CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

ANÁLISE DA TENDÊNCIA A EVENTOS DE INUNDAÇÕES EM ÁREAS DE VÁRZEA NA BACIA DO RIBEIRÃO ARRUDAS - MINAS GERAIS

LOHANNE DE SOUZA FERREIRA FREITAS

BELO HORIZONTE
2019

LOHANNE DE SOUZA FERREIRA FREITAS

ANÁLISE DA TENDÊNCIA A EVENTOS DE INUNDAÇÕES EM ÁREAS DE VÁRZEA NA BACIA DO RIBEIRÃO ARRUDAS - MINAS GERAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Peixoto Amaral

BELO HORIZONTE

2019

Freitas, Lohanne de Souza Ferreira.

Análise da tendência a eventos de inundações em áreas de várzea na Bacia Do Ribeirão Arrudas - Minas Gerais / Lohanne de Souza Ferreira Freitas: 2019.

75 p.;

Orientadora: Luciana Peixoto Amaral

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2019.

1. Escoamento superficial. 2. Índices morfométricos. 3. Características fisiográficas. 4. Recursos hídricos. I. Freitas, Lohanne de Souza Ferreira. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Análise da tendência a eventos de inundações em áreas de várzea na Bacia Do Ribeirão Arrudas - Minas Gerais.

Lohanne de Souza Ferreira Freitas

ANÁLISE DA TENDÊNCIA A EVENTOS DE INUNDAÇÕES EM ÁREAS DE VÁRZEA NA BACIA DO RIBEIRÃO ARRUDAS - MINAS GERAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Data de aprovação: 19/11/2019

Banca examinadora:

Luciana Peixoto Amaral – Presidente da Banca Examinadora

Prof.ª Dra. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Lilia Maria de Oliveira

Prof.ª Dra. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Vandeir Robson da Silva Matias

Prof. Dr. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Aos meus pais que me concederam o dom da vida e são companhias fundamentais em minha jornada, as minhas irmãs que compartilham comigo a fraternidade de seus corações e aos demais familiares e amigos que sempre acreditaram e me incentivaram nas conquistas de meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Mais um capítulo da minha vida se completa e com muita gratidão a Deus pelas oportunidades concedidas de aprendizado e crescimento. Agradeço ainda às pessoas essenciais para esta conquista:

Aos meus queridos pais, Nilton e Alessandra, que me ensinaram a viver com dignidade e que, muitas vezes, se doaram por inteiro renunciando aos seus sonhos para que os meus se realizassem.

Às minhas irmãs, Larissa e Laura, por serem fonte de amor e luz em minha vida.

Ao meu amado Neilor, companheiro de todas as horas que renova as minhas energias com o seu carinho, e aos meus familiares agradeço pelos incentivos e amparo de sempre.

À minha orientadora, Prof.ª. Dra Luciana Peixoto Amaral, profissional que obteve minha admiração e respeito, sou grata por todo apoio e auxílio a mim direcionados durante a orientação deste trabalho.

Por fim, aos amigos que o CEFET-MG me proporcionou, agradeço por me estenderem suas mãos. Entre nós a amizade, companheirismo e solidariedade foram alguns dos sentimentos que surgiram.

A atual colheita é fruto das sementes doadas por cada um de vocês.

"Estude e não esmoreça, pois traz erguida a cabeça quem sempre cumpre o dever. A vida é luta e batalha e nela só quem trabalha merece e deve vencer."

Autor Desconhecido

RESUMO

FREITAS, Lohanne de Souza Ferreira, Análise da tendência a eventos de inundações em áreas de várzea na Bacia Do Ribeirão Arrudas - Minas Gerais. 2019. 74 p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

Os estudos acerca da dinâmica das bacias hidrográficas são úteis e importantes para compreender como os processos de urbanização interferem na quantidade de água infiltrada, na recarga das águas subterrâneas, no escoamento superficial e, consequentemente, nos eventos de inundações. O objetivo deste trabalho foi estudar a bacia hidrográfica do Ribeirão Arrudas, que abrange os municípios de Belo Horizonte, Contagem e Sabará, no estado de Minas Gerais, no que tange a análise da tendência das áreas de várzea a eventos de inundações. A metodologia consistiu em caracterizar a bacia por meio dos aspectos fisiográficos e dos índices morfométricos, avaliar tais características e analisar as características inerentes à própria bacia associada aos registros das áreas sujeitas à inundação. Em relação aos resultados, foram gerados mapas de hidrografia, dos principais córregos, de classificação da hierarquia de rede fluvial de drenagem, de declividade, de hipsometria, dos tipos de solo, dos tipos de cobertura vegetal, de uso e ocupação do solo, e das áreas de risco de inundação. Verificou-se que a bacia é alongada, de contorno irregular, com área de 228,37 km^2, perímetro de 83,8 Km, fator de forma de 0,12, índice de compacidade de 1,56, índice de circularidade de 0,41, padrão de drenagem é dendrítico, comprimento do rio principal é de 43,41 Km, é de 5ª ordem, comprimento total dos canais de 396,5 Km, densidade de drenagem de 1,74 Km/Km^2, percursor médio sobre o terreno de 0,29 Km, textura topográfica grosseira, coeficiente de manutenção de $5{,}75 \times 10^{-4}$ km^2/km, o predomínio do relevo é de ondulado a suave ondulado e altitude varia entre 696 a 1510 metros. Assim, verificou-se que as inundações não tendem a ocorrer devido às características inerentes à própria bacia, pois esta é pouco sujeita a eventos de inundações, conforme os índices morfométricos da bacia em estudo. Então, infere-se que as intervenções antrópicas vêm contribuído para a ocorrência destes eventos na bacia hidrográfica do Ribeirão Arrudas.

Palavras-Chave: Inundações. Índices morfométricos. Características fisiográficas. Recursos hídricos.

ABSTRACT

FREITAS, Lohanne de Souza Ferreira, Analysis of the tendency to flooding events of floodplain areas on the Ribeirão Arrudas watershed, in Minas Gerais state, 2019. 74 p. Monography (BS in Environmental and Sanitary Engeneering) - Science and environmental technology departament, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

The studies on the watersheds dynamics are useful and important to understand how the urbanization processes interfere in the infiltrated water amount, in the superficial flow and, as a consequence, in the flooding events. The objective of this work was to study the watershed of Ribeirão Arrudas, that embraces the cities of Belo Horizonte, Contagem and Sabará, in the Minas Gerais state, regarding the analysis of floodplain areas tendency to flooding events. The methodology consisted of characterizing the watershed through the physiographic aspects and morphometric indexes, assessing these characteristics and analyzing the characteristics inherent to the watershed itself associated with the records of areas subjected to flooding. In relation to the results, hydrography maps of the main streams, the classification of the drainage network hierarchy, the slope, hypsometry, soil types, vegetation cover, land use and occupation and risk areas were generated. It was found that the watershed is elongated, of irregular contour, with an area of 228.37 km2, perimeter of 83.8 km, form factor of 0.12, compactness index of 1.56, circularity index of 0, 41, drainage pattern is dendritic, length of main river is 43.41 km, fifth order, total length of canals, 396.5 km, drainage density 1.74 Km/Km^2, average terrain precursor of 0.29 km, coarse topographic texture, maintenance coefficient of 5.75x10-4 km2 / km, the predominant relief is from wavy to gentle undulated and altitude ranges between 696 to 1510 meters. Thus, it was found that flooding does not tend to occur due to the inherent characteristics of the watershed itself, as it is little subjected to flooding events, according to the morphometric indexes of the watershed under study. Thus, it can be inferred that anthropic interventions have contributed to the occurrence of these events in the Ribeirão Arrudas watershed.

Keywords: Flooding. Morphometric indexes. Physiografic characteristics. Walter resources

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Regiões Hidrográficas do Brasil. 21
Figura 2 – Elementos da Bacia Hidrográfica. 22
Figura 3 – Representação do ciclo da água. 25
Figura 4 – Processos e impactos que ocorrem devido aos processos de urbanização. 26
Figura 5– Padrões de drenagem. 32
Figura 6 – Composição da malha fluvial para calcular seu comprimento total. 34
Figura 7 – Metodologia utilizada para elaboração do trabalho. 37
Figura 8 – Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Arrudas. 38
Figura 9 – Subdivisões da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas 39
Figura 10 – Mapa da Hidrografia da Bacia do Ribeirão Arrudas com destaque do Ribeirão Arrudas. 47
Figura 11 – Mapa de Classificação da Hierarquia de Rede Fluvial de drenagem da Bacia do Ribeirão Arrudas 49
Figura 12 – Mapa da Declividade da Bacia do Ribeirão Arrudas. 52
Figura 13 – Mapa da Hipsometria da Bacia do Ribeirão Arrudas. 54
Figura 14 – Mapa dos tipos de solo da Bacia do Ribeirão Arrudas 55
Figura 15 – Mapa dos tipos de cobertura vegetal da Bacia do Ribeirão Arrudas. 57
Figura 16 – Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Ribeirão Arrudas nos anos 2000, 2010 e 2012. 58
Figura 17 – Mapa das áreas de risco de inundação em relação ao curso d'água principal e das áreas artificiais e áreas naturais da Bacia do Ribeirão Arrudas. 60
Figura 18 – Mapa das áreas de risco de inundação em relação à localização dos principais cursos d'água e das áreas artificiais e áreas naturais da Bacia do Ribeirão Arrudas. 62
Figura 19 – Mapa das áreas de risco de inundação em relação à ordem dos cursos d'água e das áreas artificiais e áreas naturais da Bacia do Ribeirão Arrudas. 63
Figura 20 – Mapa das áreas de risco de inundação em relação a declividade da Bacia do Ribeirão Arrudas. 64
Figura 21 – Mapa das áreas de risco de inundação em relação à hipsometria da Bacia do Ribeirão Arrudas. 65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação da declividade em porcentagem.....36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas.....27
Quadro 2 – Classificação para interpretação de valores de textura topográfica. 35
Quadro 3 – Bases de dados geoespaciais.....40
Quadro 4 – Determinação dos índices morfométricos da bacia. 41
Quadro 5 – Índices morfométricos da bacia. 43
Quadro 6 – Avaliação dos índices morfométricos da bacia. 67

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA - Agência Nacional de Águas

CBH - Comitê da Bacia Hidrográfica

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CRED CRUNCH - Centre for Research on the Epidemiology of Disasters

DEP - Departamento De Esgotos Pluviais

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FEAM - Fundação Estadual de Meio Ambiente

FJP - Fundação João Pinheiro

IAC - Instituto Agronômico

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDE-Sisema - Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

IEF - Instituto Estadual de Florestas

IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

PRODABEL - Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SINGREH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SISEMA - Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

UFRR – Universidade Federal de Roraima

USGS - United States Geological Survey

UTM - Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15

2 OBJETIVOS 20

2.1 Objetivo Geral 20

2.2 Objetivos específicos 20

3 REFERENCIAL TEÓRICO: ESTADO DA ARTE 21

3.1 Bacia hidrográfica 21

3.2 Ciclo hidrológico 23

3.3 Urbanização e drenagem 25

3.4 Geoprocessamento em gestão urbana e ambiental 28

3.5 Caracterização fisiográfica e morfométrica 29

3.5.1 Características geométricas 29

3.5.1.1 Área de drenagem (A) e Perímetro (P) 30

3.5.1.2 Forma da bacia 30

3.5.1.3 Índice de rugosidade (IR) 31

3.5.1.4 Padrão de drenagem 31

3.5.2 Características da rede de drenagem 33

3.5.2.1 Comprimento do rio principal 33

3.5.2.2 Hierarquia dos canais de drenagem 33

3.5.2.3 Comprimento total dos canais 33

3.5.2.4 Densidade de drenagem (λ) e percurso médio sobre o terreno (L_p) 34

3.5.2.5 Textura da topografia (Tt) 34

3.5.2.6 Coeficiente de manutenção (Cm) 35

3.5.3 Características do relevo 35

3.5.3.1 Declividade 36

3.5.3.2 Hipsometria 36

4 METODOLOGIA 37

4.1 Descrição da área de estudo: Bacia Hidrográfica do Ribeirão Arrudas 38

4.2 Coleta e tratamento de dados 40

4.3 Diagnóstico 40

4.4 Tomada de decisão 41

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 42

5.1 Caracterização e avaliação da fisiografia e morfometria da área de estudo 42
5.1.1 Área de drenagem (A) e Perímetro (P) 43
5.1.2 Fator de forma (K_f) 44
5.1.3 Índice de compacidade (K_c) 45
5.1.4 Índice de circularidade (I_c) 45
5.1.5 Índice de rugosidade (IR) 46
5.1.6 Padrão de drenagem 46
5.1.7 Comprimento do rio principal 47
5.1.8 Hierarquia dos canais de drenagem 48
5.1.9 Comprimento total dos canais 49
5.1.10 Densidade de drenagem (λ) e percurso médio sobre o terreno (L_p) 50
5.1.11 Textura da topografia (Tt) 51
5.1.12 Coeficiente de manutenção (Cm) 51
5.1.13 Declividade 52
5.1.14 Hipsometria 53
5.1.15 Tipo de Solo 55
5.1.16 Tipo de cobertura vegetal 57
5.1.17 Uso e ocupação do solo 58
5.2 Análise integrada: sobreposição das características da bacia e área de inundação 59
5.3 Tomada de decisão 66
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 69
REFERÊNCIAS 71

1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é definida como uma área natural de captação das águas precipitadas que converge os escoamentos para seu exutório, único ponto de saída. A bacia hidrográfica é caracterizada como um conjunto de superfícies topográficas e de uma rede de drenagem formada pela confluência das águas que escoam, resultando em um leito único (TUCCI, 2015).

A precipitação que cai sobre as vertentes tende a infiltrar-se nos solos e a escoar sobre as superfícies. À medida que as taxas de infiltração começam a diminuir, o escoamento superficial eleva-se. Caso a precipitação persista e ocorra a saturação do solo, nas áreas de declive acentuado haverá um aumento da velocidade de escoamento superficial das águas que é direcionada para a rede de drenagem da bacia hidrográfica. Durante esse escoamento, ocorre ainda o transporte de resíduos sólidos presentes nas superfícies, e também o carreamento de sedimentos oriundos da erosão do solo, muitas vezes ocasionada pelo salpicamento de partículas do solo devido ao impacto das gotas de chuva e da velocidade das águas sobre a superfície sem vegetação (TUCCI, 2015).

A dinâmica das bacias hidrográficas é afetada pelo uso e ocupação do solo, que interfere na quantidade de água infiltrada, na recarga das águas subterrâneas e no escoamento superficial. Segundo Canholi (2014), com o crescimento populacional, teve-se um aumento das áreas urbanizadas e do parcelamento do solo, levando à devastação da vegetação e à uma maior impermeabilização das áreas. E, devido à necessidade de interação da população com os recursos hídricos para a sua dessedentação, fonte de alimento, descarte de efluentes, desenvolvimento e meio de transporte, a urbanização deu-se a partir de zonas mais baixas, próxima aos cursos d’água, avançando em direção aos topos de morro.

A ocupação de áreas no fundo de vales levou a diversas retificações e canalizações a céu aberto dos cursos de água ou o seu encerramento em galerias, modificando os meandros e os relevos, para a abertura de vias para o tráfego e a construção de residências e comércios. Assim, estas áreas, que são sazonalmente sujeitas a alagamentos pelas características inerentes à bacia hidrográfica, em períodos de chuva intensos e/ou em curto período de tempo, sofreram alterações que provocaram uma aceleração de seus escoamentos e elevação dos picos de vazão,

ocasionando um aumento em quantidade e intensidade de eventos de cheia (CANHOLI, 2014).

Vale destacar que a alta densidade demográfica aliada à ocupação desordenada em áreas de risco e à alta exposição da população aos eventos naturais são características relevantes e determinantes em relação à ocorrência de eventos de riscos naturais e sociais. As populações mais afetadas são as de baixa renda que ocupam estas áreas devido a problemas socioeconômicos juntamente com a falta de planejamento urbano e ambiental (SILVA, 2009).

As inundações ocorrem em áreas adjacentes às margens dos cursos d´água, denominadas planícies de inundação que, por alguns períodos, permanecem secas. Porém, devido às precipitações intensas e persistentes, em determinadas épocas, ocorre a elevação do nível das águas até seu transbordamento (ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 2013). As inundações são fenômenos naturais e periódicos, em que o leito maior dos cursos d'água é utilizado para a passagem de grandes volumes de água. Entretanto, a ocupação dessas áreas pela população tem reduzido a infiltração e aumentado o escoamento das águas devido à impermeabilização do solo, ocasionando no transbordamento dos cursos d'água e, consequentemente, causando prejuízos materiais, bem como colocando em risco a vida da população local (DEP/IPH, 2005).

Quando um evento de inundação atinge a sociedade causando danos, o fenômeno deixa de ser natural e passa a ser um desastre (ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 2013). Os riscos relacionados à ocupação de áreas no entorno de corpos hídricos ocorrem em muitos países do mundo, uma vez que a drenagem urbana é abordada de forma acessória ao se tratar do parcelamento do uso do solo. De modo geral, em grandes metrópoles, o crescimento urbano ocorre de forma acelerada e nem sempre os sistemas de drenagem são considerados como fator importante nos planejamentos de expansão urbana (CANHOLI, 2014).

De acordo com o Centro de Pesquisa sobre a Epidemiologia dos Desastres - CRED CRUNCH (2016), muitas pessoas morrem por estarem em locais vulneráveis e expostas ao risco, devido à pobreza, à falta de sistemas de alerta às inundações e, também, à falta de ações governamentais. Um estudo realizado entre os anos de 1995 e 2015 relata que 90% dos desastres no mundo foram causados por inundações, tempestades e outros eventos relacionados ao clima, deixando as pessoas sem abrigo ou com necessidade de assistência com emergência. Nesse período, somente as

inundações afetaram 2,3 bilhões de pessoas no mundo e cerca de US$ 1,891 bilhões foram gastos com relação aos desastres climáticos, equivalente a 71% dos gastos atribuídos aos desastres naturais.

No ano de 2017, os desastres relacionados ao clima foram responsáveis pela maioria das perdas humanas e econômicas, aproximadamente 90% das mortes foram devidos à climatologia, hidrologia ou desastre meteorológico, e cerca de 60% das pessoas afetadas por desastres, neste ano, foram afetadas por inundações (CRED CRUNCH, 2018). Destaca-se que, em áreas não habitadas, as inundações não são consideradas desastres, uma vez que não há pessoas afetadas, sendo assim, as inundações são apenas processos físicos (LONDE *et al*., 2014).

Grande parte das cidades brasileiras desenvolvem-se sem planejamento, sem controle do uso do solo, com ocupação em áreas de risco e com sistemas de drenagem inadequados. Assim, geram-se impactos significativos no meio ambiente e para a população, que perde em qualidade de vida, devido ao aumento de eventos de inundações, à redução da qualidade da água e ao aumento da presença de resíduos sólidos na rede de escoamento pluvial (DEP/IPH, 2005).

Segundo um estudo do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (2013), em relação aos desastres naturais entre as décadas de 1990 e 2000 no Brasil, constatou-se que:

- Do total de desastres naturais registrados como inundação neste período, os valores representativos para cada década foram de 20% e 80%, respectivamente.
- Houve um aumento dos registros de ocorrência de inundação de 3,9 vezes de uma década à outra.
- Dos registros de pessoas afetadas por desastres naturais (estiagem e seca, enxurradas, inundação, vendavais, granizo, movimentos de massa, erosão, incêndio, tornado, alagamento, geada) no período de 1991 a 2012, 12,04% são referentes às inundações; e
- Dos registros de mortes por tipo de desastres naturais, 13,40% deram-se devido aos eventos de inundações no período de 1991 a 2012.

O estado de Minas Gerais contribuiu para a representatividade da região Sudeste com 521 municípios, registrando 1.052 ocorrências de inundações caracterizadas como desastres, nos anos de 1991 a 2012. Pela frequência mensal de

todos os registros de inundações no estado, o período de maior recorrência é de novembro a março, que corresponde à temporada de chuvas. Sendo assim, os meses de verão representaram 69% do total dos registros. As mesorregiões mais afetadas no estado apresentam-se na região leste, em que os municípios geralmente se encontram em local com extensa rede hidrográfica e elevados índices pluviométricos (ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 2013).

Segundo um estudo do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (2013, p. 68), nos anos de 1991 a 2012, a região Metropolitana de Belo Horizonte apresentou 122 registros de inundações, correspondendo a 11,6% dos 1.052 registros oficiais de inundações excepcionais caracterizadas como desastre, no estado de Minas Gerais. O município de Sabará teve um registro no ano de 2003 e Contagem em 2003, 2010 e 2012. Já em Belo Horizonte teve-se um registro de inundação no ano de 2004 e outro em dezembro de 2011, sendo que neste mês a inundação afetou 2 milhões de habitantes e deixou 67 desabrigados. Conforme os dados oficiais desse Atlas, ocorreram intensas chuvas em dezembro de 2011 no município de Belo Horizonte, com acumulado de 165 mm em 24 horas, que representaram mais da metade da média climatológica, 319,4 mm, para este mês. Esse volume de chuva em Belo Horizonte foi considerado o maior nos últimos cem anos, para um período de 24 horas, provocando desastres como interrupção do sistema viário, destruição de ruas, viadutos e muros de arrimo e deixou pessoas desabrigadas e desalojadas.

Além do cenário de desastre devido às inundações, após a ocorrência desses eventos, o aparecimento de doenças de veiculação hídrica pode ser considerado um desastre secundário para a população que entrou em contato com a água contaminada. As doenças geralmente são causadas devido à interrupção no abastecimento de água e nos sistemas de saneamento após a ocorrência do desastre ou por condições precárias de higiene, comuns em aglomerados humanos (LONDE *et al*., 2014).

