, mas no final das contas, acho que a gente é das cidades mais participativas do Brasil (P01).

O PROPAM (Programa de Recuperação e Desenvolvimento Ambiental da Bacia da Pampulha) se mostrou um diferencial relevante para a disseminação de discussões sobre sustentabilidade na área de estudo. O programa atua como um aglutinador de diferentes órgãos públicos e parcerias para os assuntos voltados à temática ambiental na bacia da Pampulha.

Como sua atuação é direcionada para uma bacia hidrográfica, o PROPAM se mostra capaz de ultrapassar as limitações políticas entre os municípios de Belo Horizonte e Contagem, tendo em vista seu ideal comum de preservação da Lagoa da Pampulha. Em algumas experiências, citadas nas entrevistas, a sua ação foi de fundamental importância para garantir a execução de planos que apresentavam algum tipo de conflito, tanto entre os municípios, como também dentro da própria gestão da Prefeitura de Belo Horizonte. Desse modo, a instituição se mostra fundamental para efetivar a comunicação, contribuir com o trabalho técnico e construir vínculos que permeiam as diversas áreas de interesse da TVA:

Utilizando o nome do PROPAM, vários órgãos e parceiros são atraídos para discutir sobre a Pampulha, como COPASA, câmaras municipais, SUDECAP, entre outros [...]. É um polo aglutinador dos assuntos relacionados à Pampulha em questão ambiental. [...] O PROPAM tem como

um de seus objetivos auxiliar na comunicação entre os setores e recursos técnicos, quando possível e necessário (P02).

De todo modo, o setor público reconhece que as dificuldades à implantação, como recursos financeiros, barreiras culturais e interesses políticos, ainda atrapalham a realização de medidas mais concretas. O participante P01 citou ainda a grande dificuldade de fiscalização em um possível cenário de implantação de técnicas LID:

A gente tem um grande problema que é fiscalização [...]. Existe a Secretaria de Fiscalização, só que ela não dá conta; a cidade é muito grande e não tem o número de fiscal. Esse é um ponto fundamental (P01).

Também foram apresentados alguns instrumentos direcionados aos princípios da TVA, como o Planejamento Estratégico 2030, que prevê ampliação de áreas verdes por habitante, preservação da qualidade dos corpos hídricos, ações voltadas para a mobilidade, favorecendo o transporte público e não motorizado e regularização de vilas e favelas (Belo Horizonte, 2012).

Um dos instrumentos mais significativos identificados para a efetivação da TVA é a legislação de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo (Lei 7.166/96), submetida à Conferência Municipal de Política Urbana (CMPU). A IV CMPU, ocorrida em 2014, apresentou um forte perfil voltado à sustentabilidade e propostas que vão de encontro aos princípios da TVA, que incluem como estratégias do eixo ambiental: taxa de permeabilidade vegetada, caixas de captação para complementar o sistema público de drenagem e vazão de restrição ao lançamento de águas pluviais.

No entanto, seus resultados não foram aprovados pela Câmara Municipal. Uma das principais justificativas apontadas como impedimento para a sua aprovação é a influência de lobbys externos de grupos e setores que discordam dos princípios apresentados, principalmente o setor imobiliário. Os instrumentos de coeficiente de aproveitamento e taxa de ocupação apresentados na IV CMPU são mais restritivos, limitando a rentabilidade desses setores. Além disso, também foi apontado como obstáculo o desconhecimento dos setores em relação ao funcionamento da lei urbanística proposta, gerando insegurança sobre os possíveis benefícios e malefícios da aplicação da lei para os interesses de cada grupo, como citado por P01:

Existe insegurança de todos os lados, por não entender o processo, por desconhecimento [...]. Na realidade, ele (CMPU) traz uma nova forma de desenvolver a cidade, uma nova forma de aplicação de recurso, mas realmente ele barra a especulação imobiliária e o crescimento de rendas familiares; ele vai ao encontro do Estatuto da Cidade (P01).

Um exemplo é o instrumento proposto de Outorga Onerosa do Direito de Construir (ODC), que ainda não foi regulamentado pela lei vigente. Esse instrumento permite que empreendimentos construam acima do coeficiente de aproveitamento básico, até o coeficiente de aproveitamento máximo, desde que seja concedida uma contrapartida financeira ao poder público (Figura 49). Esse recurso arrecadado pode então ser repassado a programas de habitação de interesse social ou ambiental, gerando uma socialização do recurso privado, equalizando os preços dos terrenos e reduzindo a especulação imobiliária.

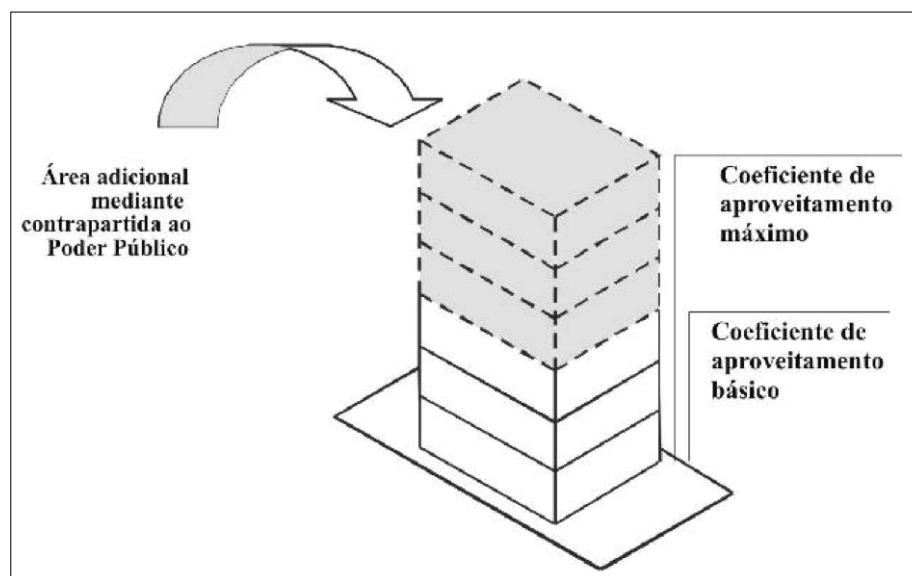


Figura 49 – Croqui esquemático do funcionamento do instrumento ODC (Fonte: <http://urbanidades.arq.br/2008/03/outorga-onerosa-do-direito-de-construir/>).

As entrevistas voltadas para as áreas públicas mostraram que o setor público reconhece a importância da realização de uma gestão integrada e participativa para a realização de propostas como a TVA. No entanto, acreditam que o envolvimento da população ainda não pode ser alcançado, principalmente para populações de baixa renda cuja problemática ainda envolve questões de saneamento básico, educação e saúde:

Cidadãos de áreas de vilas terão prioridades diferentes dos de áreas mais abastadas [...]. Em localidades que faltam escolas, saúde e saneamento, o meio ambiente será a última coisa em que priorizarão seus investimentos e esforços, o que é diferente nas populações com maior poder aquisitivo, em que escola, saúde e saneamento não são problemas (P02).

Em relação às expectativas de inserção da TVA, esse setor converge ao perceber que a gestão dos governos tende a ser mais tradicional e, conseqüentemente, menos aberta a soluções como as apresentadas para a implantação da TVA:

Para desenvolvimento de ações não há recursos; a preservação e o investimento nas questões ambientais não é prioridade para as instituições públicas e privadas, somente no discurso (P02).

5.2.2 Entrevistas direcionadas a áreas privadas

Foram entrevistados moradores de diferentes regiões da bacia do córrego Flor d'Água com o intuito de caracterizar diversas perspectivas em relação à situação socioambiental dos bairros. Com isso, após a realização das entrevistas e dos grupos focais, os resultados foram agregados em 2 grupos principais:

- População habitante em bairros com ocorrência de inundações;
- População habitante em bairros sem ocorrência de inundações;

A divisão desses grupos associada à ocorrência de inundações ocorreu de forma não intencional, durante a realização das entrevistas e posterior interpretação dos dados. Em muitos momentos, o assunto surgiu espontaneamente por parte dos entrevistados, sem a alusão direta ao tema, mas durante questões iniciais de descrição do cotidiano do bairro. Isso revelou a importância da ocorrência de inundações para a área da bacia do córrego Flor d'Água, direcionando o estudo para um maior aprofundamento quanto a essa problemática.

Os resultados obtidos foram compilados em áreas temáticas gerais que tomaram forma a partir da organização dos dados levantados. Essas áreas são *locomoção, arborização e áreas de lazer e saneamento*, apresentadas na Tabela 8, e *inundações, impressões da TVA e disposição a pagar taxa de drenagem*, na Tabela 9.

Tabela 8 – Resultados qualitativos para as áreas temáticas *locomoção, arborização e áreas de lazer e saneamento* – TVA em áreas privadas.

REGIÃO DA BACIA	LOCOMOÇÃO	ARBORIZAÇÃO E ÁREAS DE LAZER	SANEAMENTO
Bairro Vila Jardim Alvorada	Passeios: falta de estrutura; riscos de atropelamento;	Carência de árvores e áreas verdes.	Nem todas as casas possuem coleta de esgoto.
	Vias estreitas;	Necessário deslocamento até a Pampulha para fazer caminhada.	Fedor proveniente das bocas de lobo.
	disputa entre transporte público, privado, estacionamento e pedestres.	No bairro, perto de casa, é tumultuado e desagradável.	A população despeja o esgoto no córrego nas imediações do bairro.

REGIÃO DA BACIA	LOCOMOÇÃO	ARBORIZAÇÃO E ÁREAS DE LAZER	SANEAMENTO
Bairro Castelo	Boas calçadas, estacionamento, vias largas.	Imediações do Parque Ursulina utilizadas para atividades de lazer. Árvores ainda em crescimento não oferecem todos os benefícios. Áreas ociosas no bairro poderiam ser utilizadas para recreação.	Experiência de coleta seletiva não funcionou.
Bairro Conjunto Lagoa	Ônibus ou pé (dentro do bairro) Passeios: falta de estrutura e de manutenção em alguns pontos.	Região próxima a parques ecológicos e zoológico; clima ameno Percepção do asfalto como causa de alagamentos - "A água não tem pra onde sair". Áreas verdes públicas subutilizadas devido à falta de manutenção.	Rede de esgoto identificada como um dos maiores problemas. Muitas casas com válvula de retenção. Lixo nas ruas.

Tabela 9 – Resultados qualitativos das entrevistas para as áreas temáticas *inundações*, *impressões da TVA* e *disposição a pagar taxa de drenagem* – TVA em áreas privadas.

REGIÃO DA BACIA	INUNDAÇÕES	IMPRESSÕES DA TVA	DISPOSIÇÃO A PAGAR TAXA DE DRENAGEM
Bairro Vila Jardim Alvorada	Sem ocorrência de inundações	Alta aceitabilidade das imagens com TVA. Alta aceitabilidade com reservatórios individuais. Orientados por agentes a não utilizar o reservatório, por risco de dengue.	Alta, desde que os benefícios fossem percebidos. Pouca credibilidade em relação a outros serviços públicos, como coleta de lixo e esgoto.
Bairro Castelo	Sem ocorrência de inundações	Alta aceitabilidade das imagens com TVA. Melhor aproveitamento dos espaços ociosos existentes no bairro.	Alta, desde que os benefícios fossem percebidos. Pouca credibilidade em relação a outros serviços públicos, como coleta de lixo e esgoto.
Bairro Conjunto Lagoa	Alta recorrência de inundações; percepção em apenas algumas ruas do bairro (parte mais baixa). Perdas materiais e perdas de vida. Preconceito e constrangimentos. Mudança ao longo do tempo:	Alta aceitabilidade das imagens com TVA. Alta aceitabilidade de áreas verdes e arborização. Necessidade de manutenção. Percepção da redução de enchentes.	Média, desde que os benefícios fossem percebidos. Pouca credibilidade em relação a outros serviços públicos, como coleta de lixo e esgoto. Associação da ocorrência de inundações pela

REGIÃO DA BACIA	INUNDAÇÕES	IMPRESSÕES DA TVA	DISPOSIÇÃO A PAGAR TAXA DE DRENAGEM
	<p>“antigamente não tinha alagamento.”</p> <p>Relatos de refluxo da rede de esgoto nas casas.</p> <p>Pouco/insuficiente apoio da Defesa Civil em situações de emergência.</p> <p>Obras de canalização foram ineficazes para contenção de transbordamentos.</p>	<p>Média aceitabilidade com reservatórios individuais em relação a economia; no entanto receio pelo risco de dengue.</p> <p>Reconhecem a importância do lado social-educativo para a eficiência da proposta.</p>	<p>disposição inadequada de resíduos e obstrução do sistema de drenagem e de esgotamento.</p> <p>Preocupação com a drenagem de outros municípios.</p>

A partir das informações levantadas, nota-se que a infraestrutura das calçadas é adequada aos pedestres em apenas alguns bairros, como o bairro Castelo, enquanto em outros existe falta de estrutura e manutenção. Esse aspecto é coerente com o levantamento do uso do solo em que se percebe a estrutura de loteamentos melhor definida em alguns pontos, como apresentado na caracterização da bacia do córrego Flor d'Água.

Em relação à arborização, áreas verdes e áreas de lazer, foi percebida uma maior convergência de respostas entre os grupos de entrevistados, exceto pelo bairro Castelo. Os resultados da Tabela 8 mostram que, em todos os bairros visitados, as áreas verdes são subutilizadas ou existem áreas com potencial para ocupação que são de domínio público, mas que não recebem manutenção apropriada, como apresentado na Figura 50. Nesse aspecto, essa condição está comumente associada à falta de manutenção ou investimento por parte do poder público.



Figura 50 – Área verde subutilizada por falta de manutenção em um bairro da bacia do córrego Flor d'Água (Foto: Camila Yarla, Abril de 2018).

Em relação às questões de saneamento, nota-se que a coleta de esgoto ainda é problemática e ocorre despejo dos resíduos domésticos diretamente nos córregos mais próximos. Em algumas regiões, foi levantado que existe a cobrança do serviço de esgoto por parte do poder público, mas esse serviço não é fornecido para parte da população. Nessas regiões a população reclama de mau cheiro vindo das bocas de lobo nas proximidades das casas.

Em outros casos, a população associa a ocorrência de inundações com o sistema de esgotamento sanitário, alegando que durante eventos de precipitação as casas são inundadas pela tubulação interna e também pela ocorrência de refluxos de vazão nas tampas de esgoto das ruas (Figura 51).

Alagamento entra nas casas pelo esgoto, não pela rua (M01).

Se a gente não tem válvula de retenção volta tudo no ralinho (M02).

