

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DE MINAS GERAIS – *CAMPUS* BAMBUÍ  
MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE  
E TECNOLOGIA AMBIENTAL

Thaís Prado Vasconcelos Silva

**DIAGNÓSTICO SITUACIONAL E PROPOSTAS DE DIRETRIZES PARA A  
DRENAGEM URBANA A PARTIR DAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS  
E DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA O MUNICÍPIO DE DIVINÓPOLIS (MG)**

Bambuí-MG

2022

THAÍS PRADO VASCONCELOS SILVA

**DIAGNÓSTICO SITUACIONAL E PROPOSTAS DE DIRETRIZES PARA A  
DRENAGEM URBANA A PARTIR DAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS  
E DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA O MUNICÍPIO DE DIVINÓPOLIS (MG)**

Dissertação apresentada no Programa de Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, como requisitos para obtenção do título de mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Linha de pesquisa: Planejamento e Gestão Ambiental.

**Orientador:** Prof. Dr. Hygor Aristides Victor Rossoni

Bambuí-MG

2022

# FICHA DE APROVAÇÃO

08/03/2022 09:54

SEI/IFMG - 1107340 - Parecer



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS**  
Campus Bambuí  
Diretoria de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação  
Seção de Pós-Graduação  
Av. Professor Mário Werneck, 2590 - Bairro Buritis - CEP 30575-180 - Belo Horizonte - MG  
37 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

## PARECER Nº 6

### FICHA DE APROVAÇÃO

Dissertação de Mestrado, intitulada “**Diagnóstico situacional e propostas de diretrizes para a drenagem urbana a partir das características morfométricas e do uso e ocupação do solo para o município de Divinópolis (MG)**”, de autoria da mestranda em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, **Thais Prado Vasconcelos Silva**, sob a orientação do professor **Dr. Hygor Aristides Victor Rossoni**, obteve aprovação pela Banca Examinadora de Defesa, em 24/02/2022, com a média de **91,83 pontos**.

#### Composição da Banca Examinadora:

- prof. Dr. Aníbal da Fonseca Santiago – UFOP.
- prof. Dra. Grazielle Wolff de Almeida Carvalho – IFMG/S.J.Evangelista.
- prof. Dr. Jairo Rodrigues Silva – IFMG/Ouro Preto.

A análise das correções finais da dissertação sugeridas pela Banca Examinadora será feita pelo professor orientador.

Bambuí (MG), 24 de fevereiro de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **Grazielle Wolff de Almeida Carvalho, Professora**, em 26/02/2022, às 08:37, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Hygor Aristides Victor Rossoni, Usuário Externo**, em 26/02/2022, às 09:10, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Aníbal da Fonseca Santiago, Usuário Externo**, em 04/03/2022, às 08:49, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Jairo Rodrigues Silva, Professor**, em 07/03/2022, às 14:31, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.

A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadoocs> informando o código verificador **1107340** e o código CRC **51133913**.



Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

S586d Silva, Thaís Prado Vasconcelos.  
Diagnóstico situacional e propostas de diretrizes para a drenagem urbana a partir das características morfométricas e do uso e ocupação do solo para o município de Divinópolis (MG). / Thaís Prado Vasconcelos Silva. – Bambuí, 2022.  
120 f.: il.; color.

Orientador: Prof. Dr. Hygor Aristides Victor Rossoni.  
Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2022.

1. Bacia hidrográfica. 2. Águas pluviais. 3. Urbanização. I. Rossoni, Hygor Aristides Victor. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.  
CDD 631.62

Elaborada por Douglas Bernardes de Castro- CRB-6/2802

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta dissertação aos cidadãos divinopolitanos, que tiveram suas vidas afetadas, nos últimos anos, por enchentes, inundações e alagamentos, ocasionados pela má gestão das águas pluviais.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda a minha família pelo apoio durante todo o período, durante a realização desta pesquisa.

Agradeço de forma especial a minha mãe Ivana Prado de Vasconcelos, que sempre esteve ao meu lado, me incentivando a estudar e compartilhando de forma única, todo o seu saber profissional e acadêmico.

Agradeço a minha esposa e companheira Renata Loyola, que desde o início me incentivou a entrar no mestrado e esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis.

Agradeço a todos os meus colegas e amigos da UEMG-Divinópolis, que torceram pela minha qualificação profissional.

Agradeço a todos os meus colegas e amigos que conheci nesta jornada junto ao IFMG- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais-*Campus* Bambuí (MG).

Agradeço aos professores do IFMG- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais-*Campus* Bambuí (MG), ao prof. Dr. Jairo Rodrigues Silva, que me auxiliou no desenvolvimento dos mapas, e em especial ao prof. Dr. Hygor Rossoni, que me aceitou como sua orientanda e esteve presente com suas considerações ímpares, durante todo o processo acadêmico.

## EPÍGRAFE

"A drenagem é o primo pobre do saneamento, que já não atrai tanta atenção como abastecimento d'água, esgoto e resíduos sólidos, e, só lembramos quando chega o período chuvoso."

Adaptado Thiago Barros Ribeiro

## RESUMO

Esta pesquisa propõe uma investigação acerca da gestão das águas pluviais nas áreas urbanas, considerado como um problema que atinge os municípios brasileiros, tendo em vista a forma como ocorreu, historicamente, a urbanização no país. Para tanto, foram selecionadas duas regiões em que há problema de inundação, enchente e alagamento no município de Divinópolis (MG), com o objetivo de realizar o diagnóstico situacional dessas duas áreas e propor diretrizes para a drenagem urbana, a partir das características morfométricas e do uso e ocupação do solo. Como metodologia, foram consideradas as características morfométricas das duas bacias hidrográficas, em situação de simulação da pré-ocupação e da situação atual, pós-ocupação, além dos aspectos legais e normativos, bem como os materiais envolvidos com o sistema de drenagem urbana. Como resultado foi possível observar que o aumento da vazão máxima para situação pós-ocupação nas duas bacias foi de aproximadamente sete vezes quando comparada à situação de pré-ocupação, podendo acarretar em inundações, processos erosivos, carreamento de sólidos para os cursos d'água e, conseqüentemente, na piora na qualidade da água. Outro resultado observado foi o não cumprimento das taxas de ocupações máximas permitidas na lei de uso e ocupação do solo, das áreas de preservação permanente, ao longo dos cursos de água e com declividade superior a 45°, e a não obrigatoriedade de taxas de permeabilidade, contribuindo para o aumento do escoamento superficial das águas pluviais, devido a impermeabilização dessas áreas. Nesta perspectiva, pode-se observar o agravamento dos problemas da drenagem urbana, com impactos negativos sociais, ambientais e econômicos. Desta forma, faz-se necessário uma gestão integrada com os diversos setores e o empoderamento da sociedade em relação aos cursos de água. Para além disso, aliar as características morfométricas, que regem o comportamento hidrológico das bacias urbanas, aos instrumentos que garantem o planejamento territorial, como forma de abordar a gestão dos sistemas de drenagem urbana. Como forma de possibilitar a disseminação do conteúdo resultante desta pesquisa, foi criada uma cartilha técnica, com o objetivo de atuar como uma ferramenta educacional nos diferentes ambientes profissionais envolvidos diretamente e indiretamente no sistema de drenagem urbana.

**Palavras-chave:** Bacia hidrográfica. Águas pluviais. Urbanização. Inundação. Gestão integrada.

## ABSTRACT

This paper proposes an investigation about the management of rainwater in urban areas, considered as a problem that affects Brazilian municipalities, due to the way urbanization has historically occurred in the country. In order to do so, two regions where there is a problem of inundation, inundation and flooding in the municipality of Divinópolis (MG) were selected, with the objective of carrying out the prognosis of these two areas and proposing guidelines for urban drainage, based on the morphometric characteristics and the land use and occupation. As a methodology, the morphometric characteristics of the two watersheds were considered, in a situation of simulation of pre-occupation and the current situation, post-occupation, in addition to legal and normative aspects, as well as the materials involved with the urban drainage system. As a result, it was possible to observe that the maximum flow increase for the post-occupancy situation in the two basins was approximately seven times when compared to the pre-occupation situation, resulting in floods, erosion processes, transport of solids to water courses and, consequently, in the worsening of the water quality. Another result observed was the non-compliance with the maximum occupation rates allowed in the land use and occupation law, in permanent preservation areas, along water courses and with slopes greater than 45°, and the non-mandatory permeability rates, contributing to the increase in surface *runoff* of rainwater, due to the waterproofing of these areas. Therefore, the worsening of urban drainage causes negative social, environmental and economic impacts. Moreover, it is necessary to create an integrated management involving the different sectors and the empowerment of society in relation to water courses. Furthermore, to combine the morphometric characteristics, which govern the hydrological behavior of urban basins, with the instruments that guarantee territorial planning, as a way of approaching the management of urban drainage systems. As a way of enabling the dissemination of the content resulting from this research, a technical booklet was created, with the objective of acting as an educational-communicative tool in the different professional environments directly and indirectly involved in the urban drainage system.

**Keywords:** Catchment. Stormwater. Urbanization. Flooding. Integrated management.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fenômenos de enchente, inundação e alagamento.....	20
Figura 2 - Áreas inundáveis.....	22
Figura 3 - Perímetro da Bacia 1.....	38
Figura 4 - Perímetro da Bacia 2.....	39
Figura 5 - Fluxograma dos procedimentos para a caracterização morfométrica.....	49
Figura 6 - Área da Bacia Hidrográfica 1 (pós-ocupação) .....	55
Figura 7 - Área da Bacia Hidrográfica 1 (pré-ocupação).....	56
Figura 8 - Área da Bacia Hidrográfica 2 (pós-ocupação) .....	58
Figura 9 - Área da Bacia Hidrográfica 2 (pré-ocupação).....	59
Figura 10 - Classificação do relevo da Bacia 1.....	63
Figura 11 - Classificação do relevo da Bacia 2.....	64
Figura 12 - Mapa de zoneamento da Bacia 1.....	68
Figura 13 - Áreas inundáveis.....	70
Figura 14 - Mapa de zoneamento da Bacia 2.....	72
Figura 15 - Mapa de declividade para parcelamento do solo da Bacia 1.....	84
Figura 16 - Mapa de declividade para parcelamento do solo da Bacia 2.....	85
Gráfico 1 - População urbana absoluta e relativa no mundo: 1950-2050.....	23
Gráfico 2 - População urbana absoluta e relativa do Brasil: 1950-2050.....	24

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais dispositivos legais e suas esferas.....	30
Tabela 2 - Classificação do relevo com base na declividade média.....	45
Tabela 3 - Tempo de retorno em função dos dispositivos de drenagem.....	47
Tabela 4 - Coeficiente de <i>runoff</i> .....	48
Tabela 5 - Resultados das características morfométricas.....	60
Tabela 6 - Resultados das intensidades de precipitação máxima e das vazões máximas.....	66
Tabela 7 - Zoneamento com suas áreas e percentuais da Bacia 1.....	69
Tabela 8 - Quadras com taxa de ocupação acima do permitido para ZR1.....	69
Tabela 9 - Zoneamento com suas áreas e percentuais da Bacia 2.....	73
Tabela 10 - Quadras com taxa de ocupação acima do permitido para ZR1.....	74
Tabela 11 - Quadras com taxa de ocupação acima do permitido para ZR2.....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP	Área de preservação permanente
<i>BMPs</i>	<i>Best Management Practices</i>
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
ETA	Estação de Tratamento de Água
Dd	Densidade de drenagem
DDMAPU	Diagnóstico de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas
hd	Hard Disk
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IFMG	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais
IPH/UGRGS	Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
kb	kilobyte
Kc	coeficiente de compacidade
Kf	fator de forma
km	quilômetro
km <sup>2</sup>	quilômetro quadrado
m	metro
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDEHC	Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente
mm	milímetro
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
Sin	Sinuosidade do curso de água
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
tc	tempo de concentração em minutos
URSB	Unidades Regionais de Saneamento Básico
y/d	Relação da altura da lâmina de água e o diâmetro da tubulação
ZC	Zona Comercial
ZR	Zona Residencial

## LISTA DE SÍMBOLOS

$>$  = maior que

$<$  = menor que

$\leq$  = menor ou igual que

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Geral.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>Específicos.....</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>Drenagem urbana e uso e ocupação do solo.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2</b>	<b>Impactos do processo de urbanização.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3</b>	<b>Gestão Integrada do Sistema de Drenagem.....</b>	<b>25</b>
<b>3.4</b>	<b>Aspectos legais e institucionais.....</b>	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização do objeto de estudo.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Definição das bacias hidrográficas.....</b>	<b>37</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Caracterização morfométricas das bacias.....</b>	<b>40</b>
<b>4.2</b>	<b>Diagnóstico dos aspectos legais e institucionais relacionados aos sistemas de drenagem urbana das duas bacias.....</b>	<b>49</b>
<b>4.3</b>	<b>Prognóstico situacional e diretrizes para o sistema de drenagem urbana.....</b>	<b>51</b>
<b>4.4</b>	<b>Desenvolvimento do produto técnico.....</b>	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>54</b>
<b>5.1</b>	<b>Caracterização das bacias hidrográficas.....</b>	<b>54</b>
<b>5.2</b>	<b>Diagnóstico dos aspectos legais e institucionais relacionados aos sistemas de drenagem urbana das duas bacias.....</b>	<b>66</b>
<b>5.3</b>	<b>Prognóstico situacional e diretrizes para os sistemas de drenagem urbana.....</b>	<b>76</b>
<b>5.3.1</b>	<b>Prognóstico situacional das Bacias 1 e 2.....</b>	<b>76</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Diretrizes para o sistema de drenagem urbana.....</b>	<b>79</b>
<b>5.3.2.1</b>	<b>Delimitação das principais bacias dentro da área urbana.....</b>	<b>80</b>
<b>5.3.2.2</b>	<b>Caracterização morfométrica de cada bacia dentro da área urbana.....</b>	<b>80</b>
<b>5.3.2.3</b>	<b>Zoneamento a partir das características morfométricas.....</b>	<b>82</b>
<b>5.3.2.4</b>	<b>Parâmetros para os projetos de drenagem.....</b>	<b>86</b>
<b>5.3.2.5</b>	<b>Integração da gestão das águas.....</b>	<b>90</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>92</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>94</b>
	<b>APÊNDICE.....</b>	<b>100</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A gestão da água pluvial nas áreas urbanas é um problema que atinge grande parte dos municípios brasileiros, tendo em vista a forma como ocorreu, historicamente, a urbanização no país. De acordo com o Diagnóstico de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas (BRASIL, 2020), pode-se verificar, dos 3.653 municípios brasileiros participantes da coleta, a falta de gestão das águas pluviais nos municípios, onde somente 1.266 (34,7%) possuem cadastro técnico do sistema de drenagem e 715 (19,6%) dispõem de plano diretor de drenagem.

No que se refere aos municípios definidos em situação crítica, sujeitos a eventos recorrentes de inundações, enxurradas e alagamentos, verifica-se a ocorrência destes eventos em 1.224 cidades do país. Em relação à quantidade de ocorrência desses eventos, dos municípios participantes da coleta, observa-se um total de 26.790 no Brasil, destes 20.161 encontram-se na região Sudeste. Destas ocorrências, foi considerada crítica a quantidade de 5.329 e 1.864, no Brasil e na região Sudeste (BRASIL, 2020).

Diante do exposto, assiste-se, frequentemente, a um conjunto de eventos trágicos a cada período de chuvas, que se reproduzem em acidentes de características semelhantes em áreas urbanas de risco em todo o país, vales inundáveis e encostas. Estes eventos são tratados, essencialmente, em nível emergencial pelos sistemas de Defesa Civil, inexistindo, na quase totalidade de municípios brasileiros, qualquer política pública para equacionamento prévio do problema (BRASIL, 2019a).

No que se refere ao processo de urbanização, Tucci (2012) afirma que as cidades foram estabelecidas a partir da expansão de núcleo consolidado, com extensão para áreas circunvizinhas. Esta ocupação não leva em consideração as legislações ambientais, os planos diretores e as leis federais e municipais de parcelamento do solo. É importante ressaltar que os municípios que não tenham planos diretores ou leis de parcelamento do solo devem seguir a Lei Federal nº 6.766, que estabelece diretrizes sobre parcelamento em área urbana (BRASIL, 1979).

Em Minas Gerais, de acordo com o Plano de Emergência Pluviométrica 2020/2021 (MINAS GERAIS, 2020), pode-se confirmar que algumas regiões do Estado convivem com ocupações em áreas de risco, além de não controlarem ou fiscalizarem a expansão do seu território, deixando sua população em situação de vulnerabilidade propensa à ocorrência de enxurradas, inundações, alagamentos e deslizamento.

Em relação a essas regiões do Estado, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) monitora as ameaças naturais em áreas de risco em

municípios brasileiros suscetíveis à ocorrência de desastres naturais. A título de exemplo, no dia 29 de janeiro de 2020, o CEMADEN registrou áreas com a possibilidade de ocorrência de eventos geo-hidrológicos, com magnitude moderada, alta e muito alta, na Região Metropolitana de Belo Horizonte, no Vale do Rio Doce e na Zona da Mata. Tais ocorrências ocasionaram a enchente do Córrego do Leitão, em área nobre de BH, provocando prejuízos diante de uma intensidade de chuva muito elevada.

Ainda de acordo com o Plano de Emergência Pluviométrica 2020/2021 (MINAS GERAIS, 2020), em janeiro de 2020, ocorreram episódios com grandes volumes de precipitação em quase todo o território mineiro. Em Belo Horizonte, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021), foi registrado 967 mm de chuva, no mesmo período, o que representa cerca de 200% a mais que a média dos últimos anos.

No que se refere aos prejuízos econômicos, foram estimados em R\$ 1.033.033.245,85 (um bilhão, trinta e três milhões, trinta e três mil, duzentos e quarenta e cinco reais e oitenta e cinco centavos) nos 256 municípios que decretaram situação de emergência ou estado de calamidade pública na análise dos períodos chuvosos, de outubro/2019 a março/2020 (MINAS GERAIS, 2021).

Conforme o Boletim da Defesa Civil de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2021), os danos humanos, compreendidos como mortes, feridos, enfermos, desabrigados, desalojados, desaparecidos e outros afetados, atingiram no período chuvoso 78.839 pessoas. Ainda de acordo com o mesmo boletim, no período chuvoso de 2019/2020, compreendidos entre 01 de outubro de 2020 e 31 de março de 2021, o número de óbitos foi de 74 e os de desabrigados e desalojados totalizaram 12.201 e 82.692, respectivamente. No mesmo período, as chuvas afetaram 275 municípios mineiros, segundo o mesmo boletim.

Percebe-se, então, que o problema em torno das águas superficiais é comum em várias cidades mineiras. Em Divinópolis (MG), não é diferente. De acordo com o coordenador geral da Defesa Civil, Pádua Fernandes, no município de Divinópolis há um agravante, pois, a cidade é cortada no perímetro urbano por 18 km de extensão do rio Itapecerica, em que 23% (47.729 habitantes) da população moram em área inundável, tornando vulnerável a segurança dos moradores (G1 CENTRO-OESTE DE MINAS, 2020).

Segundo o Plano Municipal de Saneamento de Divinópolis de 2018, dos 51 bairros existentes, 29 sofrem com alagamentos, o que representa 56,86%. Nos últimos 12 anos<sup>1</sup>, Divinópolis vem sofrendo de forma recorrente com enchentes, inundações, enxurradas e alagamentos, ocasionados durante os períodos chuvosos compreendidos, principalmente, em dezembro e janeiro. Dentre as várias regiões afetadas no município, foram escolhidas duas áreas, objeto de estudo desta pesquisa, com o objetivo de compreender a ocorrência destes problemas e propor soluções de gerenciamento de drenagem urbana. Estas duas áreas foram denominadas, nesta pesquisa, como Bacia 1 e Bacia 2 e serão detalhadas posteriormente.

Segundo Souza (2013), as propostas de gestão de drenagem urbana no Brasil evoluíram sobremaneira nos últimos 20 anos. Passou-se a considerar os pressupostos das *Best Management Practices (BMPs)* em programas estabelecidos pelo então denominado Ministério das Cidades e ampliaram-se as redes de pesquisas na área das medidas de baixo impacto, por várias universidades públicas, mas pouco se evoluiu em termos práticos, isto é, os municípios ainda continuam investindo recursos na correção de problemas, por meio de medidas que visam somente à eficiência hidráulica dos condutos e que podem ser verificadas pelo investimento em medidas estruturais, como canalização e galerias (BRASIL, 2020).

A tendência mundial sobre a gestão das águas pluviais é incorporar o sistema de drenagem ao ambiente urbano, incluindo a efetiva participação dos cidadãos. A relação com a sociedade deve possibilitar a visão de que as medidas adotadas na revitalização e/ou no tratamento dos cursos de água podem substituir o conceito de canais urbanos, que sempre estão relacionados à drenagem de águas pluviais e ao lançamento ou despejo de esgoto *in natura* ou sem tratamento (SOUZA, 2013).

---

<sup>1</sup> Sobre este assunto, conferir as notícias publicadas nos seguintes *links*:

[https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2008/12/18/interna\\_gerais,92578/divinopolis-decreta-emergencia-com-rio-7-metros-acima-do-normal.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2008/12/18/interna_gerais,92578/divinopolis-decreta-emergencia-com-rio-7-metros-acima-do-normal.shtml)

[https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2012/01/03/interna\\_gerais,270452/enchente-deixa-80-da-cidade-de-divinopolis-sem-abastecimento-de-agua.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2012/01/03/interna_gerais,270452/enchente-deixa-80-da-cidade-de-divinopolis-sem-abastecimento-de-agua.shtml)

<https://portalgerais.com/chuva-causa-pontos-de-alagamento-em-divinopolis-veja-ideos/>

<https://divinews.com/2012/01/04/shopping-patio-shopping-terra-ou-shopping-agua-parque-de-diversao-ou-parque-aquatico/>

<https://g1.globo.com/mg/centro-oeste/noticia/2019/03/22/chuva-causa-estragos-e-trabalho-de-reparo-e-feito-em-varias-regioes-de-divinopolis.ghtml>

Segundo Tucci *et al.* (2011), a gestão da drenagem urbana deve ser vista como uma variedade de técnicas a serem implementadas e que têm por objetivo reduzir a frequência dos picos de vazão que geram as inundações, a poluição das águas, e, em consequência disso, a melhoraria da qualidade de vida da população.

A gestão da drenagem urbana passa pela definição de alternativas que envolvem aspectos técnicos, econômicos, sociais, institucionais e políticos, que devem ter como pressupostos básicos: gestão sustentável; visão da bacia como unidade de planejamento; transferência zero de impactos para a jusante, por meio de medidas que assegurem a vazão gerada no pós-ocupação fique retida na bacia onde ela é gerada, não permitindo, assim, a transferência para áreas de jusante; controle do escoamento pluvial; integração entre medidas estruturais e não estruturais; e participação da sociedade, dentre outros (SOUZA, 2013; TUCCI *et al.*, 2011).

No que se refere ao gerenciamento da drenagem urbana, cabe definir que são ações de planejamento, normativas, operacionais, ambientais, financeiras e de participação da sociedade, desenvolvidas por uma administração municipal para equacionar o problema de drenagem que engloba medidas preventivas e corretivas, de forma integral (LANGENBACH; ECKART; SCHRÖDER, 2008; MIGUEZ; VERÓL; CARNEIRO, 2012).

Muitos são os fatores que têm levado os municípios a conduzirem, de maneira inadequada, a gestão da drenagem e que são imprescindíveis dentro da análise necessária ao gerenciamento, conforme relatado no Diagnóstico de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas (BRASIL, 2020).

O fator comprometedor para o setor consiste na ausência e/ou a insuficiência de qualificação dos recursos humanos envolvidos no sistema de drenagem, tanto no nível de gerência como de execução. Como consequência disso, vivenciam-se atitudes lastimáveis, tais como: a adoção de medidas tecnológicas que não se adequam à realidade local, quanto ao manejo das águas pluviais; a má utilização dos recursos financeiros, que já são escassos; e a adoção de medidas corretivas em detrimento das preventivas.

Outro fator também importante para o insucesso de ações propostas na gestão de drenagem tem sido a ausência, por parte das administrações, em priorizar o entendimento da população quanto aos cursos de água, assim como o envolvimento desta na política municipal. A sociedade deve compreender os fundos de vales como elementos que incorporam a vida urbana e que são imprescindíveis à garantia da qualidade de vida.

Portanto, é premente que propostas com vistas a minimizar os problemas de drenagem urbana sejam feitas no intuito de garantir a qualidade de vida da população, a proteção ao meio ambiente e a sustentabilidade das áreas urbanas.

Com base neste contexto, a presente pesquisa visa apresentar um diagnóstico situacional e propor diretrizes para o sistema de drenagem urbana para a cidade de Divinópolis (MG), que incorporem as características morfométricas das bacias hidrográficas e o uso e ocupação do solo.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Diagnosticar e apresentar propostas para duas bacias hidrográficas urbanizadas na cidade de Divinópolis (MG), bem como, propor diretrizes de drenagem urbana a partir das características morfométricas e do uso e ocupação do solo.

### **2.2 Específicos**

- Realizar o diagnóstico situacional das características morfométricas das duas bacias com o intuito de compreender e analisar suas características e suas condições de uso e ocupação do solo;
- Avaliar os dispositivos legais e normativos do município de Divinópolis quanto ao uso e ocupação do solo e dos materiais envolvidos com o sistema de drenagem urbana;
- Desenvolver o prognóstico de duas bacias hidrográficas urbanizadas na cidade de Divinópolis (MG) e propor diretrizes de drenagem urbana a partir das características morfométricas e do uso e ocupação do solo;
- Elaborar uma cartilha técnica com base nas diretrizes de drenagem urbana, resultado desta pesquisa, no formato digital e impresso, com foco, inicial, nos agentes envolvidos no sistema de gerenciamento de drenagem urbana de Divinópolis (MG).

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 Drenagem urbana e uso e ocupação do solo**

A expansão das áreas urbanas, sem considerar suas limitações, o desmatamento, a substituição da cobertura vegetal natural, a ocupação das áreas de inundações e a impermeabilização das superfícies, tem efeitos diretos no processo hidrológico, que afetam, principalmente, o sistema de drenagem urbana (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2015).

Segundo a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM, 2006), o sistema de drenagem deve ser entendido como o conjunto da infraestrutura existente em uma cidade para realizar a coleta, o transporte e o lançamento final das águas superficiais. A Fundação pondera ainda que se devem minimizar os riscos aos quais a população, eventualmente, se encontra exposta, com vistas ao desenvolvimento urbano com sustentabilidade.

Dentro desta perspectiva, o sistema de drenagem urbana é o conjunto de ações e medidas que têm por objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, reduzir os prejuízos causados por inundações e, ainda, estar inserido, de maneira articulada, em um plano integrado para o desenvolvimento urbano, de forma harmônica e sustentável (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2015).

De acordo com Azevedo Netto (2015), o sistema de drenagem é dividido em micro e macrodrenagem. A microdrenagem consiste no conjunto de estruturas que conduzem a água até as galerias ou canais, por meio de sarjeta, bocas de lobo, poços de visita, entre outras. Já a macrodrenagem é responsável por conduzir as águas coletadas pela microdrenagem e tem como principais estruturas as obras de fundo de vale, talvegues e cursos d'água.

A urbanização sem o planejamento e o uso inadequado do solo implicam na redução da capacidade de infiltração e, conseqüentemente, no aumento do escoamento superficial, que pode acarretar em inundações. Vale ressaltar a diferença entre os fenômenos enchente ou cheia, inundação, enxurrada e alagamento, definições abordadas na pesquisa. A Figura 1 ilustra os fenômenos de enchente, inundação e alagamento.

Figura 1 - Fenômenos de enchente, inundação e alagamento



Fonte: SANRURAL, 2020.

Segundo Botelho (2017), a enchente é um fenômeno natural de elevação do nível da água em um determinado curso de água, atingindo a cota máxima e podendo haver transbordamento, porém sem ocasionar danos físicos e materiais para o local. Já a inundação é o processo de transbordamento das águas de um curso de água, atingindo as áreas de várzea, planície de inundação ou, ainda, as áreas indevidamente ocupadas.

Neste contexto, pode-se afirmar que, algumas vezes, a enchente pode ser transformada em inundações, devido à falta de planejamento e ao processo inadequado do uso e ocupação do solo em áreas ribeirinhas, quando não se respeitam as áreas inundáveis e matas ciliares, conhecidas com áreas de preservação permanente (APP).

A enxurrada é o escoamento superficial das águas, com vazões e velocidades elevadas, podendo estar ou não ligada ao processo fluvial, ou seja, em arruamentos ou no curso de água. E, por último, o alagamento é o acúmulo momentâneo de água em uma determinada área por falha ou falta de um sistema de drenagem (BOTELHO, 2017).

Embora o processo de urbanização represente a prosperidade, o crescimento e o desenvolvimento, estes são, na maioria dos casos, seguidos de impactos negativos ao meio ambiente no qual se inserem.

Tucci (2005) afirma que o processo de urbanização, sem planejamento urbano, é um dos principais responsáveis pela alteração do regime hidrológico das regiões, gerando a deterioração da qualidade de vida urbana e o aumento da poluição ambiental.