Salienta-se que a sociedade civil juntamente com os órgãos públicos deve adotar medidas para mitigar os impactos causados pelos eventos de inundações, por meio da integração de planejamento urbano e ambiental (SILVA, 2009). A finalidade dessa gestão deve ser de prevenir ou minimizar possíveis perdas de vidas e impactos negativos para a sociedade, meio ambiente e economia (HIPÓLITO e VAZ, 2017).

Diante dos dados apresentados, os estudos de eventos de inundações em bacias hidrográficas são úteis e importantes para compreender a dinâmica desses eventos e propor alternativas para a redução dos danos à população.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal desta pesquisa é analisar a tendência das áreas de várzea da bacia hidrográfica do Ribeirão Arrudas a eventos de inundações, identificando as características fisiográficas e comparando os índices morfométricos da bacia.

2.2 Objetivos específicos

Dentre os objetivos específicos, têm-se:

1) Caracterizar a bacia hidrográfica por meio dos aspectos fisiográficos e dos índices morfométricos;

2) Avaliar as características fisiográficas e os índices morfométricos como ferramentas para identificação de áreas sujeitas a eventos de inundações; e

3) Analisar em conjunto as informações obtidas por meio da sobreposição dos mapas gerados, com o intuito de identificar os fatores que favorecem os eventos de inundação nas áreas urbanizadas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO: ESTADO DA ARTE

3.1 Bacia hidrográfica

O Brasil foi divido em 12 regiões hidrográficas (Figura 1) pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) por meio da Resolução Nº32, de 15 de outubro de 2003, que instituiu a divisão hidrográfica nacional com o intuito de estabelecer uma base organizacional que contemple bacias hidrográficas como unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos. A Resolução considera que cada região hidrográfica é definida por uma ou por um agrupamento de bacias ou sub-bacias que possuam características ambientais, sociais e econômicas similares.

Figura 1 – Regiões Hidrográficas do Brasil.

Fonte: Agência Nacional de Águas - ANA (2019).

A definição de bacia hidrográfica pode variar conforme compreensão dos estudiosos ou profissionais de áreas diferentes. De acordo com a Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) baseia-se no fundamento de que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da PNRH e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Um dos objetivos dessa Lei é a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais (inciso III, do Art.2º, da Lei 9.433/97).

Em um estudo hidrológico, uma bacia hidrográfica pode ser considerada como um sistema físico composto por superfícies topográficas e rede de drenagem, em que ocorre a entrada do volume precipitado e a sua saída na foz. Nesse processo, ocorrem

perdas intermediárias do volume precipitado através de etapas do ciclo hidrológico como a evaporação, transpiração e infiltração da água pluvial. A função da bacia hidrográfica é distribuir lentamente a água precipitada de forma concentrada no tempo e espaço (TUCCI, 2015).

Alguns dos elementos que compõem uma bacia hidrográfica e auxiliam os estudos de seu monitoramento são as nascentes, os afluentes, o leito principal, o divisor de águas, o lençol freático, a foz, o fundo de vale, dentre outros, conforme pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Elementos da Bacia Hidrográfica.

Fonte: BORNANCIN (s.d.).

A delimitação de uma bacia pode ocorrer com base no relevo, pelas características geológicas ou pela posição do lençol freático. Porém, usualmente a delimitação é realizada com base no relevo, por meio da análise das curvas de nível identificando as áreas de maior cota altimétrica no terreno, denominadas divisores topográficos. O conjunto de áreas delimitadas pelos divisores topográficos é responsável por direcionar todas as entradas para um único ponto de saída, sendo

assim, tem-se que os impactos, ações, intervenções e projetos que ocorrem em um ponto da bacia poderão afetar toda a área a sua jusante (PAZ, 2004).

3.2 Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água, seja no estado líquido, sólido e/ou gasoso, entre a superfície terrestre e a atmosfera. Os fatores que fomentam esse fenômeno são a energia solar, a gravidade e a rotação terrestre (TUCCI, 2015).

As águas se movimentam e se transformam no interior de três unidades principais do planeta: a atmosfera (camada gasosa), a hidrosfera (águas oceânicas e continentais) e a litosfera (crosta terrestre) (MACHADO e TORRES, 2012). Pode-se descrever que essa movimentação ocorre a partir das seguintes etapas:

a) Evaporação: é a passagem da água líquida para o estado de vapor, devido à energia solar que incide sobre superfícies terrestres, rios, mares e lagos, dentre outros (MACHADO e TORRES, 2012).

b) Evapotranspiração: é um caso particular da evaporação que envolve as plantas e os demais seres vivos por meio da transpiração da biomassa. Sendo assim, pode-se dizer que a evapotranspiração é a soma da evaporação e da transpiração (TUCCI, 2015; MACHADO e TORRES, 2012).

c) Condensação: é o processo em que o vapor de água presente na atmosfera passa para o estado líquido, devido a determinadas condições meteorológicas como, por exemplo, o resfriamento do ar úmido ou o aumento de vapor de água na atmosfera. Esse processo inicia-se pela saturação do vapor que favorece o acúmulo de microgotículas de água com partículas de poeira e/ou gelo, formando as nuvens. As nuvens comportam uma grande quantidade de gotículas com peso e tamanho suficientes para ficarem em suspensão na atmosfera, sujeitando-se à força da gravidade, ao empuxo e à ação dos movimentos ascendentes do meio atmosférico (TUCCI, 2015; MACHADO e TORRES, 2012).

d) Precipitação: ocorre subsequentemente ao processo de condensação, assim que a força gravitacional supera as forças ascendentes do ar, ocasionando na queda das gotículas na atmosfera (MACHADO e TORRES, 2012).

e) Interceptação: refere-se à parte da precipitação que fica retida nas superfícies das plantas e edifícios, até que ocorra a sua evaporação. O processo de

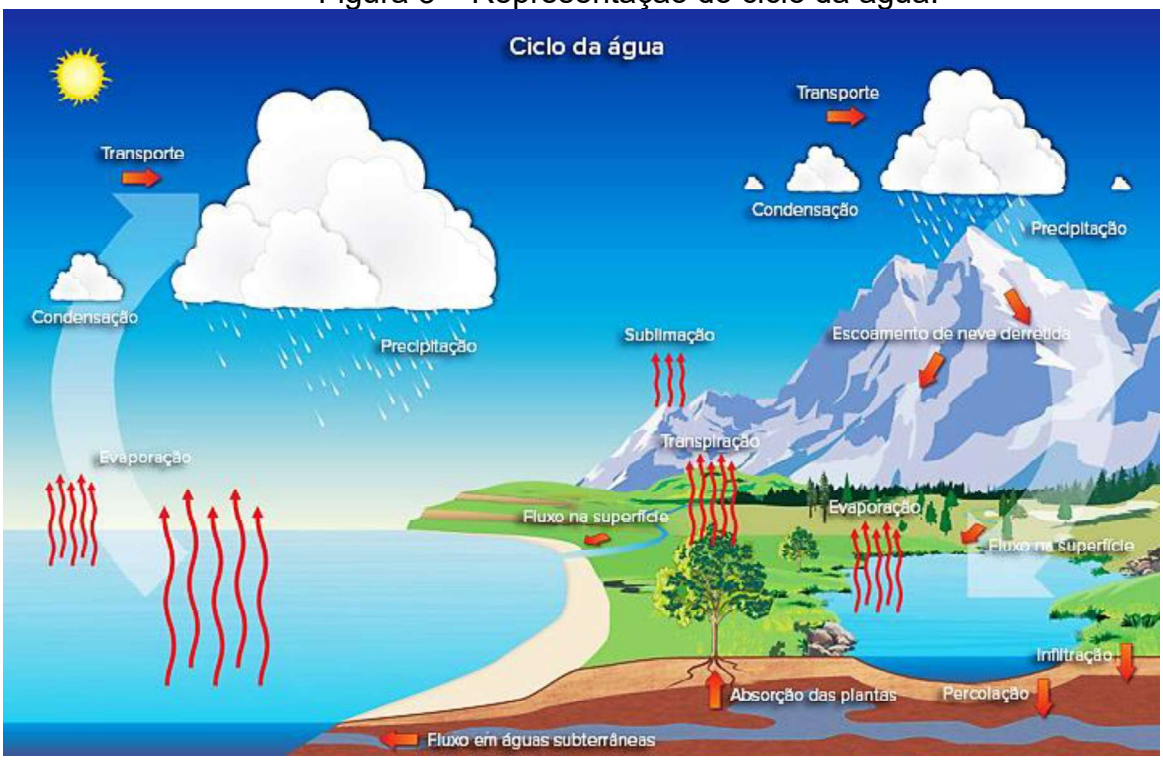
interceptação impede que a precipitação entre diretamente em contato com o solo, diminuindo o seu salpicamento e erosão, porém, impede a infiltração da água no solo que favorece a recarga do lençol freático (MACHADO e TORRES, 2012).

f) Infiltração: é o processo em que a precipitação que atinge o solo percola os seus poros, contribuindo para o acúmulo de águas subterrâneas. Ao longo do tempo, o solo vai se saturando, partindo das maiores profundidades até a sua superfície, à medida que a infiltração decresce até uma taxa residual em que o excesso de água não se infiltra (TUCCI, 2015).

g) Escoamentos: quando uma precipitação atinge o solo parte da água começa a escoar pela sua superfície devido à ação da gravidade. Este processo é classificado como escoamento superficial e se intensifica a partir da saturação do solo, ocasionando a sua erosão e o carreamento de sedimentos. O escoamento superficial inicia-se com a formação de pequenos filetes de água que gera erosão do solo e leva à formação de uma microrrede de drenagem, convergindo para cursos d'água mais estáveis, como os rios. Quando há presença de vegetação sobre a cobertura do solo, o processo erosivo é minimizado pela diminuição da energia cinética da água em contato com o solo e por favorecer a infiltração da água nas camadas do solo. Já o escoamento subterrâneo acontece abaixo da camada superficial, onde o solo encontra-se encharcado devido ao acumulo de água (TUCCI, 2015; MACHADO e TORRES, 2012).

Na Figura 3 é apresentada cada uma das etapas descritas anteriormente, representando o ciclo da água a nível global.

Figura 3 – Representação do ciclo da água.



Fonte: NOAA National Weather Service Jetstream (2012) *apud* Khan Academy (2019)[1].

Conforme apresentado, o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica depende tanto das características climáticas, que estão diretamente relacionadas à transformação dos estados físicos da água, quanto das características fisiográficas da região, relacionadas às caraterísticas físicas inerentes à própria localidade. Porém, em termos de ocupação do solo, o que mais interfere no ciclo hidrológico é a substituição ou retirada da camada de vegetação e, ainda, a urbanização da região (HIPÓLITO e VAZ, 2017).

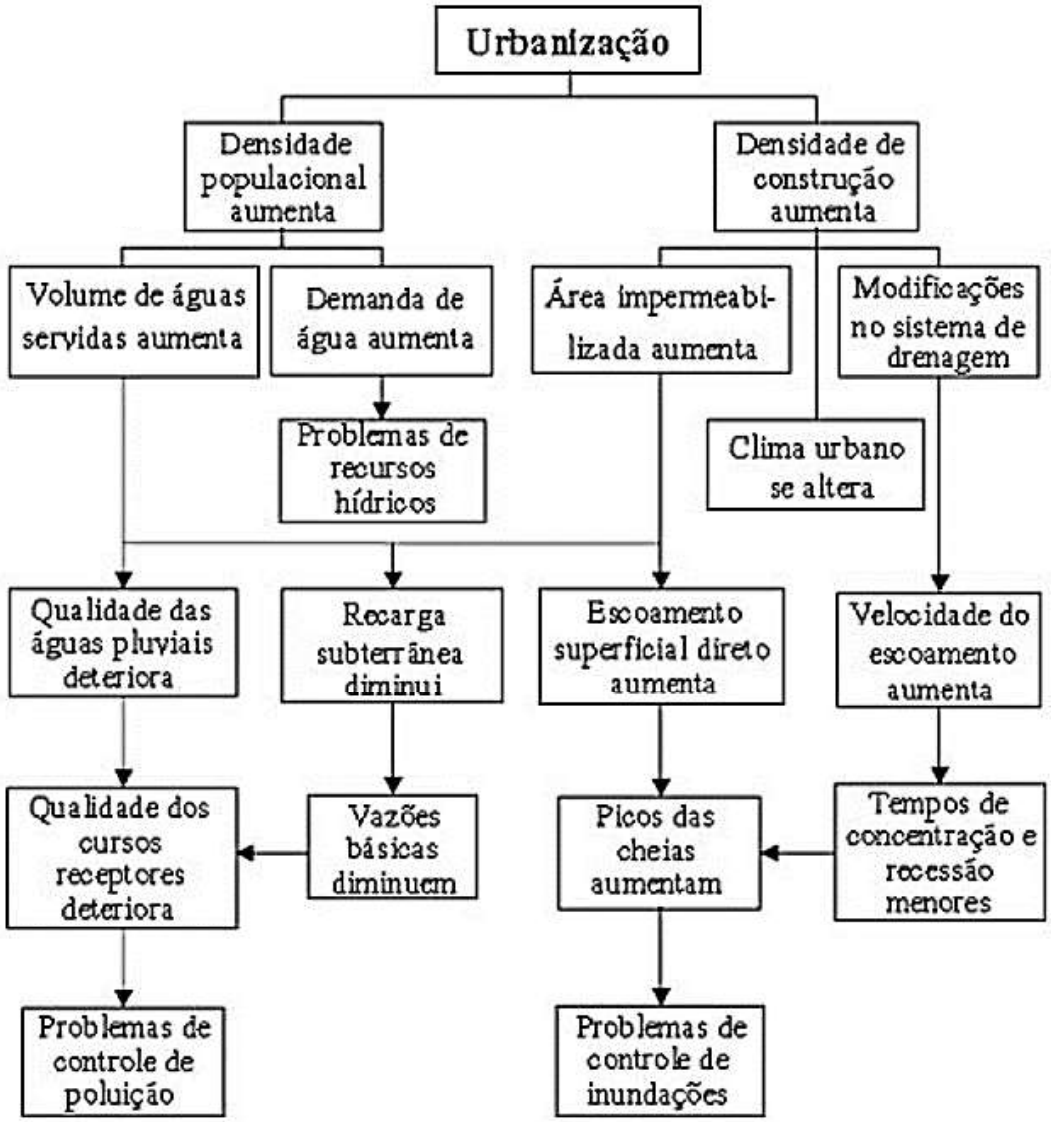
3.3 Urbanização e drenagem

O processo de urbanização pode gerar diversos impactos em uma bacia hidrográfica (Figura 4). O desmatamento e impermeabilização do solo para a construção de vias, edifícios e outras áreas com revestimentos impermeáveis são algumas das ações que levam a uma maior retenção superficial das águas com a diminuição da infiltração e o aumento do escoamento superficial, direcionando rapidamente as águas às seções de saída. Além disso, como parte da urbanização

[1] NOAA - National Weather Service Jetstream. **The Water Cycle.** 2012 *apud* Khan Academy.

os principais cursos d'água responsáveis por receber as águas de toda a bacia frequentemente são canalizados, retificados e revestidos, o que proporciona uma maior probabilidade de cheias nestes locais que recebem uma grande quantidade de água em um curto período de tempo (HIPÓLITO e VAZ, 2017).

Figura 4 – Processos e impactos que ocorrem devido aos processos de urbanização.



Fonte: HALL (1984) *apud* TUCCI (2015).[2]

São diversos os processos ocasionados pela urbanização que favorecem os eventos de inundação (Quadro 1). A alteração do microclima das áreas urbanizadas é um dos impactos que, a longo prazo, pode levar a alterações significativas no

[2] HALL, M. J. **Urban Hydrology**. Belfast – Ireland, Elsevier Ltd., 1984 *apud* TUCCI.

balanço hídrico de uma bacia hidrográfica, bem como na qualidade das águas (TUCCI, 2015).

Quadro 1 – Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas.

Causas	Efeitos
Impermeabilização, redes de drenagem e lixo	Maiores picos e vazões
	Maiores picos a jusante
	Degradação da qualidade da água
	Obstrução de bueiros e galerias
Redes de esgoto deficientes	Degradação da qualidade da água
	Moléstias de veiculação hídrica
	Inundações: consequências mais sérias
Desmatamento e desenvolvimento indisciplinado	Maiores picos e volumes
	Mais erosão
	Assoreamento em canais e galerias
Ocupação das várzeas	Maiores prejuízos
	Maiores picos
	Maiores custos de utilidades públicas

Fonte: TUCCI (2015).

Com o processo de urbanização, há a demanda de ampliação da capacidade dos condutos de drenagem pluvial, sendo os condutos secundários da microdrenagem os mais sobrecarregados pelo aumento do fluxo de água, porém, a macrodrenagem geralmente é a mais impactada pelas cheias. Tendo em vista que a ocupação de uma bacia hidrográfica geralmente se dá de jusante para montante, devido às características do relevo, se o poder público não adota medidas que acompanham o crescimento urbano, como a ampliação da macrodrenagem, a frequência dos eventos de inundação aumenta. Assim, a população que vive a jusante é mais impactada pelos eventos de inundação devido ao crescimento da população a montante (TUCCI, 2015).

Segundo o autor, além das consequências hidrológicas já apresentadas, a urbanização pode também interferir na drenagem urbana por meio de consequências não hidrológicas, são elas:

- Consequências sobre a ocupação do solo: aumento de loteamentos clandestinos e inadequados, ocupação de áreas de risco pela população, crescimento de moradias irregulares, grandes extensões de terra ocupadas densamente sem que tenham uma área destinada para infiltração e armazenamento de água; e

- Consequências do comportamento político e administrativo: tendência do governo em adotar medidas corretivas ao invés de medidas preventivas nas obras públicas, ações públicas em pontos isolados com falta de planejamento integrado e conflito de interesses entre as diversas partes da administração pública para a elaboração e execução de projetos.

3.4 Geoprocessamento em gestão urbana e ambiental

A análise contínua do uso e ocupação da terra é um dos principais estudos que devem ser realizados pelos gestores e governantes em prol do desenvolvimento urbano. Verificar e acompanhar o uso, a finalidade e a forma como os recursos naturais de uma região estão sendo utilizados é de fundamental importância para auxiliar na elaboração de políticas públicas de uso da terra. (PRUDENTE e ROSA, 2007 *apud* SOARES, MEDEIROS e ALBUQUERQUE, 2014) [3].

Para realizar estes estudos é necessário compilar uma grande quantidade de informações espaciais de uma região e, por isso, as tecnologias do geoprocessamento vêm se tornando cada vez mais usual. Com o auxílio de ferramentas como os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) é possível integrar múltiplas camadas de informação e derivar informações adicionais (DAI, LEE e ZHANG, 2001).

Os SIGs referem-se ao modo como os métodos e técnicas geográficos quantitativos podem ser utilizados em um ambiente digital, possibilitando a criação de modelos de distribuição espacial, a análise de padrões e problemas locacionais, investigação e previsão da dinâmica do espaço ao longo do tempo (LONGLEY e BATTY, 1996). Além disso, contribuem para o levantamento, mapeamento e monitoramento dos recursos naturais, sendo um recurso útil para o desenvolvimento de ações que visam o planejamento ambiental (ROSA, 2009 *apud* SOARES, MEDEIROS e ALBUQUERQUE, 2014) [4].

---

[3] PRUDENTE, T. D.; ROSA. R. Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicados no mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal do município de Tupaciguara-MG. In: XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2007, Natal. **Anais...** Natal: SBGFA, 2007 *apud* SOARES V. L; MEDEIROS C. N; ALBUQUERQUE E. L. S.

[4] ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 7. ed. Uberlândia: EDUFU, 2009 *apud* SOARES V. L; MEDEIROS C. N; ALBUQUERQUE E. L. S.

Observar a terra por meio de diversas fontes de dados, técnicas e aplicações pode ser fundamental para a análise de perigos, avaliação de vulnerabilidade do ambiente, identificação e modelagem de risco de inundações e desenvolvimento de propostas de mitigação de impactos como base para tomadas de decisão antes, durante e depois de um evento de inundação (TAUBENOCK *et. al.*, 2011).

3.5 Caracterização fisiográfica e morfométrica

Os estudos desenvolvidos sobre a caracterização fisiográfica e morfométrica de uma bacia podem auxiliar na comparação de bacias hidrográficas, na interpretação dos fenômenos que já ocorreram e, também, a efetuar "previsões" de descarga de um curso d'água.

A caracterização fisiográfica de uma bacia pode ser obtida por meio da compilação de dados, como o tamanho, forma, tipo de relevo, declividade, rede fluvial, dentre outros (HIPÓLITO e VAZ, 2017), que podem ser fornecidas por fotografias aéreas ou imagens de satélite. Ou seja, são informações que podem ser obtidas por meio de análise visual da área de estudo.

Já a análise morfométrica consiste em estudos analíticos de índices e parâmetros dos elementos que compõem uma bacia hidrográfica (CANALI e OKA-FIORI, 1987 *apud* MACHADO e SOUZA, 2005)[5]. Estes estudos auxiliam na caracterização do ambiente, análise da sua tendência natural à ocorrência de alguns eventos como inundação e erosão do solo, identificação de incompatibilidade do terreno para algumas atividades humanas de uso e ocupação do solo (MACHADO e TORRES, 2012).

3.5.1 Características geométricas

A caracterização geométrica de uma bacia hidrográfica pode ser obtida a partir da sua área de drenagem, perímetro, forma, rugosidade e padrão de drenagem, conforme especificado a seguir.