Fui prejudicada uma vez só. [...] tenho válvula; se caso voltar água do esgoto não entra na minha casa não (M03).



Figura 51 – Bairro Conjunto Lagoa: calçadas irregulares e bueiro com ocorrência de refluxo no período chuvoso, segundo indicado pelos habitantes (Foto: Camila Yarla, Abril de 2018).

A maioria dos moradores convive com o mau cheiro do esgoto em suas ruas na época de chuva, o que lhes causa grave constrangimento. Muitas famílias passaram a instalar válvulas de retenção em suas casas com o intuito de prevenir a entrada de esgoto, mas afirmam que vizinhos que não possuem condições financeiras para instalar as válvulas continuam sofrendo com o refluxo da rede nas residências.

Esse fato evidencia que o sistema separador absoluto não é adotado nessas regiões e que, possivelmente, ocorre um despejo irregular de esgoto nos córregos canalizados nas proximidades, cujo nível de água sofre elevação durante as precipitações, retornando pela tubulação. Ou ainda, a condução de água de chuvas é direcionada para a rede de esgoto, levando a uma sobrecarga desse sistema no período chuvoso.

Foi evidenciado também o descarte irregular de resíduos sólidos nos bairros, o que acaba por obstruir o sistema de microdrenagem, contribuindo para a ocorrência de alagamentos. Em novembro de 2017, foi noticiado o elevado volume de resíduos no Parque Ecológico carreados pelos córregos Ressaca e Sarandi em direção à lagoa da Pampulha. Segundo a reportagem, o volume de lixo, que inclui garrafas PET, plásticos e vegetação, praticamente dobra durante o período de chuvas (Figura 52).



Figura 52 – Reportagem do Jornal Estado de Minas, de novembro de 2017 (Fonte: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2017/11/24/interna_gerais,919183/com-chuva-corregos-levam-mais-lixo-para-a-lagoa-da-pampulha.shtml; Foto: Leandro Couri/EM/DA Press).

Percebe-se, portanto, que a falta de conexão entre os serviços de esgotamento sanitário, drenagem pluvial e gestão de resíduos sólidos na região da bacia do córrego Flor d'Água prejudica não somente a população moradora das áreas de risco, como também perpetua um passivo ambiental de poluição da Lagoa da Pampulha.

Os relatos dos entrevistados narram ainda as dificuldades dos moradores durante e após a ocorrência de inundações intensas. Alguns moradores afirmam que o acesso às próprias residências é impedido devido ao acúmulo de água nas ruas do bairro. Algumas pessoas

afirmaram sentir aversão à presença da água devido a traumas sofridos durante alagamentos. Também existem relatos sobre perdas de familiares e sobre resgate de crianças em situações de risco durante eventos de inundação.

Os moradores das regiões de risco indicadas na carta de inundações de Belo Horizonte afirmaram que a canalização do córrego Ressaca, nas proximidades do afluente Flor d'Água, não serviu para evitar o transbordamento durante a última temporada de chuvas, entre 2017 e 2018. A Defesa Civil de Belo Horizonte também registrou em sua página no *Twitter* a possibilidade de transbordamentos nesse mesmo período (Figura 53).



Figura 53 – Alerta no *Twitter* da Defesa Civil de Belo Horizonte sobre risco de transbordamento do córrego Ressaca, em março de 2018 (Fonte: <https://twitter.com/defesacivilbh>).

Os moradores dessas regiões percebem a influência que os bairros situados a montante da bacia exercem nos volumes de água acumulados na parte mais baixa, onde moram, e entendem que a canalização deveria acontecer em toda a extensão dos córregos. A moradora M04 comentou sobre a canalização do córrego Ressaca após confluência com o córrego Flor d'Água, nas imediações do bairro Conjunto Lagoa:

Essa obra, eles têm que ir com ela até o final, lá em cima [...]. Só que o problema não é só esse rio, tem o Tancredo (Flor d'Água), que transborda (M04).

Essa percepção demonstra a equivocada relação entre as soluções convencionais de drenagem e a impressão de controle do problema, ainda que a realidade evidencie que essas medidas não têm sido capazes de evitar novas inundações.

Quanto as impressões da população sobre a trama verde e azul, foi identificada uma alta aceitabilidade da proposta entre todos os grupos de entrevistados. Os moradores reconhecem os benefícios das técnicas como potencial para redução de inundações, assim como outras melhorias na qualidade de vida nos bairros.

De modo geral, apresentaram grande disposição para a implantação de medidas como os reservatórios individuais, que foram frequentemente associados à economia de água. Além

disso, reconhecem que as soluções apresentadas precisam de uma integração em todo o ambiente urbano e dificilmente irão funcionar sem a contribuição conjunta dos moradores.

Por outro lado, o pagamento de taxa de drenagem não foi bem recebido, principalmente devido à baixa credibilidade da população frente aos serviços públicos. A postura predominante dos participantes mostrou que a disposição a pagar está intimamente ligada a um reconhecimento prático dos benefícios desse possível serviço no cotidiano dos habitantes, em todos os grupos de entrevistados, que segundo os moradores não é percebido em outros serviços públicos, como citado pela moradora M03:

Não adianta falar que vai fazer. Você faz uns meses, depois relaxa. E a gente continua pagando, o dinheiro continua saindo do bolso da gente [...]. Você fala área verde, mas pra ficar desse jeito aí? Largado? Tem que ter manutenção (M03).

Outro ponto levantado pelos participantes em relação ao pagamento de taxas foi a preocupação com o município de Contagem, vizinho à bacia do córrego Ressaca. Os moradores percebem que a drenagem natural não acompanha os limites territoriais dos dois municípios e, por isso, temem arcar financeiramente com os volumes de água produzidos fora de Belo Horizonte. Este fator evidencia a importância de uma gestão que ultrapasse as fronteiras políticas e vise o benefício maior dos habitantes e do ambiente urbano.

5.2.3 Parâmetros e instrumentos regulamentares

A Tabela 10 apresenta alguns dos parâmetros de áreas urbanas existentes que se mostraram relevantes ao longo do estudo e que, se aplicados, poderiam contribuir para a efetiva implantação das técnicas e concretização da TVA na bacia do córrego Flor d'Água.

Tabela 10 – Parâmetros para áreas urbanas aplicáveis à bacia do córrego Flor d'Água.

Parâmetros	Análise e propostas
<ul style="list-style-type: none"> • Arborização, bosques e florestas urbanas <ul style="list-style-type: none"> ○ Percentual de áreas livres em novos loteamentos; ○ Percentual de área verde basal por unidade de área em espaços públicos; ○ Regulação de cobertura vegetal em espaços privados; 	<ul style="list-style-type: none"> • Pode ser realizado melhor aproveitamento das áreas livres disponíveis para aumento de arborização e áreas verdes; • Existe uma elevada taxa de áreas verdes devido à legislação ADE Pampulha (Lei nº 9037/2005). No entanto, essas áreas não são bem distribuídas na bacia; • Propostas de maiores taxas de permeabilidade existentes na IV CMPU (PBH, 2014). No entanto, não foi aprovada.
<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de águas pluviais <ul style="list-style-type: none"> ○ Controle de escoamentos ○ Manutenção do ciclo hidrológico 	<ul style="list-style-type: none"> • IV CMPU (PBH, 2014) propõe vazão de restrição em conjunto com a taxa de permeabilidade e caixa de captação. No entanto, não foi aprovada

Tabela 11 – Instrumentos para áreas urbanas aplicáveis à bacia do córrego Flor d'Água.

Instrumentos	Análise e propostas
<ul style="list-style-type: none"> • Redução de riscos de inundação <ul style="list-style-type: none"> ○ Zonas de risco de inundação; ○ Usos específicos em áreas não ocupadas; ○ Direito de preempção; ○ Trama verde e azul; ○ Plano de Prevenção do Risco de Inundação; ○ Plano de Contingência de Inundação; 	<ul style="list-style-type: none"> • Carta de inundação de Belo Horizonte (Córregos Ressaca e Flor d'Água) identificou como áreas críticas: <ul style="list-style-type: none"> ○ Rua Andorra ○ Rua João Alves da Silva ○ Rua Frei Martinho Burnier • Macrozoneamento RMBH também se mostrou importante ferramenta para implantação da TVA.
<ul style="list-style-type: none"> • Áreas industriais e grandes equipamentos urbanos 	<ul style="list-style-type: none"> • Selo BH Sustentável (existente) – certificação de edificações nos eixos água, energia e resíduos. Importante ferramenta para o incentivo de medidas sustentáveis em áreas industriais.

Identificou-se que, apesar de ser uma área intensamente impermeabilizada, ainda existem espaços livres que podem ser aproveitados para aumento de arborização e áreas verdes. Essa é uma medida de relevância para a bacia que, apesar de apresentar uma elevada taxa de áreas verdes graças à restritiva legislação da ADE Pampulha, não tem seus benefícios percebidos pela população residente mesmo nas áreas mais próximas às reservas ecológicas.

Essa ação poderia ser realizada principalmente nas praças e parques distribuídos em diversos bairros, que são subutilizados por falta de manutenção, permitindo um contato mais direto dos habitantes com os espaços verdes e contribuindo para o bem estar e melhoria da qualidade de vida, além dos benefícios hidrológicos resultantes do aumento da permeabilização.

Um dos instrumentos mais importantes identificados é a legislação de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo (Lei 7.166/96), submetida à Conferência Municipal de Política Urbana (CMPU). A IV CMPU, realizada em 2014, apresentou um forte perfil voltado à sustentabilidade e propostas que vão de encontro aos princípios da TVA.

Uma delas é a previsão de maiores taxas de permeabilidade em áreas privadas, o que permitiria uma continuidade dos espaços verdes e uma extensão dos benefícios dessas áreas para toda a bacia. Outro parâmetro existente na IV CMPU é a proposta da vazão de restrição, de modo que o lançamento de águas pluviais de um empreendimento se limite à vazão natural, contribuindo para a redução dos escoamentos superficiais causados pela impermeabilização. No entanto, seus resultados não foram aprovados até o momento pela Câmara Municipal.

Além desses parâmetros, a Carta de Inundações de Belo Horizonte, o Macrozoneamento da Região Metropolitana de Belo Horizonte e o Selo BH Sustentável são instrumentos que também contribuem para a efetivação da trama verde e azul de forma não estrutural.

5.3 Modelagem hidrológica de cenários comparativos

Os resultados serão apresentados por meio dos resultados quantitativos da modelagem hidrológica realizada no SWMM, evidenciando o escoamento superficial produzido resultante da adoção hipotética das técnicas recomendadas, de acordo com cada cenário. Esses resultados serão apresentados para a simulação contínua e simulação por eventos.

5.3.1 Parâmetros de modelagem

A Figura 54 apresenta a localização de cada uma das sub-bacias consideradas na modelagem, para referência das simulações.

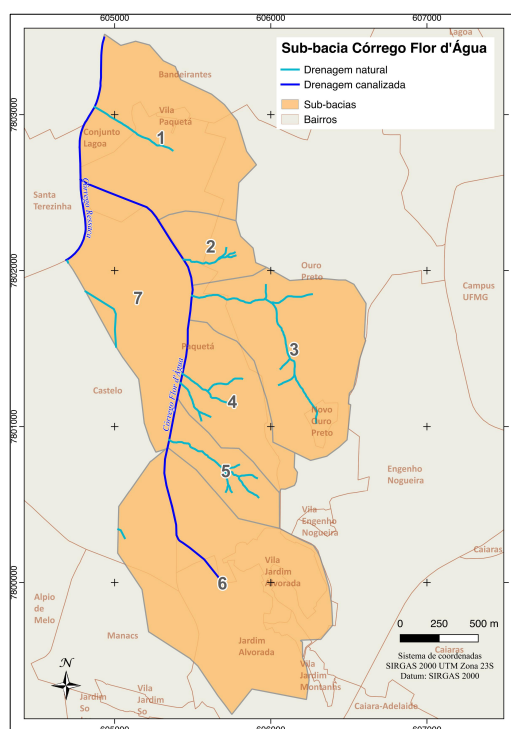


Figura 54 – Divisão das sub-bacias utilizadas para modelagem do córrego Flor d'Água.

O uso do solo atual apresentado na Figura 32 correspondente ao cenário 0. Esse uso foi inserido no SWMM por meio da definição de CN (Tucci, 2002), a partir de uma ponderação dos valores correspondentes a cada tipo de uso. Para os cenários 1 e 2B (áreas públicas), os valores de CN foram alterados para considerar a arborização prevista, passando o CN de áreas impermeáveis para o correspondente a áreas vegetadas. O cenário 2A, por sua vez, que considera implantação de técnicas apenas em áreas privadas da região, não considerou a contribuição da arborização e, portanto, utilizou o mesmo CN do cenário 0.

A Tabela 12 apresenta a definição dos valores de CN inseridos no SWMM em cada cenário para as sub-bacias, que são a base de cálculo do programa.

Tabela 12 – Valores de CN médio adotados no SWMM para cada sub-bacia do córrego Flor d'Água.

Sub-bacia	Área (ha)	CN médio	
		Cenários 0 e 2A	Cenários 1 e 2B
1	88,05	79,44	78,09
2	19,91	81,41	76,82
3	83,83	77,09	74,87
4	40,80	73,69	72,25
5	23,99	66,58	65,99
6	139,15	80,80	80,62
7	73,98	82,33	79,92

Além dos valores de CN, também foram reduzidas as porcentagens de área impermeável de cada sub-bacia devido à consideração de ocupação das áreas pelas técnicas LID. Para isso, os usos considerados como impermeáveis no cenário 0 foram recalculados para avaliação dos demais cenários e reduzidos os usos de distritos industriais e telhados residenciais de todos os tamanhos. Ruas e estradas permaneceram como áreas impermeáveis em todos os cenários pois não atenderam aos critérios para implantação de pavimentos permeáveis, dadas as condições de solo da bacia, como será detalhado a seguir.

A variação do parâmetro %IMPERV para cada um dos cenários simulados ocorreu como apresentado na Tabela 13. Os demais parâmetros das sub-bacias foram mantidos de acordo com a calibração de Cândido (2015).

Tabela 13 – Variações do parâmetro %IMPERV no SWMM para cada sub-bacia do córrego Flor d'Água.

