UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

SABRINA APARECIDA SOUSA

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA URBANA DOS CÓRREGOS DONA BICOTA E DONA JOVITA EM SANTO ANTÔNIO DO MONTE - MG

TRABALHO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Ouro Preto, 2019

SABRINA APARECIDA SOUSA

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA URBANA DOS CÓRREGOS DONA BICOTA E DONA JOVITA EM SANTO ANTÔNIO DO MONTE - MG

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental.

Orientadora: Lívia Cristina Dias Pinto

Ouro Preto, 2019

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S725d Sousa, Sabrina Aparecida .
Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica urbana dos córregos Dona Bicota e Dona Jovita em Santo Antônio do Monte - MG. [manuscrito] / Sabrina Aparecida Sousa. - 2019.
80 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Lívia Cristina Dias Pinto.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.

1. Bacias hidrográficas . 2. Escoamento urbano. 3. Planejamento urbano. 4. Hidrologia urbana . I. Pinto, Lívia Cristina Dias. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 502/504

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB:1716

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Minas – Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental – CEAMB

Folha de Aprovação

SABRINA APARECIDA SOUSA

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA URBANA DOS CÓRREGOS DONA BICOTA E DONA JOVITA EM SANTO ANTÔNIO DO MONTE - MG

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 09/12/2019 pela comissão avaliadora constituída pelos professores:

Lívia Cristina Pinto Dias – DEAMB/UFOP

Ana Letícia Pilz Castro – DECIV/UFOP

Isabela Cristina de Sousa – DEAMB/UFOP

DEDICATÓRIA

Aos meus queridos pais,

Benjamim de Sousa Neto e Maria Aparecida Carraro Sousa.

AGRADECIMENTOS

À professora Dr. Lívia Dias pela orientação, preocupação e por confiar no meu potencial. Sua mestria e paciência me incentivaram na realização deste trabalho.

À toda minha família, especialmente meus pais, Benjamim e Aparecida, e meus irmãos, Samuel e Sávio pelo suporte e por sempre estarem ao meu lado.

Aos meus amigos, colegas universitários e colegas de trabalho que dividiram essa jornada comigo, pelo companheirismo, em especial, Maria Clara e Tainá, por se fazerem sempre presentes.

À gloriosa Escola de Minas pelo ensino de qualidade e aos mestres pelos ensinamentos.

RESUMO

O avanço da urbanização desestruturada no Brasil causa grande impacto sobre o meio ambiente. Isto porque a partir da ocupação desordenada de uma determinada região, são identificados alguns efeitos, tais como o aumento das vazões máximas e do escoamento superficial, e deterioração dos mananciais. Assim, para se ter um sistema de drenagem urbana eficiente, os municípios devem aliar ao plano de saneamento, uma política de planejamento urbano e de controle de uso do solo. A partir dessas considerações, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo geral de elaborar um diagnóstico preliminar da atual situação da drenagem urbana no córrego Dona Bicota e no córrego Jovita, ambos localizados no município mineiro de Santo Antônio do Monte. Ainda, o presente trabalho foi realizado a fim de conscientizar a população e o Poder Público para essa temática, além de oferecer subsídios para a elaboração de políticas públicas futuras. Foram feitas visitas *in loco,* que possibilitaram a realização de registros fotográficos, o diálogo com os moradores da região e a anotação de apontamentos acerca dos usos e ocupações do solo das bacias e sobre as estruturas de drenagem existentes no local. Ademais, foram obtidas características morfométricas a partir de Sistemas de Informações Geográficas e de dados de uso do solo do projeto MapBiomas. O Índice de Fragilidade dos Sistemas de Drenagem (IFS Drenagem) também foi aplicado, permitindo-se identificar os aspectos mais preocupantes e a hierarquia dos pontos de estudo mais críticos. A partir do trabalho, foi constatado que o Córrego Dona Bicota possui área de 1,27 km² e o córrego Dona Jovita, tem uma área de 1,64 km². Identificou-se que o córrego Dona Bicota apresenta formato pouco mais arredondado que o córrego Dona Jovita, o que favorece a produção de escoamentos rápidos, além do aumento da propensão à ocorrência de grandes enchentes. Com base no IFS Drenagem, constata-se que o Ponto de Estudo 02 (trecho do Córrego Dona Bicota, localizado na Avenida Leopoldino Luiz da Silva) e o Ponto de Estudo 05 (trecho do Córrego Dona Jovita localizado na Avenida Presidente Tancredo Neves) são os mais críticos, especialmente pela ocorrência de enchentes e pela interação entre a drenagem pluvial e o esgoto sanitário. A partir da pesquisa realizada, conclui-se que o Plano de Saneamento Básico Integrado do município de Santo Antônio do Monte - MG não apresenta diretrizes eficazes para a solução dos problemas observados, razão pela qual recomenda-se aos órgãos públicos a adoção de banco de dados com informações de alta qualidade para a realização de estudos mais detalhados, como por exemplo, o controle do uso do solo e o estudo de mancha de inundação que possibilitem a elaboração de um Plano Diretor de Drenagem Urbana, em concordância com o Plano Diretor.

Palavras chave: bacia hidrográfica; drenagem urbana; Plano Diretor; escoamento superficial.

ABSTRACT

The advance of unstructured urbanization in Brazil has a great impact on the environment. This is because from the disordered occupation of a given region, some effects are identified, such as the increase of maximum flows and surface runoff, and deterioration of water sources. Thus, to have an efficient urban drainage system, the municipalities must combine with the sanitation plan, a policy of urban planning and land use control. From these considerations, this work was developed with the general objective of elaborating a preliminary diagnosis of the current situation of urban drainage in Dona Bicota stream and Jovita stream, both located in the Santo Antônio do Monte in Minas Gerais. Still, the present work was carried out in order to raise awareness of the population and the Government regarding this theme, as well as offering subsidies for the elaboration of future public policies. On-site visits were made, which made it possible to make photographic records, dialogue with the local residents, and notation of notes about the uses and occupations of the watersheds of the basins and the existing drainage structures at the site. In addition, morphometric characteristics were obtained from Geographic Information Systems and MapBiomas land use data. The Drainage Systems Fragility Index (SFI Drainage) was also applied, allowing to identify the most worrying aspects and the hierarchy of the most critical study points. From the work, it was found that Dona Bicota Stream has an area of 1.27 km² and Dona Jovita Stream has an area of 1.64 km². The Dona Bicota stream has a slightly more rounded shape than the Dona Jovita stream, which favors the production of rapid runoff, as well as the increased propensity for large floods. Based on IFS Drainage, Study Point 02 (section of Dona Bicota stream, located on Avenue Leopoldino Luiz da Silva) and Study Point 05 (section of Dona Jovita stream, located on Avenue Presidente Tancredo Neves) are the most critical, especially flooding and the interaction between storm drainage and sewage. From the research carried out, it is concluded that the Integrated Basic Sanitation Plan of the municipality of Santo Antônio do Monte - MG does not present effective guidelines for solving the observed problems, which is why it is recommended to the public agencies the adoption of a database. data with high quality information to carry out more detailed studies, such as land use control and the study of flooding to enable the elaboration of an Urban Drainage Master Plan, in accordance with the Master Plan.

Key words: watershed; urban drainage; urban plan; surface runoff.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo da água e seus diversos subsistemas. 23

Figura 2 - Relação entre a superfície impermeável e o escoamento superficial. 24

Figura 3 - Alterações no hidrograma de escoamento superficial devido a urbanização. 24

Figura 4 – Corte transversal de uma bacia. 26

Figura 5 - Efeito da forma da bacia hidrográfica. 27

Figura 6 - Vazões máximas em vários tipos de cobertura. 28

Figura 7 - Elevação do nível de um rio provocada pelas chuvas. 29

Figura 8 - Limite municipal de Santo Antônio do Monte em Minas Gerais. 40

Figura 9 - Área de Preservação Permanente (APP) próxima à nascente do córrego Dona Bicota com (a e b) cartazes alertando sobre a APP e (c) uma lagoa mantida pela beleza cênica. 42

Figura 10 - Localização dos pontos de estudo (PE) em Santo Antônio do Monte. 43

Figura 11 – Área de Drenagem dos Córregos Dona Jovita e Dona Bicota. 44

Figura 12 – Macrozoneamento de Santo Antônio do Monte (Mapa 03 – Plano Diretor) 54

Figura 13 – Área de drenagem dos córregos Dona Jovita. 55

Figura 14 – Perfil de elevação córrego Dona Jovita. 56

Figura 15 - Área de drenagem dos córregos Dona Bicota. 57

Figura 16 - Perfil de elevação córrego Dona Jovita. 57

Figura 17 - Evolução da urbanização na cidade de Santo Antônio do Monte. 58

Figura 18 - Uso do solo na delimitação da bacia do córrego Dona Jovita. 59

Figura 19 - Uso do solo na delimitação da bacia do córrego Dona Bicota. 60

Figura 20 - Registro fotográfico do Ponto 01, sendo a) e b) vistas do Córrego Dona Jovita próximo a cabeceira, e c) loteamento sendo aberto próximo a cabeceira do córrego. 61

Figura 21 - Registro fotográfico do Ponto 02, sendo a) vista do córrego Dona Jovita no médio curso onde se inicia sua canalização, b) obras a montante da canalização, c) dispositivo de

drenagem pluvial próximo à canalização e d) vista de casas construídas encima na canalização do córrego. 62

Figura 22 - Registro fotográfico do Ponto 02, onde a) e b) apresentam dispositivos de drenagem pluvial. 64

Figura 23 - Registro fotográfico do Ponto 03, sendo a) e b) vistas de cima da área no entorno do córrego Dona Bicota (residencial Chico Sabino). 64

Figura 24 - Registro fotográfico do Ponto 04, onde a) e b) apresentam a região logo após a Área de Preservação Permanente onde se inicia a canalização do córrego Dona Bicota. 65

Figura 25 - Registro fotográfico do Ponto 05, onde a) e b) apresentam a região central e hospitalar. E c) e d) dispositivos de coleta de água pluvial. 66

Figura 26 - Registro fotográfico do Ponto 06, onde a) e b) apresentam o local de confluência dos córregos Dona Jovita e Dona Bicota. 67

Figura 27 - Representação gráfica do Índice de Fragilidade dos Sistemas de Drenagem subdividido em IFS Ambiental, IFS tecnológico e IFS Institucional. Também está representado o Índice de Fragilidade Geral (IFG). 69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução da população no Brasil e taxa de Urbanização.....20

Tabela 2 - Medidas estruturais intensivas e extensivas. 34

Tabela 3 - Valores de CN em função da cobertura superficial do terreno e dos grupos hidrológicos de solos. 47

Tabela 4 - Normais climatológicas da Estação Meteorológica de Divinópolis (MG). 49

Tabela 5 - Fatores que afetam o sistema de drenagem de acordo com a metodologia de Silva *et al.* (2004). 50

Tabela 6 - Localização dos Pontos de Estudo (PE) na cidade de Santo Antônio do Monte. ..51

Tabela 7 - Indicadores de Fragilidade do Sistema de Drenagem: naturezas, indicadores e abordagens. 52

Tabela 8 - Valores (pesos) para a manifestação dos indicadores. 53

Tabela 9 - Graus e intervalos para o Índice Geral de Fragilidade (IGF) do Sistema de Drenagem.....53

Tabela 10 - Cálculo do CN ponderado na bacia de contribuição do córrego Dona Jovita.....59

Tabela 11 - Cálculo do CN ponderado na bacia de contribuição do córrego Dona Bicota.....60

Tabela 12 - Índices relacionados à fatores de intervenção nas bacias. 68

LISTA DE SIGLAS

ALOS	*Advanced Land Observing Satellite*
ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Preservação Permanente
BMPs	*Best Managment Practices*
CN	*Curve Number*
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FBD	*Fine Beam Dual*
HEC-HMS	*Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modeling System*
HEC-RAS	*Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*
IFS	Índice de Frangilidade do Sistema
IGF	Índice Geral de Fragilidade
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MDE	Modelo Digital de Elevação
PALSAR	*Phased Array Lband Synthetic Aperture Radar*
PE	Pontos de Estudo
PIB	Produto Interno Bruto
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SCS	*Soil Conservation Service*
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 16
2. OBJETIVOS 19
2.1. Objetivo geral 19
2.2. Objetivos específicos 19
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 20
3.1. O processo de urbanização 20
3.2. Drenagem da água na civilização 20
3.3. Ciclo hidrológico 22
3.4. Bacia hidrográfica 25
3.4.1. Área de drenagem 26
3.4.2. Forma da bacia 27
3.4.3. Sistema de drenagem 27
3.4.4. Uso do solo 28
3.5. Inundações 29
3.6. Drenagem urbana 31
3.6.1. Microdrenagem e macrodrenagem 31
3.6.2. Medidas estruturais e medidas não estruturais 33
3.7. Contaminação dos recursos hídricos 35
3.8. Legislação urbana e drenagem 37
4. METODOLOGIA 40
4.1. Área de estudo 40
4.2. Características da bacia 43
4.2.1. Delimitação da área de drenagem 43
4.2.2. Forma da bacia 44
4.2.3. Tempo de Concentração 45

4.2.4. Uso do solo 46
4.2.5. Clima 48
4.3. Estruturas de drenagem 49
4.4. Análise do conteúdo de documentos relacionados à drenagem urbana 53
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 55
5.1. Diagnóstico físico-ambiental da bacia do córrego Dona Jovita 55
5.2. Diagnóstico físico-ambiental da bacia do córrego Dona Bicota 56
5.3. Caracterização de ocupação das bacias 57
5.4. Diagnóstico sobre as medidas estruturais existentes 61
5.5. Diagnóstico sobre a legislação urbana do município sobre drenagem 69
5.6. Metodologia proposta para a obtenção das manchas de inundação 70
6. CONCLUSÃO 72
7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA 73

1. INTRODUÇÃO

No progresso da humanidade, houveram grandes mudanças na relação do homem com a natureza. Schussel (2004) considera três relevantes transformações no decorrer do desenvolvimento dessa relação. A primeira transformação ocorreu na transição do período paleolítico para o neolítico. No período paleolítico, o equilíbrio ecológico era preservado, era extraído da natureza somente o necessário para subsistência humana. Nesse período, uma descoberta importante foi o domínio do fogo. Em seguida, no período neolítico foi desenvolvida a agricultura, técnicas de fiação e os primeiros trabalhos em metais. Além disso, animais começaram a ser domesticados e constituiu-se organizações sociais.

A segunda grande mudança acontece com a revolução industrial, que se iniciou em meados do século XVIII, caracterizada pela substituição das ferramentas pelas máquinas, da energia humana pela energia motriz e do modo de produção doméstica/artesanal pelo sistema fabril. Nesse período populações se concentraram cada vez mais nas cidades.

O cenário da industrialização expandiu cada vez mais. Passado um século, os sistemas de inovação e o conhecimento científico ampliaram. Contudo o processo de globalização, impulsionado pelo mercado global, resulta na utilização demasiada de recursos naturais. A indústria moderna juntamente à tecnologia alterou o meio ambiente: não somente o ambiente construído nas áreas urbanas, como o restante se fez suscetível ao controle do homem (SCHUSSEL, 2004).

Atualmente, no século XXI, considerado como terceiro período de grandes transformações entre homem e natureza, é evidente o movimento da tecnologia da informação e sua influência nas relações entre o espaço e o tempo, além de contribuir para a alteração da configuração socioespacial das cidades.

No Brasil, o movimento seguiu a tendência mundial. Na década de 1950, apenas aproximadamente 36% da população brasileira residia em ambiente urbano, enquanto em 2010, cerca de 84% da população encontrava-se em áreas urbanas (IBGE, 2010).

O Brasil experimentou, na segunda metade do século XX, uma das mais aceleradas transições urbanas da história mundial. Houve a transformação rápida de um país rural e agrícola em um país urbano e metropolitano, no qual grande parte da população passou a morar em cidades grandes. Hoje, quase dois quintos da população total residem em uma cidade de pelo menos um milhão de habitantes. Julgado em termos do número e tamanho de cidades, do peso das cidades na geração do PIB e do desenvolvimento da rede urbana, pode-se dizer que a urbanização brasileira já atingiu um grau elevado de maturidade. Apesar da precocidade dessa

transição urbana, as cidades brasileiras ainda enfrentam desafios sociais, econômicos e ambientais. Essa mutação abrupta não se processou de forma harmoniosa, tendo sido particularmente difícil.

O avanço da urbanização tem grande impacto sobre o meio ambiente, mas a maioria dos municípios brasileiros não está preparada para o enfrentamento dessa importante questão. Em contraponto, organizações, universidades, empresários, comunidades e indivíduos estão cada vez mais preocupados e mobilizados com a essa questão.

A gestão ambiental urbana surgiu a partir de um novo paradigma estabelecido a partir da Rio-92, unindo as questões urbanas e ambientais, definindo que os problemas ambientais não poderiam estar desvinculados da questão territorial e de infraestrutura urbana, dando concretude à preocupação em manter o equilíbrio entre os sistemas urbanos e ambientais. É necessário o investimento em saneamento, melhoria na gestão de resíduos sólidos (incluindo o desafio de acabar com os lixões), qualidade do ar e retomada da inspeção veicular anual e combate à contaminação da água e do solo urbano, a universalização da distribuição de água tratada e o tratamento de esgotos, o crescimento desordenado e a impermeabilidade do solo.

O poder público deve integrar uma gestão comum voltada à água, esgoto, lixo, qualidade do ar, entre outros, buscando unificar os objetivos econômicos, sociais e ambientais de cada um desses elementos, que são fundamentais para que seja aproximado do conceito de cidade sustentável e dos desafios da expansão física territorial das cidades.

O desenvolvimento urbano deve ser formulado com base em um Plano Diretor, instrumento por excelência da gestão territorial urbana. De acordo com o Estatuto da Cidade, que regulamentou os Artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988, o Plano Diretor se tornou obrigatório para todos os municípios com mais de 20 mil habitantes. Em alguns Estados, como São Paulo, é obrigatório para todas as cidades, independentemente do número habitantes, por força da Constituição Estadual.

O Plano Diretor é um instrumento de gestão voltado para nortear a política pública para a expansão da cidade, definindo diretrizes e prioridades, que precisam ser pautadas com a participação da sociedade para obter respaldo durante sua implantação. Com um plano que contemple o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, será possível ao município mitigar a poluição do ar, a contaminação do solo e das águas, a erosão do solo e desagregação de áreas verdes. Em continuidade, destinará recursos para ampliar e recuperar áreas verdes, proteger mananciais hídricos e encostas e investir em saneamento e habilitação.

No entanto, é recorrente que o Plano Diretor não aborde com profundidade os aspectos ambientais e, principalmente, são falhos no que diz respeito à infraestrutura de drenagem urbana. Essa falha nos planos diretores é problemática porque os sistemas de drenagem são provavelmente os mais sensíveis à urbanização e estão diretamente vinculados com a ocorrência de enchentes e inundações, deslizamentos e, inclusive, disseminação de doenças de veiculação hídrica com consequências negativas do ponto de vista social, ambiental e econômico.

A medida que uma determinada região é ocupada pela população, os impactos desse processo de urbanização começam a surgir, tais como: aumento das vazões máximas (podendo se tornar até 7 vezes maiores) devido ao aumento do escoamento superficial e diminuição da infiltração da água no solo já que as áreas se tornam impermeabilizadas; crescente produção de sedimentos depositados e carreados pelos cursos d'água em razão da falta de proteção das margens e ao aumento na produção de resíduos no entorno; e, por fim, a deterioração dos mananciais, causado pelo lançamento de resíduos e ligações de esgoto indevidas (TUCCI, 1998).

Essa problemática já pode ser observada nas microbacias dos córregos Dona Bicota e Dona Jovita em Santo Antônio do Monte, a ocorrência de inundações na cidade é constante em eventos extremos de chuva. Por isso, o objetivo desse trabalho é fazer um diagnóstico ambiental da situação atual da bacia hidrográfica urbana do córrego Dona Bicota e do córrego Dona Jovita.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo geral elaborar um diagnóstico preliminar da situação da drenagem urbana nos Córregos Dona Bicota e Dona Jovita no município de Santo Antônio do Monte – MG, como forma de conscientizar a população e o poder público para essa temática e subsidiar a elaboração de políticas públicas futuras.