[5] CANALI, N. E; OKA-FIORI, C. **Análise morfométrica da Rede de Drenagem da Área do Parque Marumbi – Serra do Mar (PR) –** Atas do III Simpósio Sul-Brasileiro de geologia, Curitiba, 1987, v1, p. 21-40. *apud* MACHADO e SOUZA.

3.5.1.1 Área de drenagem (A) e Perímetro (P)

A área de drenagem de uma bacia hidrográfica é uma área de projeção horizontal e plana da superfície compreendida entre divisores de água. De modo geral, a área de drenagem é expressa em Km^2 e está relacionada à vazão de escoamento da bacia hidrográfica. Já o perímetro de uma bacia hidrográfica corresponde ao contorno da área de drenagem do estudo, sendo representado em Km.

A determinação da área de drenagem e do perímetro pode ser feita por meio de um Sistema de Informação Geográfica - SIG. Ambos são parâmetros importantes que contribuem na determinação dos índices de estudo deste trabalho.

3.5.1.2 Forma da bacia

A forma de uma bacia hidrográfica pode influenciar diretamente no tempo de concentração, que corresponde ao tempo em que toda a precipitação leva para percorrer a bacia até seu exutório (ROMANOVSKI, 2001). A forma da bacia é definida pela relação das formas geométricas conhecidas por meio dos seguintes índices:

a) Fator de forma (K_f)

O fator de forma é um adimensional, definido entre 0 e 1, que representa a relação da largura média (l) da bacia e o seu comprimento (L), medido em relação ao talvegue (HIPÓLITO e VAZ, 2017). A sua determinação é dada por:

$$K_f = \frac{l}{\mathrm{L}} \qquad (1)$$

Em que $l = \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{L}}$, logo:

$$K_f = \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{L}^2} \qquad (2)$$

Em que A: área da bacia, em Km².

b) Índice de compacidade (K_c)

O índice de compacidade, também conhecido como índice de Gravelius, expressa a relação entre o perímetro da bacia (P) e o perímetro de um círculo de área igual à da bacia. Este índice não depende diretamente da área da bacia, mas sim da forma da bacia, sendo que quanto maior for o valor de K_c (adimensional, igual ou superior a 1) menos circular será a forma da bacia (HIPÓLITO e VAZ, 2017). A determinação deste índice é dada pela seguinte equação:

$$K_c = \frac{\mathrm{P}}{2\pi R} \quad (3)$$

Sendo a área de um círculo dada por: $A = \pi R^2$, tem-se que o raio pode ser escrito como: $R = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$. Reescrevendo a eq. (3), tem-se:

$$K_c = \frac{\mathrm{P}}{2\pi\sqrt{\frac{A}{\pi}}} = \frac{0{,}282\ P}{\sqrt{\mathrm{A}}} \quad (4)$$

c) Índice de circularidade (I_c)

O índice de circularidade, adimensional definido entre 0 e 1, assim como o índice de compacidade, tem o intuito de verificar se a forma da bacia se assemelha a uma forma circular. Sua determinação ocorre pela área de drenagem (A) e pelo perímetro (P) (TONELO, 2005), conforme equação:

$$I_c = \frac{12{,}57\ \mathrm{A}}{\mathrm{P}^2} \quad (5)$$

3.5.1.3 Índice de rugosidade (IR)

O índice de rugosidade é um adimensional que relaciona o escoamento hídrico superficial das águas com seu potencial de erosão no solo, expresso pela declividade média da bacia hidrográfica. Pode-se calcular este índice por meio da equação:

$$IR = \lambda \mathrm{H} \quad (6)$$

Em que: λ: densidade de drenagem (Km^{-1}) e H: amplitude altimétrica (km).

3.5.1.4 Padrão de drenagem

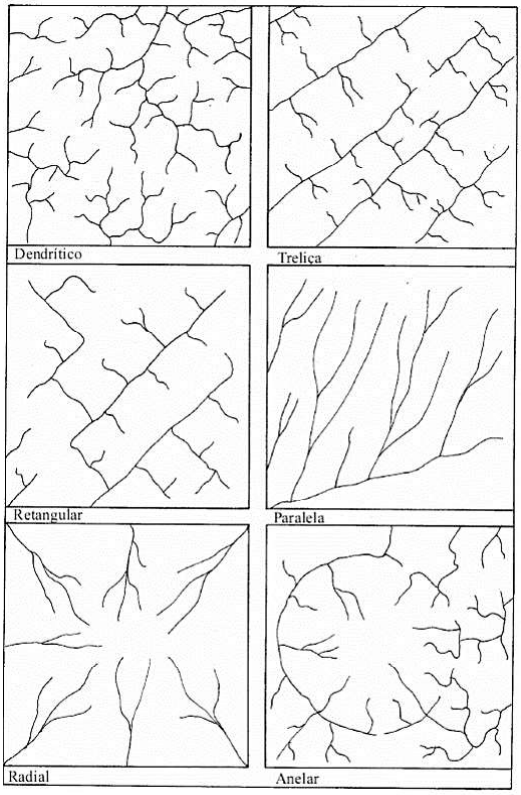
O padrão de drenagem refere-se à disposição espacial dos cursos d'água. Esta pode ser influenciada pela evolução da estrutura geológica da área, pelo tipo de solo e de rocha, declividade do terreno, dentre outras (EMBRAPA, 2012). De acordo com Lima (2008), o padrão de drenagem pode ser caracterizado como:

- Dendrítica: caracterizada pela forma similar a uma árvore e ocorre em áreas com predomínio de rochas homogêneas de caráter sedimentar;

- Treliça: os cursos d'água principais estão dispostos paralelamente e recebem afluentes que correm em direção transversal em relação aos principais;
- Retangular: semelhante à treliça, porém, é identificado por seu aspecto ortogonal devido às bruscas alterações retangulares nos cursos d'água;
- Paralela: oriundo de regiões com elevada declividade do terreno ou em regiões favoráveis à formação de correntes fluviais paralelas;
- Radial: característico de regiões com estruturas rochosas, como áreas vulcânicas e dômicas[6]; e
- Anelar: encontrado em áreas dômicas, possui drenagem disposta nos afloramentos das rochas menos resistentes.

Na Figura 5 são mostrados os padrões de drenagem.

Figura 5– Padrões de drenagem.



Fonte: CHRISTOFOLETTI (1974) *apud* LIMA (2008)[7].

[6] Dômicas: Estruturas circulares resultante da atividade intrusiva (plutonismo ou fenômenos magmáticos) que provocou arqueamento da paleomorfologia, com consequente elaboração de abóbada topográfica (CASSETI, 2005).
[7] CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Ed. Universidade, 1974. 149p. *apud* LIMA.

3.5.2 Características da rede de drenagem

A caracterização da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica pode ser obtida a partir do comprimento do rio principal, hierarquia fluvial, comprimento total dos canais, densidade de drenagem e percursor médio sobre o terreno, textura da topografia e coeficiente de manutenção, conforme especificado a seguir.

3.5.2.1 Comprimento do rio principal

O comprimento do rio principal de uma bacia hidrográfica é determinado pela medição do perfil longitudinal do talvegue, trecho compreendido entre o exutório e a nascente mais distante do exutório da bacia (TUCCI, 2015).

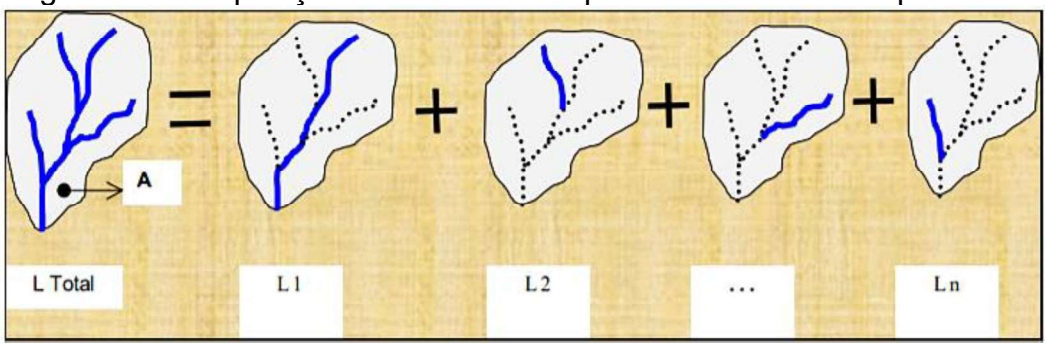
3.5.2.2 Hierarquia dos canais de drenagem

O grau de ramificação da bacia hidrográfica é definido pela classificação hierárquica da rede fluvial de drenagem da bacia. Essa classificação foi proposta por Horton e modificada por Strahler, em que os cursos d'água chamados de 1ª ordem são aqueles que não apresentam afluentes. Já os cursos d'água chamados de 2ª ordem são aqueles formados pela junção de pelo menos dois cursos d'água de 1ª ordem, e assim por diante. Quando ocorre a junção de um curso d'água de maior ordem com um de menor ordem prevalece a classificação de maior ordem. Ao final da classificação de toda a rede fluvial define-se a ordem da bacia hidrográfica como sendo a ordem do curso d'água que chega até o exutório, ou seja, a maior ordem (TUCCI, 2015).

3.5.2.3 Comprimento total dos canais

O comprimento total dos canais representa o somatório de todos os cursos d'água (Figura 6), sejam eles perenes, intermitentes ou efêmeros (HIPÓLITO e VAZ, 2017). A sua determinação é importante para o cálculo da densidade de drenagem.

Figura 6 – Composição da malha fluvial para calcular seu comprimento total.



Fonte: PORTO; FILHO; SILVA (1999).

3.5.2.4 Densidade de drenagem (λ) e percurso médio sobre o terreno (L_p)

A densidade de drenagem, expresso em Km/Km^2 ou Km^{-1}, representa a relação entre a área (A) de uma bacia, em (unidade), com o somatório dos comprimentos (l) de todos os rios, em (unidade) (HIPÓLITO e VAZ, 2017). A sua determinação é dada por:

$$\lambda = \frac{1}{A}\sum_{i} l_i \qquad (7)$$

E para a determinação do percurso médio, que representa a distância média que a água da chuva percorre até atingir o curso de água mais próximo, sendo expresso em Km, usa-se a seguinte equação:

$$L_p = \frac{1}{2\lambda} \qquad (8)$$

3.5.2.5 Textura da topografia (Tt)

A textura topográfica é um adimensional que representa numericamente o grau de entalhamento e dissecação da bacia hidrográfica (SILVA *et al.*, 2007 *apud* FRANCO e SANTO, 2015)[8], ou seja, indica um maior ou menor espaçamento entre os canais de uma bacia hidrográfica. A sua determinação baseia-se principalmente na densidade de drenagem (λ) e pode ser calculada a partir da equação:

$$\log Tt = 0{,}219649 + 1{,}115 \log \lambda \qquad (9)$$

[8] SILVA, A. M. da.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. de. "Bacia hidrográfica como objeto de investigação técnico-científica e como unidade de gestão ambiental". In: **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: RiMa, 2007 *apud* FRANCO e SANTO.

A sua classificação pode ser interpretada por meio da metodologia proposta por França (1968) (Quadro 2), em que “Fina” refere-se a um menor espaçamento entre os cursos d’água e “Grosseira” quando ocorrer o oposto, indicando assim o estágio do processo erosivo.

Quadro 2 – Classificação para interpretação de valores de textura topográfica.

Valor de textura da topografia	Classe de textura da topografia
Menor que 4,0	Grosseira
Entre 4,0 e 10,0	Média
Maior que 10,0	Fina

Fonte: FRANÇA (1968) *apud* EMBRAPA (2012) [9].

3.5.2.6 Coeficiente de manutenção (Cm)

O coeficiente de manutenção, expresso em km^2/km, representa uma medida de textura do solo que, segundo Schumm (1956) *apud* EMBRAPA (2012) [10], auxilia na determinação da área mínima necessária para a manutenção de 1 metro de canal de escoamento permanente, sendo obtido pela seguinte equação:

$$Cm = \frac{1}{1000\ \lambda} \qquad (10)$$

3.5.3 Características do relevo

As características do relevo podem interferir nos fatores meteorológicos e hidrológicos de uma bacia, em que a velocidade de escoamento superficial e o tempo de concentração são definidos por meio da declividade do terreno e, a altitude da bacia representada por hipsometria, pode influenciar a temperatura, precipitação, evaporação e outras etapas do ciclo hidrológico (MOSCA, 2003).

Em estudos sobre ocorrências de inundações é importante se conhecer as características do relevo de uma bacia tendo em vista que a velocidade de escoamento superficial e o tempo de concentração estão relacionados à frequência e

[9] FRANÇA, G. V. de. **Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba.** 1968. 151 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo *apud* EMBRAPA.

[10] SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v. 67, n. 5, p. 597-646, May 1956 *apud* EMBRAPA.

magnitude dos picos de enchente de um curso d'água, na ocorrência ou não de infiltração e no maior ou menor grau de erosão (MOSCA, 2003).

A declividade e a hipsometria, bem como outros indicadores das características do relevo, permitem compreender o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica, a partir da interação com variáveis climáticas. O perfil de um rio é outro indicador da característica do relevo, que indica suas principais zonas de quedas e as zonas mais planas que são mais propícias a inundações.

3.5.3.1 Declividade

A declividade de uma bacia hidrográfica representa a inclinação da superfície do terreno em relação à horizontal. Sua classificação pode ser determinada por meio da porcentagem (Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação da declividade em porcentagem.

Declividade (%)	**Características**
0 – 3	Relevo plano
3 – 8	Relevo suave ondulado
8 – 20	Relevo ondulado
20 – 45	Relevo forte ondulado
45 – 75	Relevo montanhoso
> 75	Relevo forte montanhoso

Fonte: EMBRAPA (1979).

Geralmente, para um perfil de rio de grande extensão, as maiores inclinações ocorrem a sua montante, que pode evidenciar o lento processo de erosão hídrica e transporte de sedimentos para sua jusante (HIPÓLITO e VAZ, 2017).

3.5.3.2 Hipsometria

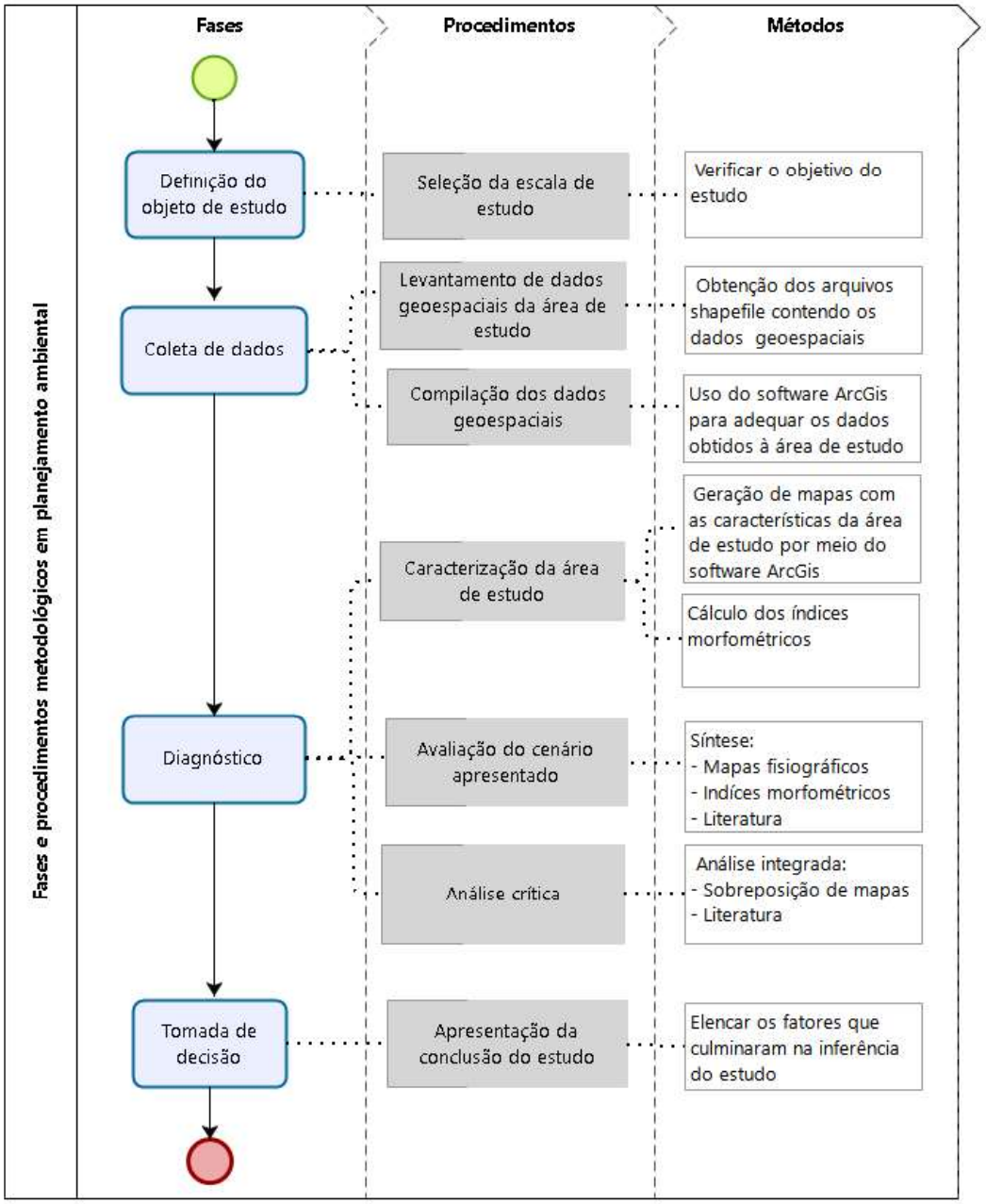
A hipsometria é uma técnica que retrata por meio de cores a amplitude altimétrica do terreno, representando a diferença entre a foz e a maior altitude da bacia hidrográfica (EMBRAPA, 2012).

4 METODOLOGIA

A pesquisa bibliográfica e analítica realizada neste estudo é do tipo descritiva-explicativa, quantitativa, com levantamento e/ou observações do problema escolhido, por meio da coleta e registro de dados e informações obtidos junto aos órgãos responsáveis.

A metodologia proposta baseia-se na estruturação geral apresentada por Santos (2004), como fases e procedimentos metodológicos em planejamento ambiental (Figura 7).

Figura 7 – Metodologia utilizada para elaboração do trabalho.



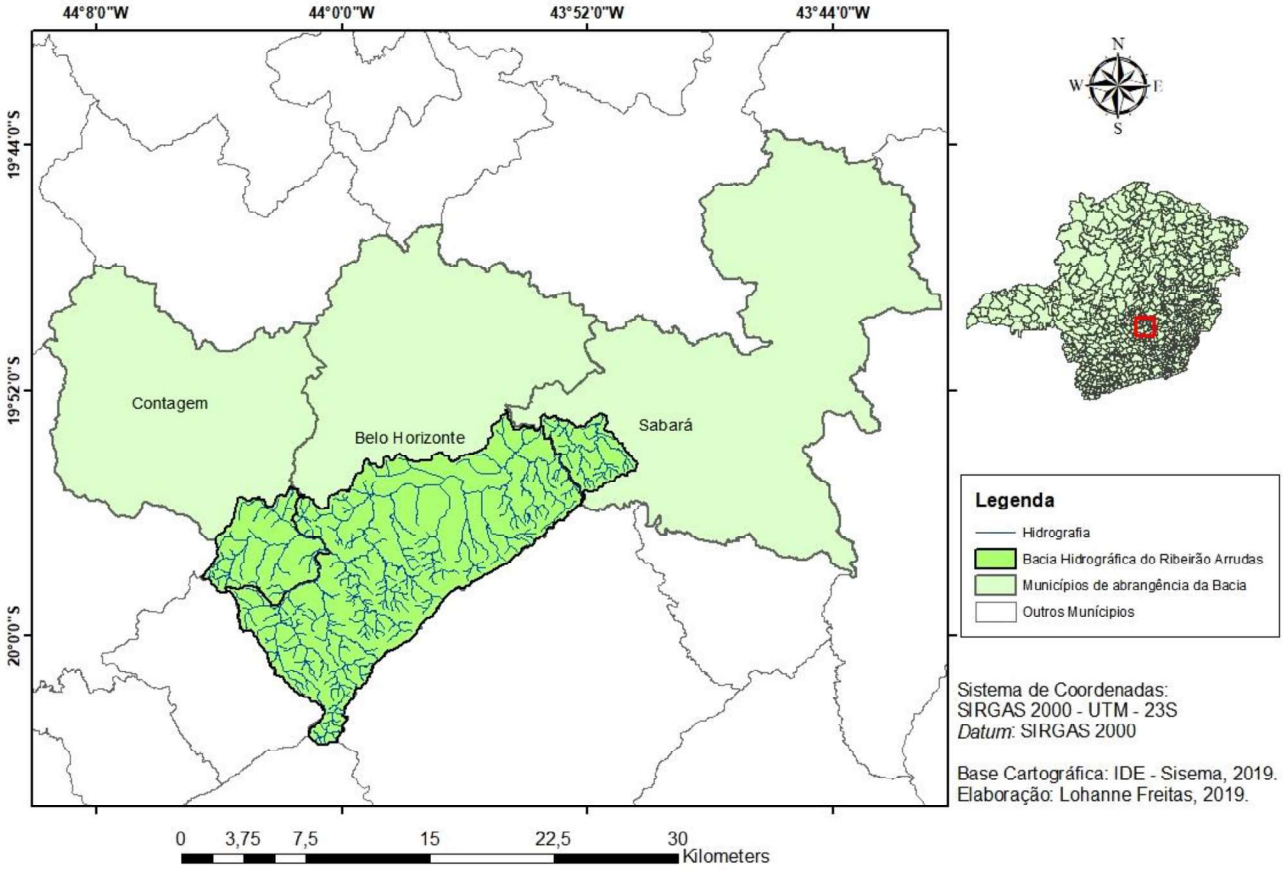
Fonte: Adaptado de Santos (2004).