Sub-bacia	Área total (ha)	%IMPERV			
		Cenário 0	Cenário 1	Cenário 2A áreas privadas	Cenário 2B áreas públicas
1	88,05	84,82	22,52	59,73	80,41
2	19,91	96,94	26,02	89,46	95,86
3	83,83	73,38	18,75	41,33	67,24
4	40,80	69,71	16,40	35,12	63,76
5	23,99	42,92	11,97	17,33	35,15
6	139,15	87,24	23,45	64,77	83,33
7	73,98	92,85	30,60	81,06	89,70

5.3.2 Definição de tipologias

De acordo com a PBH (2007), o solo da região da bacia do Ressaca é predominantemente do tipo B, com formação de solos residuais de gnaisses silto-arenosos ou areno-argilosos, indicando uma infiltração moderada. Esse tipo de solo pode ser associado a uma condutividade hidráulica (K) que varia entre 10^{-4} a 10^{-2} m/s, o que restringiu a escolha de técnicas a tipologias com $K > 10^{-6}$ m/s (Fetter, 2001).

O segundo critério considerado para a definição das tipologias correspondeu à profundidade do lençol freático na região de estudo (p). Esse parâmetro foi analisado com o auxílio das informações de sondagem STP (*Standard Penetration Test*) elaboradas em 2009 e 2014 e fornecidas para este estudo pela SUDECAP. A menor profundidade de nível d'água registrada nas amostras foi de 3,75 metros. Desse modo, a escolha das técnicas ficou restrita também por este critério a tipologias com $p > 2$ m.

Por fim, os critérios determinantes para a escolha de técnicas foram área construída e declividade. Esses critérios foram associados aos tipos de solo identificados e associados por meio de colunas na tabela de atributos no software QGIS. Desse modo, o cruzamento de camadas permitiu a definição das tipologias e a escolha de técnicas mais adequadas a cada uma de acordo com as tabelas propostas.

Os critérios utilizados, tipologias identificadas e respectivas técnicas escolhidas para modelagem são apresentadas na Tabela 14 e na Figura 55.

Tabela 14 – Técnicas LID definidas para cada tipologia.

Tipologias		Critérios	km ²	ha	Técnicas LID escolhidas	
1	Pública	I < 10%	0,5946	59,46	Células de biorretenção	
2		I > 10%	0,4478	44,78	Arborização	
3	Privada	A < 400 m ²	0,2624	26,24	Reservatório	
4		I < 10%	400 m ² < A < 1000m ²	0,4863	48,63	Jardim de chuva
5*		A > 1000m ²	0,5240	52,40	Jardim de chuva	
6		A < 400 m ²	0,6035	60,35	Reservatório	
7		I > 10%	400 m ² < A < 1000m ²	0,8672	86,72	Telhado verde
8*		A > 1000m ²	0,6909	69,09	Telhado verde	

*(EXCETO PARQUES) Legenda: I – declividade do terreno; A – área dos lotes.

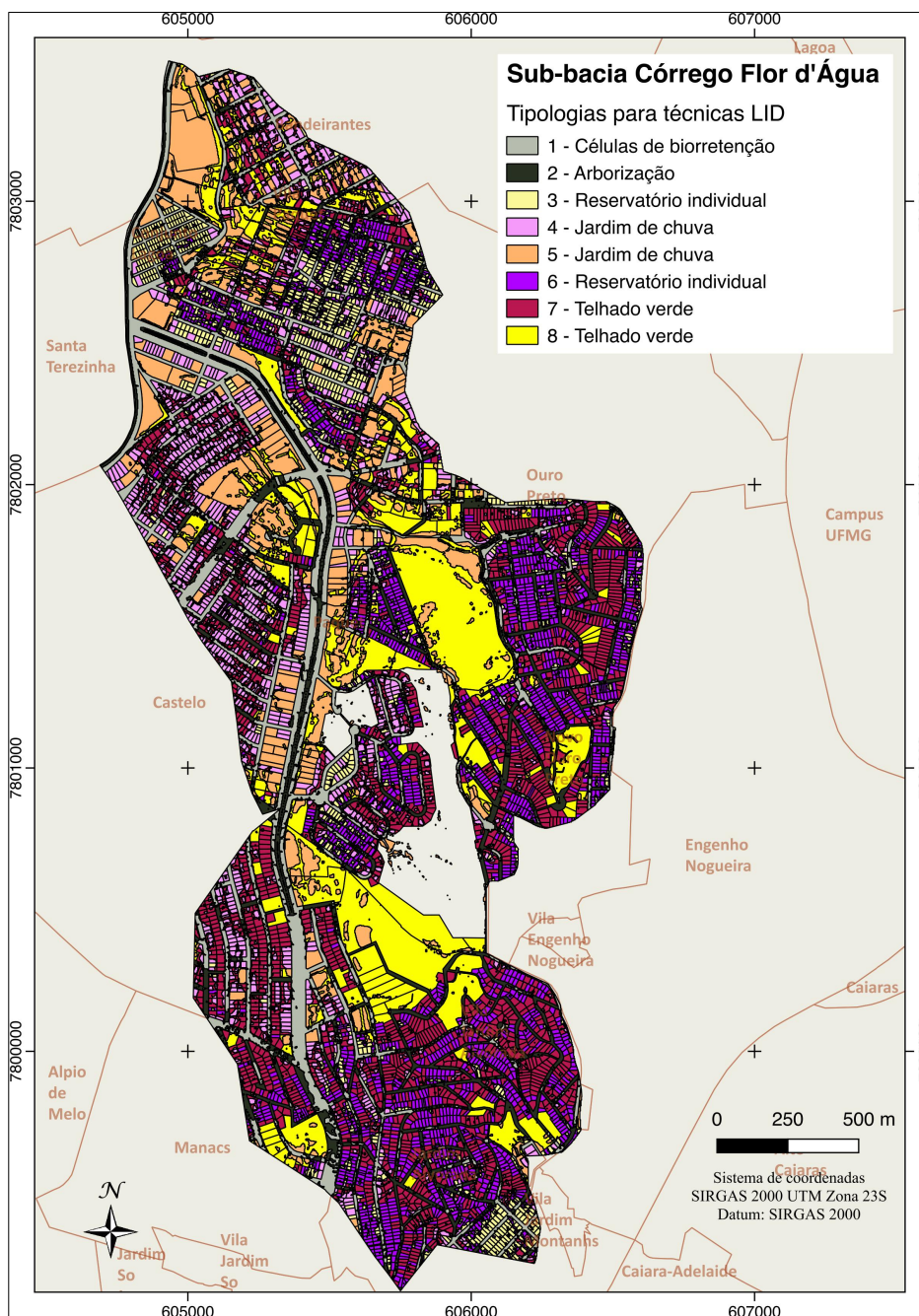


Figura 55 – Tipologias identificadas para seleção de técnicas LID

5.3.3 Resultados comparativos da modelagem hidrológica

Os resultados comparativos entre os diferentes cenários analisados serão apresentados para as simulações realizadas: (i) simulação contínua, com a precipitação incidente na bacia do córrego Flor d'Água entre os meses de janeiro a junho de 2013; e (ii) simulação por eventos, para os períodos de retorno de 10, 20, 50 e 100 anos.

A Tabela 15 apresenta as técnicas LID contempladas em cada um dos cenários, de acordo com as tipologias definidas na Tabela 14.

Tabela 15 – Técnicas LID aplicadas aos cenários comparativos.

	Cenário 1	Cenário 2A áreas privadas	Cenário 2B áreas públicas
	Reservatórios individuais		
Técnicas LID	Telhados verdes	Reservatórios individuais	Arborização
	Jardim de chuva	Telhados verdes	Células de biorretenção
	Arborização	Jardim de chuva	
	Células de biorretenção		

5.3.3.1 Simulação contínua

A resposta da bacia do córrego Flor d'Água, para cada um dos cenários, foi avaliada a partir das vazões registradas no exutório do modelo, resultantes da precipitação incidente entre os meses de janeiro a junho de 2013 (Cândido, 2015). O benefício da aplicação das técnicas LID para todos os cenários foi quantificado de acordo com a redução de escoamento superficial registrada no exutório da bacia em relação ao *cenário 0, urbanismo atual*.

A Figura 58 apresenta o comportamento da vazão no exutório da bacia resultante do escoamento superficial, para os cenários 0 e 1.

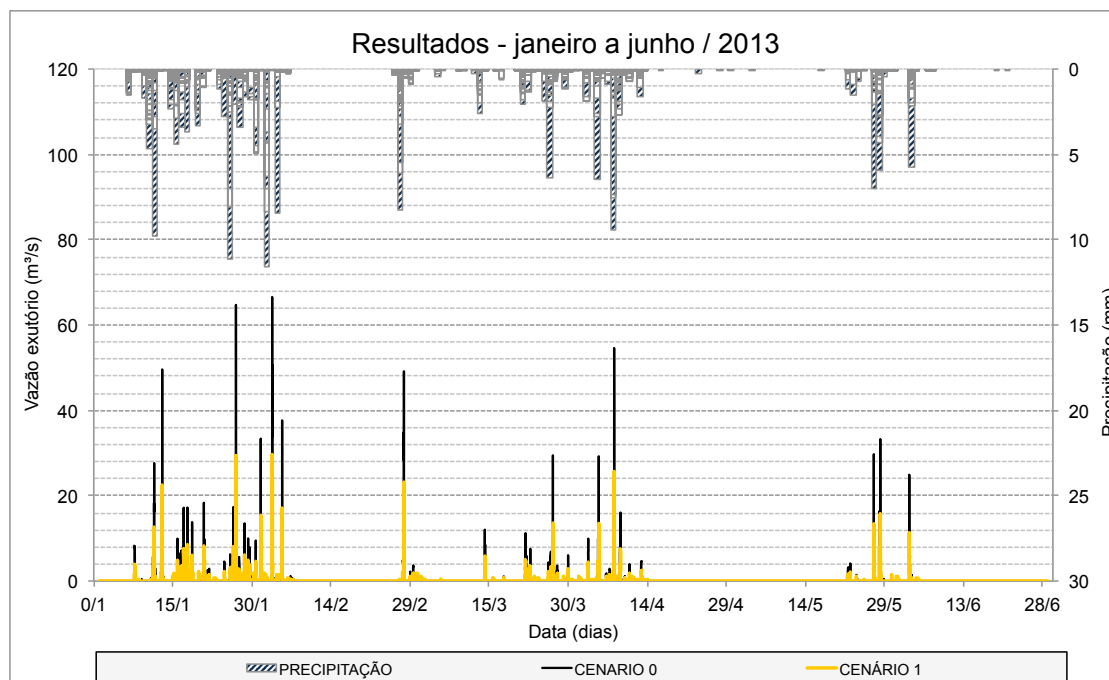


Figura 56 – Vazões registradas no exutório da bacia ao longo do tempo (cenários 0 e 1).

A partir da Figura 56, percebe-se que o maior impacto da implantação das técnicas LID ocorre nos valores mais altos de vazão, durante os eventos de maior magnitude. Os eventos menores também apresentam uma redução de pico e uma distribuição da vazão durante alguns

dias após o evento principal. Com isso, nota-se que a implantação de técnicas LID contribuiu para a redução do escoamento superficial registrado na saída do modelo.

A Figura 57 apresenta as vazões registradas no exutório da bacia para os cenários 0 e 2A, referente às medidas implantadas em áreas privadas apenas. As técnicas LID implantadas para esse cenário foram:

- Reservatórios individuais, para áreas residenciais inferiores a 400 m²;
- Telhados verdes, para áreas residenciais superiores a 400 m² e declividades superiores a 10%;
- Jardim de chuva, para áreas residenciais superiores a 400 m² e declividades inferiores a 10%.

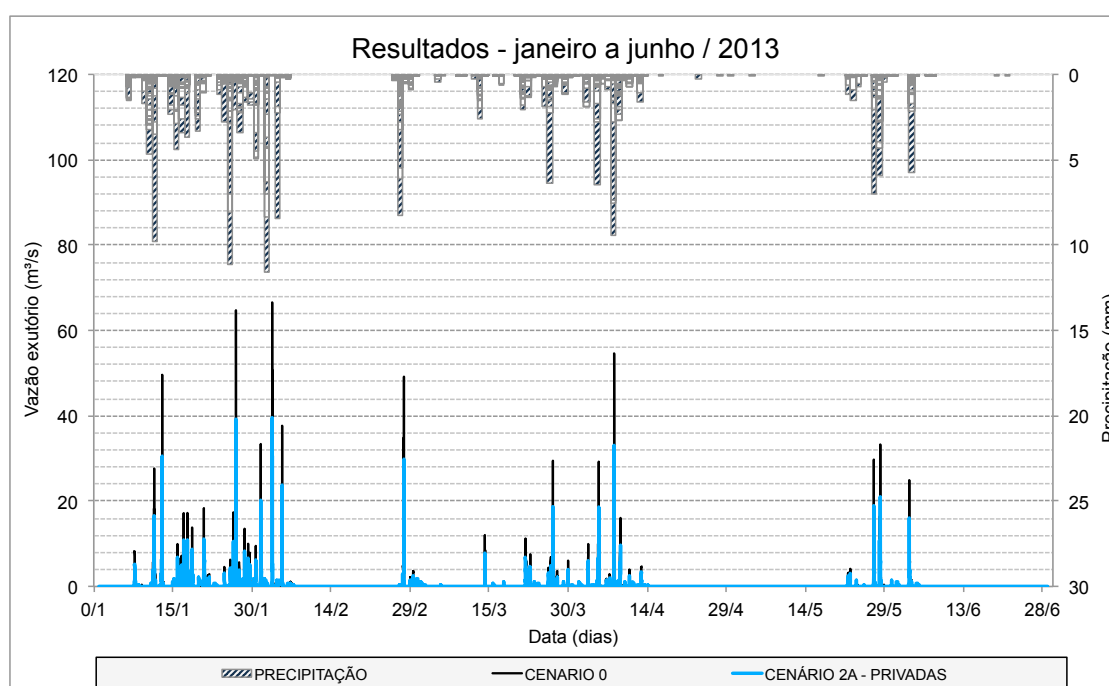


Figura 57 – Vazões registradas no exutório da bacia ao longo do tempo (cenários 0 e 2A).

Já a Figura 58 apresenta as vazões simuladas no exutório da bacia para os cenários 0 e 2B, referente às medidas implantadas somente em áreas públicas. As técnicas LID consideradas nesse cenário foram:

- Arborização, com alteração do CN para áreas com declividade superior a 10%;
- Células de biorretenção para áreas com declividade inferior a 10%.