2.2. Objetivos específicos

- Compreender o percurso e destino das águas pluviais por meio da análise das características morfométricas, climáticas e de ocupação das bacias;
- Identificar e examinar as medidas estruturais existentes;
- Discutir como os documentos que regulam a ocupação do solo e o manejo de águas pluviais no município tratam a drenagem urbana, buscando demonstrar as consequências sociais, econômicas e ambientais do aumento das áreas impermeáveis;
- Propor metodologia para estudo de mancha de inundação.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O processo de urbanização

Nas últimas décadas, a população urbana no Brasil tem crescido de forma acelerada e uma das consequências é a expansão da área urbanizada, em geral, de forma irregular (Tabela 1). A expansão da área urbana de forma irregular é um fator preocupante quando se analisa a gestão das águas, já que muitas vezes essa expansão de área ocorre sobre áreas de mananciais de abastecimento humano, comprometendo a sustentabilidade hídrica das cidades.

Concomitantemente, a expansão urbana gerou grandes regiões metropolitanas onde, de acordo com Tucci (1997a), o crescimento das periferias geralmente não segue normas específicas relacionadas ao Plano Diretor, dificultando o ordenamento de ações relacionadas a gestão das águas, em especial a drenagem de águas urbana.

Tabela 1 - Evolução da população no Brasil e taxa de Urbanização

Ano	**População *(hab)***	**População Urbana *(%)***
1950	51.944.397	36,16
1960	70.992.343	44,67
1970	94.508.583	55,92
1980	121.150.573	67,59
1991	146.917.459	75,59
2000	169.590.693	81,23
2010	190.755.799	84,36

Fonte: IBGE (2010).

Entende-se por drenagem urbana, conjunto de medidas que tenham como objetivo minimizar os riscos às populações e prejuízos causados por inundações, possibilitando assim, o desenvolvimento urbano harmônico, articulado e sustentável.

3.2. Drenagem da água na civilização

Ao longo dos anos a drenagem urbana tem passado por diversos tipos de entendimento e as soluções de drenagem urbana são influenciadas por vários fatores como o clima, a topografia, a geologia, o conhecimento científico, a capacidade de engenharia e construção, os valores sociais e até as crenças religiosas (MATIAS, 2016).

Desde os primórdios da humanidade, a viabilidade dos rios serem empregados como fontes de água para o consumo humano, agricultura, vias de transporte de cargas, fonte de energia e lazer, estimulou nos seus arredores a inserção de aglomerados humanos (TUCCI & BERTONI, 2003). Relatos históricos de antigas civilizações sugerem que os sistemas de drenagem urbana foram construídos e aprimorados sem o recurso a cálculos de engenharia, sendo desenvolvidos através de processos de tentativa-erro com a finalidade de coletar a água da chuva evitando inundações (BURIAN; EDWARDS, 2002). No entanto, a falta de otimização e a utilização de métodos de construção rudimentares, não impediram que sistemas de drenagem urbana antigos fossem bem-sucedidos.

De acordo com Matias (2016), o império da mesopotâmia marcou grandes avanços na civilização durante o 2º milênio antes de Cristo. As cidades mesopotâmicas continham sistemas de drenagem pluvial e residual bem construídos e eficazes, com o propósito de manter as cidades mais limpas. O autor aborda sobre dois grandes exemplos deste tipo de construções, as cidades de Ur e Babilónia, localizadas atualmente na região do Iraque, onde a água da chuva era coletada para uso doméstico e irrigação. Silveira (2002) afirma que:

> "A drenagem pluvial como ação pública não evoluiu em decorrência da modernização de práticas de engenharia em busca do conforto, mas sim de uma recomendação de profilaxia médica. Evidentemente, coube aos engenheiros e urbanistas a tarefa de materializá-la em obras e integrá-la ao espaço urbano, mas, infelizmente, isso só teve um impulso maior com a ocorrência de epidemias de cólera em grandes cidades do mundo no século XIX, destacando-se, na Europa, as epidemias dos anos 1832 e 1849. Entre 1850 e o fim do século XIX muitas cidades importantes do mundo, principalmente as capitais europeias, foram dotadas de grandes redes subterrâneas unitárias de esgotos (esgotos pluviais e cloacais conduzidos pelos mesmos condutos)."

De acordo com Baptista e Nascimento (2002), o progresso das aglomerações urbanas, principalmente a partir do século XIX, trouxe dificuldades e desconforto resultantes da precariedade da infraestrutura de controle da presença de águas nas cidades, tanto as do meio "natural" (cursos d'água, áreas úmidas, lagos) quanto as águas de origem pluvial e as águas servidas. No entanto, sob outra perspectiva, a evolução da microbiologia e da epidemiologia no mesmo período apresentava vigoroso avanço, associado a preceitos positivistas, voluntariamente voltados a um maior controle técnico sobre o meio natural e a organização

social, contribuíram significativamente para uma mudança radical de concepção das relações entre urbanismo e a presença de águas nas cidades.

Ainda nesta época instituiu-se concepções de sistemas de drenagem de águas pluviais e do esgotamento sanitário através de redes subterrâneas de tubulações e a canalização quase generalizada de cursos d'água em meio urbano. Os motivos em especial desses conceitos e técnicas de fundamentação higienista eram a melhoria das condições de circulação e conforto, assim como a prevenção de doenças de veiculação hídrica. Após esse período foi possível observar, a atenuação constante do papel dos cursos d'água no quadro urbanístico, como elemento paisagístico e como fator de embelezamento das cidades (BAPTISTA & NASCIMENTO, 2002).

Em função do intenso desenvolvimento industrial no final do século XIX e início do século XX, segundo Baptista e Nascimento (2002), tornou-se fundamental um estudo mais elaborado do escoamento dos fluidos. Porém, a frequente evolução da tecnologia, com a incorporação de métodos numéricos e computacionais cada vez mais eficazes, permite evidenciar uma perspectiva de intenso desenvolvimento na Engenharia Hidráulica. De acordo com o autor, no contexto atual, a Engenharia Hidráulica pode ser estabelecida como sendo a área da Engenharia que representa a aplicação dos conceitos da Mecânica dos Fluidos a fim de resolver problemas relacionados à captação, armazenamento, controle, transporte e uso da água. Consequentemente, pode-se constatar que a Engenharia Hidráulica exerce um papel de grande importância em diversas modalidades de Engenharia, complementando-se também em diversos outros campos profissionais.

A água se faz presente em diversas atividades do homem, sendo assim, ela é empregada com várias finalidades, como abastecimento público e doméstico, os usos agrícola e industrial e a produção de energia elétrica. Na área de estudo específica da Engenharia de Recursos Hídricos, a Engenharia Hidráulica aplica-se de fato em muitos tipos de empreendimentos, como sistemas hidráulicos de geração de energia, obras de infraestrutura, tais como canais, portos, hidrovias, eclusas, etc. (BAPTISTA & COELHO, 2002)

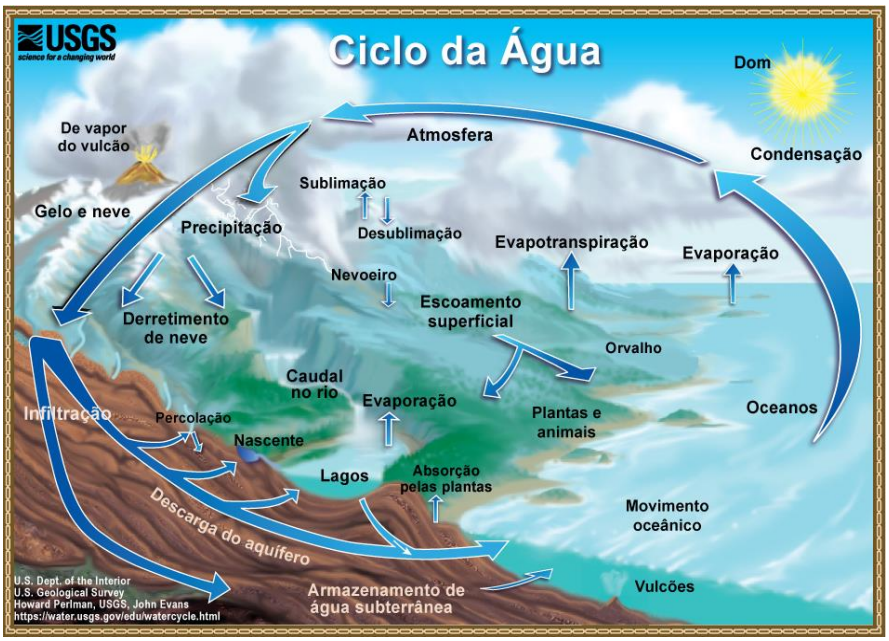
3.3. Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico é o foco central da hidrologia. De acordo com Tundisi (2003), os principais fatores que impulsionam o ciclo hidrológico são a energia térmica solar, a força dos ventos, que transportam vapor d'água para os continentes, a força da gravidade responsável pelos fenômenos da precipitação, da infiltração e deslocamento das massas de água. O volume

de água na Terra, consiste na chamada hidrosfera, onde a água circula continuamente pelos reservatórios, como pode-se observar na Figura 1, sob a ação dos fatores citados. De acordo com Chow *et. al* (1988), o ciclo pode ser dividido em três subsistemas:

> 1) o sistema de água atmosférica, contendo os processos de precipitação, evaporação, intercepção e transpiração;
>
> 2) o sistema de águas superficiais, que contém os processos de escoamento terrestre, escoamento superficial, escoamento subterrâneo e escoamento secundário para córregos e oceano; e
>
> 3) o sistema de água subterrânea, que combina os processos de infiltração, recarga de águas subterrâneas, fluxo subterrâneo e fluxo de águas subterrâneas.

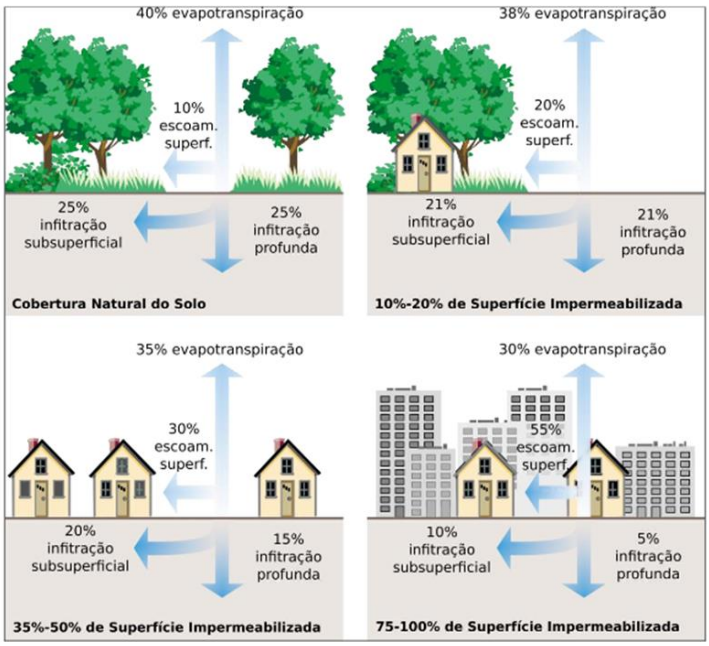
Figura 1 - Ciclo da água e seus diversos subsistemas.



Fonte: United States Geological Survey (USGS), 2019.

Com o processo de urbanização de forma desordenada, há aumento do movimento de águas superficiais, além de diminuição da recarga dos aquíferos. Deste modo, sem diretrizes de ocupação, o ciclo hidrológico é gravemente impactado, provocando mudanças extremas na drenagem. Como está demonstrado na Figura 2, com a urbanização o particionamento da precipitação em evapotranspiração, escoamento superficial e infiltração é modificado. Com aumento das áreas urbanizadas, há aumento da impermeabilidade da superfície, o que aumenta o escoamento superficial. Além disso, com o aumento da urbanização há redução da área de vegetação, o que diminui a evapotranspiração.

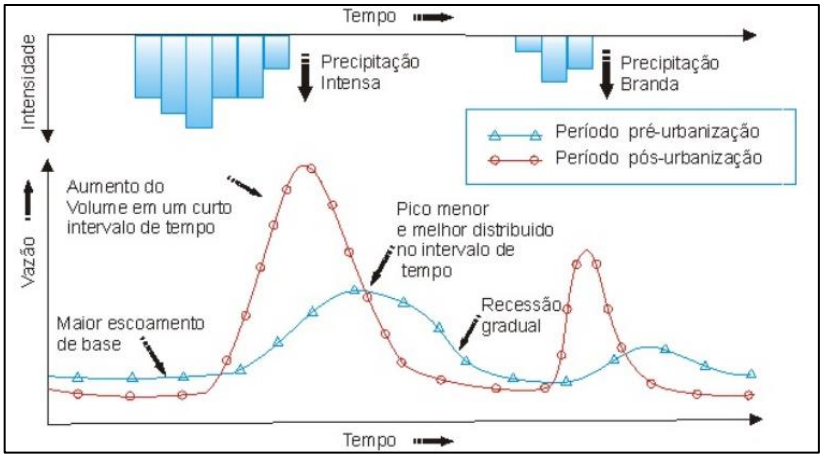
Figura 2 - Relação entre a superfície impermeável e o escoamento superficial.



Fonte: Adaptado de FISRWG (1998).

Como consequência desse aumento do escoamento superficial, há modificação na dinâmica da vazão dos rios. Como exemplo, a Figura 3 apresenta o hidrograma demonstrativo do efeito de eventos de precipitação antes (curva em azul) e depois (curva em vermelho) de um processo de urbanização. É possível perceber que, devido a impermeabilização do solo e o consequente aumento do escoamento superficial, o pico da vazão ocorre de forma mais rápida e uma quantidade de água maior após a urbanização, ocasionando um volume de água demasiado em curto intervalo de tempo a ser gerenciado nas cidades.

Figura 3 - Alterações no hidrograma de escoamento superficial devido a urbanização.



Fonte: (REIS; OLIVEIRA; SALES, 2005).

Apesar do volume de água presente no planeta ser constante e o ciclo ser considerado de certa forma fechado a nível global, os balanços hídricos quase sempre se aplicam a unidades hidrológicas que devem ser tratadas como sistemas abertos.

O ciclo hidrológico é normalmente estudado com maior interesse na fase terrestre, onde o elemento fundamental de análise é a bacia hidrográfica (TUCCI *et. al.*, 2004). Na prática, a bacia hidrográfica é assumida como unidade hidrológica, principalmente pela simplicidade que oferece para a aplicação do equacionamento em estudos relacionados à disponibilidade de água, enchentes e inundações, aproveitamentos hídricos para irrigação e geração de energia, dentre outros.

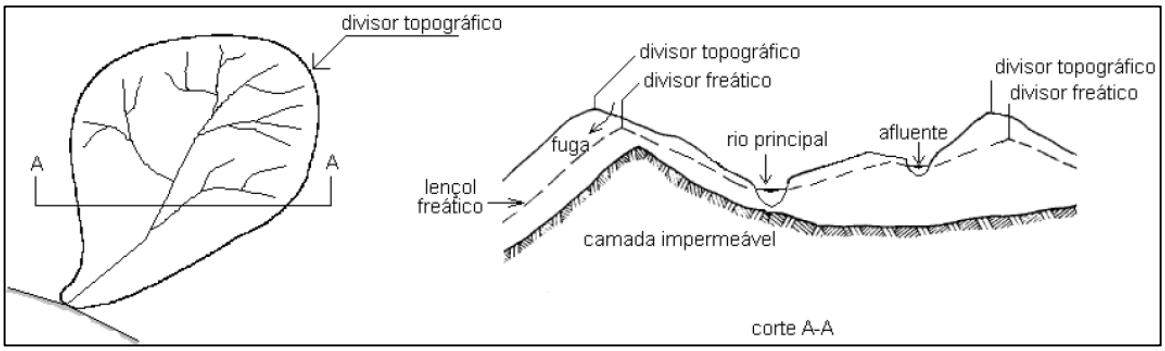
Segundo Santana (2003), uma bacia hidrográfica é uma porção geográfica delimitada por divisores de água, englobando toda a área de drenagem de um curso d'água. É uma unidade geográfica natural e seus limites foram estabelecidos pelo escoamento das águas sobre a superfície, ao longo do tempo. É, portanto, o resultado da interação da água com outros recursos naturais.

3.4. Bacia hidrográfica

A determinação da bacia hidrográfica é considerada uma das diretrizes para estudos da Avaliação de Impacto Ambiental pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 001/1986, Artigo 5º, inciso III, que afirma: "... definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza". Além disso, a Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) baseada em vários fundamentos, dentre eles, a afirmação de que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a execução da PNRH e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH).

O contorno ou divisor de uma bacia hidrográfica (Figura 4) é estabelecido pela linha de cumeada, pontos de elevação máxima entre bacias, tais pontos representam a divisão das precipitações em bacias vizinhas, encaminhando o escoamento superficial para um ou outro sistema fluvial. São considerados três, os divisores de uma bacia: geológico, freático e topográfico. O mais utilizado devido a facilidade, denominado topográfico, segue uma linha rígida em torno da bacia, sendo interceptada pelo curso d'água apenas na seção de saída.

Figura 4 – Corte transversal de uma bacia.



Fonte: (VILELA; MATTOS, 1975)

Consideram-se dados fisiográficos de uma bacia hidrográfica todos aqueles dados que podem ser extraídos de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite, como área de drenagem, uso da terra, cobertura vegetal, tipo de solo, forma e drenagem, distribuição do relevo, altitude média, comprimento do rio principal, declividade da bacia e reservatórios naturais. Mais detalhes sobre cada um desses dados fisiográficos é abordado nas seções seguintes.

Outros fatores importantes que também influenciam no escoamento superficial, porém que não serão abordados nas próximas seções, são os fatores climáticos: tipo da precipitação, intensidade da chuva, distribuição da chuva na região, direção do deslocamento temporal, chuva antecedente, evaporação, umidade do solo antecedente, evaporação, transpiração dentre outros.

3.4.1. Área de drenagem

A área de drenagem de uma bacia é a área plana (projeção horizontal) inclusa entre seus divisores topográficos. A área de uma bacia é o elemento básico para cálculo das outras características físicas (VILLELA; MATTOS, 1975).

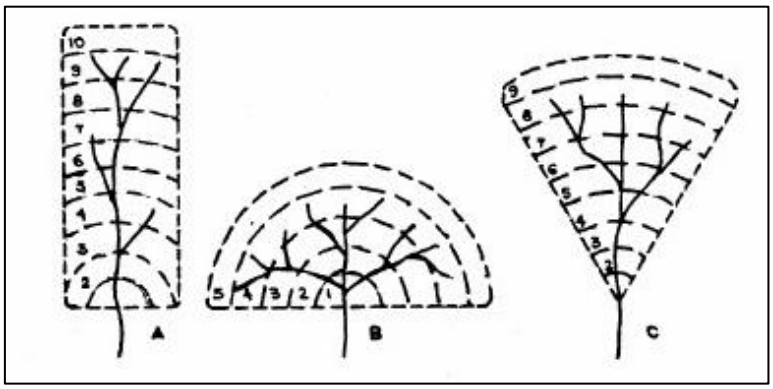
De acordo com Tucci (2004), a área da bacia (representada geralmente por A) é um dado essencial para definir a potencialidade hídrica da bacia hidrográfica, pois seu valor multiplicado pela lâmina da chuva precipitada indica o volume de água recebido pela bacia. Desse modo, tem-se como a área da bacia hidrográfica, a sua área projetada verticalmente. O autor afirma que, uma vez definidos os contornos da bacia, a sua área pode ser adquirida através de planimetragem direta de mapas que possuem projeção vertical incorporada. Também é possível determinar a área de uma bacia por cálculos matemáticos de mapas arquivados eletronicamente através do SIG (Sistema de Informação Geográfica).

3.4.2. Forma da bacia

A forma superficial de uma bacia hidrográfica é de grande importância devido ao tempo de concentração, definido como o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda bacia contribua na seção em estudo ou, em outras palavras, tempo que leva a água dos limites da bacia para chegar à saída da mesma. (VILLELA; MATTOS, 1975)

A bacia hidrográfica apresenta um formato após a definição de seu contorno. Este formato possui influência sobre o escoamento global. Na Figura 5 são ilustradas três bacias contento áreas iguais e submetidas a precipitação de mesma intensidade, no entanto com formatos diferentes.

Figura 5 - Efeito da forma da bacia hidrográfica



Fonte: (WILSON, 1969, *apud* STUDART, 2002)

As bacias apresentadas na Figura 5 foram divididas em segmentos concêntricos, onde todos os pontos se encontram a uma mesma distância do ponto de controle. Percebe-se que, enquanto a bacia A levará 10 unidades de tempo para que todos os pontos da bacia contribuam para o escoamento superficial em estudo, a bacia B levará 5 e a bacia C, 8,5 unidades de tempo. A água escoada chegará ao rio principal mais rápido na bacia B, depois em C e A. Portanto, as bacias de mesma área, aquelas arredondadas são mais suscetíveis a inundações nas suas partes baixas que as alongadas. O coeficiente de compacidade e o fator de forma são índices utilizados para descrever a forma de uma bacia.