4.1 Descrição da área de estudo: Bacia Hidrográfica do Ribeirão Arrudas

A escolha do objeto de trabalho deu-se a partir do objetivo do estudo, que pretende analisar o histórico recorrente de eventos de inundação na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Arrudas, localizada no estado de Minas Gerais.

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Arrudas abrange o município de Belo Horizonte, Contagem e Sabará (Figura 8).

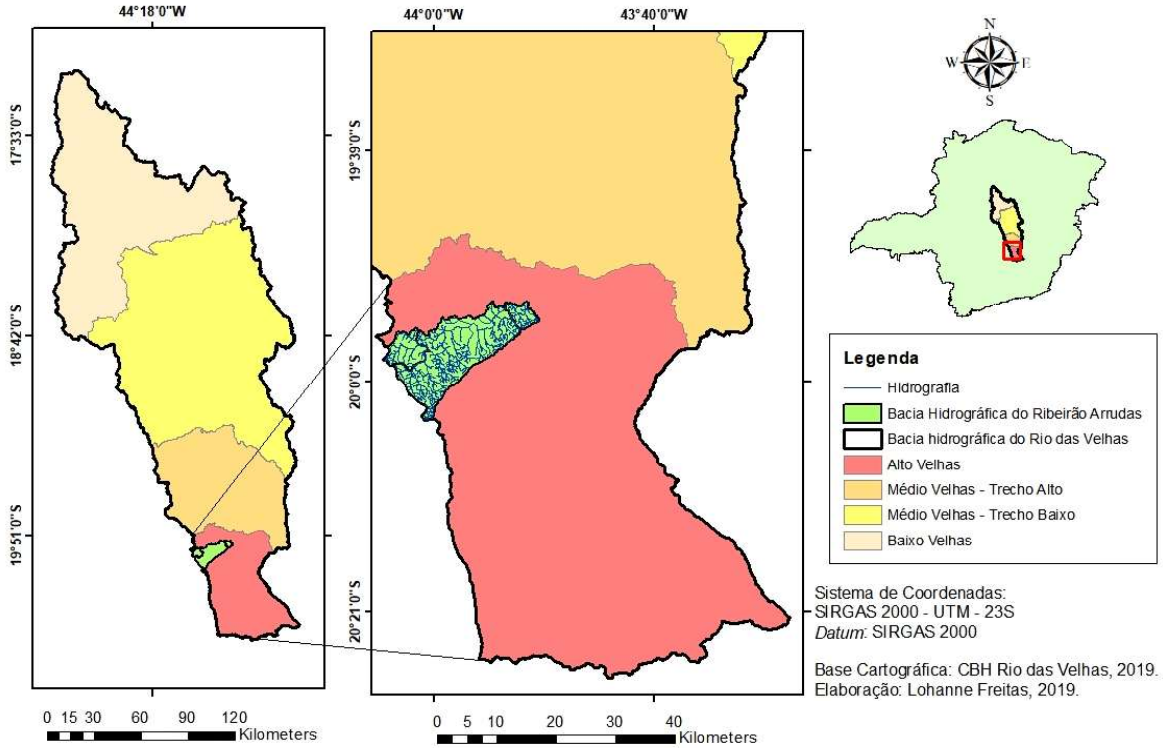
Figura 8 – Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Arrudas.



Fonte: Elaboração própria.

A bacia deste estudo está inserida na bacia hidrográfica do Rio das Velhas, a qual pertence totalmente ao estado de Minas Gerais sendo subdividida em Alto Rio das Velhas, Médio Rio das Velhas - trecho alto, Médio Rio das Velhas - trecho baixo e Baixo Rio das Velhas. A bacia do Ribeirão Arrudas localiza-se no Alto Rio das Velhas (Figura 9) e seus principais cursos d'água são: Ribeirão Arrudas, Córrego do Barreiro, Córrego do Jatobá e Córrego Ferrugem (CBH RIO DAS VELHAS, 2016).

Figura 9 – Subdivisões da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas



Fonte: Elaboração própria.

A população da bacia do Ribeirão Arrudas chega a quase 1,2 milhões de habitantes, sendo que 99,9% da população dos municípios reside na área urbana. Entre os anos de 2000 e 2010, registrou-se uma taxa de crescimento de habitantes de 0,6% ao ano. O município de Belo Horizonte concentra 93,7% dessa população (CBH RIO DAS VELHAS, 2016).

Como Belo Horizonte compõe a maior parte da bacia e a maior concentração da população residente nela, cabe mencionar que desde a sua inauguração em 1887, o município teve uma relação conflituosa com seus recursos hídricos (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO - FJP, 1997 *apud* CAVALCANTE, 2011)[11]. Ainda segundo a FJP, devido à urbanização da região houve diversos impactos ambientais, como a degradação da qualidade das águas, assoreamento dos canais de drenagem natural e inundações recorrentes na área central.

[11] FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Saneamento Básico em Belo Horizonte:** Trajetória em 100 anos – os serviços de água e esgoto. 1ª ed. Belo Horizonte: Centro de Estudos Culturais, 1997. 314 p. *apud* CALVALCANTE.

4.2 Coleta e tratamento de dados

Nesta fase, levantaram-se informações existentes sobre o objeto de estudo, que auxiliaram na sua caracterização física. Alguns parâmetros, como área, perímetro e comprimento dos cursos d'água foram obtidos por meio de arquivos shapefile disponíveis para download nas bases de dados geoespaciais do site da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema). E as informações sobre as áreas com inundações recorrentes foram disponibilizadas pelas prefeituras dos três municípios que abrangem a bacia, por meio de arquivos shapefile e listagem de áreas sujeitas às inundações definidas pela Defesa Civil como áreas de monitoramento. A compilação e tratamentos dos dados geoespaciais foram realizados por meio do software ArcGis.

4.3 Diagnóstico

A primeira etapa do diagnóstico consiste em caracterizar a área de estudo utilizando as bases de dados geoespaciais (Quadro 3) para a geração de mapas contendo as características fisiográficas da bacia hidrográfica e obtenção de outras informações da área de estudo. Posteriormente, determinam-se os índices morfométricos da bacia conforme suas características (Quadro 4).

Quadro 3 – Bases de dados geoespaciais

Dados Georreferenciados
Hidrografia
Classificação da hierarquia de rede fluvial de drenagem
Declividade
Hipsometria
Tipos de solo
Tipos de cobertura vegetal
Uso e ocupação do solo
Áreas de risco de inundação

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 4 – Determinação dos índices morfométricos da bacia.

Características	Parâmetros		Determinação
Geométricas	Área de drenagem		Software ArcGis
	Perímetro		Software ArcGis
	Forma da bacia	Fator de forma	$K_f = \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{L}^2}$
		Índice de compacidade	$K_c = \frac{0{,}282\ P}{\sqrt{\mathrm{A}}}$
		Índice de circularidade	$I_c = \frac{12{,}57\ \mathrm{A}}{\mathrm{P}^2}$
	Índice de rugosidade		$IR = \lambda \mathrm{H}$
	Padrão de drenagem		Christofoletti (1974)
Rede de drenagem	Comprimento do rio principal		Software ArcGis
	Hierarquia dos canais de drenagem		IDE-Sisema (2019)
	Comprimento total dos canais		Software ArcGis
	Densidade de drenagem		$\lambda = \frac{1}{A}\sum_i l_i$
	Percursor médio sobre o terreno		$L_p = \frac{1}{2\lambda}$
	Textura da topografia		França (1968)
	Coeficiente de manutenção		Schumm (1956)
Relevo	Declividade		EMBRAPA (1979)
	Hipsometria		IDE-Sisema (2019)

Fonte: Elaboração própria.

A segunda etapa, referente à avaliação do cenário, constitui-se em uma síntese das informações contidas nos mapas fisiográficos, índices morfométricos e literatura acerca do tema.

E, na terceira etapa, realizou-se uma análise integrada por meio da sobreposição das características da bacia, gerando novos mapas, com o intuito de associar as características inerentes à própria bacia com os registros das áreas sujeitas à inundação, a fim de obter as possíveis causas que contribuem para os eventos de inundação.

4.4 Tomada de decisão

Após a fase de diagnóstico, são verificadas a existência de fatores que levam à ocorrência dos eventos, se ocorrem naturalmente devido às especificidades da própria bacia em estudo e/ou se a urbanização, por meio do uso e ocupação do solo

e do comportamento político e administrativo, tem contribuído para a ocorrência destes eventos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Devido à importância da caracterização, avaliação e análise da área de estudo para o diagnóstico dos eventos de inundação nas áreas de várzea da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Arrudas, após aplicação da metodologia proposta foram gerados os resultados referentes aos objetivos propostos no presente trabalho.

Os resultados foram separados em caracterização e avaliação da fisiografia e morfometria da área de estudo, e em análise integrada: sobreposição das características da bacia e área de inundação. A partir dos resultados descritos, espera-se identificar os fatores que favorecem a ocorrência dos eventos de inundação na região em estudo.

5.1 Caracterização e avaliação da fisiografia e morfometria da área de estudo

Na primeira etapa do diagnóstico, obtiveram-se as características fisiográficas da área de estudo registradas em mapas e determinaram-se os índices morfométricos da bacia conforme suas características, como apresentado no Quadro 5.

Ressalta-se que os índices e os parâmetros avaliados isoladamente não podem determinar a ocorrência ou não de inundações, porém, quando analisados em conjunto, pode-se obter a tendência ou não de acontecimentos destes eventos. Assim, nos tópicos a seguir serão apresentadas as avaliações (segunda etapa do diagnóstico) de cada um dos parâmetros acima, em concomitância com as características físicas da bacia hidrográfica que foram obtidas por meio de dados geoespaciais para a geração dos mapas, bem como com a literatura acerca do tema para interpretação dos resultados obtidos.

Quadro 5 – Índices morfométricos da bacia.

Características	Parâmetros		Valores da bacia
Geométricas	Área de drenagem		A = 228,37 km^2
	Perímetro		P = 83,8 Km
	Forma da bacia	Fator de forma	$K_f = 0{,}12$
		Índice de compacidade	$K_c = 1{,}56$
		Índice de circularidade	$I_c = 0{,}41$
	Índice de rugosidade		$IR = 1{,}42$
	Padrão de drenagem		Dendrítico
Rede de drenagem	Comprimento do rio principal		43,41 Km
	Hierarquia dos canais de drenagem		5ª Ordem
	Comprimento total dos canais		396,5 Km
	Densidade de drenagem		$\lambda = 1{,}74$ Km/Km^2
	Percursor médio sobre o terreno		$L_p = 0{,}29$ Km
	Textura da topografia		Grosseira
	Coeficiente de manutenção		5,75x10^{-4} km^2/km
Relevo	Declividade		Predomínio de relevo ondulado e suave ondulado
	Hipsometria		696 m - 1510 m

Fonte: Elaboração própria.

5.1.1 Área de drenagem (A) e Perímetro (P)

Ambos os parâmetros são fundamentais para a obtenção dos demais índices morfométricos que serão apresentados. A área de drenagem da bacia hidrográfica deste estudo é de 228,37 Km^2 e o perímetro da bacia hidrográfica corresponde a 83,8 Km.

Diversos autores definem diferentes valores limites para considerar se uma bacia é pequena, média ou grande, não havendo um consenso sobre esse limite. Para este trabalho não será adotado nenhum valor sugerido, tendo em vista que o importante é a avaliação do comportamento das águas dentro da área total da bacia e não a sua classificação em relação ao tamanho da área.

Em estudos de regiões com características climáticas e precipitações semelhantes entre si percebe-se uma tendência dos valores de escoamento ser em funções crescentes da área, ou seja, quanto maior a área de drenagem maior serão as vazões de escoamento (HIPÓLITO e VAZ, 2017). Além disso, quanto maior a área da bacia, maior poderá ser a quantidade de canais de 1ª ordem e maior será o seu

perímetro (ZÃVOIANU, 1985 *apud* SOUZA, 2005)[12], que por sua vez irá influenciar na definição dos índices morfométricos que utilizam o valor do perímetro para a sua determinação.

Segundo o CBH Rio das Velhas (2016), para a bacia deste estudo, a vazão média de longo período é de 5,9 m^3/s e a vazão mínima ($Q_{7,10}$) é de 1,57 m^3/s. Sendo assim, tendo em vista a área de drenagem que abrange parte de três municípios com considerável urbanização, com 99,9% população dos municípios residindo na área urbana (CBH RIO DAS VELHAS, 2016), é importante que se avalie a capacidade da bacia para escoar a água precipitada de modo a monitorar a vazão de escoamento.

5.1.2 Fator de forma (K_f)

Conforme apresentado no Quadro 4, levando-se em conta o comprimento do talvegue medido por meio do software ArcGIS ser 43,41 Km, o fator de forma obtido foi de 0,12, o que representa um valor baixo tendo em vista que tal fator é definido entre 0 e 1.

Uma bacia que apresenta fator de forma baixo pode ser classificada como estreita e longa, sendo menos suscetível a inundações do que outra bacia de mesmo tamanho, porém, com maior fator de forma que a classifica como circular (SOUZA, 2005).

Além disso, avaliando-se a fisiografia da bacia hidrográfica percebe-se que esta possui contorno irregular, o que eleva o valor do perímetro da bacia, e que possui comprimento mais significativo do que a largura, contribuindo para que a bacia seja mais alongada.

Para bacias com formas estreitas, perceptível visualmente com um comprimento mais expressivo que sua largura, e que apresentem irregulares no contorno de sua área, os valores de K_f serão baixos. Neste caso, será pouco provável que uma chuva ocorra simultaneamente em toda a área da bacia, proporcionando um escoamento mais distribuído ao longo do tempo no seu exutório. Então, para valores baixos de K_f pode-se indicar uma menor tendência a eventos de cheia (HIPÓLITO e VAZ, 2017).

---

[12] ZÃVOIANU, I. ***Morphometry of Drainage Basins***. 1985. Developments in Water Science, v. 20. 2 nd Edition. Elsevier, 250p. *apud* SOUZA.

5.1.3 Índice de compacidade (K_c)

O índice de compacidade obtido foi de 1,56. O valor deste índice será sempre igual ou superior a 1, em que quanto mais próximo de 1 mais circular é a bacia. Entretanto, não se tem um intervalo para uma comparação mais precisa do quão distante ou próximo de 1 este valor está, o que pode ser um fator que interfere na interpretação mais adequada do resultado obtido pelo índice. Assim, é necessário analisar os demais índices morfométricos relacionados à forma da bacia: fator de forma e índice de circularidade. Como ambos apresentaram que a bacia tende a ser mais alongada do que circular, pode-se inferir o mesmo para o índice de compacidade.

Para a interpretação visual da informação adquirida pode-se analisar a relação entre o comprimento e a largura da bacia em relação ao talvegue principal. Supondo uma situação em que ocorre uma precipitação instantânea e uniforme ao longo da bacia, o escoamento no exutório se mostrará mais expressivo ao longo do tempo se a bacia possuir uma forma mais próxima da circular. Já para uma bacia com a forma mais irregular, com o comprimento mais expressivo que a largura, o escoamento se apresentará mais distribuído ao longo do tempo. Assim, para K_c mais próximo de 1 pode-se indicar uma maior tendência para ocorrência de cheias na bacia (HIPÓLITO e VAZ, 2017).

5.1.4 Índice de circularidade (I_c)

O índice de circularidade obtido foi de 0,41. Levando-se em conta que à medida que o valor do índice de circularidade se distancia de 0 e se aproxima de 1 a bacia hidrográfica tende à forma circular e, portanto, está mais sujeita à ocorrência de enchentes/inundações do que uma bacia de forma mais alongada, pode-se considerar que a bacia deste estudo está pouco sujeita a eventos de enchentes/inundações.

Para Morisawa (1962) *apud* Souza (2005)[13], a circularidade de uma bacia independe da sua ordem, apesar de ocorrer um aumento desse índice para bacias de até a 3ª ordem e uma diminuição do índice para bacias de maior ordem. Assim, bacias de ordens maiores que 3, como é o caso da bacia deste estudo – ordem 5 - são geralmente mais alongadas do que bacias de ordens menores.

---

[13] MORISAWA, M. E. ***Quantitative Geomorphology of Some Watersheds in the Appalachian Plateau***. 1962. Geological Society of America Bulletin. *apud* SOUZA.

5.1.5 Índice de rugosidade (IR)

O índice de rugosidade obtido foi de 1,42. Para o cálculo deste índice utilizou-se a amplitude altimétrica de 814 metros, obtida por meio dos dados geoespaciais que deram origem ao mapa a ser apresentado no item de hipsometria. Apesar do valor de amplitude altimétrica ser elevado, não se deve avaliar esse parâmetro de forma isolada como fator determinante do índice.

Quanto maior for esse índice, maior será o risco de degradação da bacia quando as vertentes são íngremes e longas. Um baixo índice de rugosidade indica pouca variação em seu relevo, ou seja, poucos desníveis entre a cabeceira e a foz, o que define um baixo risco de degradação da bacia e, consequentemente, um menor risco a inundações (EMBRAPA, 2012).

Porém, ter devido à ausência de um intervalo de valores como referência para avaliar o resultado do índice, não se pode afirmar com precisão se o valor obtido é consideravelmente pequeno ou grande. Entretanto, após verificar o item de declividade e de hipsometria, a ser apresentado posteriormente, pode-se obter uma interpretação mais adequada sobre o índice de rugosidade.

A degradação da bacia, além de estar relacionada às vertentes serem íngremes e longas, está associada também ao tipo de solo da região, ao uso e ocupação do solo, tipo de cobertura vegetal, dentre outras informações que precisam ser consideradas para uma adequada avaliação. Após o item sobre hipsometria, serão apresentadas cada uma dessas informações que são importantes de serem averiguadas pois interferem na dinâmica das águas e, possivelmente, estão relacionadas aos eventos de inundação.

5.1.6 Padrão de drenagem

O padrão de drenagem de uma região tem influência direta na disponibilidade de sedimentos, bem como na taxa de formação do deflúvio (TONELLO, 2005). O padrão de drenagem identificado é do tipo dendrítico, obtido a partir da comparação da rede hidrográfica da bacia em estudo com a Figura 5. O tipo dendrítico é caracterizado pela forma similar a uma árvore e ocorre em áreas com predomínio de rochas homogêneas de caráter sedimentar (LIMA, 2008).

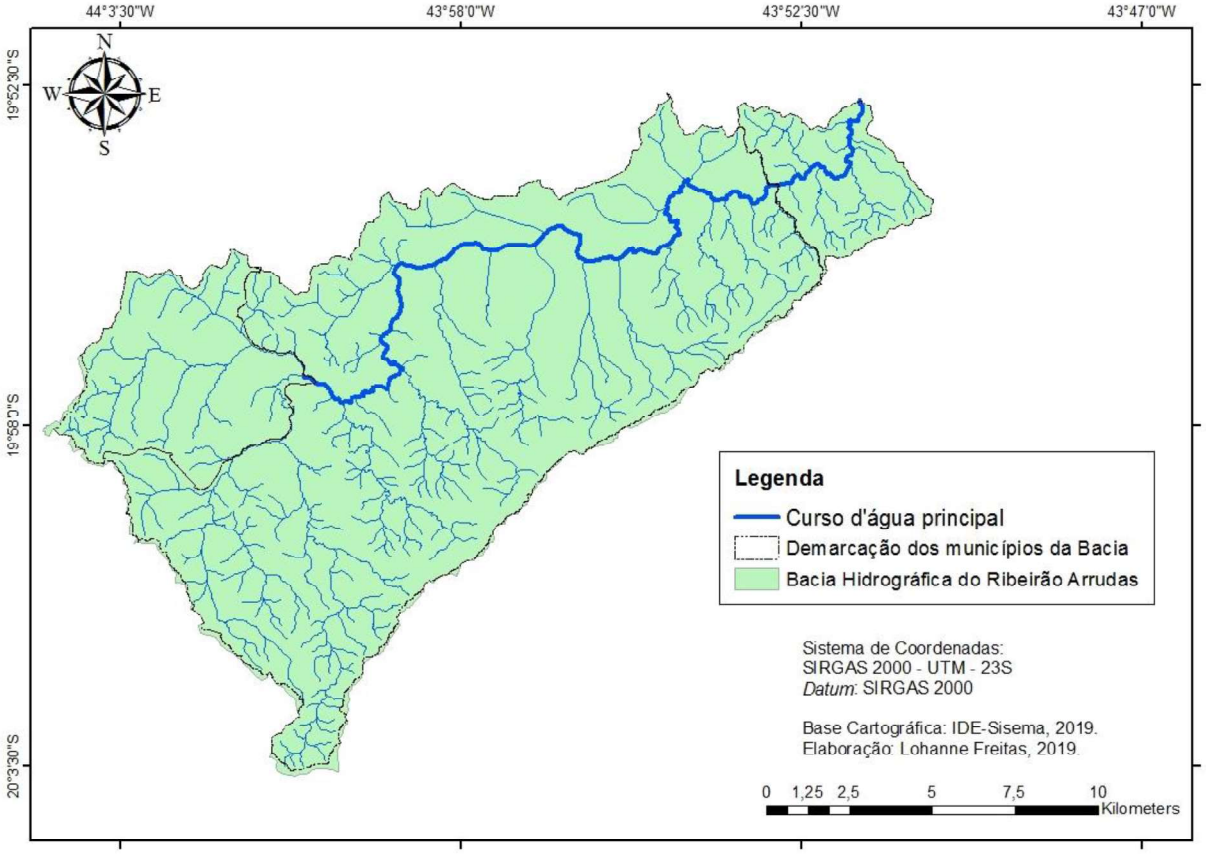
As rochas sedimentares dendríticas surgem por efeito da erosão, sendo formadas pela deposição de fragmentos de outras rochas, compostas principalmente

de quartzo e silicatos. Elas geralmente são porosas, o que permite o acúmulo de água subterrânea (BRANCO, 2015).