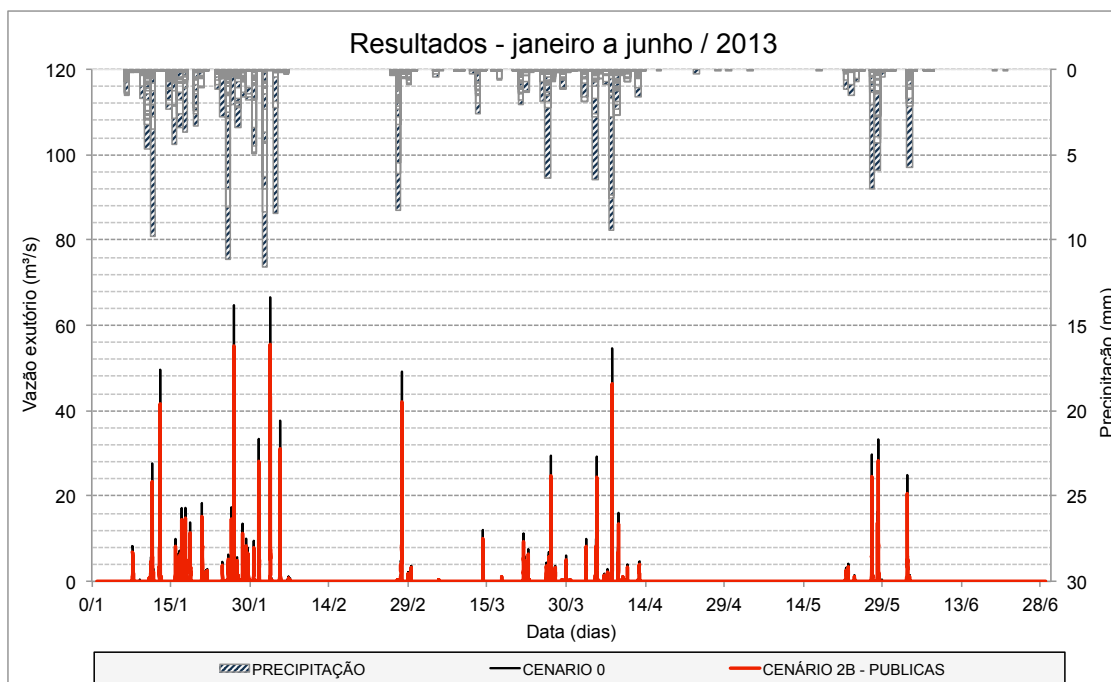


Figura 58 – Vazões registradas no exutório da bacia ao longo do tempo (cenários 0 e 2B).

Percebe-se que a implantação de técnicas LID contribuiu para a redução do escoamento superficial registrado na saída do modelo, com picos de vazão inferiores aos do cenário 0, do mesmo modo que ocorreu para o cenário 2A. Nota-se, no entanto, que essa redução foi inferior ao do cenário 2A, como será apresentado a seguir.

A Figura 59 apresenta a redução percentual da vazão de pico para todos os cenários em relação ao cenário 0, obtida a partir da modelagem hidrológica no SWMM, e a Figura 60 mostra o comportamento da vazão ao longo do tempo.

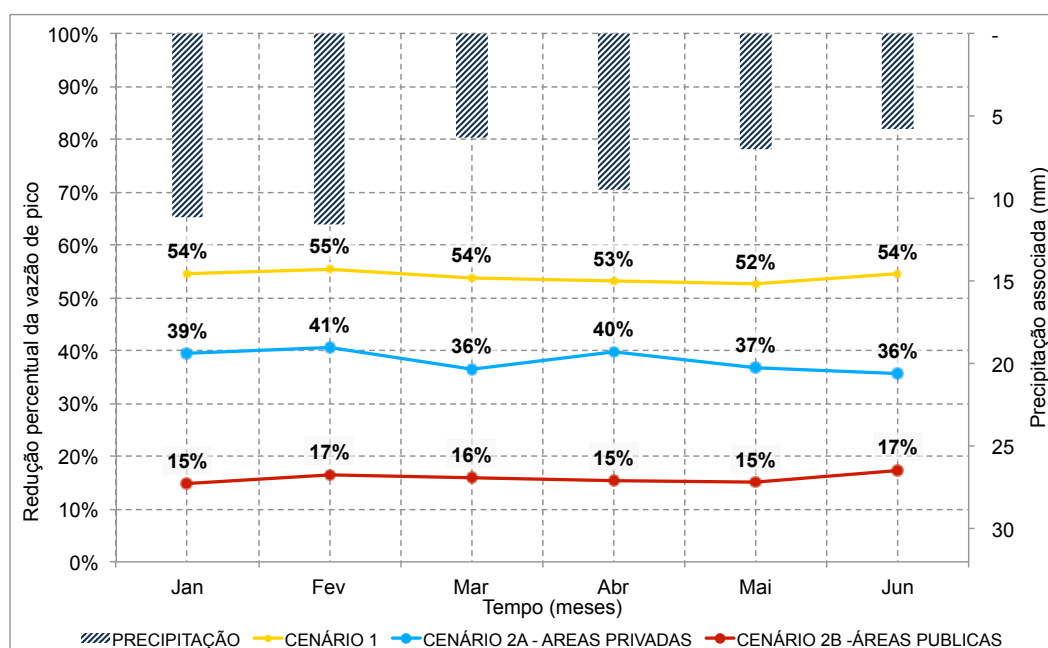


Figura 59 – Percentual de redução das vazões máximas de cada mês no exutório da bacia em relação ao cenário 0.

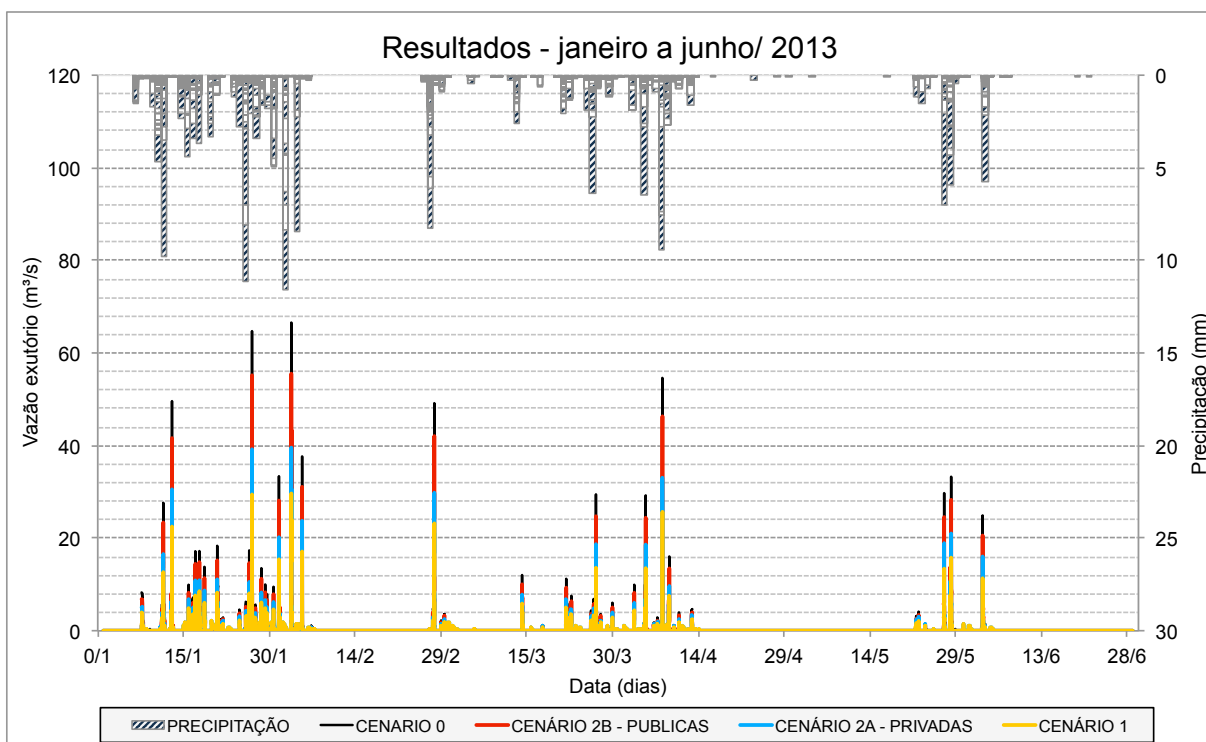


Figura 60 – Vazões identificadas no exutório da bacia ao longo do tempo para todos os cenários.

Por ser uma área ocupada majoritariamente por usos residenciais, nota-se que as técnicas de telhado verde, reservatórios individuais e jardins de chuva, propostas para as áreas privadas (Cenário 2A), são responsáveis pela maior parte do amortecimento de vazões na bacia.

De todo modo, a análise parcial permitiu averiguar que tanto o cenário 2A quanto o 2B contribuíram de forma expressiva para a redução do escoamento superficial gerado no cenário atual (cenário 0) da bacia do córrego Flor d'Água.

5.3.3.2 Simulação por eventos

A simulação por eventos avaliou a resposta da bacia do córrego Flor d'Água por meio das vazões registradas no exutório do modelo para eventos de tempo de retorno e duração específicos. O benefício da aplicação das técnicas LID para todos os cenários foi quantificado de acordo com a redução de escoamento superficial registrada no exutório da bacia em relação ao cenário 0, urbanismo atual.

Para geração das precipitações de projeto, são apresentadas a Tabela 16, com as intensidades de precipitação obtidas a partir da Equação 1, e a Tabela 17, com as alturas pluviométricas correspondentes.

Tabela 16 – Intensidades de precipitação para a RMBH.

Duração (horas)	Tempo de retorno (anos)							
	1,05	1,25	2	10	20	50	100	200
0,167	94,42	113,14	138,42	195,12	216,71	244,72	265,77	286,67
0,25	71,33	85,18	103,97	145,94	161,95	182,68	198,28	213,78
0,50	44,48	52,60	63,74	88,46	97,96	110,17	119,36	128,54
0,75	32,61	39,08	47,87	67,58	75,09	84,83	92,11	99,38
1	26,19	31,67	39,11	55,74	62,10	70,32	76,49	82,66
2	16,15	19,46	23,98	34,03	37,88	42,87	46,59	50,32
3	12,06	14,58	18,01	25,67	28,60	32,38	35,22	38,06
4	9,97	11,97	14,69	20,76	23,07	26,07	28,31	30,56
8	5,99	7,27	9,01	12,90	14,38	16,30	17,74	19,17
14	3,81	4,77	6,08	9,00	10,12	11,56	12,65	13,72
24	2,47	3,19	4,16	6,34	7,18	8,25	9,06	9,87

Tabela 17 – Alturas pluviométricas para a RMBH.

Duração (horas)	Tempo de retorno (anos)							
	1,05	1,25	2	10	20	50	100	200
0,167	15,74	18,86	23,07	32,52	36,12	40,79	44,29	47,78
0,25	17,83	21,30	25,99	36,49	40,49	45,67	49,57	53,45
0,50	22,24	26,30	31,87	44,23	48,98	55,09	59,68	64,27
0,75	24,46	29,31	35,90	50,68	56,32	63,62	69,08	74,54
1	26,19	31,67	39,11	55,74	62,10	70,32	76,49	82,66
2	32,30	38,92	47,96	68,06	75,77	85,75	93,17	100,64
3	36,18	43,75	54,03	77,00	85,79	97,14	105,66	114,19
4	39,90	47,90	58,74	83,04	92,26	104,27	113,25	122,24
8	47,92	58,16	72,10	103,17	115,04	130,40	141,92	153,37
14	53,31	66,81	85,16	125,99	141,66	161,86	177,03	192,12
24	59,23	76,51	99,89	152,24	172,28	198,11	217,56	236,91

O tempo de concentração da bacia do córrego Flor d'Água foi definido a partir do método cinemático, considerando o perfil longitudinal do córrego, obtido com auxílio do Google Earth Pro (Figura 61).

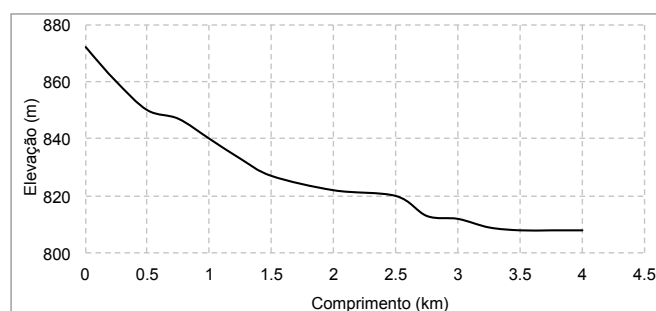


Figura 61 – Perfil longitudinal do córrego Flor d'Água.

Por apresentar a maior parte dos trechos canalizados, foi adotada a velocidade média de 5,0m/s em toda a extensão do talvegue principal. Com isso, o tempo de concentração adotado foi de 15 minutos, determinando a duração dos eventos a serem analisados.

Para a simulação da bacia do córrego Flor d'Água foram avaliados os eventos de período de retorno 10, 20, 50 e 100 anos para a duração de 15 minutos. A Figura 62 apresenta os hietogramas de projetos obtidos, que foram inseridos no software SWMM para realização da simulação por eventos para os mesmos cenários analisados na simulação contínua (cenário 0, cenário 1, cenário 2A e cenário 2B).

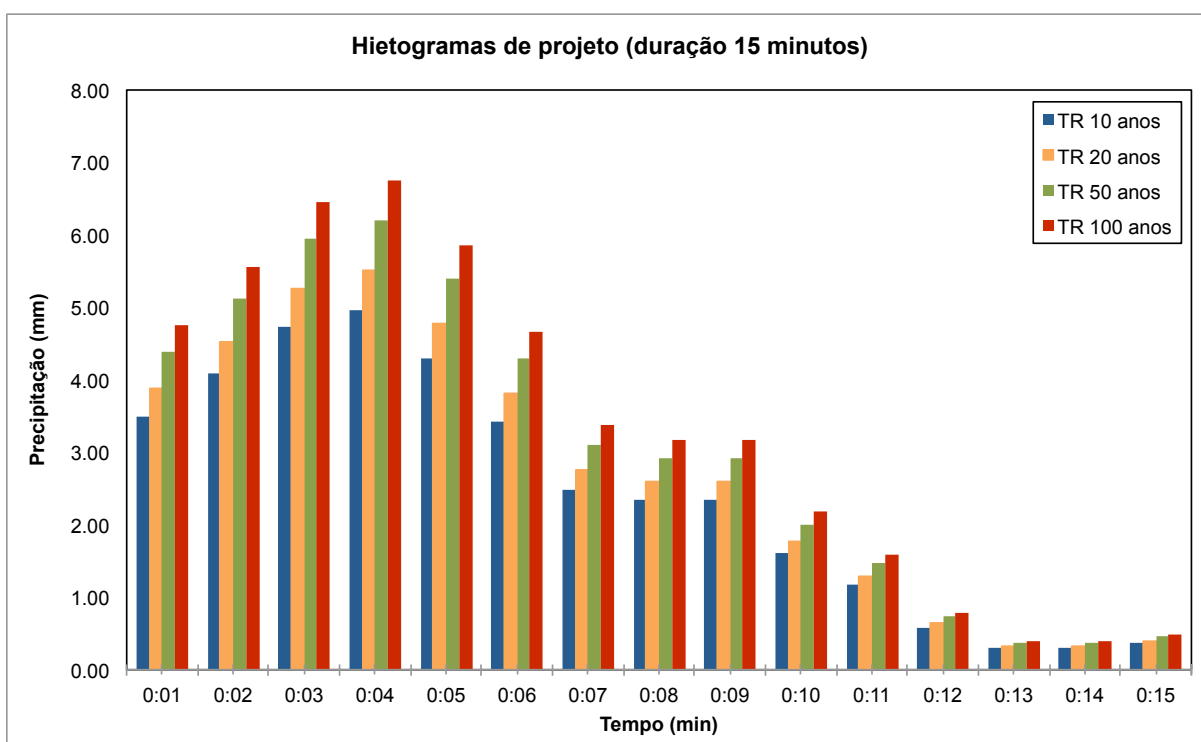


Figura 62 – Quantis pluviométricos para eventos de 15 minutos de duração para os períodos de retorno selecionados.