3.4.3. Sistema de drenagem

O rio principal juntamente aos seus efluentes (todos os cursos d'água, sejam eles perenes, intermitentes ou efêmeros) constituem o sistema de drenagem. O estudo das ramificações e do desenvolvimento do sistema é importante, pois indica a maior ou a menor velocidade com que a água deixa a bacia (VILLELA; MATTOS, 1975). A bacia bem drenada possui menor tempo

de concentração, ou seja, o escoamento superficial concentra-se mais rapidamente e os picos de enchente são altos.

Uma rede de drenagem pode ser caracterizada pela ordem dos cursos d'água, densidade de drenagem, extensão média do escoamento superficial e sinuosidade do curso d'água.

A ordem dos rios é uma classificação que reflete o grau de ramificação dentro de uma bacia. O critério descrito a seguir foi introduzido por Horton e modificado por Strahler (1950):

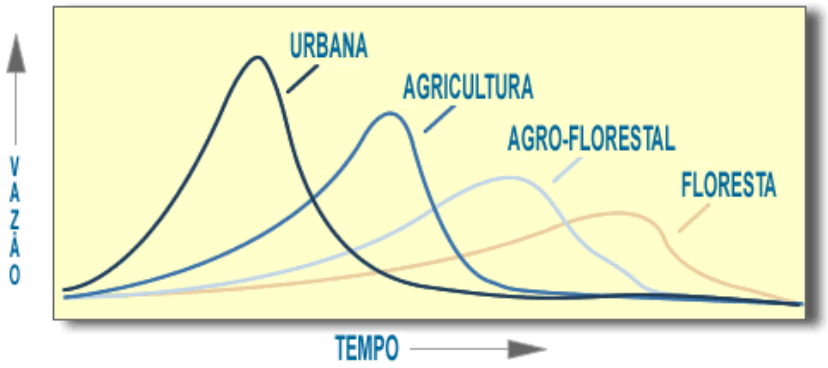
> "Designam-se todos os afluentes que não se ramificam (podendo desembocar no rio principal ou em seus ramos) como sendo de primeira ordem. Os cursos d' água que somente recebem afluentes que não se subdividem são de segunda ordem. Os de terceira ordem são formados pela reunião de dois cursos d' água de segunda ordem, e assim por diante." (STRAHLER, 1950 *apud* STUDART, 2002)

3.4.4. Uso do solo

O desenvolvimento econômico e a expansão das fronteiras agrícolas produziram alterações significativas na superfície e no uso do solo rural em países em desenvolvimento como o Brasil (TUCCI & CLARKE, 1997). De acordo com os autores, as modificações naturais e artificiais na cobertura vegetal das bacias hidrográficas influenciam o seu comportamento hidrológico.

Na Figura 6 é apresentado um exemplo de como o uso do solo influencia nas descargas máximas e no tempo decorrido desde o início das chuvas até a vazão máxima, período denominado tempo de concentração da bacia. Enquanto para o uso do solo urbano a resposta da vazão ao evento de chuva ocorre rapidamente, para uso de solo com vegetação natural (floresta) é mais lento.

Figura 6 - Vazões máximas em vários tipos de cobertura.



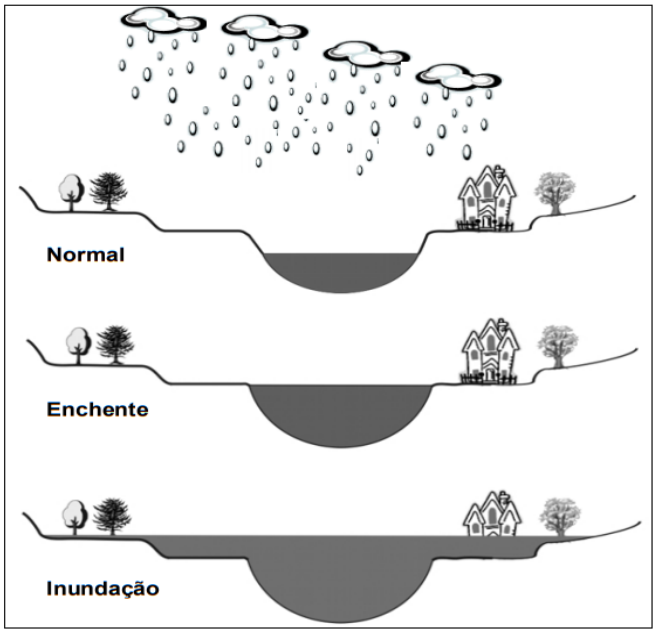
Fonte: UFRRJ (2019).

A impermeabilização do solo nos grandes centros geralmente ocorre sem levar em consideração as necessidades de escoamento pluvial e de sua infiltração. Somam-se a estes fatores as modificações da topografia natural do terreno, que por muitas vezes acaba por diminuir o tempo de concentração da bacia, além da retificação de rios (DA SILVA, 2016). Estes elementos contribuem para o advento de inundações em precipitações intensas, ou mesmo para precipitações medianas que antes não representavam riscos.

3.5. Inundações

A variação do nível ou de vazão de um rio depende das características climatológicas e físicas da bacia hidrográfica (TUCCI, 2003). De acordo Goerl e Kobiyama (2005), quando as águas do rio se elevam até a altura de suas margens, contudo sem transbordar nas áreas adjacentes, é correto dizer que ocorre uma enchente. A partir do momento em que as águas transbordam, ocorre uma inundação, como pode se observar na Figura 7.

Figura 7 - Elevação do nível de um rio provocada pelas chuvas.



Fonte: GOERL & KOBIYAMA (2005).

A *previsão* dos níveis num rio pode ser realizada em curto ou em longo prazo. A previsão de cheia em curto prazo ou em tempo atual permite estabelecer o nível e seu tempo de ocorrência para a seção de um rio com antecedência que depende da previsão da precipitação e

dos deslocamentos da cheia na bacia. Este tipo de previsão é utilizada para alertar a população ribeirinha e operadores de obras hidráulicas. A previsão de cheia em longo prazo é realizada com até nove meses de antecedência (TUCCI, 2003).

A *predição* quantifica as chances de ocorrência da inundação em termos estatísticos, sem precisar quando ocorrerá a cheia. A predição se baseia na estatística de ocorrência de níveis no passado e permite estabelecer os níveis de enchente para alguns riscos escolhidos (TUCCI, 2003). O conhecimento prévio de possíveis impactos em áreas sensíveis às inundações é fundamental para que os órgãos responsáveis possam elaborar projetos e realizar medidas de mitigação.

Em decorrência do ciclo hidrológico das águas, a inundação do leito maior dos rios ocorre de forma natural. De acordo com Tucci (2005), quando a população ocupa o leito maior, que são áreas de risco, os impactos são frequentes. Condições que advém em consequência das seguintes ações: O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano das cidades geralmente não leva em consideração restrições relacionadas à ocupação das áreas de risco de inundação, o fato de haver uma sequência de anos sem enchentes é um dos motivos para que estas áreas sejam desmembradas para ocupação; A invasão de áreas ribeirinhas, pertencentes ao poder público, por parte da população de baixa renda; e a ocupação de áreas de médio risco, que não são atingidas com frequência, porém, ao serem atingidas podem sofrer prejuízos significativos (TUCCI, 2005).

O zoneamento de áreas inundáveis é realizado a partir da definição do risco de inundação de diferentes cotas e o respectivo mapeamento. A regulamentação ou zoneamento das áreas ribeirinhas definirá tipos de ocupação que serão permitidas nas regiões de maior ou menor risco à inundação e deve fazer parte do plano diretor da cidade. O mapeamento das planícies de inundação é um recurso fundamental para a determinação do uso e ocupação do solo de uma cidade e o direcionamento das expansões urbanas. Este recurso facilita a elaboração do Plano de Defesa Civil onde são estabelecidas ações individuais e corretivas com finalidade de minimizar perdas durante as enchentes (CASTILHO *et al.*, 2004).

Estudos baseados em modelos dinâmicos em Sistema de Informação Geográfica (SIG) possibilitam a antecipação de eventos, simulando os efeitos da urbanização em uma bacia antes que ela ocorra, para assim elaborar medidas preventivas a favor de eventos, como enchentes e impactos nas alterações de rios (TUCCI, 2005). A modelagem hidráulica integrada empregando o HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*) permite a análise e simulação do da área delimitada pelas seções transversais e pelos parâmetros construtivos.

3.6. Drenagem urbana

Diante do cenário de urbanização exposto nos itens anteriores, os estudos e a aplicação de a aplicação de novas soluções estruturais, notadamente para adequação de sistemas existentes, ganharam impulso nas duas últimas décadas. (CANHOLI, 2015)

Para se ter um sistema de drenagem urbana eficiente, os municípios devem aliar aos planos ligados ao saneamento, um planejamento urbano e uma política de controle de uso do solo. Cabe destacar o importante papel que os planos diretores de drenagem urbana possuem, de acordo com Canholi (2015):

> "A visão de que os problemas de drenagem devem ser tratados de forma integrada com outros problemas urbanos ligados à água é fundamental. É essencial a conexão do planejamento da cidade com o planejamento do uso da água urbana, tratado no âmbito da pequena bacia hidrográfica urbana. Nas megacidades, esses problemas transcendem os limites dos municípios e devem ser tratados de forma integrada, considerando as conexões hídricas existentes, independente das divisões administrativas. Outra questão fundamental é a necessidade de se executar o planejamento de modo disciplinar e participativo. Os grandes fracassos do saneamento nas cidades brasileiras estão relacionados a projetos setoriais, executados sem a visão holística dos problemas urbanos atuais. A drenagem urbana apresenta interface com diversos elementos da infraestrutura urbana e deve ser tratada de modo especial, cabendo destacar o papel que ela exerce em relação a fatores socioeconômicos e ambientais, sobretudo na recuperação e restauração de áreas degradadas pela urbanização depredatória."

3.6.1. Microdrenagem e macrodrenagem

A microdrenagem é a estrutura, que tem como função coletar e transportar a água escoada a fim de reduzir parte do volume do escoamento ou complementar um sistema de macrodrenagem. De acordo com Santos Junior (2014), pode-se descrever 12 elementos dos sistemas de microdrenagem, sendo eles:

- Guias: tem a função de limitar o passeio e o leito carroçável (ruas, avenidas, rodovias), sendo comumente chamado de meio-fio;
- Sarjetas: são utilizadas para a fixação das guias e para formar o local por onde a água irá escoar, conduzindo-as até os pontos de coleta;

- Sarjetões: canal longitudinal geralmente triangular localizado entre a guia e o leito carroçável, interligando as sarjetas ou destinando as águas pluviais para os pontos de coleta são constituídos de paralelepípedos ou de concreto;
- Bocas de lobo: são dispositivos que captam águas pluviais sendo assim encontrados nas sarjetas, é o instrumento mais usual de captação. Faz conexões da caixa até as galerias pluviais e caixa de captação, apresenta a possibilidade de serem ligados em série com outras bocas de lobo;
- Caixas com grelhas ou ralos: servem para as captações verticais de água pluviais. Devem ser utilizadas e locais planos, ou seja, com ausência de declividade transversal;
- Bocas contínuas de captação: são usualmente utilizadas onde há um corpo hídrico receptor por perto, como por exemplo, avenidas marginais aos rios;
- Canaletas de topo e pé de talude: as canaletas são empregadas na intercepção e no encaminhamento de águas pluviais para garantir a proteção do topo e pé de taludes;
- Galerias de condução de águas pluviais: as águas que foram coletadas pelos implementos de captação que são as bocas de lobo o as caixas de grelhas são formadas por tubo de ligação. Assim, essa tubulação conectada direciona as águas para uma canalização principal, cujos diâmetros variam de 300 mm a até 2000 mm;
- Poços de visitas: são dispositivos predestinados a permitir visitas de inspeção, limpeza e também a desobstrução de tubulações e galerias enterradas, geralmente são instaladas em cruzamento de ruas;
- Rampas e escadarias hidráulicas: são canais com pequenas extensões utilizados para direcionar águas localizadas em um ponto alto para pontos mais baixos;
- Dispositivos de chegada de águas pluviais nos córregos ou rios: deprecia a ocorrência das erosões ou de perturbações no corpo receptor. São utilizadas pedras para assoalhar ou concreto para que o derramamento de água pluvial nos canais, rios e córregos não acarretem em erosão.
- Revestimento de taludes: os taludes são superfícies de alto grau de inclinação e as águas ao escoarem por essa superfície adquirem grande velocidade, causando assim a erosão. Por isso, é necessária a construção de canaletas de topo e de pé ou revestir o talude com uma leve camada de asfalto ou cobri-lo com grama.

Já a macrodrenagem, é entendida por Tucci (1993) como sistema que envolve áreas superiores à 2 km² em média, sendo tratadas como intervenções em fundos de vale que coletam águas pluviais de áreas providas de sistema de microdrenagem ou não.

3.6.2. Medidas estruturais e medidas não estruturais

As medidas de correção e/ou prevenção tem como objetivo minimizar os danos de inundações podem ser classificadas em estruturais, quando o homem modifica o rio, e em não estruturais, quando o homem convive com o rio (TUCCI, 2007). O autor afirma ainda que no primeiro caso, encontram-se medidas de controle através de obras hidráulicas, como por exemplo, barragens, diques e canalização. Já no segundo caso, encontram-se medidas de caráter preventivo, como zoneamento de áreas de inundação, alerta e seguros. É perceptível que as medidas estruturais requerem maiores gastos financeiros que as medidas não estruturais.

As medidas estruturais são denominadas por Canholi (2015) como obras de engenharia, que podem ser classificadas como medidas intensivas e extensivas (Tabela 2). De acordo com Tucci (2005), as medidas extensivas são aquelas que agem na bacia com o objetivo de alterar as relações entre precipitação e vazão, como a modificação da cobertura vegetal do solo, que reduz e retarda os picos de enchente e controla a erosão da bacia. Já as medidas intensivas são aquelas que agem no rio e podem ser de três tipos: (a) medidas que aceleram o escoamento: construção de diques e *polders*, aumento da capacidade de descarga dos rios (canais) e corte de meandros; b) medidas que retardam o escoamento: Reservatórios e as bacias de amortecimento; e c) desvio do escoamento, são obras como canais de desvios (SIMONS *et al.*, 1977, *apud* TUCCI, 2005.)

As principais características das medidas estruturais, resumidas por Tucci (2003) são:

- Controle da cobertura vegetal: interfere no processo precipitação-vazão, reduzindo as vazões máximas, devido amortecimento do escoamento;
- Controle da erosão do solo: realizado através de reflorestamento, estabilização de margens de rios, aumentando o nível de rios;
- Diques e *polders*: muros laterais de terra ou concreto, inclinados ou retos, construídos a uma determinada distância das margens com o objetivo de proteger áreas ribeirinhas contra o extravasamento.

Tabela 2 - Medidas estruturais intensivas e extensivas.

	Medida	Aplicação
Extensiva	Alteração da Cobertura vegetal: Redução do pico de cheia;	Pequenas bacias
	Controle de perda do Solo: Reduz assoreamento;	Pequenas bacias
Intensivas	Redução da rugosidade por desobstrução no canal: Aumento da vazão com pouco investimento, porém o efeito é localizado.	Pequenos rios
	Corte de meandro no canal: Amplia a área protegida e acelera o escoamento, mas não é recomendado para rio com fundo aluvionar.	Área de inundação estreita
	Reservatórios com comportas: Mais eficiente com o mesmo volume, mas possui vulnerabilidade a erros humanos.	Projetos de usos múltiplos
	Reservatórios para cheias: Operação com mínimo de pedras.	Restrito ao controle de enchentes
	Mudança do caminho da cheia no canal: Amortecimento de volume.	Grandes bacias
	Desvios no canal: Reduz vazão do canal.	Bacias médias

Fonte: Adaptado de Simons *et al.* (1977, *apud* TUCCI, 2005)

As medidas não estruturais, juntamente com as medidas estruturais ou não, podem diminuir consideravelmente os prejuízos com um custo menor. De acordo com Tucci (2005), as principais medidas não estruturais são do tipo preventiva como:

- Previsão e alerta de inundação: envolve aspectos de sistema de coleta e transmissão de informações climáticas e hidrológicas, centro de previsão para processamento de informações e defesa civil;
- Zoneamento das áreas de risco de inundação: regulamentação do uso das zonas de inundação baseada em mapas com demarcação de áreas de diferentes riscos;
- Construção à prova de enchente: medidas projetadas para reduzir as perdas de prédios localizados nas várzeas de inundação durante a ocorrência das cheias;

- Seguro e proteção individual contra inundação: procedimento preventivo viável para empreendimentos que possuem valor agregado onde os proprietários tem capacidade econômica de pagar o prêmio do seguro.

O gasto necessário de proteção de uma área suscetível à inundação com medidas não estruturais é menor ao de medidas estruturais. Para que haja eficácia nesse método é essencial que se tenha participação da comunidade local juntamente com o poder público.

3.7. Contaminação dos recursos hídricos

No passado, o planejamento de ocupação nas bacias era mínimo – levando em consideração apenas o menor custo de implantação e o máximo aproveitamento para os usuários – e a questão de cuidados e preservação do meio ambiente raramente era apreciada. Dessa forma, o crescimento populacional e a exploração da água causaram grandes impactos e consequentemente a degradação dos recursos naturais (ANA, 2019).

A urbanização, além de causar efeitos sobre o escoamento, também está relacionada a outros impactos como o aumento na produção de sedimentos e a deterioração da qualidade da água drenada pelos esgotos pluviais, podendo causar contaminação dos aquíferos.

Devido às construções, limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias, entre outras causas, Tucci (2007) afirma que é significativo o aumento dos sedimentos produzidos pela bacia hidrográfica no processo de desenvolvimento urbano. De acordo com o autor, algumas consequências ambientais relacionadas à produção de sedimentos são o assoreamento da drenagem (reduzindo a capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos), transporte de substâncias poluentes que podem estar agregadas aos sedimentos e risco do acumulo de lixo na drenagem, um dos principais problemas para o funcionamento dos dispositivos de detenções na drenagem urbana.

Ao tratar do assunto resíduos sólidos, Tucci (2005) estabelece que o valor total de sólidos produzido pela sociedade e pelo ambiente é o somatório do total coletado, do total da limpeza urbana e do total que chega na drenagem. Dessa forma, foi proposta descrição de estágios observados durante o desenvolvimento urbano:

> "(a) *estágio de pré-desenvolvimento*: a bacia hidrográfica naturalmente produz uma quantidade de sedimentos transportada pelos rios devido às funções naturais do ciclo hidrológicos;
> (b) *estágio inicial de desenvolvimento urbano:* quando ocorre modificação da cobertura da bacia, pela retirada da sua proteção natural, o solo fica desprotegido e a erosão aumenta no período chuvoso, aumentando também a

> produção de sedimentos. Exemplos desta situação são: enquanto um loteamento é implementado o solo fica desprotegido; ruas sem pavimento; erosão devido ao aumento da velocidade do escoamento à montante por áreas urbanizadas; na construção civil for falta de manejo dos canteiros de obras áreas onde ocorre grande movimentação de terra. Todo este volume é transportado pelo escoamento superficial até os rios. Nesta fase, existe predominância dos sedimentos e pequena produção de lixo;
>
> (c) *estágio intermediário:* parte da população está estabelecida, ainda existe importante movimentação de terra devido a novas construções. Em função da população estabelecida existe também uma parcela de resíduos sólidos que se soma aos sedimentos;
>
> (d) *estágio de área desenvolvida:* nesta fase praticamente todas as superfícies urbanas estão consolidadas, resultando uma produção residual de sedimentos em função das áreas não impermeabilizadas, mas a produção de lixo urbano chega ao seu máximo com a densificação urbana." (TUCCI, 2005)

Além dos impactos nas regiões centrais, os municípios se deparam com a exportação de poluição e inundações para os trechos dos rios a jusante das cidades. Tais regiões tiveram crescimento reduzido em seu núcleo, expandindo na periferia, onde estão concentrados mananciais intensificando os efeitos. Sendo assim, há uma propensão por buscas de novos mananciais, mais afastados e com maior custo. Neste contexto, Tucci (2005) observa a ineficiência pública:

> "• A grande perda de água tratada nas redes de distribuição urbana. Não é racional o uso de novos mananciais quando as perdas continuam em níveis tão altos. As perdas podem ser de faturamento e físicas, as primeiras estão relacionadas com a medição e cobrança e a segunda devido a vazamento na rede;
>
> • Quando existem, as redes de tratamento não coletam esgoto suficiente, da mesma forma, as estações de tratamento continuam funcionando abaixo da sua capacidade instalada. O investimento na ampliação da cobertura não leva ao atendimento das Metas do Milênio aprovado nos Fóruns internacionais;
>
> • A rede de drenagem pluvial apresenta dois problemas: (a) além de transportar o esgoto que não é coletado pela rede de esgoto sanitário, também transporta a contaminação do escoamento pluvial (carga orgânica, e metais); (b) a construção excessiva de canais e condutos, apenas transferem as inundações

> de um local para outro dentro da cidade, a custos insustentáveis para os municípios."