5.1.7 Comprimento do rio principal

O comprimento do rio principal, curso d'água de maior comprimento na bacia, o Ribeirão Arrudas, é 43,41 Km. Ele nasce no município Belo Horizonte e deságua no Rio das Velhas, no munícipio de Sabará, passando com sua maior extensão no munícipio de Belo Horizonte. Na Figura 10 são apresentadas a localização e a extensão do talvegue medido.

Figura 10 – Mapa da Hidrografia da Bacia do Ribeirão Arrudas com destaque do Ribeirão Arrudas.



Fonte: Elaboração própria.

Para Strahler (1964) *apud* Souza (2005)[14], o comprimento do rio principal será maior para bacias alongadas do que para bacias arredondadas. Sendo a bacia deste

[14] STRAHLER, A. N. ***Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Network.*** 1964. In: CHOW, V. T. (ed.). Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill. P. 4-40 4-74. *apud* SOUZA.

estudo classificada como alongada, se comparado com uma bacia mais arredondada, provavelmente terá o maior comprimento de rio principal.

Conforme pode-se observar, o rio principal é o curso d'água mais extenso da bacia e está localizado na sua parte mais baixa, fazendo com que toda a água de drenagem, que não infiltrou no solo, seja direcionada para ele. Sendo assim, é importante verificar a capacidade deste rio para receber e escoar toda a água que chega até ele, de modo que os eventos de cheia não ocorram ou sejam minimizados.

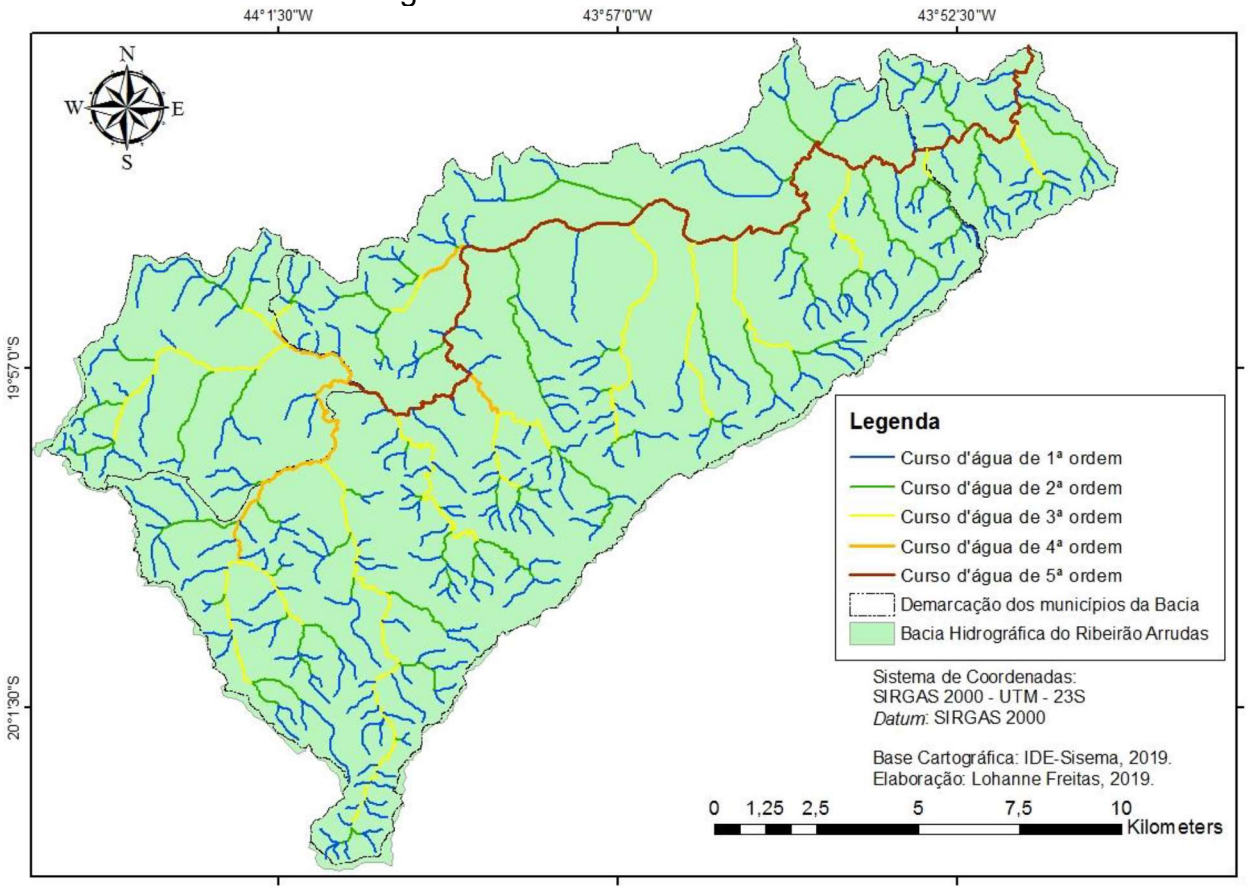
Para isso, vale ressaltar alguns fatores que interferem na drenagem da bacia e, por isso, são de grande importância e devem ser constantemente monitorados: mudança das características naturais dos cursos d'água (exemplo: canalização, retificação do canal natural, desvios do curso natural, etc.), estado de conservação dos mesmos, limpeza dos rios e suas margens, manutenção da rede principal e secundárias que deságuam no talvegue, grau de impermeabilização do solo da bacia, dentre outros.

5.1.8 Hierarquia dos canais de drenagem

O grau de ramificação da bacia hidrográfica em estudo é de 5ª Ordem, sendo obtido por meio da análise hierárquica dos canais de drenagem na escala da Bacia do Ribeirão Arrudas (Figura 11). Essa é a ordem do curso d'água que chega até o exutório, ou seja, a maior ordem obtida por meio da classificação proposta por Horton e Strahler.

Conforme relatado no item sobre o comprimento do rio principal, este corpo d'água de 5ª ordem possui 43,41 Km de extensão e sua maior parte está inserida no município de Belo Horizonte. Além disso, verifica-se que a maioria dos seus afluentes estão ao sul deste município, indicando que Belo Horizonte é o maior responsável pela contribuição da drenagem da bacia deste estudo.

Figura 11 – Mapa de Classificação da Hierarquia de Rede Fluvial de drenagem da Bacia do Ribeirão Arrudas.



Fonte: Elaboração própria.

O grau hierárquico dos cursos d'água possui relação direta com a área da bacia, a vazão de descarga e capacidade de escoamento das águas. É importante na determinação da velocidade de escoamento da água até o exutório da bacia, em que a vazão de descarga tende a aumentar exponencialmente com o aumento da ordem hierárquica do canal (ZÃVOIANU, 1985 *apud* SOUZA, 2005)[15].

5.1.9 Comprimento total dos canais

Ao visualizar as figuras contendo a hidrografia da bacia pode-se constatar que a região possui uma rede hídrica significativa, tendo em vista a grande quantidade de cursos d'água. O comprimento total dos canais obtido foi de 396,5 Km, sendo a sua determinação importante para o cálculo da densidade de drenagem. Além disso, possibilita a avaliação da contribuição da rede de drenagem para o exutório da

[15] ZÃVOIANU, I. ***Morphometry of Drainage Basins***. 1985. Developments in Water Science, v. 20. 2 nd Edition. Elsevier, 250p. *apud* SOUZA.

bacia, localizado no ponto mais inferior para onde converge toda a descarga hídrica desta bacia.

Quanto mais cursos d'água há em uma bacia hidrográfica, mais rápido pode ser o escoamento das águas e, possivelmente, haverá um maior fluxo de águas, que dificulta o escoamento das cheias (MORISAWA, 1962 *apud* SOUZA, 2005)[16].

5.1.10 Densidade de drenagem (λ) e percurso médio sobre o terreno (L_p)

A densidade de drenagem obtida foi de 1,74 Km^{-1}, em que esse indicador geralmente varia entre 0,5 a 3,5 Km^{-1}, logo conclui-se que esta bacia possui baixa densidade de drenagem, uma vez que o valor obtido se aproxima mais do valor de 0,5 Km^{-1}.

O valor da densidade de drenagem está relacionado à eficiência da bacia a o escoamento superficial. Assim, bacias que possuem alta densidade de drenagem geralmente possuem baixa capacidade de infiltração, declividades relativamente pequenas e baixa cobertura vegetal, o que leva a rápida concentração de cheias (Patton e Baker, 1976 *apud* SOUZA, 2005)[17]. Então, como a bacia deste estudo possui baixa densidade de drenagem, pode-se inferir que não haverá rápida concentração de cheias.

De acordo com Lencastre e Franco (1992) *apud* Hipólito e Vaz (2017) [18], a densidade de drenagem tende a ser mais elevada em bacias pouco permeáveis e com relevos acentuados, o que difere do que os autores Patton e Baker afirmam sobre a declividade do terreno. Além disso, a densidade de drenagem pode variar ao longo do tempo, dependendo de fatores como estágio de evolução geomorfológica, mudanças climáticas e intervenções antrópicas na região (ZÃVOIANU, 1985 *apud* SOUZA, 2005)[19].

Para complementar a avaliação é necessário considerar o percurso médio sobre o terreno, o qual obteve-se o valor de 0,29 Km. Uma bacia com λ alto e L_p baixo é caracterizada como uma bacia bem drenada, em que seu escoamento superficial é

---

[16] MORISAWA, M. E. ***Quantitative Geomorphology of Some Watersheds in the Appalachian Plateau***. 1962. Geological Society of America Bulletin. *apud* SOUZA.
[17] PATTON, P. C. e BAKER, V. R. ***Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls***. Water Resources Research *apud* SOUZA.
[18] LENCASTRE, A.; FRANCO, F. M. **Lições de hidrologia.** Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 1992 *apud* HIPÓLITO E VAZ.
[19] ZÃVOIANU, I. ***Morphometry of Drainage Basins***. 1985. Developments in Water Science, v. 20. 2 nd Edition. Elsevier, 250p. *apud* SOUZA.

mais significativo que a infiltração da água. Sendo assim, as águas serão rapidamente direcionadas para trechos canalizados ou cursos d'água, o que ocasionará uma chegada volumosa e mais rápida do escoamento ao exutório da bacia e favorecendo a ocorrência de eventos de cheia. Já uma bacia caracterizada como mal drenada terá um escoamento subsuperficial e/ou subterrâneo mais expressivo que uma bacia bem drenada. Esse tipo de escoamento ocorre mais lentamente, favorecendo a infiltração da água e diminuindo a tendência a eventos de cheia elevados (HIPÓLITO e VAZ, 2017).

Levando-se em conta tais informações pontuadas e, ainda, que a bacia em estudo é urbanizada e, consequentemente, possui muitas áreas impermeabilizadas, o que contribui ainda mais para o escoamento superficial ao invés da infiltração, pode-se inferir que a bacia é bem drenada, apesar de ter apresentado baixa λ e L_p. O fato de a bacia ser bem drenada não resulta necessariamente em uma característica favorável, pois sabe-se que a infiltração favorece a recarga hídrica das águas subterrâneas e que os eventos de cheia muita das vezes são ocasionados pela falta de infiltração das águas.

5.1.11 Textura da topografia (Tt)

A textura topográfica identificada para a bacia em estudo é grosseira, sendo interpretada pelo log Tt = 0,49. Assim, de acordo com França (1968), como o valor obtido foi inferior a 4, a classe de textura topográfica é grosseira, indicando que há um maior espaçamento entre os cursos d'água.

A classificação grosseira para a textura de topográfica indica que a bacia está nos estágios iniciais ou recentes do ciclo de erosão e, portanto, necessita ser monitorada para evitar que a textura passe para fina, que indicará os estágios de maturidade onde o relevo é mais acentuado e mais propício aos processos de erosão (SMITH, 1950 *apud* FREITAS, 1952) [20].

5.1.12 Coeficiente de manutenção (Cm)

O coeficiente de manutenção obtido foi de $5{,}75 \times 10^{-4}$ km^2/km, calculado pela relação inversa da densidade de drenagem. Assim, pode-se perceber que é

[20] SMITH, K. E. — Standards for grading texture of Frosional Topography. — "American Journal of Science", Vol. 248, n° 9 pp. 655-668. September 1950. New Haven. USA *apud* FREITAS.

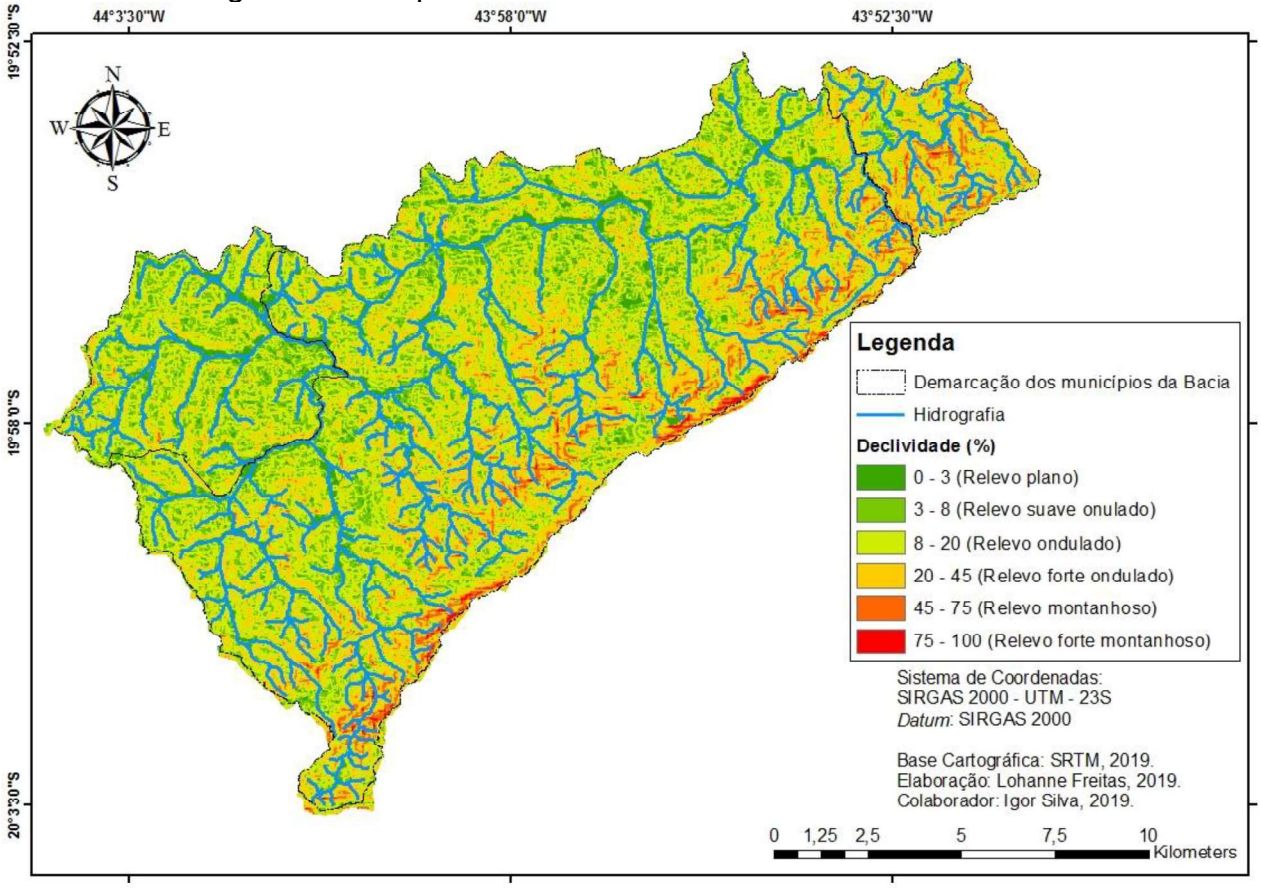
necessária uma área muito pequena para a manutenção de 1 metro de canal de escoamento permanente.

Esse coeficiente auxilia na interpretação da degradação das áreas quando avaliado evolutivamente. Por isso, é um dos parâmetros que deve ser acompanhado ao longo do tempo com o intuito de se verificar se o valor está aumentando ou se mantendo constante, influenciando no grau de degradação da bacia, que poderá afetar o escoamento das águas.

5.1.13 Declividade

A declividade da bacia hidrográfica varia de relevo forte montanhoso a relevo plano. Os dados de declividade do terreno foram adquiridos no *Shuttle Radar Topography Mission* - SRTM disponibilizados no site do *Earth Explorer* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS - U.S. *Geological Survey*), conforme apresentado na Figura 12, e sua classificação foi determinada por meio da porcentagem definida pela EMBRAPA (1979), com o auxílio da ferramenta de classificação do software ArcGIS.

Figura 12 – Mapa da Declividade da Bacia do Ribeirão Arrudas.



Fonte: Elaboração própria.

Conforme pode-se observar, as cores que destacam na Figura 12 são o amarelo e o verde claro, que representam, respectivamente, o relevo ondulado e o suave ondulado. Pode-se verificar, também, a presença do relevo forte montanhoso, aparecendo em pequenas proporções mais ao sul e leste da bacia.

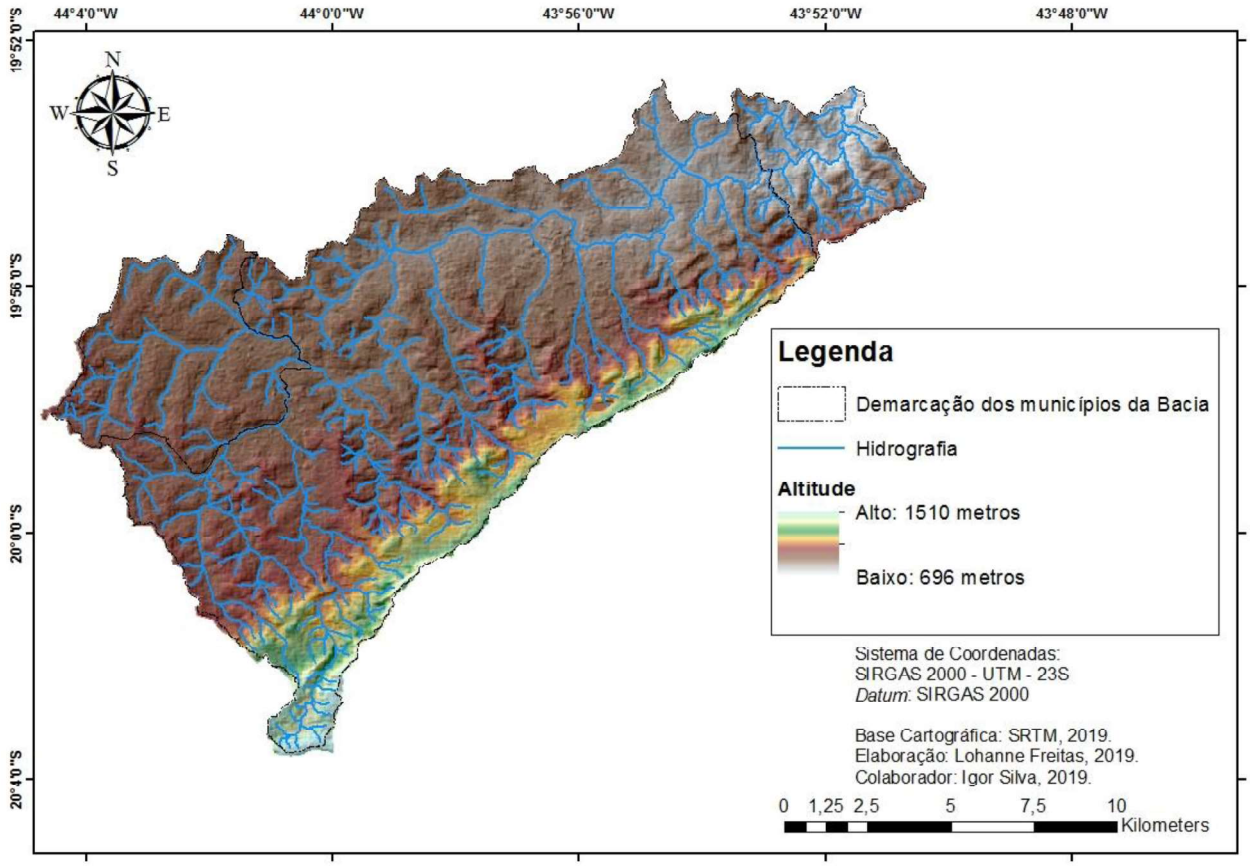
Quanto maior o declive do terreno maior será a velocidade do escoamento superficial, o que dificulta a infiltração das águas no solo e acelera a erosão da superfície. Assim, a chegada das águas aos sistemas de drenagem acontecerá mais rapidamente, o que facilita a ocorrência de cheias (HIPÓLITO e VAZ, 2017).