As figuras de 63 a 66 apresentam o comportamento da vazão no exutório da bacia para todos os cenários e para os períodos de retorno estabelecidos.

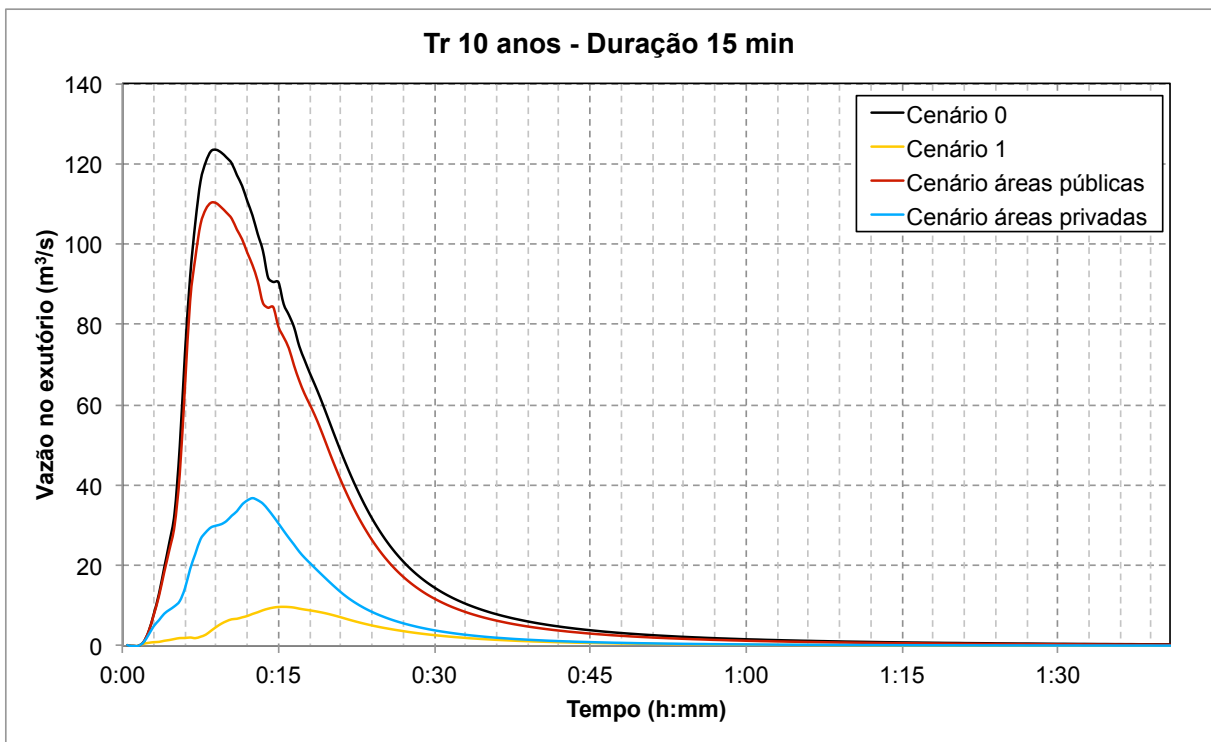


Figura 63 – Vazões identificadas no exutório da bacia ao longo do tempo para o evento de 15 minutos de duração e TR 10 anos.

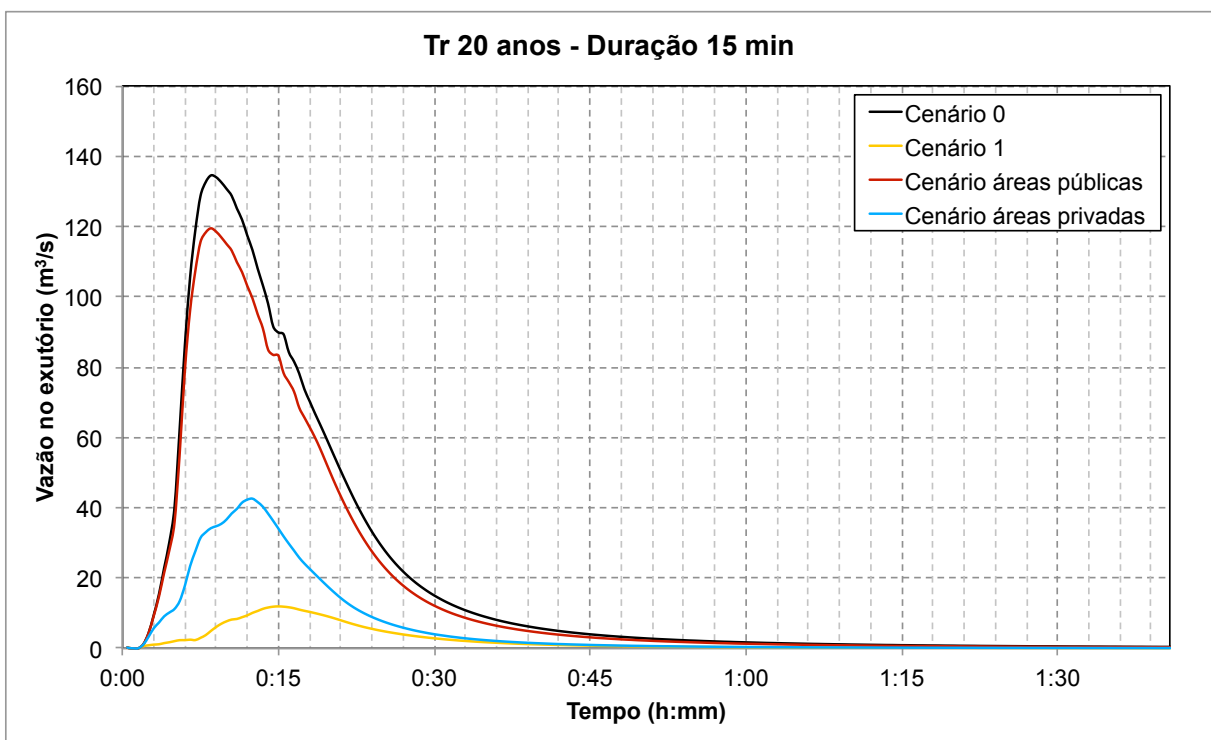


Figura 64 – Vazões identificadas no exutório da bacia ao longo do tempo para o evento de 15 minutos de duração e TR 20 anos.

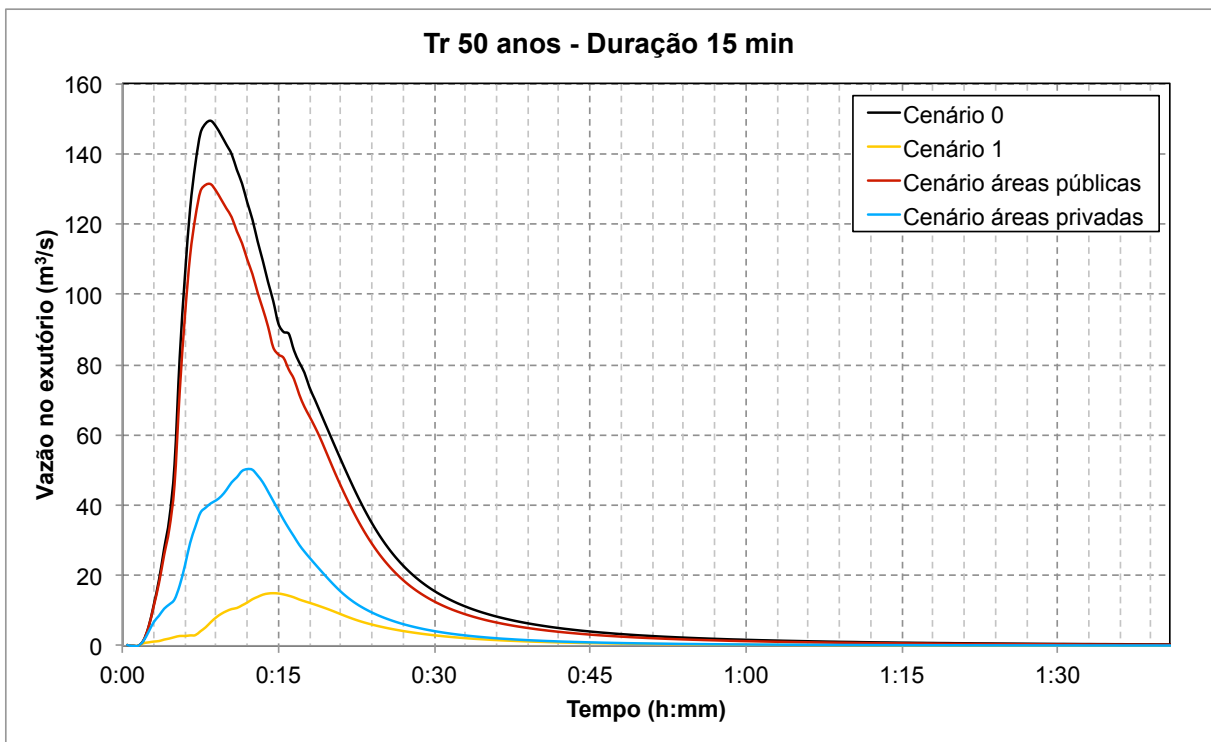


Figura 65 – Vazões identificadas no exutório da bacia ao longo do tempo para o evento de 15 minutos de duração e TR 50 anos.

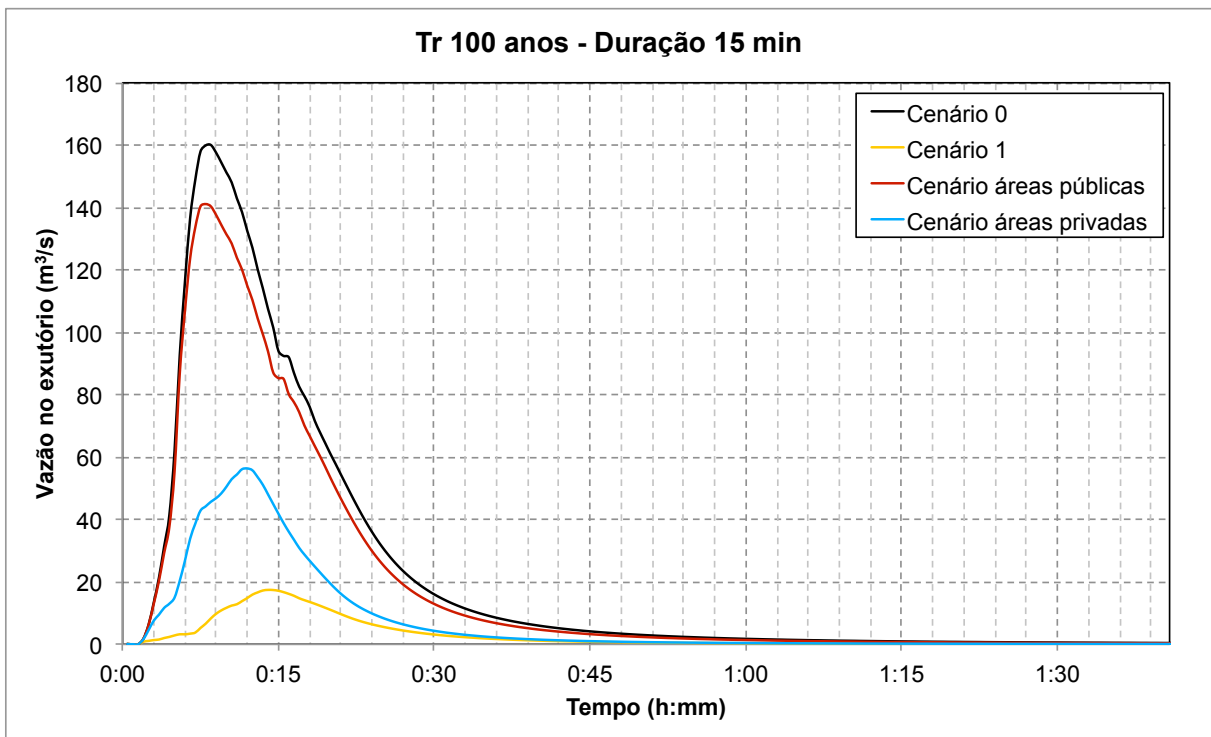


Figura 66 – Vazões identificadas no exutório da bacia ao longo do tempo para o evento de 15 minutos de duração e TR 100 anos.

A Tabela 18, por sua vez, apresenta os resultados comparativos das vazões de pico obtidas em cada um dos cenários, em relação ao cenário 0, *urbanismo atual*, assim como o respectivo amortecimento observado em cada simulação.

Tabela 18 – Resultados comparativos da simulação por eventos para todos os cenários.

Tempo de retorno (anos)	Vazão de pico (m ³ /s)				Porcentagem de redução			
	TR 10	TR 20	TR 50	TR 100	TR 10	TR 20	TR 50	TR 100
Cenário 0	123,47	134,52	149,34	160,05	-	-	-	-
Cenário 1	9,73	11,92	14,97	17,42	92%	91%	90%	89%
Cenário 2A Áreas privadas	36,78	42,57	50,27	56,35	70%	68%	66%	65%
Cenário 2B Áreas públicas	110,28	119,47	131,29	141,11	11%	11%	12%	12%

A partir dos resultados apresentados na Tabela 18, é possível perceber que a eficiência das técnicas LID na redução da vazão de pico é significativa para eventos de precipitação críticos.