De acordo com Viana *et al.* (2003), dentre os impactos gerados pelo processo de urbanização ao ciclo hidrológico, pode-se destacar a redução do volume de infiltração no solo. Neste caso, o volume que deixa de infiltrar fica na superfície, o que ocasiona o aumento do escoamento superficial, tornando-o mais rápido e ampliando as vazões máximas, gerando, conseqüentemente, maiores picos de enchentes e inundações. Com a redução da infiltração, o aquífero tende a diminuir o nível do lençol freático por falta de recarga, reduzindo o escoamento subterrâneo. A substituição da cobertura vegetal pelas edificações e demais infraestruturas gera uma redução da evapotranspiração.

Segundo Nascimento (2011), as características do processo de urbanização experimentado no Brasil a partir da década de 1960, com uma expansão não planejada e muito acelerada, sem o crescimento proporcional dos serviços de infraestrutura urbana, entre os quais os sistemas de drenagem, ocasionaram situações críticas em praticamente em todas as suas regiões.

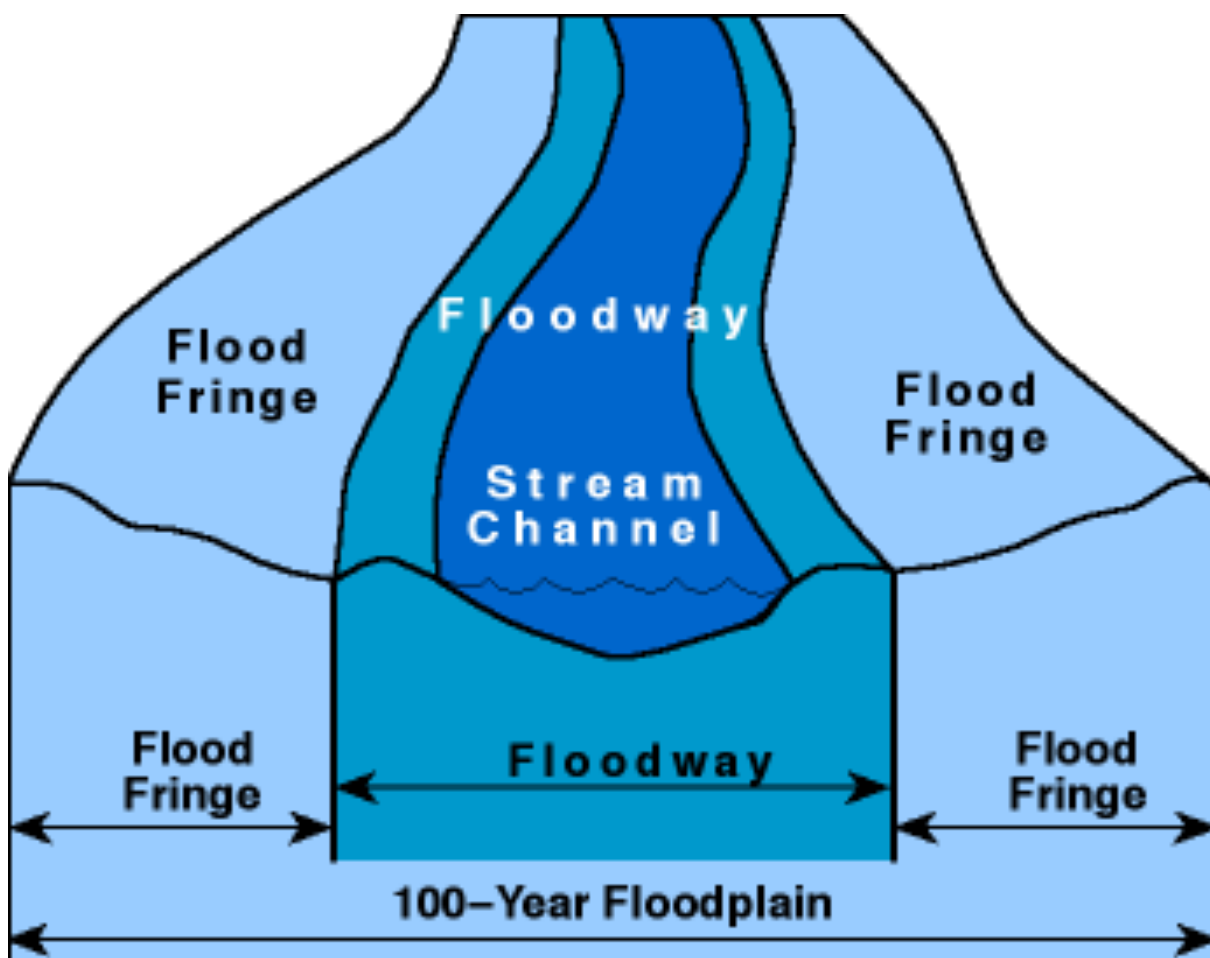
De acordo com Nascimento (2011), os principais problemas de drenagem urbana associados a países em desenvolvimento são: i) rápida expansão da população que vive em áreas urbanas; ii) nível de conscientização baixo da população a respeito do problema; iii) planos diretores de longo prazo ineficientes; iv) precária utilização de medidas não estruturais; e v) inadequada utilização dos sistemas de controle de cheias.

O autor considera ainda que as enchentes atingem a população que ocupa as *floodway fringe*<sup>2</sup> (planície de inundação) por falta de planejamento do uso do solo, por ocupação indevida ou pelo não convencimento dos reais perigos envolvidos na questão e até mesmo pela falta de políticas públicas para habitação, como pode ser visto na Figura 2.

---

<sup>2</sup> De acordo com Tucci (2003), *floodway fringe* são áreas inundáveis ao longo de um curso de água, uma medida não estrutural, para uma chuva no período de retorno de 100 anos. O período de retorno recomendado se justifica porque ocorre inversamente proporcional a frequência da chuva. Isto garante que esta “faixa de enchente” tem dimensões necessárias para comportar o fluxo de água resultante de chuvas intensas sem maiores danos.

Figura 2 - Áreas inundáveis



Fonte: BOUDER COUNTY, 2021.

Entre os elementos que impactam o desenvolvimento urbano, os problemas associados ao escoamento das águas pluviais assumem especial relevância, pois representam um dos principais enfrentamentos vivenciados pela sociedade e pelos administradores municipais. De acordo com Fátima (2013), no Brasil, a precariedade ou a ausência dos sistemas de drenagem urbana têm sido cada vez mais responsáveis pelos impactos sociais, econômicos e ambientais.

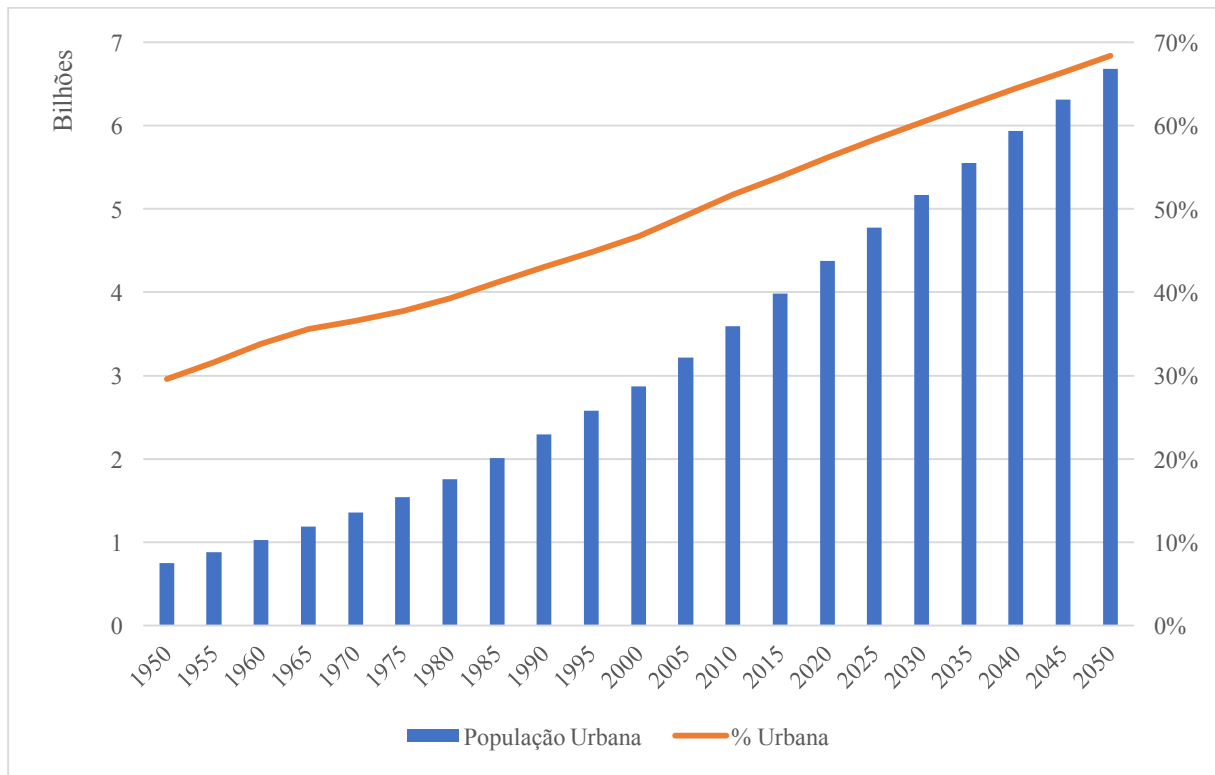
### 3.2 Impactos do processo de urbanização

Para compreender os impactos do processo de urbanização, faz-se necessário observar os dados populacionais nas áreas urbanas e rurais, tanto no Brasil quanto no mundo. Os principais índices foram encontrados no relatório “Perspectivas da urbanização mundial, 2018”, desenvolvido pela Divisão das Nações Unidas para a População do Departamento dos

Assuntos Econômicos e Sociais (DESA) (UNITED NATIONS, 2018), que tem emitido, há várias décadas, estimativas e projeções revisadas das populações urbanas e rurais de todos os países e das suas principais aglomerações urbanas.

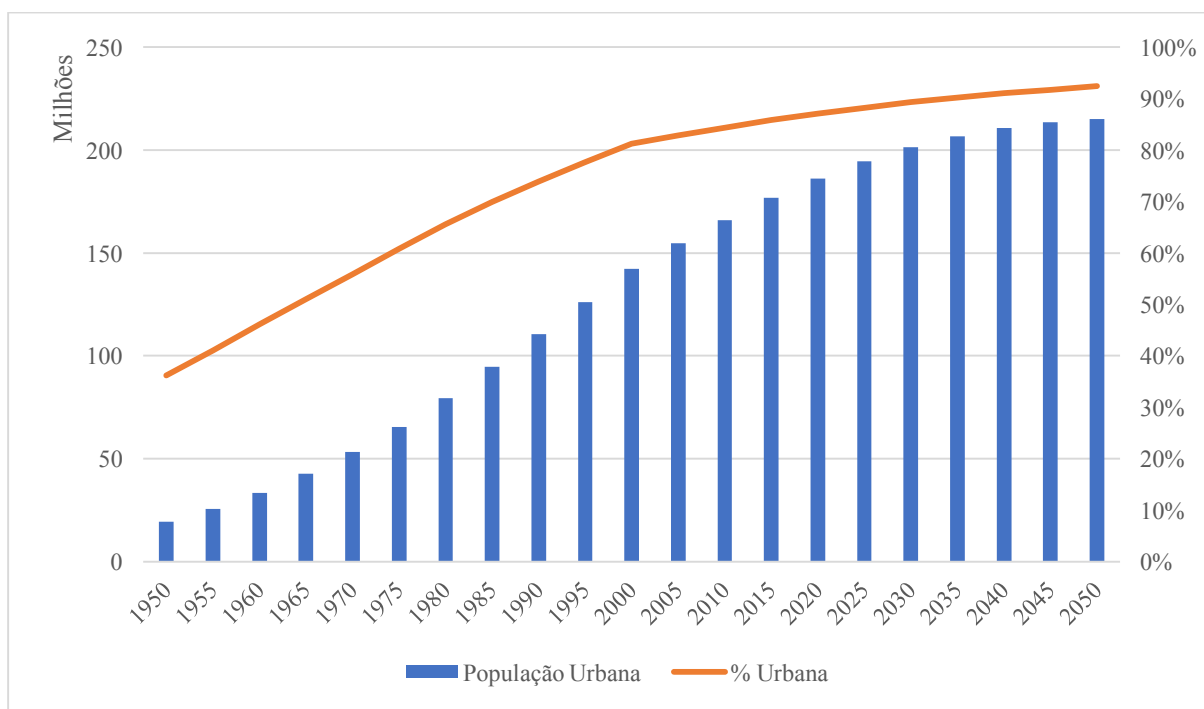
Pode-se observar, nos Gráficos 1 e 2, o crescimento da população urbana, do mundo e do Brasil, entre os anos de 1950 e 2050. Estima-se que, neste último ano, 68,40% da humanidade mundial residirão em cidades. No Brasil, este número é de 92,40%.

Gráfico 1 - População urbana absoluta e relativa no mundo: 1950-2050



Fonte: Elaborado pela autora, 2021, baseado em UNITED NATIONS, 2018.

Gráfico 2 - População urbana absoluta e relativa do Brasil: 1950-2050



Fonte: Elaborado pela autora, 2021, baseado em UNITED NATIONS, 2018.

De acordo com o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas (UNITED NATIONS, 2018), a população urbana mundial representava 55,3%, enquanto no Brasil, no mesmo período, era de 86,60%. No que se refere à cidade de Divinópolis, o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) demonstrou que 97,42% da população do município residia na área urbana.

Apesar de representar desenvolvimento socioeconômico e cultural para a sociedade, o crescimento urbano é uma das ações humanas que mais impactam o meio ambiente. De acordo com Dhakal e Chevalier (2016), dois destes impactos são a destruição da biodiversidade e a alteração no processo hidrológico. Os autores salientam que o resultado da remoção da vegetação, compactação do solo e construção de estruturas impermeáveis reduz as funções dos processos hidrológicos, tais como interceptação, evapotranspiração, retenção e infiltração da água de chuva.

O processo de urbanização de uma bacia hidrográfica, de modo geral, inicia-se normalmente a jusante, em áreas planas e mais baixas. Em consequência da impermeabilização e da urbanização, as primeiras obras de canalização surgiram para controlar as enchentes destas áreas ribeirinhas, agravando este problema nas áreas a jusante (MIGUEZ; VERÓL; CARNEIRO, 2012).

Com o processo de crescimento das cidades, as áreas a montante passam a ser ocupadas, levando à ocorrência do mesmo processo das áreas a jusante. Neste sentido, para evitar outras enchentes, são estabelecidas novas canalizações neste local e, assim, as áreas mais antigas a jusante voltam a ter problemas de enchente (MIGUEZ; VERÓL; CARNEIRO, 2012).

Como consequência da urbanização, as áreas de armazenamento natural estão ocupadas, não há mais planície de inundação, toda a bacia é canalizada, os canais não têm capacidade para escoar a nova demanda, a vazão é transferida para a jusante e ocorrem inundações de grandes superfícies urbanas. Diante deste cenário, a cidade estrangula o sistema de drenagem e há poucas possibilidades de novas obras canalizações (MIGUEZ; VERÓL; CARNEIRO, 2012).

Um levantamento realizado por Li *et al.* (2013) descreve vários estudos que constata a influência da urbanização em relação ao processo hidrológico. No artigo, os autores relatam que o aumento da intensidade de chuva, do coeficiente de escoamento superficial e do pico de fluxo está diretamente ligado ao processo de urbanização.

De acordo com Houngh e Pathirana (2013), as mudanças hidrológicas ocorridas devido à urbanização acarretam o aumento da intensidade de chuva, que, conseqüentemente, eleva o pico das cheias e diminui o tempo de concentração, causando inundações mais graves para as cidades.

Segundo Houngh e Pathirana (2013), o processo de urbanização está diretamente relacionado com as alterações hidrometeorológicas, resultando em chuvas extremas. Eles ressaltam ainda que, nos últimos 20 anos, há pesquisas demonstrando uma forte relação entre as áreas urbanas e o microclima local. Percebe-se que as áreas ocupadas por cidade têm temperaturas mais altas do que as regiões confrontantes, denominadas “ilha de calor urbano” (HOUNGH; PATHIRANA, 2013).

No processo de urbanização, os principais impactos se devem ao aumento do escoamento superficial e ao pico dos eventos extremos, deterioração da qualidade da água e redução da recarga dos aquíferos, aumento da produção de sedimentos e erosão (TUCCI, 2016).

### **3.3 Gestão Integrada do Sistema de Drenagem**

Um dos grandes problemas quanto à drenagem está relacionado à gestão do sistema. De acordo com Brasil (2020), nas cidades brasileiras não se dá a devida importância ao gerenciamento das águas, dada a ausência de um planejamento específico para o setor.

Segundo o DDMAPU (BRASIL, 2020), o que se verifica, de modo geral, é o que gerenciamento da drenagem urbana é realizado pelas secretarias municipais de obras e desvinculado das ações planejadas para os demais setores de saneamento básico – abastecimento de água, esgotamento sanitário e gerenciamento de resíduos sólidos. Dos municípios participantes da coleta do DDMAPU (BRASIL, 2020), 98,8% são por meio de administração pública direta, ou seja, a própria Prefeitura é responsável pelos serviços de gestão de drenagem.

Segundo Dhakal e Chevalier (2016), a gestão integrada é discutida por estudiosos há décadas, mas ainda os três componentes do sistema hídrico urbano – abastecimento de água, esgotamento sanitário e águas pluviais – são administrados separadamente por meio de setores diferentes. Os autores salientam ainda que as águas pluviais urbanas são tratadas de forma isolada, não abrangendo outras políticas públicas, como o planejamento urbano e a lei de uso e ocupação da terra. Neste sentido, embora a ideia de integração esteja sendo discutida, não há, ainda, quaisquer avanços práticos consideráveis.

Diante deste contexto, a gestão das águas pluviais assume um importante papel nas áreas urbanas, porque possibilita a definição e adoção de medidas para o controle das enchentes e das inundações, a melhoria da qualidade da água e medidas preventivas e de elevado impacto ambiental, além de permitir a combinação de várias alternativas para a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos.

Souza (2013) ressalta que a gestão pode também ser utilizada para: i) indicar alternativas interessantes para o controle do escoamento pluvial de cada local; ii) definir parâmetros e metodologias para projetos regionais; iii) elaborar projetos que justifiquem a busca por recursos financeiros; iv) desenvolver tecnologias inovadoras ou adaptações das edificações antigas às medidas de controle do escoamento superficial; e v) proteger as funções ambientais, entre outras atividades.

De acordo com Tucci (2012), as cidades brasileiras enfrentam sérios problemas de inundações porque o modelo de gestão adotado sempre foi aquele que prevê medidas pontuais para a solução do escoamento das águas pluviais, além de ser tratado de forma isolada dos demais sistemas de infraestrutura urbana.

Souza (2013) afirma que, com todos os problemas de gestão do sistema de drenagem nas cidades brasileiras, a partir de 1990, houve uma evolução no conceito de

gerenciamento, por meio do conceito de *Best Management Practices (BMP)*<sup>3</sup>, que introduz a proposta de técnicas compensatórias em drenagem urbana que tem como foco principal o amortecimento de vazões, ao qual foram, posteriormente, incluídos novos dispositivos, como, por exemplo, pavimentos permeáveis, trincheiras e valos de infiltração, dentre outros.

Nesta mesma linha de raciocínio, Vilanueva *et al.* (2011) afirmam que a gestão das águas pluviais passa por um novo paradigma, pois verifica-se que, atualmente, existem inúmeros textos dedicados à drenagem urbana nos seus diferentes aspectos. As soluções apresentadas pela engenharia ainda se pautam por medidas convencionais para o sistema de drenagem urbana e orientam, principalmente, ao cálculo de vazões de projeto, enquanto o material mais recente enfatiza os aspectos de gestão e fornecem diretrizes para os desenvolvimentos urbanos de baixo impacto.

Segundo Zhou (2014), ao contrário da drenagem convencional, que propõe uma solução mais rápida, “entubar e levar o problema para jusante”, a drenagem sustentável se pauta por medidas de baixo impacto urbano.

Como já foi citado anteriormente, vale ressaltar que o termo desenvolvimentos urbanos de baixo impacto parte de práticas que devem ter como princípios básicos: i) gestão sustentável; ii) visão integral; iii) prevenção; iv) transferência zero de impactos a jusante (controle local dos impactos); v) integração de medidas estruturais, não estruturais e estruturantes; vi) bacia hidrográfica como unidade de planejamento; vii) gestão e controle do escoamento pluvial; viii) complementariedade das ferramentas; ix) gestão eficiente da manutenção e controle; e x) participação pública.

Essas práticas de gestão das águas pluviais devem abranger as diferentes formas de solução para o problema e distinguir as medidas estruturais, não estruturais e estruturantes, que devem ser aplicadas em cada situação específica, resultando nos *Sustainable Drainage System (SUDS)*, *Low Impact Development (LID)* e *Integrated Management Practices (IMP)*<sup>4</sup>, conforme determinam Vilanueva *et al.* (2011).

Entendem-se por medidas estruturais as obras de engenharia com intervenção física que visam à correção e/ou prevenção dos problemas causados pelas enchentes, tais como galerias, canalização de cursos de água, reservatório de detenção e de retenção, canais de

---

<sup>3</sup> O termo *Best Management Practices (BMP)* pode ser compreendido na língua portuguesa como Melhores Práticas de Gestão com o intuito de controlar a qualidade e quantidade das águas urbanas por meio de medidas estruturais, não estruturais e estruturantes.

<sup>4</sup> Os termos podem ser compreendidos na língua portuguesa, respectivamente, por: Sistema de Drenagem Sustentável (SUDS), Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (LID) e Práticas de Gestão Integradas (IMP).

desvio, recomposição da cobertura vegetal, controle de erosão do solo ao longo da bacia de drenagem e restauração de calhas naturais (CANHOLI, 2014).

As medidas não estruturais priorizam a redução dos danos causados com as inundações, por meio da interação e aplicação das normas, das leis e dos regulamentos do uso e ocupação do solo, em consonância com as ações dos gestores, dos sistemas de alerta e da previsão de inundações, além da conscientização ambiental da população em relação ao lixo, à erosão e à poluição difusa (CANHOLI, 2014).

Já as medidas estruturantes, segundo o Plano Nacional de Saneamento Básico 2018 (PLANSAB), são definidas por fornecer suporte técnico, político e gerencial a um determinado tipo de serviço de saneamento básico, de tal maneira que estes serviços sejam sustentáveis e compreendidos tecnicamente por todos os envolvidos. O saneamento básico engloba os sistemas de água, esgoto, drenagem pluvial e resíduos sólidos, por meio da Lei nº 11.445 (BRASIL, 2007).

Considerando os sistemas citados anteriormente, um dos sistemas que mais se destaca e pode trazer boas contribuições para o desenvolvimento sustentável das cidades brasileiras é o de drenagem pluvial, pois, da forma como se apresenta na atualidade, é o responsável pela deterioração da qualidade das águas, pelo aumento dos processos erosivos, pelas graves inundações ocasionadas pelo aumento das vazões de pico nos fundos de vales e pelos prejuízos sociais vivenciados pela população, especialmente as menos favorecidas.

No Brasil, já é possível observar municípios que adotam medidas de drenagem pluvial com o objetivo de mitigar os impactos gerados pelo processo de urbanização. Dentre eles, podem ser citados Rio de Janeiro, São Paulo e Uberaba (MG), que adotaram reservatórios de retenção e/ou detenção para o controle da vazão máxima de chuva, controlando, desta forma, a sua transferência para o ponto de jusante (PENNA *et al.*, 2019). Os reservatórios de retenção se mostram favoráveis e eficazes porque retardam a vazão de pico e evitam a descarga da vazão excedente, ou parte dela, no sistema de drenagem a jusante durante a chuva (PENNA *et al.*, 2019).

Em Porto Alegre (RS), a avaliação da implantação das medidas de drenagem sustentável feita por Tucci (2016) apontou para uma redução de gastos com drenagem, quando o controle é realizado na fonte, bacia hidrográfica, de R\$ 1,88 milhões por hectare.

Lourenço (2013) escreve sobre o conceito de drenagem sustentável, que requer a incorporação de novas técnicas, tais como retenção e detenção de água por sub-bacias, dispositivos que aumentam a infiltração local e revitalização dos cursos de água, com o objetivo

de amortecer vazões de pico e atenuar o nível de poluição presente nas águas das chuvas descarregadas nos meios receptores, de forma a garantir a regeneração do ciclo hidrológico.

Nesta perspectiva, é necessário que as administrações municipais e regionais repensem a forma de condução dos sistemas de drenagem, de modo a mudar o conceito de que o problema passa pela solução de questões pontuais, que, normalmente, somente transferem as águas pluviais para os pontos de jusante da bacia hidrográfica, ocasionando, a médio prazo, o agravamento do sistema de drenagem, como deterioração da água, inundação, erosão e prejuízos sociais e econômicos.

Esta mudança de paradigma passa pela adoção de instrumentos de planejamento que contemplem a visualização da bacia hidrográfica como um sistema dinâmico, cujo comportamento dos recursos hídricos acontece de maneira interligada, dentro de uma região delimitada topograficamente, isto é, as medidas devem ser realizadas dentro dessa área como um todo a fim de permitirem que a gestão do sistema de drenagem aconteça de forma mais eficaz e eficiente (FIGUEIRÓ; DI MAURO, 2020).

Ainda nesta perspectiva, podem ser destacados instrumentos de planejamento tais como a lei de uso e ocupação de solo, a lei do parcelamento do solo, os planos municipais de saneamento e os seus específicos (água, esgoto, resíduos e drenagem), que devem ser pensados e propostos a partir de uma visão mais integrada entre eles. Só assim estes instrumentos de planejamentos cumprirão a sua finalidade de forma harmônica dentro de uma região, bacia hidrográfica, onde se estabelecem as relações socioeconômicas e ambientais.

Ao se pensar em gestão integrada e sustentável de um sistema de drenagem urbana, deve-se entender o conceito e as características morfométricas da bacia hidrográfica e a relação dos processos hidrológicos que interferem nesta área. Segundo Villela e Mattos (1975), é importante conhecer as características morfométricas da bacia hidrográfica, pois seus componentes são determinantes para o comportamento hidrológico. Há uma correlação entre seus componentes e os processos hidrológicos. Portanto, ao se estabelecer as relações e as comparações entre eles, diante dos dados hidrológicos, é possível determinar, indiretamente, os valores hidrológicos em locais ou seções de interesse que faltem dados ou em regiões em que não seja possível a instalação de estações hidrométricas, por falta de recursos (VILLELA; MATTOS, 1975).

A escolha pela bacia hidrográfica como unidade de planejamento se deve ao fato da mesma permitir a análise do comportamento hidrológico além da dinâmica social, econômica e ambiental de uma região. Bacia hidrográfica é uma área delimitada

topograficamente, drenada por um ou mais cursos de águas interligados de tal forma que toda vazão efluente seja descarregada através de uma única saída (VIESSMANN *et al.*, 1977).

### 3.4 Aspectos legais e institucionais

O conjunto de leis que alcança os diferentes níveis institucionais e de gestão é primordial para estabelecer um caminho para a construção de uma cidade sustentável. Portanto, deve-se compreender a necessidade da responsabilidade da urbanização (MIGUEZ; VERÓL; CARNEIRO, 2012).

Nesta pesquisa, os principais dispositivos legais utilizados nas esferas nacional, estadual e municipal (Divinópolis) estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais dispositivos legais e suas esferas

Instrumento legais	Esfera de abrangência
Lei de Parcelamento do Solo Urbano (nº 6.766/1979)	Federal
Estatuto da Cidade – Lei nº 10.257/2001	Federal
Lei para Saneamento Básico (nº 11.445/2007)	Federal
Lei para Políticas Públicas de Recursos Hídricos (nº 13.199/1999)	Estadual
Lei de Parcelamento do Solo Urbano (nº 2.429/1988)	Municipal
Lei de Uso e Ocupação do Solo (nº 2.418/1994)	Municipal
Plano Municipal de Saneamento de Divinópolis de 2018	Municipal

Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Percebe-se que, no Brasil, embora haja ferramentas para nortear os diferentes níveis institucionais que garantam o desenvolvimento das cidades de forma sustentável, não se verifica a qualidade apropriada para este ambiente construído (MIGUEZ; VERÓL; CARNEIRO, 2012).

No Brasil, a Lei nº 6.766 (BRASIL, 1979) estabelece as diretrizes mínimas para o desenvolvimento urbano. Esta Lei considera que um lote, pequena porção de terra urbana, deve ser suprido de infraestrutura básica, atendendo às dimensões mínimas determinadas pelos índices urbanístico, pelo plano diretor ou pela lei municipal para o local em que ele está inserido.

Neste contexto, pode-se considerar que infraestrutura básica é um conjunto de equipamento urbano que contempla rede de drenagem, rede de esgotamento sanitário e de abastecimento de água potável, iluminação pública, vias de circulação pavimentadas ou não e energia elétrica pública e privada (BRASIL, 1979).

De acordo com a Lei 6.766 (BRASIL, 1979), não são passíveis de loteamento ou desmembramento as áreas alagadiças e sujeitas a inundações protegidas por leis ambientais ou em locais insalubres e com declividade igual ou superior a 30%.