Dessa forma, na região mais ao sul e leste da bacia, a possibilidade de maiores velocidades do escoamento superficial é superior à possibilidade na região norte e oeste, tendo em vista o tipo de relevo classificado de acordo com a declividade do terreno. Então, pode-se inferir que o Ribeirão Arrudas recebe uma maior quantidade de água do sul e leste de Belo Horizonte, tendo em vista que a grande maioria dos corpos hídricos está nesta região e, vale destacar, que a velocidade de chegada dessas águas é maior devido às maiores declividades da bacia estarem nesta região, o que proporciona uma maior quantidade de água em um curto espaço de tempo.

5.1.14 Hipsometria

A hipsometria, técnica que retrata por meio de cores a amplitude altimétrica do terreno, obtida foi de 696 metros a 1510 metros, que denota uma amplitude de 814 metros. Os dados de altitude para a análise da hipsometria do terreno foram adquiridos no *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM, disponibilizados no site do *Earth Explorer* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS - U.S. *Geological Survey*), conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Mapa da Hipsometria da Bacia do Ribeirão Arrudas.



Fonte: Elaboração própria.

Percebe-se que a grande maioria dos cursos d'água estão localizados em altitudes mais baixas e que as altitudes mais elevadas estão localizadas mais ao sul e leste da bacia. Sendo assim, a tendência do escoamento das águas se dá das altitudes mais elevadas para as mais baixas, indicando que o exutório da bacia está na região nordeste da bacia, já no município de Sabará.

Em Sabará, é notável a predominância de altitude com classificação baixa (cor branca). Já em Contagem e Belo Horizonte, a predominância é de média baixa altitude (cor marrom). Além disso, percebe-se que o único município pertencente as áreas da bacia em estudo que possui as maiores altitudes (cores azul claro e verde) é Belo Horizonte.

A determinação da hipsometria é importante na análise da energia do relevo, uma vez que quanto maior a altitude, menor é a temperatura, assim somente uma pequena quantidade de energia é utilizada para evaporar a água. Já em altitudes mais

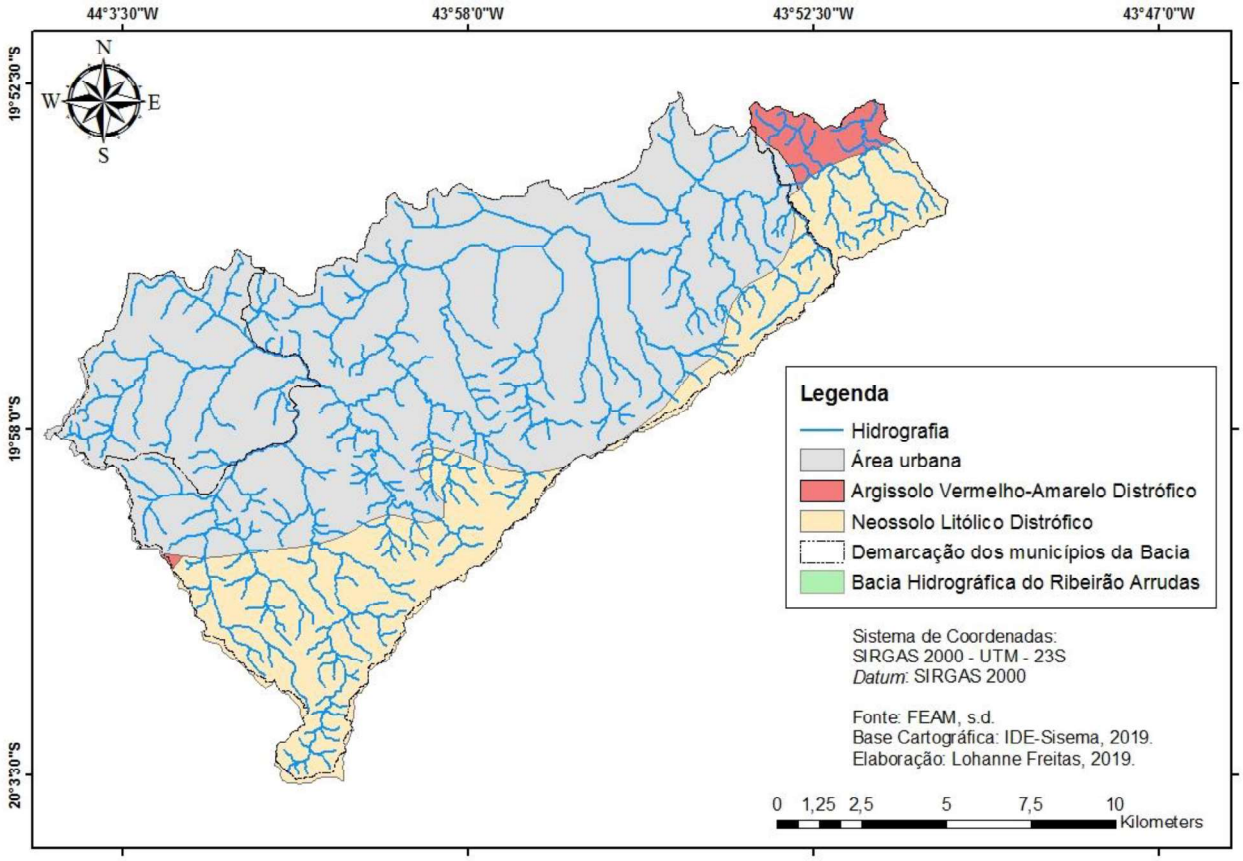
baixas, uma grande quantidade de energia é absorvida e usada na evaporação da água (CASTRO JUNIOR, 2001 *apud* EMBRAPA, 2012) [21].

Entretanto, não se pode afirmar que a grande quantidade de energia usada nas altitudes mais baixas é suficiente para evaporar grande parte das águas e ocasionar em sua diminuição, tendo em vista que, nos locais de altitudes mais baixas, há uma maior quantidade de água nos corpos hídricos que escoaram das altitudes mais elevadas e, na sequência, serão direcionados ao exutório da bacia.

5.1.15 Tipo de Solo

A bacia em estudo possui três tipos de solo, segundo dados da Fundação Estadual de Meio Ambiente - FEAM, sendo elas: área urbana, argissolo vermelho-amarelo distrófico e neossolo litólico distrófico (Figura 14).

Figura 14 – Mapa dos tipos de solo da Bacia do Ribeirão Arrudas



Fonte: Elaboração própria.

[21] CASTRO JUNIOR, E. **O papel da fauna endopedônica na estruturação física dos solos e o seu significado para a hidrologia de superfície.** 2001. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)– Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro *apud* EMBRAPA.

A área urbana é a classificação mais representativa da bacia, estando em sua maioria no município de Belo Horizonte. Algumas das características do processo de urbanização são a impermeabilização do solo, modificação do relevo, supressão de vegetação, modificação dos canais de drenagem natural, dentre outras características que irão ocasionar em mudanças no ciclo hidrológico da região e no grau de transformação e degradação do ambiente.

O tipo de solo argissolo vermelho-amarelo distrófico aparece em menor proporção e está mais visível no município de Sabará. Esse tipo de solo tem como material de origem um granito, rocha de composição ácida, e a mineralogia essencial é representada por minerais de grau de intemperização lento (quartzo, feldspato potássico e moscovita/sericita) e minerais de grau de intemperização moderado (plagioclásio sódico-cálcico) (LACERDA, ANDRADE e QUÉMÉNEUR, 2000). O grau de intemperismo está associado ao processo de transformação das rochas, que interferem na erosão, na diagênese[22] e na formação dos solos. Sendo assim, é importante considerar essa característica ao se avaliar o grau de transformação e degradação do solo.

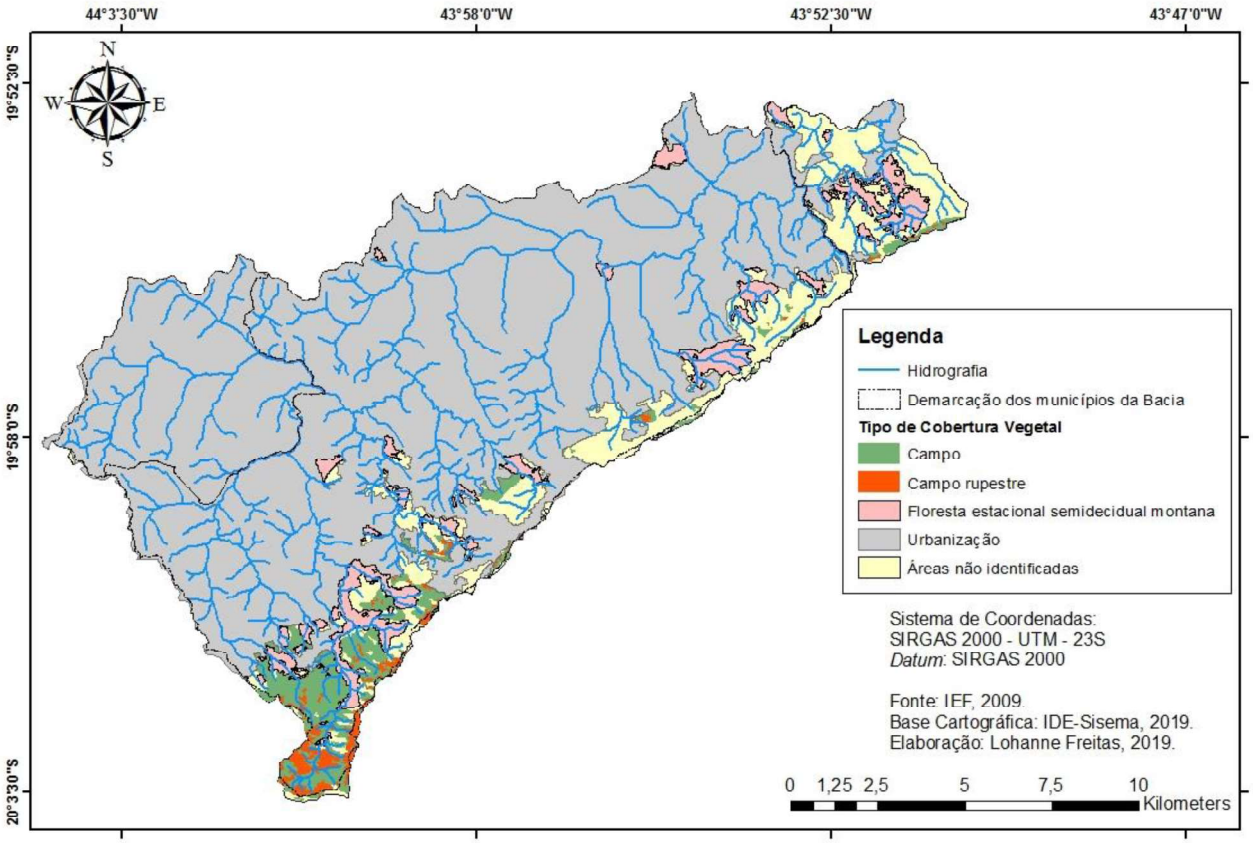
Já o tipo de solo neossolo litólico distrófico, que aparece em Belo Horizonte e em Sabará, é típico das regiões de relevo mais dissecado ou íngreme e possui o solo pouco desenvolvido, caracterizado por pequena profundidade (rasos) ou por predomínio de areias quartzosas (IAC, 2014). Pode-se entender que os solos mais rasos em locais de declividade mais elevadas assim o são devido aos processos erosivos naturais, que são mais expressivos nestes locais. Sendo assim, estes locais tendem a ter pouca vegetação, dificultando o processo de infiltração das águas e favorecendo o aumento do escoamento superficial que, por sua vez, por estar em elevadas declividades, aumentará ainda mais o processo de erosão pelo carreamento de sedimentos do solo. Além disso, como o solo possui uma profundidade pequena, pode-se inferir que a água infiltrada encontrará mais rapidamente a rocha mãe e, então, haverá um escoamento subsuperficial mais acelerado o que favorece a chegada dessa água, em um tempo mais curto, aos locais de altitude mais baixa da bacia.

[22] Diagênese: Conjunto de modificações químicas e físicas sofridas pelos sedimentos após a sua deposição, excluindo-se as resultantes de metamorfismo físico e intemperismo (UFRR, s.d.).

5.1.16 Tipo de cobertura vegetal

Os tipos de cobertura vegetal presentes na bacia, segundo dados do Instituto Estadual de Florestas – IEF, são: campo, campo rupestre e floresta estacional semidecidual montana (Figura 15). A predominância da bacia, conforme já mencionado anteriormente, é de áreas urbanizadas.

Figura 15 – Mapa dos tipos de cobertura vegetal da Bacia do Ribeirão Arrudas.



Fonte: Elaboração própria.

De acordo com as informações apresentadas na Figura 15, o tipo denominado de campo está mais representativo na região sul da bacia. É caracterizado por uma cobertura vegetal pobre, com predomínio da vegetação herbácea em que os arbustos são escassos e as árvores raras e isoladas.

Em relação ao campo rupestre, verifica-se uma menor representatividade em relação aos tipos de vegetação que compõem a bacia. Geralmente encontradas em regiões com trechos de afloramentos rochosos, que ocorrem em altitudes entre 700 a 900 metros (RIBEIRO e WALTER, *s.d.*). Com base nos dados apresentados no mapa

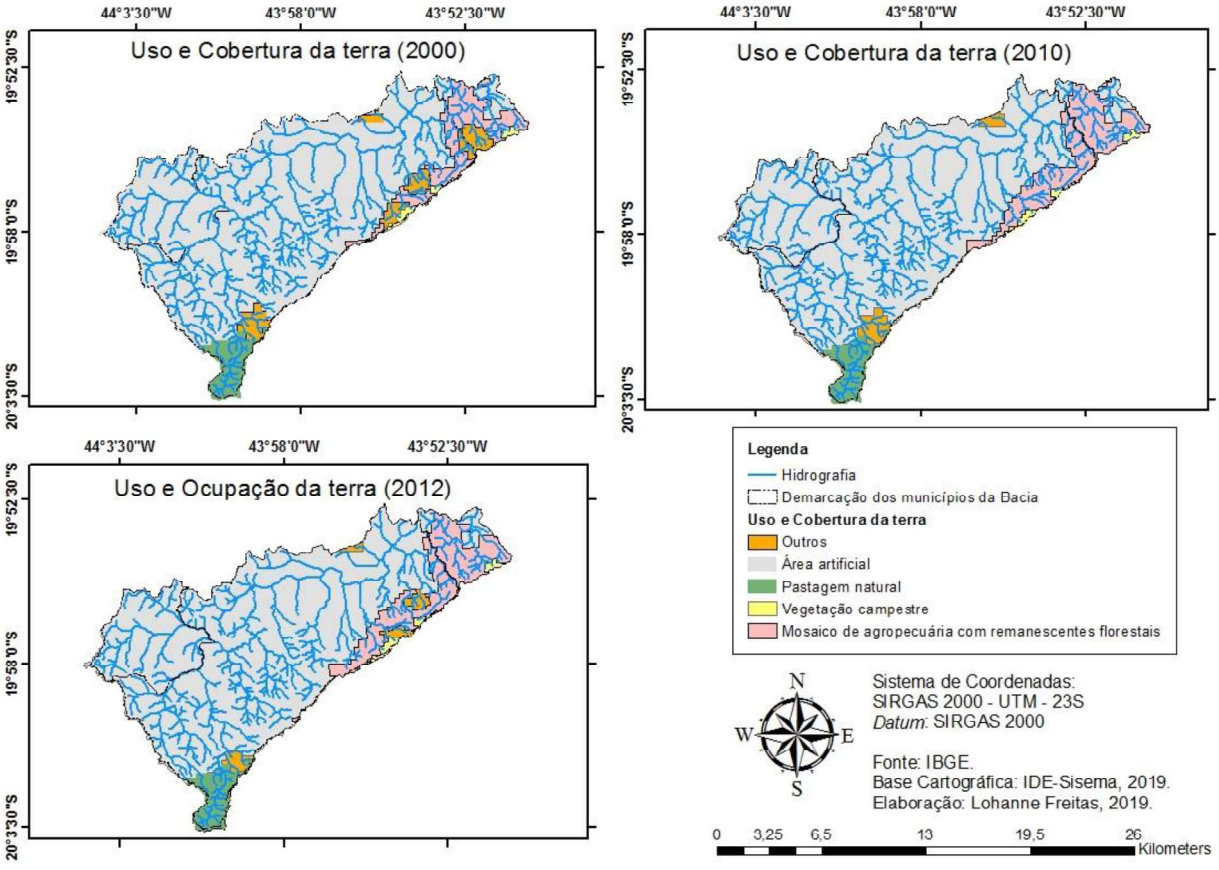
de hipsometria, esse tipo de vegetação realmente está localizado nas altitudes mais elevadas da região.

Já o tipo de vegetação denominada floresta estacional semidecidual montana geralmente está localizada em áreas estabelecidas até 500 metros de altitude (IBGE, 2012). Esse tipo de vegetação também é conhecido como “mata seca”, ocupando ambientes com características do semiárido. O tipo de solo geralmente relacionado a esse tipo de floresta é o argissolo vermelho-amarelo (FILHO, 2009), conforme constado no item sobre os tipos de solo da bacia deste estudo.

5.1.17 Uso e ocupação do solo

Os mapas de uso e ocupação do solo da área de estudo, para os anos 2000, 2010 e 2012, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, são apresentados na Figura 16. Os tipos identificados são: área artificial, pastagem natural, vegetação campestre, mosaico de agropecuária com remanescentes florestais.

Figura 16 – Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Ribeirão Arrudas nos anos 2000, 2010 e 2012.



Fonte: Elaboração própria.

Por meio da avaliação visual, pode-se verificar que as áreas artificiais são predominantes e permaneceram praticamente com a mesma quantidade de área nos três anos. Estas áreas são as que possuem a maior representatividade em termos de cursos d'água e, por isso, deve ser levado em conta que nas áreas urbanas a grande maioria dos cursos d'água sofreram e sofrem diversas modificações em relação as suas características naturais, o que impacta diretamente na dinâmica natural das águas nesta região.

As áreas de pastagem natural, constituídas pelas vegetações originais, em sua totalidade estão localizadas na altitude mais elevada ao sul da bacia para os três anos. Quanto às áreas de vegetação campestre, verifica-se que estão - presentes em menor proporção, sendo perceptíveis em dois pontos mais ao sudeste do município de Belo Horizonte e em um ponto no município de Sabará.

Em relação às áreas de mosaico de agropecuária com remanescentes florestais, constatou-se um aumento de sua área do ano de 2000 para 2010, passando a ocupar parte da área que estava classificado como outros. Entretanto, de 2010 para 2012, algumas dessas áreas que passaram a ser classificadas como mosaico de agropecuária com remanescentes florestais foram reclassificadas como outros, o que demonstra que houve uma modificação do uso e ocupação da terra nesses locais.

A compreensão da abrangência da urbanização e das modificações do uso e ocupação da terra em virtude das ações antrópicas e dos processos naturais ao longo dos anos é importante para auxiliar na análise acerca das características e comportamento da bacia hidrográfica.

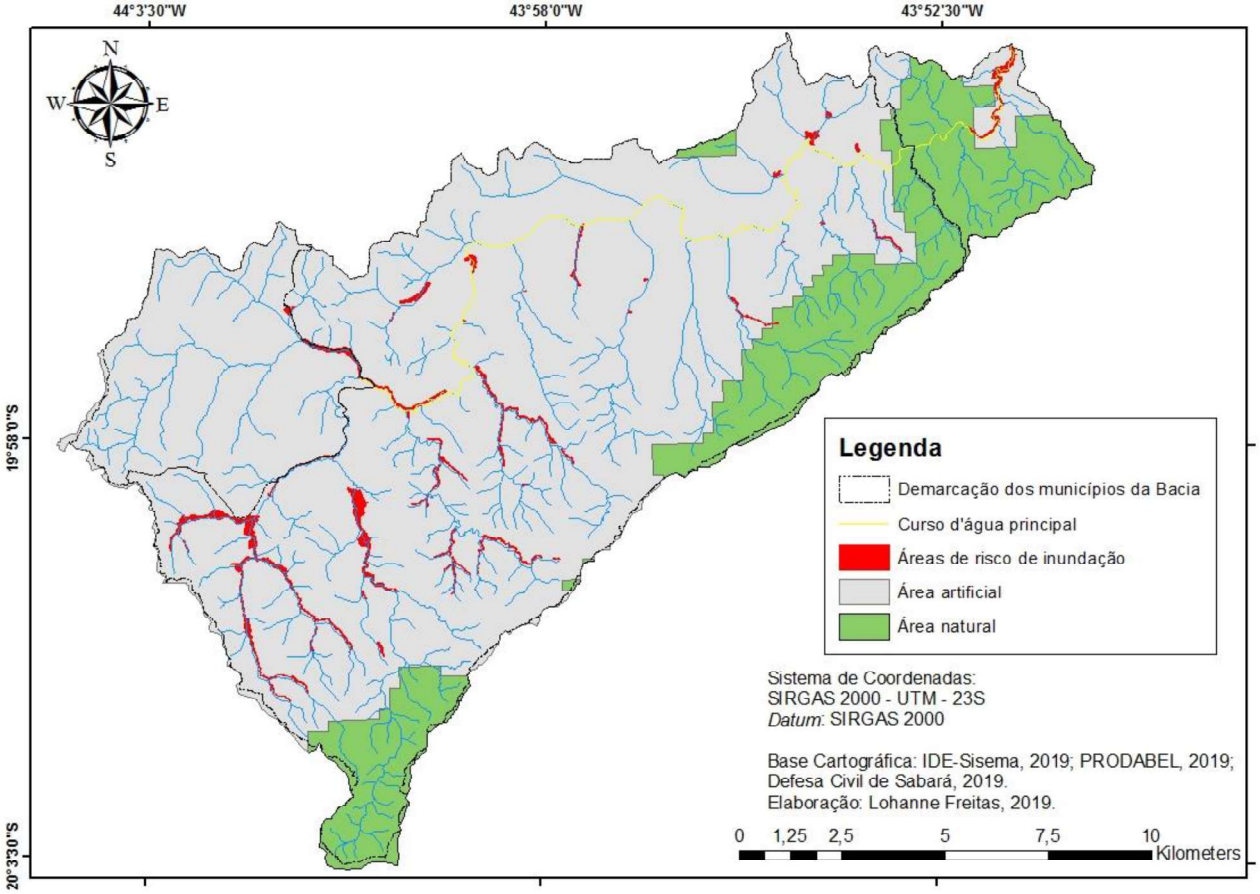
5.2 Análise integrada: sobreposição das características da bacia e área de inundação

Na terceira etapa do diagnóstico analisaram-se de forma conjunta algumas das características da bacia com os dados municipais das áreas classificadas com risco de inundações. Estes dados são utilizados pelas prefeituras para mapeamento de áreas sujeitas aos eventos de inundação, as quais são úteis para o desenvolvimento de projetos e planejamentos acerca do tema.