Assim como observado na simulação contínua, os resultados indicam que o cenário 1 é o mais favorável à redução dos impactos no ciclo hidrológico, por meio da associação de diversas técnicas LID. A simulação desse cenário apontou uma redução de até 92% das vazões de pico quando comparadas ao cenário 0, *urbanismo atual*, graças a atuação em conjunto das diversas técnicas de infiltração e armazenamento distribuídas na bacia.

Por meio da observação dos cenários comparativos entre as simulações contínua e por eventos, é interessante observar o comportamento das diferentes técnicas LID. O cenário 2B, que consiste na implantação de células de biorretenção, apresenta o funcionamento de uma técnica que atua aumentando a infiltração dos volumes precipitados. Essa técnica apresentou melhores resultados durante a simulação contínua, com uma redução da vazão de pico de até 17%. Por outro lado, durante a simulação por eventos, a redução das vazões de pico, em relação ao cenário atual, alcançou somente 12%.

Já as técnicas que favorecem o retardo dos escoamentos até a rede de drenagem, promovendo armazenamento, apresentaram melhor desempenho na simulação por eventos. Ao observar o cenário 2A, nota-se que a capacidade de redução das vazões de pico foi de até 70% para a simulação por eventos, enquanto que para a simulação contínua as técnicas apresentaram redução de até 41%. Em ambas as simulações, percebe-se que a implantação de técnicas em áreas privadas é responsável pelo maior amortecimento dos volumes, tendo em vista as características ocupacionais da bacia estudada.

De todo modo, em todas as configurações de técnicas LID estabelecidas, foram observados benefícios significativos na redução de escoamento superficial em uma área urbana consolidada, mesmo considerando as limitações para sua implantação.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo procurou estabelecer um panorama relativo à viabilização da trama verde e azul em uma bacia hidrográfica cuja ocupação urbana se encontra consolidada. Para tanto, tomou como base norteadora a participação de *stakeholders* que direcionaram dois principais pontos de vista do estudo: um não estrutural, concernente a parâmetros urbanos e instrumentos regulamentares, e outro estrutural, relativo a técnicas de infraestrutura e soluções de engenharia.

Essa participação se deu por meio de entrevistas e grupos focais que procuraram mapear, por meio da experiência e conhecimento dos envolvidos, o atual contexto da bacia do córrego Flor d'Água em relação a gestão de águas urbanas. Esse contato também permitiu identificar algumas das barreiras que uma abordagem baseada em infraestrutura verde pode enfrentar em termos práticos de implantação.

O levantamento qualitativo realizado observando as áreas públicas mostrou importantes obstáculos existentes à uma gestão urbana mais sustentável. A disputa por espaço em áreas consolidadas é um exemplo, principalmente devido à elevada priorização das vias de tráfego em detrimento da ocupação dessas áreas por técnicas capazes de aumentar a permeabilidade das bacias. Percebeu-se também que uma abordagem voltada à trama verde e azul requer um esforço que vai além da simples implantação de técnicas, mas inclui manutenção, fiscalização e contribuição de diversos agentes, trazendo uma demanda financeira e de pessoas significativa para o setor público.

Os participantes também apontaram que a falta de conhecimento sobre instrumentos urbanísticos voltados à trama verde e azul pode causar insegurança de grupos de interesse, prejudicando a aplicação dessas ações de forma concreta. Um exemplo é a IV CMPU que, apesar de ter sido construída de maneira participativa e apresentar diversos instrumentos que vão de encontro à TVA, não teve suas propostas aprovadas. Desse modo, a capacitação técnica, a comunicação e a participação social se tornam importantes ferramentas para a efetivação dessas medidas.

Do ponto de vista das áreas privadas, são apontados problemas como a deficiência de áreas verdes e espaços de lazer acessíveis aos moradores, principalmente de bairros que foram ocupados espontaneamente. Nesses locais, a população percebe ainda mais a disputa por espaço conferida pela priorização do tráfego de veículos, em detrimento de calçadas mais largas e canteiros arborizados. No entanto, a maior adversidade enfrentada pelos moradores

da bacia do córrego Flor d'Água são as frequentes inundações decorrentes do transbordamento dos corpos hídricos e do refluxo da rede de esgoto.

Para ambos os grupos de entrevistados, a ideia de estabelecer um ambiente urbano segundo os princípios da trama verde e azul foi bem recebida e seus benefícios prontamente reconhecidos. Não obstante, compartilham a preocupação com questões de urgência imediata, como saneamento básico, habitação e saúde, que precisam ser atendidas conjuntamente às discussões voltadas para a TVA. Essas demandas, que ainda fazem parte do cotidiano da população, resultam em uma baixa credibilidade dos habitantes frente a ações públicas. Esse acabou por ser identificado como um dos principais obstáculos às propostas de instrumentos financeiros para a população.

Em relação ao comportamento hidrológico da bacia do córrego Flor d'Água, percebeu-se por meio dos cenários comparativos, que as contrapartidas tanto públicas quanto privadas são de extrema importância na redução dos impactos da urbanização no ciclo hidrológico, principalmente se empregadas em conjunto. Nota-se que, mesmo em uma área urbana consolidada e com limitações espaciais, as técnicas de infraestrutura verde são capazes de trazer benefícios significativos, ainda que instaladas em escala parcial.

O melhor aproveitamento de áreas públicas ociosas, por exemplo, poderia ser um ponto de partida expressivo, ainda que limitado. A conexão dessas áreas com as áreas verdes e parques existentes na bacia contribuiria para distribuir os benefícios que atualmente são percebidos apenas pela população que habita as suas imediações.

A associação dessas técnicas a medidas não estruturais e uma dinâmica urbanística voltada para a construção da trama verde e azul são fundamentais para complementar a redução dos impactos da urbanização em uma bacia consolidada. Todas são ferramentas capazes de direcionar as práticas de gestão de águas pluviais rumo à trama verde e azul com o intuito de extrair de maneira eficiente os seus benefícios e melhorar a qualidade de vida dos habitantes.

Esses e outros instrumentos e incentivos, principalmente financeiros, precisam ser aperfeiçoados, colocados em prática e fiscalizados. Alguns deles já existem, mas ainda é necessário articular e efetivar suas potencialidades. Para tanto, é de extrema relevância o envolvimento tanto de áreas públicas quanto privadas para a implantação e manutenção da TVA, que requer um compartilhamento de custos e de responsabilidades de manutenção.

Recomenda-se que sejam investigadas e remediadas as ocorrências de refluxos na rede de esgoto durante os eventos chuvosos e que se procure garantir o sistema separador absoluto preconizado no planejamento dos sistemas de esgoto e de drenagem urbana para que esses sistemas não sofram sobrecarga. Conjuntamente, mostra-se necessário atenção ao despejo inadequado de resíduos sólidos, que prejudica o desempenho desses sistemas, como é evidenciado pela qualidade dos corpos hídricos da bacia estudada.

Ações de educação e conscientização são fundamentais para o envolvimento dos habitantes nessa mudança de perspectiva, de modo a assegurar que esses sistemas funcionem adequadamente. Essas ações permitem que os moradores de áreas não impactadas pelas ocorrências de inundações também atuem na preservação e manutenção dos sistemas para garantir um bom funcionamento e, com isso, minimizar as chances de novos eventos. Além disso, contribuem para que toda a cidade esteja integrada em um ambiente sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, M.S.P, POLETO, C. Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana: Dispositivos. *HOLOS Environment*, v.12 n.2, p. 121. 2012.

ALLAG-DHUISME F., AMSALLEM J., BARTHOD C., DESHAYES M., GRAFFIN V., LEFEUVRE C., SALLES E. (COORD), BARNETCHE C., BROUARD-MASSON J, DELAUNAY A., GARNIER CC, TROUVILLIEZ J. *Guide méthodologique identifiant les enjeux nationaux et transfrontaliers relatifs à la préservation et à la remise en bon état des continuités écologiques et comportant un volet relatif à l'élaboration des schémas régionaux de cohérence écologique* – Deuxième document en appui à la mise en œuvre de la Trame verte et bleue en France. Proposition issue du comité opérationnel Trame verte et bleue. MEEDDM ed. 2010.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. *Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems*, ASCE – Manuals and Reports on Engineering Practice No. 77. American Society of Civil Engineers and the Water Environment Federation. New York, NY. 1992.

ARAÚJO, F. Diferentes Conceitos da Trama Verde Azul na França e no Brasil. Março de 2017. 29 slides. Disponível em: <http://www.rmbh.org.br/central.php>.

ASHLEY R., LUNDY, L., WARD, S., SHAFFER, P., WALKER, L., MORGAN, C., SAUL, A., WONG, T., MOORE, S. Water-sensitive urban design: opportunities for the UK. *Municipal Engineer*, v.166, issue ME2, p.65-76. 2013.

BAPTISTA, M., NASCIMENTO, N., BARRAUD, S. *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*, Porto Alegre. 266 p. ABRH, 2005.

BARBOUR, R. *Grupos focais*. Tradução: Marcelo Figueiredo Duarte. Porto Alegre: Artmed, 2009. 216 p.

BELO HORIZONTE. Lei no 7.165, de 27 de agosto de 1996: Institui o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 1996.

_____. Lei nº 7.166, de 27 de agosto de 1996: Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município. Belo Horizonte, 1996.

_____. Lei nº 8137, de 21 de dezembro de 2000: Altera as leis nºs 7165 e 7166, ambas de 27 de agosto de 1996, e dá outras providências.

_____. Lei nº 8.616, de 14 de julho de 2003: Contém o Código de Posturas do Município de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2003.

_____. Lei nº 9.037, de 14 de janeiro de 2005: Institui o plano de ação - Programa de Recuperação e Desenvolvimento Ambiental da Bacia da Pampulha - PROPAM - em Belo Horizonte, e regulamenta as ADEs da Bacia da Pampulha, da Pampulha e Trevo, em conformidade com as Leis no 7.165/96 e 7.166/96.

_____. Lei nº 9959, de 20 de julho de 2010: Altera as leis nº 7165/96 - que institui o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte - e nº 7166/96 - que estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no Município -, estabelece normas e condições para a urbanização e a regularização fundiária das Zonas de Especial Interesse

Social, dispõe sobre parcelamento, ocupação e uso do solo nas Áreas de Especial Interesse Social, e dá outras providências.

_____. Decreto nº 14791, de 09 de janeiro de 2012: Institui o Planejamento Estratégico BH 2030 – A Cidade que Queremos. Belo Horizonte, 2012.

BENEDICT, M. A., MCMAHON, E. T. Green infrastructure: linking landscapes and communities. *Island Press*, 2012.

BONI, V., QUARESMA, S.J. Aprendendo a entrevistar: como fazer entrevistas em Ciências Sociais. *Revista Eletrônica dos Pós-graduandos em Sociologia Política da UFSC*. Vol. 2 no 1 (3), janeiro-julho/2005, p. 68-80.

BRASIL. Lei No 10.257, DE 10 DE JULHO DE 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.

BUCKERIDGE, M. Árvores Urbanas em São Paulo. *Estudos Avançados* (29), p.85-101. 2015.

CÂNDIDO, E.G.S. *Modelagem hidrológica e hidráulica da bacia do córrego Ressaca (Belo Horizonte, MG) utilizando o modelo SWMM*. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2015.

CANHOLI, A. P. *Drenagem Urbana e Controle de Enchentes*. Oficina de Textos. São Paulo, 2005. 301 p.

CARDOSO, A.S. *Proposta de Metodologia para Orientação de Processos Decisórios Relativos a Intervenções em Cursos de Água Em Áreas Urbanas*. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte, 2012.

CARRIÇO, J.M. O Plano de Saneamento de Saturnino de Brito para Santos: construção e crise da cidade moderna. *Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo*. Instituto de Arquitetura e Urbanismo – IAU. Universidade de São Paulo. 2015.

CAVALCANTE, J.S.I, ALOUFA, M.A.I. Percepção de riscos ambientais: uma análise sobre riscos de inundações em Natal-RN, Brasil. *Investigaciones Geográficas*, Boletín, núm. 84, Instituto de Geografía, UNAM, México, p. 54-68, 2014.

CEPED – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012: Volume Minas Gerais*. Florianópolis, UFSC, 2013.

_____. *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012: Volume Brasil*. Florianópolis, UFSC, 2013.

CHARMAZ, K., MITCHELL, R.G. Grounded Theory in Ethnography. In: ATKINSON, P.A., COFFEY, A., DELAMONT, S., LOFLAND, J., LOFLAND, L. *Handbook of Ethnography*. Londres: SAGE, p.160-174. 2001.

CIPOLLA, S.S., MAGLIONICO, M., STOJKOV, I. A long term hydrological modelling of an extensive green roof by means of SWMM. *Ecological Engineering*. 2016, p. 876–887.

COSTA, H. Desenvolvimento Urbano Sustentável: Uma Contradição de Termos? *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, v.2, p.55-71, novembro de 1999.

DA SILVA, C., SUTHERLAND, A., GREEN, C. 2008. Learning Alliance Briefing note 15: Institutional mapping (draft). *EU 6th Framework SWITCH Project, Sustainable Water Management in the City of the Future*.

DE OLIVEIRA, I.R., MILIOLI, G. A urbanização e os desafios conceituais do ecossistema: uma contribuição à aplicabilidade do desenvolvimento sustentável para o município de Criciúma, Santa Catarina, Brasil. *Territórios*, v. 29, p. 143-160. 2013.

DIAS, C.A. GRUPO FOCAL: técnica de coleta de dados em pesquisas qualitativas. *Informação & Sociedade: Estudos (I&S)*, Universidade Federal da Paraíba, v.10 n.2. 2000.

DORNELLES, F. *Aproveitamento de Água de Chuva no Meio Urbano e Seu Efeito na Drenagem Pluvial*. 2012. 234 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2012.

ELEUTÉRIO, J., NASCIMENTO, N., COSTA, H., MOURÃO, A., MALTA, G., LEITÃO, R., LEMOS, R., ALMEIDA, D., TUPY, I., MELGAÇO, L., ARAÚJO, F., FARIA, D., MONTE-MÓR, R. Conciliating urban development with water resources protection in Brazil through the conception of a “Trama Verde e Azul”, green-blue network, as an urban planning framework. *International Conference on Water, Megacities and Global Change. Conférence Internationale Eau, Mégapoles et Changement Global*, UNESCO HQ. Paris, dezembro de 2015.

FETTER, C.W. *Applied Hydrogeology*. 4 ed. New Jersey: Prentice-Hall Inc. 2001. 691p.