Há também outra Lei Federal, denominada Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001), que estabelece normas delineadas para a ordem pública e o interesse social, regulamentando o uso da propriedade urbana em benefício da coletividade, da segurança e do bem-estar dos cidadãos e do equilíbrio ambiental. A política urbana aponta para uma organização das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, por meio de diretrizes gerais citadas a seguir (somente as que relacionam com o projeto):

- Assegurar o direito à cidade sustentável, ou seja, direito à terra urbana, habitação, infraestrutura urbana, saneamento ambiental, transporte e serviços públicos, trabalho e lazer;
- Gestão democrática por meio da participação das pessoas e associações representativas de diversos segmentos da comunidade na formulação, implementação e monitoramento de planos, programas e projetos de desenvolvimento urbano;
- Planejamento do desenvolvimento da cidade para evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente;
- Fornecimento de equipamentos urbanos e comunitários, transporte e serviços públicos para suprir os interesses e as necessidades da população;
- Ordenação e controle do uso do solo para evitar a deterioração das áreas urbanizadas, poluição e degradação ambiental e a utilização excessiva ou inadequada da infraestrutura urbana e deixar a população à mercê de desastres;
- Proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído e do patrimônio cultural, histórico, artístico, paisagístico e arqueológico.

Em relação à legislação de recursos hídricos no Estado de Minas Gerais, a Lei nº 13.199 (MINAS GERAIS, 1999) dispõe sobre essas diretrizes. Esta Lei define a adoção de

bacia hidrográfica como um sistema integrado e que engloba os meios físico, biótico e antrópico como unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento.

Há um projeto de lei em tramitação na Assembleia Legislativa de Minas Gerais (ALMG) que define as Unidades Regionais de Saneamento Básico (URSB), conforme determina a Lei Federal nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007). O projeto citado descreve que, devido às especificidades técnicas dos serviços de gestão de resíduos sólidos e dos serviços de abastecimento de água e tratamento de esgotos sanitários, as URSB devem ser propostas separadamente. Portanto, haverá, até o momento, a Unidade Regional de Gestão de Resíduos (URGR), a Unidade Regional de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário (URAE) e o eixo drenagem urbana não será tratado.

Em Divinópolis (MG), a Lei nº 2.429 (PREFEITURA DE DIVINÓPOLIS, 1988) dispõe sobre o parcelamento do solo urbano. Em relação aos locais não passíveis de loteamento, a Lei Municipal segue o que determina a Lei Federal nº 6.766 (BRASIL, 1979).

Para os loteamentos urbanos, o loteador tem de executar, no mínimo, as seguintes obras e equipamentos urbanos: abertura de vias de circulação, inclusive vias de acesso; demarcação de lotes, quadras e logradouros; obras destinadas a escoamento de águas pluviais, inclusive galerias, guias, sarjetas e canaletas, conforme padrões técnicos e exigências da Prefeitura; construção do sistema público de esgoto sanitário; construção de sistema público de abastecimento de água; obras de contenção de taludes e aterros; construção de rede de energia elétrica e iluminação pública; e obras e serviços destinados ao tratamento paisagístico das vias e dos logradouros públicos e à arborização de vias (PREFEITURA DE DIVINÓPOLIS, 1988).

O somatório das áreas destinadas ao sistema viário de circulação, implantação de equipamentos urbanos e comunitários, servidões, espaços livres de uso público e áreas de preservação permanente corresponde a, no mínimo, 35% da gleba original total (PREFEITURA DE DIVINÓPOLIS, 1988).

Destes 35%, uma parcela mínima de 10% deverá ser destinada a equipamento público comunitário e 5% para praças, áreas verdes e APP. Desse 5%, no mínimo 3% da gleba total deverá ser para as áreas de praças (PREFEITURA DE DIVINÓPOLIS, 1988).

Ainda de acordo com a mesma Lei, área verde é definida como as extensões cobertas por vegetação e com baixa densidade de construções humanas, bem como as áreas com declividade superior a 30%, não utilizadas na concepção da elaboração da infraestrutura urbana do parcelamento e que não se enquadram na definição de APP (PREFEITURA DE DIVINÓPOLIS, 1988).

São obrigatórias as reservas de faixas não edificáveis e de preservação permanente definidas pela Lei nº 6.766/1979 (BRASIL, 1979), pela Lei nº 12.651, pelo Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012) e pela Lei Estadual nº 20.922 (ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DE MINAS GERAIS, 2013).

Não será permitido o parcelamento do solo em terrenos alagadiços e sujeitos à inundação, como são considerados aqueles ocupados pelos leitos excepcionais, durante cheias excepcionais, que atinjam também áreas normalmente enxutas, segundo registros de cotas altimétricas históricas de máxima cheia, definidas por meio de Decreto Municipal (PREFEITURA DE DIVINÓPOLIS, 1988).

A lei de parcelamento do solo não define diretrizes claras para novos loteamentos quanto à destinação, zoneamentos e modelos, somente quando houver a demanda e for solicitada à Prefeitura (PREFEITURA DE DIVINÓPOLIS, 1988).

Em relação ao uso e ocupação do solo, Divinópolis (MG) é regida pela Lei Municipal nº 2.418 (CÂMARA MUNICIPAL DE DIVINÓPOLIS, 1988), que estabelece o zoneamento do município e a taxa máxima de ocupação para cada região específica.

Nesta pesquisa, serão tratados os zoneamentos específicos dentro das áreas de estudo que são: Zona Residencial (ZR1, ZR2 e ZR3), Zona Comercial (ZC2, ZC3 e ZC4), Zona Especial (ZE1, ZE2, ZE3 e ZE4), Corredores e sem Zoneamento. As especificidades de cada zoneamento serão detalhadas na seção material e métodos.

A preocupação das diferentes escalas de governo com questões relacionadas ao saneamento, a Lei nº 11.445 (BRASIL, 2007), estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento. Entendendo saneamento básico como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, a Lei condiciona a assinatura de quaisquer contratos para financiamento de projetos na área de saneamento à existência de Plano Municipal de Saneamento Básico aprovado.

De acordo com a mesma referência, o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) estabelece um planejamento das ações de saneamento por meio da elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico dos municípios envolvidos no processo, de forma a atender aos princípios da política nacional e que seja construído por intermédio de uma gestão participativa, envolvendo a sociedade no processo de elaboração. O PMSB visa à melhoria da salubridade ambiental, a proteção dos recursos hídricos, a universalização dos serviços, o desenvolvimento progressivo e a promoção da saúde.

Neste sentido, o PMSB é um instrumento no qual, a partir do diagnóstico da situação de cada município, são definidos os objetivos e as metas, as prioridades de investimentos, a forma de regulação da prestação dos serviços, os aspectos econômicos e sociais, os aspectos técnicos e a forma de participação e controle social, de modo a orientar a atuação dos prestadores de serviços, dos titulares e da sociedade.

Segundo alguns incisos do Art. 19 da Lei nº 11.445 (BRASIL, 2007) e do Art. 24 do Decreto nº 7.217, o PMSB envolve as seguintes etapas: diagnóstico da situação do saneamento no município e seus impactos na qualidade de vida da população, utilizando sistema de indicadores sanitários, epidemiológicos, ambientais e socioeconômicos e apontando as causas das deficiências detectadas; desenvolvimento do Sistema de Informações Geográficas (SIG); definição de objetivos, metas de curto, médio e longo prazo e alternativas para universalização e desenvolvimento dos serviços, admitidas soluções graduais e progressivas, observando a compatibilidade com os demais planos setoriais; estabelecimento de programas, projetos e ações necessárias para atingir os objetivos e as metas; planejamento de ações para emergências e contingências; desenvolvimento de mecanismos e procedimentos para a avaliação sistemática das ações programadas, criação do modelo de gestão, com a estrutura para a regulação dos serviços de saneamento nos municípios; e, por fim, a institucionalização do PMSB.

Em Divinópolis (MG), existe o Plano Municipal de Saneamento (2019-2023) cuja responsabilidade do sistema de drenagem é da Prefeitura, por meio da Secretaria Municipal de Obras Públicas (Semop). A Superintendência da Usina de Projetos é responsável por elaborar, aprovar e implantar novas redes de drenagem pluvial no município, tanto na zona urbana como na zona rural (PREFEITURA DE DIVINÓPOLIS, 2018).

O município não conta com instrumento regulador para manejo das águas pluviais. A captação destas é realizada por meio de bocas de lobo e caixas com grelha em sarjetas e o lançamento é feito em corpos d'água, fundos de vale, depressões naturais, grotas e áreas livres, públicas ou particulares (PREFEITURA DE DIVINÓPOLIS, 2018).

No Plano Municipal de Saneamento do município (PREFEITURA DE DIVINÓPOLIS, 2018), há ações de curto, médio e longo prazo no que se refere ao sistema de drenagem urbana, listadas na sequência:

#### Ações de curto prazo:

- Implantar sistema de gestão de drenagem urbana com seu devido plano, definindo equipe e equipamentos envolvidos;
- Designar órgão que será responsável especificamente pelos serviços de drenagem urbana e terá atribuições como monitoramento pluvial e fluvial, consultas meteorológicas, manutenção da rede coletora de águas pluviais, manutenção de canais, galerias e bueiros, dentre outras;
- Realizar cadastro da rede de macro e microdrenagem, com estabelecimento de prioridades para adequação e/ou substituição pautado na identificação das unidades que apresentam maiores problemas;
- A Administração Municipal deverá definir as fontes de recursos para a implantação das ações previstas nesse Plano, podendo celebrar convênios, contratos ou outras formas previstas em lei para alcançar os objetivos aqui definidos.

#### Ações de médio prazo:

- Criar uma gestão integrada dos serviços de saneamento ambiental no município com a finalidade de unificar a gestão dos serviços de drenagem urbana e pluvial, abastecimento de água, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos;
- Criar plano de contingência de enchentes com base na identificação das unidades que possam estar contribuindo para este cenário;
- Criar projeto de revitalização de rios e córregos que atravessam a área urbana de Divinópolis;
- Monitorar corpos receptores de águas pluviais, analisando a interferência dessas na qualidade da água e o grau de assoreamento dos cursos d'água;
- Desenvolver alternativas de estruturas de drenagem não convencionais para adoção de práticas que priorizem a dissipação dos escoamentos superficiais pluviais ao invés de sua concentração;
- Desenvolver alternativas de aproveitamento das águas pluviais através da implantação de coletores em vias urbanas, praças e logradouros públicos.

#### Ações de longo prazo:

- Monitorar corpos receptores de águas pluviais, analisando a interferência destas na qualidade da água e o grau de assoreamento dos cursos d'água;
- Implantar obras para interceptação das redes de águas pluviais remanescentes após implantação do sistema de esgotamento, prevendo o tratamento de suas águas, ainda que simplificado, antes do lançamento nos corpos hídricos, reduzindo o impacto de excesso de material particulado carregado que aceleram o processo de assoreamento dos cursos d'água;
- Criar programa participativo incentivando a participação popular em tomadas de decisões relativas a melhorias e ampliações do Sistema de Drenagem Urbana. (PREFEITURA DE DIVINÓPOLIS, 2018, p. 41-42)

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta pesquisa foram analisadas duas bacias urbanas de Divinópolis (MG) em relação às mudanças de suas características morfométricas devido ao processo de urbanização e a forma de como este altera o ciclo hidrológico, que resulta em ocorrências de enchentes, inundações e alagamentos. Também, se buscou apresentar uma análise da lei do uso e ocupação do solo e demais instrumentos existentes relacionados ao sistema de drenagem urbana, nestas duas áreas.

A partir disto, foram apresentadas diretrizes que podem contribuir para o gerenciamento do sistema de drenagem urbana, onde se buscou incorporar a integração entre os demais sistemas de saneamento, parâmetros para projetos de micro e macrodrenagem, delimitação das principais bacias hidrográficas urbanas com as suas respectivas características morfométricas e zoneamento.

### 4.1 Caracterização do objeto de estudo

O município de Divinópolis localiza-se na macrorregião Oeste do Estado de Minas Gerais, nas coordenadas da sede 20°10'12" S e 44°54'36" W, e possuía, em 2021, segundo estimativa do IBGE, 242.505 habitantes. A área do total do município é de 708,115 km<sup>2</sup> e a densidade demográfica, de 300,85 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2021).

O rendimento mensal dos trabalhadores formais divinopolitanos em 2019 era de dois salários-mínimos, e, ao observar os domicílios com rendimentos mensais de até meio salário-mínimo por pessoa, havia 28,10% da população nestas condições (IBGE, 2021).

Em relação ao abastecimento de água, o número de casas abastecidas era de 100.839 unidades, perfazendo uma extensão total da rede de distribuição de 1.061 km. No que se refere ao esgotamento sanitário por rede coletora, o número de domicílios atendidos era de 88.334 unidades, totalizando uma extensão de 818 km de rede e 16,3% da população é atendida por tratamento de esgoto (IBGE, 2021).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), (BRASIL, 2019b), 95,44% da população do município é atendida com abastecimento de água, frente à média de 82,07% do Estado e 83,71% do país. Em relação ao esgotamento sanitário, 84,06% da população é atendida, diante da média do Estado de 77,38% e do Brasil de 68,87%. Os habitantes que não têm acesso à água e à coleta de esgoto são, respectivamente, 10.854 e

37.967. No que diz respeito aos resíduos sólidos, o município possui coleta seletiva, 99,9% da população é atendida com coleta e recupera 2,33% do total (BRASIL, 2019b).

Segundo dados do IBGE (2021), a economia da cidade baseia-se, principalmente, na indústria do vestuário e siderúrgica, o que contribui com a ocupação predominantemente urbana e um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,764, que, em relação ao Brasil (IDH de 0,778), é alto, e sua posição entre os 5.565 municípios está em 304º lugar (ONU, 2018).

#### **4.1.1 Definição das bacias hidrográficas**

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram selecionadas duas áreas que apresentam problemas devido a ocorrência de inundações, alagamentos e enchentes no município de Divinópolis. A escolha da primeira área ocorreu a partir da localização da Estação de Tratamento de Água (ETA) do município, que sofreu inundações nos anos de 2008, 2011 e 2020, deixando a população divinopolitana sem abastecimento de água.

Em relação à segunda área, esta foi escolhida por ser uma região de grande importância socioeconômica para a cidade e que também sofre com inundações, enxurradas e alagamentos. Nessa região, se localizam os *shoppings* especializados em confecções (responsável por parte da economia de Divinópolis), a rodoviária, o Corpo de Bombeiros e um hospital, além de ser um dos principais acessos de entrada da cidade.

A partir das localizações da ETA e da região dos *shoppings*, por meio das curvas de nível, delimitaram-se as duas bacias hidrográficas e, assim, conduziram-se os estudos das caracterizações morfométricas destas áreas, nomeadas como Bacia 1 e Bacia 2, respectivamente. Vale ressaltar que Divinópolis está inserida na bacia hidrográfica do Rio Itapecerica, importante tributário do Rio São Francisco.

A Bacia 1 está localizada na região sudoeste da área urbana de Divinópolis e compreende o bairro São Judas Tadeu. Dentro da área está a ETA, localizada próxima ao exutório, como pode ser visto na Figura 3.

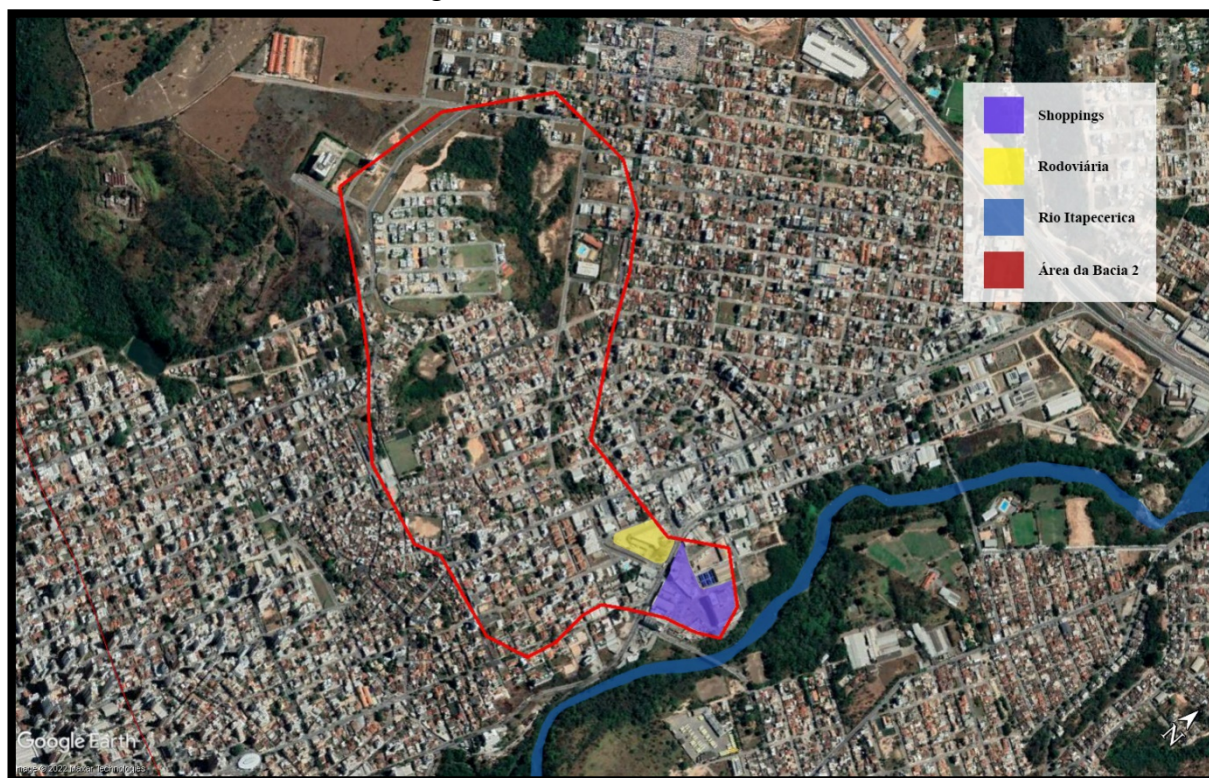
Figura 3 – Perímetro da Bacia 1



Fonte: Adaptada pela autora a partir de imagem do Google Earth, 2020.

A Bacia 2 está localizada na região norte da área urbana e compreende os bairros São Sebastião e Afonso Pena, conforme pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 - Perímetro da Bacia 2



Fonte: Adaptada pela autora a partir de imagem do Google Earth, 2020.

De 2008 e 2011, os *shoppings* e várias regiões no município inundaram. No Shopping Pátio, em 2008, o primeiro andar da edificação foi tomado pela água do rio Itapecerica, que subiu sete metros devido às fortes chuvas. Já em 2011, o rio Itapecerica subiu 7,36 m. De acordo com Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a média de precipitação de 1998 a 2018 em dezembro para o município foi de 262,29 mm. Nos anos de 2008 e 2011, choveram, nesse mesmo mês, 535,50 mm e 400,7 mm, respectivamente.

Para as duas bacias, foram feitas as mesmas caracterizações para a atual ocupação do solo e para a situação antes do processo de urbanização. Para a análise da situação atual, pós-ocupação, utilizou-se o zoneamento estabelecido pela Lei Municipal nº 2.418 (CÂMARA MUNICIPAL DE DIVINÓPOLIS, 1988), no intuito de se verificar o comportamento das bacias frente às características morfométricas. Para a situação de pré-ocupação, foram analisados esses parâmetros na região delimitada sem qualquer intervenção, por meio do levantamento planialtimétrico e das redes de drenagens numéricas.

As análises dessas variáveis são importantes porque permitem avaliar outras bacias que apresentam características semelhantes, podendo, desta forma, serem extrapoladas para outras regiões, conforme descrito no item a seguir.

#### 4.1.2 Caracterização morfométricas das bacias

A caracterização morfométrica das bacias se faz necessária porque rege a dinâmica do comportamento do ciclo hidrológico de uma região, especialmente para as áreas urbanas, onde o uso e a ocupação do solo alteram este comportamento, gerando o aumento das vazões pluviais e, conseqüentemente, as inundações (TUCCI *et al.*, 2015).

Para a identificação e delimitação das duas bacias hidrográficas desta pesquisa, foi firmado um termo de parceria (ANEXO) entre a Prefeitura de Divinópolis e a autora, no qual foram cedidos os levantamentos (planialtimétrico, aerofotogramétrico e hidrográfico). Os arquivos recebidos da Prefeitura, em 2019, foram: (i) mapa de uso e ocupação do solo, em arquivo digital no formato *dwg*, com tamanho de 13,175 kb, atualizado no dia 09 de maio de 2019; (ii) o arquivo digital da curva de nível, a cada metro, das duas áreas da pesquisa, no formato *shapefile*, com tamanho de 4 kb e 5 kb, respectivamente; (iii) arquivo digital dos cursos de águas das duas áreas de estudo da pesquisa, em arquivo digital no formato *shapefile*, ambas com 1 kb; e (iv) a imagem digital (ortofoto) das duas áreas de pesquisa, no formato *tiff*, com 57.576 kb e 100.229 kb, respectivamente.

A partir da interpolação das curvas de nível, a cada metro, obtidas junto à Prefeitura de Divinópolis, por meio do *software* ArcGis 10.3, foi gerado o Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC), com as funções *Create TIN* e *TIN to Raster*. Após a modelagem do MDEHC, extraíram-se a rede de drenagem numérica e a delimitação exata das duas bacias por meio do *software* ArcGis 10.3.

Para gerar a rede de drenagem, inicialmente, foram preenchidas as pequenas imperfeições nos dados e corrigidas todas as depressões do MDEHC, com a função *Fill em Spacial Analyst*. Em seguida, gerou-se um *raster* com a direção do fluxo de cada cédula com a ferramenta *Flow Direction em Spacial Analyst*. Nessa etapa, cada *pixel* da imagem é cercado por mais oito *pixels* confrontantes e, devido ao valor da altitude de cada um no MDEHC, pode-se calcular a declividade para cada uma destas oito localidades vizinhas em relação ao *pixel* analisado (CHAVES, 2002).

Após a geração da imagem com a direção do fluxo, foi criado o *raster* que determinará a acumulação do fluxo pela ferramenta *Flow Accumulation em Spacial Analyst*. Em seguida, gerou-se um *raster* com as drenagens extraídas a partir da ferramenta CON em *Spacial Analyst*, em que se utilizou o limiar 100 para obter o maior nível de detalhamento das feições de drenagens. A utilização do limiar 100 foi determinada a partir da coincidência espacial da rede de drenagem numérica com a hidrologia, dos cursos de água perenes, cedida

pela prefeitura. O passo final foi vetorizar toda a rede de drenagem numérica por meio da ferramenta *Stream to Feature em Spatial Analyst Tool* e, depois, *Hidrology* (CHAVES, 2002).

Para a delimitação da bacia hidrográfica, depois de executar os passos anteriores, utilizou-se a ferramenta *Watershed* e, por meio da imagem gerada em *Flow Direction* (direção do fluxo), a partir do exutório pretendido, o programa gera uma imagem com a delimitação da bacia. A partir dessa imagem e pelo comando *Raster to Polygon*, obtém-se o vetor da delimitação da bacia hidrográfica.

De acordo com O'Callaghan e Mark (1984), a rede de drenagem numérica é calculada devido à característica topográfica do terreno, a partir da simulação do caminho preferencial de escoamento superficial da água sobre o *raster* (MDE). Já a rede de drenagem, obtida junto à Prefeitura de Divinópolis, foi mapeada *in loco* por uma empresa a partir do levantamento aerofotogramétrico.

A caracterização morfométricas das duas bacias foi feita para a situação de pré e pós-ocupação, sendo que, para o primeiro, será a partir da simulação da rede drenagem numérica e, para o segundo, a partir da rede de drenagem obtida junto à Prefeitura.

Segundo Villela e Mattos (1975), as características das bacias hidrográficas são conhecidas por meio da área de drenagem, da forma da bacia, do sistema de drenagem e de características do seu relevo, detalhadas a seguir. Essas características morfométricas que interferem no comportamento hidrológico são:

a) Área de drenagem:

Consiste na área plana, com projeção horizontal, inserida entre seus divisores topográficos. É um dos elementos essenciais para o cálculo das demais características físicas de uma bacia. Sua área é dada em km<sup>2</sup> ou hectares.

b) Forma da bacia:

A forma da bacia é determinante, pois mensura o tempo que a água precipitada leva para percorrer todo o seu limite até chegar a sua saída. De modo geral, as bacias hidrográficas dos grandes rios têm forma de um leque ou de uma pera. Entretanto, há variações dessa forma em pequenas bacias, dependendo da estrutura geológica do terreno. Portanto, a forma de uma bacia hidrográfica procura relacioná-la a uma figura geométrica, sendo que o coeficiente de compacidade se assemelha a um círculo e o fator de forma, a um retângulo.

– O coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius ( $K_c$ ), adimensional, é dado pela relação do perímetro da bacia e pela circunferência de um círculo com mesma área da bacia.

$$K_c = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (Eq. 01)$$

Onde:

$K_c$  = coeficiente de compacidade, adimensional;

$P$  = perímetro da bacia (em km);

$A$  = área da bacia, em  $\text{km}^2$ .

Quanto maior for a irregularidade da bacia, maior será seu coeficiente de compacidade. E, se o valor do coeficiente for mais próximo da unidade, um, implica que a bacia hidrográfica será circular e mais propícia a enchentes. Diante disso, Garcez e Alvarez (1988) relacionam as variações dos valores de coeficiente de compacidade e a possibilidade de enchentes.

- 1,00 - 1,25: bacia com alta propensão a grandes enchentes;
- 1,25 - 1,50: bacia com tendência mediana a grandes enchentes;
- >1,50: bacia não sujeita a grandes enchentes.

– O fator de forma ( $K_f$ ) é obtido pela relação entre a largura média ( $\bar{L}$ ) e o comprimento axial da bacia ( $L$ ). O comprimento ( $L$ ) da bacia é medido no curso de água mais longo, desde o exutório até a cabeceira mais distante da bacia. Já a largura média é a divisão da área da bacia pelo comprimento.

$$K_f = \frac{\bar{L}}{L} \quad \text{mas,} \quad \bar{L} = \frac{L}{A} \quad \text{logo,} \quad K_f = \frac{A}{L^2} \quad (Eq. 02)$$

Onde:

$K_f$  = fator de forma, adimensional;

$A$  = área da bacia, em  $\text{km}^2$ ;

$L$  = comprimento da bacia, em km.

O fator de forma da bacia hidrográfica é também um indicativo para tendência de enchentes: quanto mais baixo o valor, menos sujeita ao fenômeno.

De acordo com Garcez e Alvarez (1988), o fator de forma pode seguir os seguintes valores:

- 0,75 - 1,00: sujeito a enchentes;
- 0,50 - 0,75: tendência mediana;
- < 0,50: não sujeito a enchentes.

#### c) Sistema de drenagem

O rio principal e seus tributários formam o sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica, contemplando o estudo das ramificações e do desenvolvimento do sistema, que está diretamente ligado à velocidade, menor ou maior, que a água sai da dessa bacia.

– A ordem dos cursos de água é uma classificação que representa o grau de ramificação ou bifurcação desses cursos, podendo ser perene, intermitente ou efêmero. Essas ordens podem ser classificadas como: primeira ordem, segunda ordem, terceira ordem e assim sucessivamente. Quando não tem tributário, um rio é considerado de primeira ordem; já quando dois rios de primeira ordem se encontram formam um segmento de segunda ordem, ou seja, dois cursos de água de ordem  $n$  resultam a um rio de ordem  $n + 1$ .

– Densidade de drenagem ( $Dd$ ) é um indicativo de desenvolvimento de um sistema de drenagem, e é expresso pela relação entre o comprimento total ( $Lt$ ) dos cursos de água de uma bacia, sendo eles perenes ou intermitentes ou efêmeros, e a sua área ( $A$ ).

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (Eq. 03)$$

Onde:

$Dd$  = densidade de drenagem, em  $\text{km}/\text{km}^2$ ;

$Lt$  = comprimento total dos cursos de água, em  $\text{km}$ ;

$A$  = área da bacia, em  $\text{km}^2$ .

Os valores de classificação de densidade de drenagem, conforme sugere Beltrame (1994) são:

- $Dd < 0,5 \text{ km}/\text{km}^2$ : drenagem pobre;

- $0,5 \leq Dd < 1,5$  km/km<sup>2</sup>: drenagem regular;
- $1,5 \leq Dd < 2,5$  km/km<sup>2</sup>: drenagem boa;
- $2,5 \leq Dd < 3,5$  km/km<sup>2</sup>: drenagem muito boa;
- $Dd \geq 3,5$  km/km<sup>2</sup>: drenagem excepcional.

– Sinuosidade do curso de água (Sin), adimensional, é a relação entre o comprimento do rio principal (L) com suas curvas e o comprimento de um talvegue (Lt).

$$Sin = \frac{L}{Lt} \quad (Eq. 04)$$

Onde:

Sin = sinuosidade do curso de água, adimensional;

L = comprimento do rio principal, em m;

Lt = comprimento do talvegue em linha reta, em m.