Diante desse cenário, de acordo com o Ministério da Saúde, o Brasil, que possui potenciais de água doce extremamente favoráveis para os diversos usos, depara-se com características do recurso natural renovável sendo drasticamente afetadas em várias regiões do país (BRASIL, 2006).

A redução de qualidade da água pode provocar a descaracterização de um curso d'água e/ou lençol freático, morte de vida aquática, impossibilidade de uso da água para finalidades nobres, industriais e turísticas, desequilíbrio entre espécies animais podendo ocorrer extinção das espécies endêmicas e alta proliferação de outros e doenças (VASCONCELOS, 2016). Porém, esse contexto não significa que as atividades humanas devem ser interrompidas, e sim o oposto, deve-se prosseguir no uso desses recursos, com planejamento e responsabilidade. Para que haja um equilíbrio entre a utilização de recursos naturais e o desenvolvimento humano existem tecnologias e aparatos legais a fim de garantir a preservação dessas regiões.

3.8. Legislação urbana e drenagem

Segundo Tucci (1998), um dos impactos causados pela urbanização sem planejamento é o aumento das vazões dos cursos d'água, o que causa as inundações. Por isso, para se ter um sistema de drenagem urbana eficiente, os municípios devem aliar aos planos ligados ao saneamento, um planejamento urbano e uma política de controle de uso do solo.

A Política Nacional de Saneamento (Lei Federal n° 11.445/2007) abelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. De acordo com o Art. 2º, os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base nos seguintes princípios fundamentais:

> "I - universalização do acesso;
> II - integralidade, compreendida como o conjunto de todas as atividades e componentes de cada um dos diversos serviços de saneamento básico, propiciando à população o acesso na conformidade de suas necessidades e maximizando a eficácia das ações e resultados;
> III - abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente;
> IV - disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes, adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado;
> V - adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais;

> VI - articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social voltadas para a melhoria da qualidade de vida, para as quais o saneamento básico seja fator determinante;
> VII - eficiência e sustentabilidade econômica;
> VIII - utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas;
> IX - transparência das ações, baseada em sistemas de informações e processos decisórios institucionalizados;
> X - controle social;
> XI - segurança, qualidade e regularidade;
> XII - integração das infra-estruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos.
> XIII - adoção de medidas de fomento à moderação do consumo de água." (BRASIL, 2007)

Os Planos de Recursos Hídricos são instrumentos de planejamento que servem para orientar a sociedade e, mais particularmente, a atuação dos gestores, no que diz respeito ao uso, recuperação, proteção, conservação e desenvolvimento dos recursos hídricos (ANA, 2019). Para consolidar os conceitos, a Lei Estadual nº 13.199/1999 dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências, dentre elas a responsabilidade do Estado de Minas Gerais sobre fatores relacionados a eventos hidrológicos. De acordo com o Art. 7º dessa lei:

> "O Estado celebrará convênios de cooperação mútua e de assistência técnica e econômico-financeira com os municípios, para a implantação de programas que tenham como objetivo:
> I - a manutenção do uso sustentável dos recursos hídricos;
> II - a racionalização do uso múltiplo dos recursos hídricos;
> III - o controle e a prevenção de inundações e de erosão, especialmente em áreas urbanas;
> IV - a implantação, a conservação e a recuperação da cobertura vegetal, em especial das matas ciliares;
> V - o zoneamento e a definição de restrições de uso de áreas inundáveis;
> VI - o tratamento de águas residuárias, em especial dos esgotos urbanos domésticos;
> VII - a implantação de sistemas de alerta e de defesa civil para garantir a segurança e a saúde públicas em eventos hidrológicos adversos;
> VIII - a instituição de áreas de proteção e conservação dos recursos hídricos;
> IX - a manutenção da capacidade de infiltração do solo." (BRASIL, 1999)

Outra regulamentação que contribui para desenvolvimento urbano, o Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001) estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental. Este é composto por diversos estímulos à sustentabilidade urbana e diretrizes para o planejamento urbano que prevê estudo de impacto

urbanístico para grandes obras, retirada de pessoas que moram em regiões alagadas, e diversos instrumentos que visão subsidiar a elaboração dos Planos Diretores Municipais.

Com o objetivo de proteger contra as cheias urbanas evitando o redimensionamento do sistema de drenagem, tem-se a ideia de reconstituir a vazão de pré-ocupação, fazendo com que a água da chuva volte a ser interceptada, antes de atingir a rede de drenagem (COUTINHO, 2011). Sendo assim, de acordo com o autor, as chamadas medidas alternativas ou compensatórias de drenagem, também chamadas BMPs (*Best Managment Practices*), como por exemplo pavimento poroso, trincheiras de infiltração, reservatório de detenção, dentre outras, são apresentadas como instrumentos relevantes no controle do escoamento superficial.

Dentre as diretrizes relacionadas à drenagem urbana do Plano Diretor de Drenagem da cidade de Curitiba, destaca-se instrumentos com intuito preservar as condições hidrológicas da bacia pré-urbanizada:

> "VII – Fomentar e desenvolver a educação na comunidade como instrumento de conscientização sobre a correta destinação das águas pluviais, sobre a eficiência de ações individuais e coletivas em situações de emergência e sobre a preservação das áreas permeáveis;
> VIII – Incentivar a implementação de tratamento urbanístico e paisagístico nas áreas remanescentes de tratamentos de fundos de vale, privilegiando as soluções de parques;
> IX – Possibilitar o controle das intervenções cujas implicações sejam a expansão de áreas impermeáveis, bem como possibilitar a adoção de medidas compensatórias a esta expansão;
> X – Implementar um sistema de monitoramento dos níveis dos lagos e cursos de água que permita definir e acompanhar as condições reais de funcionamento do sistema de macrodrenagem." (CURITIBA, 2014)

Ressalta-se a importância da Lei Federal nº 12.305/2010, que dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos, determinando como se deve lidar com a disposição final dos resíduos gerados nas cidades. Destaca-se também as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005 e 430/2011 que dispõem sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes, tais resoluções são responsáveis por ditar diretrizes para que os efluentes advindos de tratamento de esgoto, industriais e outros sejam dispensados em corpos d'água e/ou solo sem que seu uso e qualidade sejam comprometidos.

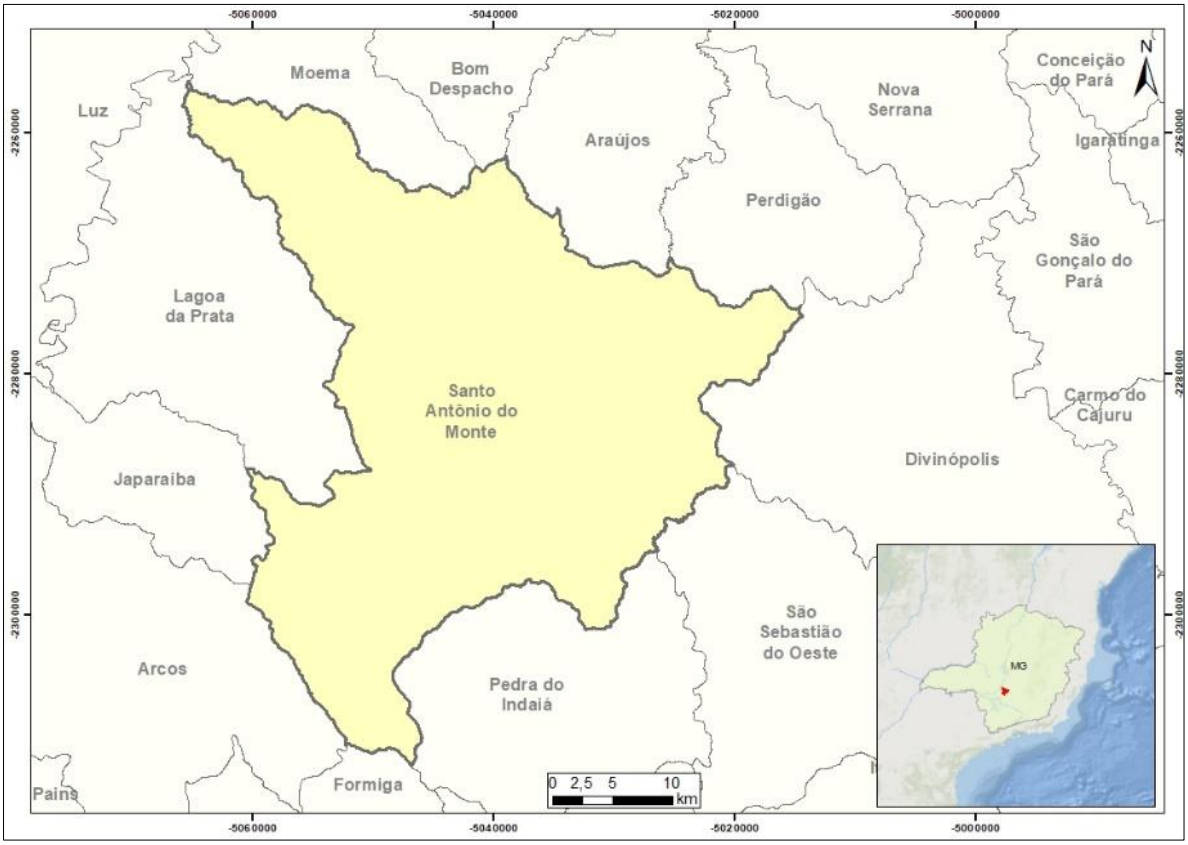
4. METODOLOGIA

4.1. Área de estudo

Santo Antônio do Monte é um município de origem portuguesa, em particular de açorianos, que chegaram a estas terras através de Pitangui. Começou a ser povoado em meados de 1.700. Em 3 de junho de 1859, o Distrito foi elevado à categoria de Vila, pela Lei nº.981, mas só foi instalada em 29 de julho de 1862, após cumprir as determinações legais, quando alcançou sua emancipação político-administrativa. Em 16 de novembro de 1875, após intensos esforços de toda a comunidade, a Vila de Santo Antônio do Monte foi elevada à categoria de cidade, por meio da Lei 2.158 (PSAM, 2018)

A cidade está localizada na região Centro-Oeste do estado de Minas Gerais. Segundo o IBGE (2018), possui população estimada em 28.054 habitantes e a área da unidade territorial (2017) é de 1.125,780 km². Possui como cidades limítrofes ao norte: Moema, Bom Despacho, Araújos e Perdigão; e ao sul: Arcos, Formiga e Pedra do Indaiá; a leste: Divinópolis e São Sebastião do Oeste; e a oeste: Lagoa da Prata e Japaraíba (Figura 8).

Figura 8 - Limite municipal de Santo Antônio do Monte em Minas Gerais.



Fonte: A autora.

De acordo com o Plano de Saneamento de Santo Antônio do Monte, o município destaca-se pelo relevo semimontanhoso, e a presença de cursos d'água e nascentes, são extremamente úteis para a realização de diversas atividades complementares que antigamente (e ainda hoje, em algumas fazendas), garantiam a produção de artigos manufaturados através de moinhos e monjolos. O município não possui grandes rios em suas terras, salvo Rio Santana e o Rio Lambari, mas portando quantidade considerável de nascentes que formam córregos e riachos bem espalhados entre as colinas e montanhas santantoniense.

O município em questão utiliza o ribeirão Guandú, para captação da água de abastecimento público. Porém os principais cursos d'água presentes na cidade são os córregos Dona Jovita e Dona Bicota.

No ano de 2017, a partir da Lei nº 2.309, a prefeitura do município autorizou a Realização de uma Operação Urbana Consorciada para revitalização e urbanização de parte do córrego Dona Bicota com os seguintes objetivos: Implantação de praça pública com equipamentos de lazer; Urbanização das margens do Córrego Dona Jovita, com recomposição de vegetação; e Desassoreamento e limpeza do leito do córrego.

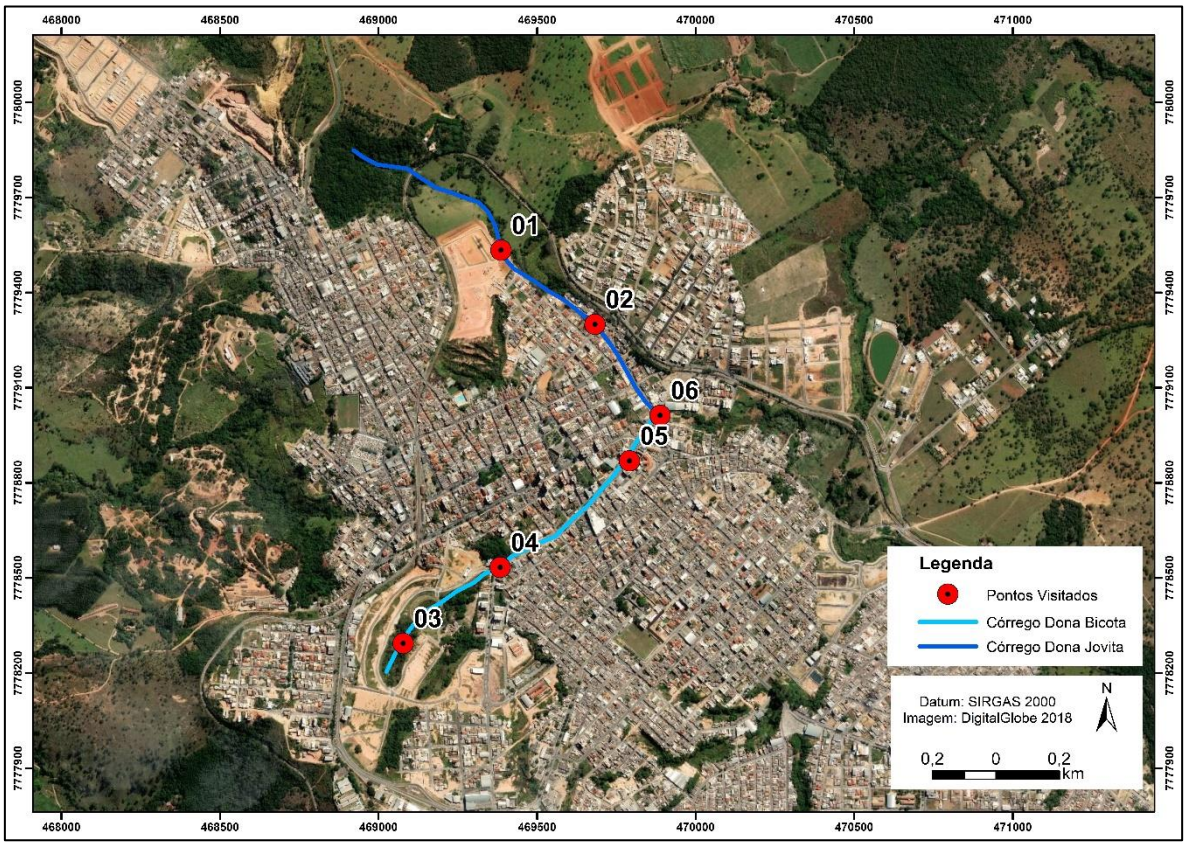
Santo Antônio do Monte é constituído, com número significativo de propriedade com área de preservação permanente (APP) com ocupação antrópica consolidada, sendo predominantemente observado o uso de mata ciliar e topos de morro. Na Figura 9 estão apresentados registros fotográficos da APP localizada no entorno da nascente do córrego Dona Bicota.

Para fins de caracterização das estruturas de drenagem existentes, foi realizada uma visita *in loco* nos córregos Dona Bicota e Dona Jovita no dia 27 de setembro de 2019. Nesta visita foram feitas fotografias das estruturas em seis pontos de estudos localizados conforme a Figura 10.

Figura 9 - Área de Preservação Permanente (APP) próxima à nascente do córrego Dona Bicota com (a e b) cartazes alertando sobre a APP e (c) uma lagoa mantida pela beleza cênica.

Fonte: A autora.

Figura 10 - Localização dos pontos de estudo (PE) em Santo Antônio do Monte.



Fonte: A autora.

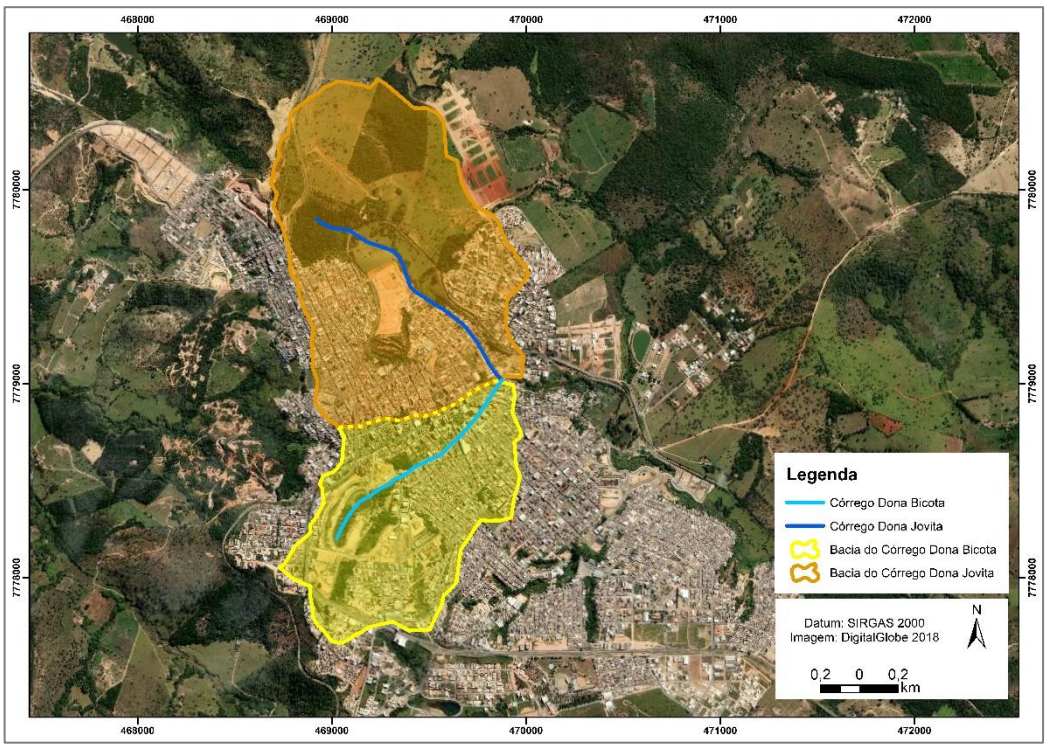
4.2. Características da bacia

4.2.1. Delimitação da área de drenagem

A área de contribuição da bacia foi traçada a partir de base topográfica disponível em site público. Utilizou-se imagem de radar do sensor PALSAR (*Phased Array Lband Synthetic Aperture Radar*) do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), disponibilizada de forma gratuita no banco de dados da *Alaska Satellite Facility* (UAF/NASA). O Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado pelo ALOS/PALSAR é concedido no modo de imageamento FBD (*Fine Beam Dual*), com uma resolução espacial de 12,5m

Os MDEs disponibilizados de forma gratuita podem apresentar erros na sua geração, como é o caso do ALOS/PALSAR, apresentando depressões e áreas planas incompatíveis com a morfologia real no terreno. A fim de gerar uma rede de drenagem contínua, viabilizando uma análise hidrológica, foi feita uma correção através da ferramenta *Fill* (*ArcToolBox > Spatial Analyst Tool > Hidrology*) do *software* ArcGIS. Em algumas etapas, a ferramenta *Fill* atribui novos valores aos pixels que contém anomalias, tendo em conta as referências dos vizinhos próximos estabelecendo um novo MDE.

Figura 11 – Área de Drenagem dos Córregos Dona Jovita e Dona Bicota.



Fonte: A autora.