FLETCHER, T.D., ANDRIEU, H., HAMEL, P. Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in Water Resources*, v.51, p.261-279, 2013.

FLETCHER, T.D., SHUSTER, W., HUNT, W.F., ASHLEY, R., BUTLER, D., ARTHUR, S., TROWSDALE, S., BARRAUD, S., SEMADENI-DAVIES, A., BERTRAND-KRAJEWSKI, J., MIKKELSEN, P.S., RIVARD, G., UHL, M., DAGENAIS, D., VIKLANDER, M. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, vol. 12, nº 7, p.525–542, 2015.

FIELD, C.B., BARROS, V., STOCKER, T.F., QIN, D., DOKKEN, D.J., EBI, K.L., MASTRANDREA, M.D., MACH, K.J., PLATTNER, G.K., ALLEN, S.K., TIGNOR, M., MIDGLEY, P.M. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. *Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, 2012.

GAVA, T., FINOTTI, A.R. Resíduos Sólidos Urbanos na Rede de Drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio do Meio, Florianópolis/Sc. *XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Bento Gonçalves, RS, 2013.

GLOBALGEO. 2015. Imagens de Satélite: WorldView-2. Disponível em: <<http://www.globalgeo.com.br/imagens-de-satelite/8/worldview-2/>>. Acesso em: 26 abril 2017

GOERL, R.F., KOBIYAMA, M., PELLERIN, J.R.G.M. MAPEAMENTO DE VULNERABILIDADE NO MUNICÍPIO DE RIO NEGRINHO – SC: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA. *CAMINHOS DE GEOGRAFIA - Revista Online*, v.12, n.40, p.205-221, jun. 2011.

GÓMEZ-BAGGETHUN, E., BARTON, D.N. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*. v.86, p.235-245, 2012.

GOOGLE. Google Earth Pro 7.3.1.4507. 2018. Belo Horizonte. Data da imagem: 28 de agosto de 2017.

HARIS, H., CHOW, M.F., USMAN, F., SIDEK, L.M., ROSELI, Z.A., NORLIDA, M.D. Urban stormwater management model and tools for designing stormwater management of green infrastructures practices. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. v.32, p.12-22, 2016.

HAWKINS, R.H. Curve Number Method: Time to think anew? *Journal of Hydrologic Engineering. ASCE*. v.19(6), p.1059. 2014.

HOANG, L., FENNER, R.A. System interactions of stormwater management using sustainable urban drainage systems and green infrastructure. *Urban Water Journal*, Cambridge, UK, v. 13, n. 7, p.739-758, 27 maio 2015.

HOSTETLER, M., ALLEN, W., MEURK, C. Conserving urban biodiversity? Creating green infrastructure is only the first step. *Landscape and Urban Planning*, v.100, p.369-371, 23 de fevereiro de 2011.

HU, P., MA, Y., XUE, H. ZHANG, F. Application of low impact development technology in rainwater drainage system reconstruction project. *Springer U.S.* v.10586, p.1-11, 2017.

HUFF, F.A. Time distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources Research*, v3, n.4, p1007-1019, 1967.

JHA, M.K., CHOWDARY, V.M., KULKARNI, Y., MAL, B.C. Rainwater harvesting planning using geospatial techniques and multicriteria decision analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 83, p.96-111 (2014).

KANNIAH, K.D., SHEIKHI, A., KANG, C.S. Exploring the role of green and blue infrastructure in reducing temperature in Iskandar Malaysia using remote sensing approach. *8th International Symposium of the Digital Earth (ISDE8) – Earth and Environmental Science 18* (2014).

KATI, V., JARI, N. Bottom-up thinking – Identifying socio-cultural values of ecosystem services in local blue-green infrastructure planning in Helsinki, Finland. *Land Use Policy*, v. 50, p.537-547, 2015.

KOVÁR, P., PELIKÁN, M., HEŘMANOVSKÁ, D., VRANA, I. How to Reach a Compromise Solution on Technical and Non-Structural Flood Control Measures. *Soil and Water Resources*, v.9, p.143-152, 2014.

KUNDZEWICZ, Z.W., KANAE, S., SENEVIRATNE, S.I., HANDMER, J., NICHOLLS, N., PEDUZZI, P., MECHLER, R., BOUWER, L.M., ARNELL, N., MACH, K., MUIR-WOOD, R., BRAKENRIDGE, G.R., KRON, W., BENITO, G., HONDA, Y., TAKAHASHI, K., SHERSTYUKOV, B. Flood risk and climate change: global and regional perspectives, *Hydrological Sciences Journal*, v.59(1), p. 1-28, 2014.

LAKATOS, E. M., MARCONI, M.A. *Fundamentos de metodologia científica*. 7 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LIAO, K.H. From flood control to flood adaptation: a case study on the Lower Green River Valley and the City of Kent in King County, Washington. *Nat Hazards*, v.71, p. 723–750, 2014.

MARTINS, L.E.D.T., LEITE, N.R.P. Urbanização, accountability e inclusão social em perspectiva comparada: Brasil x China. *Future Studies Research Journal*, v.5, n.1, pp. 63-95, 2013. São Paulo-SP.

MCCANN, D., LEINSTER, S., HOLLOWAY, S., BAYLEY, M., ALLETSON, T. *Tweed Urban Stormwater Quality Management Plan*. Australian Wetlands Consulting Pty Ltd And Designflow (AWC), 2016.

MINAYO, M.C.S. *O desafio do conhecimento*. 11 ed. São Paulo: Hucitec, 2008.

MONTE-MOR, R.L., COSTA, G.M., COSTA, H.S.M., MELO, M.G.P. The university and metropolitan planning: an innovative experience. *Nova Economia*, v.26 n.Especial, p.1133-1156, 2016.

NARAYANAN, A., PITT, R. *Costs of Urban Stormwater Control Practices*. Department of Civil, Construction, and Environmental Engineering The University of Alabama. Tuscaloosa, Alabama. 2006.

NASCIMENTO, N., VINÇON-LEITE, B., GOUVELLO, B., GUTIERREZ, L., GRANCERI, M., SILVA, T., COSTA, H. Green blue infrastructure at metropolitan scale: a water sustainability approach in the Metropolitan Region of Belo Horizonte, Brazil. *Novatech*, 2016.

NUNES, D.M., ALVAREZ, M.G.L., OHNUMA JR., A.A., SILVA, L.P. Aplicação de técnicas compensatórias no controle dos escoamentos superficiais: estudo de caso em loteamento residencial em Jacarepaguá, Rio de Janeiro. *Revista Internacional de Ciências*, v. 07, n. 01, p. 3 - 21, jan-jun 2017.

O'DONNELL, E.C., LAMOND, J.E., THORNE, C.R. Recognising barriers to implementation of Blue-Green Infrastructure: a Newcastle case study. *Urban Water Journal*, 2017.

OLIVEIRA, A.M. Planejamento Metropolitano e Reestruturação Territorial: Perspectivas de Criação de uma Trama Verde e Azul na RMBH. Março de 2017. 47 slides. Disponível em: <http://www.rmbh.org.br/central.php>.

OLSZEWSKI, J.M., DAVIS, A.P. Comparing the Hydrologic Performance of a Bioretention Cell with Predevelopment Values. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE, 2013.

PALLA, A., GNECCO, I. Hydrologic modeling of Low Impact Development systems at the urban catchment scale. *Journal of Hydrology*, v.528, p. 361-368, 2015.

PASSOS, D. A Formação Do Espaço Urbano Da Cidade De Belo Horizonte: Um Estudo De Caso À Luz De Comparações Com As Cidades De São Paulo E Rio De Janeiro. *MEDIAÇÕES*, LONDRINA, V. 21 N. 2, P. 332-358, JUL./DEZ. 2016.

PEÑA-GUZMÁN, C.A., MELGAREJO, J., PRATS, D., TORRES, A., MARTÍNEZ, S. Urban Water Cycle Simulation/Management Models: A Review. *Water*, v.9, p. 285 (2017).

PINHEIRO, M.G., NAGHETTINI, M.C. Análise Regional de Frequência e Distribuição Temporal das Precipitações Intensas na Região Metropolitana de Belo Horizonte. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 3, n. 4, p. 73-88, 1998.

PIRANI, F.J., MOUSAVI, S.A. Integrating socio-economic and biophysical data to enhance watershed management and planning. *Journal of Hydrology*, v.540, p.727-735, set. 2016.

Prefeitura Municipal de Belo Horizonte – PBH. Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem Urbana do Município de Belo Horizonte. Belo Horizonte, outubro de 2004.

_____. Plano de Reabilitação do Hipercentro de Belo Horizonte. 2007.

_____. Manual Técnico Aplicado a Edificações. Secretaria Municipal de Serviços Urbanos e Secretaria Municipal Adjunta de Regulação Urbana. 2011.

_____. Carta de Inundação de Belo Horizonte, 2014. Regional Pampulha. Disponível em: <http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/contents.do?evento=conteudo&chPlc=33151>. Acesso em: 03 set. 2017.

_____. IV Conferência Municipal de Política Urbana. Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/contents.do?evento=conteudo&idConteudo=158204&chPlc=158204&viewbusca=s>. Acesso em: 03 set. 2017.

_____. Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte 2012/2015. Atualização 2014. Volume I/II. Belo Horizonte, 2015.

_____. Mapas e Estatísticas. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/planejamento-urbano/base-de-dados/mapas-e-estatisticas>. Acesso em 03 de set. de 2017.

_____. Estrutura Organizacional da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2017. Disponível em: [https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/imagens/organograma_reforma%20set%202017%20\(1\).pdf](https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/imagens/organograma_reforma%20set%202017%20(1).pdf). Acesso em: 03 set. 2017.

RAMOS, M. H. D. *Drenagem urbana: aspectos urbanísticos, legais e metodológicos em Belo Horizonte*. 1998. 103f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, 1998.

RAYMOND, C.M., GOTTWALD, S., KUOPPA, J., KYTTÄ, M. Integrating multiple elements of environmental justice into urban blue space planning using public participation geographic information systems. *Landscape and Urban Planning*, v. 153 p. 198-208, 2016.

REZENDE, G.B.M., ARAÚJO, S.M.S. Análise da taxa de impermeabilização e tempo de concentração nas sub-bacias da área urbana de Barra do Garças – MT, Pontal do Araguaia – MT e Aragarças – GO. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, vol. 10, n.5, p. 27-37, dez. 2015.

RISTIĆ, R. RISTIĆ, B., MILJANOVIĆ, V., TRIVAN, G., LJUJIĆ, M., LETIĆ, L., SAVIĆ, R. “Blue-Green” Corridors as a Tool for Mitigation of Natural Hazards and Restoration of Urbanized Areas: A Case Study of Belgrade City. *SPATIUM International Review*, Belgrado, Sérvia, No. 30 pp. 18-22, 2013.

ROMNÉE, A., EVRARD, A., TRACHTE, S. Methodology for a stormwater sensitive urban watershed design. *Journal Of Hydrology*, v. 530, p.87-102, nov. 2015.

ROSSETI, K. A. C., DURANTE, L.C., CALLEJAS, I.J.A., NOGUEIRA, M.C.J., NOGUEIRA, J.S. (2013). Abordagens sistêmicas dos efeitos da implantação de telhados vegetados. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium*, 4 (1), 55-77.

SALES, D.M., CARDOSO, L. (Re)Planejamento Urbano em Belo Horizonte: (Re)Definição dos Limites Territoriais dos Bairros Populares como Estratégia de Gestão para a Administração Pública. In: Congresso PLURIS 2012 – Reabilitar o Urbano, 2012.

SELLTIZ, C., JAHODA, M., DEUTSCH, M. COOK, S.M. *Métodos de pesquisa nas relações sociais*. Tradução: Maria Martha Hubner de Oliveira. 2 ed. São Paulo: EPU, 1987.

SILVA, T.F.G. *Suivi et modélisation de la dynamique des cyanobactéries dans les lacs urbains au sein de leur bassin versant*. 2014. 289 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2014.

SHVASBERG, B., BRITO, G. *Planejamento Urbano*. Universidade de Brasília. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. 11 mar. 2015, 08 jul. 2015. Notas de Aula.

SON, C.H., HYUN, K.H., KIM, D., BAEK, J.I., BAN, Y.U. Development and application of a low impact development (LID)-based district unit planning model. *Sustainability*. v.9, p.145, 2017.

SUN, D., ZHANG, D., CHENG, X. Framework of National Non-Structural Measures for Flash Flood Disaster Prevention in China. *Water*, v.4, p. 272-282, 2012.

STORM WATER MANAGEMENT MODEL – USER’S MANUAL. EPA SWMM 5.0 Modelo de Gestão de Drenagem Urbana: Manual do Usuário. Tradução pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento Universidade Federal da Paraíba, UFPB, João Pessoa, Brasil. PROCEL SANEAR, 2012. 280 p.

TARGA, M. S., BATISTA, G. T., DINIZ, H. D., DIAS, N. W., MATOS, F. C. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. *Ambi-Agua, Taubaté*, v. 7, n. 2, p.120-142, 2012.

TOMINAGA, E.N.S. URBANIZAÇÃO E CHEIAS: MEDIDAS DE CONTROLE NA FONTE. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

TUCCI, C.E.M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Editora da UFRGS. ABRH, 2002.

UFMG. Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte – PDDI-RMBH: Definição das Propostas de Políticas Setoriais, Projetos e Investimentos Prioritários. Volume 5. Belo Horizonte, 2011.

_____. Plano Metropolitano Macrozoneamento RMBH: Definição dos Parâmetros Urbanísticos e de Diretrizes Específicas de Estruturação e Desenvolvimento para as Zonas de Interesse Metropolitano (ZIMs). Produto 05. Belo Horizonte, 2015.

VANDERMEULEN, V., VERSPECHT, A., VERMEIRE, B., VAN HUYLENBROECK, G., GELLYNCK, X. The use of economic valuation to create public support for green

infrastructure investments in urban areas Landscape and Urban Planning Bélgica v.103, p.198-206, 2011.

VASCONCELOS, L.C.S., FELIX, G.D.N., FERREIRA, F.H.F. Aspectos gerais sobre região e o processo de urbanização brasileira. *Espacio y Desarrollo*, nº 19, p. 161-178. 2007.

VASCONCELOS, L.C.S., ZAMPARONI, C.A.G.P. Os efeitos da urbanização no microclima no bairro Morada da Serra, Cuiabá-MT. *RA'E GA*, nº23, 2011, p. 573-599. Curitiba, Departamento de Geografia – UFPR.

VERSINI, P.A., RAMIER, D., BERTHIER, E., de GOUVELLO, B. Assessment of the hydrological impacts of green roof: From building scale to basin scale. *Journal of Hydrology*, v. 524, p. 562–575, 2015.