O valor da sinuosidade do curso de água influencia na velocidade de escoamento da bacia. Portanto, quanto maior for esse valor, maior será o tempo de escoamento. Mansikkaniemi (1970) estabeleceu cinco classes de sinuosidade (Sin):

- 1,00 - 1,20: muito reto;
- 1,20 - 1,29: reto;
- 1,30 - 1,39: divagante;
- 1,40 - 1,49: sinuoso;
- > 1,50: muito sinuoso

#### d) Características do relevo da bacia

Duas características do relevo primordiais são a declividade da bacia e do leito, pois, quanto mais acentuada, maior será a velocidade de escoamento. E, conseqüentemente, menor tempo de concentração da água na bacia e maior tendência de enchentes, de processo erosivo e da aceleração do transporte de contaminantes.

– Declividade média da bacia (Declivbacia): controla a velocidade de escoamento superficial das águas até chegar ao leito fluvial. Pode-se afirmar, então, que está diretamente ligada aos processos de infiltração e erosão e ao transporte de particulados. A declividade média foi gerada a partir da interpolação das curvas de nível, a cada metro, obtidas junto à Prefeitura

de Divinópolis. E, utilizando o *software* ArcGis 10.3, foi gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE), com as funções *Create TIN* e *TIN to Raster*. *Raster* é um arquivo de imagem formado por *pixel* com suas respectivas altitudes e que permite o cálculo da declividade de uma determinada área a partir do comando *slope* do *software* ArcGis 10.3.

As classificações da declividade média do relevo das Bacias Hidrográficas 1 e 2 foram de acordo com o que propõe a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979), conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação do relevo com base na declividade média

Declividade (%)	Descrição do relevo
0-3	Plano
3-8	Suave-ondulado
8-20	Ondulado
20-45	Forte-ondulado
45-75	Montanhoso
> 75	Forte-montanhoso

Fonte: EMPRAPA, 1979.

#### e) Tempo de concentração

Definido como o tempo que a água de chuva leva para sair do divisor mais distante e chegar ao exutório da bacia, é medido em minutos (AZEVEDO NETTO, 2015).

O tempo de concentração é um importante parâmetro, porque, nos cálculos hidrológicos, é igualado à duração da precipitação, quando a determinação da sua intensidade é feita por meio das equações de chuva. Este fator interfere diretamente na intensidade das chuvas. Neste sentido, o que se verifica nas áreas urbanizadas, em decorrência do processo de impermeabilização, é uma significativa redução do tempo de concentração. Desta forma, o que se observa é a elevação do pico de vazão pluvial nos fundos de vale das áreas urbanas, decorrentes do aumento das intensidades pluviais (TUCCI, 2012; BOTELHO, 2017).

O tempo de concentração pode ser calculado por meio de várias equações, dependendo do uso e da ocupação do solo. Dentre elas, podem ser citadas, conforme Botelho (2017), a equação de Kirpich e a de George Ribeiro.

A equação de Kirpich, desenvolvida para bacias rurais com áreas maiores que 2,5 km<sup>2</sup> e para canais bem definidos e altas declividades e o tempo de concentração, pode ser calculado por meio da Eq. 05.

$$tc = 57 \frac{x(L)^{1,155}}{(h)^{0,385}} \quad (Eq. 05)$$

Onde:

tc = tempo de concentração em minutos;

L = comprimento do talvegue principal em quilômetros;

h = desnível entre os pontos extremos do talvegue em metros.

Já a equação de George Ribeiro foi desenvolvida para áreas urbanas em que se considera porcentagem de cobertura vegetal, declividade e comprimento do talvegue. O tempo de concentração é calculado por intermédio das equações 06 e 07.

$$tc = ts + 10\text{minutos} \quad (Eq. 06)$$

$$t_s = \frac{16L}{(1,05 - 0,2 p) \times (100 \times Im)^{0,04}} \quad (Eq. 07)$$

Onde:

tc = tempo de concentração, em minutos;

ts = tempo de escoamento superficial, em minutos;

10 minutos = tempo morto (tempo em que já cessou a chuva, mas que continua ocorrendo o escoamento superficial);

L = comprimento do talvegue principal, em km;

p = porcentagem de cobertura vegetal da bacia hidrográfica;

Im = declividade média do talvegue, em m/m.

Neste trabalho, será utilizada a equação de George Ribeiro.

#### f) Período de retorno ou de recorrência

Definido com o tempo, medido em anos, em que um evento, chuva, leva para ser igualado ou superado em pelo menos uma vez. Esta variável tem relação inversamente proporcional à frequência com que ocorre um evento, chuva. Uma chuva que ocorre com muita frequência apresenta períodos de retorno baixos (SILVA, 2015). Da mesma forma, chuva pouco

frequente leva a períodos de retorno elevados. Diante disso, o estabelecimento do período de retorno permite determinar o risco a se correr de uma estrutura hidráulica vir a falhar.

A Tabela 3 apresenta valores recomendados para os períodos de retorno de acordo com os dispositivos de drenagem, conforme determina Silva (2015).

Tabela 3 - Tempo de retorno em função dos dispositivos de drenagem

Tipos de dispositivos de drenagem	Tempo de retorno, anos
Microdrenagem – dispositivos de drenagem superficial, galeria de águas pluviais	10
Aproveitamento de rede existente – microdrenagem	5
Canais de macrodrenagem não revestidos	10
Canais de macrodrenagem revestidos, com verificação para $Tr = 50$ anos sem considerar borda livre	25

Fonte: SILVA, 2015.

#### g) Vazão máxima de chuva

Conforme Azevedo Netto (2015), o estudo do escoamento superficial é obtido pela necessidade de estimar vazões de projetos em obras de engenharia. Neste trabalho, optou-se pelo método racional, pois as duas bacias escolhidas para o estudo de caso têm área inferior a 5 km<sup>2</sup> e suas áreas são predominantemente impermeabilizadas, de acordo com Azevedo Netto (2015) e Botelho (2017).

O método racional para avaliação da vazão máxima consiste em:

$$Q = C \times I \times A \quad (Eq. 08)$$

Onde:

Q = vazão pluvial, em m<sup>3</sup>/s;

C = coeficiente de esgotamento superficial da bacia hidrográfica ou de *runoff*;

i = intensidade média de precipitação sobre toda a bacia com duração igual ao tempo de concentração, em mm/s;

A = área da bacia hidrográfica, em m<sup>2</sup>.

O cálculo da intensidade média de precipitação foi feito por meio da equação geral de chuva:

$$i = \frac{k \times (t_R)^a}{(tc + b)^c} \quad (Eq. 09)$$

Onde:

$i$  = intensidade média de precipitação, em mm/h;

$k$ ,  $a$ ,  $b$  e  $c$  = constantes;

$t_R$  = tempo de retorno, em anos;

$tc$  = tempo de concentração, em minutos.

Para obtenção das constantes  $k$ ,  $a$ ,  $b$  e  $c$ , utilizou-se o *software* plúvio 2.1, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Os valores para o município de Divinópolis correspondem a:  $k = 2377,021$ ,  $a = 0,205$ ,  $b = 22,171$  e  $c = 0,869$ .

Para o cálculo da intensidade de precipitação e da vazão utilizaram-se os tempos de retorno de 25 e 50 anos, conforme recomenda Silva, 2015, para pré e pós ocupação.

O coeficiente de *runoff*, definido como a relação entre o volume escoado superficialmente e o volume precipitado sobre uma bacia, é estabelecido em função da ocupação (CANHOLI, 2014). Para as áreas das quadras utilizou-se o coeficiente de 0,6, para as áreas verdes 0,3, e para as áreas das ruas de 0,95. Foi calculada com base na média ponderada, levando em consideração as áreas verificadas na bacia e o coeficiente correspondente a elas, de acordo com a Tabela 4.

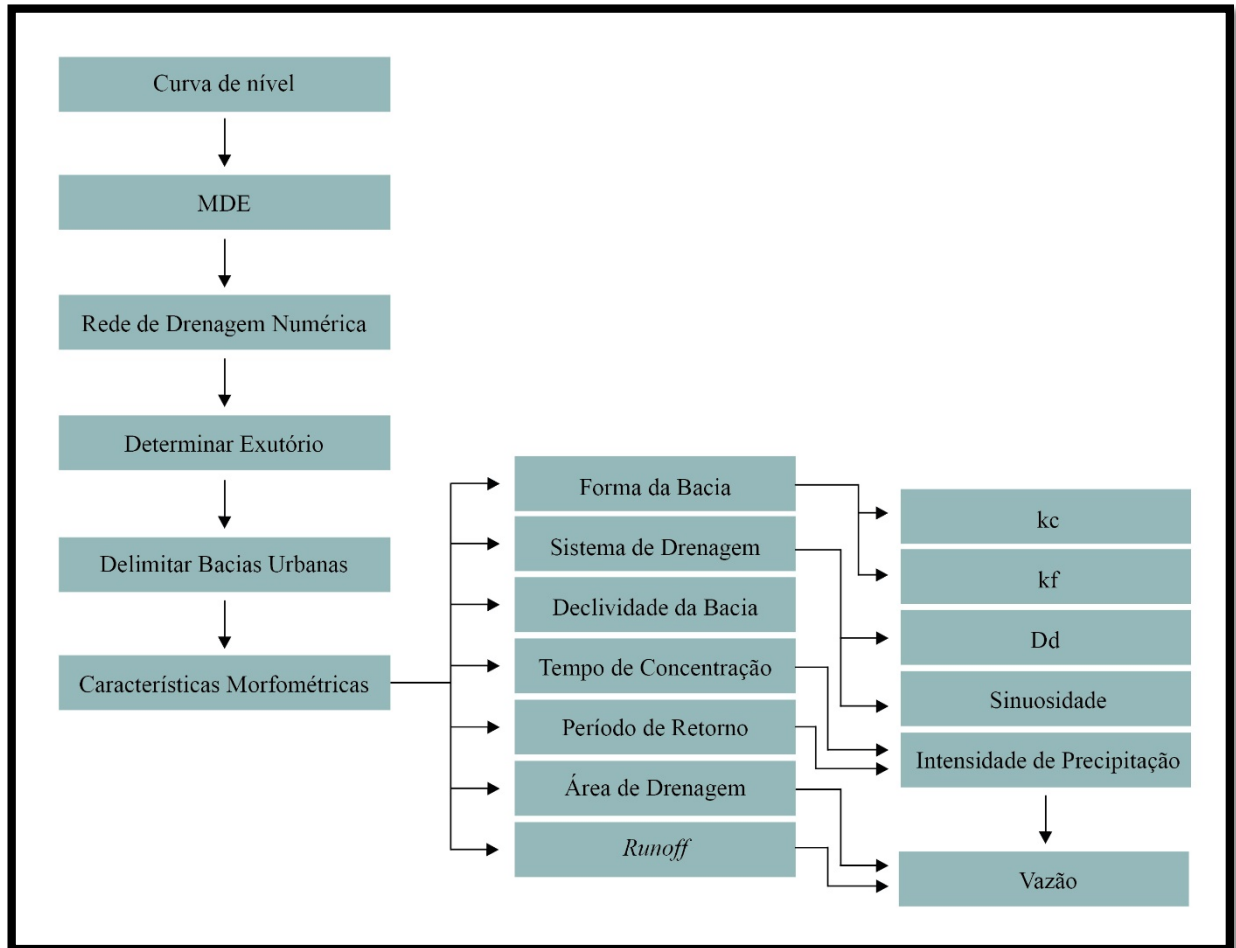
Tabela 4 - Coeficiente de *runoff*

<b>DESCRIÇÃO DA ÁREA</b>	<b>COEFICIENTE DE <i>RUNOFF</i></b>
Área residencial	-
Residências isoladas	0,35 a 0,50
Unidades múltiplas (separadas)	0,40 a 0,60
Unidade múltiplas (conjugadas)	0,60 a 0,75
Lotes com 2000 m <sup>2</sup> ou mais	0,30 a 0,40
Área com prédios de apartamentos	0,50 a 0,70
Área industrial	-
Indústrias leves	0,50 a 0,80
Indústrias pesadas	0,60 a 0,90
Áreas não urbanizadas	0,10 a 0,30
<b>CARACTERÍSTICAS DA SUPERFÍCIE</b>	<b>COEFICIENTE DE <i>RUNOFF</i></b>
Ruas	-
Pavimentação asfáltica	0,70 a 0,95
Pavimentação de concreto	0,80 a 0,95

Fonte: Adaptado pela autora a partir de SÃO PAULO, 1986.

Todo procedimento realizado para a caracterização morfométrica descritos nesta pesquisa estão apresentados na figura 5.

Figura 5 - Fluxograma dos procedimentos para caracterização morfométrica



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

#### 4.2 Diagnóstico dos aspectos legais e institucionais relacionados aos sistemas de drenagem urbana das duas bacias

Nesta etapa, foi realizado um levantamento inicial por meio de pesquisa de artigos e livros. Posteriormente, foi analisado o Plano Diretor de Drenagem, da Lei de Uso e Ocupação do Solo, da Lei de Parcelamento do Solo e das diretrizes municipais para a elaboração de projetos de micro e macrodrenagem urbana.

Verificou-se, também, o que foi cumprido nas duas áreas em relação às diretrizes das leis de parcelamento e uso e ocupação do solo e do Plano Municipal de Saneamento, a partir do processo de vetorização de cada área da imagem digital (ortofoto), utilizando o *software* ArcGis 10.3. Neste processo, foram vetorizados os zoneamentos das quadras dentro das bacias,

as áreas sem zoneamentos, as áreas construídas, as áreas a serem construídas e a APP. A partir da criação desses vetores, obtêm-se os valores das respectivas áreas.

Neste contexto, a partir da análise do que estabelecem as leis de zoneamento e de parcelamento para as duas bacias, além do Plano Municipal de Saneamento, foi verificado se são contempladas as características morfométricas destas áreas, que permitam reduzir os picos de vazão verificados em diferentes períodos.

Nesta pesquisa, o zoneamento específico nas duas áreas são: Zona Residencial (ZR1, ZR2 e ZR3), Zona Comercial (ZC2, ZC3 e ZC4), Zona Especial (ZE1, ZE2, ZE3 e ZE4), Corredores e sem Zoneamento.

Nas ZR1 e ZR2, a taxa de ocupação máxima é de 72% e 75%, respectivamente, exceto para o pavimento com uso exclusivo de garagem, que poderá ocupar até 100% do terreno em qualquer nível. A taxa de ocupação máxima da ZR3 é de 50%.

Para as ZC2, ZC3 e ZC4, a taxa de ocupação máxima é de 100% para o subsolo, quando utilizado como garagem, e para o 1º pavimento, quando de uso exclusivamente comercial.

As ZE1, ZE2, ZE3 e ZE4 estão sujeitas à regulamentação específica quando houver a demanda de novo parcelamento, mas estão descritas na Lei de Uso e Ocupação como:

- ZE1 = espaços destinados ao desenvolvimento de projetos especiais, tais como ampliação do sistema viário e das áreas destinadas ao Programa Municipal de Habitação, todos de iniciativa do poder público.
- ZE2 = espaços, estabelecimentos e instalações sujeitas à preservação, tais como áreas de preservação paisagística ou de proteção de mananciais, bosques, matas naturais, reservas florestais e minerais, parques urbanos, monumentos históricos e áreas de valor estratégico para a segurança pública. Vale ressaltar que as áreas ribeirinhas do rio Itapecerica foram instituídas neste zoneamento.
- ZE3 = espaços, estabelecimentos e instalações destinados aos serviços de uso público.
- ZE4 = espaços com ocupação irregular do ponto de vista jurídico e urbanístico, caracterizados por habitações subnormais e população economicamente carente.

Os Corredores são os terrenos cujos alinhamentos estejam voltados para as vias que exercem estruturação local ou regional, em que se pretende promover usos não residenciais compatíveis com a ocupação do entorno e com a fluidez do tráfego. A taxa de ocupação dos lotes nos Corredores está discriminada na Tabela B da Lei Municipal nº 2.418 (CÂMARA

MUNICIPAL DE DIVINÓPOLIS, 1988). Na área de estudo desta pesquisa, os Corredores existentes estão situados na avenida Juscelino Kubitschek, com taxa de ocupação de 100% para o subsolo e 1º pavimento, e na avenida Joaquim André, com taxa de ocupação igual ao zoneamento local (ZR1), 72%.

### **4.3 Prognóstico situacional e diretrizes para o sistema de drenagem urbana**

A partir do diagnóstico sobre as características morfométricas e os aspectos legais e institucionais do município de Divinópolis, buscou-se propor medidas para solucionar os problemas de inundação, enchentes e alagamentos das Bacias 1 e 2. Estas propostas buscaram incorporar as características morfométricas das bacias, como forma de se estabelecer o uso e a ocupação do solo para as áreas ainda não ocupadas, permitindo a redução dos picos de vazão e a não transferência dessas para pontos de jusante. Já para as áreas ocupadas foram propostas medidas estruturais do sistema de drenagem que permitam a minimização de inundações e alagamentos e que objetivem a retenção dos picos de vazões nas áreas onde foram gerados.

O fato de se analisar duas bacias se deve à possibilidade de que as medidas propostas possam ser aplicadas a outras bacias urbanas que apresentam similaridades morfométricas, e, portanto, comportamentos hidrológicos semelhantes.

As diretrizes propostas para o sistema de drenagem urbana foram distribuídas em cinco temas, que se complementam e podem contribuir, tanto para Divinópolis (MG), quanto para os municípios em que não há parâmetros estabelecidos:

No primeiro tema buscou-se apontar sobre a importância de se tratar a gestão da drenagem por meio de regiões urbanas delimitadas em bacias hidrográficas como forma de planejamento, pois dentro dessas áreas é que acontece toda dinâmica hidrológica, social, econômica e ambiental.

No segundo, abordou-se sobre os parâmetros necessários à caracterização morfométrica das bacias urbanas, fator imprescindível para o diagnóstico do comportamento hidrológico de uma área, possibilitando a tomada de decisão quanto ao planejamento e gestão da drenagem urbana. Os parâmetros abordados foram os mesmos estabelecidos no subcapítulo 4.1.

No terceiro, buscou-se nortear a lei de uso e ocupação do solo, a partir da área de drenagem, da forma da bacia, do sistema de drenagem, do relevo, do tempo de concentração e da vazão que constituem as características morfométricas das bacias analisadas neste trabalho. Buscou-se estabelecer diretrizes para projeto de micro e macrodrenagem, quarto tema, onde se

determinaram elementos básicos que compõem esses sistemas, com base no que recomendam Tucci *et al.*, 2015, SUDECAP, 2020, CETESB, 1986 e Canholi, 2014. E por último, foram propostos aspectos relativos à integração da gestão das águas a partir dos pressupostos de drenagem sustentáveis e Fletcher *et al.*, 2015.

#### **4.4 Desenvolvimento do produto técnico**

O produto técnico escolhido para orientar o conteúdo científico desta dissertação foi a cartilha técnica (APÊNDICE). A escolha se deu por ser um produto com conteúdo relevante, de linguagem simples, atrativa, direta e com apelo visual.

O público-alvo da cartilha técnica são os agentes envolvidos diretamente e indiretamente no gerenciamento do sistema de drenagem urbana, como por exemplo os setores de aprovação de projeto para construção de edificações e loteamentos, setor de obras e setor de saneamento, dentre outros. Como estão em setores distintos, esses agentes possuem níveis hierárquicos, assim como grau de escolaridade e compreensão técnica diferentes, e assim, a cartilha tem o objetivo de proporcionar a integração destas áreas para a melhor compreensão sobre o tema.

A delimitação do conteúdo da cartilha seguiu as etapas de definição dos tópicos que compõem a publicação: elaboração do roteiro, criação de projeto gráfico, desenvolvimento da cartilha, publicação digital e distribuição do material.

A cartilha possui imagens, textos curtos com uma linguagem mais simplificada, objetivando uma fácil compreensão pelo público-alvo, assim como uma forma de estimular o conhecimento específico tratado na dissertação. O material possui também conceitos básicos acerca dos principais assuntos abordados.

Com o intuito de alcançar um número maior de pessoas, a cartilha será disponibilizada na forma digital, facilitando a abrangência e podendo ser consultada em diferentes dispositivos digitais, como computadores, *tablets* ou celulares. Ainda sobre a abrangência, será indicado que a cartilha esteja disponível também no site da prefeitura de Divinópolis, a fim de favorecer a democratização da informação para todos, por meio da internet. Quando conteúdos informativos são adicionados na internet, os mesmos conseguem alcançar mais pessoas e facilitar o acesso.

Há que se destacar o lado inovador da criação da cartilha que além de possibilitar a disseminação da informação técnica, atua também como uma ferramenta educacional nos diferentes ambientes profissionais.

A cartilha foi elaborada por meio do programa gráfico Adobe Illustrator e disponibilizada no formato PDF, cujo software necessário para a leitura (Adobe Reader®) é gratuito e está disponível para todas as plataformas digitais.

A característica principal do formato PDF é preservar as fontes, imagens, gráficos e o layout do documento de origem, independentemente do aplicativo em que foi criado. Além de possuir também a vantagem de ocupar pouco espaço no hd, por ser compacto, é um arquivo seguro que possibilita, caso necessário, atribuir direitos de acesso especiais (por meio de senhas), links e assinaturas digitais.

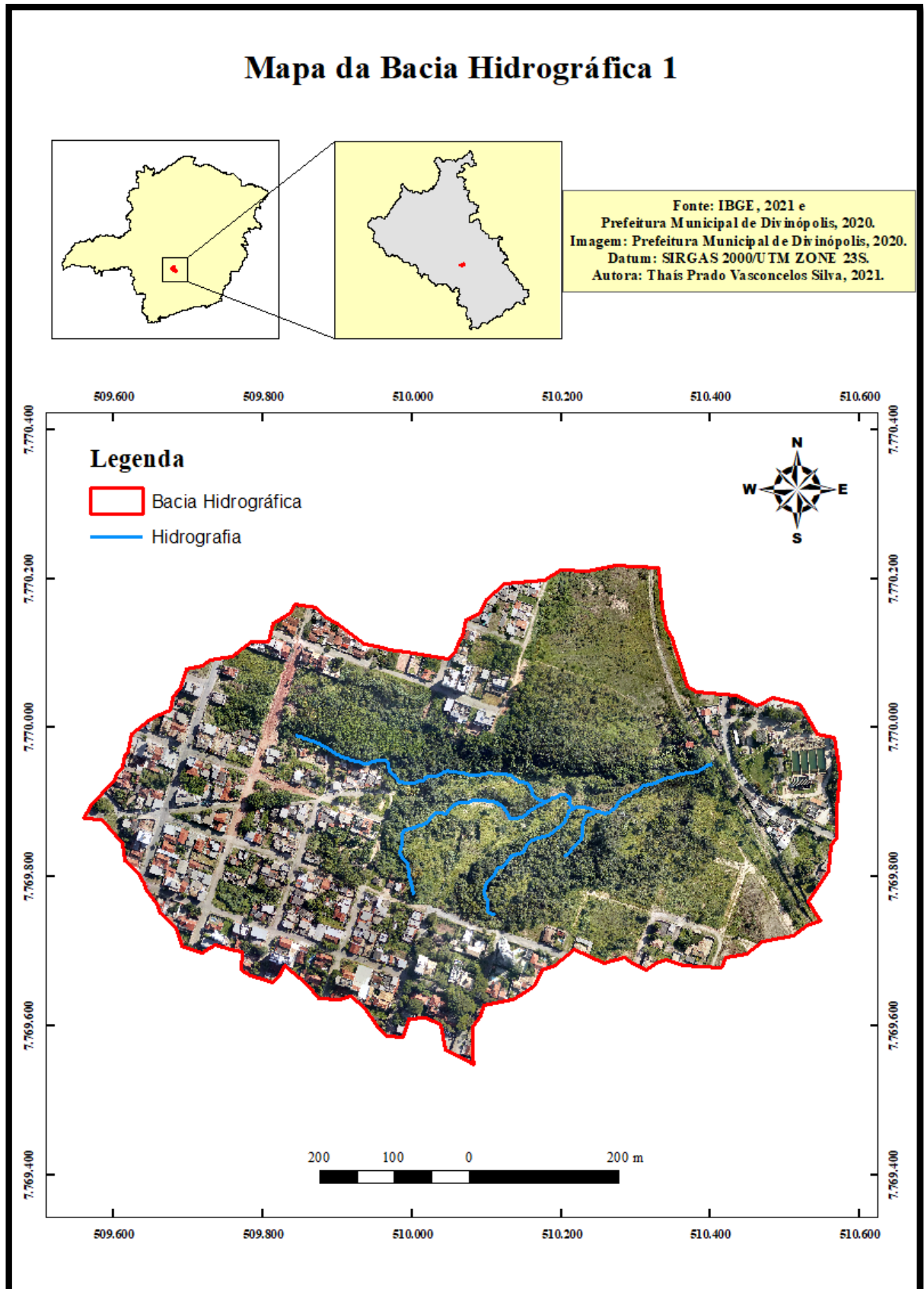
Como essa cartilha tem o objetivo de fazer a informação técnica circular nos diferentes ambientes profissionais, não foram usados direitos de acesso especiais. Com o intuito de possibilitar a leitura original de toda a pesquisa, base do conteúdo disponibilizado na cartilha, foi criado um *link* que direciona o leitor ao acesso digital da dissertação, no site do IFMG.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Caracterização das bacias hidrográficas**

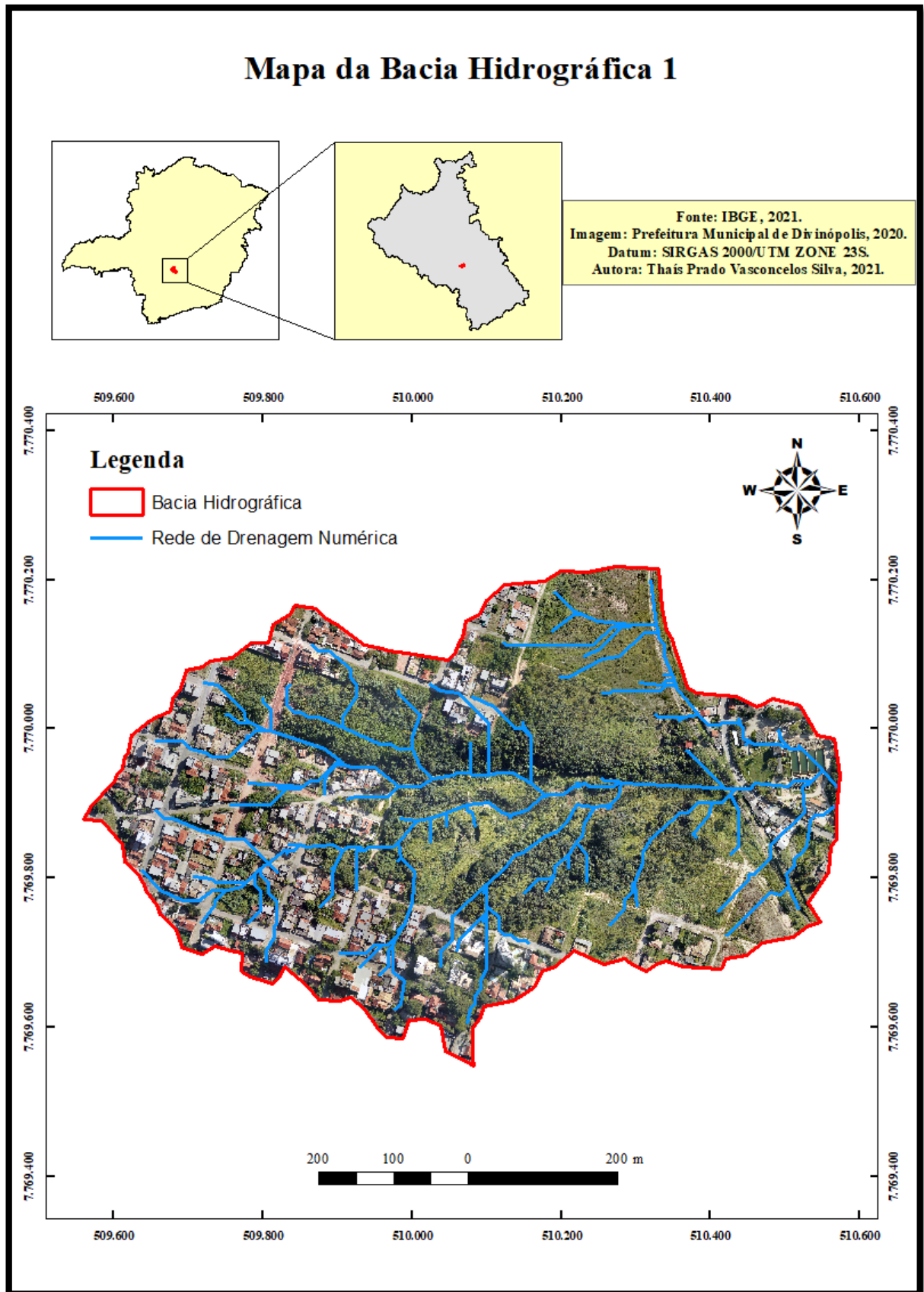
A área da Bacia Hidrográfica 1, pós-ocupação com a hidrografia obtida junto à Prefeitura, apresenta 0,419278 km<sup>2</sup> e perímetro de 3,03372 km, e seus cursos de água não têm denominação (Figura 6). Está localizada na região sudoeste da área urbana de Divinópolis. Nela, está inserido o bairro São Judas Tadeu e, também, a ETA. Já na Figura 7 pode-se observar a mesma bacia na situação pré-ocupação, a partir da simulação da rede de drenagem numérica, conforme O'Callaghan e Mark (1984).