4.2.2. Forma da bacia

A forma da bacia está diretamente relacionada ao tempo de concentração, que o tempo a partir do início do evento de precipitação, para que toda a bacia contribuía com o escoamento na seção de deságue. Assim, quanto maior o tempo de concentração, menores são as vazões máximas após um evento de chuva e menos a bacia está propensa a enchentes.

Para caracterizar a forma da bacia, foram calculados os coeficientes de compacidade (K_c), fator de forma (F) e o índice de circularidade (I_c) para as duas bacias urbanas analisadas. Além disso, foram calculadas a densidade de drenagem (D_d) para as bacias. As áreas de grandes bacias são normalmente medidas em quilômetros quadrados (1 km^2 = 106 m^2), enquanto bacia menores costumam ser medidas em hectares (1 km^2 = 100 ha).

- **Coeficiente de compacidade**

O coeficiente de compacidade (K_c) relaciona a forma da bacia com um círculo. Constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. O K_c é calculado de acordo com a Equação 1:

$$K_C = 0{,}28\frac{P}{\sqrt{A}} \quad (Eq.\,1)$$

onde P é o perímetro (m) e A é a área de drenagem (m^2). A interpretação do K_c é que quanto maior for esse índice, mais irregular é a bacia, ou seja, mais diferente do formato circular. Quanto mais próximo de 1 for o valor de K_c, maior deve ser a cobertura vegetal e conservação de solos.

- **Fator de Forma**

O fator de forma (F) relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espigão). A forma da bacia, bem como a forma do sistema de drenagem, pode ser influenciada por algumas características, principalmente pela geologia. Podem atuar também sobre alguns processos hidrológicos ou sobre o comportamento hidrológico da bacia. O fator de forma é calculado de acordo com a Equação 2:

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (Eq. 2)$$

onde L é o comprimento da bacia (m) e A é a área de drenagem (m^2). Segundo Villela e Mattos (1975), uma bacia com um fator de forma baixo é menos susceptível a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com fator de forma maior (e formatos mais parecidos com circulares, ovais ou quadradas).

- **Índice de Circularidade**

Da mesma forma que o coeficiente de compacidade, o índice de circularidade (I_c) relaciona a forma da bacia em análise à um círculo de área igual à da bacia. O I_c é calculado de acordo com a Equação 3:

$$I_c = \frac{12{,}57 \times A}{P^2} \quad (Eq. 3)$$

onde P é o perímetro (m) e A é a área de drenagem (m^2). O valor de I_c tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada.

4.2.3. Tempo de Concentração

A relevância da forma da bacia, particularmente para fins de inundação, está associada ao conceito de tempo de concentração, t_c. De acordo com Silveira (2005), o tempo de concentração é um parâmetro hidrológico que decorre da hipótese que a bacia hidrográfica funciona como sistema linear para o escoamento superficial direto.

O tempo de concentração, é considerado como parâmetro hidrológico invariável, sendo definido como o tempo necessário para uma gota d'água caminhar superficialmente do ponto mais distante (em percurso hidráulico) da bacia até o seu exutório (McCuen *et al.*, 1984 *apud* SILVEIRA, 2005). As fórmulas para determinação de tempo de concentração foram estabelecidas ao longo do tempo basicamente por necessidades práticas de engenharia. Algumas são hidráulicas teóricas ou experimentais. Para cálculo do tempo de concentração, foi utilizada a fórmula (Equação 4) citada por Tucci (2004) e proposta por Kirpich:

$$t_c = 57 \times \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} \quad (Eq.4)$$

onde t_c é o tempo de concentração (min), L é o comprimento principal do corpo hídrico (km); H diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e a seção principal. Para obtenção da declividade, tendo-se a topografia, é possível traçar um talvegue indicando o caminho do córrego e dessa forma traçar um perfil de elevação da bacia.

4.2.4. Uso do solo

As metodologias e técnicas elaboradas e aplicadas para o monitoramento do uso do solo são importantes indicadores para o planejamento, gestão e o ordenamento territorial. As informações de uso do solo e cobertura vegetal, por exemplo, auxiliam na identificação dos níveis de deterioração ambiental no decorrer do tempo. Junto com a natureza geológica e o relevo do terreno, o uso do solo e a cobertura vegetal tem relação com maior ou menor rapidez do escoamento superficial.

Nesse trabalho, será utilizada a Coleção 4 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, os anos de 1985 e 2018 produzidos pelo Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura do Solo no Brasil – MapBiomas, recortado nas bacias dos córregos Dona Jovita e Dona Bicota. A equipe do MapBiomas, é composta por uma rede colaborativa com especialistas nos biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, SIG e ciência da computação. O objetivo da equipe é mapear a cobertura do solo e sua dinâmica de mudanças, implementando uma metodologia rápida, confiável e de baixo custo a fim de gerar mapas anuais. Dessa forma são utilizados processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma *Google Earth Engine.*

Ao utilizar dados de dois anos para a análise (1985 e 2018), foi possível observar o desenvolvimento da cidade no entorno dos córregos e comparar a área urbanizada no ano de 1985 até os dias de hoje.

Em estudos de análise dos efeitos da urbanização nos recursos hídricos destaca-se a utilização de modelos hidrológicos, como o elaborado pelo *Soil Conservation Service* (SCS), que identifica características relacionadas ao potencial de escoamento superficial em superfícies do terreno variadas por meio do parâmetro *Curve Number* (CN). O valor de CN é compreendido entre zero e 100, onde zero representa uma bacia de condutividade hidráulica infinita e 100 corresponde ao valor de uma bacia totalmente impermeável. Dessa forma, o CN é um valor que, associado a previsão de uma chuva intensa, pode auxiliar na determinação do aporte de escoamento superficial na vazão de um corpo hídrico. Nesse trabalho, a ponderação do parâmetro CN foi realizada a partir do grupo hidrológico, da classificação do uso do solo disponibilizado pelo MapBiomas (2019) e dos valores de CN apresentados por TUCCI et al. (2004) (Tabela 3).

Para obtenção do grupo hidrológico, primeiramente determinou-se o tipo de solo a partir do Mapa de Solos da EMBRAPA (IBGE, 2001) e em seguida relacionou-se o tipo de solo aos grupos hidrológicos propostos por Sartori (2010).

Tabela 3 - Valores de CN em função da cobertura superficial do terreno e dos grupos hidrológicos de solos.

Tipo de cobertura superficial do terreno	**Grupos hidrológicos dos solos**			
	A	**B**	**C**	**D**
Edificação muito densa, com cerca de 85% de impermeabilização.	89	92	94	95
Edificação não muito densa, com cerca de 65% de impermeabilização.	77	85	90	92
Edificações com superfícies livres, com cerca de 38% de impermeabilização.	61	75	83	87
Edificações com muitas superfícies livres, com construções esparsas com cerca de 30% de impermeabilização.	57	72	81	86
Zonas industriais e comerciais, com cerca de 72% de impermeabilização.	81	88	91	93
Campo e áreas verdes.	30	58	71	78
Zonas florestais e vegetação densa.	36	60	73	79

Fonte: Adaptado de TUCCI *et. al*. (2004).

A bacia possui diferentes coberturas do solo, logo, foram determinados valores de CN de acordo com o percentual da área de cada uso do solo. Sendo assim, o valor de CN adotado equivale à somatória dos valores dos CNs parciais.

4.2.5. Clima

O Brasil apresenta uma considerável tipologia climática, decorrente diretamente de sua extensão geográfica e da conjugação entre os elementos atmosféricos e os fatores geográficos particulares da América do Sul e do próprio País. Dentre os principais fatores que determinam os tipos climáticos brasileiros, destacam-se a configuração geográfica, a maritimidade/continentalidade, as modestas altitudes do relevo, a extensão territorial, as formas do relevo e a dinâmica das massas de ar e frentes.

O clima da região de estudo pode ser classificado como tropical úmido-seco ou tropical do Brasil Central, com quatro a cinco meses secos. Este subtipo climático apresenta chuvas em todos os meses do ano, com maior concentração na estação de verão e redução na estação de inverno. No verão as temperaturas são elevadas e, no inverno, reduzidas. As localidades desse subtipo climático são bastante influenciadas pelos sistemas atmosféricos oceânicos tropicais (MTA) e polares (MPA), que respondem pela pluviosidade em todos os meses do ano, assim como pela variabilidade dos índices térmicos.

Com o intuito de auxiliar na caracterização climática geral da região, visto que não há monitoramento de variáveis climatológicas na cidade de Santo Antônio do Monte, assumiu-se, dentre as estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a estação Divinópolis (MG) como a mais representativa para a região, em virtude de sua proximidade das cidades. A Tabela 4 apresenta os valores médios mensais de temperatura máxima, média e mínima mensal, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e evaporação determinadas a partir do registro histórico da estação supracitada.

Tabela 4 - Normais climatológicas da Estação Meteorológica de Divinópolis (MG).

Período	Precipitação Acumulada (mm)	Evaporação Total (mm)	Umidade Relativa (%)	Pressão Atmosférica (hPa)	Temperatura (ºC)		
					Mínima	Média	Máxima
Janeiro	300,2	107,3	72,9	925,5	19,10	23,80	30,10
Fevereiro	167,3	105,2	69,8	925,8	18,90	24,00	30,70
Março	157,0	105,3	72,1	926,4	18,50	23,60	30,10
Abril	51,2	111,9	68,8	927,4	16,40	22,20	29,40
Maio	27,3	108,5	68,4	928,4	12,70	19,10	27,10
Junho	13,6	107,5	66,3	930,5	10,70	17,80	26,50
Julho	7,9	135,3	61,0	930,5	10,40	18,00	26,80
Agosto	17,3	176,6	53,4	930,1	11,70	19,80	28,50
Setembro	52,0	179,5	56,2	928,0	15,00	21,90	29,70
Outubro	109,7	169,8	60,1	925,9	17,30	23,40	30,40
Novembro	208,4	118,9	70,1	924,6	18,20	23,00	29,10
Dezembro	296,2	100,6	74,4	924,6	19,00	23,40	29,40
Anual	1408,1	1526,4	66,1	927,3	15,70	21,70	29,00

Fonte: INMET (2010).

4.3. Estruturas de drenagem

Além da visita *in loco* quando foram feitos registros fotográficos para caracterização das estruturas de drenagem existentes, foi aplicado Índice de Fragilidade da Drenagem Pluvial (IFS Drenagem), que é uma metodologia para sistemas de drenagem por Steiner (2011) e por Silva et al. (2014) e já utilizada para diversos estudos como Santos Júnior (2014) para o córrego Melancias em Montes Claros-MG, Moraes et al. (2017) para o córrego Quarta-Feira em Cuiabá-MT, Thomazini e Lupinacci (2017) para o córrego do Castelo em Bauru-SP e Carvalho *et al*. (2018) para o córrego da Manga em Várzea Grande-MT.

Silva *et al.* (2014) desenvolveram o IFS Drenagem baseados no conceito de Índice de Fragilidade do Sistema (IFS), que os próprios autores descrevem como sendo uma abordagem dos pontos mais relevantes para o problema. Assim, os autores estabeleceram os fatores intervenientes nos sistemas de drenagem que estão expressos na Tabela 5.

Tabela 5 - Fatores que afetam o sistema de drenagem de acordo com a metodologia de Silva *et al.* (2004).

Natureza	Fatores	Abordagem
Climatológico	Regime de chuvas intensas	- Representatividade da equação intensidade x duração x frequência
Ambiental	Arranjo do traçado urbano	- Interação com a topografia - Respeito ao sistema natural de drenagem
	Usos do solo	- Nível de impermeabilização dos terrenos - Erodibilidade dos terrenos - Ocupação marginal dos corpos receptores
	Padrões de conforto das vias	- De pedestres - De grande fluxo de veículos e de pedestres - de grande fluxo de veículos e baixo fluxo de pedestres - De médio movimento - De acesso local
	Interação com demais equipamentos de saneamento urbano	- Lançamento de efluentes domésticos na rede - Lançamento de outros efluentes na rede - Deposição de lixo nas galerias e canais - Dispersão de sedimentos nas vias
Tecnológicos	Estruturas de micro drenagem	- Dimensão dos dispositivos hidráulicos - Padrão construtivo - Adequação do conjunto de dispositivos - Manutenção e conservação dos dispositivos
	Estruturas de macro drenagem	- Dimensão dos dispositivos hidráulicos - Padrão construtivo - Adequação do conjunto de dispositivos - Manutenção e conservação dos dispositivos
Institucional	Aspectos gerenciais	- Interatividade dos componentes - Aporte financeiro no orçamento - Recursos humanos - Planejamento das ações e estudos existentes
	Aspectos legais	- Existência de normas e outros instrumentos - Aplicação dos dispositivos

Fonte: Silva et al. (2014).

A recomendação de Silva *et al.* (2014) é que, numa primeira análise, a abordagem deve ser mais geral levando em conta os fatores intervenientes (Tabela 5) e o aprimoramento do índice para o local de estudo deve ser feito pela análise dos Pontos de Estudo (PE) ao longo da bacia hidrográfica estudada. Para fins de identificação, os seis PEs desse estudo serão abordados no diagnóstico do sistema de drenagem de Santo Antônio do Monte com os seguintes códigos (Tabela 6):

Tabela 6 - Localização dos Pontos de Estudo (PE) na cidade de Santo Antônio do Monte.

Ponto de Estudo		**Localização**	**Coordenadas (UTM)**
Córrego Dona Jovita	**PE01**	Condomínio Real Vivarez	469386.00 m E; 7779533.00 m S
	PE02	Av. Leopoldino Luiz da Silva	469682.60 m E; 7779300.13 m S
Córrego Dona Bicota	**PE03**	Lagoa Chico Sabino (bairro Cidade Jardim)	469077.70 m E; 7778293.96 m S
	PE04	Av. Senador Eduardo Azeredo próximo ao encontro com a R. Tereza Cristina	469383.60 m E; 7778533.69 m S
	PE05	Av. Presidente Tancredo Neves próximo a Fundação Hospitalar Pedro Henrique Costa Brasil de Sousa	469791.39 m E; 7778869.53 m S
Ponto de confluência dos córregos	**PE06**	Av. Presidente Tancredo Neves próximo ao encontro com a Av. Leopoldino Luiz da Silva	469887.81 m E; 7779013.09 m S

Fonte: A autora.

Nos seis PEs identificou-se e registrou-se por meio de registros fotográficos as estruturas de macro e micro drenagem. Então, com base nos indicadores de fragilidade propostos por Silva *et al.* (2014) e, principalmente, nos indicadores utilizados por Santos Junior (2014), cada ponto foi avaliado conforme os indicadores de natureza ambiental, institucional e tecnológicas conforme abordado na Tabela 7 e utilizando os pesos para cada manifestação conforme consta na Tabela 8.

Tabela 7 - Indicadores de Fragilidade do Sistema de Drenagem: naturezas, indicadores e abordagens.

Natureza	Indicadores e abordagens adotadas
Ambiental	Degradação física dos terrenos: consideram-se terrenos baldios e áreas com maiores declividades, as quais facilitem a produção de sedimentos
	Favorecimento da produção de sedimentos: consideram-se locais próximos a áreas verdes, terrenos baldios, áreas com maiores declividades, ou seja, fatores que produzem maior quantidade de sedimentos
	Ocorrência de alagamento: áreas onde ocorrem alagamentos.
	Contribuição para alagamento de outros PEs
	Deposição de resíduos gerais nas vias públicas: descarte de todos os tipos de resíduos em locais públicos.
	Assoreamento do corpo receptor: processos ocasionados pelo acúmulo de resíduos, entulho e outros detritos no fundo dos rios
	Interferências inadequadas: do sistema de drenagem com lixo, circulação de pedestres e veículos.
Tecnológico	Ineficiência do escoamento nas vias: consideram-se áreas com predominância de planícies, as quais facilitam o alagamento.
	Ineficiência dos dispositivos de coleta: equivalem aos equipamentos que compõe o sistema de micro drenagem.
	Interferência inadequada no trânsito de veículos: situação do trânsito de veículos e geral, em meio a um alagamento.
	Interferência inadequada no movimento de pedestres: deslocamento dos pedestres em meio a um alagamento.
	Redução da vida útil dos pavimentos e acessos: após a ocorrência de chuvas intensas.
Institucional	Elevação dos gatos com manutenção e conservação dos equipamentos públicos: os equipamentos equivalem a obras destinadas a utilização pública como: rodoviárias, escolas, postos de saúde, hospitais, terminais, praças, etc.
	Aumento da demanda de recursos hídricos financeiros para a implementação de obras: recursos financeiros necessários para corrigir a falha de obra já existentes.
	Ineficiências operacionais: falta de capacidade de manter o sistema de micro drenagem.

Fonte: Santos Junior (2014)

Tabela 8 - Valores (pesos) para a manifestação dos indicadores.

Valores (pesos)	Manifestação dos indicadores
0	Indicador inexistente no PE
1	Presente, sem agravante (100%)
2	Pouco agravante (75%)
3	Média (50%)
4	Moderada (25%)
5	Ausente, muito agravante (0%)

Fonte: Santos Junior (2014)

O Índice Geral de Fragilidade é o somatório de todos os pontos que o PE recebeu e, a partir desses pontos, é possível estabelecer a hierarquização dos principais problemas que devem ser tratados na bacia. Os valores do IGF variam entre 0 a 125 e foram divididos em intervalos para melhor avaliação do grau de fragilidade no sistema de drenagem (Tabela 9).

Tabela 9 - Graus e intervalos para o Índice Geral de Fragilidade (IGF) do Sistema de Drenagem.

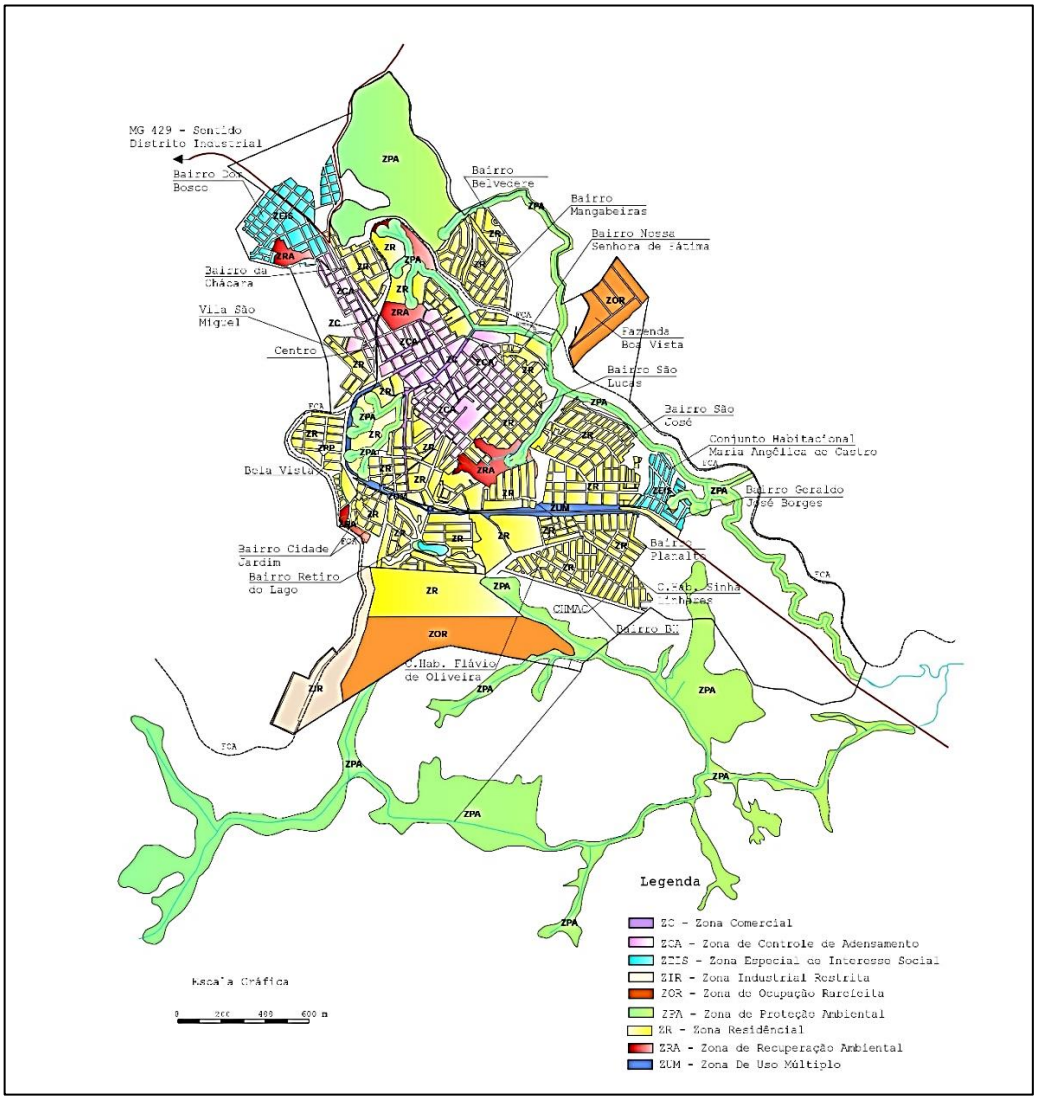
Graus de fragilidade	Intervalos (IGF)
Muito baixa	0 a 10
Baixa	11 a 20
Média	21 a 30
Forte	31 a 40
Muito Forte	41 a 50

Fonte: A autora a partir da adaptação de Santos Júnior (2014)

4.4. Análise do conteúdo de documentos relacionados à drenagem urbana

Para obtenção de dados referentes à legislação municipal, visitou-se o site da prefeitura da cidade de Santo Antônio do Monte (www.samonte.com.br). Na página disponível tem-se acesso ao Plano Diretor instituído pela Lei nº 1882, de 24 de maio de 2007, ao mapa de macrozoneamento anexo ao Plano Diretor (Figura 12) e ao Plano Municipal de Saneamento Integrado do Município de Santo Antônio do Monte aprovado em 13 de novembro de 2013 pela Lei nº. 2.158.