VINEYARD, D. INGWERSEN, W.W., HAWKINS, T.R., XUE, X., DEMEKE, B. SHUSTER, W. Comparing green and grey infrastructure using life cycle cost and environmental impact: a rain garden case study in Cincinnati, OH. *Journal of the American Water Resources Association*. Vol. 51, No. 5. Outubro, 2015.

VOSKAMP, I.M., VAN DE VEN, F.H.M. Planning support system for climate adaptation: Composing effective sets of blue-green measures to reduce urban vulnerability to extreme weather events. *Building and Environment*, v. 83, p. 159-167, 2015.

WOODS BALLARD, B., WILSON, S., UDALE-CLARKE, H., ILLMAN, S., SCOTT, T., ASHLEY, R., KELLAGHER, R. *The SuDS Manual*. C753, CIRIA, London, UK, 2015.

WOODWARD, D.E., HAWKINS, R.H., HJELMFELT, A.T.J., VAN MULLEM, J., QUAN, Q.D. 2002 Curve Number Method: Origins, Applications and Limitations 2002 U.S. Geological Survey Advisory Committee on Water Information - *Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conf.* (Las Vegas, ND).

ZANANDREA, F. *Avaliação de técnicas de baixo impacto no controle de impactos hidrológicos em uma bacia urbana em consolidação*. 2016. 93 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2016.

ŽUVELA-ALOISE, M., KOCH, R., BUCHHOLZ, S., FRÜH, B. Modelling the Potential of Green and Blue Infrastructure to Reduce Urban Heat Load in the City of Vienna. *Climate Change*, v. 135, p. 425–438, 2016.

APÊNDICE A – ROTEIRO BASE DE ENTREVISTAS VOLTADAS PARA ÁREAS PRIVADAS

Tempo estimado: 20 minutos a 30 minutos²

Objetivos:

- complementar o diagnóstico da atual situação da bacia do córrego Ressaca;
- iniciar o contato com os *stakeholders* e agrupá-los para as futuras etapas do estudo;
- avaliar a percepção dos *stakeholders* sobre as principais questões ambientais na bacia em estudo e sua conscientização sobre os conceitos TVA.

Material:

- mapa da bacia com a identificação dos bairros em A3;
- pincéis coloridos, canetas, lápis de cor, *post-it*;
- gravador.

Parte 1 – Apresentação

Objetivo: familiarização com o entrevistador.

Entrevistador: apresentar-se; descrever brevemente o estudo e os objetivos; sanar dúvidas.

Nome:	
Idade:	
Endereço:	
Profissão:	
Há quanto tempo mora/trabalha na área:	

Parte 2³ – Atividades no mapa

Objetivo: situar o participante na área de estudo e estimular o compartilhamento de informações.

Entrevistador: mostrar o mapa da região e as características mais importantes que podem ser visualizadas (hidrografia, parques, avenidas, pontos de referência, etc.).

Auxiliar: confirmar os itens realizados durante a respectiva etapa; atentar o entrevistador para itens não realizados; autorizar a entrevista para a etapa seguinte.

IDENTIFICAR NO MAPA:

- ✓ a região da bacia que está mais familiarizado (*pincel vermelho*)
- ✓ áreas de lazer, atividades físicas e lugares onde passeia com amigos e familiares (*pincel azul*) – acrescentar comentários com *post-it*
- ✓ locais que não gosta de passar ou evita visitar (*pincel roxo*) - acrescentar justificativas com *post-it*

² O questionário pode sofrer alterações ao longo da etapa de entrevistas, de acordo com a participação e sugestões dos entrevistados e avaliação do pesquisador (Charmaz e Mitchell, 2001).

³ Baseado em Raymond *et al.* (2016).

- ✓ outros pontos de referência ainda não identificados no mapa (*pincel rosa*)

Parte 3 – Perguntas abertas⁴

Objetivo: Percepção dos participantes sobre as questões urbanísticas e ambientais.

Entrevistador: conectar os resultados da parte 2 e estimular o acréscimo de informações novas por parte dos participantes.

Auxiliar: confirmar as perguntas respondidas durante a respectiva etapa; atentar o entrevistador para perguntas não respondidas; autorizar a entrevista para a etapa seguinte.

Questões urbanísticas⁵:

LAZER

- ✓ Você conhece na região
 - áreas de recreação (praças de esporte, parques infantis)
 - Parques urbanos, locais de contemplação
 - Espaços culturais
 - Feiras, artesanato
- ✓ Esses espaços são acessíveis?
- ✓ Você costuma frequentar esses espaços? O que você faz lá?

USO E OCUPAÇÃO

- ✓ A região que conhece melhor é mais residencial, comercial ou mista?
- ✓ Essa área é normalmente muito ou pouco movimentada? Por pessoas ou carros?
- ✓ Os bairros são arborizados?
- ✓ Você conhece alguma área de ocupação irregular na região?

MOBILIDADE

- ✓ Que tipo de transporte usa mais (carro, ônibus, moto, bicicleta, caminhada)?
- ✓ Existem pontos de ônibus suficientes e bem distribuídos?
- ✓ Existe alguma dificuldade em atravessar pistas?
- ✓ Existem faixas de pedestre, passarelas?
- ✓ Existem estacionamentos rotativos ou particulares?
- ✓ As calçadas são largas o suficiente para a passagem dos pedestres? Estão em boas condições? Apresentam acessibilidade para portadores de necessidades especiais? Há sombra nas calçadas?
- ✓ Existem sinalizações para pedestres e PNEs? São suficientes/adequadas?
- ✓ Existem ciclovias em alguma parte desses bairros?
- ✓ Existe muito trânsito em algum local em algum momento do dia?

SEGURANÇA

- ✓ Quais áreas com maior criminalidade?
- ✓ Você consegue identificar uma justificativa para essa situação?

SANEAMENTO

- ✓ A região que você conhece é atendida com abastecimento de água e coleta de esgoto?

⁴ As perguntas servirão como guia para o entrevistador, mas a ordem pode sofrer alterações e os entrevistados poderão expressar livremente em suas próprias palavras as questões que julgam mais importantes (Kati e Jari, 2015).

⁵ A inspiração para as perguntas sugeridas possui diversas fontes, como o diagnóstico do Plano de Reabilitação do Hipercentro de Belo Horizonte (PBH, 2007), Kati e Jari (2015), O'Donnell *et al.* (2017), Raymond *et al.* (2016) e Shvasberg (2015).

- ✓ A drenagem das vias acontece de forma eficiente?
- ✓ Essa região é atendida com a coleta de resíduos sólidos? Com que frequência?

Questões ambientais:

Você conhece as nascentes presentes nessa região? Como elas estão? Como deveriam estar? E no futuro?
Você tem conhecimento de áreas com degradação ambiental ou poluição notável? Os rios são poluídos? A manutenção dos canais é bem-feita? Explicar Já sentiu mau cheiro vindo de alguma parte? Você tem contato com a água em alguma parte da bacia? Esse contato é agradável ou não?
Você percebe alguma região com poluição visual, como excesso de outdoors, placas, anúncios? Você percebe alguma região com poluição sonora, como muitas buzinas, carros de som, casas de festa? Você percebe alguma região com poluição atmosférica, como fuligem de carros e ônibus, dificuldade para respirar, tosse?
Como você descreveria a limpeza urbana da região? Existem cestos coletores nas ruas? A população os utiliza? As bocas de lobo normalmente estão livres ou obstruídas? Existem catadores na região? Como é o trabalho deles?

Questões sobre a gestão de eventos:

Você já presenciou (ou tem conhecimento) de ocorrência de inundação em algum local da bacia? Se sim, marcar no mapa.
Pode descrever o que se lembra (ou ouviu falar) do ocorrido?
E de outros tipos de eventos ou acidentes?
Que medidas foram tomadas para solucionar a situação?
Quais órgãos/atores participaram dessa remediação?
Quais foram as maiores dificuldades encontradas?
Quanto tempo demorou para que a situação dos habitantes voltasse ao normal?
Esses eventos tiveram impactos que perduraram na região?
Foram tomadas medidas para a prevenção de impactos no futuro? Se sim, você acha que essas medidas são adequadas/suficientes?
Você acha que eventos como esses podem acontecer novamente?
Você acha que os impactos serão os mesmos?

Outras questões:

Existe alguma outra questão que não foi citada e que você gostaria de comentar? Você tem indicações de outras pessoas que tenham interesse em participar da pesquisa?
--

APÊNDICE B – ROTEIRO BASE DE ENTREVISTAS VOLTADAS PARA AS ÁREAS PÚBLICAS

Tempo estimado: 30 minutos a 1 hora

Objetivos:

- iniciar o contato com os *stakeholders* e agrupá-los para as futuras etapas do estudo;
- identificar as atuais competências relativas à trama verde e azul dos *stakeholders* institucionais;
- avaliar a percepção dos *stakeholders* sobre os conceitos TVA.

Material:

- imagens modificadas de vias da bacia do Ressaca;
- pincéis coloridos, canetas, lápis de cor, *post-it*;
- gravador.

Parte 1 – Apresentação

Objetivo: familiarização com o entrevistador.

Entrevistador: apresentar-se; descrever brevemente o estudo e os objetivos; sanar dúvidas.

Nome:	
E-mail:	
Profissão/ vínculo institucional:	
Há quanto tempo mora/trabalha na área:	

Parte 2 – Diagnóstico institucional

Objetivo: identificar a atuação do gestor/órgão na bacia; suas funções, o que pode fazer, o que deve fazer e o que não deve fazer.

ATUAÇÃO

- Quais as atribuições da sua instituição nas questões concernentes à trama verde e azul?
- Em quais aspectos ela está envolvida e de que forma?
- Em quais aspectos ela não está envolvida?

Ex.:

- Ambientais (nascentes, áreas de preservação, focos de degradação/poluição, rios urbanos)
- Saneamento e gestão de águas (abastecimento de água, coleta de esgoto, resíduos sólidos e limpeza urbana, drenagem, estações de tratamento)
- Gestão de eventos (inundações, deslizamentos)
- Urbanísticas (áreas de lazer e recreação; parques urbanos; arborização)
- Mobilidade
- Segurança
- Outros?

<ul style="list-style-type: none"> · Quais desses aspectos são compartilhados com outros órgãos/instituições? · Como essas questões são gerenciadas dentro do órgão (e com outros órgãos)? · Quais as dificuldades encontradas no gerenciamento dessas questões? · Qual o horizonte para atender a todas as questões (curto, médio, longo)?
<p><u>POLÍTICAS E INSTRUMENTOS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · Quais instrumentos podem promover o emprego de conceitos de técnicas compensatórias, infraestrutura verde e azul, trama? · Esses instrumentos têm se mostrado efetivos? O que funciona e o que não funciona? · Os parâmetros existentes para as ADE⁶s e outras áreas de proteção são atendidos atualmente? · Existem falhas nesses parâmetros? Existe fiscalização/acompanhamento?
<p><u>COMUNICAÇÃO</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · Como funciona a comunicação dentro do órgão no sentido de efetivar as ações citadas? · E com outros órgãos? · Como acontece o diálogo entre as instituições e com a população? (em relação ao planejamento, aceitação de propostas, etc.).
<p><u>FINANCIAMENTOS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> · Quais possíveis fontes de financiamento para concretizar as ações discutidas? (instituições, programas, etc.). · Essas fontes são suficientes para atender às demandas citadas?

Parte 3 – Perspectivas da trama verde e azul

Objetivo: identificar quais as possíveis contribuições do gestor/órgão para a efetivação da trama verde e azul

<ul style="list-style-type: none"> · A abordagem atual vai de encontro aos princípios da TVA ou é fundamentalmente cinza? · A necessidade de ampliar áreas verdes e urbanização de ruas em BH é uma unanimidade na administração pública e entre moradores, ou há resistências? Quais as origens de eventuais resistências? · Quais ações, programas, políticas existentes hoje que contemplam parâmetros ambientais e urbanísticos favoráveis à trama verde azul? (ex.: coeficiente de aproveitamento, taxa de permeabilidade, taxa de ocupação, etc. já identificadas na legislação). · Quais outros parâmetros/instrumentos poderiam ser incluídos para garantir a TVA? · Quais dificuldades precisam ser superadas para efetivar a implementação da TVA? · A TVA pode vir a se tornar uma política pública? De que forma? (aspectos regulamentares e financeiros). · Você acha que infraestrutura verde e azul pode ter limitações importantes relacionadas à adaptação ao espaço já construído e a questões de manutenção? · Existem aspectos da TVA que não são contemplados por nenhuma instituição?

Outras questões:

⁶ Área de diretrizes especiais: demandam políticas específicas diferenciadas que se sobrepõem aos do zoneamento e sobre eles preponderam (Lei nº 7166/96).

Existe alguma outra questão que não foi citada e que você gostaria de comentar?
Você tem indicações de outras pessoas que tenham interesse em participar da pesquisa?

APÊNDICE C – ROTEIRO SIMPLIFICADO UTILIZADO NOS GRUPOS FOCAIS

Nome:	
Profissão:	
Há quanto tempo mora/trabalha na área:	

- mostrar o mapa da região e as características mais importantes que podem ser visualizadas (hidrografia, parques, avenidas, pontos de referência, etc.).

- Como é seu dia-a-dia aqui na região.
 - Como você se locomove(carro, ônibus, moto, bicicleta, caminhada)?
 - Existem ciclovias em alguma parte desses bairros?
 - As calçadas estão em boas condições? Há sombra nas calçadas?
 - Você acha seguro? Tem muito assalto ou não?
 - Aqui é atendido com abastecimento de água e coleta de esgoto?
 - A região é atendida com a coleta de resíduos sólidos? Com que frequência?
- A região em que você mora/trabalha tem muitas árvores? Se não, você gostaria que tivesse?
- Tem algum lugar na região que vocês utilizam para lazer? Esportes? Confraternização? Ex.: parques, áreas públicas?
- Aqui é uma região que acontece muito alagamento quando chove?
 - O que acontece e quais são as medidas em uma emergência?
 - Você acha que eventos como esses podem acontecer novamente?
 - Você acha que os impactos serão os mesmos?
 - Estaria disposto a pagar uma taxa para um sistema de drenagem (além de água, esgoto?)
- Sabe se passa algum rio ou córrego aqui perto? Você tem contato com ele? Gostaria de ter?
- Já sentiu mau cheiro vindo de alguma parte?

- Existe alguma outra questão que não foi citada e que você gostaria de comentar?
- Você tem indicações de outras pessoas que tenham interesse em participar da pesquisa?