Figura 6 - Área da Bacia Hidrográfica 1 (pós-ocupação)



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

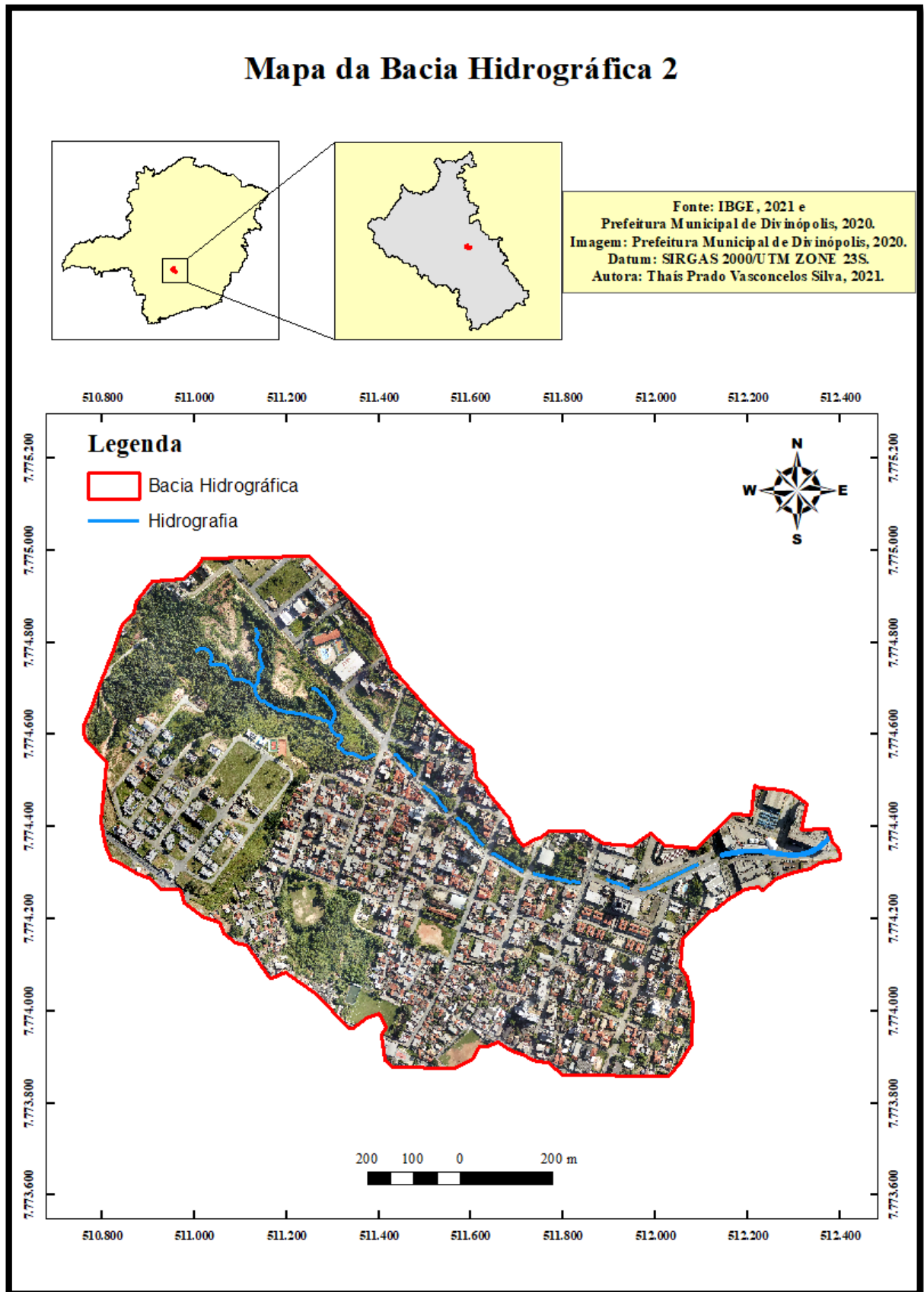
Figura 7 - Área da Bacia Hidrográfica 1 (pré-ocupação)



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

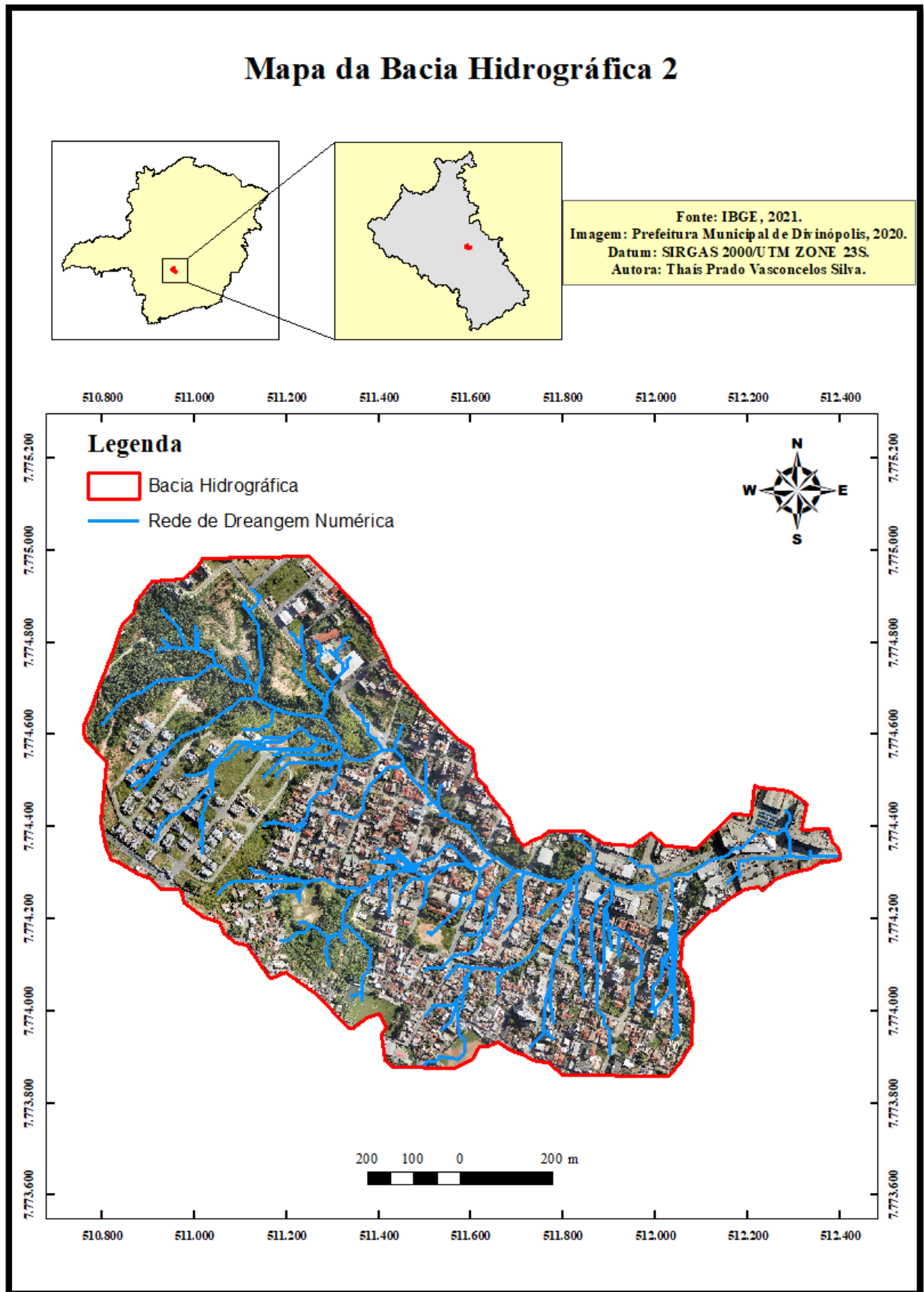
A Bacia Hidrográfica 2, pós-ocupação com a hidrografia obtida junto à Prefeitura, apresenta uma área de 0,922899 km<sup>2</sup> e perímetro de 5,01387 km, e seus cursos de água não têm denominação (Figura 8). Localizada na região norte da área urbana, compreende os bairros São Sebastião e Afonso Pena. Na Figura 9, pode-se observar a mesma bacia na situação pré-ocupação, a partir da simulação da rede de drenagem numérica, de acordo com O'Callaghan e Mark (1984).

Figura 8 - Área da Bacia Hidrográfica 2 (pós-ocupação)



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Figura 9 - Área da Bacia Hidrográfica 2 (pré-ocupação)



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Quanto às características morfométricas levantadas, que interferem no comportamento hidrológico das bacias, os resultados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados das características morfométricas

Características morfométricas	Bacia Hidrográfica 1	Bacia Hidrográfica 2
Área (A)	0,419278 km <sup>2</sup>	0,922899 km <sup>2</sup>
Perímetro (P)	3,03372 km	5,01387
Comprimento do curso principal (L)	0,64353 km	1,61860 km
Comprimento talvegue em linha reta	0,5598 km	1,32689 km
Comprimento total dos cursos de água (Lt) – Prefeitura	1,25316 km	1,90359 km
Comprimento total dos cursos de água (Lt) – Drenagem numérica	8,677079 km	14,75841 km
Coefficiente de compacidade (kc)	1,31	1,46
Fator de forma (kf)	1,01	0,35
Densidade de drenagem (Dd) – Prefeitura	2,99 km/km <sup>2</sup>	2,06 km/km <sup>2</sup>
Densidade de drenagem (Dd) – Numérica	20,70 km/km <sup>2</sup>	15,99 km/km <sup>2</sup>
Sinuosidade (Sin)	1,15	1,22

Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Nesse sentido, a forma da bacia hidrográfica indica o quão esta área é propensa a enchente, kc, e qual a probabilidade de estas ocorrências acontecerem, kf. O resultado do coeficiente de compacidade (kc) da Bacia 1 foi de 1,31 e da Bacia 2, de 1,46. Segundo Villela e Matos (1975) e Garcez e Alvarez (1988), as duas bacias têm propensão a enchentes de magnitude média a alta.

No que se refere ao fator de forma (kf), os valores encontrados para as Bacias 1 e 2, respectivamente, foram de 1,01 e 0,35, o que indica que a primeira é sujeita a enchente e na segunda não há tendência a enchente (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Ao inferir os dois dados obtidos, kc e kf, pode-se afirmar que a Bacia 1 apresenta a probabilidade da ocorrência de enchentes, numa escala de média à alta, mas que, no caso da sua ocorrência, apresenta magnitude alta. Em relação à Bacia 2, a possibilidade da ocorrência de enchente também é de média à alta, porém a magnitude desta enchente é baixa.

A caracterização da densidade de drenagem (Dd) foi realizada por meio da análise da bacia na condição pré e pós-ocupação urbana. Observa-se que a redução destes cursos de água da Bacia 1 foi de 85,55 % e da Bacia 2, de 87,13%. Pode-se evidenciar a forma como ocorreu a ocupação das bacias, onde inúmeros cursos de água, efêmeros e intermitentes foram

extintos a partir do parcelamento do solo e da área antropizada com implantação de edificações e vias de acesso.

Ao se analisar este parâmetro, pode-se afirmar que a redução dos cursos de água condicionou o escoamento das águas pluviais diretamente para os rios perenes que permaneceram. Esta situação leva à ocorrência de picos de vazão de forma concentrada nos cursos de águas principais, que se agravam ainda mais pela impermeabilização da área da bacia.

Segundo Villela e Mattos (1975) e Beltrame (1994), a classificação de drenagem da bacia é dividida em cinco classes: pobre, regular, boa, muito boa e excepcional. Os resultados obtidos nesta pesquisa para as Bacias 1 e 2, para condição antropizada, foi de 2,99 km/km<sup>2</sup> e 2,06 km/km<sup>2</sup>, respectivamente. De acordo com os autores, a Bacia 1 é classificada como densidade de drenagem muito boa e a Bacia 2, como uma drenagem boa.

Quando se infere este parâmetro com as características de forma da bacia, pode-se constatar que a perspectiva de enchentes tende a agravar, se medidas relativas ao planejamento do uso e ocupação do solo não forem tomadas pela administração municipal. Podem ser destacadas as medidas de planejamento como a não ocupação de APP, fundo de vale, em locais com o relevo cuja inclinação seja superior a 30%, planícies inundáveis, a permanência das áreas verdes permeáveis. A se manter o modelo de urbanização nas áreas das bacias ainda não ocupadas, se verificará o aumento das enchentes que já ocorrem, com certa frequência, nas bacias, pois a área, que já apresenta a probabilidade da ocorrência em nível mediano a alto de enchentes, aliada a um processo de urbanização, que tem permitido a ocupação dos fundos de vale, acentuará essas ocorrências.

Com relação à Bacia 1, a sinuosidade do curso de água principal, obtida por meio da Eq. 04, resultou no valor de 1,15, que é a relação do comprimento do curso de água principal e o seu talvegue em linha reta, que correspondem, respectivamente, a 643,55 m e 559,80 m. A Bacia 2 apresentou a sinuosidade igual a 1,23, obtida por seus comprimentos de 1.618,60 m e 1.326,89 m. Este valor indica que o curso de água é reto, cuja velocidade de escoamento da água é mais alta. Esta característica pode acarretar processos erosivos, redução da infiltração da água e da recarga do lençol freático, carreamento de sólidos para o curso de água, aumento do escoamento superficial e, possivelmente, a ocorrência de enchente, conforme afirma Tucci (2016).

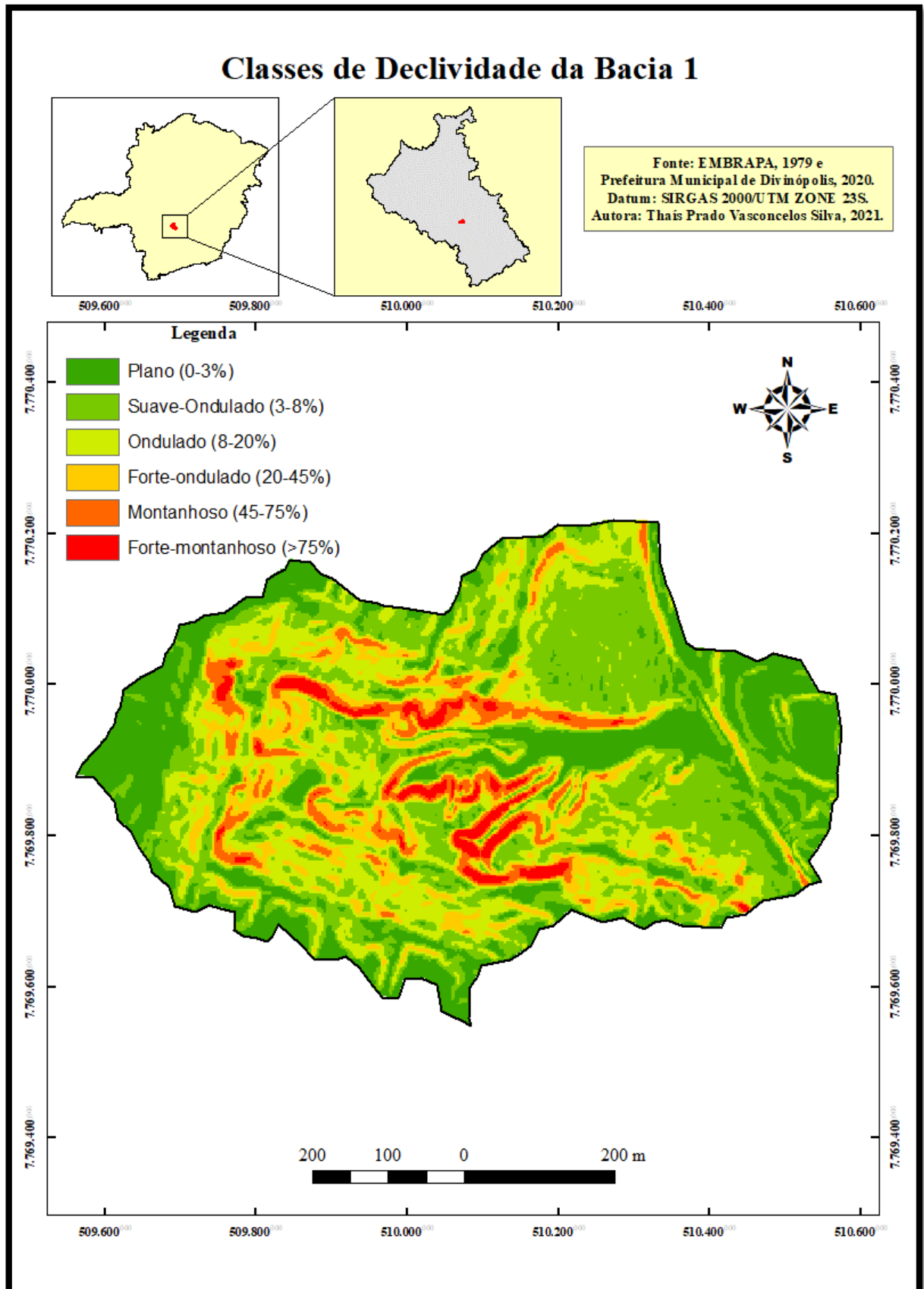
A Bacia 1 apresenta quatro cursos de águas perenes, todos sem denominação que desaguam no rio Itapecerica, totalizando cerca de 1,25 km de extensão. O curso de água principal perfaz 643,55 m, iniciando-se na cota 739,80 m e desaguando na cota 700,30 m.

A extensão de todos os cursos de água perenes, sem denominação, da Bacia 2 perfaz 1,90 km e também desaguam no rio Itapecerica. A cota inicial e final do curso de água principal é de 721,50 m e 687,30 m, totalizando um comprimento de 1.618,60 m.

A declividade média das Bacias 1 e 2, respectivamente, é de 17,97% e 13,81%, e seus relevos são classificados como ondulado, conforme pode ser visto nas Figuras 10 e 11. Segundo Tonello *et al.* (2006), a declividade média da bacia hidrográfica é um parâmetro relevante para planejamento, tanto para garantir a eficiência das intervenções do homem no meio ambiente, além de possuir um papel importante na distribuição da água entre o escoamento superficial e subterrâneo, quanto para o cumprimento da legislação.

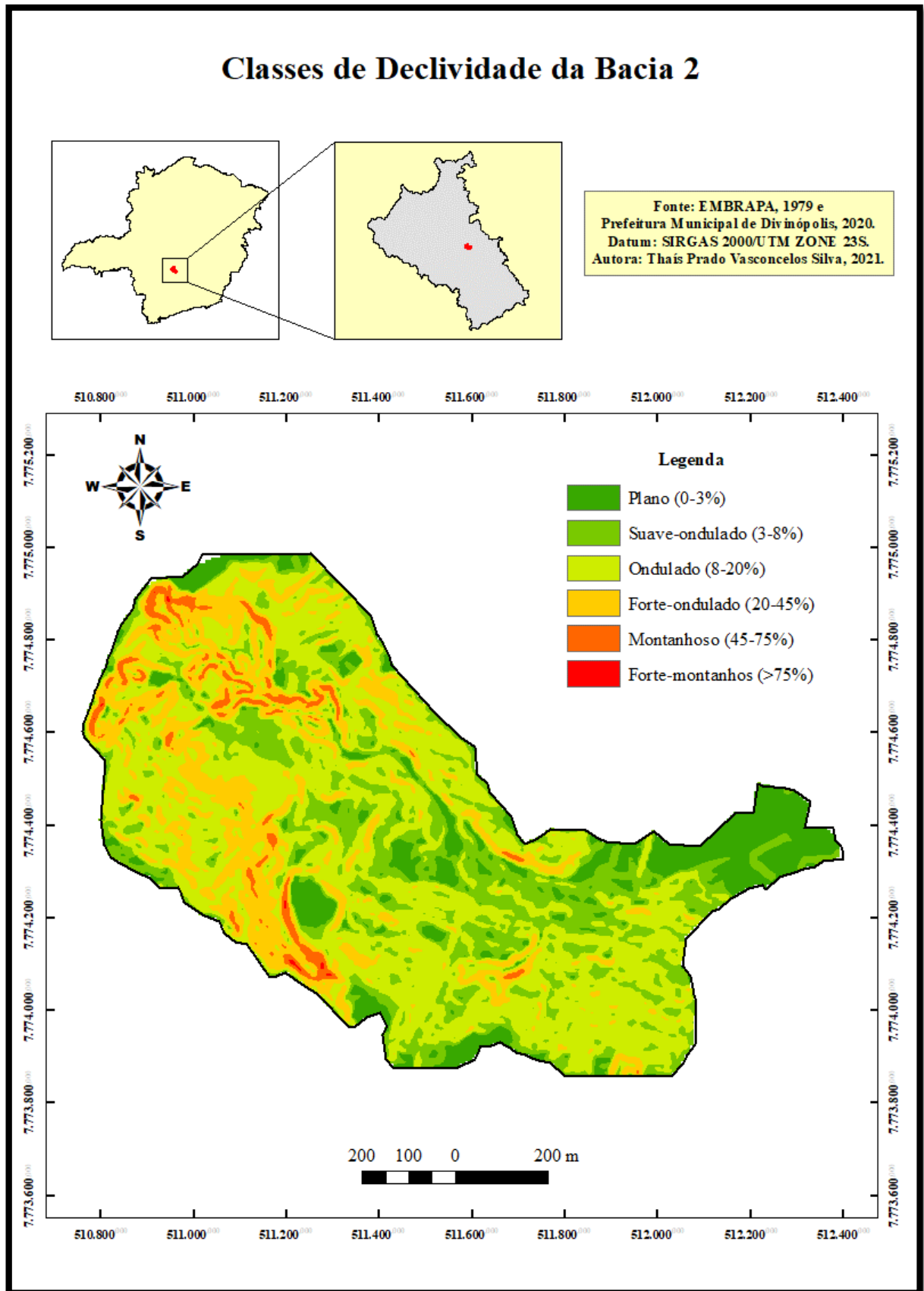
Ainda de acordo com os autores, a combinação de uma declividade maior com a falta de cobertura vegetal, tipo de solo e intensidade de chuva acarretará em maior velocidade de escoamento, menor quantidade de água armazenada no solo e resultará em enchentes mais pronunciadas, sujeitando a bacia à degradação. Portanto, a magnitude dos picos de enchentes ou a menor oportunidade de infiltração e suscetibilidade à erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento superficial, que está fortemente relacionado com o relevo (TONELLO *et al.*, 2006).

Figura 10 - Classificação do relevo da Bacia 1



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Figura 11 - Classificação do relevo da Bacia 2



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

O tempo de concentração da Bacia 1 foi calculado para a situação de pré e pós-ocupação, por meio das equações 06 e 07. Para a condição de pré-ocupação, o comprimento do talvegue foi de 987,62 m, a declividade, de 8,35% e o percentual de área verde, de 100%. Já para a condição de pós-ocupação, verificou-se a redução do comprimento do talvegue para 643,53 m, da declividade para 7,06% e da cobertura vegetal para 25,41%.

A cobertura vegetal de 25,41% é uma Área Especial Localizada (AEL-4), “Nascentes do Bela Vista”, com o objetivo de revitalizar áreas de interesse ambiental e seu entorno, para suprir carência de áreas verdes de convívio ou criar ou revitalizar áreas de interesse sociocultural, conforme determina o Art. 1º da Lei nº 8.233 (PREFEITURA DE DIVINÓPOLIS, 2016).

Em relação à Bacia 2, o tempo de concentração foi calculado também pelas equações 06 e 07. O comprimento do talvegue foi de 1.856,61 m, a declividade, de 3,83% e o percentual de área verde, de 100% para situação pré-ocupação. Ao analisar os dados pós-ocupação, observou-se a redução do comprimento do talvegue para 1.618,60 m, da declividade para 2,58% e da cobertura vegetal para 3,94%.

O valor de 3,94% utilizado para a cobertura vegetal foi obtido por meio do mapa de uso e ocupação do solo, tendo em vista que não há, para a bacia em questão, nenhuma deliberação estabelecida por Lei Municipal.

Os tempos de concentração obtidos para a Bacia 1 foram de 27,09 minutos e 19,53 minutos e para a Bacia 2, de 43,12 min e 33,77 min, para a condição de pré e pós-ocupação, respectivamente. Pode-se verificar uma redução de 27,91% para Bacia 1 e 21,68% para Bacia 2, do tempo de concentração. Este fato gera o aumento da intensidade da precipitação sobre as áreas e, conseqüentemente, gerará o aumento da vazão de pico. Em relação ao comprimento do talvegue, que as duas áreas sofreram redução de 34,84% (Bacia 1) e 12,82% (Bacia 2), se constata que houve ocupação irregular ao longo do tempo sobre os cursos de água, como já foi comprovado na determinação da densidade de drenagem, pré e pós ocupação. Isso implica que medidas estruturantes e não estruturais devem ser pensadas com o intuito de não reduzir o tempo de concentração e o comprimento do talvegue para que não haja o aumento da vazão máxima e conseqüentemente inundações.

Para a determinação das vazões máximas (Eq. 08), obteve-se coeficiente de *runoff* médio (C) para a situação de pós-ocupação de 0,54 para Bacia 1 e de 0,66 para Bacia 2, a partir dos valores recomendados por Silva (2015) e apresentados na Tabela 4. Já para a situação de pré-ocupação, utilizou-se o coeficiente recomendado por Silva (2015) para áreas sem

intervenção, equivalente a 0,10. A Tabela 6 apresenta os valores das vazões máximas e os resultados das intensidades de precipitação máxima (Eq. 09), para os tempos de retorno de 25 e 50 anos.

Tabela 6 - Resultados das intensidades de precipitação máxima e das vazões máximas

Situação da ocupação	Tr (anos)	I (mm/h)	Q (m <sup>3</sup> /s)
Pré-ocupação Bacia 1	25	155,53	1,81
	50	179,28	2,09
Pós-ocupação Bacia 1	25	179,76	11,31
	50	207,21	13,03
Pré-ocupação Bacia 2	25	121,76	3,12
	50	140,35	3,60
Pós-ocupação Bacia 2	25	139,26	23,56
	50	160,53	27,16

Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Ao se observar os resultados das vazões, tanto para o tempo de retorno de 25 anos quanto para o de 50 anos, pode-se afirmar que o aumento da vazão para a situação de pós-ocupação para as duas bacias foi de, aproximadamente, sete vezes que a relativa à de pré-ocupação. Este resultado confirma a constatação de Tucci (2003) para o estudo feito na bacia do rio Belém, no município de Curitiba (PR).

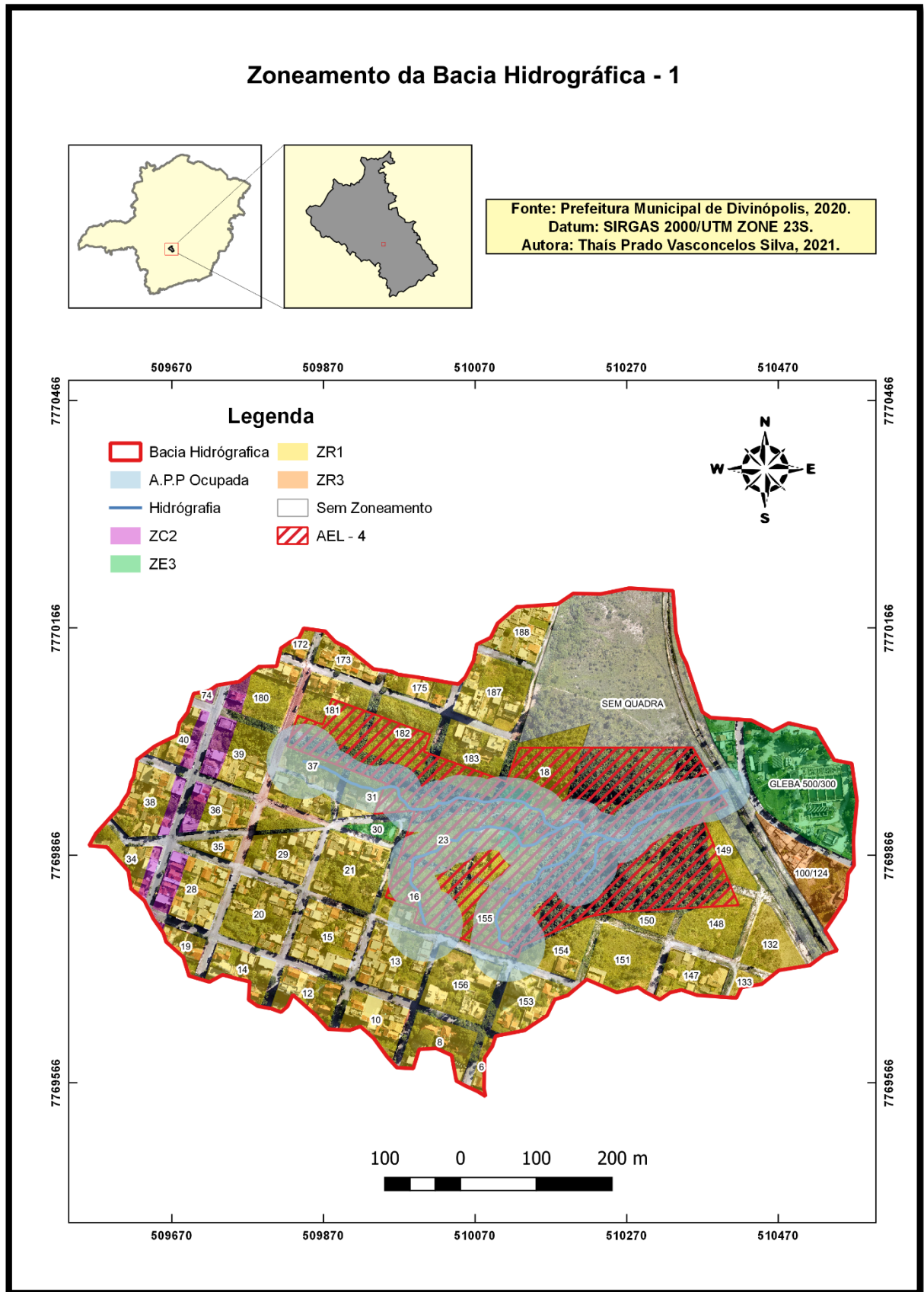
O aumento do pico de vazão acarreta em processos erosivos, carreamento de sólidos para os cursos de água e a conseqüente piora na qualidade desta, obstrução dos sistemas de microdrenagem ocasionada pelos resíduos sólidos, redução da recarga dos lençóis freáticos e enchentes nas áreas a jusante, conforme relatam os Tonello *et al.* (2006) e Tucci (2016).