Figura 12 – Macrozoneamento de Santo Antônio do Monte (Mapa 03 – Plano Diretor)



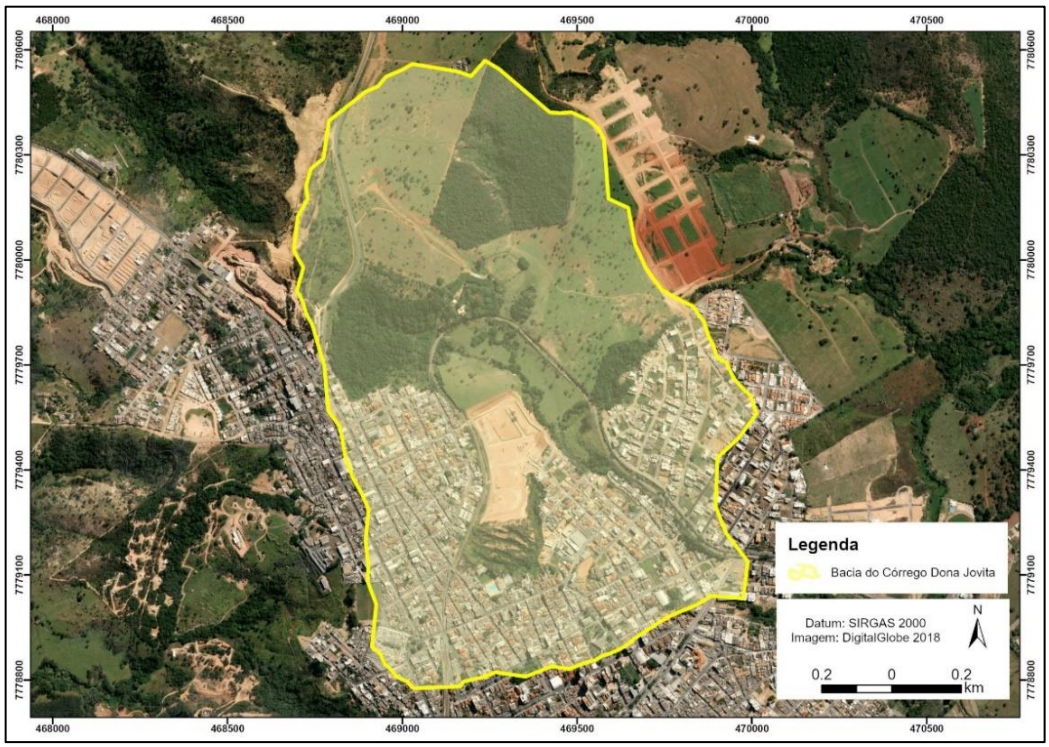
Fonte: Santo Antônio do Monte (2007).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Diagnóstico físico-ambiental da bacia do córrego Dona Jovita

Na Figura 13 está apresentada a delimitação da bacia do córrego Dona Jovita que possui área de 1,64 km² e perímetro de 5,30 km. O coeficiente de compacidade (Kc) calculado para essa bacia foi de 1,16 e o índice de circularidade (Ic) foi de 0,734. O valor mínimo para Kc e o máximo para Ic é 1 (unidade adimensional). Quanto mais próximo de 1 forem os valores de Kc e Ic, mais a bacia se assemelha a um círculo e maior é tendência em produzir escoamentos rápidos. Logo, o córrego Dona Jovita, apresenta propensão à grandes enchentes. O fator de forma (F) calculado, 0,991, confirma tal propensão.

Figura 13 – Área de drenagem dos córregos Dona Jovita.



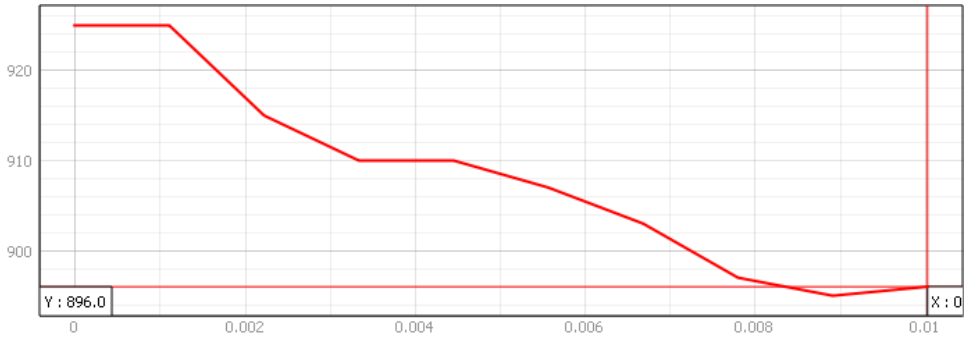
Fonte: A autora.

O tempo de concentração calculado para a bacia do córrego dona Jovita foi de 19,51 minutos. A Figura 14 apresenta perfil de elevação do talvegue do córrego, traçado utilizando a ferramenta *Profile Tool* do *software* Qgis. O perfil confirma a diferença de elevação dos pontos (927,22 m e 892,78 m) da bacia que subsidia a equação do tempo de concentração.

As informações com relação às variáveis climáticas, tal como as chuvas intensas é fundamental no planejamento de uso da água e do solo. Para quantificar adequadamente os efeitos ocasionados no escoamento superficial em áreas urbanas e rurais é necessário realizar a

caracterização da variabilidade temporal das chuvas intensas ao longo de sua duração (SILVA & CLARKE, 2004). O tempo de concentração é um dos parâmetros utilizados para escolha da duração da chuva em projetos de drenagem e barragens de terra.

Figura 14 – Perfil de elevação córrego Dona Jovita.



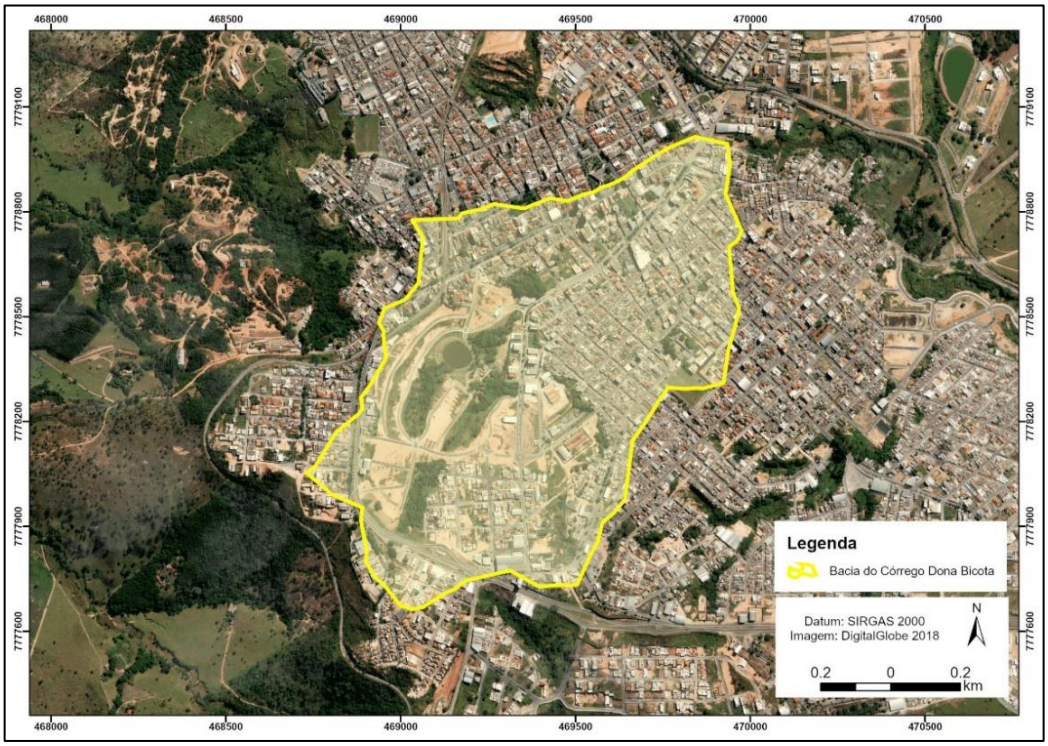
Fonte: A autora.

5.2. Diagnóstico físico-ambiental da bacia do córrego Dona Bicota

A área de drenagem do córrego Dona Bicota exibida na Figura 15, apresenta área total de 1,27 km² e perímetro de 4,52 km. Os valores calculados para coeficiente de compacidade e índice de circularidade foram, consecutivamente, 1,12 e 0,781. Assim como no córrego Dona Jovita, os parâmetros Kc e Ic conferidos para o córrego Dona Bicota indicam que a bacia apresenta susceptibilidade à grandes enchentes. Porém, o fator de forma obtido, 0,597, indica que a bacia pode apresentar nível moderado de escoamento, não contribuindo para a concentração de águas que possibilitem cheias rápidas.

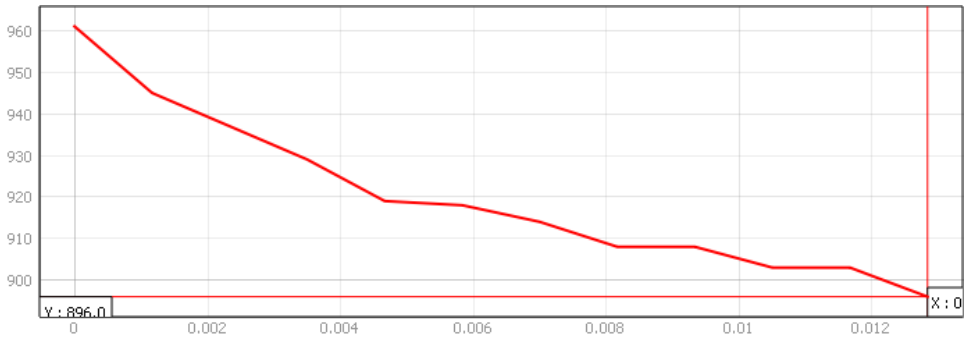
O tempo de concentração do córrego dona Bicota foi calculado, da mesma forma que para o córrego dona Jovita, e resultou em 16,76 minutos. Já seu perfil de elevação, pode ser observado na Figura 16 e apresentou elevação no ponto mais remoto da bacia e no exutório, respectivamente, 965,82 m e 891,18 m.

Figura 15 - Área de drenagem dos córregos Dona Bicota.



Fonte: A autora.

Figura 16 - Perfil de elevação córrego Dona Jovita.

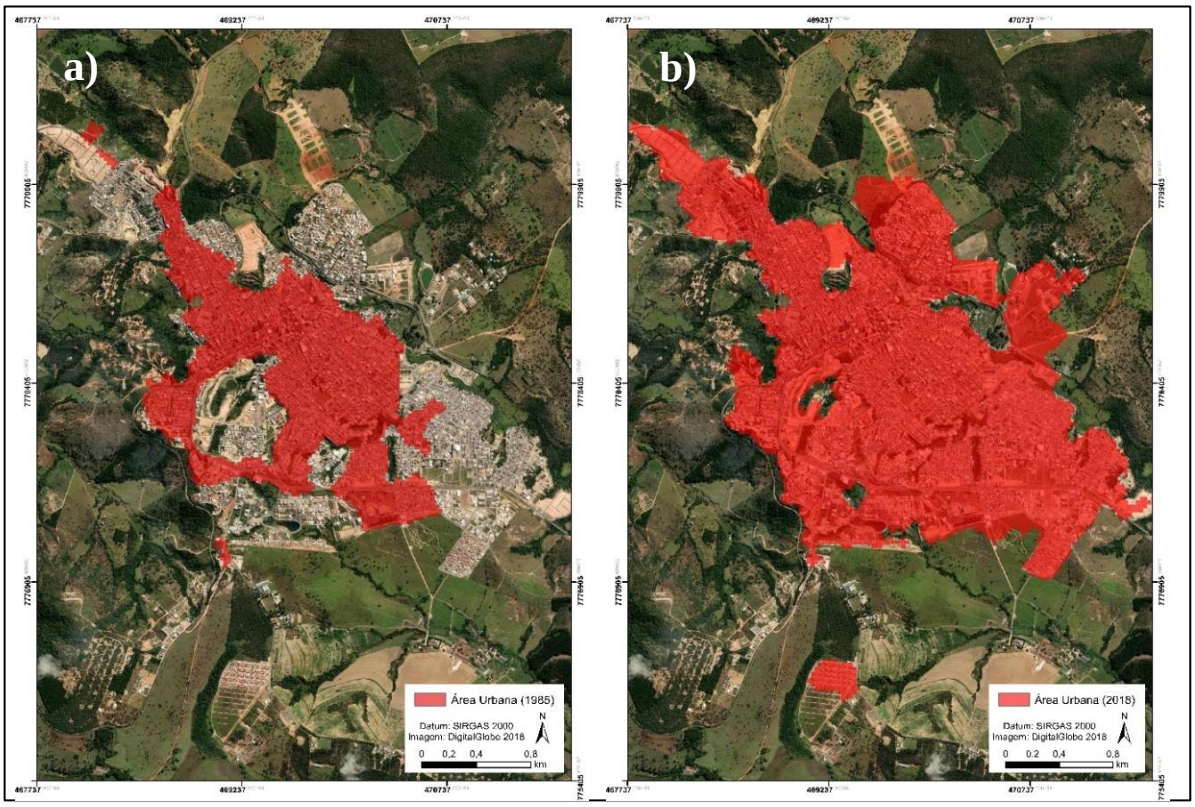


Fonte: A autora.

5.3. Caracterização de ocupação das bacias

A cidade de Santo Antônio do Monte apresentou expansão urbana nas últimas décadas. Tal fato pode ser observado pela comparação entre as Figuras Figura 17a (área urbanizada em 1985) e Figura 17b (área urbanizada em 2018), onde os dados são referentes ao uso do solo disponibilizado pelo MapBiomas (2019). Um dos efeitos da urbanização é o aumento do escoamento superficial e consequentemente, a solicitação do sistema de drenagem urbana e a probabilidade de enchentes.

Figura 17 - Evolução da urbanização na cidade de Santo Antônio do Monte.

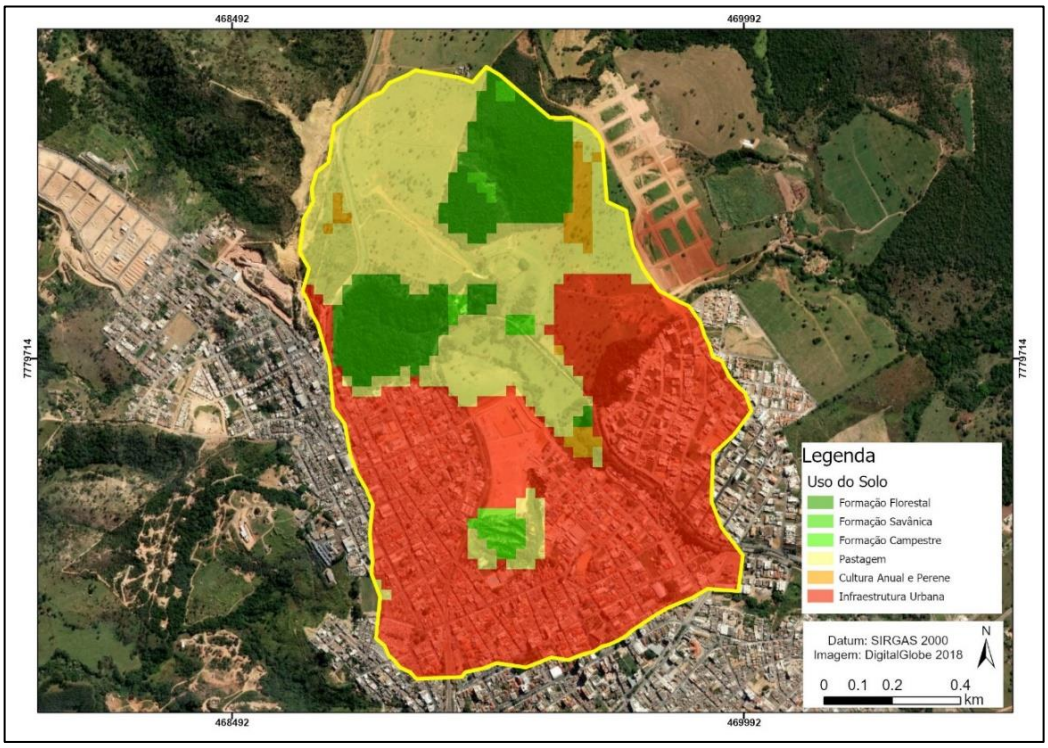


Fonte: A autora.

A construção de loteamentos na cidade está em expansão e um dos locais visitados, o condomínio Real Vivalles (Ponto 1), ainda em construção, possui o pavimento das ruas composto por blocos “vazados” que permitem a infiltração de água. Os pavimentos permeáveis têm se tornado um elemento de papel fundamental por reduzirem volumes de escoamento superficial e o impacto sobre a qualidade da água.

A Figura 18 apresenta a ocupação do solo, determinada pelo MapBiomas (2019), na área da bacia do córrego Dona Jovita. Observou-se que, parte da área considerada como pastagem, corresponde ao ponto 1 visitado, onde a área já está sendo modificada para urbanização.

Figura 18 - Uso do solo na delimitação da bacia do córrego Dona Jovita.



Fonte: A autora.

O tipo de solo analisado para área das bacias é o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA3), de acordo com a catalogação da EMBRAPA (IBGE, 2001) e o grupo hidrológico correspondente é o B, conforme classificado por SARTORI (2010). A Tabela 10 demonstra os valores para cálculo do parâmetro CN para a bacia do córrego Dona Jovita, de acordo com as referências utilizadas para tipos de uso do solo.

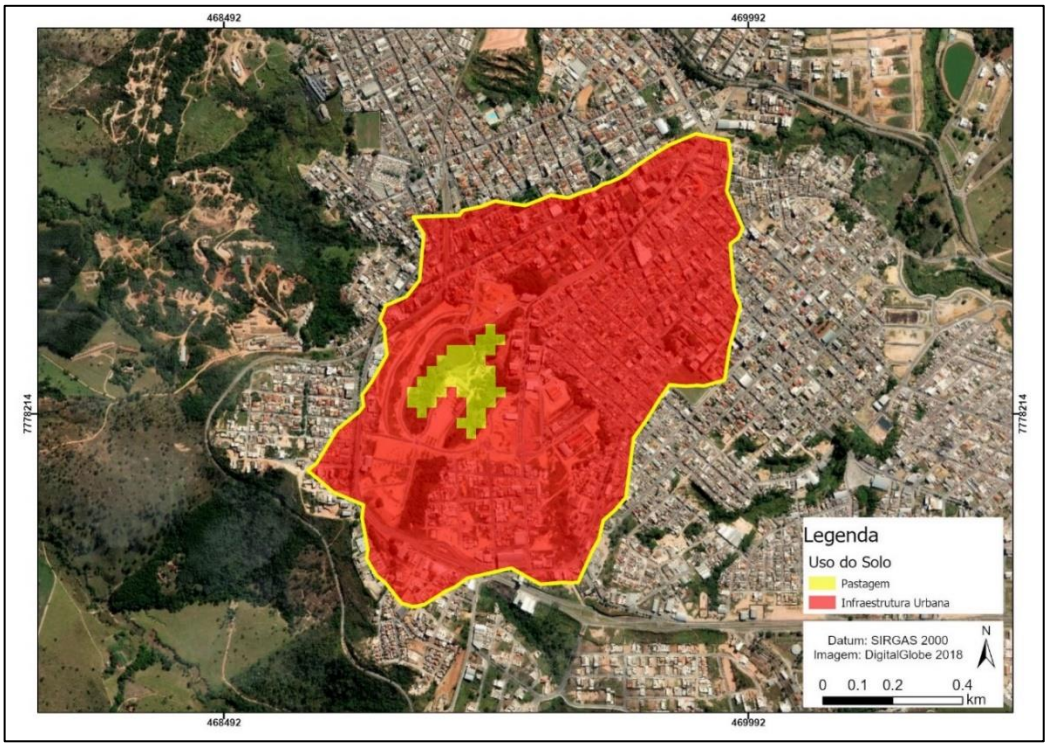
Tabela 10 - Cálculo do CN ponderado na bacia de contribuição do córrego Dona Jovita.