Nas Figura 17 a 21 são apresentadas as áreas de risco à inundação mapeadas pela Defesa Civil de Sabará e pela Empresa de Informática e Informação do Município

de Belo Horizonte - PRODABEL para o município de Belo Horizonte, com base em estudos de modelagem hidrológica e hidráulica realizados na região.

Figura 17 – Mapa das áreas de risco de inundação em relação ao curso d'água principal e das áreas artificiais e áreas naturais da Bacia do Ribeirão Arrudas.



Fonte: Elaboração própria.

Conforme pode-se verificar, para Belo Horizonte, todas as áreas classificadas com risco de inundação estão localizadas na área artificial, com exceção de uma pequena parte em Sabará que está em áreas naturais. Percebe-se que as porções com manchas de inundações mais representativas estão mais a sudoeste do município e que, no curso d'água principal, há alguns trechos com risco de inundação.

Na região sudoeste de BH está localizada a regional denominada "Barreiro", sendo composta por 8 sub-regiões, 54 bairros, 18 vilas, com 70 mil domicílios que abrigam aproximadamente 300 mil habitantes (PBH, s.d.). A maior parte dessa população reside nas áreas classificadas como artificiais, assim essas áreas necessitam de contínua intervenção urbana estrutural, por meio dos projetos da Prefeitura, para melhorar a infraestrutura e o uso e ocupação do solo. Já ao

sul/sudeste desta regional, segundo Gomes (2005), há áreas não urbanizada, conforme apresentado na Figura 17 com classificação de área natural, contendo áreas de preservação, de matas e de proteção de mananciais, com trechos do perímetro de tombamento da Serra do Curral (GOMES, 2005).

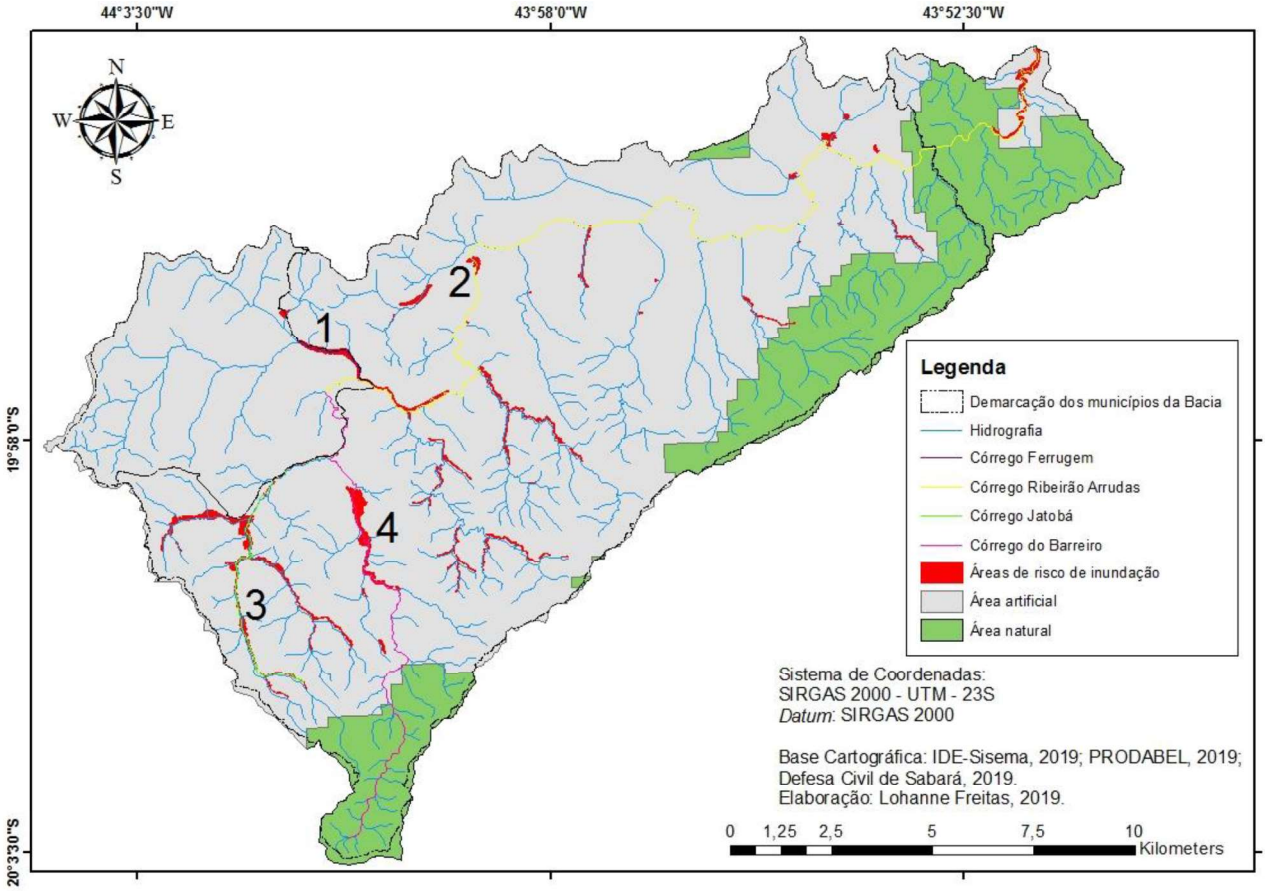
Com relação ao município de Sabará, somente uma pequena parte das áreas de risco de inundação estão na área natural, imediatamente a montante da área artificial. Destaca-se que, majoritariamente, as áreas de risco de inundação estão na área artificial e no entorno do curso d'água principal.

As áreas de risco de inundação em Sabará, levando em conta alguns fatores da urbanização, estão relacionadas à falta de redes de drenagem de águas pluviais que comportem chuvas intensas, à ocupação desordenada próximo aos leitos de cursos d'água e ao fato de que a maior parte dos corpos hídricos, principalmente na área urbana, apresenta assoreamento em sua calha devido ao acúmulo de sedimentos trazidos de montante somado ao lançamento indevido de resíduos. Assim, quando ocorrem chuvas intensas, a reduzida capacidade de escoamento dos corpos d'água favorece os eventos de inundação (CBH RIO DAS VELHAS, 2013).

Cabe destacar que os dados sobre as áreas de risco de inundação para a área da bacia que pertence ao município de Contagem não foram apresentados, uma vez que o município não possui uma base de dados georreferenciados sobre tal aspecto. A informação disponibilizada é que a Defesa Civil está trabalhando para realizar esse levantamento em bases cartográficas. A princípio, os dados existem somente em listas contendo os nomes das ruas e avenidas sujeitas a inundações. Entretanto, é visível que na divisa de Contagem e Belo Horizonte há a presença de risco de inundação referente ao corpo hídrico "Córrego Ferrugem" que deságua no Ribeirão Arrudas. Essa área foi mapeada por Belo Horizonte tendo em vista a sua abrangência de inundação que atinge também parte do município.

Na Figura 18 é mostrada a localização do Córrego Ferrugem e os outros Córregos, que são considerados os principais desta bacia, em relação as áreas de risco de inundação.

Figura 18 – Mapa das áreas de risco de inundação em relação à localização dos principais cursos d'água e das áreas artificiais e áreas naturais da Bacia do Ribeirão Arrudas.



Fonte: Elaboração própria.

Os cursos d'água foram distinguidos por cores e por numeração para melhor visualização da sua extensão e localização em relação a hidrografia, em que o Córrego Ferrugem (1) – roxo, Ribeirão Arrudas (2) – amarelo, Córrego Jatobá (3) – verde claro, Córrego do Barreiro (4) – rosa.

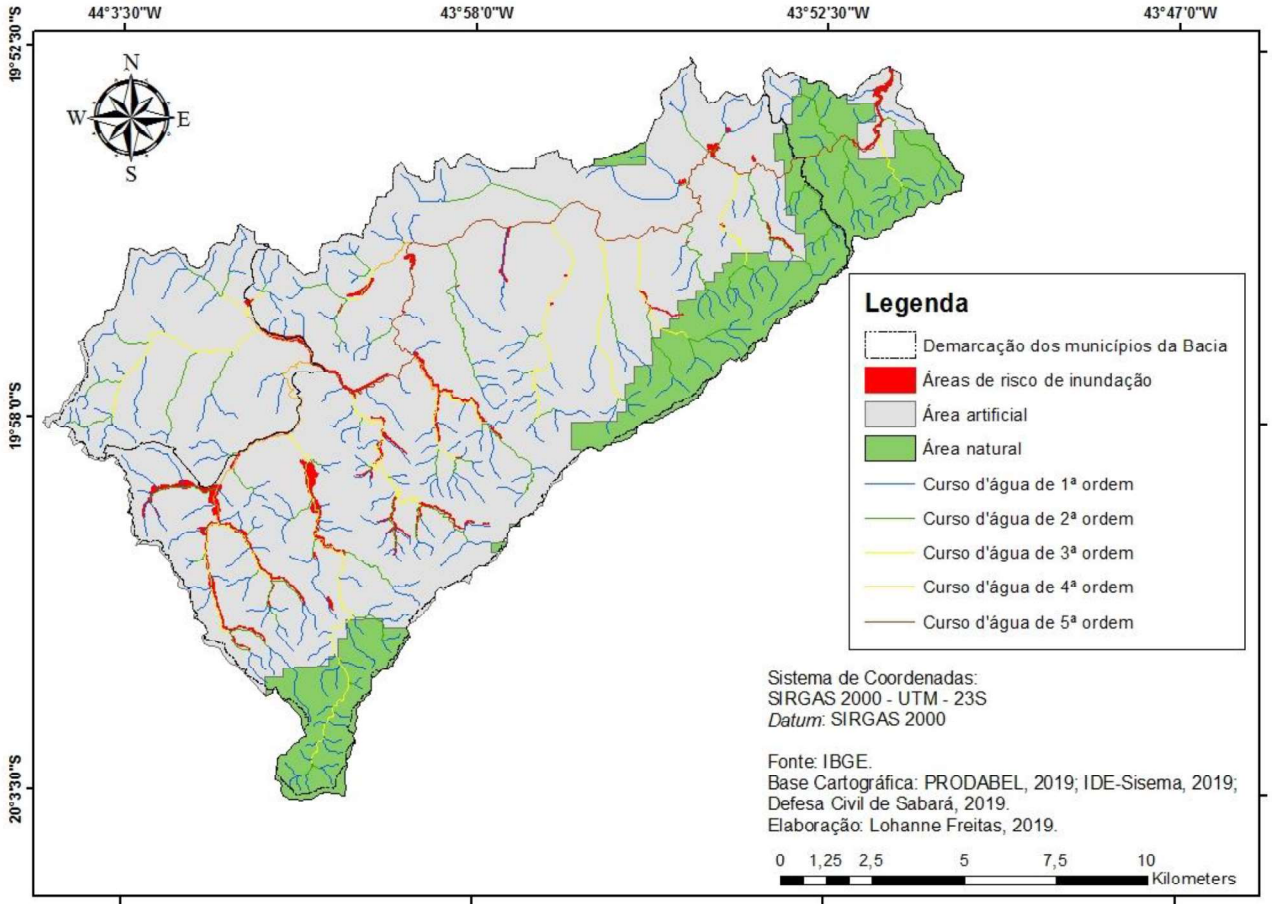
Observa-se que todos os cursos d'água principais estão majoritariamente em áreas artificiais, sendo que somente o Ribeirão Arrudas e o Córrego do Barreiro possuem também parte de sua extensão localizada nas regiões de áreas naturais. Cabe destacar que todos os cursos d'água principais possuem registro de áreas de risco de inundação em alguma parte de sua extensão, em que somente uma pequena parte encontra-se em áreas naturais - Ribeirão Arrudas no município de Sabará - e o restante ocorre em áreas artificiais.

Com o intuito de analisar mais detalhadamente as possíveis causas para a classificação das áreas de risco a inundações, realizaram-se algumas sobreposições com as características da bacia já apresentadas e avaliadas separadamente. Para

realizar as sobreposições foram escolhidas as características qualitativas, aquelas observadas visualmente por meio dos mapas, que possibilitam essa análise de forma integrada com as áreas sujeitas aos eventos de inundação. Já as características numéricas, que não geram informações visuais, foram consideradas para a elaboração da conclusão sobre o assunto estudado.

Por meio da sobreposição das áreas de risco de inundação em relação à ordem dos cursos d'água da bacia gerou-se a Figura 19 para melhor análise conjunta das informações.

Figura 19 – Mapa das áreas de risco de inundação em relação à ordem dos cursos d'água e das áreas artificiais e áreas naturais da Bacia do Ribeirão Arrudas.



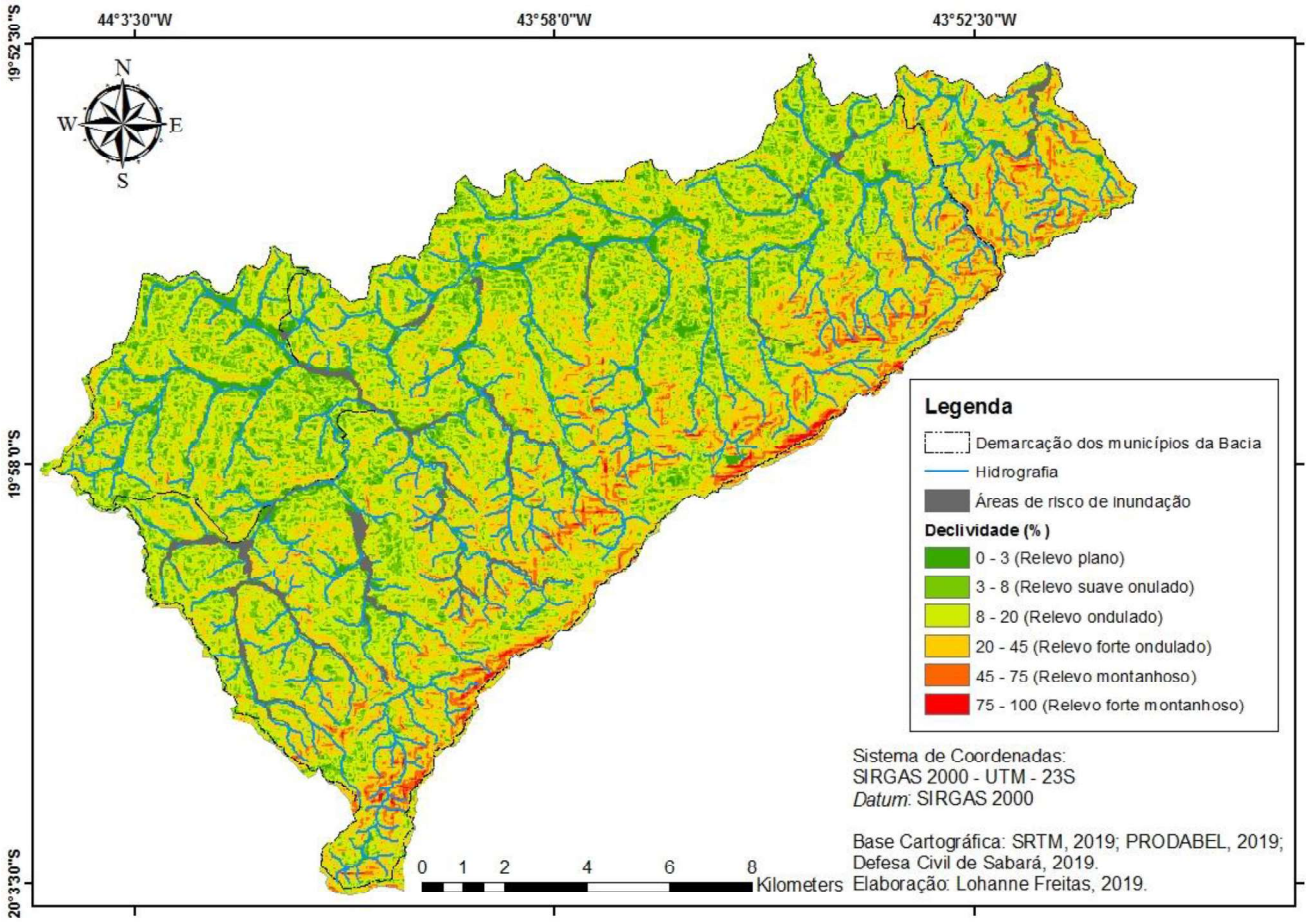
Fonte: Elaboração própria.

Os autores Boese e Tomalack (2013) afirmam que quanto menor a ordem dos rios, menor também a tendência de inundações nas bacias hidrográficas. Entretanto, observa-se que as áreas com risco de inundação deste estudo ocorrem nos cursos d'água em todas as ordens. Assim, pode-se inferir que esta análise não se adequa bem a áreas urbanizadas.

Além disso, deve-se levar em conta o fato de que a bacia sofre interferência antrópica, devido à urbanização, que altera as condições naturais e ocasiona um comportamento diferente do esperado ao se analisar a somente a classificação hierárquica da bacia, podendo gerar então inundações em várias ordens de cursos d'água.

A próxima analise refere-se à sobreposição das áreas de risco de inundação em relação ao tipo de relevo da bacia por meio da porcentagem de declividade do terreno (Figura 20).

Figura 20 – Mapa das áreas de risco de inundação em relação a declividade da Bacia do Ribeirão Arrudas.



Fonte: Elaboração própria.

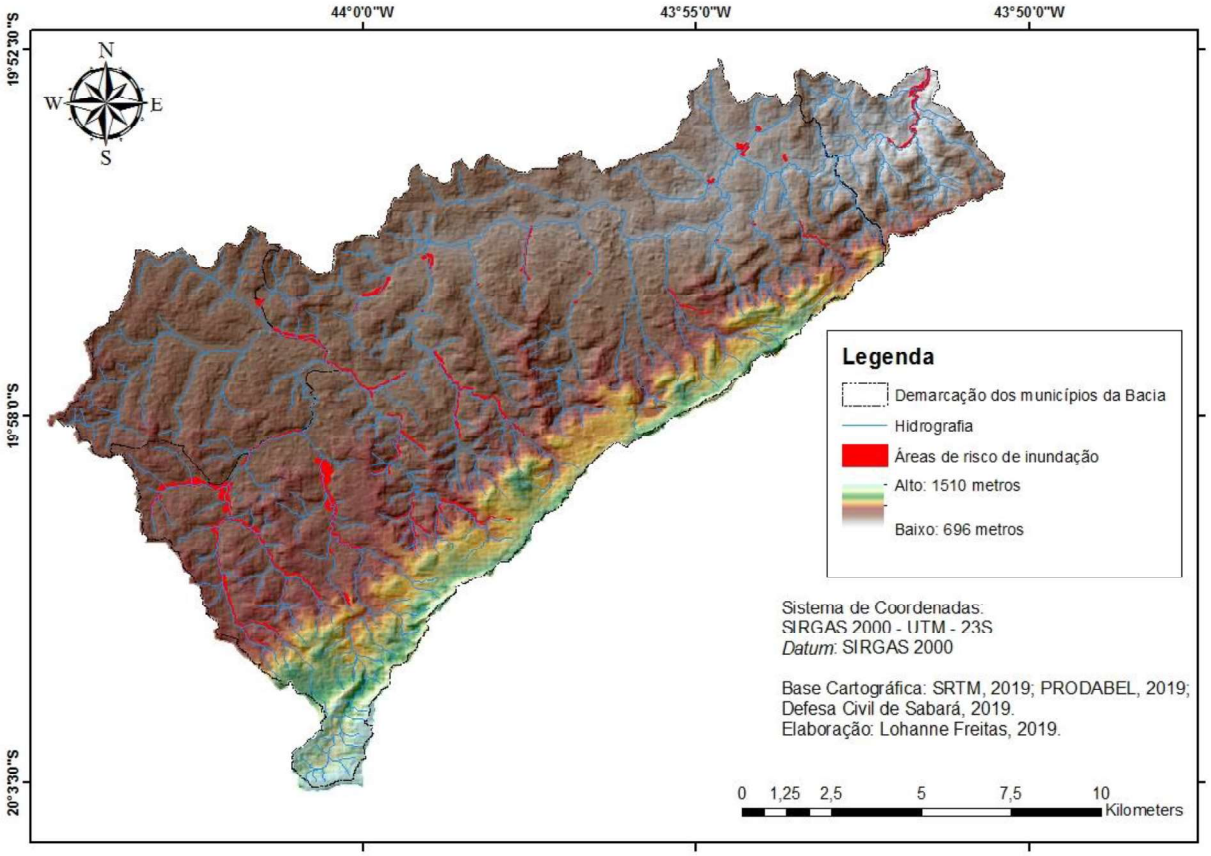
Percebe-se que as áreas onde a declividade do terreno é mais elevada, relevo forte montanhoso, não há registro da classificação como áreas de risco à inundação. Assim, reflete-se que, nas áreas mais elevadas, o escoamento ocorre mais rapidamente impedindo que haja acúmulo de água, o que diminui a tendência a eventos de inundação nessas áreas.