## 5.2 Diagnóstico dos aspectos legais e institucionais relacionados aos sistemas de drenagem urbana das duas bacias

Conforme a Prefeitura Municipal de Divinópolis, por meio da Lei 2.418/1988, os usos do solo na Bacia 1 são: a zona residencial 1 (ZR1), zona residencial 3 (ZR3), zona comercial 2 (ZC2), zona especial 3 (ZE3), área especial localizada 4 (AEL-4) e área sem zoneamento, como pode ser visto na Figura 12. As taxas máximas de ocupação das ZR1, ZR3 e ZC2 são de 72%, 50% e 100%, respectivamente. As ZE3 são espaços destinados aos estabelecimentos e às instalações de serviços públicos e não há taxa de ocupação estabelecida pela legislação vigente. Quando há demandas para novos loteamentos é que se estabelecem as

taxas de ocupação. As áreas sem zoneamento são definidas na medida em que novas demandas são apresentadas ao município.

Figura 12 - Mapa de Zoneamento da Bacia 1



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

A tabela 07 apresenta os tipos de zoneamentos com as respectivas áreas e percentuais em relação da área da Bacia 1.

Tabela 7 – Zoneamento com suas áreas e percentuais da Bacia 1

Zoneamento	Área (m <sup>2</sup> )	Percentual (%)
ZR1	205.084,16	48,91
ZR3	6.781,24	1,62
ZC2	9.786,33	2,33
ZE3	23.116,92	5,52
Sem zoneamento	45.666,24	10,89
AEL - 4	106.550,53	25,41
Rua	22.293,46	5,32
Área da Bacia 1	419.278,88	100,00

Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Verificou-se por meio da análise extraída do mapa (Figura 12), que as áreas compreendidas na ZR1 apresentam a taxa média de ocupação de 52,23%. Apesar da taxa média estar abaixo da taxa máxima de ocupação determinada, pode-se constatar que nas quadras inteiramente ocupadas, este percentual ultrapassa o máximo permitido, 72%. Observa-se, então, que há uma alteração considerável nas características morfométricas da Bacia 1, retirando a cobertura vegetal e impermeabilizando essas áreas mais que o permitido, o que acarreta em aumento do escoamento superficial, do coeficiente de *runoff*, da vazão máxima e consequentemente inundações (HOUNG; PATHIRANA, 2013 e TUCCI *et al.* 2015). Em relação ao não cumprimento das taxas de ocupação máxima, pode-se deduzir a falta de fiscalização, por meio da prefeitura, depois da licença do habite-se. A Tabela 08 apresenta as quadras e os percentuais de ocupação acima de 72%.

Tabela 8 - Quadras com taxa de ocupação acima do permitido para ZR1

Quadras da Bacia 1	Percentual (>72%)
6	77,04
10	79,68
12	73,75
14	73,60
15	73,02
19	75,76
28	77,74
35	91,80
40	73,31
173	86,79

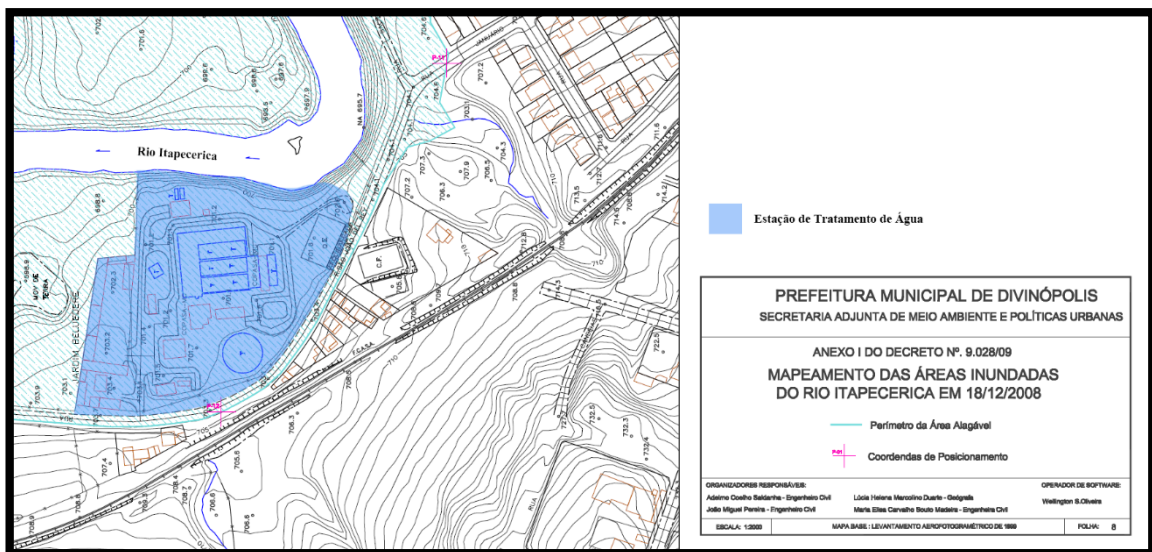
Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Pode-se verificar que na quadra 100/124, situada na ZR3, 49,69% da área total está ocupada. Porém, desta porcentagem, os lotes estão 100% construídos, descumprindo a taxa de ocupação máxima permitida para este zoneamento (Figura 12). Nesse sentido, novamente é possível constatar a impermeabilização das áreas e a retirada da cobertura vegetal, o que ocasionará em redução da recarga do lençol freático, aumento de escoamento superficial, inundações, conforme relatam Tonello *et al.* (2008) e Tucci *et al.* (2015).

A ZC2 apresenta uma área de 9.786,33 m<sup>2</sup> e desta, 57,83% já está ocupada. Os lotes deste zoneamento estão localizados na Rua Castro Alves, que, apesar da sua taxa de ocupação apresentar 100%, não deve representar em impacto significativo sobre a vazão máxima, pois, representa apenas 2,33% da área da Bacia 1.

A ETA está localizada na ZE3, ocupando 86,52% deste zoneamento. Toda sua construção está dentro da área de inundação, conforme pode ser verificado no decreto municipal nº 9.028/2009 e no mapeamento das áreas inundadas do Rio Itapecerica em 18/12/2008, folha 8 (Figura 13). Vale ressaltar que apesar da ZE3 ser destinada à espaços, estabelecimentos e instalações de serviços de uso público, esta área está localizada em APP e que para ser edificada foi retirada a mata ciliar ao longo do curso, em desacordo com as leis municipal e federal, potencializando a ocorrência de inundações e interferindo na qualidade e quantidade do Rio Itapecerica, conforme salienta Tucci *et al.* (2015). Diante deste fato, Divinópolis se depara com a interrupção do serviço de sistema de abastecimento de água nos períodos chuvosos.

Figura 13 – Áreas inundáveis



Fonte: Prefeitura Municipal de Divinópolis, 2008.

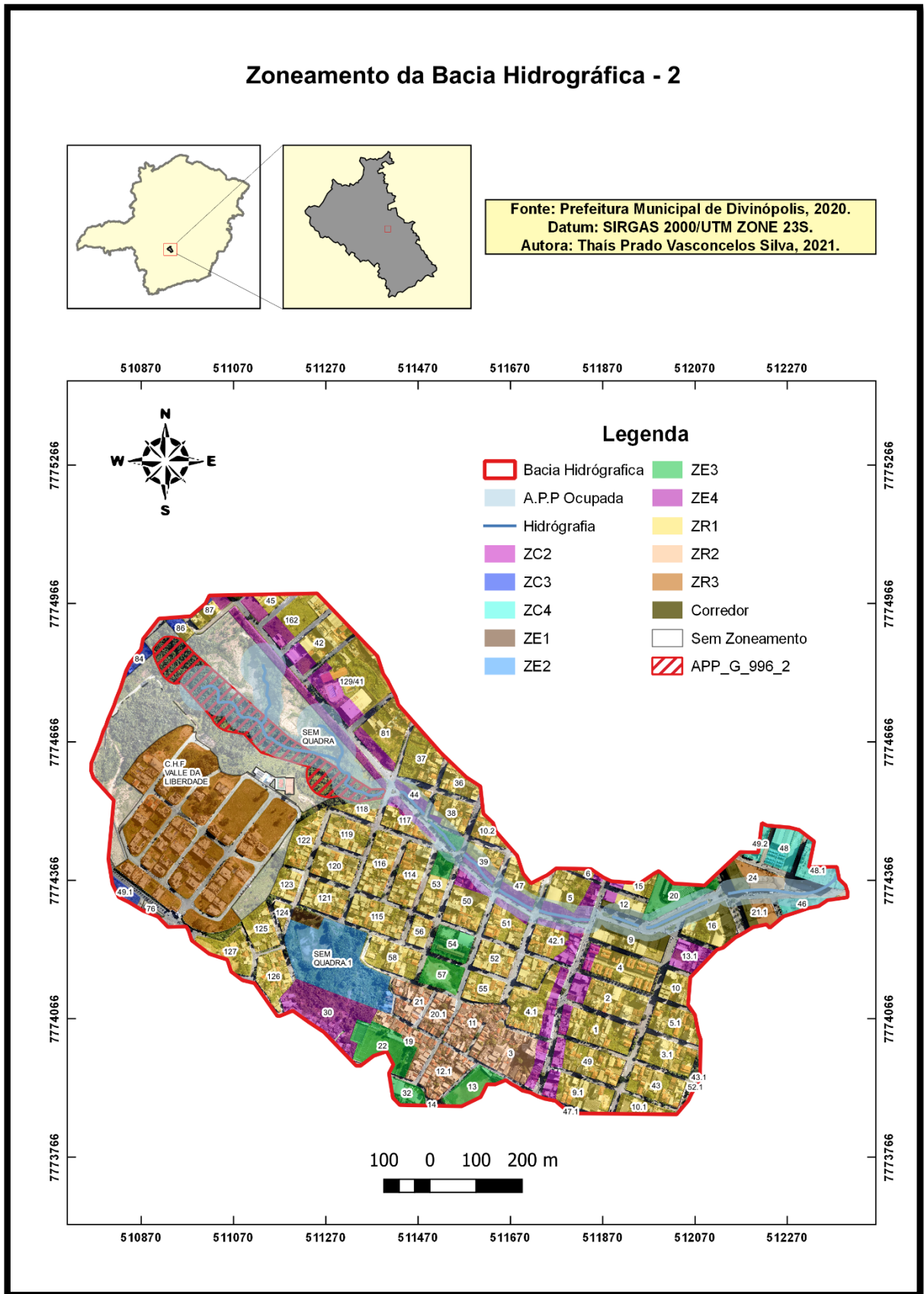
Pode-se observar que a AEL-4, denominada “Nascentes do Bela Vista” (Figura 12), não está cumprindo o seu objetivo de revitalizar áreas de interesse ambiental e seu entorno, pois o perímetro desta área não perfaz a APP dos cursos de água, conforme determina a Lei de parcelamento do solo municipal e federal. Isto pode ser verificado na figura 12, onde a mancha em azul é a que deveria estar destinada à APP para cumprir a função de proteger o curso de água. Entretanto, o que se observa é que a área realmente destinada é a mancha tracejada em vermelho.

Vale ressaltar que, na Bacia 1 há parcelamento aprovado, inclusive com quadras já ocupadas, em áreas de preservação permanente ao longo dos cursos de água e em nascentes (Figura 12). Neste sentido, constata-se a redução da densidade drenagem verificada para a bacia, conforme demonstrada anteriormente (VILLELA; MATTOS (1975) e BELTRAME (1994). Os números destas quadras ocupadas com o seu respectivo percentual de ocupação são: 16 (3,26%), 31 (37,64%), 37 (20,80%). Com relação a este aspecto, é importante salientar o descumprimento da Lei nº 2.429/1988 da Prefeitura Municipal de Divinópolis e da Lei Federal nº 6.766/1979 (PMD, 1988 e BRASIL, 1979).

Destaca-se também que 10,89% da Bacia 1 não tem definição de zoneamento, corroborando com um dos objetivos desta pesquisa, em que o estudo das zonas não é feito em função das características morfométricas da bacia, onde o uso e a ocupação do solo alteram o comportamento do ciclo hidrológico de uma região, gerando o aumento das vazões pluviais e, conseqüentemente, as inundações, conforme relatam Tucci *et al.* (2015) e Kalantari *et.al.* (2014). O que se observa é a preferência em novos loteamentos sem levar em consideração os instrumentos que contemplem a visualização da bacia hidrográfica como um sistema dinâmico, cujo comportamento dos recursos hídricos acontece de maneira interligada e que medidas (estruturais, não estruturais e estruturantes) devem ser realizadas dentro dessa área, a fim de permitir que diretrizes de drenagem urbana aconteça de forma mais eficiente e eficaz (FIGUEIRÓ; DI MAURO, 2020).

Na Bacia 2 os usos e ocupação do solo são: zona residencial 1 (ZR1), zona residencial 2 (ZR2), zona residencial 3 (ZR3), zona comercial 2 (ZC2), zona comercial 3 (ZC3), zona comercial 4 (ZC4), zona especial 1 (ZE1), zona especial 2 (ZE2), zona especial 3 (ZE3), zona especial 4 (ZE4), corredor e área sem zoneamento, como pode ser visto na Figura 14.

Figura 14 - Mapa de Zoneamento da Bacia 2



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

As taxas máximas de ocupação das ZR1, ZR2 e ZR3 são de 72%, 75% e 50%, respectivamente e todas as ZC são de 100%. Para as ZE não há taxa de ocupação estabelecida pela legislação vigente, como escrito anteriormente. Os corredores existentes estão situados na avenida Juscelino Kubitschek, com taxa de ocupação de 100% para o subsolo e 1º pavimento, e na avenida Joaquim André, com taxa de ocupação igual ao zoneamento local (ZR1), 72%. Já as áreas sem zoneamento são definidas na medida em que novas demandas são apresentadas ao município. Os zoneamentos, com as respectivas áreas e percentuais em relação da área da Bacia 2, estão apresentados na Tabela 09.

Tabela 9 – Zoneamento com suas áreas e percentuais da Bacia 2

Zoneamento	Área (m <sup>2</sup> )	Percentual (%)
ZR1	276.065,49	29,91
ZR2	42.832,57	4,64
ZR3	93.125,04	10,09
ZC2	63.659,83	6,90
ZC3	4.520,83	0,49
ZC4	14.481,28	1,57
ZE1	1.898,26	0,21
ZE2	27.918,42	3,03
ZE3	40.640,89	4,40
ZE4	15.677,37	1,70
Corredor	11.790,08	1,28
Sem zoneamento	119.195,93	12,92
APP	36.352,51	3,94
Rua	174.741,26	18,93
Área da Bacia 2	922.899,76	100,00

Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Pode-se constatar que, na Bacia 2, o uso do solo predominante também é ZR1 e sua taxa de ocupação média é de 67,86%. Novamente, verifica-se que apesar da taxa média estar abaixo da taxa máxima de ocupação dos lotes, 72%, existem várias quadras que ultrapassam esse valor, como pode ser visto na Tabela 10. Assim como na Bacia 1, o não cumprimento das taxas de ocupação máxima, pode ser devido à falta de fiscalização, por meio da prefeitura, depois da licença do habite-se. Conforme afirmam Kalantari *et al.* (2014) e Tucci *et al.* (2015), a alteração do uso e ocupação do solo com a retirada da cobertura vegetal e a impermeabilização dessas áreas, além do permitido, modifica consideravelmente as características morfométricas, aumentando o escoamento superficial, o coeficiente de *runoff* e a vazão máxima, provocando as inundações.

Tabela 10 - Quadras com taxa de ocupação acima do permitido para ZR1

Quadras da Bacia 2	Percentual (>72%)
1	72,53
2	82,75
4	85,97
6	100,00
10	79,30
12	100,00
16	79,51
36	85,10
38	88,95
42	73,48
49	76,24
50	80,90
52	85,36
55	80,13
56	92,65
114	86,67
115	80,04
116	85,03
117	78,68
119	81,20
120	92,13
121	87,99
124	76,58
10.2	93,36
42.1	73,28
43.1	100,00
47.1	100,00
48.1	81,00
52.1	100,00
9.1	82,72

Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Observou-se que na ZR2, todas as sete quadras estão acima da taxa máxima de ocupação e a média é de 87,45% (Tabela 11), o que implica em aumento da vazão máxima e em inundações, devido ao uso e ocupação do solo inadequado e a impermeabilização das áreas. Da mesma forma, percebe-se que as quadras 24 e 21.1 na ZR3 estão acima, 100%, da taxa máxima de ocupação, 50%. Estas quadras, 24 e 21.1, foram totalmente impermeabilizadas, com os *shoppings*, área para bares e estacionamentos, e estão localizadas em planície de inundação, em APP e em matas ciliares, descumprindo o que determinam as leis pertinentes. É importante destacar que na ZR3 há um loteamento, Valle da Liberdade, em que ainda existem muitas áreas

a serem ocupadas, mas ao se observar os lotes edificadas, pode-se verificar que todos estão 100% ocupados.

A Tabela 11 apresenta as quadras e os percentuais de ocupação acima de 75%.

Tabela 11 - Quadras com taxa de ocupação acima do permitido para ZR2

Quadras da Bacia 2	Percentual (>75%)
3	71,81
11	83,77
14	100
19	82,38
21	94,42
12.1	88,94
20.1	84,80

Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

As ZC2, ZC3 e ZC4 apresentam uma área de 84.661,94 m<sup>2</sup>, representando 8,96% da Bacia 2, e 40,95% da sua área já está ocupada. Observa-se nas ZC que as taxas de ocupação máxima são de 100%, o que implica em um coeficiente de *runoff* no valor de 1 e conseqüentemente o aumento do escoamento superficial e aumento da vazão. Neste sentido, verifica-se que a taxa de ocupação para as ZC está na contramão do que recomenda a literatura técnica.

As ZE1, ZE2, ZE3 e ZE4 estão sujeitas à regulamentação específica, quando houver a demanda de novo parcelamento, e suas taxas de ocupação tem que respeitar o zoneamento local, na Bacia 2 as suas áreas representam 9,34% e estão destinadas à programa de habitação, áreas de preservação paisagística ou de proteção de mananciais, espaços públicos e espaços com ocupação irregular do ponto de vista jurídico e urbanístico, respectivamente. Igualmente a Bacia 1, verifica-se que não há APP ao longo dos cursos de água, estabelecida por lei municipal, isto pode ser observado na Figura 14, onde a mancha em azul é a que deveria estar destinada à APP, para cumprir a função de proteger o curso de água. Entretanto, o que se observa é uma área marcada tracejada em vermelho (APP G.996, Figura 14), sem nenhuma deliberação determinada por lei, obtida por meio do mapa de uso e ocupação do solo. Para além disso, tem que se destacar, que a prefeitura tomou uma decisão não recomendada para resolver o problema da inundação na parte mais baixa dessa área, que foi canalizar e fechar o curso de água, como pode ser visto na Figura 14, iniciando, aproximadamente, entre as quadras 44 e 117 e finalizando nas quadras 48.1 e 46. Esta decisão só transfere o problema de inundação para a

jusante e em velocidades mais altas devido ao coeficiente de *runoff* (valor igual a 1) aumentando o pico de vazão, conforme relata Tucci *et al.* (2015).

E ainda, salienta-se que 11,91% da Bacia 2 não tem definição de zoneamento, novamente reforçando com os objetivos desta pesquisa, em que o estudo das zonas não é feito em função das características morfométricas da bacia e sim de interesses de novos loteamentos, conforme relatado na Bacia 1 para as áreas sem zoneamento.

Para agravar a situação descrita, não há um Plano Municipal de Drenagem Urbana. O que se verifica é que o assunto é abordado de maneira superficial no Plano Municipal de Saneamento Básico, elaborado em 2018. Neste plano, a parte relativa à drenagem perfaz duas páginas, onde constam medidas de curto, médio e longo prazos.

Podem ser ressaltadas as medidas de curto prazo: implantar sistema de gestão de drenagem urbana; definir órgão responsável pela gestão; realizar cadastro de rede; definir as fontes de recursos para implantação das dessas medidas. Com relação as medidas de médio prazo: criar a gestão integrada dos serviços de saneamento; criar plano de contingência para as áreas inundáveis; revitalizar os rios e córregos urbanos; monitorar os corpos receptores e a qualidade da água e grau de assoreamento; desenvolver estrutura de drenagem não convencionais; desenvolver alternativas de aproveitamento de águas pluviais. E, para as medidas de longo prazo: tratar as águas pluviais e criar programa participativo.

Ao se analisar esse quesito no contexto do plano municipal de saneamento, observa-se que as medidas propostas não estão embasadas em um diagnóstico da rede de drenagem da área urbana. Há somente o mapa de cadastramento de imóveis, dos cursos de águas e um histórico das áreas inundáveis. Portanto, as medidas apresentadas não contemplam as especificidades das principais bacias hidrográficas das áreas urbanas que requerem ações diferentes em tempos diferentes conforme propõe Tucci *et al.* (2015). Outra situação verificada é o não estabelecimento dos prazos para o que se determina como curto, médio e longo, facilitando o não cumprimento das ações propostas, tendo em vista que, passados três anos da aprovação do plano, nada se fez até a presente data.

### **5.3 Prognóstico situacional e diretrizes para os sistemas de drenagem urbana**

#### **5.3.1 Prognóstico situacional das Bacias 1 e 2**

Em relação a microdrenagem não há cadastramento dos dispositivos existentes, tanto na Bacia 1, quanto na Bacia 2. O cadastramento do sistema é imprescindível para as ações

de conservação, manutenção e limpeza que garantem o bom funcionamento do sistema no período das chuvas. Além disso, sem este não se permite condições técnicas para a avaliação hidráulica de ampliação e/ou substituição das redes e demais componentes. Para ambas as bacias deve-se fazer o cadastramento dos seguintes componentes:

- ✓ Das galerias: localização, posicionamento com relação ao eixo transversal da via, diâmetro, profundidade da rede, verificação da declividade longitudinal, material utilizado e pontos de disposição final;
- ✓ Das tubulações de ligação: localização, diâmetro, profundidade e declividade longitudinal adotada;
- ✓ Dos poços de visitas para águas pluviais: localização, posicionamento, dimensão e profundidade do balão, altura da chaminé, número de tubos que afluem a eles;
- ✓ Das caixas de ligação: no caso de a existência deste dispositivo verificar a dimensão, profundidade e números de tubos que estão ligados a ela;
- ✓ Das sarjetas: largura, declividade transversal e material;
- ✓ Dos meios-fios: altura e material;
- ✓ Das bocas de lobo: localização, posicionamento no trecho da via, dimensão, tipo, material e existência ou não de depressão;
- ✓ Dos sarjetões: localização, larguras, declividade transversal e material.
- ✓ Da disposição final em fundos de vale: existência de dissipadores de energia e tipo, e dispositivos para remoção dos sólidos carreados.

Quanto a macrodrenagem apresenta-se propostas comuns às duas Bacias:

- ✓ Instalação de pluviógrafo em área localizada à jusante da bacia, próxima ao exutório, para que se obtenha o valor da intensidade máxima de precipitação;
- ✓ Inclusão na lei de uso e ocupação do solo a taxa de permeabilidade que corresponda ao percentual não ocupado;
- ✓ Com relação às zonas comerciais deve ser repensada a taxa de ocupação (100%) que permita uma taxa de permeabilidade de, pelo menos, 20%.

Em função dos diferentes graus e ocupação do solo verificados nas duas Bacias, serão feitas propostas sobre cada uma delas, separadamente.

### **Bacia 1**

Na Bacia 1 há uma gleba, denominada “sem quadra”, com a área de 45.666,24 m<sup>2</sup>, que não foi parcelada. Na área já parcelada verificou-se existências de várias quadras (20, 21,

132, 148, 149, 150, 151, 154, 180, 181, 182, 183, 187 e 100/124), que embora já parceladas, ainda não estão ocupadas. Esta situação permite a proposição de medidas que visem a redução dos picos de vazão no sistema de macrodrenagem.

Para a área denominada “sem quadra” deve ser adotado um reservatório de detenção que permita o impacto zero conforme pressuposto da drenagem sustentável, quando do seu parcelamento. Para tanto este dispositivo tem que ser dimensionado para garantir que o acréscimo de vazão a ser gerado pelo processo da urbanização seja retido no próprio local. Sugere-se também, que no entorno deste reservatório, seja desenvolvido um projeto paisagístico que permita a sua utilização por parte da população.

O dimensionamento destes reservatórios deve ser feito para o período de retorno de 100 anos e garantir a retenção de 6,24 vezes da vazão acrescida para a condição de pré-ocupação, conforme demonstrada no subcapítulo 4.1.

Concomitante à essa medida, a adoção de pavimentos permeáveis nas vias públicas permite a redução do coeficiente de *runoff* possibilitando a infiltração da água pluvial, podendo ainda auxiliar na redução do reservatório de retenção.

Para as quadras já parceladas, mas ainda não ocupadas e, para a área “sem quadra”, a prefeitura municipal deve empreender maior esforço para aprovação de novas edificações, de modo que sejam respeitadas as taxas de ocupação estabelecidas nos zoneamentos. Esta medida atenua o escoamento superficial em função da impermeabilização acima do limite, conforme demonstrado na Tabela 8. Aliado a esta medida, devem ser previstos dispositivos que garantam a permeabilidade da área não ocupada de forma a garantir que a área livre, conforme estabelecidos nas tipologias de zoneamento, possibilitem a recarga do lençol freático e atenuação das descargas juntos às sarjetas.

Na área AEL-4, a prefeitura municipal deve garantir o seu cercamento para que cumpra a sua função ambiental e revitalizar sua mata nativa. No perímetro desta área propõe-se que a criação de uma ciclovia e de uma academia comunitária para as atividades esportivas. Para além disso, implantar dispositivos para retenção dos sólidos carreados nas áreas mais próximas aos cursos de água.

## **Bacia 2**

A Bacia 2 apresenta um índice de ocupação mais denso, restando somente 12,92% não urbanizada. Dessa porcentagem existe uma área não zoneada na legislação vigente, que corresponde a uma APP, ou seja, a área passível de urbanização é menor que a porcentagem descrita.

Na área adjacente ao Condomínio Horizontal Fechado (C.H.F.) Valle da Liberdade, passível de urbanização, deve ser ocupada por um empreendimento com a mesma característica do loteamento fechado, com lotes maiores, taxas de ocupação menores, devendo ainda ser considerada a mesma taxa de permeabilidade considerada anteriormente para as áreas livres. Ainda sobre este empreendimento, a prefeitura deverá estabelecer diretrizes para a implantação do sistema de aproveitamento de água pluvial, para as áreas dos telhados das edificações, que deverão conduzir as águas pluviais para as sarjetas e serem drenadas juntamente com as que escoarão pelas vias públicas, para compor o sistema proposto, com vistas à sua utilização para fins não potáveis para todo o empreendimento. Esta medida contribui com a redução da vazão superficial a ser lançada no sistema de microdrenagem.

As áreas ao redor das nascentes e ao longo dos cursos de água, não ocupadas, devem ser cercadas e revitalizadas para a proteção ambiental, conforme estabelecem as legislações municipal e federal. Ao se delimitar as APP, verifica-se que ainda há áreas a serem ocupadas. Nestes locais propõe-se que a prefeitura às desapropriem e implante um parque verde com o objetivo de promover a recarga do lençol freático, impossibilitando qualquer impermeabilização da área que ocasione em aumento do escoamento superficial.

No trecho que se inicia entre as quadras 9 e 12 até as quadras 46 e 48.1, propõe-se a sua reabertura do canal nos locais onde foram fechados. Em todo este trecho implantar onde ainda não há, faixa com vegetação para permitir a infiltração da água. Ao lado da faixa verde implantar pista de pedestre com piso drenante e largura de dois metros. Esta proposta implicará na redução da pista de rolamento para veículos, de nove metros para sete metros. Com a implantação desta medida a área se caracteriza como parque linear, utilizado para fins de atividades esportivas e recreação.