Tipologia Mapeada (MapBiomas, 2019)	**Área (km²)**	**Tipologia Correspondente (Tucci, 2004)**	**$CN_{adotado}$**	**Área (%)**	**$CN_{ponderado}$**
Formação florestal	0,215	Área industrial	60	13,2	7,90
Formação savânica	0,009	Solo exposto	58	0,576	0,334
Formação campestre	0,026	Vegetação rasteira	58	1,60	0,925
Pastagem	0,479	Vegetação densa	58	29,3	17,0
Cultura anual e perene	0,031	Vegetação esparsa	58	1,90	1,10
Infraestrutura urbana	0,874	Edificação não muito densa	85	53,44	45,4
Total				**100%**	**72,7**

Fonte: A autora.

Na Figura 19 estão mapeadas as áreas definidas para cada tipologia de uso do solo (MapBiomas, 2019) na bacia do córrego Dona Jovita. A área considerada como pastagem, equivale à região visitada no ponto 3. Notou-se que a área em questão corresponde à construção do Residencial Chico Sabino, onde são preservadas áreas verdes e inclusive possui uma área de preservação permanente (registrada na Figura 9).

Figura 19 - Uso do solo na delimitação da bacia do córrego Dona Bicota.



Fonte: A autora.

O parâmetro CN foi calculado do para a bacia do Dona Jovita, semelhante à bacia do córrego Dona Jovita. Na Tabela 11 encontram-se a valores de referência utilizados.

Tabela 11 - Cálculo do CN ponderado na bacia de contribuição do córrego Dona Bicota.

Tipologia Mapeada (MapBiomas, 2019)	**Área (km²)**	**Tipologia Correspondente (Tucci, 2004)**	**$CN_{adotado}$**	**Área (%)**	**$CN_{ponderado}$**
Pastagem	0,053	Vegetação densa	58	5,33	3,09
Infraestrutura urbana	0,942	Edificação não muito densa	85	94,7	80,5
Total				**100%**	**83,6**

Fonte: A autora.

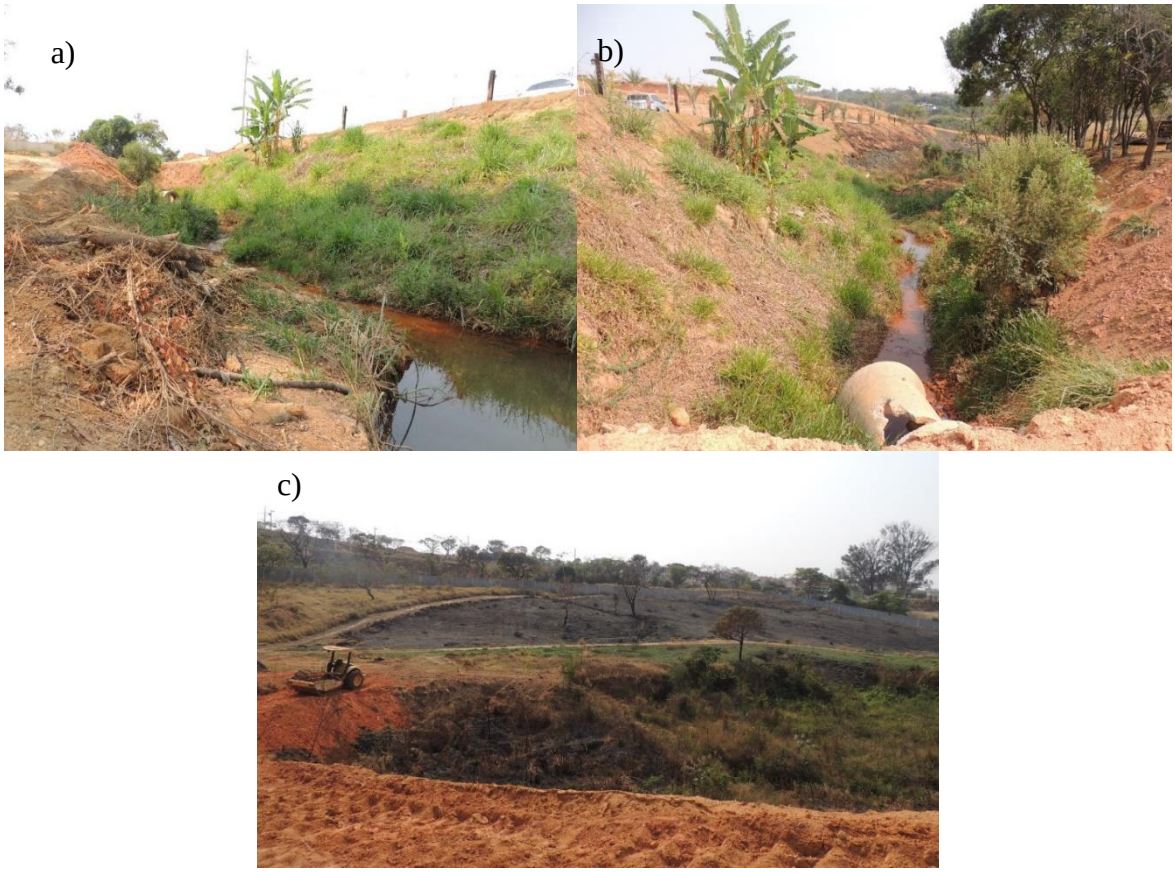
As imagens de ocupação do solo e os valores encontrados para o *curve number* (CN) nas bacias demonstram que a bacia do córrego Dona Bicota (CN=83,6), possui maior área urbanizada e apresenta solo mais impermeável em comparação com a bacia do córrego Dona Jovita (CN=72,7).

5.4. Diagnóstico sobre as medidas estruturais existentes

A visita *in loco* teve início em um ponto próximo à cabeceira do córrego Dona Jovita, no condomínio Real Vivalles (Ponto 01). Em seguida foi observado um local no médio curso do córrego (Ponto 02). Posteriormente, visitou-se a região da nascente do córrego Dona Bicota (Ponto 03), dois pontos intermediários do corpo hídrico (04 e 05) e finalmente o local de junção dos dois córregos (Ponto 06).

Na Figura 20, é possível observar a atual situação do córrego no Ponto 01, referente à localização do condomínio Real Vivalles. Moradores que estavam no local no momento da visita relataram que o local era de lazer para crianças, onde elas inclusive nadavam no córrego.

Figura 20 - Registro fotográfico do Ponto 01, sendo a) e b) vistas do Córrego Dona Jovita próximo a cabeceira, e c) loteamento sendo aberto próximo a cabeceira do córrego.



Fonte: A autora.

Uma sugestão para esse local seria o aproveitamento da área entorno do córrego como lagoa, que funcionará bacia de retenção com finalidade de reduzir os riscos de inundações a jusante. Ao mesmo tempo, o reservatório de retenção pode ser considerado como estrutura de compensação, agregando outros valores e gerando um ambiente cênico e de lazer para o condomínio.

Seguindo para o Ponto 02, foi possível observar que foi feita a canalização do córrego. Isso acarretou problemas, como diminuição forçada da vazão do córrego. Casas foram construídas encima dos dispositivos de condução da água, e moradores relataram sobre residências que possuem esgoto ligado na rede de coleta pluvial. Em épocas de chuva, já houveram casas em que os ralos de banheiros, por exemplo, transbordaram. De acordo com o IBGE (2019), 87,9% da cidade possui esgotamento sanitário adequado.

Figura 21 - Registro fotográfico do Ponto 02, sendo a) vista do córrego Dona Jovita no médio curso onde se inicia sua canalização, b) obras a montante da canalização, c) dispositivo de drenagem pluvial próximo à canalização e d) vista de casas construídas encima na canalização do córrego.

Fonte: A autora.

Durante a pesquisa local, devido ao odor, percebeu-se que há pontos onde ocorre o lançamento de efluentes domésticos nas redes de águas pluviais, o que prejudica consideravelmente o gerenciamento dos recursos hídricos e a implantação de medidas de melhoria. Além disso, os corpos d'água ficam sujeitos a poluição e contaminação.

Tal fato se confirma no Plano de Saneamento de Santo Antônio do Monte, onde é ressaltado que o saneamento ambiental, que incorpora a drenagem pluvial, é um tema importante no município. O plano cita sobre o desenvolvimento de sistema separador absoluto, que pretende eliminar as ligações clandestinas de águas pluviais nas redes coletoras de esgotos visando a minimização dos impactos causados. Neste sistema a drenagem pluvial e a redes de esgoto serão projetadas como equipamentos distintos, sendo a rede de esgoto atrelada a coleta e transporte dos dejetos até a estação de tratamento que posteriormente serão encaminhadas aos cursos d'água, enquanto o equipamento de drenagem pluvial encaminhará as águas (chuva) para o afluente mais próximo. O Plano de Saneamento afirma que este método busca atender uma antiga reivindicação da população para eliminação do mau cheiro oriundo das bocas de lobo e alagamentos nas principais vias de acesso no período chuvoso.

De acordo com Von Sperling (2005), a utilização de sistemas combinados, ou sistema unitário, também altera o dimensionamento das redes coletoras, uma vez que o diâmetro deste sistema deve comportar tanto as vazões do efluente quanto as de chuva, o que implica em custos iniciais de implantação bastante elevados.

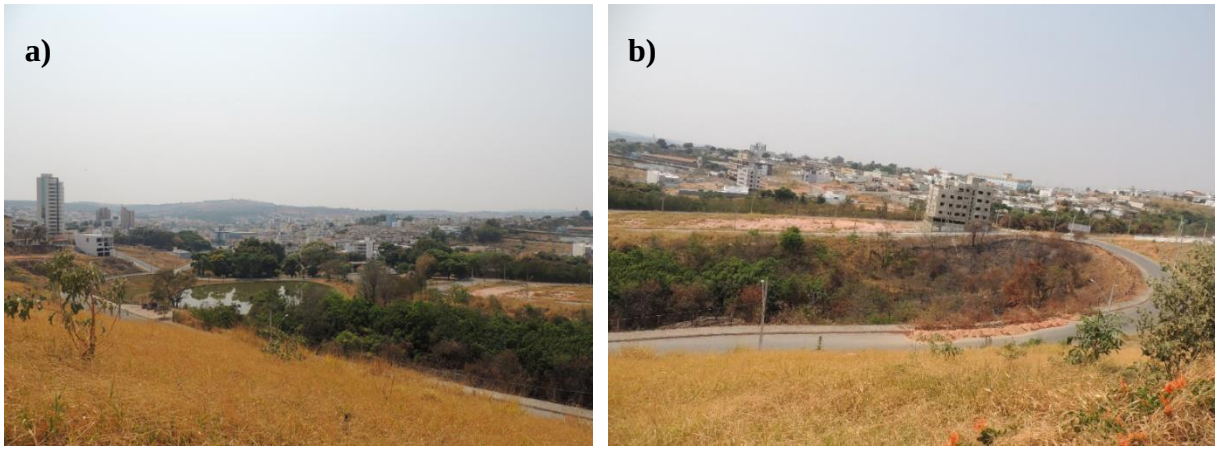
Ainda na região do ponto 02, é perceptível a falta de limpeza e manutenção de estruturas de drenagem, como mostrado na Figura 22.

Figura 22 - Registro fotográfico do Ponto 02, onde a) e b) apresentam dispositivos de drenagem pluvial.

Fonte: A autora.

No ponto de estudo 03, encontra-se um residencial relativamente novo, onde está localizada uma APP ao redor da nascente do córrego Dona Bicota (Figura 23). Na data da visita, foi observada que parte da área foi degradada por queimadas. A preservação de locais como este é fundamental na ação preventiva de desastres como alagamentos e assoreamento de corpos hídricos elencados ao uso inadequado do solo, além preservar a vazão e qualidade dos mananciais utilizados para fins de abastecimento público.

Figura 23 - Registro fotográfico do Ponto 03, sendo a) e b) vistas de cima da área no entorno do córrego Dona Bicota (residencial Chico Sabino).



Fonte: A autora.

O ponto de estudo 04, localizado na Av. Senador Eduardo Azeredo, é caracterizado pelo início da canalização do córrego Dona Bicota. Neste local, percebeu-se que é reduzido o número de estruturas de microdrenagem responsáveis pela captação de escoamento pluvial. O Residencial Chico Sabino, e a Avenida apresentam pavimentos impermeáveis e inclinação considerável, o que contribui para aumento do escoamento superficial.

Figura 24 - Registro fotográfico do Ponto 04, onde a) e b) apresentam a região logo após a Área de Preservação Permanente onde se inicia a canalização do córrego Dona Bicota.

Fonte: A autora.

De acordo com relatos de moradores, a área hospitalar (Figura 25b) é uma das regiões mais afetadas na ocorrência de eventos extremos, onde o local sofre alagamentos na ocasião de chuvas intensas. O escoamento superficial gerado nos Pontos 03 e 04, à montante deste local, pode ser um dos motivos contribuem para tal inundação. De acordo com moradores, a seção transversal da canalização muda de quadrada (e com área maior) para redonda (e com área menor) no Ponto 05. Isso faz com que ocorra remanso e a estrutura de canalização não suporte a vazão em precipitações extremas e parte da água retorne nas bocas de lobo, promovendo o alagamento da região próximo ao Hospital.

Figura 25 - Registro fotográfico do Ponto 05, onde a) e b) apresentam a região central e hospitalar. E c) e d) dispositivos de coleta de água pluvial.

Fonte: A autora.

A Figura 26, apresenta o ponto de estudo 06, onde ocorre a confluência dos córregos que deságuam no Córrego Boa Vista. O local apresenta canal aberto revestido em concreto e, segundo os moradores locais, ocorre o transbordamento do córrego na ocorrência de chuvas fortes. Os Pontos 05 e 06 são os pontos mais críticos na cidade. A canalização dos Córregos Dona Bicota e Dona Jovita se encontram e podem diminuir a capacidade do corpo receptor, o rio passa a correr em conduto aberto, com estruturas construídas por alguns metros e, posteriormente, sem estruturas construídas (canal natural).

Figura 26 - Registro fotográfico do Ponto 06, onde a) e b) apresentam o local de confluência dos córregos Dona Jovita e Dona Bicota.

Fonte: A autora.

Após a visita aos locais, identificou-se problemas relacionados à macrodrenagem como pontos de inundação, áreas desmatadas nas margens dos córregos e degradação da qualidade da água devido ao lançamento de esgoto sanitário. Também foram identificados problemas relacionados à microdrenagem como bocas de lobo mal dimensionadas e estado de conservação comprometido.

No intuito de comparar os pontos estudados, foi realizado estudo do Índice de Fragilidade do Sistema de Drenagem a partir de indicadores ambientais, tecnológicos e institucionais como proposto por Silva *et al.* (2004). Os indicadores avaliados e seus valores (peso conforme metodologia de (SANTOS JUNIOR, 2014)) estão listados na Tabela 12.

Após análise, obteve-se o Índice de Fragilidade Geral (IFG) do Sistema de Drenagem para cada ponto de estudo (Tabela 12 e Figura 27). De acordo com os intervalos definidos para o IFG, os Pontos 02 e 05 apresentam grau de fragilidade muito forte. Esses dois pontos são exatamente nos cursos médios dos Córregos Dona Bicota (Ponto 02) e Dona Jovita (Ponto 05) onde houve canalização nas décadas de 1980 e 1990. O Ponto 06, que é o encontro dos dois Córregos estudados, apresentou um IFG forte. Já os Pontos 01 e 04 apresentam IGF de grau

médio. Nesses pontos é onde hoje está ocorrendo urbanização, com abertura de novos bairros, o que está comprometendo o escoamento nas bacias. Por fim, o Ponto 03 foi considerado de grau baixo, o que é explicado por ser uma área de preservação, onde há mais áreas permeáveis.

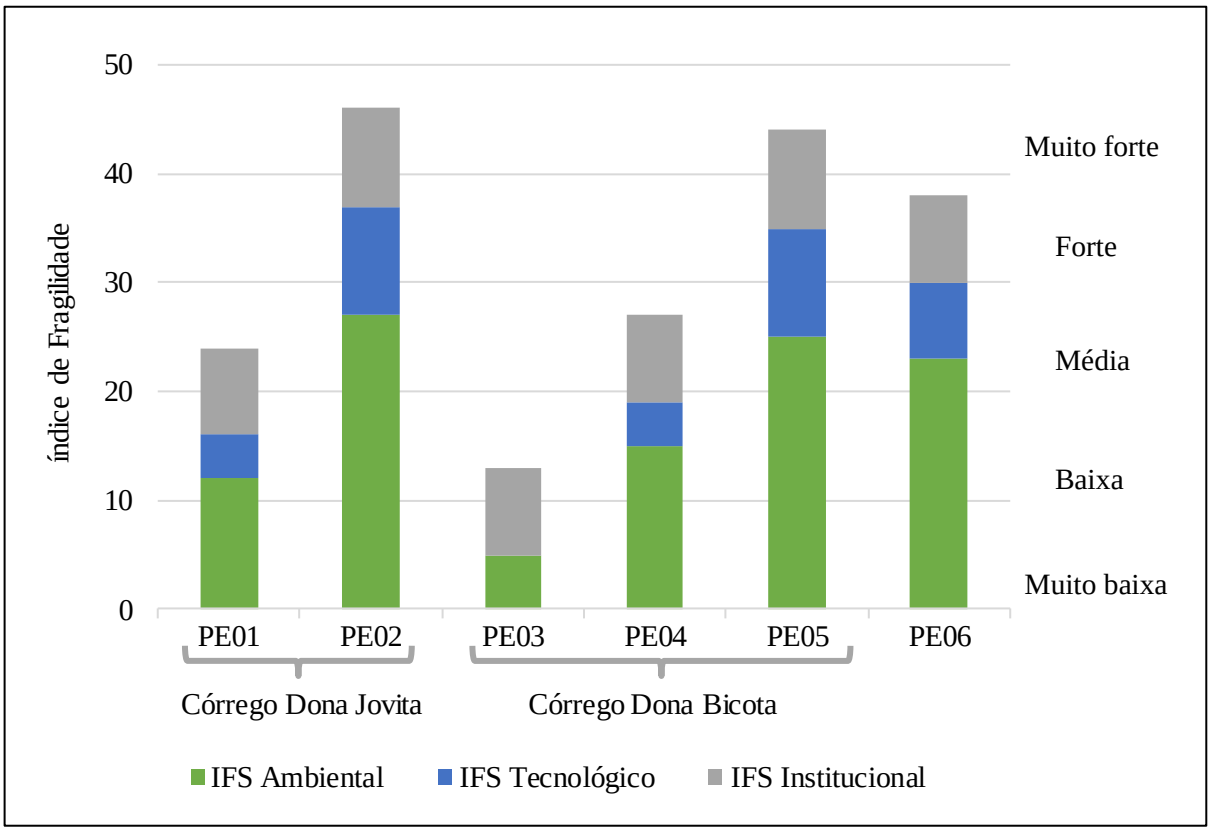
Exceto para o Ponto 03, a maior fragilidade dos sistemas de drenagem de Santo Antônio do Monte ocorre no âmbito ambiental. Ressalta-se a urgência em atuar para a resolução da interação entre drenagem urbana e esgotos sanitários, além da elevação das vazões de cheias.

Tabela 12 - Índices relacionados à fatores de intervenção nas bacias.