Já nas áreas com pouca declividade, principalmente no relevo plano ao relevo ondulado, é que há um maior registro de áreas de risco a inundação. As inundações podem ocorrer em áreas planas devido à intensa urbanização que ocasiona em uma maior velocidade de escoamento das águas em maiores declividades e uma súbita elevação do nível de água, por meio do seu rápido acúmulo, em menores declividades.

Entretanto, cabe mencionar que nem sempre e não necessariamente haverá áreas de risco de inundação nos terrenos com pouca declividade. A impermeabilização do terreno, as obras de drenagem urbana existentes, o estado de conservação e limpeza das áreas de várzea, também podem modificar esse cenário e o comportamento das águas.

E a última analise é em relação à sobreposição das áreas de risco de inundação em relação à altitude da bacia por meio da hipsometria (Figura 21).

Figura 21 – Mapa das áreas de risco de inundação em relação à hipsometria da Bacia do Ribeirão Arrudas.



Fonte: Elaboração própria.

Para a região de Belo Horizonte que pertence a bacia deste estudo, verifica-se que as áreas com alta altitude (cores azul claro e verde), nas proximidades de 1510

metros de altitude, não há nenhuma classificação de áreas com risco a inundação. Entretanto, percebe-se que em uma área ainda com média alta altitude (cor laranja) ocorre um pequeno registro de áreas com risco de inundação. Já as áreas onde há mais áreas com risco à inundação são predominantemente de baixa altitude (cor branca), nas proximidades de média baixa altitude (cor marrom), onde estão localizados três dos principais cursos d'água da Bacia do Ribeirão Arrudas: Ribeirão Arrudas, Córrego do Barreiro e Córrego do Jatobá.

Para o outro curso d'água principal da bacia, o "Córrego Ferrugem", apesar de estar localizado em Contagem, pode-se observar pelas áreas de risco de inundação de Belo Horizonte, que este córrego também está em área de baixa altitude (cor branca), próximo da média baixa altitude (cor marrom). Além disso, para Contagem, apesar da não existência de registros georreferenciados das áreas de risco de inundação, pode-se inferir que se houvessem o registro destas áreas elas estariam nas proximidades da região com média baixa altitude (cor marrom), uma vez que para essa parte do município que pertence a Bacia do Ribeirão Arrudas há predominância dessa classificação de hipsometria.

E, por fim, para Sabará constata-se que todas as áreas com risco de inundação da região pertencente à Bacia do Ribeirão Arrudas estão em altitudes baixas (cor branca).

5.3 Tomada de decisão

Tendo em vista que os eventos de inundação ocorrem nesta bacia, conforme dados obtidos pelos municípios e apresentados por meio dos mapas gerados, faz-se necessário verificar quais são os possíveis fatores que levam a ocorrência desses eventos. Para isso, deve-se levar em conta as características inerentes a própria bacia deste estudo, bem como as ações e os efeitos da urbanização.

No Quadro 6, a seguir, apresenta-se a avaliação dos resultados dos índices morfométricos encontrados em relação a ocorrência de inundação.

Quadro 6 – Avaliação dos índices morfométricos da bacia.

Características	Parâmetros		Resultados	Avaliação	
Geométricas	Área de drenagem		A = 228,37 km²	Ausência de intervalo de referência	
	Perímetro		P = 83,8 Km		
	Forma da bacia	Fator de forma	$K_f = 0{,}12$	Bacia estreita e longa	Pouco sujeita a inundações
		Índice de compacidade	$K_c = 1{,}56$	Bacia alongada	
		Índice de circularidade	$I_c = 0{,}41$	Bacia alongada	
	Índice de rugosidade		$IR = 1{,}42$	Ausência de intervalo de referência	
	Padrão de drenagem		Dendrítico	Predomínio de rochas sedimentar que são porosas e acumulam água	Pouco sujeita a inundações
Rede de drenagem	Comprimento do rio principal		43,41 Km	Maior em bacias alongadas	Pouco sujeita a inundações
	Hierarquia dos canais de drenagem		5ª Ordem	Ausência de intervalo de referência	
	Comprimento total dos canais		396,5 Km	Ausência de intervalo de referência	
	Densidade de drenagem		$\lambda = 1{,}74$ Km^{-1}	Baixa	Pouco sujeita a inundações
	Percursor médio sobre o terreno		$L_p = 0{,}29$ Km	Ausência de intervalo de referência	
	Textura da topografia		Grosseira	Maior espaçamento entre os cursos d'água - estágio recente do ciclo de erosão	Pouco sujeita a inundações
	Coeficiente de manutenção		5,75x10^{-4} km²/km	Área muito pequena para a manutenção de 1 metro de canal de escoamento permanente – bacia pouco degradada	Pouco sujeita a inundações
Relevo	Declividade		Predomínio de relevo ondulado e suave ondulado	Baixa velocidade do escoamento superficial	Pouco sujeita a inundações
	Hipsometria		696 m - 1510 m	Predominância de média baixa altitude	Pouco sujeita a inundações

Fonte: Elaboração própria.

Assim, conforme podemos observar, em relação as características naturais da bacia não identificou-se uma tendência a ocorrência dos eventos de inundação, uma vez que majoritariamente a bacia é caracterizada como pouco sujeita a inundações.

Não obteve-se resultado oposto ao apresentado, ou seja, que indique que a bacia é muito sujeita a inundações. Entretanto, para alguns índices não foi possível avaliar adequadamente os resultados obtidos devido à ausência de intervalo de referência. Então, para que estes índices possam ser avaliados quanto a ocorrência

de inundações sugere-se a comparação deste estudo com um estudo feito para outra bacia hidrográfica, assim, poderá ser verificado se uma bacia é mais sujeita a inundações do que a outra.

Logo, pode-se inferir que os fatores que favorecem e contribuem para os eventos de urbanização são as ações antrópicas devido a urbanização, que estão relacionadas a elevada densidade populacional, desmatamento e impermeabilização do solo, resíduos sólidos nas redes de drenagem, dimensionamento inadequado das redes de drenagem, dentre outros. Sendo assim, para a bacia deste estudo pode-se pontuar o uso/ocupação do solo e o comportamento político/administrativo como possíveis razões que levam a ocorrência das inundações.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As características fisiográficas e os índices morfométricos auxiliam nos estudos desenvolvidos em bacias hidrográficas, permitindo a obtenção de informações sobre a área, principalmente em relação ao comportamento da bacia frente aos eventos naturais. Por meio da morfometria, por exemplo, é possível verificar a tendência a ocorrência de eventos hidrológicos, avaliando matematicamente as características da bacia, geralmente observadas por imagens de satélite.

Estudo sobre o comportamento das águas nas bacias hidrográficas são de grande relevância e podem contribuir para futuras mudanças nos tradicionais processos de planejamento urbano e ambiental para a drenagem dos recursos hídricos por meio de um gerenciamento contínuo das medidas adotadas, destacando a importância da realização de estudos sobre a dinâmica das bacias hidrográficas, principalmente em áreas antropizadas.

Geralmente, os municípios não possuem planos de ação preventiva a eventos de inundação como, por exemplo, um Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado – PDDI, formulado com base no planejamento urbano e ambiental conjunto que aborde ações que promovam o adequado gerenciamento dos recursos hídricos. Ou ainda, planos de manutenção contínua dos sistemas de drenagem já implantados como, por exemplo, limpeza periódica desses sistemas e o seu entorno; e quando o possuem, atuam pontualmente na região afetada ou somente nos cursos d'água principais. Em alguns casos, em períodos próximos à época de chuvas realizam-se práticas de limpeza do sistema de drenagem a fim de evitar obstruções, mas somente essa medida não é suficiente para evitar a ocorrência dos eventos de inundação. Muitas vezes, realiza-se somente a ação ou manutenção corretiva, ou seja, após a ocorrência dos eventos.

É preciso o incentivo e ações dos próprios órgãos governamentais para o desenvolvimento de mais trabalhos que visem a compreensão dos fatores que possivelmente levam à ocorrência dos eventos de inundação. Assim, o município pode atuar com projetos mais embasados e que trabalhem a prevenção dos eventos naturais, e não na sua remediação ou correção.

Os resultados obtidos permitiram analisar o comportamento da dinâmica das águas na bacia do Ribeirão Arrudas, o que levou a compreensão de que a bacia é pouco sujeita a eventos de inundações levando-se em conta às características

inerentes à própria bacia, ou seja, ao se avaliar as características fisiográficas e os índices morfométricos. Entretanto, considerando que as inundações têm ocorrido, tendo inclusive o mapeamento e o registro das áreas sujeitas a esses eventos pela defesa civil dos municípios, infere-se que as intervenções antrópicas devido à urbanização dos municípios são os fatores que favorecem e contribuem para a ocorrência dos eventos de inundação.

Sendo assim, devido a essa divergência entre os resultados obtidos pelas características da própria bacia e o que realmente ocorre em relação às inundações na região, pode-se propor como continuidade deste trabalho a análise das características fisiográficas e os índices morfométricos a serem utilizados como ferramentas de identificação de áreas sujeitas a eventos de inundações em áreas antropizadas, de forma que seja comparadas bacias hidrográficas com diferentes estágios de urbanização, porém, com características climáticas e precipitações semelhantes entre si. Possivelmente será verificado que as características fisiográficas e os índices morfométricos são indicados para estudos em bacias com pouca urbanização.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. **Divisões hidrográficas do Brasil**. 2019. Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/divisoes-hidrograficas>. Acesso em: 15 abr. 2019.

ATLAS BRASILEIRO: Sistema Integrado de Informações sobre Desastres. **Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres.** 2ª ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. 126 p. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>. Acesso em: 21 de jul. 2018.

BOESE, J. P. B.; TOMALACK, J. G. **Análise dos fatores contribuintes para enchente urbana no município de Coronel Vivida – PR**. Pato Branco, 2013. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Departamento Acadêmico de Construção Civil. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1490/1/PB_DACOC_2013_1_09.pdf>. Acesso em: 29 de set. 2019.

BORNANCIN, F. **Ilustração de elementos da bacia hidrográfica**. Portal cuide dos rios. Disponível em: <https://maristelaono.com/projetos/cuide-dos-rios/>. Acesso em: 30 de dez. 2019.

BRANCO, P. M. **Rochas**. CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Serviço Geológico do Brasil). 2015. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Rochas-1107.html>. Acesso em: 15 de ago. 2019.

BRASIL. **Lei Nº 9.433, de 8 e janeiro e 1997.**Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 29 dez. 2018.

_____. CNRH. **Resolução Nº 32, de 15 de outubro de 2003.** Institui a Divisão Hidrográfica Nacional, em regiões hidrográficas, com a finalidade de orientar, fundamentar e implementar o Plano Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/divisao-hidrografica-nacional/74-resolucao-n-32-de-15-de-outubro-de-2003/file>. Acesso em: 29 dez. 2018.

CANHOLI, A.P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2014.

CASSETI, V. **Geomorfologia.** Compartimentação topográfica. 2005. Disponível em:<http://www.funape.org.br/geomorfologia/pdf/compartimentacao_topografica.pdf>. Acesso em: 19 de fev. 2019.

CAVALCANTE, L. V. B. **A bacia do rio Arrudas: Análise das inundações entre 1930 a 2005 no município de Belo Horizonte/MG**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2011. Disponível em: < http://hdl.handle.net/1843/MPBB-8THHLK>. Acesso em: 14 de ago. 2019.

CBH RIO DAS VELHAS. **Elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico de Sabará.** Diagnóstico da Situação do Saneamento Básico. 2013. Disponível em: <http://cbhvelhas.org.br/images/subcomites/planosmunicipais/PMSB/Caete_Sabara/Produto_2/DIAGNOSTICO_SABARA.pdf>. Acesso em: 29 de set. 2019.

_____. **Unidade Territorial Estratégica Ribeirão Arrudas.** Plano Diretor de Recursos Hídricos. 2016. Disponível em: <http://cbhvelhas.org.br/wp-content/uploads/2016/04/06_cartilha_arrudas_225x27cm_2016_04_13_issuuu.pdf>. Acesso em: 05 de mar. 2019.

CRED CRUNCH. **Disaster data: a balanced perspective**. Louvain, Apr, 2016. Disponível em: <https://www.emdat.be/publications?field_publication_type_tid=All&order=field_publication_year&sort=desc>. Acesso em: 21 de jul. 2018.

_____. **Disaster data: a balanced perspective**. Louvain, Mar, 2018. Disponível em: <https://www.emdat.be/publications?field_publication_type_tid=All&order=field_publication_year&sort=desc>. Acesso em: 21 de jul. 2018.

DAI F.C.; LEE C.F.; ZHANG X.H. ***GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study*.** Engineering Geology. Volume 61, Issue 4, September 2001, Pages 257-271. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001379520100028X>. Acesso em: 24 de fev. 2019.

DEP/IPH – Departamento de Esgotos e Águas Pluviais de Porto Alegre, **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre, Manual de Drenagem Urbana Volume VI**. Porto Alegre, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 2. **Análise Morfométrica de Bacia Hidrográfica – Subsídio à Gestão Territorial Estudo de Caso no Alto E Médio Mamanguape.** 1ª Ed., Campinas, SP. 33 p, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/960720/analise-morfometrica-de-bacia-hidrografica-subsidio-a-gestao-territorial-estudo-de-caso-no-alto-e-medio-mamanguape>. Acesso em: 05 mar. 2019.

_____. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 83p, 1979. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânia, 1). Disponível em: <http://library.wur.nl/isric/fulltext/isricu_i00006739_001.pdf>. Acesso em: 14 out. 2018.

FILHO, J. C. A. **Floresta Estacional Semidecidual**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica – AGEITEC. 2009. Disponível em: < https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000gt7eon7l02wx7ha087apz2x2zjco4.html>. Acesso em: 15 ago. 2019.

FRANCO, A. C. V.; SANTO, M. A. D. **Contribuição da morfometria para o estudo das inundações na Sub-Bacia Do Rio Luís Alves/Sc**. Mercator (Fortaleza), v. 14,

n. 3, p. 151-167, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/mercator/v14n3/1984-2201-mercator-14-03-0151.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2019.

FRANÇA, G. V. de. **Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba.** 1968. 151 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo *apud* EMBRAPA.

FREITAS, R. O. **Textura da Drenagem e sua Aplicação Geomorfológica**. Boletim Paulista de Geografia. Julho de 1952 — n° 11. Disponível em: < https://agb.org.br/publicacoes/index.php/boletim-paulista/article/viewFile/1366/1225>. Acesso em: 13 ago. 2019.

GOMES, I. Sistemas naturais em áreas urbanas: estudo da Regional Barreiro, Belo Horizonte (MG). Caminhos de Geografia. 139-150 p., Fev/2005. Disponível em: < http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/viewFile/15377/8676>. Acesso em: 29 set. 2019.

HIPÓLITO, J. R; VAZ, Á. C. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. 3ª Ed., Lisboa. Editora IST Press. 2017. 796 p.

IAC – Instituto Agronômico. **Solos do Estado de São Paulo.** Neossolos. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Disponível em: < http://www.iac.sp.gov.br/solossp/pdf/Neossolos.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Manuais técnicos em geociências. 2ª ed. Rio de Janeiro 2012. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2019.

IDE-Sisema - Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. 2019. Disponível em: < http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 08 jan. 2019.

KHAN ACADEMY. **Ciclo da água.** 2019. Disponível em: < https://pt.khanacademy.org/science/biology/ecology/biogeochemical-cycles/a/the-water-cycle>. Acesso em: 01 abr. 2019.

LACERDA M. P. C.; ANDRADE H.; QUÉMÉNEUR J. J. G. **Micropedologia da alteração em perfis de solos com B textural na região de Lavras, Minas Gerais**. R. Bras. Ci. Solo, 24: 829-841, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v24n4/15.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2019.

LIMA, W. P. **Hidrologia Florestal Aplicada Ao Manejo De Bacias Hidrográficas.** USP: Piracicaba – SP. 2008. Disponível em: <https://www.ipef.br/hidrologia/hidrologia.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2019.

LONDE, L.R; COUTINHO, M.P; GREGÓRIO, L.T., SANTOS, L.B.L; SORIANO, E. 2014. **Desastres relacionados à água no Brasil: Perspectivas e recomendações**.

Ambiente & Sociedade, vol.17, n.4, pp.133-152, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1414-753X2014000400008&script=sci_abstract>. Acesso em: 18 mar. 2019.

LONGLEY P.; BATTY M. **Spatial Analysis: Modelling in a GIS Environment**. 1996. Chapter 1 – Analysis, modelling, forecasting, and GIS technology. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=1DCq7fg_0QcC&oi=fnd&pg=PR8&dq=gis+enviroment&ots=oj3HB1ZK5q&sig=BnMWQ2w043YtuRh4fburA0HEMjo#v=onepage&q=gis%20enviroment&f=false>. Acesso em: 24 fev. 2019.

MACHADO, G.; SOUZA, J. O. P. **Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do rio Chôco – Ibaiti – PR.** Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina – 20 a 26 de março de 2005 – Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Procesosambientales/Geomorfologia/03.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2018.

MACHADO, P. J. O; TORRES F. T. P. **Introdução à hidrogeologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 178 p.

MOSCA, A. A. O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas**. 2004. 96f. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP), Piracicaba, SP, 2003. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-20082003-170146/en.php>. Acesso em: 14 out. 2018.

PAZ, A. R. **Apostila de Hidrologia Aplicada**. Caxias do Sul. 2004. (Apostila da disciplina para o curso de graduação em Engenharia de processos e Biotecnologia na unidade de Caixias do Sul - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul).138p. Disponível em: <http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/apostila_HIDROLOGIA_APLICADA_UERGS.pdf>. Acesso em: 14 out. 2018.

PBH – PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Coordenadoria de Atendimento Regional Barreiro**. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/barreiro>. Acesso em: 29 set. 2019.

PORTO, R. L. L.; FILHO, K. Z.; SILVA, R. M. **Bacias Hidrográficas - PHD 307 Hidrologia Aplicada**. 1999. Escola Politécnica da USP – Departamento de engenharia Hidráulica e Sanitária. Disponível em: <http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=6572>. Acesso em: 04 mar. 2019.

RIBEIRO, J. F., WALTER, B. M. T. **Campo Rupestre.** Vegetação Campestre. Agência de Informação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Bioma Cerrado. Disponível em:< https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_39_911200585233.html>. Acesso em: 15 ago. 2019.

ROMANOVSKI, Z. **Morfologia e aspectos hidrológicos para fins de manejo da microbacia da Rua Nova, Viçosa-MG, para fins de manejo**. 2001. 99f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 2001.

SANTOS. R. F. **Planejamento ambiental –** Teoria e prática. Oficina de Textos. São Paulo, 2004. 184 p.

SILVA, J. P.R. P. **Mapeamento de inundações no Brasil: proposta de gestão ambiental através de um sistema de informações geográficas**. In: VI Congresso de Meio Ambiente da AUGM. 2009. Disponível em:<http://www.ambiente-augm.ufscar.br/uploads/A2-045.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2019.

SOARES V. L; MEDEIROS C. N; ALBUQUERQUE E. L. S. **Geoprocessamento Aplicado ao mapeamento das formas de uso e ocupação da terra no município de Itarema, Ceará**. VI Congreso Iberoamericano de Estudios Territoriales y Ambientales. São Paulo, 2014. Disponível em: <https://sigaa.ufpi.br/sigaa/public/docente/producao.jsf?siape=2231533>. Acesso em: 24 fev. 2019.

SOUZA, C. R. de G. **Suscetibilidade Morfométrica de Bacias de Drenagem ao Desenvolvimento de Inundações em Áreas Costeiras.** Revista Brasileira de Geomorfologia, ano 6, n.1. pp 45-61, 2005. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/277206344_Suscetibilidade_morfometrica_de_bacias_de_drenagem_ao_desenvolvimento_de_inundacoes_em_areas_costeiras>. Acesso em: 28 set. 2019.

SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*. **Site do *Earth Explorer* do Serviço Geológico dos Estados Unidos** (USGS - U.S. *Geological Survey*). Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 08 fev. 2019.

TAUBENOCK H. *et al*. **Flood risks in urbanized areas – multi-sensoral approaches usingremotely sensed data for risk assessment**. Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 11, p. 431-444, 2011. Disponível em: <https://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/opus4-wuerzburg/frontdoor/deliver/index/docId/13960/file/053_Taubenboeck_Natural-Hazards-and-Earth-System-Science.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2019.

TONELLO, K. 2005.**Análise Hidroambiental da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. Dissertação de Mestrado, UFV. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9559/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 fev. 2019.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4ª Ed., Porto Alegre. Rio Grande do Sul (RS). Editora da UFRGS/ABRH. 2015. 943p.

UFRR – Universidade Federal de Roraima - Campus do Paricarana. **Diagênese dos fósseis ou Fossildiagênese.** Laboratório de Paleontologia da Amazônia. Disponível em: <http://ufrr.br/lapa/index.php?option=com_content&view=article&id=%2082>. Acesso em: 14 ago. 2019.