Na quadra 46 deve ser projetado um reservatório subterrâneo de contenção de cheia à jusante, tipo *off line*, considerando ser a única área disponível para que se consiga regular a vazão excedente pluvial para o seu lançamento no Rio Itapecerica. O dimensionamento deste dispositivo deve ser feito para o período de retorno de 100 anos e garantir a retenção de 7,55 vezes da vazão acrescida para a condição de pré-ocupação, conforme demonstrada no subcapítulo 4.1.

### **5.3.2 Diretrizes para o sistema de drenagem urbana**

Após a caracterização morfométrica das Bacias 1 e 2 e a análise dos dispositivos legais relacionados ao sistema de drenagem urbana, este subcapítulo trata das diretrizes para o

sistema de drenagem urbana, tanto para Divinópolis, quanto para os municípios que ainda não há parâmetros estabelecidos.

A partir dos conteúdos dessa subseção foi desenvolvida uma cartilha técnica, como já descrito anteriormente, com o objetivo de divulgar este material para os agentes envolvidos diretamente e indiretamente no sistema de drenagem urbana, por meio digital. Como forma de apresentação, a cartilha técnica, foi inserida nesta dissertação no APÊNDICE.

#### 5.3.2.1 Delimitação das principais bacias dentro da área urbana

O planejamento do sistema de drenagem deve-se inicialmente dividir as principais bacias hidrográficas dentro da área urbana, com o intuito de compreender e identificar os cursos de água existentes e avaliar os impactos gerados pelo processo de urbanização já consolidado, bem como estabelecer medidas para a ocupação de novas áreas dentro desta bacia. Ainda em relação às delimitações das principais bacias urbanas, deve-se instalar um pluviógrafo localizado à jusante de cada bacia, próxima ao exutório, para possibilitar a medida e o controle da intensidade máxima de precipitação. A compreensão sobre o comportamento de cada uma das bacias urbanas deve possibilitar que impactos gerados pelo processo de urbanização permaneça no seu interior, assim como, impedir a sua transferência para outras bacias.

A dinâmica urbana que são oriundas das relações sociais, ambientais e econômicas se dão dentro das bacias hidrográficas onde essas relações acontecem de acordo com as especificidades de cada região. Assim, o diagnóstico dessas bacias urbanas deve nortear os parâmetros para que medidas de gestão de drenagem se deem em consonância com as características de cada uma delas. Para melhor compreensão não se pode generalizar, por exemplo, proposta para uma área densamente urbanizada, em que as medidas de controle são mais onerosas, como sendo a mesma para uma área não ocupada ou ainda em expansão, em que medidas preventivas, são menos onerosas sobre os aspectos econômico, social e ambiental.

Portanto, qualquer medida de gestão de drenagem urbana deve partir da premissa básica da delimitação das bacias, que se constitui elemento primordial para a análise do comportamento hidrológico dessas regiões, assim como para o estabelecimento dos elementos que compõem os requisitos para o uso e ocupação do solo.

#### 5.3.2.2 Caracterização morfométrica de cada bacia dentro da área urbana

As características morfométricas definem o comportamento hidrológico de uma determinada área. Algumas dessas características sofrem alterações com o processo de urbanização, dentre elas podem ser citadas tempo de concentração, vazão, densidade de

drenagem, que modificam o hidrograma de uma área, reduzindo a sua abscissa e aumentando a sua ordenada.

A caracterização morfométrica das bacias urbanas pré e pós-ocupação deve ser compreendida pelos gestores municipais como um instrumento que permita estabelecer diretrizes para o uso e ocupação do solo, no intuito de que a urbanização se dê em consonância com o regime hidrológico dessas áreas, de modo que as alterações gerem menores impactos sociais, econômicos e ambientais.

Assim considerado, propõe-se que para todas as bacias urbanas deve-se caracterizar os seguintes parâmetros:

- i) Área de drenagem: possibilita calcular as vazões máximas das bacias urbanas nos seus estágios de pré e pós-ocupação conforme demonstrados nesta pesquisa;
- ii) Forma da bacia: o coeficiente de compacidade ( $k_c$ ) permite analisar se a bacia é propensa à inundação, enquanto o fator de forma ( $k_f$ ) possibilita identificar a magnitude desta ocorrência;
- iii) Sistema de drenagem: a densidade de drenagem é um parâmetro importante porque retrata a quão drenada é uma bacia. A sua redução implica na concentração das vazões em um número menor de cursos de água, ocasionando picos mais elevados de vazão. Já a sinuosidade está relacionada a velocidade do curso de água e que está diretamente vinculada com a possibilidade de assoreamento e erosões;
- iv) Característica do relevo da bacia: a declividade da bacia proporciona identificar o tipo relevo, que está relacionado ao processo erosivo e velocidade do escoamento superficial das águas de chuva, além de classificar as áreas, em função das porcentagens, propícias ou não, para o parcelamento do solo;
- v) Tempo de concentração: é um dos parâmetros que mais sofre com o processo de urbanização, porque representa o tempo que a água de chuva leva para percorrer do mais distante da bacia até uma seção em estudo. À medida que o processo de impermeabilização vai se consolidando este tempo se reduz sobremaneira. O tempo de concentração é igualado à duração da precipitação. Assim, se há a sua redução, ocorre o aumento da intensidade da precipitação sobre a bacia.

- vi) Vazão: a determinação das vazões por meio do método racional, considerando que são bacias menores, para a condição de pré e pós-ocupação, para todos os cursos de águas perenes. A determinação desses parâmetros, auxiliará a gestão municipal na tomada de decisão quanto as ações que comporão as medidas estruturais e não estruturais.

### 5.3.2.3 Zoneamento a partir das características morfométricas

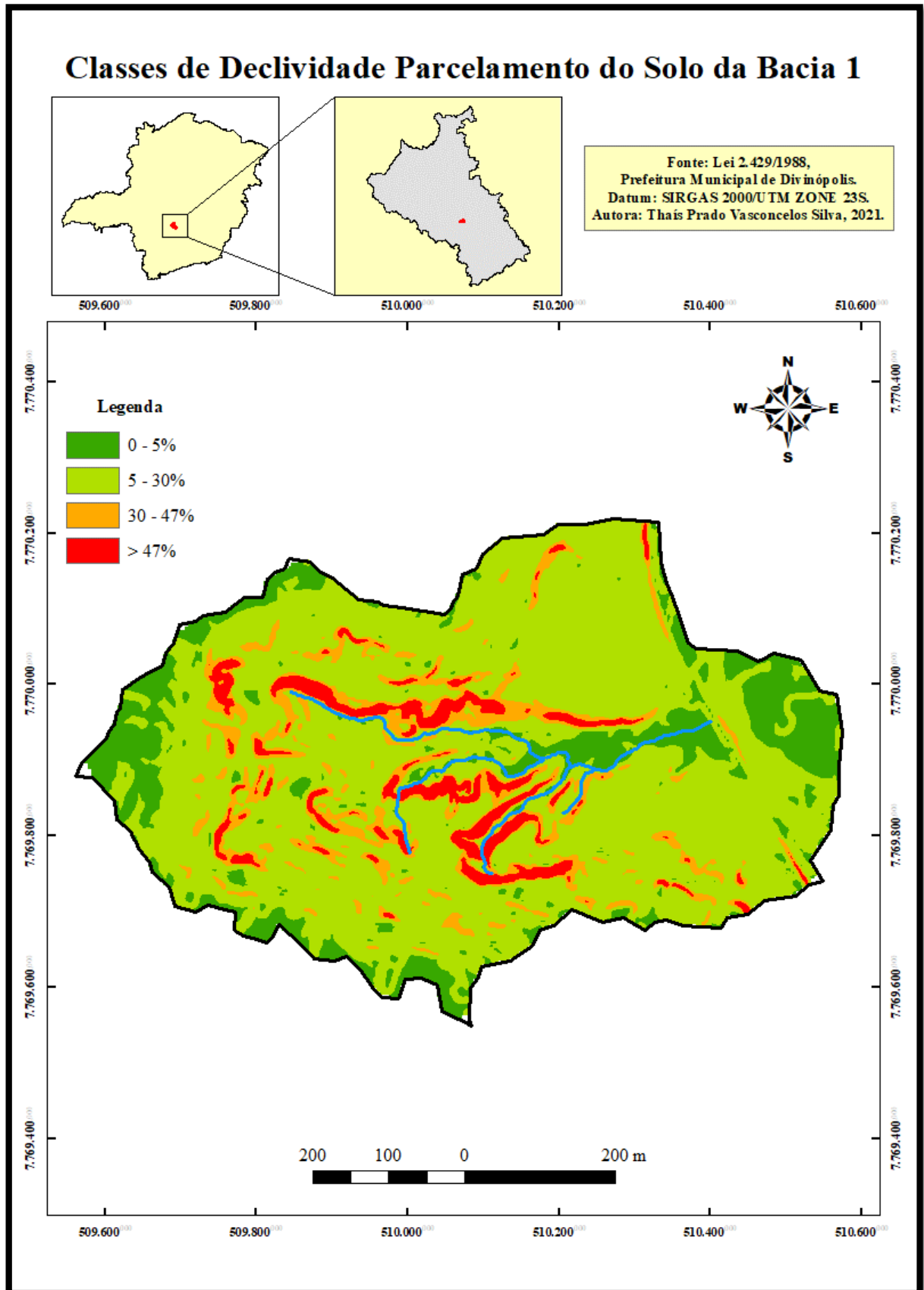
O zoneamento é um instrumento que define o uso e ocupação do solo nas áreas urbanas em relação às áreas comerciais, residenciais, industriais, área de preservação ambiental e demais usos. Após a delimitação das funções dessas áreas são estabelecidas as taxas de ocupação e taxas de utilização máximas. No caso de Divinópolis se dá por meio da Lei 2.418/1988. É importante ressaltar que na legislação vigente não há qualquer determinação sobre a taxa de infiltração, fato este que não garante a recarga dos aquíferos gerando um aumento do escoamento superficial.

A propostas sobre o zoneamento, a partir das características morfométricas das bacias urbanas delimitadas, são apresentadas a seguir:

- i) As vazões pluviais decorrentes da urbanização das áreas de drenagem das bacias urbanas não devem ser transferidas para as bacias de jusante. Neste sentido, a lei de zoneamento deve prever a obrigatoriedade de dispositivos que garantam a permanência da água excedente dentro da bacia onde foi gerada;
- ii) Bacias urbanas com coeficiente de compacidade e fator de forma próximos a um (1) devem se atentar para o estabelecimento de taxas de ocupação e utilização menores, aliado à garantia de taxas de infiltração que assegurem a recarga dos aquíferos e a não transferência para jusante desta área;
- iii) A permanências dos cursos de água, perenes e intermitentes, devem ser respeitadas, no intuito de garantir a densidade de drenagem das bacias urbanas. Por isso faz-se necessário o cumprimento da lei 2.218/88, no caso de Divinópolis, ou a Lei 6.766/79 para os municípios que não possuem lei específica, sobre as áreas de preservação permanente ao longo desses cursos de água. Nessas áreas podem ser estabelecidas a implantação de parques lineares, que além de incorporarem-se à paisagem urbana, permitem a criação de espaços para a utilização da população;

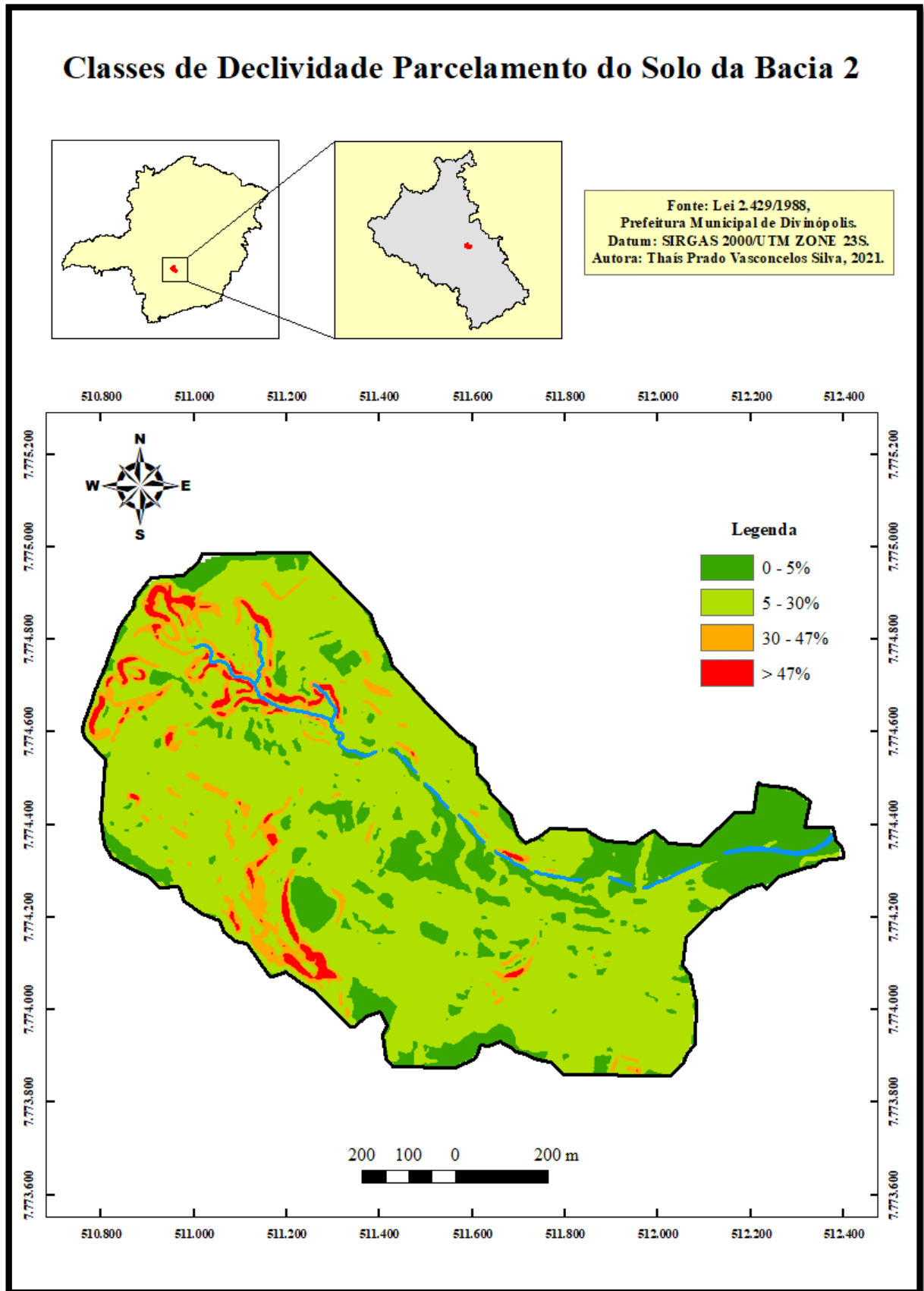
- iv) Na ocupação das áreas das bacias urbanas deve-se classificar a declividade em função do que se determina a Lei Federal 6.766/79 ou a lei específica do município. No caso de Divinópolis segue-se a lei federal. A divisão das classes e respectivas ocupações são (Figuras 15 e 16):
- ✓ De 0 a 5% áreas de fundo de vale, planície de inundação, portanto áreas não passíveis de ocupação;
  - ✓ De 5 a 30% áreas propícias para ocupação;
  - ✓ De 30 a 47% podem ser ocupadas desde que sejam atendidas as condições exigidas por órgão competente, conforme estabelece a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte;
  - ✓ Acima de 47% não deverão ser ocupadas, contemplando também as APP com declividade superior a 45°.
- v) A redução do tempo de concentração das áreas urbanas é inevitável, tendo em vista à impermeabilização das vias e dos lotes. Entretanto, alternativas como adoção de pavimentos drenantes, implantação das taxas de infiltração nos lotes, melhor distribuição do sistema de microdrenagem superficial pelas sarjetas, possibilitando maior percurso de escoamento, devem contribuir para atenuar a redução do tempo de concentração. Este parâmetro contribui para redução das intensidades das precipitações nas áreas urbanas e conseqüentemente as vazões de pico.
- vi) O zoneamento deve garantir o princípio do impacto zero (TOMAZ, e CANHOLLI, 2014), onde o acréscimo de vazão verificado para a condição pré e pós-ocupação não seja transferido para bacias urbanas de jusante, devendo ser mantido na bacia de origem. Para garantir a transferência zero deve-se, aliado ao zoneamento, propor implantação de reservatório de detenção pelo responsável do empreendimento em áreas novas ou pelo órgão público em áreas já ocupadas.

Figura 15 - Mapa de Declividade Parcelamento do Solo Bacia 1



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Figura 16 - Mapa de Declividade Parcelamento do Solo Bacia 2



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

#### 5.3.2.4 Parâmetros para os projetos de drenagem

Neste tópico serão propostos parâmetros para a elaboração e apresentação de projetos de micro e macrodrenagem.

##### **Microdrenagem:**

Entende-se por microdrenagem o sistema de condutos pluviais em loteamentos ou de rede primária urbana. Os sistemas são compostos por sarjetas, meios fios, sarjetões, bocas de lobo, galerias, poços de visita, caixa de passagem e dissipadores de energia (TUCCI *et al.*, 2015).

i) Elementos físicos do projeto

Para elaboração de projeto de microdrenagem, devem ser obtidos: planta geral da bacia contribuinte (1:5.000 ou 1:10.000), planta planialtimétrica da área do projeto (1:2.000 ou 1:1.000) com pontos no cruzamento das vias e em outros pontos notáveis, projeto urbanístico com especificação dos tipos de ocupação e recobrimento das áreas não urbanizadas. Cadastramento de todas as redes e/ou de outras infraestruturas porventura existentes e que possam interferir no projeto.

ii) Dados do corpo receptor

Levantamento do nível de água máxima do curso de água que irá receber o lançamento final.

iii) Definição geral do projeto

Traçado da rede lançada em planta baixa (1:1000 ou 1:2000), de acordo com as seguintes condições: divisores de sub-bacias e áreas de contribuição a cada trecho, posicionamento dos sarjetões, estabelecimento do sentido de fluxo, galerias no eixo da rua, lançamento das redes de ligação entre bocas de lobos e galerias.

iv) Bocas de lobo

As bocas de lobo deverão ser posicionadas nas sarjetas, em pontos favoráveis em perfeita captação das águas pluviais. Poderão ser do tipo abertura junto à guia ou caixa com grelha, com ou sem depressão. Podem ainda ser do tipo simples, dupla, tripla ou combinada. Para um determinado empreendimento todas as bocas de lobos devem ser padronizadas. A padronização das dimensões das bocas de lobos pode ser estabelecida pela prefeitura municipal.

v) Sarjeta

As sarjetas devem ser em concreto pré-fabricado ou moldado em loco com largura de 50 centímetros, com declividade transversal de 5%.

vi) Meios-fios

Os meios-fios podem ser em pedra, concreto moldado em loco ou pré-fabricado com altura que pode estar compreendida entre 15 e 19 centímetros para as vias onde houver fluxo de pedestres. Em locais em que não houver este fluxo, a altura deverá ser analisada pelos órgãos competentes.

vii) Tubulações de ligação

As tubulações de ligação devem promover a condução das águas pluviais pelas bocas de lobos até as galerias. Devem ter diâmetro mínimo de 400 milímetros e apresentarem declividade mínima de 1%. Devem ser dimensionadas à relação  $y/d$  igual a 0,85.

viii) Galerias

As galerias devem receber as águas pluviais das tubulações secundárias e conduzi-las até o ponto de disposição final. Devem ter o diâmetro mínimo de 600 milímetros. O dimensionamento deve atender a velocidade mínima de 0,75 m/s e máxima de 5 m/s. As condições de declividade devem ser tais que atendam aos limites de velocidade estabelecidos. Devem ser localizadas no eixo das vias e apresentarem recobrimento mínimo de um (1) diâmetro sobre a geratriz superior. Nos trechos onde houver mudança de diâmetro o alinhamento deve se dar pela geratriz superior.

ix) Poços de visita

Os poços de visita são dispositivos destinados a interligação entre galerias e à limpeza e manutenção das redes. Devem ser previstos: início e fim de rede, mudança de diâmetro, de sentido e de declividade. A distância máxima entre os poços de visita deve ser de 150 metros, para galerias com diâmetros compreendidos entre 600 e 900 milímetros e, 180 metros, para galerias com diâmetros de 1000 a 1500 milímetros.

x) Caixa de passagem

Poderão ser previstas caixa de passagem nas situações em que a ligação entre boca de lobo e galerias não for possível através dos poços de visita.

xi) Determinação das vazões

Para a determinação das vazões deve ser utilizado o método racional (eq. 08), para bacias menores ou iguais a 5 km<sup>2</sup>, conforme recomenda

SUDECAP, 2020 e CETESB, 1986 e Tucci, 2015. O período de retorno para o cálculo da intensidade da precipitação deve ser de 10 anos, conforme recomenda SUDECAP, 2020. Para o cálculo do tempo de concentração deve-se utilizar as equações 06 e 07. A intensidade da precipitação deve ser estabelecida, prioritariamente, por dados históricos obtidos por meio de pluviômetros. No caso da inexistência desse dado, deve ser utilizada a equação geral de chuva (eq. 09) com base nos parâmetros específicos para cada município. O coeficiente de *runoff* deve ser determinado por meio da média ponderada dos respectivos usos e as áreas correspondentes a esses valores. Para o estabelecimento do valor do *runoff* unitário pode ser utilizada a Tabela 4.

As prefeituras municipais devem estabelecer os parâmetros hidráulicos a serem utilizados para o dimensionamento dos dispositivos que compõem a microdrenagem.

#### **Macro drenagem:**

A macro drenagem nas áreas urbanas corresponde à rede de drenagem natural pré-existent nos terrenos antes da ocupação, sendo constituídas pelos córregos, rios e riachos localizados nos talwegues e fundos de vales (TUCCI *et al.*, 2015).

A necessidade de interferência na macro drenagem, inicia-se quando são implantadas as obras de microdrenagem que ocasionam o aumento das vazões que afluem aos corpos receptores devido à redução do tempo de concentração. Há ainda outras razões para a interferência no sistema de macro drenagem: ocupação dos cursos de água secundários (intermitentes e efêmeros), aumento do transporte de sedimentos, implantação de malha viária dentre outros.

Entretanto, as interferências adotadas até então, que consistem na canalização de cursos de água, têm se mostradas ineficientes. Torna-se necessário que os gestores compreendam a necessidade da adoção de medidas preventivas, onde isto ainda é possível, e corretivas onde o problema já se encontra instalado.

As propostas para a macro drenagem urbana são:

- i) Elaboração do plano municipal de drenagem que deve ser entendido como parte do processo de planejamento urbano e, portanto, coordenado com os demais planos, especialmente os de saneamento básico. O plano deve assegurar: a manutenção das regiões ribeirinhas não urbanizada em condições que minimizem as interferências com a capacidade de escoamento e armazenamento do talwegue; a redução do risco de inundações

a que estão as pessoas e propriedades; a redução do nível existentes de danos por enchentes; a garantia de que os projetos de prevenção e correção sejam consistentes com os objetivos do planejamento urbano; a minimização dos problemas de erosão e assoreamentos; a redução e o controle da poluição difusa; o incentivo ao aproveitamento das águas pluviais para fins industriais, de irrigação e outras formas de abastecimento que não necessitem de água potável.

- ii) Criação de medidas de controle e/ou prevenção que têm por objetivo minimizar os danos causados pelas inundações e são classificadas em medidas estruturais e não estruturais.

Enquanto medidas estruturais podem-se ser propostas os dispositivos: de retenção de escoamento, que favorecem a reservação das águas pluviais de modo a reduzir os picos de enchentes por meio do amortecimento das vazões de cheia; de infiltração, que possibilitam o incremento da recarga dos lençóis freáticos, podem ser classificadas em métodos dispersivos e métodos em poços. Os métodos dispersivos prevêm a infiltração da água no solo, tais como, as superfícies de infiltração, valas de infiltração e os pavimentos permeáveis. Os métodos em poços são aqueles em que há a recarga do nível do lençol subterrâneo pelas águas de superfícies, dentre eles podem ser citados os poços de infiltração secos e úmidos (CANHOLI, 2014).

Com relação às medidas não estruturais, além do já exposto nos subcapítulos (5.3.2.1, 5.3.2.2 e 5.3.2.3), propõe-se a criação de sistema de previsão e alerta, como dispositivo essencial a prevenção de vítimas fatais, prejuízos pelo alagamento de vias, inundação de edificações e equipamentos (CANHOLI, 2014).

- iii) Proposição de medidas estruturantes, consistem em criação: de estrutura administrativa específica para o sistema de drenagem. Esta medida possibilita o tratamento específico das questões relacionadas à drenagem urbana; de programas de capacitação para os técnicos do setor; de ações que fomentem a compreensão da sociedade sobre o sistema de drenagem urbana e que possibilitem a permanente participação no processo de gestão.

### 5.3.2.5 Integração da gestão das águas

A garantia da qualidade e quantidade da água é fator imprescindível para a manutenção da qualidade da vida no meio urbano, da preservação e conservação do meio físico e biótico. Torna-se fundamental que os sistemas de saneamento (água, esgoto, resíduos sólidos e drenagem urbana) sejam geridos de forma integrada, para que se obtenham diretrizes comuns que garantam a sustentabilidade dos recursos hídricos. Não se pode mais pensar a gestão dos sistemas de forma estanque e isolada como tem se dado até o presente momento. Exemplo disso é o que se verifica nos municípios em que há concessionárias para o sistema de água e/ou esgoto fazendo a gestão desses em total falta de consonância com os responsáveis pela coleta de resíduos, limpeza urbana e drenagem urbana.

Pode-se verificar que a discussão acerca da gestão integrada está presente em vários países com terminologias distintas, mas como o mesmo objetivo de atenuar as inundações e garantir a quantidade e qualidade das águas (FLETCHER *et al.*, 2015).

A proposta para a gestão integradas das águas consiste na criação do comitê de gestão integrada das águas composto por representantes das concessionárias de água e esgoto, dos sistemas de resíduos sólidos, da drenagem urbana, da sociedade civil, do conselho municipal do meio ambiente, das secretarias de planejamento, transporte urbano e profissionais das áreas afins com o objetivo de estabelecer uma melhor integração entre os córregos urbanos dentro do projeto urbano (FLETCHER *et al.*, 2015).

Com base nos pressupostos de drenagem sustentável, o comitê deve propor projetos, programas e ações que contemplem:

- i) Gerenciamento dos recursos hídricos que permitam a recarga dos aquíferos, o controle das vazões superficiais, dos processos erosivos e do assoreamento, considerando tanto os aspectos antropogênicos, quanto ecológicos;
- ii) A melhoria da qualidade da água, incluindo proteção da mata ciliar, transporte de sedimentos e tratamento de esgotos;
- iii) O fomento à conservação da água por meio de medidas que visem o aproveitamento da água pluvial e o reuso da água;
- iv) Criação de condição que possibilite o empoderamento da sociedade em relação aos cursos de água a partir de oportunidades ambientais e recreativas ao longo dos rios, incorporando parques lineares de usos múltiplos;
- v) Redução dos picos de vazão pluvial por meio de dispositivos que visem a sua detenção no nível local e minimizando áreas impermeáveis;

- vi) As perspectivas ambientais, sociais, culturais e econômicas no âmbito das bacias hidrográficas urbanas;
- vii) Estabelecimento de mecanismos que permitam a criação, o acompanhamento, o monitoramento das áreas passíveis de inundação a serem construídos com a participação da população local, que permita a criação de “mapas falados”.

## 6 CONCLUSÃO

Com a caracterização morfométrica das duas bacias na cidade de Divinópolis (MG), foi possível verificar que o processo de urbanização alterou alguns de seus parâmetros. Dentre eles podem ser ressaltados a densidade de drenagem, o tempo de concentração e a vazão. Com a relação a densidade de drenagem observou-se a redução dos cursos de água, intermitentes e efêmeros, em função da ocupação das bacias hidrográficas em análise. Para a Bacia 1 a redução foi de 85,55% e para a Bacia 2 foi de 87,13%. Verificou-se também que o tempo de concentração sofreu uma redução devido à impermeabilização e à edificação das áreas de 27,91% e de 26,68% nas Bacias 1 e 2, respectivamente. O tempo de concentração na Bacia 1 passou de 27,09 minutos para 19,53 minutos e de 43,12 minutos para 33,77 minutos na Bacia 2. Esse fato implica no aumento da intensidade de precipitação, conforme se verifica para as áreas urbanizadas. Como consequência dessas alterações, constatou que a vazão máxima, para os períodos de retorno de 25 e 50 anos, após o processo de urbanização, teve um incremento de 6,24 vezes na Bacia 1 e de 7,55 vezes na Bacia 2.

A análise da lei de uso e ocupação do solo permitiu constatar que suas diretrizes não são determinadas em função das características morfométricas das bacias para atenuar os impactos da urbanização. Para além disso, observou-se que as taxas de ocupação determinadas nos zoneamentos não foram cumpridas nas áreas já ocupadas, o que implica em áreas mais impermeáveis que resultam em ocorrências de inundações. Não há um plano municipal de drenagem. Há um plano municipal de saneamento, onde a drenagem é abordada de forma incipiente, superficial e sem qualquer contribuição técnica para o assunto.