Indicadores	**Valores de referência em cada ponto visitado**					
	PE01	**PE02**	**PE03**	**PE04**	**PE05**	**PE06**
Ocorrência de alagamentos	0	5	0	3	5	4
carreamento de sedimentos da bacia	5	5	3	2	5	4
Deposição de resíduos sólidos nos dispositivos	1	4	2	1	4	5
Conforto ao acessar a via (pedestres e motoristas)	2	4	0	1	3	2
Interação inadequada com efluentes domésticos	1	4	0	3	4	4
Elevação das vazões de cheias	3	5	0	5	5	4
Índice de fragilidade – Ambiental	**12**	**27**	**5**	**15**	**25**	**23**
Dispositivo de coleta ineficiente	0	5	0	1	5	3
Redução da vida útil dos dispositivos e pavimentos	4	5	0	3	5	4
Índice de fragilidade - Tecnológico	**4**	**10**	**0**	**4**	**10**	**7**
Gastos com manutenção e conservação e encarecimento das soluções técnicas	4	5	4	4	5	4
Existência de normas e outros instrumentos	4	4	4	4	4	4
Índice de fragilidade - Institucional	**8**	**9**	**8**	**8**	**9**	**8**
ÍNDICE DE FRAGILIDADE GERAL	**24**	**46**	**13**	**27**	**45**	**38**

Fonte: A autora.

Figura 27 - Representação gráfica do Índice de Fragilidade dos Sistemas de Drenagem subdividido em IFS Ambiental, IFS tecnológico e IFS Institucional. Também está representado o Índice de Fragilidade Geral (IFG).



Fonte: A autora.

5.5. Diagnóstico sobre a legislação urbana do município sobre drenagem

Nesses termos, a Lei Municipal nº. 1.882 de 24 de maio de 2007 de Santo Antônio do Monte dispõe sobre os princípios para fundamentais como estabelecer um Sistema de Gestão de Drenagem Urbana das águas pluviais, objetivando o equilíbrio sistêmico de absorção, retenção e escoamento das águas pluviais, de modo a evitar inundações e o aumento de voçorocas.

Em cumprimento à Lei Federal nº 11.445, de 5 de Janeiro de 2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para política federal de saneamento básico, o Plano Municipal de Saneamento de Santo Antônio do Monte (aprovado pela câmara em 2013) foi elaborado, a partir de estudos realizados pela equipe da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Indústria, Comércio e Agropecuária realizado em parceria da equipe técnica da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA).

De acordo com o Plano de Saneamento de Santo Antônio do Monte, a elevação dos picos das cheias em Santo Antônio do Monte pode ser atrelada tanto a intensificação do volume

do escoamento superficial direto (impermeabilização), como a diminuição dos tempos de concentração e de recessão, atrelada pelo aumento da velocidade de escoamento devido à alteração do sistema de drenagem existente, exigida pelo aumento da densidade de construções.

Com relação aos rios a jusante dos córregos, o Plano de Saneamento de Santo Antônio do Monte afirma que o Poder Executivo Municipal deverá propor e incentivar os Municípios vizinhos, que integram a sub-bacia hidrográfica do Rio Pará a elaborar e implementar políticas comuns para a preservação da qualidade da água do manancial, procurando inserir esta proposta nas ações prioritárias.

5.6. Metodologia proposta para a obtenção das manchas de inundação

Para a elaboração de um Plano Diretor de Drenagem Urbana com medidas eficazes, além do diagnóstico de caracterização da bacia hidrográfica e do sistema de drenagem existente no município ao qual será implementado, deve-se realizar estudos relacionados à delineação da várzea de inundação, para posteriormente elaborar possíveis cenários e quantificar os efeitos dos alagamentos, visando o projeto do sistema de drenagem (TUCCI, 1993).

Nesse contexto é de grande importância que, antes da adoção de medidas, os órgãos responsáveis pela concepção do plano estimem as manchas de inundação para Santo Antônio do Monte a fim de prever consequências provindas de eventos extremos de chuva.

Para delimitar manchas de inundação, há uma metodologia com ferramentas de geoprocessamento que possuem interface com o modelo hidráulico a partir de *softwares* como HEC-HMS (*Hydrologic Modeling System*), Hec-RAS (*River Analysis System*), ArcGIS,e Google Earth. Na composição de base de dados são necessárias informações de um Modelo Digital de Elevação (MDE), que contém os dados de altitude da região contemplada pela imagem. Assim como neste trabalho, podem ser utilizados dados públicos, porém esses dados geralmente contêm baixa resolução espacial (neste caso, 12,5 metros). Destaca-se a importância de investimento em um banco de dados por parte de Prefeituras e órgãos municipais. Esses dados podem ser base para vários estudos com o objetivo de melhorar a infraestrutura de cidades. Para estudos específicos de corpos hídricos é importante também a obtenção de dados sobre a calha do mesmo, assim é possível gerar um novo MDE munido de tais informações.

As vazões que contribuem para o curso d'água devem ser levadas em consideração no estudo. No caso do estado de Minas Gerais, vazões para diferentes tempos de recorrência são fornecidas pelo Atlas Digital das Águas de Minas (2011), da Universidade Federal de Viçosa (UFV), este é o principal produto desenvolvido no âmbito do programa de pesquisa e

desenvolvimento denominado HIDROTEC, fruto da parceria institucional entre duas secretarias de Estado e órgãos vinculados.

Aplicando-se os coeficientes de *Manning* para cada área de entorno juntamente com a base de dados de geoprocessamento e os dados de vazões, o *software* HEC-RAS compila as informações e estabelece as manchas de inundação, o que proporciona o conhecimento sobre as áreas afetadas em eventos de chuvas.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho avalia os parâmetros físicos e ambientais das áreas de influência dos córregos Dona Jovita e Dona Bicota e analisa a situação da drenagem urbana em pontos de estudo localizados na cidade de Santo Antônio do Monte. As bacias dos corpos hídricos em questão apresentam propensão à ocorrência de inundações. Além da canalização dos córregos, que causa diminuição forçada da vazão, observou-se estruturas de micro e macrodrenagem inadequadas na coleta e condução de água e falta de manutenção destes dispositivos.

Constatou-se avanço no processo de urbanização na região em estudo e notou-se uso e ocupação irregular do solo em alguns pontos, o que contribui para a impermeabilização do solo e aumenta o escoamento superficial. Fato que juntamente com os resultados obtidos no estudo das bacias e condições observadas agrava os problemas pertinentes à inundações podendo originar prejuízos sociais e econômicos.

A implantação de um Plano Diretor de Drenagem Urbana é essencial em Santo Antônio do Monte para que o município enfrente problemáticas relacionadas a inundações. Tal Plano deve corroborar o Plano Diretor e Plano Municipal de Saneamento Integrado, envolvendo a população nas discussões para criação e reformulação de legislações que se enquadrem nas diretrizes determinadas em âmbito municipal, estadual e nacional.

O diagnóstico realizado serve como subsídio para elaboração do Plano Diretor de Drenagem Urbano para a cidade. Também é proposta uma metodologia para obtenção de manchas de inundação, estudo relevante para a formação do Plano. Neste sentido, destaca-se a importância de órgãos públicos, como prefeitura, manterem em dia banco de dados contendo, por exemplo, topografia com boa qualidade espacial disponível, projetos dos sistemas de drenagem e zoneamento detalhado da região.

Ao considerar citações mais antigas, entende-se que o Brasil ainda possui desafios a serem enfrentados quando se refere aos aspectos da urbanização e as consequências desse processo na drenagem urbana.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANA. Apostila: Hidrologia Básica. Agência Nacional de Águas, 2012. Disponível em: https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/66. Acesso em: 16 set. 2019.

BAPTISTA, M.B; COELHO, M.M.L.P. Fundamentos de Engenharia Hidráulica. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2002. 435 p.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 1, p. 29-49, 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Nilo_Nascimento/publication/305304614_Aspectos_Institucionais_e_de_Financiamento_dos_Sistemas_de_Drenagem_Urbana/links/5905464ea6fdccd580d23fa0/Aspectos-Institucionais-e-de-Financiamento-dos-Sistemas-de-Drenagem-Urbana.pdf . Acesso em: 10 out. 2019.

BRASIL. Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 29 set. 2019.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, 2001. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10257.htm. Acesso em: 29 set. 2019.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília, 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/L11445compilado.htm. Acesso em: 29 set. 2019.

BRASIL. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano - Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília : Ministério da Saúde, 2006. 212 p. – (Série B. Textos Básicos de Saúde). Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf. Aceso em: 13 nov. 2019.

BURIAN, S. J.; EDWARDS, F. G. Historical perspectives of urban drainage. In: Global solutions for urban drainage. 2002. p. 1-16. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/40644(2002)284. Acesso em: 28 set. 2019.

CANHOLI, A. Drenagem urbana e controle de enchentes. Oficina de textos, 2015. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=BPAtCQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP25&dq=CANHOLI,+Alu%C3%ADsio.+Drenagem+urbana+e+controle+de+enchentes&ots=9WrnKiSfd0&sig=-iRvnPM2ewbB6XygppC1uToqOAY#v=onepage&q=CANHOLI%2C%20Alu%C3%ADsio.%20Drenagem%20urbana%20e%20controle%20de%20enchentes&f=false. Acesso em: 03 out. 2019.

CARVALHO, L. S., MACHADO, R., DO AMARAL, L. C., DE OLIVEIRA, E. P., & JUNIOR, W. C. C. (2018). Índice de fragilidade em drenagem pluvial para mapeamento de áreas de risco de inundações. CONNECTION LINE, (19). Disponível em: http://www.periodicos.univag.com.br/index.php/CONNECTIONLINE/article/view/1196. Acesso em: 14 nov. 2019.

CASTILHO, A. S.; PINTO, E. J. A. *et al*. Definição da planície de inundação da cidade de Governador Valadares: Relatório Técnico final. ANA; IGAM; MME; CPRM, 2004. Disponível em: https://www.cprm.gov.br/sace/conteudo/manchas_inundacao/gvaladares/relatorio.pdf. Acesso em: 03 set. 2019.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. Applied Hydrology. New York: McGrawHill Publishing Company, 1988. Disponível em: https://ponce.sdsu.edu/Applied_Hydrology_Chow_1988.pdf. Acesso em: 08 out. 2019.

CONAMA. Resolução nº 01, de 23 de janeiro de 1986.

CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646. Acesso em: 29 ago. 2019.

CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646. Acesso em: 29 ago.

2019. O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - IBAMA, no uso das atribuições que lhe confere o artigo 48 do Decreto nº 88.351, de 1º de junho de 1983, para efetivo exercício das responsabilidades que lhe são atribuídas pelo artigo 18 do mesmo decreto, e Considerando a necessidade de se estabelecerem as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html. Acesso em: 29 ago. 2019.

COSTA, D. P. *et al*. Novas tecnologias e sensoriamento remoto: aplicação de uma oficina didática para a disseminação das potencialidades dos produtos e ferramentas do mapbiomas. Sustainability, Agri, Food and Environmental Research, v. 6, n. 3, 2018.

COUTINHO, A. P. Pavimento Permeável Como Técnica Compensatória Na Drenagem Urbana Da Cidade Do Recife. Universidade Federal De Pernambuco Centro De Tecnologia E Geociências. Recife -PE, 2011.

CURITIBA. Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba Volume II - Volume Técnico Tomo 2 - Politicas e Ações Não Estruturais. Curitiba, 2014. Disponível em : https://mid.curitiba.pr.gov.br/2018/00238310.pdf . Acesso em: 07 out. 2019.

de Moraes, G. F., de Mello, T. M. P., Teixeira, N. C., & Martins, T. S. Avaliação da Fragilidade do Sistema de Drenagem Pluvial Urbana: O Caso da Bacia Hidrográfica do Córrego Quarta-Feira em Cuiabá-MT. Congresso ABES – FENASAN 2017.

FISRWG. Stream corridor restoration: Principles, Processes, and Practices. 1998. Federal Interagency Stream Restoration Work Group. National Technical Info Svc, 1998. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ktiLBPSWpqQC&oi=fnd&pg=PR19&dq=FISRWG.+Stream+corridor+restoration:+Principles,+Processes,+and+Practices.+1998.&ots=95sR_seteP&sig=ZXVSM3gGOd5tISp0G0wxrj68wTs#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 26 set. 2019.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005. Disponível em: http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005_inundacoes.pdf. Acesso em: 15 set. 2019.

IBGE. Censo demográfico 1940-2010. Até 1970 dados extraídos de: Estatísticas do século XX. Rio de Janeiro: IBGE, 2007 no Anuário Estatístico do Brasil, 1981, vol. 42, 1979.

IBGE. Estimativas da população residente para os municípios e para as unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2019. Disponpivel em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/santo-antonio-do-monte/panorama. Acesso em: 21 ago. 2019.

IBGE. Mapa de Solos do Brasil, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (EMBRAPA). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011. Disponivel em: https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/920267/o-novo-mapa-de-solos-do-brasil-legenda-atualizada. Acesso em

MAPBIOMAS. Coleção 4 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil - Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil. Disponível em: http://plataforma.mapbiomas.org/map#coverage. Acesso em: 07 out. 2019.

MATIAS, E. M. A. Avaliação do impacto dos órgãos de entrada no comportamento dos sistemas de drenagem urbanos. Universidade de Coinbra, 2016. Dissertação de Mestrado. Disponível em: https://eg.uc.pt/bitstream/10316/38708/1/Avaliacao%20do%20Impacto%20dos%20orgaos%20de%20Entrada%20no%20Comportamento%20dos%20Sistemas%20de%20Drenagem%20Urbanos.pdf. Acesso em: 10 out. 2019.

MINAS GERAIS. Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Publicação - Diário do Executivo - Minas Gerais. 30/01/1999. Disponível em: http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5309 . Acesso em: 14 set. 2019.

NAGHETTINI, Mauro. Notas de Aula: Engenharia de Recursos Hídricos. Belo Horizonte, 1999. Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, UFMG.

PSAM. História da Cidade de Santo Antônio do Monte – MG. Prefeitura Santo Antônio do Monte. Disponível em: https://samonte.mg.gov.br/c/historia/historia. Acesso em 21 ago. 2019.

REIS, R. P. A.; OLIVEIRA, L. H.; SALES, M. M. Proposição de parâmetros de dimensionamento e avaliação de poço de infiltração de água pluvial. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23. ABES, 2005. p. 1-9.

SANTANA, D. P. Manejo integrado de bacias hidrográficas. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63 p. Disponível em https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/docume30ID-TUSBRYuXa7.pdf . Acesso em: 29 set. 2019.

SANTO ANTÔNIO DO MONTE. Lei nº 2.158 de 13 de novembro de 2013. Aprova O Plano De Saneamento Básico Integrado Do Município De Santo Antônio Do Monte. Disponível em: https://www.camarasam.mg.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1461:lei-2158plano-de-saneamento-basico-integrado&catid=145:leis-municipais-2013&Itemid=174. Acesso em 04 set. 2019.

SANTO ANTÔNIO DO MONTE. Lei nº. 1.882 de 24 de maio de 2007. Institui o Plano Diretor do Município de Santo Antônio do Monte, nos termos do artigo 182 da Constituição Federal, da Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001 - Estatuto da Cidade e da Lei Orgânica do Município. Disponível em: https://www.camarasam.mg.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=4285:lei-1882institui-o-plano-diretor&catid=124:plano&Itemid=214. Acesso em: 04 set. 2019.

SANTOS JÚNIOR, V. J.. Avaliação da fragilidade no sistema de drenagem pluvial urbana: o caso da bacia hidrográfica do córrego das Melancias em Montes Claros–MG. Revista Monografias Ambientais, v. 13, n. 5, p. 3986-3997, 2014.

SARTORI, A; GENOVEZ, A. M. Desenvolvimento de Critérios para Classificação Hidrológica de Solos e Determinação de Valores de Referência para o Parâmetro CN. 235p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas - SP, 2010.Disponíovel em: http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/257878. Acesso em: 28 set. 2019.

SCHUSSEL, Z. G. L. O desenvolvimento urbano sustentável uma utopia possível?. Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 9, 2004. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/made/article/view/3081. Acesso em: 04 nov. 2019.

Silva, B. C.; Clarke, R. T. Análise estatística de chuvas intensas na Bacia do Rio São Francisco. Revista Brasileira de Meteorologia, v.19, p.265-272, 2004.

SILVA, B. D., Pereira, O. S., ASSIS, W. D., & MORAIS, L. (2014). O componente drenagem urbana no plano municipal de saneamento ambiental de Alagoinhas, Bahia.

SILVA, T. C. Mapeamento das Manchas de Inundação para a Cidade de Matias Barbosa – MG, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Juiz de Fora. Disponível em: http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/Tabatha-Carvalho_TCC_FINAL.pdf. Acesso em 07 out. 2019.

SILVEIRA, A L. L. Desempenho de formulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, p. 5-23, 2005.Disponível em: https://biblat.unam.mx/hevila/Revistabrasileiraderecursoshidricos/2005/vol10/no1/1.pdf . Acesso em: 16 nov. 2019.

SILVEIRA, A. L. L. Apostila: Drenagem Urbana: aspectos de gestão. 1. Ed. Curso preparado por: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CNPq), 2002.

Simons, D. B., Ponce, V. M., Li, R. M., Chen, Y. H., Gessler, J., Ward, T. J., & Duong, N. Flood flows, stages and damages, 1997. Fort Collins: Colorado State University.

STEINER, L. Avaliação do sistema de drenagem pluvial urbana com aplicação do índice de fragilidade. Estudo de caso: microbacia do Rio Criciúma, SC. 2011. 106 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, 2011.

STUDART, T. M. C. Hidrologia: Notas de Aula. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2002.

THOMAZINI, L. S.; LUPINACCI, C. M. Avaliação da fragilidade ambiental em área de expansão urbana: o caso da bacia do Córrego do Castelo, Bauru (SP). Geografia, v. 42, n. 1, p. 71-88, 2017.

TUCCI, C. E. M. Gestão de Inundações Urbanas. Ministério das Cidades, 2005. Disponível em: http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/importacao/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-terrimorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/GestaodeInundacoesUrbanas.pdf/view . Acesso em: 28 out. 2019.

TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, v. 11, 2007. Disponível em: http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/importacao/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-terrimorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/drenagem1.PDF . Acesso em: 23 set. 2019.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C.. Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Ed. dos Autores, 2003. Disponível em: https://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/5/23335/InBr02803.pdf. Acesso em: 23 set. 2019.

TUCCI, C. E.M. et al. Hidrologia: Ciência e Aplicação, 3ª edição. Porto Alegre, Editora da UFRGS/ABRH, 2004.

TUCCI, C. E. M. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. Revista brasileira de recursos hídricos, v. 2, n. 2, p. 5-12, 1997. Disponível em: http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2016/12/plano-diretor-drenagem-urbana.pdf. Acesso em: 04 out. 2019.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 2, n. 1, p. 135-152, 1997. Disponível em: http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2016/12/impacto-das-mudan%C3%83%C2%A7as-cobertura-vegetal-no-escoamento.pdf. Acesso em: 03 nov. 2019.

TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. Drenagem urbana e controle de erosão. VI Simpósio Nacional de Controle da Erosão, Presidente Prudente, São Paulo, 1998. Disponível em: http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/importacao/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-terrimorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/SED.PDF. Acesso: em 14 nov. 2019.

TUNDISI, J. G.. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. Cienc. Cult., São Paulo , v. 55, n. 4, p. 31-33, Dec. 2003 . Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000400018&lng=en&nrm=iso . Acesso em: 10 Dec. 2019.

UFRRJ. Parâmetros Geomorfológicos – Cobertura Vegetal. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/geo.htm. Acesso em: 04 nov. 2019.

USGS.United States Geological Survey. Resumo do Ciclo da Água. Disponível em: https://water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html . Acesso em: 16 set. 2019.

VASCONCELOS, E. Bacia Hidrográfica e a Importância de sua Conservação. Santana/ Macapá – AP, 2016. Disponível em: https://www.logicambiental.com.br/bacia-hidrografica-e-a-importancia-de-sua-conservacao/. Acesso em: 13 nov. 2019.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: DESA – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, 2005.

Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=1pxhLVxVFHoC&oi=fnd&pg=PA15&dq=VON+SPERLING,+M.+Introdu%C3%A7%C3%A3o+%C3%A0+qualidade+das+%C3%A1guas+e+ao+tratamento+de+esgotos.+Belo+Horizonte:+DESA+%E2%80%93+Departamento+de+Engenharia+Sanit%C3%A1ria+e+Ambiental+UFMG,+2005.&ots=CiEwE24D_l&sig=lxhs24lC_Zh1ltFn8rvyEAOQk2Y#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 22 nov. 2019