A partir das características morfométricas e do uso e ocupação do solo, analisados nesta pesquisa, foram propostas diretrizes para o sistema de drenagem urbana com o objetivo de auxiliar os gestores na tomada de decisões em relação ao desenvolvimento urbano em consonância com o sistema de drenagem.

A cartilha técnica desenvolvida teve o objetivo de sistematizar as diretrizes para o sistema de drenagem urbana de forma educacional, e facilitar o acesso ao conteúdo proposto nessa dissertação de forma direta, por meio de uma linguagem simples, atrativa e com apelo visual. Como resultado, espera-se que os agentes envolvidos diretamente e indiretamente no gerenciamento do sistema de drenagem urbana possam utilizá-la em suas práticas profissionais, assim como acessar todo o conteúdo desta pesquisa.

Ao final desta pesquisa evidencia-se que os problemas acerca da drenagem urbana são graves, causam impactos negativos socioeconômico e ambientais. As medidas para atenuar

esses impactos, embora venham evoluído, têm um longo caminho a percorrer. A gestão das águas pluviais nas cidades deve ser tratada de forma integrada, com os diversos setores, além do empoderamento da sociedade em relação aos cursos de água. Nesse sentido, esta pesquisa buscou aliar as características morfométricas que regem o comportamento hidrológico das bacias urbanas aos instrumentos que garantem o planejamento territorial, como forma abordar a gestão dos sistemas de drenagem urbana.

Entretanto, pondera-se ainda, que há muito que se produzir com relação ao sistema de drenagem urbano, especialmente, no que diz respeito às medidas que garantam o seu planejamento e a sua gestão. Mas, acredita-se que esta pesquisa traga contribuições aos municípios para nortear as ações a serem tomadas para atenuar os impactos negativos causados pelo processo de urbanização.

## REFERÊNCIAS

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DE MINAS GERAIS – ALMG. **Lei nº 20.922**, de 16 de outubro de 2013. Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa-nova-min.html?tipo=Lei&num=20922&ano=2013>. Acesso em: 23 jul. 2021.

AZEVEDO NETTO, José Matiniano de. **Manual de hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

BELTRAME, Angela da Veiga. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas**: modelo de aplicação. Florianópolis: EDUFSC, 1994. 112 p.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Águas de chuva**: engenharia das águas pluviais nas cidades. Colaboração especial de Angelo S. Filardo Júnior. 4. ed. rev. e sensivelmente ampl. São Paulo: Blucher, 2017. 344 p.

BOUDER COUNTY. **Floodplain information**. 2021. Disponível em: <https://www.bouldercounty.org/transportation/floodplain-mapping/frequently-asked-questions/>. Acesso em: 15 ago. 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**: 4º Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas – 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020. 185 p.: il.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **Plano Nacional de Saneamento Básico – Plansab. Mais saúde com qualidade de vida e cidadania**. Brasília, 2019a. Disponível em: [https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSDRU/ArquivosPDF/Versao\\_Conselhos\\_Resolu%C3%A7%C3%A3o\\_Alta\\_-\\_Capa\\_Atualizada.pdf](https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSDRU/ArquivosPDF/Versao_Conselhos_Resolu%C3%A7%C3%A3o_Alta_-_Capa_Atualizada.pdf). Acesso em: 20 out. 2021.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 6.766**, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6766.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm). Acesso em: 27 set. 2021.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **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. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/l10257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm). Acesso em: 27 set. 2021.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm). Acesso em: 27 set. 2021.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 12.651**, de 35 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de

abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: [www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm). Acesso em: 20 out. 2021.

BRASIL. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento – SNIS. **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto** – 2014. Brasília: SNIS, 2019b.

CÂMARA MUNICIPAL DE DIVINÓPOLIS. **Lei Ordinária nº 2.418**, de 18 de novembro de 1988. Dispõe sobre o uso e a ocupação do solo no município de Divinópolis. Disponível em: <https://sapl.divinopolis.mg.leg.br/norma/9763>. Acesso em: 28 set. 2021.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CHAVES, Marcelo de Ávila. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a Bacia Amazônica**. 2002. 115 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

DHAKAL, Krishna P.; CHEVALIER, Lizette R. Urban stormwater governance: the need for a paradigm shift. **Environmental Management**, Holanda, v. 57, n. 5, p. 1.112-1.124, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00267-016-0667-5>. Acesso em: 25 set. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro: 1979. 83 p. (Embrapa-SNLCS. Micelânea, 1).

FÁTIMA, Maria. **Impactos da drenagem urbana na saúde pública em municípios de pequeno porte no estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil**. 2013. 250 f. Tese (Doutorado em Ciências de Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

FIGUEIRÓ, Adriana Severo; DI MAURO, Cláudio Antônio (Orgs.). **Governança da água: das políticas públicas à gestão de conflitos**. Campina Grande: EPTEC, 2020. 251 p.

FLETCHER, Tim D. et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more - The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban water journal**, v. 12, n. 7, p. 525-542, 2015.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. **Orientações básicas para drenagem urbana**. Belo Horizonte: Fundação do Meio Ambiente, 2006.

G1 CENTRO-OESTE DE MINAS. Defesa Civil emite alerta de tempestade severa para região Centro-Oeste de Minas. 08 jan. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/centro-oeste/noticia/2020/01/18/defesa-civil-emite-alerta-de-tempestade-severa-para-regiao-centro-oeste-de-minas.ghtml>. Acesso em: 23 set. 2021.

GARCEZ, Lucas Nogueira; ALVAREZ, Guillermo Acosta. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1988.

HUONG, Huynh Thi Lan; PATHIRANA, Assela. Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 17, n. 1, p. 379-394, 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/258492006\\_Urbanization\\_and\\_climate\\_change\\_impacts\\_on\\_future\\_urban\\_flooding\\_in\\_Can\\_Tho\\_City\\_Vietnam](https://www.researchgate.net/publication/258492006_Urbanization_and_climate_change_impacts_on_future_urban_flooding_in_Can_Tho_City_Vietnam). Acesso em: 21 ago. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Divinópolis (MG). 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/divinopolis/pesquisa/23/27652?detalhes=true>. Acesso em: 23 out 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Dados meteorológicos. Histórico de dados Meteorológicos**. 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em 15 set. 2021.

KALANTARI, Zahra et al. Quantifying the hydrological impact of simulated changes in land use on peak discharge in a small catchment. *Science of the Total Environment*, v. 466, p. 741-754, 2014.

LANGENBACH, Heike; ECKART, Jocken; SCHRÖDER, Gerko. Water sensitive urban design-results and principles. **3rd Switch Scientific Meeting**. Belo Horizonte, 30 nov – 4 dez. 2008.

LI, Guo-Fang *et al.* Impact assessment of urbanization on flood risk in the Yangtze River Delta. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, Suíça, v. 27, n. 7, p. 1.683-1.693, 2013.

LOURENÇO, Rossana. **Sistemas urbanos de drenagem sustentáveis**. 2014. 279 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de Coimbra. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

MANSIKKANIEMI, Hannu. The sinuosity of rivers in northern Finland. **Publicationes Instituti Geographici Universitatis Turkuensis**, Alemanha, n. 52, p. 16-32, 1970.

MARTINS, José Rodolfo Scarati. Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente? **Artigo Científico**, p. 1-11, jul. 2012.

MIGUEZ, Marcelo Gomes; VERÓL, Aline Pires; RESENDE, Osvaldo Moura. **Drenagem urbana – do projeto tradicional à sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2015.

MIGUEZ, Marcelo Gomez; VERÓL, Aline Pires; CARNEIRO, Paulo Roberto Ferreira. Sustainable drainage systems: an integrated approach, combining hydraulic engineering design, urban land control and river revitalisation aspects. **In Tech**, Rio de Janeiro, p. 21-54, 2012. Disponível em: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/30387.pdf>. Acesso em: 22 set. 2021.

MINAS GERAIS. Gabinete Militar do Governador. Coordenadoria Estadual de Defesa Civil – CEDEC. **Plano de Emergência Pluviométrica – 2020/2021**: 2020.

MINAS GERAIS. Gabinete Militar do Governador. Defesa Civil de Minas Gerais. Coordenadoria Estadual de Defesa Civil. **Boletim da Defesa Civil de Minas Gerais**, n. 5, 06 jan. 2021.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Lei nº 13.199**, de 29 de janeiro de 1999. Política Estadual de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5309>. Acesso em: 28 set. 2021. NASCIMENTO, José Antônio Sena. Manejo das águas pluviais. *In: Atlas de Saneamento 2011*. IBGE, 2011. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096\\_cap10.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096_cap10.pdf). Acesso em 30 jul. 2021.

O'CALLAGHAN, Jonh F.; MARK, David M. The extraction of drainage networks from digitalelevation data. **Computer Vision, Graphics, and Image Processing**, Holanda, n. 28, p. 323-344, 1984.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Perspectivas mundiais de população**. 2018. Disponível em: <https://population.un.org/wup/>. Acesso em: 23 set. 2021.

PENNA, Livea *et al.* A utilização de reservatórios no amortecimento de vazões de cheia: apresentação e discussão de casos do sudeste brasileiro. **GOT: Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, n. 16, p. 275, 2019.

PREFEITURA DE DIVINÓPOLIS. **Lei nº 2.429**, de 29 de novembro de 1988. Dispõe sobre parcelamento do solo urbano de Divinópolis. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/mg/d/divinopolis/lei-ordinaria/1988/242/2429/lei-ordinaria-n-2429-1988-dispoe-sobre-o-parcelamento-do-solo-urbano-de-divinopolis>. Acesso em: 28 set. 2021.

PREFEITURA DE DIVINÓPOLIS. **Lei nº 8.233**, de 2016. Altera dispositivos do artigo 1º da Lei 8.150 de 2016, que delimita áreas especiais localizadas de interesse urbanístico de que trata o artigo 51 da Lei Complementar 169, de 2014, que estabelece o Plano Diretor do Município, e dá outras providências.

PREFEITURA DE DIVINÓPOLIS. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. 2018.

PREFEITURA DE PORTO ALEGRE – PMPA. Departamento de Esgotos Pluviais – DEP **Plano Diretor de Drenagem Urbana**. 2010. Disponível: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/>. Acesso em: 22 out 2021.

SABINO, Leidiane Minervina Moraes de. **Cartilha educativa para promoção da autoeficácia materna na prevenção da diarreia infantil**: elaboração e validação. 2016. 171 f. Dissertação (Mestrado em Enfermagem) – Faculdade de Farmácia, Odontologia e Enfermagem. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

SANEAMENTO E SAÚDE AMBIENTAL RURAL – SANRURAL. **Saneamento básico rural**. *E-book*. 2020. Disponível em: <https://sanrural.ufg.br/>. Acesso em: 24 set. 2021.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – Cetesb. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Drenagem urbana**: manual de projeto. 3. ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986. 464 p.

SILVA, Luciene Pimentel da. Hidrologia: engenharia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SOUZA, Celina. Políticas públicas: uma revisão da literatura. **Sociologias**, Porto Alegre, p. 20-45, 2006.

SOUZA, Wladimir Coramori Borges. Gestão da drenagem urbana no Brasil: desafios para a sustentabilidade. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, Salvador, v. 1, n. 1, 2013.

TONELLO, Kelly Cristina *et al.* Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, p. 849-857, 2006.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Drenagem urbana. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 55, n. 4, p. 36-37, 2003.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli *et al.* **Dreangem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2015. 428 p.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli *et al.* Controle da drenagem urbana no brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, set. 2011.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília: 2012. 50 p. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48).

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, 2005.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Regulamentação da drenagem urbana no Brasil. **REGA – Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 29-42, 2016.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. **Population Division World Urbanization Prospects: the 2018 revision**. 2018. Disponível em: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf> Acesso em: 18 ago. 2021.

VIANA, Adalberto Hideo *et al.* **Impactos da urbanização sobre as águas e medidas de controle**. Trabalho de conclusão de curso de pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

VIESSMANN, Terence E. *et al.* **Introduction to hydrology**. 2. ed. New York: Harper and Row, 1977. 704 p.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre**, v. I a IX, 2002.

VILANUEVA, Adolfo Oreste Nicolas *et al.* Gestão da drenagem urbana, da formulação à implementação. **REGA – Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v.

8, n. 1, p. 5-18, jan./jun. 2011. Disponível em:  
<https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=2&ID=77&SUMARIO=888>.  
Acesso em: 28 out. 2021.

VILLELA, Swami Marconed; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1975.

VINUTO, Juliana. A amostragem em bola de neve na pesquisa qualitativa: um debate em aberto. **Temáticas**, Campinas, v. 22, n. 44, 2014. Disponível em:  
<https://econtents.bc.unicamp.br/inpec/index.php/tematicas/article/view/10977>. Acesso em: 17 nov. 2020.

ZHOU, Qianqian. A review of sustainable urban drainage systems considering the climate change and urbanization impacts. **Water**, Suíça, v. 6, n. 4, p. 976-992, 2014.

APÊNDICE – CARTILHA TÉCNICA: DIRETRIZES PARA OS SISTEMAS DE  
DRENAGEM URBANA

Cartilha Técnica

# E se chover...

Diretrizes para os sistemas de drenagem urbana



Thaís Prado Vasconcelos Silva • Hygor Aristides Victor Rossoni



### Ficha Catalográfica

--

# Sumário

APRESENTAÇÃO.....	03
E SE CHOVER?.....	05
PASSO A PASSO.....	06
DELIMITAÇÃO.....	07
CARACTERIZAÇÃO.....	09
ZONEAMENTO.....	11
PARÂMETROS.....	13
INTEGRAÇÃO.....	15

## Apresentação

A gestão da água pluvial nas áreas urbanas é um problema que atinge grande parte dos municípios brasileiros, tendo em vista a forma como ocorreu, historicamente, a urbanização no país.

Como o problema em torno das águas superficiais é comum em várias cidades mineiras, as diretrizes propostas nesta Cartilha Técnica tem o intuito de garantir a qualidade de vida da população, a proteção ao meio ambiente e a sustentabilidade das áreas urbanas.



O conteúdo desta cartilha foi produzido como resultado da dissertação de Mestrado da aluna Thaís Prado Vasconcelos Silva, como requisito para a conclusão do curso de pós graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental oferecido pelo IFMG - Instituto Federal de Minas Gerais Campus Bambuí.



## E se chover...

As diretrizes propostas para o sistema de drenagem urbana foram distribuídas em cinco temas, que se complementam e podem contribuir, tanto para Divinópolis (MG), quanto para os municípios em que não há parâmetros estabelecidos.

No primeiro tema buscou-se apontar sobre a importância de se tratar a gestão da drenagem por meio de regiões urbanas delimitadas em bacias hidrográficas como forma de planejamento, pois dentro dessas áreas é que acontece toda dinâmica hidrológica, social, econômica e ambiental.

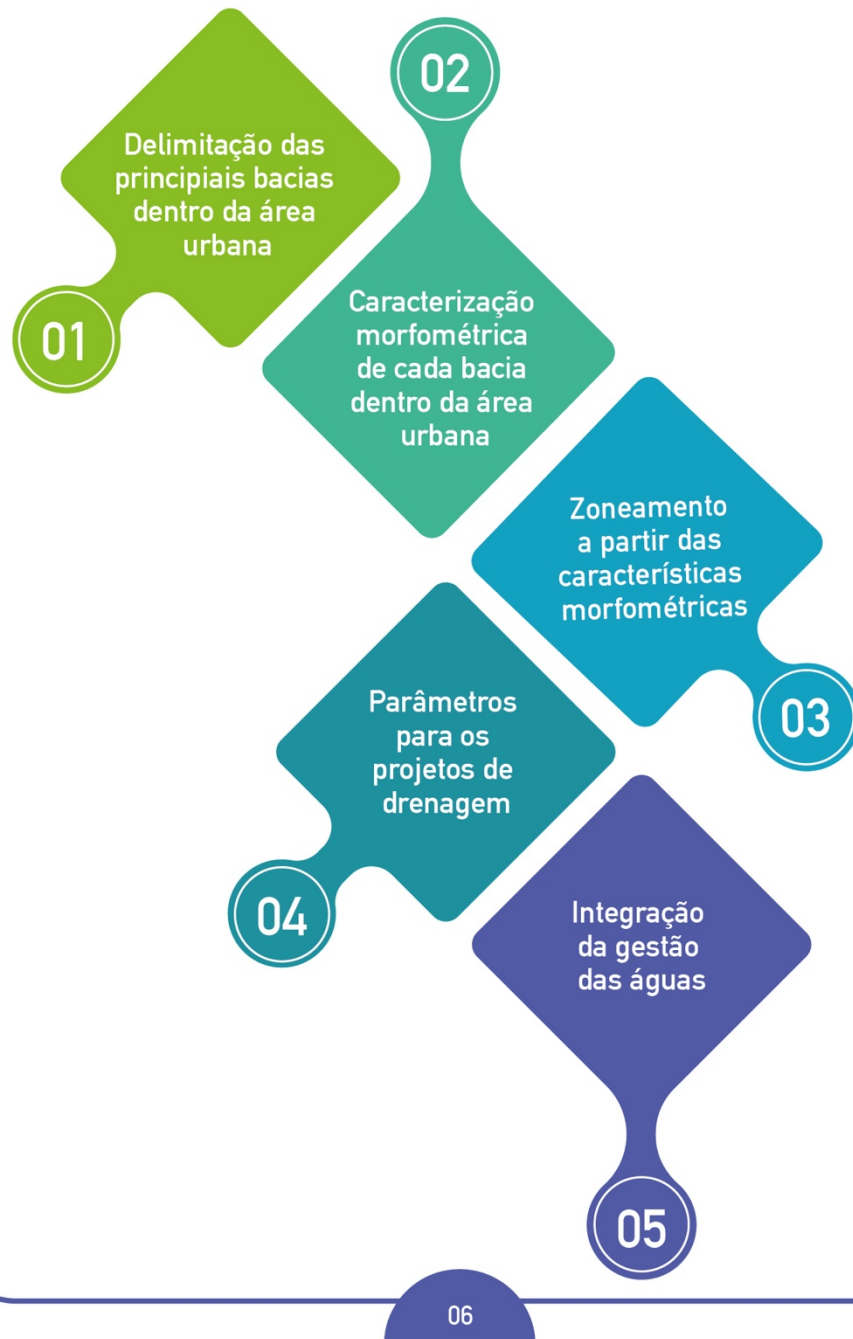
Já no segundo, abordou-se sobre os parâmetros necessários à caracterização morfométrica das bacias urbanas, fator imprescindível para o diagnóstico do comportamento hidrológico de uma área, possibilitando a tomada de decisão quanto ao planejamento e gestão da drenagem urbana.

No terceiro, buscou-se nortear a lei de uso e ocupação do solo, a partir da área de drenagem, da forma da bacia, do sistema de drenagem, do relevo, do tempo de concentração e da vazão que constituem as características morfométricas das bacias analisadas neste trabalho.

Buscou-se estabelecer diretrizes para projeto de micro e macro drenagem, quarto tema, onde se determinaram elementos básicos que compõem esses sistemas, com base no que recomendam Tucci et. al., 2015, SUDECAP, 2020, CETESB, 1986 e Canholi, 2014.

E por último, foram propostos aspectos relativos à integração da gestão das águas a partir dos pressupostos de drenagem sustentáveis e Fletcher et. al., 2015.

## Passo-a-passo




01

# Delimitação

das principais bacias  
dentro da área urbana

Ao delimitar é possível

- Compreender e identificar os cursos de água existentes,
- Avaliar os impactos gerados pelo processo de urbanização já consolidado,
- Estabelecer medidas para a ocupação de novas áreas dentro desta bacia.

An illustration of a colorful umbrella with red, yellow, and green segments and a blue handle, positioned in the center. The background is a grey sky with white clouds and falling raindrops. The text is centered below the umbrella.

Além de delimitar as principais  
bacias urbanas, deve-se instalar um

# PLUVIÓGRAFO

em cada uma delas, para possibilitar a  
medida e o controle das intensidades  
máximas de precipitação.

02

## Caracterização morfométrica

de cada bacia

Ao caracterizar é possível

- Estabelecer diretrizes para o uso e ocupação do solo,
- Determinar que a urbanização se dê em consonância com o regime hidrológico dessas áreas,
- Estabelecer medidas para a ocupação de novas áreas dentro desta bacia
- Proporcionar que as alterações gerem menores impactos sociais, econômicos, e ambientais.



03

## Zoneamento

a partir das características morfométricas

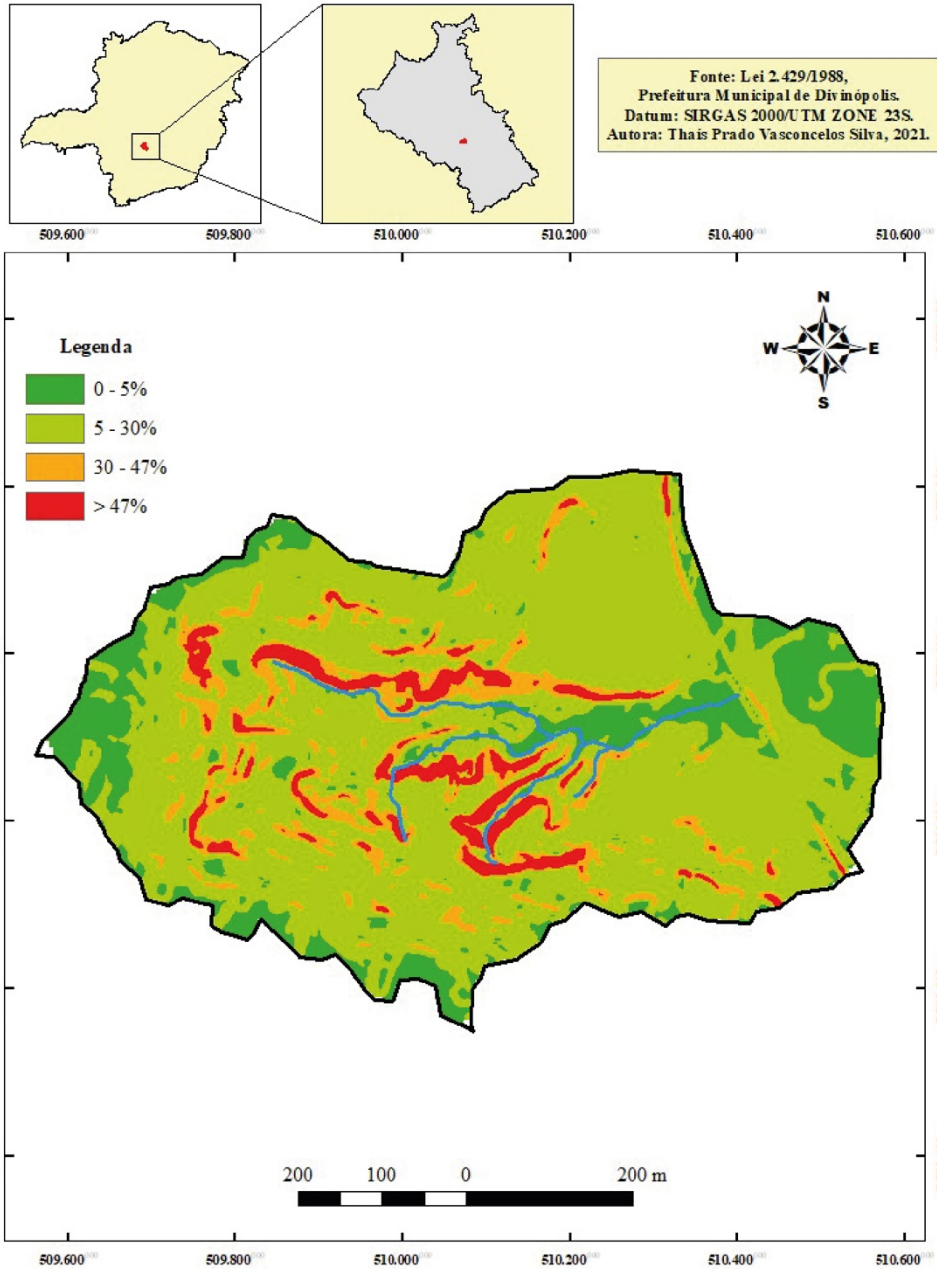
Ao zonear é possível

- Definir o uso e ocupação do solo nas áreas urbanas em relação às áreas comerciais, residenciais, industriais, área de preservação ambiental e demais usos,
- Estabelecer as taxas de ocupação e taxas de utilização máximas.
- Parcelar o solo urbano, em função da declividade, conforme a Lei Federal nº 6.766/79.

Lei Federal nº 6.766/79

- De 0 a 5% áreas de fundo de vale, planície de inundação, portanto áreas não passíveis de ocupação;
- De 5 a 30% áreas propícias para ocupação;
- De 30 a 47% podem ser ocupadas desde que sejam atendidas as condições exigidas por órgão competente, conforme estabelece a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte;
- Acima de 47% não deverão ser ocupadas, contemplando também as APP com declividade superior a 45°.

## Classes de Declividade Parcelamento do Solo da Bacia 1



04

# Parâmetros

para os projetos de  
drenagem

## MICRODRENAGEM

É o sistema de condutos pluviais  
em loteamentos.



Sarjetas, meios fios, sarjetões, bocas de lobo,  
galerias, poços de visita, caixa de passagem e  
dissipadores de energia

## MACRODRENAGEM

Corresponde à rede de drenagem natural pré-existente nos terrenos antes da ocupação, sendo constituídas pelos córregos, rios e riachos localizados nos talvegues e fundos de vales.



- **Elaboração do plano municipal de drenagem**
- **Criação de medidas de controle e/ou prevenção**
- **Proposição de medidas estruturantes, como capacitação para os técnicos do setor, ações que fomentem a compreensão da sociedade sobre o sistema de drenagem urbana e que possibilitem a permanente participação no processo de gestão.**

05

# Integração

da gestão das águas

A garantia da qualidade e quantidade da água é fator imprescindível para a manutenção da qualidade da vida no meio urbano, da preservação e conservação do meio físico e biótico.

Ao integrar é possível

- Gerir os sistemas de saneamento (água, esgoto, resíduos sólidos e drenagem urbana) de forma mais eficiente.
- Obter diretrizes comuns que garantam a sustentabilidade dos recursos hídricos.

## CRIAÇÃO DO COMITÊ DE GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS



Objetivo de estabelecer uma melhor integração entre os córregos urbanos dentro do projeto urbano propondo:

**PROJETOS,  
PROGRAMAS E  
AÇÕES.**



## QUEM DEVE PARTICIPAR DO COMITÊ?

Representantes das concessionárias de água e esgoto, dos sistemas de resíduos sólidos, da drenagem urbana, da sociedade civil, do conselho municipal do meio ambiente, das secretarias de planejamento, transporte urbano e profissionais das áreas afins.



Acesse aqui o conteúdo completo da dissertação.





Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais / Campus Bambuí

## ANEXO - Termo de parceria

3264/18




## PREFEITURA MUNICIPAL DE DIVINÓPOLIS

Pelo presente Termo de Parceria, a Prefeitura Municipal de Divinópolis, situada a Avenida Paraná, nº 2777, bairro Belvedere, Divinópolis/MG, CEP 35.501-170, CNPJ: nº. 18.291.351/0001-64, declara colaborar com o suporte técnico necessário, fornecendo dados cadastrais do sistema de drenagem urbana do Município, legislação pertinentes ao saneamento, uso e ocupação do solo, parcelamento do solo, entrevista com os técnicos, gestores e funcionários que trabalham diretamente indiretamente nos serviços relacionados ao sistema de drenagem urbana, na execução do Pré-projeto que consiste em desenvolver uma Metodologia para Gerenciamento do Sistema de Drenagem Urbana para Município de Divinópolis, da discente Thaís Prado Vasconcelos Silva, concorrente a uma vaga de estudo no "Curso de Pós – graduação Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental", do IFMG – Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Bambuí, realizado na cidade de Bambuí.

Com o Termo de Parceria celebrado entre a Prefeitura Municipal de Divinópolis e a discente Thaís Pardo Vasconcelos Silva, e o projeto aprovado pelo IFMG, a discente propõe identificar e caracterizar problemas relacionados ao sistema de drenagem urbana no Município de Divinópolis, diagnosticar a percepção da população afetada pela ineficiência ou ausência do sistema de drenagem urbana, bem como, a percepção dos atores envolvidos na gestão do referido sistema, apresentar uma metodologia de gestão do sistema de drenagem baseado nas visões técnicas, social e institucional, que englobe o conceito de sustentabilidade do sistema de estudo, com a entrega do produto/projeto a título de doação sem encargo ao município de Divinópolis/MG.

Divinópolis, 14 de novembro de 2018.

  
**JÚLIO CÉSAR BELISÁRIO CAMPOLINA**  
**SUPERINTENDÊNCIA DA USINA DE PROJETOS**

  
**Thaís Prado Vasconcelos Silva**  
**Engenheira Civil**  
**CREA 93.248/D**

TESTEMUNHA1: \_\_\_\_\_ CPF: \_\_\_\_\_

TESTEMUNHA2: \_\_\_\_\_ CPF: \_\_\_\_\_